



X Firma
2021 online

del 7 al 12 de febrero

*Sinergia entre ciencia e industria para el
desarrollo y la sostenibilidad*



**Foro
Iberoamericano
de los
Recursos
Marinos y la
Acuicultura**

Memorias en extenso
Proceedings **2021**



X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura

*Sinergia entre ciencia e industria para el
desarrollo y la sostenibilidad*

**Marcos de Donato,
Nieves González-Henríquez, Manuel Rey-Méndez,
Paul Martin Baltazar Guerrero, Jorge Sonnenholzner,
José Javier Alió Mingo, César Lodeiros**

Esta obra se debería citar como:

Todo el libro:

De Donato M., González-Henríquez N., Rey-Méndez M., Baltazar-Guerrero P. M., Sonnenholzner J., Alió Mingo J.J., Lodeiros C. 2021. X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura: Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad. Ediciones AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canarias, España, 1032 pp.

Trabajo:

Mestres F., Sellés M., Rojo E., Lagares C., Serra B., Ojeda V., Abelló P. (2021). La conectividad entre poblaciones del cangrejo marino *Liocarcinus depurator* en la transición Atlanto-mediterránea. Foro Iberoam. Rec. Mar. Acuí. 10: 495-511.

Nota de los editores:

Los manuscritos en extenso suponen memorias de los trabajos presentados en el X FIRMA 2021 *online* y han sido revisados por el comité editorial del libro. Las opiniones y manifestaciones científicas en los artículos, construcción gramatical, así como el estilo, particularmente en la forma de exposición de autores, referencias y usos de símbolos, se respetaron para su publicación y son responsabilidad de los autores, quienes tienen también todo el derecho sobre ellos para su publicación por otras vías, incluyendo revistas científicas.

Composición gráfica y arte final

Marycruz García-González
garcia.marycruz@gmail.com
ISBN: 978-84-09-32773-7

La presente obra tiene una licencia *Creative Commons*. Todo usuario es libre de compartir, copiar, distribuir y comunicar públicamente los contenidos bajo las siguientes condiciones:



CC-BY Atribución: debe reconocer los créditos de cada uno de los contenidos de la manera especificada por el licenciente.

NC No comercial: obliga a que la obra no sea utilizada con fines comerciales.

SA Obras derivadas: permite obras derivadas bajo la misma licencia o similar.

Agradecimientos

El libro *Proceeding* del X FIRMA 2021 online, recoge gran parte de los trabajos del X FIRMA 2021 online, tanto para dejar constancia en forma de publicación *in extenso* en el caso de los pósteres y videos, como resumidos en el caso de ponencias, siendo una actividad fundamental del X FIRMA y representan las memorias del evento.

Queremos expresar nuestro mayor agradecimiento a los más de 55 especialistas que impartieron las ponencias magistrales y en las 10 sesiones del evento, y los coordinadores de dichas sesiones, que han permitido que X FIRMA 2021 online haya obtenido un rotundo éxito. A los participantes de los trabajos científicos presentados, un total de 182 (dentro de los cuales se encuentran los trabajos *in extenso* del libro), y a los participantes en general, que mostraron un gran interés en las exposiciones y propiciaron, en interacción, debates extraordinarios y productivos durante el evento.

De igual manera a los más de 40 vocales de los países iberoamericanos y corresponsales de otras regiones, así como a las instituciones que ellos representan, por ayudarnos en la organización y difusión del evento.

A las instituciones de los ponentes a las cuales prestan sus servicios para desarrollo y sostenibilidad de los recursos marinos y la acuicultura, especialmente las del comité organizador, auspiciadoras del X FIRMA 2021:

Tecnológico de Monterrey, México
Universidad de Oriente, Venezuela
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Universidad de Santiago de Compostela, España
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España
Universidad Científica del Sur, Perú
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

De igual manera, un agradecimiento especial a la Asociación Cultural Foros dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas (ForoAcui) madre organizadora del FIRMA y a la Red de trabajo para la gestión sostenible de los recursos marinos de la eco-región África del oeste (AFRIMAR) quien nos ha prestado sus servicios administrativos para el desarrollo del evento.

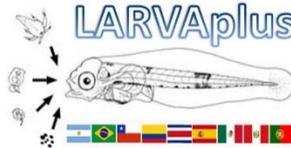
A las asociaciones y empresas que patrocinaron el evento, como ASOPROCO y compañías asociadas como LAMAR (gracias al desempeño de su presidente Dr. Fernando Villamizar, también vocal por Venezuela de este X FIRMA 2021 online), Marine Instruments, Analitek Ilumina, Universidad de Las Palmas Gran Canaria, grupos ECOAQUA, AQUAEXEL, Sociedad Española de Acuicultura, Megassupply, Marviva, Aqualgae, NARA, Lanternet.com, AquaTech, Extrumar del grupo Quintá, MOCA Consultora tecnológica, Tunacons, Fundación Polar, IPAC acuicultura, Azul Sostenible TV, misPeces.com, Panorama Acuícola, Industria Acuícola, que hicieron posible el desarrollo del evento.

Muchas de estas compañías y asociaciones como ASOPROCO, la Fundación Polar, Marviva (en su radio de acción Colombia, Panamá, Costa Rica), NARA, Marine Instruments, AquaTech y MegaSupply, han permitido con sus donaciones becar a estudiantes e investigadores de países en extrema situación económica para que participaran y se capacitaran con el FIRMA, un acto de colaboración para mantener viva la ciencia y el desarrollo en dichos países. Muchas gracias por sus aportes.

También queremos agradecer, muy especialmente, a Víctor Cabezuelo por el montaje informático del X FIRMA y a Rosa Delgado por el acompañamiento administrativo de los cursos, a Grace De Donato por su actividad de gestión en las redes sociales, a Marycruz García por la edición del presente libro y colaboración en los posters, y a un batallón de operadores de la plataforma de videoconferencias (Julio Arriaga, Becky Granja y Jordy Ureta de México; Pamela Rivadeneira de Argentina; Alejandra Martínez, Stephanie Díaz, Adonis Carrera, Bryan Álava, Bryan Zambrano, Daysi Camacho, Emilio Jarré, Ronny Mera y Ricardo Pólit de Ecuador), comandados por Ezequiel Zamora de Venezuela, Jorge Sonnenholzner de Ecuador y Omar Quesada desde España.

Gracias a todos, un gran equipo para un gran evento!!!

Auspiciado por



Sociedad Venezolana de Acuicultura



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO



CESIMAR



UNIVERSITY OF
WATERLOO



UCA

Universidad
de Cádiz



Siempre en el campo



Universidad
Andrés Bello®



**Aquaculture
Genomics
Lab**



CRIA

Center for Research and
Innovation in Aquaculture

CORPAVET®

www.corpavet.com

MolecularVetSAS®

www.molecularvet.com

Grupo Empresarial

University of Belize



Education Empowers a Nation

Environmental
Research Institute



APROMAR

Asociación Empresarial de Acuicultura de España



GrupoTragsa

Garantía Profesional. Servicio Público



MUSEO

ARGENTINO
DE CIENCIAS
NATURALES



Patrocinadores



Presentación

Desde su primera edición, el *Foro Iberoamericano de Recursos Marinos y la Acuicultura* (FIRMA), ha sido un escenario que ha analizado el estado de los recursos acuáticos vivos, su grado de explotación, cultivo, sostenibilidad, estado del conocimiento y perspectivas futuras para Iberoamérica, generando discusión sobre políticas de conservación de los recursos y desarrollo de la acuicultura, todo esto enfocado en la seguridad alimentaria y la sostenibilidad a futuro. El objetivo fundamental del FIRMA, como organización, se fundamenta ante el llamado de alerta de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) por el deterioro de los recursos acuáticos junto con el inminente aumento de la población, particularmente en esta nueva y trascendental década 2021-2030 para la humanidad, lo cual pone en amenaza la seguridad alimentaria, particularmente en los países en vías de desarrollo, como los iberoamericanos, donde las tasas de natalidad y la malnutrición son elevadas.

Desde comienzos del año 2020, la pandemia de COVID-19 ha provocado una dramática pérdida de vidas humanas en todo el mundo y presenta un desafío sin precedentes para la salud pública, los sistemas alimentarios y la economía mundial. La perturbación económica y social causada por la pandemia es devastadora: decenas de millones de personas corren el riesgo de caer en la pobreza extrema y sufrir desnutrición. Además, según un informe de la Organización Mundial de la Salud de octubre de 2020, casi la mitad de los 3.300 millones de trabajadores del mundo corren el riesgo de perder sus medios de vida. Los trabajadores de la economía informal (incluyendo los pequeños acuicultores y pescadores) son particularmente vulnerables porque la mayoría carece de protección social y acceso a una atención médica de calidad y ha perdido el acceso a los activos productivos. En este sentido, la pandemia también ha afectado a todo el sistema alimentario y ha puesto al descubierto su fragilidad. Los cierres de fronteras, las restricciones comerciales y las medidas de confinamiento han impedido que los productores accedan a los mercados, para compra de insumos, venta de sus productos, actividades de siembra y cosechen, interrumpiendo así las cadenas de suministro de alimentos nacionales e internacionales y reduciendo el acceso a dietas saludables, seguras y diversas.

Dado este escenario, es indiscutible que la exposición y debates, respaldados por la investigación científica como factor clave para encontrar soluciones, deben conducir al desarrollo de Iberoamérica, como estrategia principal para esta y futuras posibles pandemias y otros problemas de impacto mundial, como el cambio climático. Hoy más que nunca se hace evidente que la fórmula del progreso, cuyos componentes principales son la investigación, la innovación, la transferencia tecnológica, junto con la inversión pública y privada, será una estrategia clave para salir de esta crisis y otras por venir.

Es por ello por lo que el X FIRMA 2021 se desarrolló en un marco digital online, para aumentar su impacto a nivel global y permitir el acceso a todos los interesados desde cualquier rincón de Iberoamérica y el mundo. En esta edición, el evento se enfocó en los recursos y grupos de organismos de mayor producción, donde la acuicultura es preponderante y donde las empresas y organizaciones institucionales tienen un papel protagónico, y a la vez histórico, de cara al futuro, en tiempos de pandemia y pospandemia, ante la gran demanda de alimentos sanos en esta próxima década planetaria, que exige gestionar un aumento de la producción de alimentos de forma amigable con el ambiente, y donde el lema del X FIRMA 2021 online tiene más sentido que nunca: *Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad*

Para cumplir con este gran reto, el X FIRMA 2021 online diseñó un evento, apoyado en un comité organizador de 50 especialistas que representaron cada país iberoamericano y con corresponsales de diversas regiones del mundo, centrado en un programa con conferencias magistrales y sesiones de discusión donde 55 conferencistas internacionales de gran experiencia profesional, ahondaron en discusiones sobre temas actuales de recursos acuáticos y acuicultura.

Durante el X FIRMA 2021 online se llevaron a cabo 6 conferencias magistrales y 2 sobremesas de “hablando con el experto”, auspiciadas por Analitek (México), Illumina (USA), Marine Instruments (España). Estos eventos estuvieron abiertos al público en general a través de la página del evento y de YouTube Live en el canal del FIRMA.

Las 10 sesiones de discusión trataron los temas de: recursos marinos, productos acuícolas en y post pandemia, cultivo de salmónidos, cultivo de tilapias, cultivo de camarones, cultivo de moluscos, cultivo de equinodermos, diversificación de la acuicultura, más allá de la mejora genética y cooperación iberoamericana, con la participación de 4 a 6 ponentes por sesión y la discusión generada por las preguntas del público.

En el marco del X FIRMA 2021 online se dictaron 14 cursos entre el 1 y 5 de febrero, con los temas de: “Estrés en la práctica acuícola: aspectos básicos y aplicados”, “Patologías de camarón de cultivo, Implementación de programas de restauración de ecosistemas degradados”, “Introducción a la taxonomía de Ophiuroidea de zonas someras del Pacífico oriental tropical”, “Patología de moluscos bivalvos”, “El cultivo del Camarón Tropical *Macrobrachium rosenbergii*: técnicas y avances productivos”, “Técnicas de manejo en la reproducción de paiche”, “Convergencia tecnológica para

cultivo y producción de equinodermos de interés comercial”, “Uso del microscopio en granja: evaluación en fresco de tejidos de peces de agua dulce”, “Herramientas moleculares para el estudio de la biodiversidad marina”, “Introducción al estudio ecológico de equinodermos en ambientes naturales”, “Diagnóstico de enfermedades en camarones: técnicas de campo y de laboratorio paso a paso”, “Fisiología del estrés en moluscos marinos de interés acuícola: una mirada al modelo *Bivalvia*”, “Cultivo de camarones en aguas de baja salinidad”.

Entre los logros de los que podemos enorgullecernos, está el desarrollo de una plataforma informática que permitió llevar a cabo la transmisión del evento por un sitio, de acceso restringido, para los inscritos formales y otro sitio, de acceso abierto, para la transmisión de las conferencias magistrales. Además, a través de esta plataforma se generó un espacio de exposición de los trabajos en formato de póster electrónico (*e-poster*) y videos, con la comunicación entre los asistentes y los expositores vía chat. El sistema funcionó a la perfección, sin fallas técnicas que reportar y con una muy buena experiencia de los asistentes. En este sentido, debido a la calidad de la información presentada durante el evento, hemos decidido que todos los trabajos presentados, así como sus conferencias y mesas de trabajo serán publicados libremente a través de nuestras redes sociales y la página web:

<https://firmaonline.org/xfirma/>

A todo esto se suma la publicación de los trabajos y conferencias del evento en el presente libro a manera de *proceeding*, que contiene sobre un tercio de los trabajos presentados, cuyos autores han querido publicarlos en extenso, además de los resúmenes analíticos y relatoría de las 10 sesiones o mesas de trabajo desarrolladas en el evento.

Comité Organizador del X FIRMA 2021 online



Presidente
Marcos De Donato 
Tecnológico de
Monterrey, México



**Vicepresidente-Península
Ibérica**
**Nieves González-
Henríquez** 
Universidad de Las Palmas
de Gran Canaria, España



Presidente A.C. ForoAcui
Manuel Rey-Méndez 
Universidad Santiago de
Compostela, España



**Vicepresidente-
América**
Paul Baltazar 
Universidad Científica
del Sur, Perú



Secretario
Jorge Sonnenholzner 
Universidad Técnica de
Manabí, Ecuador



Coordinador Académico
José Javier Alió Mingo 
Universidad Laica Eloy
Alfaro de Manabí, Ecuador



**Coordinador General
FIRMAs**
César Lodeiros 
Universidad Técnica de
Manabí, Ecuador

Vocales Iberoamericanas



Argentina

Pablo Penchaszadeth, Investigador Superior del CONICET - Museo Arg. Cs. Naturales, Buenos Aires

Tamara Rubilar, Centro para el estudio de sistemas Marinos, CONICET/Instituto patagónico del Mar-UNPSJB



Brasil

Guilherme Rupp, EPAGRI

Icaro Gomes Antonio, Universidade Estadual do Maranhão



Chile

Eduardo Uribe, Universidad Católica del Norte

Meyling Tang, Fundación COCINAMAR y Tres Peces



Colombia

Jorge Cuéllar-Anjel, Global Consulting

Adriana Rodríguez Forero, Universidad de Magdalena



Costa Rica

Juan José Alvarado, Universidad de Costa Rica/Red Iberoamericana de Equinodermos

Nelson Peña Navarro, Universidad Técnica Nacional, carrera de Ingeniería en Acuicultura



Cuba

Gustavo Arencibia-Carballo, Centro de Investigaciones Pesqueras



Ecuador

Wilfrido Argüello, CENAIME-ESPOL

Pilar Solís-Coello, IPIAP

Mauricio Castrejón, WWF

Mauro Nirchio, Universidad Técnica de Machala



España

Juan Miguel Mancera, Universidad de Cádiz / Sociedad Española de Acuicultura

Javier Ojeda González-Posada, Asociación Empresarial de Acuicultura de España

Salvador Cárdenas, Sociedad Española de Acuicultura

Patricia Prado, Instituto para la Investigación y Tecnología, Agroalimentarias de Cataluña



Guatemala

Carolina Marroquín, Universidad de San Carlos de Guatemala



México

Alfonso N. Maeda Martínez, Unidad Nayarit Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Daniel Robledo Ramírez, CINVESTAV, Mérida



Panamá

Juan Posada, Fundación Marviva

Dario López, Director Nacional de Investigación y Desarrollo, ARAP



Paraguay

Mario Insaurralde, Universidad Nacional de Asunción - Facultad de Ciencias Veterinarias



Perú

Gina Armas de Conroy, Consultor en Acuicultura

Lessi Zarina Catacora Pacheco, Gerente Regional de Comercio Exterior y Turismo

Christian Berger, Universidad Científica del Sur



Portugal

Pedro Fernandes Seixas, Aqualgae

Manuela Vaz Velho, Instituto Politécnico de Viana do Castelo



Puerto Rico

René Esteves, Director de Extensión Marina Programa Sea Grant, Universidad de Puerto Rico



República Dominicana

Miguel Guevara, Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña



Uruguay

Alvar Carranza, Centro Universitario Regional Este - CURE, Universidad de la República



Venezuela

Luis González, INIA-Falcón

Fernando Villamizar, Asociación de Productores de Camarones de Occidente

Eduardo Castillo, Presidente de la S.V.A.

Corresponsales en otras regiones



USA

Sergio Nates, Feedsagrisolutions

Víctor Blanco, Universidad de Florida

Europa no Iberoamericana

Lucio Grassia, LANTERN-NET.COM

Jorge Galindo-Villegas, Nord University, Norway

Diana Zaera, Institute of Marine Research, Norway

Asia

José Ignacio Curiel, Megassuply

Apoyo logístico del X FIRMA 2021 online



Víctor Cabezuelo García
Universidad de Oriente, Venezuela
Webmaster



Rosa A. Delgado
Universidad de Oriente, Venezuela
Administración



Grace De Donato
Italia
Community Manager



Marycruz García-González 
Universidad de Oriente, Venezuela
Edición Digital

Operadores de la plataforma de videoconferencias



Argentina | *Pamela Rivadeneira*



Ecuador | *Alejandra Martínez, Stephanie Díaz, Adonis Carrera, Bryan Álava, Bryan Zambrano, Daysi Camacho, Emilio Jarré, Ronny Mera, Ricardo Pólit*
Coordinador: *Jorge Sonnenholzner* 



España | Coordinador: *Omar Quesada*



México | *Julio Arriaga, Becky Granja, Jordy Ureta*



Venezuela | Coordinador: *Ezequiel Zamora*

Conclusiones

Tras un gran esfuerzo organizativo, en el X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura, X FIRMA 2021 online, se alcanzaron las siguientes métricas:

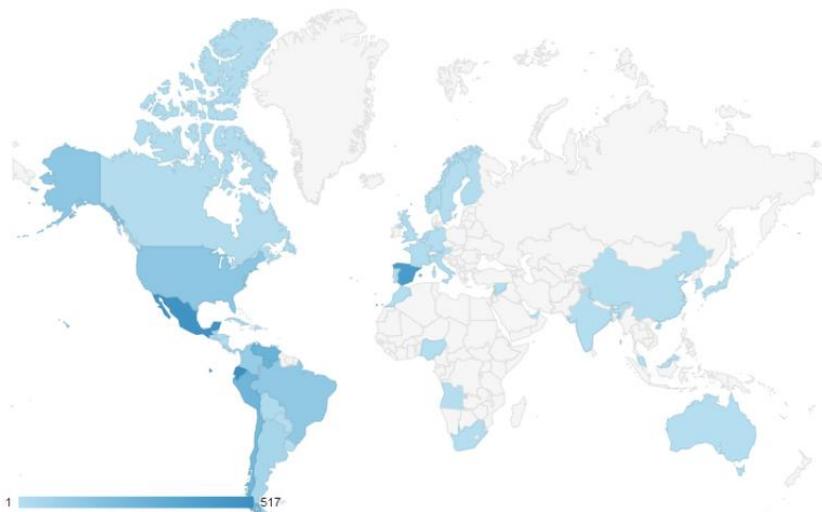
-Se desarrolló el concurso fotográfico *I PhotoFIRMA*, concediendo premiaciones a las tres mejores fotografías y 3 premiaciones honoríficas, así como una premiación a la mejor fotografía valorada por las redes sociales.

-Se realizaron 14 cursos precongreso, dictados por 20 especialistas, para la capacitación de un total de 261 personas.

-Se presentaron y discutieron temas de gran relevancia por parte de 56 especialistas en el área de los recursos acuáticos y la acuicultura, a través de 6 conferencias magistrales y 10 sesiones de discusión (con 48 ponentes), además de dos presentaciones de innovación por parte de empresas patrocinadoras.

-Un total de 1.528 inscritos codificados con 182 trabajos científicos presentados, en formato de e-póster o videos, de los cuales se premiaron los tres mejores trabajos, además de concederse 3 premiaciones honoríficas.

-Durante la semana del evento, hubo un total de 2.952 usuarios diferentes entrando a nuestra página del Foro, 8.108 sesiones de navegación diferentes con 41.169 visitas a la página del portal, desarrollándose 6.200 accesos individuales al sistema externo del X FIRMA 2021 online. La distribución geográfica fue la siguiente:



Los diez países con mayor número de accesos, según información geográfica de acceso fueron, en orden descendente: Ecuador, México, España, Venezuela, Perú, Chile, USA, Brasil, Colombia y Argentina. Además de los países de Iberoamérica, hubo accesos de otros países de Europa, África, Asia y Oceanía, destacándose Noruega.

Nuestro canal de YouTube tuvo 5.600 visualizaciones de las grabaciones de las conferencias y sesiones de discusión.

Todas las métricas indican que el X FIRMA 2021 online fue un gran evento a nivel iberoamericano y mundial, y las opiniones emitidas por los participantes de diferentes instituciones y países, así como la de algunos promotores de ciencia, investigación y desarrollo, dan fe de su elevada calidad. Para una consulta sobre estos aspectos, les dejamos el *link* de la clausura, un acto sencillo y emotivo:

<https://www.youtube.com/watch?v=bN4B2KsOdMQ>

Gran parte del patrocinio nos permitió apoyar a estudiantes e investigadores con restricciones económicas para que pudieran participar en el evento, lo cual nos enorgullece, ya que es una forma de incentivar el desarrollo en toda Iberoamérica.

Tal como han expresado representantes de instituciones de desarrollo, el X FIRMA 2021 online resultó ser un evento que ha marcado una apertura en la discusión sobre recursos acuáticos y la acuicultura en Iberoamérica y el mundo, pudiendo así cumplir con el lema del X FIRMA: *Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad.*

Mejores trabajos científicos

Dado el número de trabajos presentados, y la elevada calidad de los mismos, los jurados representados por especialistas de las diferentes áreas tuvieron una gran tarea, la cual se extendió unas dos semanas más de la finalización del X FIRMA 2021 online, los trabajos ganadores fueron:

Primer Premio

Genes relacionados al crecimiento compensatorio en el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*

7-12 febrero 2021  X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura
Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad

 **Genes relacionados al crecimiento compensatorio en el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*.** 

Alberto Peña Rodríguez^{1*}, María de Jesús Cota Quintero¹, Regina Elizondo González¹,
Julián Gamboa Delgado².

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur, México.
²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

*E-mail: apena@cibnor.mx



Segundo Premio

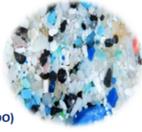
Microplásticos muestreados en una playa de Cumaná-Venezuela (mayo 2019): Análisis por espectroscopia FTI

7-12 febrero 2021  X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura
Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad

Universidad de Oriente

 **Microplásticos muestreados en una playa de Cumaná-Venezuela (mayo 2019): Análisis por espectroscopia FTIR**

 Blanca Rojas de Gascue^{1*}, Ivis Fermín², Lillanny Vallejo³,
 Valentina González³, Joselyn Acosta², Edgar García²,
 Arnaldo Ramírez¹, Malker Patiño³



¹Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas (IIBCA-UDO)
²Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV-UDO)
³Unidad Educativa Fe y Alegria, Cumaná-Venezuela.

*blanca_gascue@yahoo.com/blanca.gascue@gmail.com

Tercer premio

La conectividad entre poblaciones del cangrejo marino *Liocarcinus depurator* en la transición atlanto-mediterránea



LA CONECTIVIDAD ENTRE POBLACIONES DEL CANGREJO MARINO *LIOCARCINUS DEPURATOR* EN LA TRANSICIÓN ATLANTO-MEDITERRÁNEA

Mestres F¹, Sellés M¹, Rojo E¹, Lagares C¹, Serra B¹, Ojeda V¹, Abelló P²

¹Dept. de Genètica, Microbiologia i Estadística, Universitat de Barcelona, Barcelona.

²Institut de Ciències del Mar (CSIC), Barcelona.

E-mail: fmestres@ub.edu



Menció honorífica

Quem conta um conto aumenta um ponto: cuidados com a etnobaseline



Quem conta um conto aumenta um ponto: cuidados com a etnobaseline

Santos SRB¹, Macedo MLC¹, Maciel TR¹, Souza GBG¹, Almeida LS², Gadig OBF³, Vianna M¹



¹BioTecPesca – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ/Brasil

²Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ/Brasil

³Universidade Estadual Paulista, São Vicente, São Paulo/Brasil

E-mail: srbs.ufrrj@gmail.com

Mención honorífica

Actividades antrópicas en el manejo de la langosta (*Panulirus argus*) en la zona norcentral de Cuba

7-12 febrero 2021



X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura
Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad

ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL MANEJO DE LA LANGOSTA (*PANULIRUS ARGUS*) EN LA ZONA NORCENTRAL DE CUBA

Susana Cobas¹ y Rafael Puga¹

¹Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP)

E-mail: susanablue@gmail.com

Mención honorífica

Análisis transcriptómico de la respuesta inmune de juveniles de almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*) a compuestos bioactivos altamente diluidos

7-12 febrero 2021



X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura
Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad

Análisis transcriptómico de la respuesta inmune de juveniles de la almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*) a compuestos bioactivos altamente diluidos

Jesús Antonio López-Carvalho^{1,a}, José Manuel Mazón-Suástegui^{1,b}, Guadalupe Fabiola Arcos-Ortega^{1,c}, Dariel Tovar-Ramírez^{1,d}, Miguel Ángel Hernández-Oñate^{2,e}, Fernando Abasolo-Pacheco^{3,f}

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México.
²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México.
³Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

E-mail: alopezcarvalho@gmail.com



Concurso fotográfico I *PhotoFIRMA*

Con el objetivo de captar en imágenes el maravilloso mundo de los recursos acuáticos y la acuicultura, se organizó el I concurso fotográfico FIRMA, I *PhotoFIRMA*, incentivando a los participantes del X FIRMA 2021 online. Las fotos servirán para nuestra galería FIRMA y algunas con conceptos de acuicultura serán escogidas para las portadas de la revista científica *AquaTechnica*, revista asociada al FIRMA.



Se recibieron unas 70 fotografías de los participantes, siendo seleccionadas por una decena de especialistas y resultando ganadoras las siguientes fotografías:



La nacra, *Pinna nobilis*, se encuentra en peligro crítico de extinción en todo el Mediterráneo a causa de una enfermedad protozoaria. En España, las últimas poblaciones se localizan en el Delta del Ebro y el Mar Menor. La foto muestra un grupo de nacras recientemente translocadas en la Bahía dels Alfacs, Delta del Ebro. Los individuos fueron rescatados de una barra de arena donde estaban expuestas al estrés y mortalidad por desecación, y trasladados a una zona adyacente de mayor profundidad para su seguimiento.

Al fondo se observan el macizo montañoso del Montsiá, un referente geográfico de la zona. Proyecto: Recupera Pinna. Entidad financiadora del proyecto: Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, España.

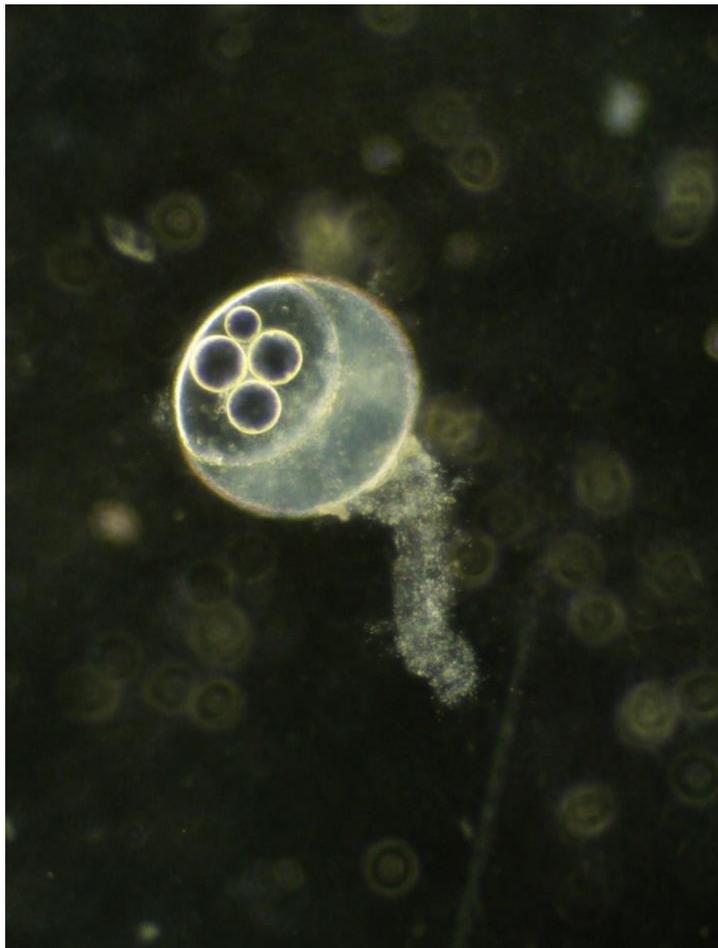
Nacras del Delta del Ebro, Patricia Prado Villegas

Primer Premio

I PhotoFIRMA

| xxi |





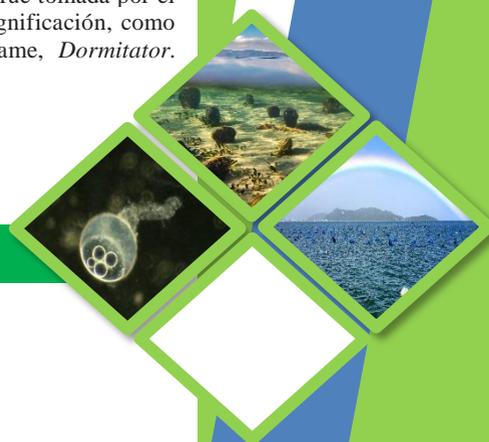
Ovocito de *Dormitator latifrons* sin fecundar, obtenido por inducción al desove de reproductores mantenidos en la Escuela de Acuicultura y Pesquería de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. La imagen muestra un ovocito sin fecundar, de aspecto redondeado con varios glóbulos de grasa al lado del vitelo y numerosos filamentos formando un mechón que permite la fijación del huevo. Esta imagen fue tomada por el autor con contraste de fase en un microscopio BX53 a 100X de magnificación, como parte del proyecto de investigación “Aspectos biológicos del chame, *Dormitator latifrons*, en ambientes naturales y de producción” que tiene como uno de sus objetivos cerrar el ciclo biológico de esta especie.

Ovocito de Dormitator,
Ana María Santana Piñeros

Segundo Premio

I PhotoFIRMA

| xxii |





El estado de Santa Catarina en el sur de Brasil es el mayor productor de moluscos bivalvos en el país y bajo las carrozas esconde un delicioso tesoro nacional: el mejillón *Perna perna*.

**Tesoro escondido bajo arco de iris,
Daniel de Miranda Lins**

Tercer Premio

I PhotoFIRMA

| xxiii |





El Erizo de Mar Negro *Arbacia stellata* Alimentado con Dietas Formuladas: Alimentación del erizo de mar negro *Arbacia stellata*, suministrando una dieta formulada, la cual está compuesta principalmente harina de cefalotórax de camarón *Penaeus vannamei* (44g/100g). La dieta elaborada demostró buena aceptación por parte del erizo de mar negro, permitiendo un crecimiento positivo para la especie en mención. *Screen reader support enabled.*

El Erizo de Mar Negro,
Jonathan Eduardo Pincay Espinoza

Mención honorífica

| PhotoFIRMA

| xxiv |





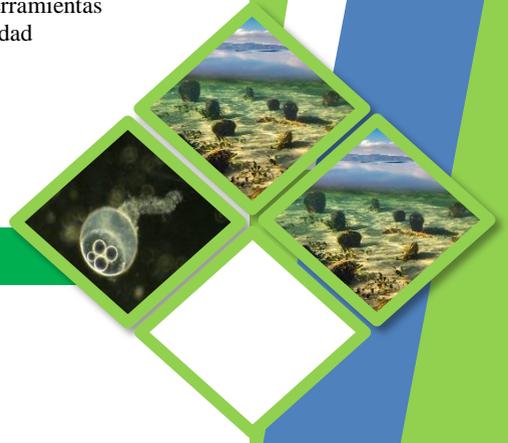
Esta imagen sencilla pero muy significativa muestra a un pescador artesanal de la costa central de Chile, que pasó su vida en el mar buscando su sustento, pero ahora pone sus energías, esperanzas y futuro en la acuicultura de algas. Este registro muestra un caso real y exitoso de transferencia tecnológica, en donde se han dado las herramientas para incorporar a la acuicultura de pequeña escala como una actividad productiva que promueve el paso de la extracción a la producción.

Mirada de futuro, Cristian Bulboa

Mención honorífica

I PhotoFIRMA

| xxv |





Un mangle muerto desde sus raíces hasta las ramas a orilla de la playa, cuyas ramas esqueléticas quedaron erguidas al cielo.

Todo por nada, Edward Steeven Herrera Canales

Mención honorífica

I PhotoFIRMA

| xxvi |





Playa Los Corales. Edo. La Guaira. Venezuela. Biodiversidad presentes en las zonas rocosas dónde los organismos subsisten cómo: Moluscos, Crustáceos y Algas marinas. Viviendo con fuerza y fortaleza, su importancia permite mantener la dinámica ecosistemática. Los recursos marinos pueden ser aplicados en su gran mayoría para cultivo en desarrollo económico sustentable. Debemos mantener su belleza y equilibrio que brinda la naturaleza, y no crear impacto ambiental a estos seres vivos.

Biodiversidad rocosa al natural, Nelson Ramírez

Fotografía seleccionada en las redes sociales



Índice General

	Pág.
Como citar este libro	ii
Agradecimientos	iii
Patrocinadores	vii
Presentación	viii
Comité organizador del X Firma online 2021	xi
Conclusiones	xv
Mejores trabajos científicos	xviii
Concurso fotográfico I PhotoFIRMA	xx
Sesiones de trabajo	xxxvi
Sesión 1 Recursos Marinos	
José Javier Alió Mingo, Omar Defeo, Erika Vásquez, Jorge Pérez-Bouzada, Meyling Tang	
Sesión 2 Productos acuícolas en y post pandemia	21
Manuel Rey-Méndez, Carlos Pereira Dopazo, José Antonio Camposano, Darryl Jory, Acacia Alcivar-Warren	
Sesión 3 Cultivo de especies salmonídeas: algunos aspectos relevantes y lecciones para el futuro de la industria en Chile y en América Latina	46
Doris Soto, Rubén Avendaño-Herrera, Jorge León-Muñoz, Fernando Norambuena	
Sesión 4 Cultivo de tilapia	51
Alfonso N. Maeda-Martínez, Paola Barato, Javier Escobar, Alejandro Godoy, Jorge Galindo-Villegas	
Sesión 5 Cultivo de Camarones	57
Jorge Cuellar Anjel, John Hargreaves, Marco De Donato, Óscar García, Arturo Rojas	
Sesión 6 Cultivo de moluscos en Iberoamérica	71
César Lodeiros, Eugenio Yokota Beuret, Jaime Mendo Aguilar, Jorge Chávez, Francisco Fonseca	
Sesión 7 Cultivo de equinodermos en Iberoamérica	83
Jorge Sonnenholzner, Tamara Rubilar, Jeremie Bauer, Juan Manuel Estrada Arias, Luis Felaco, Mauricio Castrejón	
Sesión 8 Diversificación en la Acuicultura	117
Paul M. Baltazar Guerrero, Christian Berger Cebrelli, Javier Ojeda, Ricardo Pereira Ribeiro, Alejandra Torres Ariño, Cristian Bulboa Contador, Héctor Ricardo Flores Gatica	
Sesión 9 Más allá de la mejora genética	128
Marcos De Donato, José M. Yáñez, Ricardo Pérez-Enríquez, Juan Manuel Afonso, Raúl Llera-Herrera	
Sesión 10 Cooperación Iberoamericana en pesca y acuicultura	141
Nieves González-Henríquez, Alejandro Flores Nava, Graciela Pereira, Enric Gilbert, Raúl Castillo Rojas	
Trabajos en extensos	

Biodiversidad, conservación y evaluación de recursos

- Evaluación de una dieta a base de Pleco (*Pterygoplichthys* sp.) para cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en cautiverio** 157
Erika Cecilia Maya Albarrán, Elvia Margarita Romero Treviño, Ramón Eduardo Martínez Grimaldo, Ana Lilia Avilés Mariño
- Influencia de la surgencia costera y estratificación sobre la condición fisiológica de *Echinometra lucunter* en Isla Lobos, Venezuela** 167
Jeny Reyes-Lujan, Daniel Polanco-Marin, Edgar Zapata-Vivenes, Dwight Arrieche, César Lodeiros Seijo
- Quem conta um conto aumenta um ponto: cuidados com a mudança de paradigm** 176
Sérgio Ricardo Brito Santos, Márcio Luís Chagas Macedo, Thaís Rodrigues Maciel, Gabriel Barros Gonçalves Souza, Laís da Silva Almeida, Otto Bismarck Fazzano Gadig, Marcelo Vianna
- Estudio de la variabilidad genética en poblaciones mediterráneas del cangrejo bañal *Geryon longipes*** 193
Mestres F, Lagares C, Rojo E, Serra B, Colmenero A, Abelló P.
- Diagnóstico del desarrollo sostenible de la comunidad pesquera de Adícora. Dimensión de ecosistema (recurso y medio ambiente)** 204
María Virginia Guanipa Maldonado, Jesús Méndez, Luis González
- Evaluación preliminar del zooplancton de la Laguna Costera Boca de Caño, Península de Paraguaná- Estado Falcón** 214
Jesús Méndez, María Guanipa, Luis González, Mario Nava, Jenny Reyes, Roberta Mora
- Distribución espacio-temporal de los recursos pesqueros en el Golfo de Venezuela** 227
Orlando Pomares, Ricardo Molinet, Jorge Jurado
- Los expendios populares de productos pesqueros como estrategia para la enseñanza de la ictiología** 247
Otto Enrique Castillo González, Álvaro Luis Cedeño Luna, Albany Nacarid Castillo Valdez
- Peces comerciales asociados a la migración ascendente del río Arauca binacional de Colombia y Venezuela** 270
Mailuet V. López Gómez, Otto E. Castillo González
- Peces del río Atabapo: Visión etnoictiológica del pueblo Curripaco, municipio Atabapo, estado Amazonas, Venezuela** 288
Álvaro Luis Cedeño Luna, Yurilandy Jhoana Giraldo Romero, Otto Enrique Castillo González
- Efecto del pretratamiento enzimático de *Ulva ohnoi* como ingrediente potencial en piensos para acuicultura** 305
F.P. Martínez-Antequera, J.M. Reyna, M.J. Aznar, F.J. Moyano

Comparación entre enzimas comerciales o de origen marino para la hidrólisis de carbohidratos presentes en macroalgas	320
Domingo, A.C., Fernández, L., Martínez-Antequera, F.P, Moyano, F.J.	
Caracterização lipídica em gônadas e trato digestório de <i>Holothuria (Halodeima)</i> grisea Selenka, 1867 na costa subtropical do Brasil	333
Yara Aparecida Garcia Tavares, Matheus Pires Miranda, Natalie Semanosvchi, Heiddy Alvarez, Walter Ramos Pinto Cerqueira, Emily L. Gazineu	
Estudio poblacional de la ortiguilla de mar (<i>Anemonia sulcata</i>) en su entorno natural	351
Eva Encarnación Rufino Palomares, Ana Esther Ortiz Maldonado, Carolina Alonso Pozas, Pedro Antonio Álvarez Molina, Cristina Elena Trenzado Romero, Amalia Pérez Jiménez	
Macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana en playa “La Caracola”, estado Nueva Esparta, Venezuela	361
Yormarys Fernández-Fuentes, Yuraima García-González	
Contribución al estudio de la distribución del ictioplancton en el mediterráneo marroquí	370
Diouri Lamia, Abdelouahab Hinde, Soukri Abdelaziz, Malki Mohamed, Baibai Tarik	
Identificación del fitoplancton presente en laguna costera Boca de Caño, Península de Paraguaná - Estado Falcón	382
Jesús Méndez, María Guanipa, Ronald Moreno, Luis González, Roberta Mora	
Evidencias de mal manejo en la pesquería del cangrejo azul (<i>Callinectes sapidus</i>, Rathbun, 1896) en el Lago de Maracaibo y un dispositivo para mitigar la mortalidad por descarte	405
David Mejías, Misael Molina	
Pesquería de tajali (<i>Trichiurus lepturus</i>) en Venezuela Caso golfo de Venezuela	413
Luis del V. González Rodríguez, Jesús A. Méndez, María V. Guanipa, José R. Rengel	
30 Años de evaluación (CPUE) de la eliminada flota industrial de arrastre en el golfo de Venezuela (1956-2004)	422
Luis González Rodríguez, (✉) Rodolfo Álvarez Castillo, Orlando Pomares Ferraz.	
Influencia de las actividades antrópicas en el manejo de la pesquería de langosta en la zona norcentral de Cuba	434
Susana Cobas, Rafael Puga	
Consumo efectivo per cápita de pescado en Ecuador durante el año de la pandemia 2020	448
Ormaza-González Franklin I., Bobadilla-Córdova Nayiva D., Casa-Pérez Ángeles V., Chuya-Zhangallimba Darwin B., Enderica-Posligua César A., García-Coloma María J., Intriago-Basurto Analía, Mendoza-Camino Kelly D., Palate Cagua Jessica A.	

Ciclo reproductivo del gasterópodo <i>Opeatostoma pseudodon</i> (Burrow, 1825), de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca, México	459
Verónica Mitsui Saito-Quezada, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte, Esther Uría-Galicia	
Multivariate and likelihood tests for aquatic organisms' growth expression comparison	476
Salgado-Ugarte, Isaías Hazarmabeth, Verónica Mitsui Saito-Quezada, García-Martínez Alan, Chacón-Ramírez Leonardo	
La conectividad entre poblaciones del cangrejo marino <i>Liocarcinus depurator</i> en la transición Atlántico-mediterránea	495
Francisco Mestres, María Sellés M, Eva Rojo, Clàudia Lagares, Bruna Serra, Víctor Ojeda, Pere Abelló	
Tissue-expression pattern of <i>elovl4</i> genes in <i>Sparus aurata</i> and <i>Solea senegalensis</i>: from larvae to adult	512
M. Torres, F. Hontoria, Ó. Monroig, I. Varó, J.C. Navarro	
Estudio preliminar de la diversidad genética y la filogenia molecular de <i>Girella laevis</i> de la costa central del Perú	525
César Abram Cruz-Castellón, David Cordero, Carlos Saavedra	
Subsídios para a exploração comercial de ovas de <i>Echinometra lucunter</i> (Linnaeus, 1758) no sul do Brasil	537
Yara Aparecida Garcia-Tavares, Natalie Petrovna Semanovschi	
Living together, feeding apart: trophic ecology of three demersal sharks in the North-east Atlantic	551
Lola Riesgo Torres, Francisco Baldó, José Luis Varela	
Infección por <i>Klebsiella variicola</i> en calamar gigante <i>Dosidicus gigas</i> (d'Orbigny, 1835)	564
Leonela Griselda Muñoz-Chumo, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Ramón Isea-León, Yanis Cruz-Quintana	
Variación espacio temporal metales pesados en organismos bentónicos de la ensenada de carenero, estado Sucre, Venezuela	573
Romero Patricia, Acosta Vanessa, Márquez Aristide, Deudedith Hernández	
Marcadores de estrés oxidativo e índices moleculares (ARN: ADN y Proteína: ADN) en <i>Donax denticulatus</i> (Linné, 1758) colectado en zonas impactadas post-derrame petrolero	584
Edgar Zapata-Vívenes, Nataly Ruiz-Brito	

Acuicultura

- ¿Qué tan biosegura es mi granja acuícola? Cómo puede un productor evaluar la bioseguridad en sus instalaciones de acuicultura** 600
Arnaldo Figueredo
- Holotúrias do litoral de Santa Catarina (Brasil): captura ilegal e potencial para a aquicultura** 607
Guilherme Sabino Rupp, Adriano Weidner Cacciatori Marenzi
- Algunas aplicaciones de las técnicas nucleares y de química analítica en la acuicultura** 619
Sara Levy, Arnaldo Figueredo, Jean Marval, Andrés Quintero, Carlos Ibarra, José Villamizar
- Influência do sistema de cultivo nos índices fagocíticos de Jundiá (*Rhamdia quelen*, Quoy & Gaimard, 1824)** 657
Renata Stecca Lunes, André Luiz Veiga Conrado, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva
- Uso del extracto del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), como anestésico para el manejo de juveniles de peces marinos** 667
Jesús F. Marcano Moreno, Jesús F. León Rojas
- Evaluación de piensos de valor nutritivo mejorado sobre el rendimiento productivo y metabolismo de la lisa (*Mugil cephalus*)** 676
Isabel Barranco-Ávila, Francisca Purificación Martínez-Antequera, Francisco Javier Moyano, Juan Miguel Mancera, Juan Antonio Martos-Sitcha
- Ganho de peso de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen* mantidos em diferentes sistemas de criação** 696
André Luiz Veiga Conrado, Renata Stecca Lunes, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva
- Influencia de la temperatura sobre la tasa de consumo de vitelo y gota de aceite en las larvas de pargo flamenco *Lutjanus guttatus*** 707
María Isabel Abdo-de la Parra, Gustavo Alejandro Rodríguez-Montes de Oca, Luz Estela Rodríguez-Ibarra, José Cristóbal Román-Reyes, Gabriela Velasco-Blanco
- Abundancia y biomasa de los recursos pesqueros del Golfo de Venezuela después de la eliminación de la pesca industrial de arrastre** 719
Orlando Pomares, Ricardo Molinet, Jorge Jurado
- Valor nutricional de la harina de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis*) en la alimentación de peces** 740
Fernando Ramón Isea-León, Víctor Hugo Zambrano-Andrade, Rodolfo Patricio Panta-Velez, Jesús Sismal-Gándara, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medrandá, Ana María Santana-Piñeros, Yanis Cruz-Quintana

- Respuesta fisiológica de la tenca (*Tinca tinca*) a cambios en la salinidad del medio** 748
Amalia Pérez-Jiménez, Eva E. Rufino-Palomares, Milton Webster, Cristina Trenzado-Romero
- Presencia de *Trichodina* sp. (Ciliophora: Trichodinidae) en cultivos experimentales de pre-larvas y larvas de *Dormitator latifrons*** 760
Byron Manuel Reyes-Mero, Ana María Santana-Piñeros, Yanis Cruz-Quintana, Fernando Isea León y Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda
- Efectos de la adición del péptido GHRP-6 en la dieta de la dorada (*Sparus aurata*): implicaciones en el rendimiento productivo y metabolismo intermediario** 767
I. Martí, L. Rodríguez-Viera, R. Martínez, J.M. Mancera, J.A. Martos-Sitcha
- Efecto de la harina de soja en la actividad y expresión de la SOD de tenca** 792
Trenzado, Cristina E., Pérez-Jiménez, Amalia, Guevara-Argueta, Lesly Y., Martínez-Rodríguez, Jonathan R., García-Mesa, Sergio, Pula, Héctor, Rufino-Palomares, Eva E.
- Infección por *Aeromonas caviae* en chames *Dormitator latifrons* cultivados en Ecuador** 805
Yanis Cruz-Quintana, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Isea León, Leonela G. Muñoz-Chumo, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda, Byron Manuel Reyes-Mero
- Producción de semilla de almeja babosa (*Venerupis corrugata* Gmelin, 1791), almeja japonesa (*Ruditapes philippinarum* Adams & Reeve, 1850), almeja fina (*Ruditapes decussatus* Linnaeus, 1758) y ostra plana (*Ostrea edulis* Linnaeus, 1758) en una instalación tipo minicriadero con sistemas de preengorde de flujo pasivo en batea y de flujo forzado en tierra** 813
Lastres M., Andrés M.C., Novoa S., Ojea J., Martínez Patiño D., Barja J.L., Prado S., Montes J., Cid E., Marchena M., Buceta H., Castro Y., Dios L. y González M.
- Captación de semillas de moluscos bivalvos en sustratos artificiales en Punta de Piedras, Venezuela, entre septiembre 2017 y enero 2018** 826
Jhonathan Emil Bermúdez-Salazar, Emilio Patricio Bermúdez Salazar, Carmen del Valle Cardona Brito, Gertrudis Margalit Mizrachí Fernández, Antonietta Salazar, Lisbeth del Valle Villarroel Butto, Andrea Marval
- Evaluación de diferentes modelos de cestas en el cultivo final de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador** 834
Katty Maricela Cagua Alcívar, Ileana Pamela Lucas Lucas, Luis Manuel Treviño, Jorge Vélez-Falcones, Alan García Bermúdez, César Lodeiros
- Adaptación en jaulas de semillas de concha prieta (*Anadara tuberculosa*), producidas en laboratorio a zonas de ecosistema de manglar** 843
Diego Cumbicos Ortega. Heydy González Rojas

Evaluación de probióticos aislados en costas marinas contra <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (AHPND) en <i>Litopenaeus vannamei</i>	851
Lucio Galaviz-Silva, Gabriel Enrique Cázares-Jaramillo, José C. Ibarra-Gámez, Vida Mariel Molina Garza, Ricardo Sánchez-Días, Zinnia Judith Molina-Garza	
Actividad antagonica de bacterias aisladas de ecosistemas marinos frente a <i>Vibrio parahaemolyticus</i> AHPND como patógeno de importancia acuicola	865
Zinnia Judith Molina Garza, Gabriel Enrique Cázares Jaramillo, José Cuauhtémoc Ibarra Gámez, Lucio Galaviz Silva	
Cultivo experimental de camarón blanco <i>Penaeus vannamei</i> (Boone, 1931) en tecnología biofloc	883
Elina Rodríguez-Barbosa, Luis E. Rodríguez, Pedro Rodríguez, Dilcia Morales, Anilec Benítez, Asdrúbal Rodríguez, Eduardo Casttles, Tomás Cabrera	
Distribución, producción y potencialidad del ostión <i>Crassostrea</i> spp (Bivalvia: Ostreidae) en Cuba	901
Abel Betanzos-Vega, José Manuel Mazón-Suástegui, Barbarito Jaime Ceballos, Gustavo Arencibia Carballo	
Estrategias de reproducción en cautividad de la ortiguilla de mar (<i>Anemonia sulcata</i>) para optimizar su reintroducción en el medio natural	909
Ana Esther Ortiz Maldonado, Amalia Pérez Jiménez, Pedro Antonio Álvarez Molina, Eva Encarnación Rufino Palomares, Carolina Alonso Pozas, Cristina Elena Trenzado Romero	
Cultivo, in situ, de fragmentos de coral <i>Mussismilia harttii</i> en dispositivos impresos en 3D	920
María Gabriela Moreno Ávila, Amanda Lucena dos Santos, Pedro Vitor Vasconcelos Silva, Ranilson de Souza Bezerra, Rudã Fernandes Brandão Santos	
Calidad del agua en el centro de acopio de langosta “El Mosquito”, Cuba	933
Teresita de Jesús Romero López, Gerardo Suárez Álvarez, Aylín Pérez Daniel	
Diseño y construcción de balsas flotantes para el cultivo de mejillones (<i>Perna perna</i> y <i>Perna viridis</i>), Estado Nueva Esparta – Venezuela	940
Jhonathan Emil Bermúdez-Salazar, Carmen del Valle Cardona Brito, Gertrudis Margalit Mizrachi Fernández, Lisbeth del Valle Villarroel Butto, Javier José Zabala Zabala	
Evaluación sensorial y estimación del rendimiento en carne del chame <i>Dormitator latifrons</i>	951
Bermúdez-Medranda, A. E, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Isea- León, Yanis Cruz-Quintana	
Caracterización genómica de poblaciones: Impacto de la diversidad genética y la endogamia	959
Ricardo Pérez-Enríquez	

Biotecnología y bioproductos

Avaliação do efeito da redução de sal e aplicação de extrato de casca de pinheiro sobre o tempo de armazenamento de carapau fumado (*Trachurus trachurus*) 970

Diana Barros, Manuela Vaz-Velho

Genome association study for molecular differentiation of Neotropical catfishes *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus grosskopfii* 988

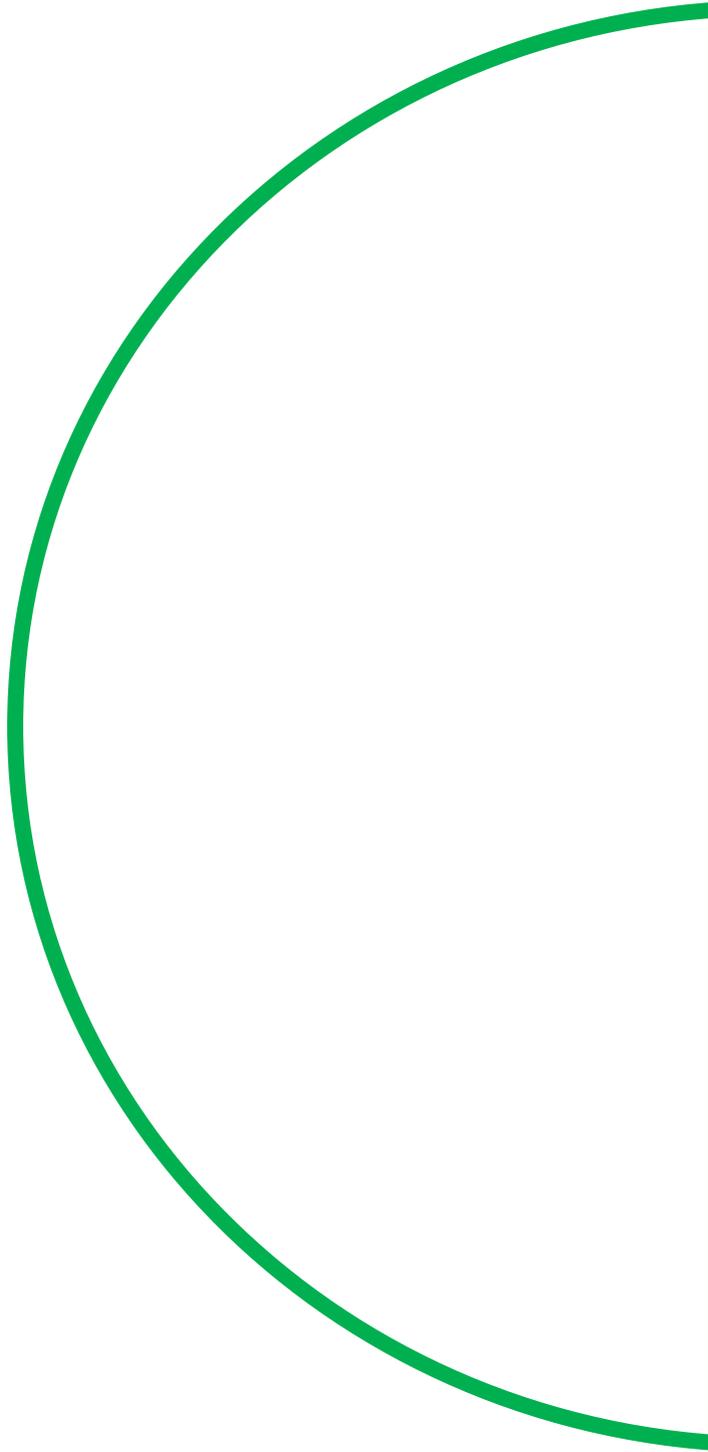
José Gregorio Martínez, Edna Judith Márquez

Looking for molecular IDs to discriminate the Neotropical catfishes *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus yuma* 1000

José Gregorio Martínez, Edna Judith Márquez

Posters

1011



SESIONES – MESAS DE TRABAJO

Sesión 1 | Recursos Marinos

José Javier Alió Mingo, Omar Defeo, Erika Vásquez, Jorge Pérez-Bouzada, Meyling Tang. **1-20**

Sesión 2 | Productos acuícolas en y post pandemia

Manuel Rey-Méndez, Carlos Pereira Dopazo, José Antonio Camposano, Darryl Jory, Acacia Alcivar-Warren **21-45**

Sesión 3 | Cultivo de especies salmonídeas: algunos aspectos relevantes y lecciones para el futuro de la industria en Chile y en América Latina

Doris Soto, Rubén Avendaño-Herrera, Jorge León-Muñoz, Fernando Norambuena **46-50**

Sesión 4 | Cultivo de tilapia

Alfonso N. Maeda-Martínez, Paola Barato, Javier Escobar, Alejandro Godoy, Jorge Galindo-Villegas **51-56**

Sesión 5 | Cultivo de Camarones

Jorge Cuellar Anjel, John Hargreaves, Marco De Donato, Óscar García, Arturo Rojas **57-70**

Sesión 6 | Cultivo de moluscos en Iberoamérica

César Lodeiros, Eugenio Yokota Beuret, Jaime Mendo Aguilar, Jorge Chávez, Francisco Fonseca **71-82**

Sesión 7 | Cultivo de equinodermos en Iberoamérica

Jorge Sonnenholzner. Tamara Rubilar, Jeremie Bauer, Juan Manuel Estrada Arias, Luis Felaco, Mauricio Castrejón **83-116**

Sesión 8 | Diversificación en la Acuicultura: relatoría

Paul M. Baltazar Guerrero, Christian Berger Cebrelli, Javier Ojeda, Ricardo Pereira Ribeiro, Alejandra Torres Ariño, Cristian Bulboa Contador, Héctor Ricardo Flores Gatica **117-127**

Sesión 9 | Más allá de la mejora genética

Marcos De Donato, José M. Yáñez, Ricardo Pérez-Enríquez, Juan Manuel Afonso, Raúl Llera-Herrera **128-140**

Sesión 10 | Cooperación Iberoamericana en pesca y acuicultura

Nieves González-Henríquez, Alejandro Flores Nava, Graciela Pereira, Enric Gilbert, Raúl Castillo Rojas **141-152**



José Alió
Universidad Laica Eloy Alfaro
de Manabí, Ecuador



Omar Defeo
Universidad de República
de Uruguay



Meyling Tang
Tres Peces Gastronómica
SPA, Chile



Jorge Pérez-Bouzada
Marine Instruments,
S.A., España



Erika Vázquez
Cinvestav Mérida,
México

Sesión 1 | Recursos Marinos

Marine Resources

José Javier Alió Mingo¹, Omar Defeo², Erika Vásquez³, Jorge Pérez-Bouzada⁴, Meyling Tang⁵

¹ Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Manabí, Ecuador.

² Laboratorio Ciencias del Mar, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

³ CINVESTAV, Mérida, México.

⁴ Marine Instruments, S.A., Galicia, España

⁵ Fundación COCINAMAR y Tres Peces, Chile.

 **José Javier Alió Mingo** () E-mail: josejavieralio@gmail.com

RESUMEN | Las actividades de la pesca extractiva en el mundo se han visto afectadas por un estancamiento generalizado de los desembarques desde finales de los años 80. La FAO (2020) indica que diversos factores han incidido en este fenómeno, entre ellos, los escasos recursos que aún quedan sin explotar, la sobrepesca a la que han sido sometidos muchos de los que actualmente se explotan; el incremento en la contaminación y perturbación por causas antrópicas de las áreas que sirven de hábitat a las especies explotadas, como el calentamiento global. La alteración en la temperatura del planeta provoca que, al dinamismo natural de las poblaciones de recursos acuáticos, se unen los cambios en los ecosistemas continentales y marinos, sobre todo en los regímenes de precipitación y corrientes. Estos han provocado desplazamientos geográficos de los recursos hacia nuevas áreas de distribución, en un fenómeno de tropicalización de las áreas con clima previamente templado. También, han originado perturbaciones en las áreas tradicionales de pesca, como el desplazamiento masivo de grandes cantidades de macroalgas, como el observado entre el Golfo de Guinea y Brasil en el océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México desde hace pocos años.

Ante la incertidumbre en la localización de los recursos pesqueros, las flotas necesitan optimizar sus operaciones, y el uso de la electrónica ha ayudado en esta tarea. Aunque esto representa también una elevación de la potencia de pesca del sector, también ha aumentado la organización de las naciones participantes en las operaciones de pesca, estableciendo mejores controles sobre la extracción de la biomasa de los ecosistemas marinos. El aumento sostenido de la población humana y su necesidad alimentaria, ha sido atendido en cada vez mayor proporción por la acuicultura. El uso que le dan las poblaciones humanas a los recursos acuáticos en el mundo difiere mucho entre continentes. La baja tasa de consumo de productos acuáticos en Sudamérica ha provocado que sea un continente exportador neto de estos productos, desaprovechando la oportunidad de mejorar la dieta de su población. En las conferencias sobre recursos marinos que se cubrieron en esta oportunidad, se atendieron ingentes problemas que afectan a los recursos marinos en el mundo, y los detalles presentados se muestran a continuación.

Palabras clave: Cambio climático, tropicalización, ENSO, ribazones de macroalgas, Sargazo, corrientes, localización de los recursos pesqueros, flotas pesqueras, electrónica marina, acústica, alimentadores automáticos, pesca responsable, diversificación del consumo, procesamiento de la pesca, cooperación entre pescadores.

ABSTRACT | Extractive fishing activities in the world have been affected by a generalized stagnation in landings since the late 1980s. FAO (2020) indicates that various factors have influenced this phenomenon, among them, the scarce resources that still remain unexploited, the overfishing to which many of those currently exploited have been subjected; the increase in pollution and disturbance by anthropic causes of the areas that serve as habitat for exploited species, such as global warming. The alteration in the temperature of the planet causes that, to the natural dynamism of the populations of aquatic resources, changes in the continental and marine ecosystems are united, especially in the regimes of precipitation and currents. These have caused geographic displacements of resources to new areas of distribution, in a phenomenon of tropicalization of areas with a previously temperate climate. They have also caused disturbances in traditional fishing areas, such as the massive displacement of large amounts of macroalgae, such as that observed between the Gulf of Guinea and Brazil in the Atlantic Ocean, the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico in recent years.

Given the uncertainty in the location of fishery resources, the fleets need to optimize their operations, and the use of electronics has helped in this task. Although this also represents an increase in the fishing power of the sector, the organization of the nations participating in fishing operations has also increased, establishing better controls on the extraction of biomass from marine ecosystems. The sustained increase in the human population and its food need has been met in an increasing proportion by aquaculture. The use that human populations give to aquatic resources in the world differs greatly between continents. The low rate of consumption of aquatic products in South America has caused it to be a net exporter of these products, wasting the opportunity to improve the diet of its population. In the conferences on marine resources that were covered in this opportunity, important problems that affect the marine resources in the world were addressed, and the details presented are shown below

Keywords | Climate change, tropicalization, ENSO, macroalgae stranding, Sargasso, currents, localization of fishery resources, fishing fleets, marine electronics, acoustics, automatic feeders, responsible fishing, diversification of consumption, fish processing, cooperation among fishers.

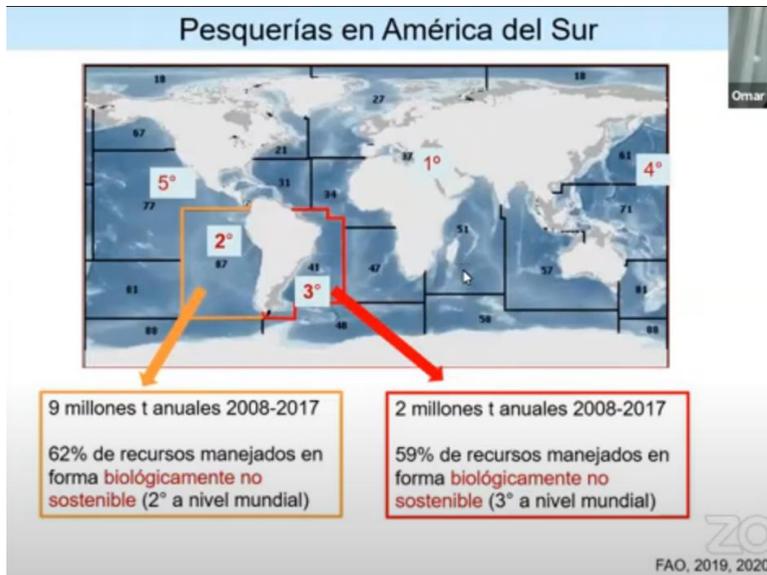
Efecto del cambio climático en las pesquerías de América Latina

Omar Defeo

La pesca no ha aumentado la producción desde 1980, pero la acuicultura mantiene un ascenso constante desde hace décadas. El aporte de las pesquerías es particularmente importante para los países de América Latina. Un 60% de los recursos según FAO no admiten un incremento del esfuerzo de pesca y solo 6% de los recursos se mantienen NO explotados. El mar Mediterráneo y los océanos Pacífico y Atlántico son en orden, las regiones donde no se manejan los recursos de manera sostenible. Pero, ¿Por qué ocurre esto?



Los recursos son utilizados por un sistema complejo de gobernanza. Hay además factores externos que afectan la disponibilidad de recursos. Las políticas gubernamentales han generado un déficit en los marcos de gobernanza, y los usuarios no suelen ser tomados en cuenta para establecer las reglas de gobernanza que se aplican a los recursos pesqueros. Esto genera desocupación y déficit de empleo.



El Atlántico Suroccidental ha sido en las últimas décadas un foco de calentamiento global, y este fenómeno ocurre a tasas superiores a las observadas en otras regiones del mundo, alcanzando los 2 °C en 140 años. Esto provoca aumento de especies invasoras, cambios en las pesquerías y en los sistemas social y ecológico, generando vulnerabilidad en las comunidades de organismos acuáticos locales y mortalidades masivas. Se ha pasado de un periodo cálido a otro frío, observándose que la isoterna de 20 °C se ha desplazado hacia los polos, con la corriente de Brasil.

Uno de los efectos se observa en la zona común de pesca argentina-uruguaya, y se han generado cambios en las capturas, empleos y en los retornos económicos. La representación de especies de aguas cálidas ha aumentado desde 1990, motivado a cambios en el régimen oceanográfico, lo que también ocasionó cambios en los mercados.

La almeja amarilla, *Amarilladesma mactroides*, es una especie de agua fría que habita desde Brasil hasta Argentina. En 2009 se detectaron mortandades masivas en todo el intervalo de distribución, afectando los sistemas social y ecológico. Las mortandades ocurrieron de Norte a Sur, asociadas al incremento de temperatura. El recurso aún no se ha recuperado y hay baja resiliencia laboral entre los pescadores, pues no hay fuentes alternativas de empleo. Adicionalmente, se ha observado un incremento de mareas rojas concomitante con el aumento de temperatura, que limita aún más la explotación de organismos filtradores de fitoplancton, como las almejas.



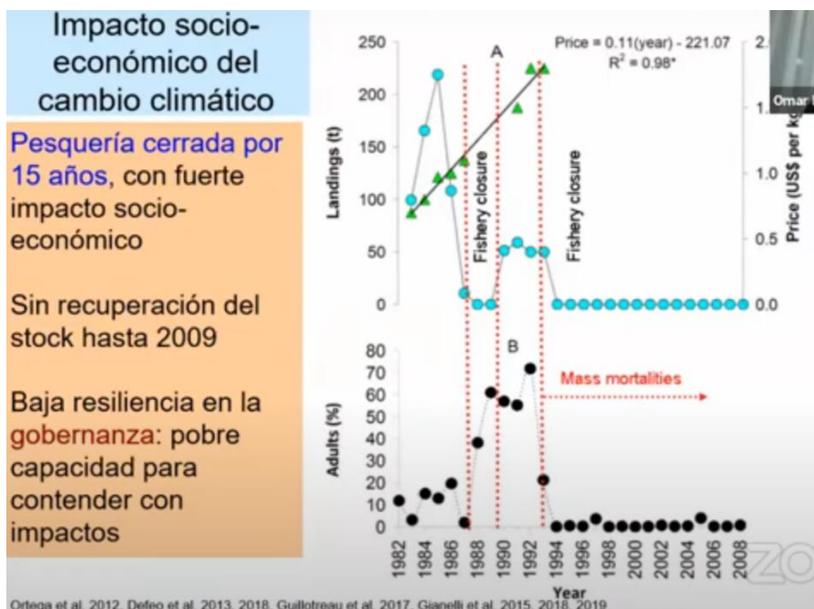
Lo mismo se ha detectado en Perú y Chile, donde hubo mortandades masivas, primero en el borde en retroceso por el Niño 82-83, 98 y 99, y luego en el Niño 2015-2016. Hay variabilidad y cambios en el clima, afectando a las poblaciones de almejas de aguas frías, y la sostenibilidad de su explotación se ve dificultada por deficiencias en la gobernanza. Se puede observar un colapso social y ecológico, sin que haya recuperación a largo plazo. Esto conduce a una pérdida social de la identidad del capital humano y sus consecuencias pueden ser duraderas. También sucede en Chile Norte, donde se ha observado una disminución marcada en las capturas, generando efectos antropogénicos negativos y un incremento en las capturas ilegales.

En la costa del Pacífico Sur latinoamericano se han observado incrementos en la periodicidad e intensidad de los fenómenos El Niño. Se han descrito como un efecto combinado de presión y pulso. Los fenómenos El Niño han actuado sistemáticamente de Norte a Sur, en forma diferencial, y se han considerado como una catástrofe silenciosa. El efecto social por lo que se ha cerrado la pesquería hasta el 2022. Hay efectos en el sistema biofísico, que genera efectos en el sistema social y ecológico.

En las islas Galápagos, se ha detectado colapso de la pesquería de pepino de mar, a pesar de que han habido incrementos en el reclutamiento del pepino. Pero ello no se refleja en el aumento de los desembarques en esta pesquería. En El Niño 97-98, se observó un incremento de 7 °C en la temperatura del agua, con una disminución en la densidad del plancton, que ocasionó una reducción de 70% en la biomasa del ecosistema. Hubo menos gasterópodos y efectos en cascada, con algunos incrementos poblacionales de ciertos recursos. Pero la mayoría de los efectos observados fueron disminuciones en la densidad de los recursos. En consecuencia, se necesita evaluar en forma conjunta los efectos potenciales de la variabilidad climática y el cambio climático actuando concurrentemente.

En Costa Rica se ha observado el efecto de los cambios climáticos en el Pacífico a través de proyecciones, sin evidencia experimental, registrándose cambios en la distribución de los recursos, extinciones (extirpaciones) locales, lo que amerita estudios de largo plazo para incrementar nuestro conocimiento de estos fenómenos.

Necesitamos esquemas adaptativos precautorios en el sistema social - ecológico. Tanto en el sistema biofísico como en los de procesamiento, comercialización, ciclo de manejo; planes participativos y adaptativos de planificación de la pesa precautoria, derechos de pesca locales, priorizar la calidad de los esquemas de comercialización, generación de sistemas de alerta temprana, sistemas de gobernanza participativos y adaptativos. Implementar las medidas en los diferentes recursos a través de la participación de los múltiples actores del sector pesquero. Necesitamos sistemas participativos con las comunidades, evaluaciones pesqueras independientes de las pesquerías.



En conclusión. Ha habido un aumento de la temperatura en el Atlántico suroccidental y Pacífico, agravado por el efecto de la variabilidad climática. Esto ha provocado desempleo social, pérdida de identidad cultural y social. Se han atribuido al cambio climático estos efectos, para lo cual hay que usar métodos de investigación de largo plazo con indicadores sociales, económicos y ecológicos. El sistema de manejo debe ser precautorio y colaborativo. Los sistemas adaptativos deben estar basados en la ciencia de largo plazo, verificable, para generar alertas tempranas. Hay otros agentes actuando, como el mercado, efectos demográficos, tecnológicos que generan dimensiones claves del cambio global al afectar concurrentemente a las pesquerías. Se exige una aproximación multidisciplinaria social, económica, biológica, oceanográfica y antropológica.

Hay efectos de cambio y variabilidad climática. Se necesita disponer de sistemas de alerta temprana. Se debe dar prioridad a aquellos recursos explotados que deben ser conservados mediante cuotas bajas de captura en áreas de exclusión o en zonas donde la estructura comunitaria sea más sensible a los efectos del calentamiento global.

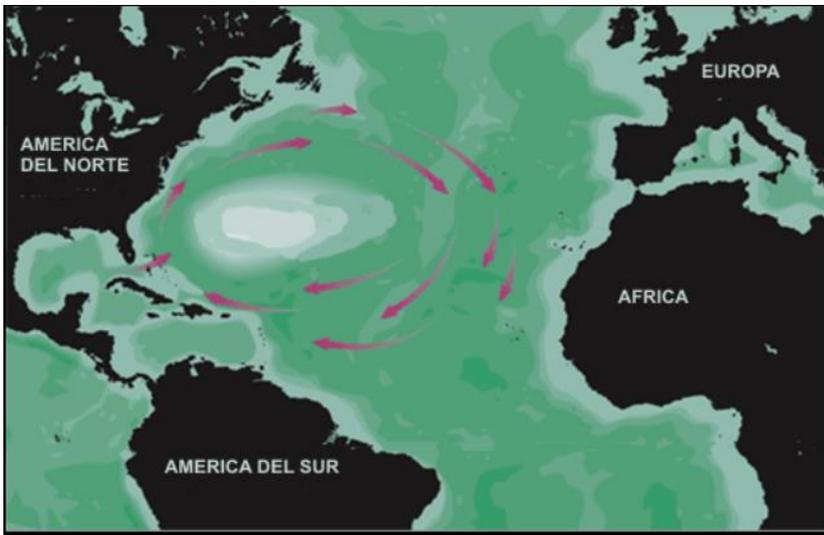
Se elevó la temperatura en el Atlántico Suroccidental en 2 °C en 140 años (0,2 grados por década). En el Mar Mediterráneo se observan la mayor cantidad de recursos sobreexplotados, pero no por cambio climático. En cuanto tiempo tardaran las pesquerías en volver a la normalidad. Depende de la resiliencia de los recursos. Hay algunos que pueden responder muy rápidamente.

Sargaso en el Mar Caribe Mexicano. Estado del conocimiento y

perspectivas

Erika Vásquez

Las ribazones del alga parda pelágica, *Sargassum* spp., constituyen fenómenos naturales de muy larga data. El sargaso forma ecosistemas flotantes muy rápido, como el del Mar de los Sargazos. Es una región del océano Atlántico septentrional que se extiende entre los meridianos 70° y 40° O y los paralelos 25° a 35° N, delimitado por cuatro corrientes que forman un giro oceánico. Constituye una zona de refugio de diversas especies, como las tortugas marinas.



Localización del Mar de los Sargazos y las corrientes marinas circundantes.

Por las corrientes marinas, parte de este material llega a las costas y crea ribazones o acumulaciones de algas en la playa, y proporciona servicios ecológicos. También, la masa de algas flotantes frente a las costas las protege de la erosión, y son un flujo de nutrientes hacia el ecotono marino terrestre. El alga mantiene altas tasas de crecimiento en las áreas costeras, donde encuentra mayor cantidad de nutrientes en comparación con las aguas oceánicas. La reproducción es vegetativa, pues no se han encontrado estructuras sexuales en las frondes del alga. Son estenohalinas y requieren fósforo para crecer. Desde 2011 se ha observado un incremento de la masa algal en la zona fuera del Mar de los Sargazos. Entre Brasil y el Golfo de Guinea se han observado cambios en las corrientes y en el tráfico marítimo que provoca transporte. En el Mar Caribe se observó en 2011, una biomasa 200 veces mayor a la usual.

Problemática en las costas del Caribe Mexicano

860 km de extensión, manejo enfocado sólo 170 km del litoral (área turística)

Sin manejo



Puerto Morelos **Akumal**

Con manejo

Cancún



- Descomposición de la biomasa
- Condiciones de hypoxia/anoxia en aguas adyacentes a la costa
- Exceso de materia orgánica particulada (MOP)
- Coeficientes de atenuación de luz altos en localidades con alta MOP
- Exceso de nutrientes

- Compactación de la arena (maquinaria pesada)
- Remoción de arena (alto porcentaje)
- Sitios de disposición inadecuados y no regulados
- Barreras de contención no efectivas, hundimiento de biomasa y descomposición



Tiraderos clandestinos



Zona Muerta

Estos fenómenos en las costas de México causaron contaminación de las playas y afectación de las actividades turísticas y la salud. En México, la acumulación de Sargazos en las costas ha representado diferentes escenarios. En los 860 km de extensión de costa, al menos han estado afectados 160 km en las zonas de mayor interés turístico. El problema es diferente donde no hay manejo, pues se observa la acumulación masiva de algas en las playas que genera anoxia y descomposición de la biomasa algal. Además, en las zonas de gran acumulación de materia orgánica flotante, se dificulta el paso de la luz solar hacia los fondos, afectando las comunidades en el lecho marino.

Donde sí ha habido manejo de la masa algal, se han detectado otros problemas. Uno es la compactación de la arena por la maquinaria pesada que se utiliza para recolectar el sargazo, además de la remoción de la arena durante las labores de recolección de las algas, que suelen contener 50% de arena. Hay tiraderos donde se acumulan las algas y puede que los lixiviados contaminen los niveles freáticos.

Ha habido intentos interesantes de manejo, como el de la empresa DESMI, que crea una barrera de desviación y se recolecta la biomasa algal antes de que llegue a las playas, de manera que se recoge menos arena. Otra se observa en un hotel que tiene un cernidor de arena, que la separa de la biomasa algal, colocándola nuevamente en las playas.

También se ha tratado de aprovechar las algas. Una empresa produce ladrillos a base de sargazo, y sirve como material de construcción para la Casa del Sargazo. Pero tiene el inconveniente de que se

extrae mucha arena. La empresa Alquimar SA, es playa Piloto de extracción de alginato que se usa en la industria. En Yucatán transforman el sargazo y producen fertilizantes.

Sin embargo, estas propuestas de aprovechamiento no han dado solución al problema. Una solución más efectiva requiere conocer más sobre la biología de la especie de Sargazos. En este sentido, se propone se necesita evaluar la distribución y cuantificación de la biomasa existente en las costas. Seguidamente, caracterizar la biomasa que está flotando y la que llega a la costa; la composición bioquímica de las especies presnetes, la fisiología y especies asociadas a las ribazones.

A partir de esta información, se pudieran determinar posibles aplicaciones potenciales del alga y conocer los servicios ecológicos que pueden proporcionar las ribazones y sus variaciones espacio-temporales. Hay que evaluar diferentes áreas geográficas y la manera como las acumulaciones algales cambian a diferentes distancias de la costa.

Par un manejo adecuado, se necesita conocer la biología del alga, la comprensión del impacto en las diferentes localidades de intereses, la que causa en el sector social, privado, turismo y la industria, en el sector público y las academias. La colaboración debe ser internacional porque el problema incluye a muchas regiones.

Proyecto - Valorización de la biomasa de arribazón del género *Sargassum* para su uso y aprovechamiento (2017-2020)

- ✓ Monitoreo espaciotemporal de las arribazones por percepción remota en el Caribe mexicano
- ✓ Caracterización de la biomasa de arribazón y su variación espaciotemporal:
 - Abundancia
 - Composición de especies y abundancias relativas
 - Composición bioquímica (biomasa mixta/por especie): proximales, pigmentos, fenoles, polisacáridos, C:N y metales
 - Especies asociadas: hidrozoos
- ✓ Caracterización morfológica y molecular de las especies del género *Sargassum*
- ✓ Impacto ambiental y social del fenómeno

Proyecto Conacyt FN2015-01-575

Por ello en el CINVESTAV se ha trabajado desde 2017 hasta 2020, y se sigue trabajando, sobre todo en el monitoreo espacio-temporal por medio de herramientas aéreas. Se ha evaluado la composición bioquímica, los compuestos de interés potencial, contenido de metales pesados. Hay

especies asociadas de hidrozoos adheridos al alga, por lo que debe hacerse una caracterización morfológica de las especies asociadas al alga.

El área de estudio ha sido Quintana Roo. Allí se observó una variabilidad fuerte de la ribazón. En 2019 hubo más biomasa llegando a la costa y también se observaron cambios en la composición de especies. Hay un componente de especies pelágicas, como *Sargassum fluitans*, *S. natans* y *S. natans* morfo 8. Además, hay especies bentónicas de sargazo, así como otras macroalgas y pastos marinos. Los pastos marinos pueden llegar a representar el 100% de la biomasa fresca depositada en las playas. La acumulación de biomasa algal está relacionada a la morfología de la costa. La composición de especies es variable, encontrando un 78 a 100% de componente pelágico, con un componente bentónico altamente variable, dependiendo de la localidad. Este último es arrancado del fondo por las corrientes marinas y el viento. Las especies dominantes son *S. fluitans*, *S. natans* y *S. natans* morfo 8, y especies de pastos marinos en el verano.

La composición bioquímica de la biomasa de especies pelágicas es bastante homogénea, en contenido de cenizas, aunque hay factores ambientales que influyen sobre la composición bioquímica. La composición de especies de las ribazones es un factor que debe ser tomado en cuenta para el aprovechamiento, porque afecta la composición bioquímica. Según la especie, se degrada de manera variable. Los pastos marinos aceleran la descomposición de la biomasa algal.

Como la llegada de las ribazones es variable, al momento de aprovechar el alga hay que buscar alternativas para los momentos en que la ribazón sea escasa. Hay que establecer los mecanismos extracción de los compuestos si la biomasa es fresca o seca. Se necesitan estudios sobre la degradación de la biomasa. En CINVESTAV se preparó una guía para la identificación de especies para el público.

Durante la sesión de preguntas, se trataron aspectos del origen de la biomasa algal. Esta procede de Brasil y por medio de las corrientes, sube hacia el Mar Caribe, según se ha podido observar por medio de imágenes de percepción remota. En esa zona del Atlántico se encuentra como un segundo Mar de los Sargazos.

En cuanto al uso potencial de la biomasa algal como alimento para peces, se comentó que hay que evaluar el contenido de metales pesados, pues el Sargazo tiene polisacáridos sulfatados en la pared celular que tienden a acumular metales pesados. Se pueden remover los metales pesados. En cuanto al contenido de proteínas es bajo, pero hay que determinar el perfil de aminoácidos presentes, pudiera ser un aspecto interesante.

En cuanto a la composición de especies de las ribazones, se ha detectado que las especies pelágicas del suelen ser las mismas. Pero cambia la abundancia relativa, espacial y estacional. En algunas regiones puede ser dominante *S. fluitans*, *S. natans* o *S. natans* morfo 8.

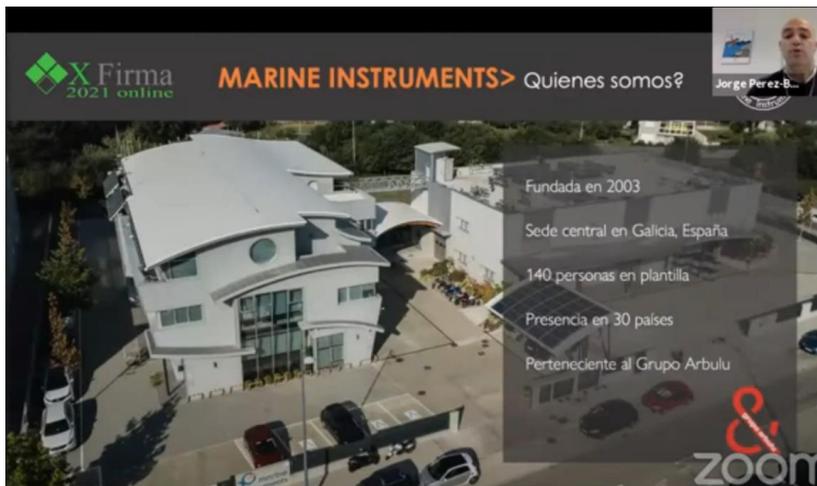
Los parámetros climatológicos pueden afectar las ribazones, pues las corrientes y el viento son determinantes, pero también la morfología costera. Hay regiones en la costa donde se acumula mucha biomasa algal y otras donde casi no se acumula. Se habla de que el crecimiento del alga aumenta con el aumento de temperatura y disponibilidad de nutrientes. El alga prolifera por fragmentación del talo y el viento provoca que se dispersen más los fragmentos.

En cuanto a la manera como se han visto afectadas las pesquerías, se sabe que la biomasa presente y sus lixiviados han generado mortalidad de larvas y peces, afectando el reclutamiento a las pesquerías. Los fenoles se extraen de Sargazo fresco, seco y liofilizado. Las algas flotantes constituyen refugios para la fauna asociada, como las tortugas marinas, invertebrados como hidrozoos, briozoos y crustáceos. Es necesario evaluar este hecho para medir la importancia ecológica de las ribazones.

Aplicación de tecnologías innovadoras para el uso eficiente y responsable de los recursos marinos

Jorge Pérez Bousada

El objetivo de la empresa *Marine Instruments S.A.* es vender productos comerciales con tecnología innovadora a disposición de los usuarios. Puede parecer compleja, pero una empresa como nosotros puede proveer instrumentos interesantes para la investigación o las labores productivas. Se trata de hacer un uso eficiente de los recursos marinos.



Marine Instruments S.A se especializa en el desarrollo y fabricación de equipos electrónicos para el entorno marino en el sector de la pesca y la acuicultura. La empresa tiene 18 años y fue fundada en 2003. Pontevedra, Galicia, España es su sede. Cuenta con 140 personas empelados en planta y se atiende a clientes en 30 países. La empresa cuenta con redes de distribución propia o con agentes privados. Engloba unas 10 empresas del grupo Arbulu con mucha tradición en el campo de la electrónica marina. Trabajamos con tres grandes sectores. La pesca industrial, sobre todo grandes atuneros, con gran cantidad de electrónica. Desde allí, hemos saltado a otros sectores pues ya tenemos 5 años trabajando en acuicultura del camarón blanco, *Penaeus vannamei*, y desde hace un año trabajamos con drones para la pesca atunera (tunadrone) así como hacia la seguridad y defensa. Pensamos digitalizar el mar.

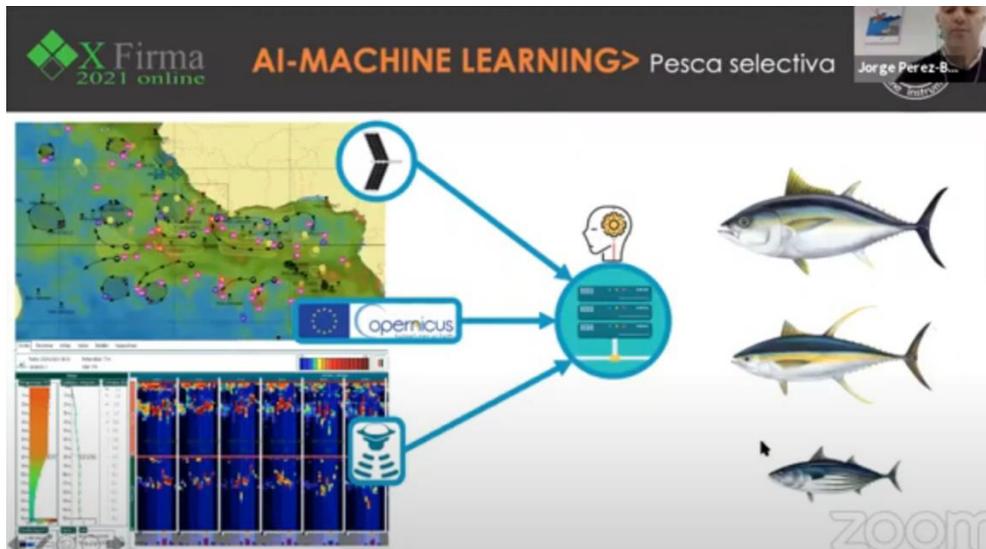
Veremos algunos ejemplos para hacer los mares más sostenibles. Integramos la cadena de valor. Un 43% de Investigación y Desarrollo (I+D) con 60 ingenieros entre informáticos, aeronáuticos, mecánicos, electrónicos, mejorando los productos que vendemos y el desarrollo de nuevos productos. La inversión en I+D supera los 2 millones de Euros anuales, para una facturación de 35 a 40 millones de Euros. Tenemos fabricación propia derivado del I+D en Galicia, y tenemos una eficiente control de calidad. Cuando hablamos de digitalización de tecnología facilitadora, nos referimos al empleo de *bigdata*, redes neuronales, inteligencia artificial, drones, conectividad, vehículos autónomos.



Nuestro producto principal son las boyas (sistemas de agregación de peces o *Fish aggregating Devices -FADs*) para la pesca de atún. El atún que se procesa y se enlata se pesca con FADs. El atún se agrupa bajo las sombras o por el ecosistema que se crea bajo las ballenas muertas o troncos de árboles flotantes. Los FADs crean este ecosistema de agregación. Son hechos de bambú de 2 x 2 m, y quedan a la deriva. Se les incorpora una boya satelital que indica la posición del FAD. Nuestras boyas

incorporan tecnología GPS y se envía a través del servidor a los barcos. Luego se ha incorporado una sonda ultrasonido que estima la biomasa que se haya podido acumular bajo el FAD.

Marinebio utiliza información pública del programa Copérnico de satélites para la ciencia que tiene la Unión Europea y utiliza parte de la información como datos para correlacionar información de viento, plancton, e integramos esa información para que el personal a bordo la use en distintos puntos del océano. El conocimiento de la cantidad clorofila en la capa superficial del agua y los frentes de las corrientes, ayuda a entender las zonas más apropiadas para poder encontrar atunes.

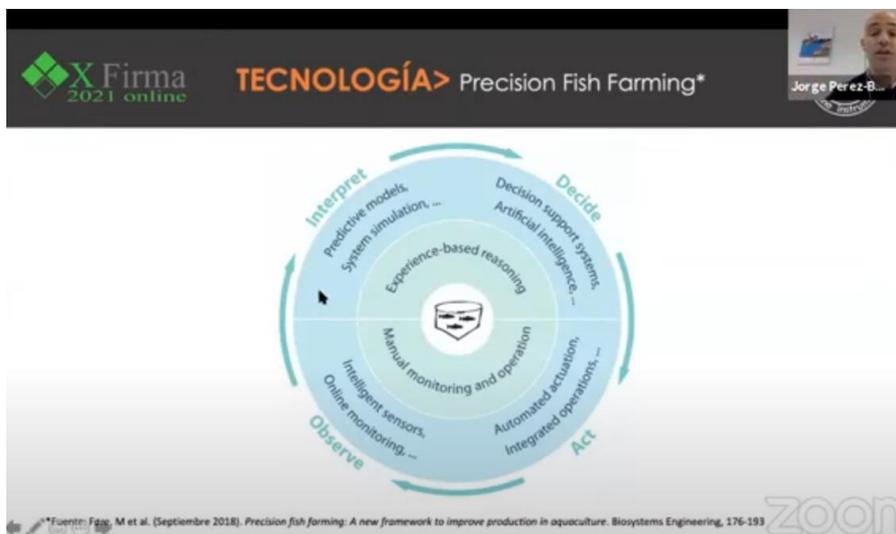


Además de la pesca con objetos flotantes, a bordo de las embarcaciones atuneras se buscan bancos libres de atunes que navegan por el mar. Para detectarlos, los marinos usan prismáticos y una de las últimas incorporaciones han sido los drones, el tunadrone. Es un sistema autónomo que puede ser operado desde un atunero para localizar esos bancos de atunes. El drone cuenta con una cámara y sensores que facilitan la información de los cardúmenes de atún.

Toda esta información procede de los sensores de boyas, FADs. Las especies más pescadas son el atún ojo gordo y el aleta amarilla, que tienen niveles de efectivos pesqueros en riesgo, y el listad en el océano Índico. Hay cuotas establecidas para esas especies y se trata de usar algoritmos por *machine learning* y todos los datos de boyas y marinebio, para conocer las zonas más apropiadas para la pesca del atún, cuales son las especies que están en esas zonas. Si tenemos cuotas, se verifica si es de producto que se puede pescar en comparación con la cuota.

En acuicultura se ha trabajado con *P. vannamei*. Se desarrolló un sistema basado en acústica, tratando de entender lo que pasa en los estanques de cultivo. Trabajamos con acústica pasiva y activa, sobre la alimentación, usando algoritmos de alimentación. El camarón hace ruido cuando mastica. Con la tecnología de hidrófonos, se sabe cuándo el camarón come y se alimenta en los estanques de acuerdo a su nivel de saciedad. Se suspende el suministro de alimento cuando los camarones dejan de hacer ruido.

La tecnología se basa en ciertas teorías desarrolladas en Noruega, *Precision Fish Farming*. Se intenta de pasar desde la observación a la actuación, usando sensores o modelos predictivos, *machine learning*, para actuar luego. En esta primera fase del producto, se optimiza la alimentación y su empleo ha dado mejoras en el consumo del alimento balanceado, bajando los costos de operación. El costo del alimento suele representar un 50% de los costos de producción. Estas mejoras conseguidas a través del equipo, disminuye los costos y mejora los márgenes de operación y el crecimiento. El dueño de la granja camaronera puede ver las gráficas de alimentación en su celular, y evidencia el estado de los alimentadores. Si los camarones comen más o menos de la cantidad programada, según las tablas de alimentación. La unidad central se comunica con alimentadores y los activa para que solo emitan comida cuando sea necesario. Se usa una alimentación optimizada.



Pero no deseamos quedarnos solo en la alimentación, sino que aspiramos tratar otros parámetros de importancia, como el aumento de la biomasa en el estanque, el comportamiento de los animales que no se pueden ver. Se entiende que el comportamiento puede estar asociado a la presencia de alguna patología.

En conclusión, la digitalización es una realidad en muchos sectores. El uso de *manchine learning* parece una tecnología muy compleja, pero no lo es y constituye una realidad para el sector de la pesca y la acuicultura. El uso de tecnología emergente facilita la conservación de los recursos marinos, para entender las migraciones, la manera cómo cambian las poblaciones de atún, podemos hacer un aumento de la productividad en la pesca, podemos ayudar en la implementación de las regulaciones necesarias. Nuestros clientes son las empresas pesqueras y acuícolas, y todos trabajamos por logra una producción con menor huella de carbono.



En nuestras manos esta usar esta tecnología para buena pesca y acuicultura responsables y sostenibles. Durante la sesión de preguntas, se consultó sobre el porcentaje de los FADs que tienen boyas, mencionándose que casi la totalidad de los dispositivos tienen boyas satelitales instaladas. En las embarcaciones palangreras que se quedan cerca de los FADs, la boya usa radio, pero los grades atuneros usan solo tecnología satelital. Sobre la manera de saber si una boya fue pescada, se indicó que las empresas atuneras reportan a la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) las boyas activas, para tratar de informar al regulador de manera que se disponga de información eficiente de la manera que se están empleando las boyas.

El empleo de boyas satelitales repercute en el costo/beneficio de las operaciones. Desde hace 20 años se usa esta tecnología. El barco atunero tiene un consumo de gasoil muy elevado. El uso de boyas que estiman presencia y biomasa permite que descienda el consumo de combustible. Por eso es muy ventajoso para todos.

En cuanto a la disponibilidad de tecnología electrónica para los pescadores artesanales, se mencionó que Indonesia es de los países con mayor pesca de atún, sobre todo por parte de pescadores artesanal.

Estos pescadores usan FADs que están equipados con boyas y ecosondas. Es el único caso que conozcamos y con el cual tenemos relación.

En cuanto a la disponibilidad de equipos para hacer registros de recursos bentónicos, se indicó que se han desarrollado cámaras submarinas, pero no para pepinos de mar.

Emprender desde la pesca responsable

Meilyng Tang

Deseo contar lo que estamos haciendo desde Chile con pescadores y acuicultores de pequeña escala. Quisimos lograr emprendimientos desde una pesca y acuicultura responsables. Somos 4 profesionales que intentamos hacer la conexión entre el mundo marino y la gastronomía, y de esta manera nació Tres Peces, un restaurante. En Chile se dispone de 4300 km de costa, pero 10-12 kg per cápita, lo cual es muy bajo. Exportamos, pero consumimos pocos productos del mar. La gran costa del país tiene climas distintos, y gran parte carece de conexión por vía terrestre, particularmente al sur de Chile. Hay más de 420 caletas de pescadores. Les es muy difícil comercializar sus productos. El producto del mar debe transitar por más de 6 intermediarios hasta el supermercado, lo cual lo encarece. Por ello, es un producto caro. No hay mucha diversidad de productos, pero hay 201 tipos de recursos pesqueros, lo cual constituye un gran desafío para explotar estos recursos. Desde Cocinamar, llevamos las organizaciones a Santiago (ciudad que tiene 7 millones de habitantes). Fue un reto logístico. Presentamos 134 tipos de peces, 18 de algas e invertebrados. Pero solo se extrae el 10% de lo que tenemos en diversidad.

Chile larga y angosta faja de tierra y mucho mar



- ✓ Chilenos consumimos poco pescado
- ✓ Somos líderes exportando
- ✓ Pero nos hemos olvidado del mercado nacional
- ✓ Logística complicada con 4300 km

Pocos saben nuestro secreto:

Tenemos **92.000 pescadores**,
13 mil embarcaciones de baja
210 recursos pesqueros diferentes para
 extraer legalmente

... Y estamos aprendiendo a valorarlos

Por medio de Cocinamar y Tres peces en Valparaíso, hemos visibilizado a los pescadores por medio de una campaña divulgativa entre la población del país: Conoce a tu pescador y a tu pescadora. Eso permitió a los pescadores surgir económicamente, comprando plantas, neveras, barcos, procesando producto más que vendiéndolo fresco. Esas experiencias han promovido la idea. La pandemia ayudó y los pescadores consiguieron permisos para moverse aún durante las restricciones a la movilidad, por ser proveedores de productos alimenticios. Queremos que este cambio sea desde la comunidad, pues las políticas públicas son más lentas. Pero deseamos que el consumidor sea el que a través de su comprar se convierta en el agente promovedor. También tratamos de que se respeten las vedas. Hay diversidad de recursos y temporadas para su explotación, por lo que el consumidor debe aprender a consumir las distintas especies según estén disponible a lo largo del año.

Se recorrieron las caletas pesqueras. Se estableció una red de emprendedores y en la cual se disponía de la manera de comunicarse con los diferentes proveedores para hacer el comercio directo, desde el restaurante al pescador, eliminando intermediarios. Hemos hecho eventos en plazas públicas con cocineros, en ferias gastronómicas para enseñar a la gente a preparar platos basados en recursos acuáticos.

En 2020 trabajado con mujeres de la pesca artesanal, mostrando esa labor, y como surgieron luego económicamente, con restaurantes, salas de proceso, inclusive mujeres que luego se fueron a la política, demuestra la promoción del liderazgo para las mujeres en la pesca artesanal. Al cierre de restaurantes por la pandemia, surgieron nuevas ideas para vender los productos.



Tres Peces Restaurante

- ✓ 2018 abrimos primer restaurante de Pesca Responsable en Valparaíso
- ✓ Solo primer año 55.000 clientes
- ✓ Foco 100% abastecemos de pesca legal y acuicultura responsable
- ✓ Generar un espacio de aprendizaje sobre pesca responsable
- ✓ Utilizamos redes sociales para comunicarnos @trespecesvalparaiso
- ✓ Sobre todo podemos contar las historias

Desde el restaurante Tres peces, en 2018, nos ayudaron los pescadores a surgir ya que nos vendieron directamente. En marzo 2020 se cerraron los restaurantes debido a la pandemia, pero usamos el *delivery*, y los pescadores nos dieron crédito, lo cual nos permitió seguir operando. Nuestro restaurante es

pequeño pero hay cola para entrar. Un plato cuesta cerca de 8\$. Hemos innovado usando cocina asiática. Dejamos de lado los 4 o 5 productos que la gente conocía, y usamos productos alternativos que no tienen mucha demanda, por lo que diversificamos el mercado. Al pescador se le paga al día la compra.

En el Archipiélago Juan Fernández hay un pescador de langosta. Pero el pescador nos ofreció otras especies como bacalao, jurel, que no los habían comercializado y se ha aumentado la diversidad de la oferta gastronómica. Tienen buenas prácticas y certificaciones. Los pescadores que tenían salas para el procesamiento, empezaron a contactar a los pescadores para aumentar la oferta en otras regiones del país. Las alianzas han sido muy beneficiosas para los pescadores en distintas partes del país. La ayuda de los cocineros dando a conocer los productos ha sido crucial.

Como mencionó Omar Defeo en la primera ponencia, hubo productos que desaparecieron por el cambio climático, pero fue momentáneo. En la localidad de La Serena, se afectaron las áreas de manejo de la macha. A pesar de la actividad, el producto reapareció, y se le pudo dar valor agregado.

Se han iniciado las labores para lograr la certificación de producto justo, que revela que es extraído mediante labores de pesca responsable, como las navajuelas. Se han desarrollado harina de algas, promovidas por el Restaurante Tres Peces. Con acuicultura hemos trabajado con el congrio colorado, que funciona con preparaciones asiáticas, Truchas. El huayaipe, seriola, en la región de Atacama, se cultiva en estanques. La Universidad Austral está cultivando pulpo y entrenan a los pescadores para que se dediquen a esta actividad.

Y en otros proyectos de acuicultura

- ✓ Cultivo de **Vidriola de Atacama /Seriola lalandi** de Acuonor
Cultivo en estanques en tierra en pleno Desierto de Atacama
- ✓ Cultivo de **pulpo rojo patagónico** con pescadores y UACH Puerto Montt
Transferencia de cultivo a pescadores de Chile. Tres Peces será piloto para probar este producto



Hemos trabajado con muchos productores de algas, con las cuales se preparan ensaladas para la venta directa. Se ha tratado de lograr que el producto fresco, que tiene una vida de anaquel muy corta, aumente cuando se lo ofrece de manera procesado.

Para preparar la sopa de cangrejo enlatada, se le compra al pescador, quien anteriormente perdía el 75% del cangrejo, pues solo vendían las pinzas. Ahora se prepara una sopa tipo Bisque de jaiba, logrando utilizar ahora todo el cangrejo y se envasa la crema, con una vida de anaquel de un año.

También hemos promovido el turismo comunitario, organizando salidas con avistamiento de aves en las caletas de pesca. Durante la sesión de preguntas se mencionó que se han preparado recetarios impresos y enviados por canales de *Youtube* e *Instagram*, en los cuales se le muestra al consumidor la manera de preparar pescados y mariscos. En cuanto a los erizos de mar, se indicó que los cultivos están aún a nivel piloto, y no hay oferta de erizos. De estar disponible se usarán, pues tienen mucha demanda, pero la veda es muy larga. Un pescador quiere montar tanques para engordar erizos.

Sobre el procesamiento de celenterados, como medusas, aguamalas, no conoce si alguien en Chile las usa. Cocinamar no exporta productos, sino que visibilizan a los productos para promover su comercio en Chile. Con respecto a la labor de los pescadores para liberar fauna no comercial durante las operaciones pesca, se mencionó que Cocinamar trabaja con la *World Wildlife Fund*, *Oceana*, entre otras instituciones conservacionistas y facilitan la información a los pescadores, para cumplir las normas de la FAO sobre la pesca responsable.





Manuel Rey-Méndez

Universidad Santiago de
Compostela, España



Carlos Pereira

Universidad de Santiago de
Compostela, España



José A. Camposano

Cámara Nacional de
Acuicultura de Ecuador



Darryl Jory

Global Aquaculture
Alliance, USA

Sesión 2 | Productos acuícolas en y post pandemia *Fisheries and aquaculture products in and post pandemic*

Manuel Rey-Méndez¹, Carlos Pereira Dopazo², José Antonio Camposano³, Darryl Jory⁴, Acacia Alcivar-Warren⁵

¹CIBUS e Instituto de Acuicultura, Campus Vida, Universidad de Santiago de Compostela. 15782-Santiago de Compostela (A Coruña), España.

²Instituto de Acuicultura, Dpto. Microbiología, Campus Vida, Universidad de Santiago de Compostela. 15782-Santiago de Compostela (A Coruña), España.

³Presidente Ejecutivo de la Cámara Nacional de Acuicultura de Ecuador.

⁴Consultor: Negocios, productos acuícolas y acuicultura, USA.

⁵Presidenta de Environmental Genomics Inc., Southborough, Massachusetts, USA.

✉ **Manuel Rey-Méndez** () **E-mail: manuel.rey.mendez@usc.es**

RESUMEN | La pandemia por COVID-19 está provocando, desde hace ya más de un año, trastornos generalizados en el sector de la pesca y la acuicultura. Aunque los alimentos producidos por el sector no son responsables directos de la transmisión del virus, la alteración de la producción, la interrupción de las cadenas de suministro y los efectos sobre la oferta y la demanda, derivados de los diferentes confinamientos, han ocasionado cambios profundos que, probablemente, perdurarán durante mucho tiempo. Es pues necesaria la difusión de conocimientos científicos que dejen clara la forma de transmisión del virus y su relación con los alimentos de origen acuícola, así como las estrategias que posibiliten las nuevas oportunidades que toda crisis genera. Pero ahora y en el futuro, será esencial que cada fase de la cadena alimentaria de la pesca y la acuicultura cuente con toda la protección posible frente al virus actual, posibles modificaciones y nuevos virus, con el fin de que el sector siga siendo viable y sostenible. Los cuatro ponentes invitados en esta sesión nos dan una visión de los problemas actuales y posibles soluciones de futuro, desde su experiencia como investigadores o expertos en el comercio internacional, con el fin de dar respuestas a las preguntas que nos hacemos sobre las consecuencias de la pandemia sobre los productos acuícolas.

En la primera ponencia, Carlos Pereira Dopazo da respuesta a la pregunta de si los virus humanos pueden afectar a los animales acuáticos y viceversa. En el caso de los virus relacionados con la pesca y la acuicultura, los datos dicen que no es posible, o que sería altamente improbable, que afecten a los humanos. Las zoonosis virales que se conocen en humanos proceden de mamíferos y aves pero, filogenéticamente, los peces, crustáceos y moluscos están muy alejados de los seres humanos, por lo que se puede descartar que los virus de animales acuáticos puedan dar ese salto. ¿Pero podrían los virus humanos afectar a los animales acuáticos? En principio no, y todas las pruebas realizadas en este sentido dan resultados negativos, por lo que no puede haber infección por virus humanos a animales acuáticos y viceversa. Entonces, ¿cuál es el problema con la COVID? El virus no infecta los productos de la pesca y la acuicultura, pero sí puede contaminarlos, por lo que podría haber transmisión de la enfermedad. El mayor peligro no está en la contaminación directa por productos de la pesca y la acuicultura, sino en todos los eslabones desde la producción a la comercialización. El transporte es, probablemente, el eslabón más afectado. ¿Se ha cometido algún error en la estrategia de lucha contra el virus? Posiblemente el principal

fuera el desconocimiento de este tipo de virus, y a que no se dedicaron recursos suficientes a la investigación del Sars-1. ¿Hemos aprendido algo? Que todavía hay demasiado desconocimiento y mucha información falsa, por lo que es necesario que los expertos en el tema den las pautas a seguir.

El segundo ponente, José Antonio Camposano, considera que hay dos tipos de impacto de la pandemia en el sector acuicultor, el impacto en los países productores y el impacto en los mercados. En muchos países productores se produjo una caída en la producción motivada por la aplicación de medidas de restricción. En el caso de Ecuador el gobierno consideró al sector exportador como primordial, facilitando que sus actividades no se vieran muy afectadas y, de hecho, al cierre de 2020 lo que sucedió es que el país creció un 7% su volumen de exportación. Respecto a los mercados, China era, hasta el año 2019, el mercado que absorbía el 65% del volumen total de producción y exportación del Ecuador. El mercado chino se ve afectado en primer lugar por la pandemia, lo que provocó un descenso en el consumo y, a continuación, comienzan las restricciones en la Unión Europea y Estados Unidos, bajando mucho el consumo. Lo que sucedió es que las plataformas online de distribución de comidas empezaron a funcionar para consumo casero y Ecuador se dedicó a procesar camarón para ese nuevo mercado, gracias a ello se consiguió ese aumento del 7% en las exportaciones. Aunque China bajó el 10% del consumo de camarón ecuatoriano, los Estados Unidos y la Unión Europea aumentaron el consumo en 2020. Se espera que el mercado vaya mejorando a medida que las vacunas rebajen las medidas de restricción, pero ahora, lo que más le importa al consumidor es la seguridad del producto, por lo que es muy importante su certificación.

La tercera ponencia, a cargo de Darryl Jory, nos da una visión del impacto de la pandemia sobre la industria de los productos del mar. En 2018 se alcanzó un récord histórico, entre pesca y acuicultura, con alrededor de 179 millones de toneladas. Los principales grupos consumidos son los salmónidos (18%), los camarones y langostinos (17%), seguido por varias especies de peces de fondo y atunes (9% en cada grupo). Se comercializaron unos 67 millones de toneladas de productos del mar, implicando prácticamente a todos los países del mundo, con un cambio muy drástico, y muy rápido, en la demanda y en el comportamiento de los consumidores en los mercados de exportación. Los datos de la encuesta anual del *Global Aquaculture Alliance* (GAA), indican que la producción de camarones bajó un 10% (Malasia y Ecuador aumentaron), los salmones tuvieron un leve aumento, la tilapia se mantuvo, lubina y dorada bajaron un poco y, en las 27 o 28 especies que maneja la encuesta, la producción se mantuvo o fue superior. Muchas empresas tuvieron muy buenos resultados gracias a productos novedosos con valor agregado, la fuerte demanda de productos congelados, la penetración de nuevos consumidores y las ventas *online*. Muchas procesadoras han diversificado su trabajo para llegar al mercado minorista (consumo casero), con producto más procesado y con la garantía de seguridad alimentaria. Respecto al impacto de la pandemia sobre los mercados y el consumo, muchos son de gran alcance y, probablemente, persistirán a largo plazo. La solución de la pandemia es la inmunidad de la población, pero también la apertura económica.

La última ponente, Acacia Alcivar-Warren, estuvo muchos años analizando camarones de la costa ecuatoriana, que desea analizar para estudiar la biodiversidad genética de la especie, así como también la presencia de 30 metales pesados, glifosato, y otros químicos disruptores endocrinos de hormonas, que afectan la salud animal y humana. Destaca la importancia de los factores epigenéticos para controlar enfermedades del camarón y de humanos. Los niveles de metales del camarón de El Salvador son muy altos, comparados

con los de Ecuador, siendo los de Manabí los más saludables de todos. También el glifosato, que se usa para producir la soja transgénica, aumenta el ácido retinoico que luego afecta a la inhibición de la expresión de genes del sexo y causa microcefalia y ciclopedia, enfermedades que afectan a muchos niños recién nacidos en la Península de Santa Elena. Pero es necesario investigar lo que pasa en las aguas servidas, con el fin de saber cuáles pueden ser los huéspedes intermediarios de la transmisión del COVID a humanos. En Ecuador no hay muchas plantas de tratamiento de agua servida, pero estudios recientes en USA han determinado receptores del COVID en mamíferos marinos en Alaska, por lo que se tiene que hacer más investigación básica para saber cómo otras especies de animales acuáticos pueden ser afectadas por este virus. Esta zoonosis reversa está provocada por todo lo que echamos en las aguas servidas y en los desechos, por lo que tenemos que hacer algo por la salud de la gente de los manglares.

Palabras clave: COVID-19, pandemia, productos acuícolas, cadena alimentaria.

ABSTRACT | The COVID-19 pandemic has been causing widespread disruption in the fisheries and aquaculture sector for more than a year. Although the food produced by the sector is not directly responsible for the transmission of the virus, the alteration of production, the interruption of supply chains and the effects on supply and demand, derived from the different confinements, have caused profound changes that will probably last for a long time. It is therefore necessary to disseminate scientific knowledge that makes clear the form of transmission of the virus and its relationship with foods of aquaculture origin, as well as the strategies that make possible the new opportunities that any crisis generates. But now and in the future, it will be essential that each phase of the fisheries and aquaculture food chain has as much protection as possible against the current virus, possible modifications and new viruses, in order for the sector to remain viable and sustainable. The four invited speakers in this session give us a vision of current problems and possible future solutions, from their experience as researchers or experts in international trade, in order to give answers to the questions we ask ourselves about the consequences of the pandemic on aquaculture products.

In the first presentation, Carlos Pereira Dopazo answers the question of whether human viruses can affect aquatic animals and vice versa. In the case of viruses related to fisheries and aquaculture, the data say that it is not possible, or would be highly unlikely, that they affect humans. The viral zoonoses that are known in humans come from mammals and birds but, phylogenetically, fish, crustaceans and mollusks are very far from humans, so it can be ruled out that aquatic animal viruses can make that leap. But could human viruses affect aquatic animals? In principle no, and all the tests carried out in this regard give negative results, so there can be no human virus infection in aquatic animals and vice versa. So, what is the problem with COVID? The virus does not infect fishery and aquaculture products, but it can contaminate them, which could lead to transmission of the disease. The greatest danger is not in direct contamination by fishery and aquaculture products, but in all links from production to commercialization. Transport is probably the most affected link. Has any mistake been made in the strategy to fight the virus? Possibly the main one was the ignorance of this type of virus, since not enough resources were dedicated to the investigation of Sars-1. Have we learned anything? That there is still too much ignorance and a lot of false information, so it is necessary that the experts in the field give the guidelines to follow.

The second speaker, José Antonio Camposano, considers that there are two types of impact of

the pandemic in the aquaculture sector, the impact on producer countries and the impact on the markets. In many producing countries there was a drop in production caused by the application of restriction measures. In the case of Ecuador, the government considered the export sector as essential, facilitating that its activities were not greatly affected and, in fact, at the end of 2020 what happened is that the country grew its export volume by 7%. Regarding markets, China was, until 2019, the market that absorbed 65% of Ecuador's total production and export volume. The Chinese market is affected first by the pandemic, causing a drop in consumption, and then restrictions begin in the European Union and the United States, greatly reducing consumption. What happened is that online food distribution platforms began to work for home consumption and Ecuador began to peel shrimp for this new market, thanks to this, this 7% increase in exports was achieved. Although China decreased 10% in Ecuadorian shrimp consumption, the United States and the European Union increased consumption in 2020. The market is expected to improve as vaccines lower restriction measures, but now, what matters to the consumer is the safety of the product, which is why its certification is very important.

The third presentation, by Darryl Jory, gives us a vision of the impact of the pandemic on the seafood industry. In 2018 a historical record was reached, between fisheries and aquaculture, with around 179 million tons. The main groups consumed are salmonids (18%), shrimp and prawns (17%), followed by various species of groundfish and tuna (9% in each group). Some 67 million tons of seafood were moved, involving practically all the countries of the world, with a very drastic and rapid change in demand and consumer behavior in export markets. Data from the annual survey of the Global Aquaculture Alliance (GAA) indicate that shrimp production decreased by 10% (Malaysia and Ecuador increased), salmon had a slight increase, tilapia remains, sea bass and sea bream decreased a little and , in the 27 or 28 species that the survey manages, the production was maintained or was higher. Many companies performed very well thanks to innovative value-added products, strong demand for frozen products, penetration of new consumers, and online sales. Many processors have diversified their work to reach the retail market (home consumption), with a more processed product and with the guarantee of food safety. Regarding the impact of the pandemic on markets and consumption, many are far-reaching and will likely persist in the long term. The solution to the pandemic is the immunity of the population, but also economic openness.

The last speaker, Acacia Alcivar-Warren, spent many years collecting shrimp from the Ecuadorian coast, which she wants to analyze to see the genetic biodiversity of the species, as well as the presence of 30 heavy metals, glyphosate, and other endocrine hormone disrupting chemicals. , which affect animal and human health. It highlights the importance of epigenetic factors to control shrimp and human diseases. The metal levels of shrimp from El Salvador are very high, compared to those from Ecuador, with those from Manabí being the healthiest of all. Also glyphosate, which is used to produce transgenic soybeans, increases retinoic acid that then affects the inhibition of the expression of sex genes and causes microcephaly and cyclopnea, diseases that affect many newborn children in the Santa Elena Peninsula. . But it is necessary to investigate what happens in sewage, in order to know which may be the intermediate hosts for the transmission of COVID to humans. There are not many sewage treatment plants in Ecuador, but Americans have just found COVID receptors in marine mammals in Alaska, so more basic research needs to be done to find out how other species of aquatic animals may be affected by this virus. This reverse zoonosis is caused by everything we put into sewage and waste, so we have to do something for the health of mangrove people.

Keywords: COVID-19, pandemic, fisheries and aquaculture products, food chain.

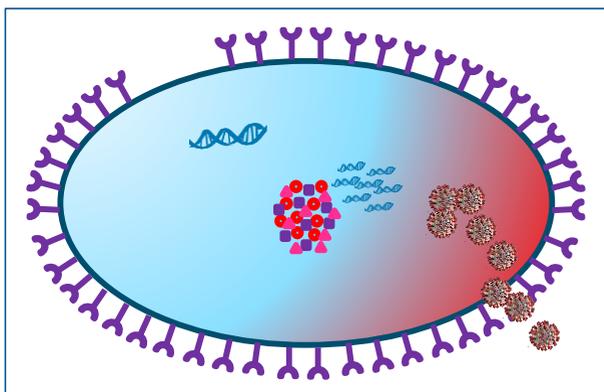
¿Están amenazados los productos de la acuicultura y recursos marinos por el SARS Cov2 (COVID 19) y otros virus?

Carlos Pereira Dopazo

Si algo ha quedado claro en esta pandemia, además de las obvias consecuencias sanitarias, es que el virus también afecta a la economía de los países y, dentro de ese ámbito, afecta y ha afectado al sector de la acuicultura y la pesca. Por supuesto que ya es conocido que los virus afectan a la acuicultura; quizás menos conocido es que también afectan a los animales acuáticos en su medio natural y, por lo tanto, a la pesca. Lo que aquí veremos es que los virus no sólo afectan directamente a estos sectores estratégicos por su faceta como patógenos de los animales acuáticos, sino también, indirectamente – pero no en menor grado– por su efecto sobre la sociedad humana.

Pero, antes me van a permitir que dé una muy breve noción de cómo actúan los virus, porque es fundamental para entender de qué modo pueden interactuar con su entorno, sea este una población animal o humana. Los virus son parásitos intracelulares obligados, lo que implica que deben entrar en una célula para controlarla y replicar dentro de ella. Fuera de la célula no dejan de ser más que grandes moléculas muy complejas; pero, son moléculas reactivas que, cuando reconocen receptores de superficie específicos de una célula, se unen a ellos y se desencadenan una serie de procesos que acaban con el virus –completo o sólo su genoma– dentro de la célula; esta especificidad celular es una de las causas de que los virus muestren una cierta especificidad de especie, de modo que, si un virus es patógeno de una especie determinada, su salto a otra especie distinta es compleja y depende, en gran medida de la relación evolutiva entre ambas. A partir de la entrada en la célula, es el genoma viral el que controla a la maquinaria celular, para llevar a cabo la propia replicación y dar lugar a cientos y hasta muchos miles de virus progenie por cada virus que ha entrado en la célula. Como resultado, primero, esta célula original muere y, segundo, esos virus hijos salen al exterior e infectan a células adyacentes, iniciando nuevamente el ciclo. Así, es fácil entender que, al menos en teoría, es suficiente con que un único virus entre en un organismo susceptible para que se produzca la infección y la dispersión de nuevos virus por todo el individuo infectado. No obstante, afortunadamente, tanto a nivel celular como del propio organismo, existen defensas que evitan que los virus puedan ser tan eficaces.

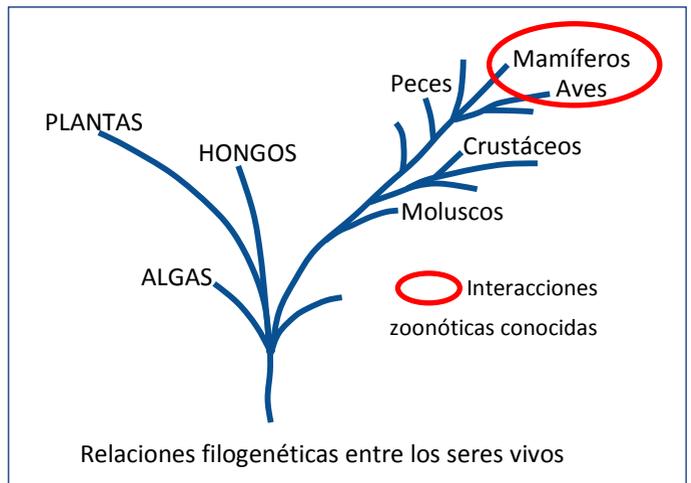
A continuación, vamos a abordar cómo interaccionan los virus en su mundo, que es el mismo que el nuestro, y nos vamos a centrar en el mundo de la acuicultura y la pesca. Por un lado, están los virus que son patógenos de peces, moluscos o crustáceos,



cuyo efecto es bien conocido por el sector de la acuicultura, donde provocan importantes pérdidas. Esos mismos virus también afectan a los animales acuáticos en su medio natural, algo que conocemos mucho los que trabajamos en epidemiología en bancos pesqueros, y que se cree que podría ser una de las causas de las caídas poblacionales de algunas especies y en algunos bancos específicos; además, algo importante que conocemos los epidemiólogos del medio acuático es que existe interacción entre ambos tipos de poblaciones, las de acuicultura y las salvajes. Por otro lado, están los virus que afectan al hombre, que infectan a éste y provocan patologías como la que atañe a esta pandemia de la COVID-19. Lo que nos interesa en este momento es saber si puede existir interacción entre ambos tipos de poblaciones: entre el hombre y los peces, moluscos o crustáceos.

Realmente, sería preocupante si los virus de estos animales acuáticos pudieran saltar al hombre y provocarle una patología; porque, sabiendo la gran variedad de patógenos virales de estos animales, sería un problema serio pensar que su manipulación y su consumo entrañase un riesgo sanitario a la población. Sin embargo, en el cerca de un siglo que se lleva trabajando con virus de este origen, no se ha encontrado ninguna evidencia de que este salto de especie se haya producido; es más, muchos han sido los experimentos de inoculación de virus de peces en cultivo de células humanas y los resultados han sido infructuosos. Por eso, casi se puede asegurar que este sería un ‘dogma de fe’ en virología de estos animales acuáticos: que no puede haber salto de especie hacia el hombre. Puede que alguno piense que esto no es del todo cierto, porque sabemos que virus presentes en moluscos pueden afectar al hombre. Sí; es cierto. Pero, esos virus que están presentes en esos moluscos, realmente no son virus de moluscos –no le afectan–; sino que están ahí porque la cualidad de filtradores de esos moluscos hace que los virus que estén presentes en el agua de su medio natural queden retenidos en su interior. Esos virus son de origen humano, debido a la falta de depuración de las aguas residuales, lo cual acaba contaminando los bancos de moluscos y estos, por el consumo, transmiten esos virus humanos al propio hombre, que sufre la patología de la que él mismo es causante.

No obstante, recordemos que este salto de especie sí se produce entre otros animales y el hombre; es decir, sí se conocen ‘zoonosis’ virales. Entre ellas, algunas de las más conocidas son la rabia (salto de cánidos, zorros, etc, al hombre), la fiebre del Nilo (de equinos), la gripe aviar, el MERS (de camélidos), fiebra lassa (de roedores), y más recientemente el zicca y el ébola (de simios) y el que nos afecta ahora, el SARS. Así que, nos podemos preguntar, ¿realmente no

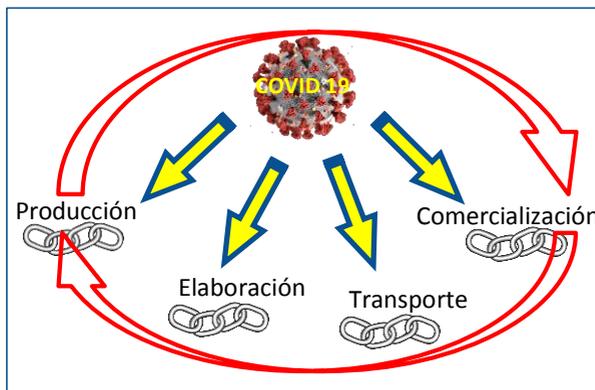


hay riesgo de salto peces-hombre? Aunque los dogmas de fe en ciencia no existen como tal (todo es susceptible de ser rechazado en un futuro más o menos lejano), esta afirmación tiene una base científica (no sólo experimental): la separación evolutiva entre esos animales acuáticos y el hombre es demasiado grande para que un virus que está adaptado a células de peces pueda reconocer a una célula humana como susceptible de ser infectada. Esa separación, que se aprecia en árboles filogenéticos, no lo es tanto entre mamíferos y el hombre; incluso con animales tan supuestamente alejados de nosotros como los murciélagos y las aves.

¿Y al revés?; es decir, ¿puede una patología viral humana saltar a peces, moluscos y crustáceos? Esto podría representar también un problema serio para los sectores de la acuicultura y la pesca. Pero, definitivamente, la respuesta es la misma, porque la separación filogenética es la misma en cualquiera de ambos sentidos.

Así que, cuál es motivo de que esta pandemia esté afectando de esta manera a estos dos sectores. La respuesta es –aparentemente– sencilla: el problema no es por infección, sino por transmisión. La diferencia entre ambos términos puede parecer sutil, pero es importante: si el virus infecta, entra en las células y replica, apareciendo multitud de nuevos virus, los cuales se dispersan y se transfieren a otros hospedadores; esto genera epidemias y pandemias. La transmisión sin infección implica tan solo –pero no despreciable– que el virus se transfiera a superficies, objetos, alimentos, etc, en los cuales no replica, pero los cuales pueden transportarlo un tiempo determinado –antes de que el virus se inactive–, durante el cual podría transferirse a hospedadores susceptibles. Este es el problema real, en la acuicultura y la pesca, de virus humanos como el de la COVID-19 (el SARS-CoV2). La transmisión del virus, desde un paciente enfermo (con o sin síntomas) a los animales de este tipo es perfectamente factible; y, estos animales acuáticos transportarán el virus (en sus superficies) y podrán transmitirlo a hospedadores humanos sanos, y ser infectados y padecer la enfermedad.

Aunque lo habremos escuchado innumerables veces durante esta pandemia, conviene recordar de qué modos se puede transmitir este virus. El de la COVID-19 es un virus respiratorio y, como todos ellos, se transmite fundamentalmente por las partículas de saliva y aerosoles que expulsamos simplemente al respirar; también al toser y estornudar. Cuanta mayor es la fuerza de expulsión (incluso la respiración al realizar ejercicio físico), mayor es la distancia a la que llega esa nube de microgotitas portadoras de virus. Toda superficie que se encuentre en su camino, y cualquier



hospedador potencial, recibirá esas gotitas contaminadas, y las transportará e incluso podrá ser infectado. Y, aunque esas microgotitas no lleguen a alcanzarnos inmediatamente, pueden permanecer, en forma de aerosoles, en espacios cerrados sin ventilación, incluso durante horas en ambientes húmedos, e inhalarlos cualquier persona que permanezca el tiempo suficiente en ese ambiente. Así que, nos encontramos con 3 posibles vías de transmisión: *i*) la vía directa aérea, de alto riesgo, por lo que es fundamental el uso de las mascarillas (principalmente las tipo FFP2); *ii*) vía objetos contaminados, en cuyo caso la eficacia de la transmisión es realmente baja debido a la poca estabilidad de estos virus en superficies de distinto tipo (entre una pocas horas y unos pocos días) y por la carga viral que haría falta en la superficie contaminada para que el contacto con ella representase un riesgo alto real (por ello es importante la higiene de manos y la desinfección de superficies), y *iii*) los aerosoles, de muy alto riesgo (por ello es básico la reducción de aforos en locales cerrados, su ventilación y la desinfección de esos aerosoles). Visto esto, podemos entender cuál es la base de las causas que han provocado –y provocan– el nivel de afección que la COVID-19 está provocando sobre el Sector, y sobre la Sociedad en general. Para el control de la transmisión del virus, las autoridades han aplicado una serie de medidas preventivas que van desde la obligación (o consejo) de aplicación de los tres puntos citados antes, hasta los cierres perimetrales (o cuarentenas de extensión variable) o el bloqueo de la movilidad (en mayor o menor grado) de personas y mercancías. En los sectores de la pesca y la acuicultura, todas las medidas aplicadas han tenido un efecto sobre alguno de los eslabones del proceso comercial, desde el primero, que es la producción, hasta el último, que es la comercialización, pasando por la elaboración del producto y el transporte.

En cuanto a los dos primeros, producción y elaboración se han visto afectados, de modo intenso, por tres de las medidas:

- La distancia interpersonal, de gran importancia para evitar la transmisión a nivel social, es de difícil aplicación en acuicultura (donde los trabajos suelen ser colaborativos), en el barco pesquero (donde el espacio es el que hay) y en las factorías de preparación del producto (donde el número de trabajadores suele ser muy alto).
- El aislamiento de las personas portadoras también es estrategia básica de control: Sin embargo, crea problemas serios en ámbitos donde el nivel de especialización es realmente elevado; motivo por el cual las empresas de acuicultura aplican estrategias preventivas que reduzcan el riesgo de que los trabajadores en áreas especialmente críticas se infecten, lo que podría bloquear una fase de la producción.
- Finalmente, la higiene y el uso de mascarillas tienen sus peculiaridades en el ambiente en que se trabaja, de especial humedad, por lo que, por poner un ejemplo, la renovación de mascarillas debe ser más frecuente que en condiciones normales.

El tercer eslabón, el transporte del producto, se ha visto especialmente afectado por la pandemia. No tanto en transporte interno, que se ha mantenido para no bloquear los sistemas nacionales, como el transporte y comercio internacional de productos de la pesca y la acuicultura. Todo el sector sabe de las penurias que está pasando por la reducción de las exportaciones; bloqueo absoluto –temporal– en algunos casos. Sonoros han sido los ocurridos entre China y numerosos países, fundamentalmente por el volumen de comercio de importación de productos de este tipo que este país ostenta, el segundo a nivel mundial –tras EE.UU. Esos sucesos han implicado, como efecto negativo, el bloqueo de las exportaciones de, por ejemplo, langostino ecuatoriano, salmón noruego o varias especies de peces de Malasia; pero, también han tenido un efecto positivo a nivel global: la mejora de las condiciones de preparación, elaboración, empaquetamiento y transporte de los productos para reducir el riesgo de transmisión del virus. Y estas medidas servirán para mejorar la calidad sanitaria de este tipo de productos, ante futuros eventos similares con otros virus, que de seguro llegarán. No obstante, en relación con este eslabón, queda por saber si las estrategias de detección de virus en cada laboratorio dedicado a ello son específicas de este virus o podrían detectar también otros coronavirus animales o humanos. No es mi intención introducir un punto de duda pero, no disponiendo de los datos sobre la especificidad de las PCR's empleadas, no se puede asegurar al cien por cien que, al menos en algún caso de los publicados en la prensa, no haya habido un problema de especificidad.

Y, por último, el eslabón de la comercialización. A este respecto, hay que citar dos ítems: el cambio en los hábitos de consumo de la población, y la caída de la demanda. El consumidor, erróneamente –pero causado por información errónea o mal transferida– ha creído que los productos frescos representaban un mayor riesgo de transmisión del virus, porque si el manipulador de estos productos era portador, el pescado estaría contaminado; por ello, el consumo derivó a productos envasados, congelados o en conserva. Pues bien, como ya he dicho, este es un virus respiratorio; no se transmite por ingesta de alimentos contaminados. Es más, los productos envasados podrían transmitir el virus si la superficie del envase estuviese contaminada (de bajo riesgo, pero no descartable), y, por otro lado, el virus se mantiene tiempo indefinido en congelación, reactivándose

Decálogo de lo aprendido en esta	
<i>¿Hemos cometido algún error?</i>	<i>¿Hemos aprendido algo?</i>
Desconocimiento	¿Cómo actuar contra lo desconocido?
Desinformación	¿Cómo pretendemos exigir lo que no hacemos entender?
Exceso de información	El sensacionalismo no informa
Ignorancia	Tememos más aquello que ignoramos
Negación	Cuanto menos sé, más fácil me es negarlo
Desobediencia	¿Derechos individuales mal entendidos?
Tibieza política	¿Quién le pone el cascabel al gato?
Dejación	Responsable de una situación es aquel que debe ser
Sobreactuación	Las soluciones sonoras no son realmente la solución
Conocimiento	¿Por qué no echar mano de los que realmente sabe?

en el proceso de descongelado, por lo que, tampoco este es un formato más seguro de los alimentos de origen marino. Sí, en cambio, con las conservas, porque el proceso de esterilización sí acaba con el virus. Por otro lado, la demanda se ha visto muy afectada por el cierre de la hostelería (bares, restaurantes) y el turismo (hoteles), lo que ha provocado la drástica caída de un importante motor de la economía de estos sectores.

Pues bien, todos los eslabones afectados han afectado a su vez al primero, la producción, porque no se trata de producir objetos, sino seres vivos que están creciendo, por lo que es preciso mantener su alimentación, con lo que ello implica de mantenimiento del gasto sin el beneficio de la venta. Pero, además, la caída de la demanda hace que los stocks que no se venden sigan creciendo, y alcancen tamaños poco comerciales y/o deban ser eliminados, con lo que ello conlleva.

Es obvio que no sólo estos sectores se han visto –y aún se ven– muy afectados por esta pandemia que no acabamos de controlar. Pero, todos los sectores económicos, el sistema sanitario y la sociedad en general, a nivel global, están siendo también afectados por la COVID-19. Lo que debería realmente preocuparnos es saber si estamos aprendiendo algo de esta situación que vivimos, o si vamos a repetir los mismos errores en el futuro. Porque, tengan en cuenta que vendrán nuevos virus. En un futuro próximo o lejano; eso no se puede pronosticar. El cambio climático y la invasión acelerada del medio natural, están trayendo ya virus desconocidos hasta ahora, que están entrando en las poblaciones animales así como en nuestra propia sociedad humana a nivel global.

Así que, deberíamos escuchar lo que este virus nos está diciendo a voces: *¡Detrás de mí vendrá quien bueno me hará!*

Estrategias de mercado en Ecuador ante el COVID

José Antonio Camposano

La primera aclaración funcional a la presentación que se realizó anteriormente, el hallazgo por China en julio del año pasado, en ningún momento fue sobre producto sino sobre superficies de cajas y sobre una superficie de una pared interna de un contenedor, pero lo cierto es que China nunca reportó hallazgo en producto como tal, sino en las superficies de las cajas. Se trata de una técnica de hisopado en superficie que luego es analizada a través de un equipo de PCR que determina la presencia de trazas de virus. Pero como ustedes deben conocer lo que se detecta es el ADN, pero no la posibilidad de que el virus pueda replicarse. Ese evento como tal sí que generó un llamado de atención para que se mejoren los protocolos sanitarios, a fin de que las superficies de las cajas exteriores de los contenedores en los que se guarda el producto para ser exportado sean desinfectados, de tal forma que no se dieran casos similares en el futuro. Hasta la actualidad China no ha vuelto a reportar situaciones similares a este caso. Dentro del proceso de manipulación del producto no ha habido presencia de COVID en el camarón

como tal, sino más bien en las áreas de exterior que podían proceder inclusive de otras áreas industriales como son por ejemplo fabricantes de cartón, donde posiblemente no se estaba haciendo este proceso de desinfección.

Ahora, para entrar en materia referente a los efectos, y qué es lo que ha hecho Ecuador desde el marco de la pandemia, y cómo trabajar para evitar los impactos de ella, hay que entender primero que para los impactos sirve mucho la presentación previa a la mía, porque dio un marco bastante amplio referente a donde realmente están los impactos de la pandemia en el sector acuicultor, especialmente aquel sector acuicultor comercial que depende del comercio exterior. Yo veo dos tipos de impacto, el primero sobre los países productores y, por supuesto, el impacto en los mercados. En lo que respecta a países productores, muchos países productores acuícolas han visto una contracción en su producción, motivada por la aplicación de medidas de restricción (menos personal en los centros de producción para aplicar el distanciamiento social correcto, dificultades para coordinar la logística,...). Una medida que fue exitosa desde el punto de vista ecuatoriano es que el gobierno del Ecuador señala los sectores primordiales que no debían detener su operación, entre ellos el sector exportador y, por tanto, toda la logística relacionada con la operación de la cadena de valor de las actividades de exportación no se vieron afectadas por los toques de queda, por las restricciones de movilidad y demás medidas que sí se tomaron como, por ejemplo, el teletrabajo en muchos otros sectores de la economía considerados no esenciales. En el caso de Ecuador la actividad exportadora fue considerada como una actividad económica esencial y, por tanto, se brindó paso para que a través de los gremios como la Cámara pudiéramos coordinar con las autoridades y así, por ejemplo, centros de procesamiento (las empacadoras) trabajaran con turnos reducidos o que la logística para movilizar camiones con camarón hacia las empacadoras, o los camiones con los contenedores hacia los puertos, no se viera afectada por todos los controles que sí se establecieron para el resto de la ciudadanía. Sin embargo, sabemos que en otros países, lamentablemente, por ejemplo la India un competidor directo del Ecuador, tuvo graves problemas para continuar operando por las medidas de restricción a la movilidad dictadas por el gobierno de ese país. Entonces, por un lado, la producción se afecta, porque sin duda las medidas buscaban en general evitar los contagios entre personas y, por tanto, reducir los aforos en los centros de producción. Los centros de procesamiento de camarón tienen un alto aforo de personas, son áreas que demandan una alta cantidad de mano de obra y, por tanto, requiere un número considerable de personas operando al mismo tiempo, y otras medidas que afectaron la movilidad de los diferentes factores de producción. Camarón que se envía de una finca a un centro de procesamiento si no tiene como movilizarse usted pierde tiempo, porque no puede procesar el volumen de productos que normalmente está acostumbrado a procesar. Un efecto que tuvimos inmediato en el Ecuador hasta que se normalizó la operación es que, por el temor al contagio, el número de personas que asistían a sus puestos de trabajo fue inferior, aun cuando se había explicado que cadenas como la exportación de camarón no debían detener su actividad. Pero los seres humanos, con el natural temor de verse potencialmente infectados, no asistieron a sus puestos de trabajo y no se lograba completar el número de personas mínimo para hacer un turno para procesar y, lo que había que hacer, era acumular personas de los diferentes turnos

y, en algunos casos, las empresas solamente operaban con un turno durante un par de semanas, hasta que lograron atraer nuevamente al trabajador, contratar transportes privados porque su personal se movilizaba en el transporte público, que estaba afectado por las medidas de restricción a la movilidad decretada por el gobierno nacional. Entonces, si por un lado este efecto del input internacional de camarón, es decir, el volumen que sale a los mercados internacionales se ve reducido, porque los diferentes gobiernos de forma responsable aplicaron medidas de restricción a la movilidad, de teletrabajo, de aforo limitado en los centros de procesamiento, en el caso del Ecuador al cierre de 2020 lo que tenemos es que el país, en lugar de reducir su volumen de producción/exportación, crece un 7%. Ahora para ponernos en contexto de lo que significa este 7%, frente al crecimiento que la actividad camaronera venía registrando en los últimos años, tengo que darles el dato del crecimiento promedio de ese período. El Ecuador crece, promedio, en volumen de exportación, algo así como entre el 16 al 18% en los últimos 5 años, es decir, hasta el año 2019. Si vemos el crecimiento anual en algunos años de manera puntual, vemos incluso que el país creció por encima del 22-23 y hasta el 26% en ciertos años, dentro de ese mismo período. Entonces, crecer un 7% para nada es una buena noticia, cuando el sector venía creciendo con una dinámica muy superior, sin embargo, a pesar de los problemas que les acabo de describir derivados de las medidas de restricción, el crecer un 7% en volumen significó un esfuerzo enorme por parte de la cadena, al sostener tanto el volumen de producción como el volumen de exportación. Sin embargo, ¿dónde está el impacto más grave para una cadena de producción y exportación, como es la camaronera en el Ecuador? Sepan ustedes que del 100% de la producción camaronera en el país, el 99,5% se exporta y solamente el 0,5% se queda en territorio nacional para su consumo. Ecuador es un país con poco más de 17 millones de habitantes y Ecuador hoy es el más grande productor y exportador de camarón del mundo, entonces necesitamos de los mercados de exportación para poder dinamizar nuestra actividad y para poder ampliar aún más nuestro volumen.

¿Cuál es el efecto en los mercados? Para poder analizar el efecto de la pandemia en los mercados, particularmente en el mercado del camarón, vamos a tener que separar también mercados de mercados. Número uno, en el caso puntual del Ecuador, China, porque China, hasta el año 2019, fue el mercado que absorbió el 65% del volumen total de producción y exportación del Ecuador, es decir, de cada 10 camarones exportados por el Ecuador, prácticamente 7 terminaban en China, su principal mercado de exportación, y de ahí al resto de mercados e importadores. Entonces ¿qué sucede con China? Bueno, primero es el país que se afecta en primer lugar porque ya para enero-febrero se anunciaba la presencia de la pandemia del COVID-19 en su territorio y, lo primero que decide China es anular las fiestas del año nuevo chino, del festival de la primavera, y extender por una semana más el feriado de año nuevo. Pero esto no significó que el ciudadano chino tenía una semana más para irse de vacaciones y consumir, no, por el contrario, lo que se dijo es que nadie se mueva de sus hogares, nadie regresa a las ciudades, se quedan confinados porque estamos tomando estas medidas por la pandemia. ¿Qué significó esto? Primer golpe, número uno, que los stocks que se encontraban en China para ser consumidos durante el festival de la primavera, en el año nuevo chino, no se consumieron porque no hubo festividades, porque se prohibieron las reuniones. Segundo, se empieza a afectar de manera gravísima el mercado horeca

(hoteles, restaurantes y cafeterías), porque los grandes polos, las grandes ciudades (China tienen una población flotante que viene de otras regiones del país que trabaja en ciudades como Shanghái, Cantón, Beijing y demás), esas personas se encontraban en sus hogares por la vacación, y una semana más que se extendió este feriado, no regresaron a las grandes ciudades y es en ellas donde hay un consumo considerable en hoteles, en restaurantes, cafeterías y demás servicios de catering, no tuvieron ese consumo, entonces se empieza a registrar un impacto en el mercado porque no hay consumo en la celebración más importante y no hay consumo en las ciudades, a través de los restaurantes, los hoteles, que mediante el servicio de food service, compran el camarón que Ecuador exporta a China. Entonces, el primer mercado afectado es China, en el mes de enero-febrero-marzo. A fines de febrero la Unión Europea empieza a declarar las medidas de confinamiento y, de igual forma, el segmento horeca de hotelería, restaurantes, catering, cafeterías y demás, derrumba su consumo y prácticamente un 90% del consumo en estos puntos de venta desaparece. Le sigue Estados Unidos, que también declara a mediados-finales del mes de marzo medidas de confinamiento y sucede exactamente igual. Para entender el impacto en el sector camaronero ecuatoriano hay que comprender que hasta el año 2020, fines de 2019, el 50% de la exportación de camarón de Ecuador iba dedicada al canal de venta horeca, es decir a hoteles, restaurantes y servicios de catering. Este es el segmento más afectado por la pandemia del COVID y es un segmento que, a día de hoy, sigue sin recuperarse y, por tanto, las importaciones con destino a ese segmento decayeron de manera preocupante. Por otro lado, sucede que las familias en sus hogares empezaron a consumir a través de plataformas online, entonces los segmentos retail, que también vieron su consumo o su demanda afectada, encontraron el despertar, o digamos que la activación o el dinamismo, de un segmento de compra a través de plataformas online que motivó a generar consumo a través de esa vía. Entonces, si bien es cierto que tenemos un segmento horeca sin recuperarse, lo que ha hecho Ecuador con muchísima dificultad, porque no es una industria que está diseñada para atender ese segmento, empezó a pelar más camarón para atender a un segmento de retail, a través de este canal online, que empezó a crecer de manera importante desde los meses de abril-mayo-junio-julio en adelante. ¿Qué hemos visto como resultado en la exportación del Ecuador? Si bien es cierto que no se contrajo, que creció en un 7% debido a la afectación del mercado, es decir a una demanda que se derrumba en el segmento más importante como el horeca, el volumen que se mantuvo creciente por parte del Ecuador, volumen que no decayó tanto en otros países que si bien es cierto se vieron afectados, mantuvieron su oferta en momentos clave, hicieron que el precio internacional del camarón para Ecuador cayera de forma preocupante desde principios de la pandemia, prácticamente en el mes de febrero empezamos a notar una caída de precios que llegó a su punto más bajo posiblemente a fines del mes de agosto, recuperándose a principios del mes de septiembre, cuando se percibe la compra de China de cara al año nuevo, que se está celebrando en los próximos días.

¿Qué es lo que hemos aprendido de esta pandemia? Sin duda alguna, que las medidas de restricción que afectan a la movilización de los seres humanos, afecta a la logística tanto de la producción, del procesamiento, como de la exportación. Pero si bien el país, en este caso la industria camaronera, ha aplicado una serie de protocolos y medidas para, primero, evitar tener un inconveniente como el que se

suscitó con China a mediados del año pasado, lo que no podemos controlar y para lo que debemos rediseñarnos, es que los mercados internacionales que a día de hoy siguen afectados en su consumo, porque en la medida en que ustedes lean en las noticias que Europa, EE.UU., e inclusive China, declaren medidas de restricción a la movilidad de los ciudadanos, reduzcan los aforos en hoteles y demás, están afectando directamente el consumo de una gran porción del camarón que se exporta por parte de nuestro país. ¿Qué sucede por otro lado? Las plataformas online se han convertido en un medio de venta muy importante, pero para ello se requiere de un producto transformado que no era la especialidad del Ecuador, que aún no es la especialidad del Ecuador, porque nosotros tenemos graves problemas de competitividad para llegar con un precio adecuado para esos segmentos que cierran contratos durante x número de meses al año y se dedican a incentivar el consumo de ese producto. Ecuador se había especializado en atender a los segmentos *high end*, a los segmentos de *food service* donde se atendían restaurantes, empresas de catering, hoteles, que se van más por el lado de la calidad del producto, buscando la frescura del producto y, ellos mismos, hacer un proceso de cocción a través de técnicas culinarias más desarrolladas. El ama de casa, que compra una funda de camarón en un supermercado, no está familiarizada necesariamente con el producto y, lo que busca, es cierto nivel de conveniencia entre un balance precio-calidad, entonces está dispuesta a sacrificar cierta calidad del producto que provenga de otros orígenes distintos al ecuatoriano, una inferior calidad posiblemente, pero con mayor conveniencia, un producto ya pelado que pueda simplemente abrir la bolsa, cocinar y servirlo en su hogar. ¿Qué hemos aprendido también? Que estas amas de casa, que se han volcado hacia un consumo en hogar, han mejorado sus propias técnicas culinarias en sus casas y ahora están consumiendo más camarón, como sucede en EE.UU. donde la importación ha crecido y donde el Ecuador, gracias digamos que a este fenómeno generado por la pandemia, ha volcado nuevamente su mirada a ese destino con productos de valor agregado, situación que no lo estábamos haciendo porque estábamos atendiendo a China con ese impresionante volumen de importaciones. ¿Cómo quedan las exportaciones de Ecuador hacia China luego de la pandemia? Bajan un 10%, es decir, si China compró hasta el 65% de nuestra producción en 2019, al año 2020 no llega siquiera al 55%, y hay una redistribución de ese volumen en otros destinos principalmente en EE.UU. donde se ha crecido y en Europa también. Aunque parezca mentira, en ciertos destinos como España se ha crecido hasta un 50%, frente al volumen exportado en 2019. Entonces, con esto, yo quería describirles cuál fue la situación que vivimos al interior de Ecuador, qué es lo que se ha vivido en los mercados internacionales y siempre hay la pregunta ¿y que esperamos del 2021? El primer semestre del 2021 será muy parecido al último semestre del 2020, entendemos mucho mejor cómo se comporta el mercado en la pandemia, sabemos que los riesgos persisten en la medida en que los gobiernos logren vacunar un porcentaje importante de su población. La cadena de contagios no se corta de manera efectiva, sino a momentos, y por eso vemos los picos nuevamente en las temporadas donde la ciudadanía se reúne de forma masiva, como lo vivimos en el feriado de Navidad, así que no habría razones para esperar una recuperación inmediata de los mercados, como fueron hasta 2019, mientras los efectos de las vacunas no se vean y los gobiernos que con la tranquilidad de que no van a tener que afrontar nuevos problemas en los servicios hospitalarios, empiecen a liberar las medidas de restricción que han aplicado en cada uno de sus países.

Así que es un poco la experiencia que les quería contar desde nuestro, digamos caso ecuatoriano. Sin duda que el consumidor ha cambiado mucho su percepción, hoy en día el primer factor diferenciador, o el factor que un consumidor ve en un alimento, es buscar la seguridad de ese producto, es decir: ¿es seguro este producto que estoy comprando y que estoy llevando a casa? ¿si hubiera algún inconveniente tiene la trazabilidad suficiente para poder recoger los lotes que presenten algún problema? ¿Qué garantías me ofrece este productor, este exportador, este distribuidor, referente al producto que estoy llevando y ofreciéndolo en casa? Hay mucha preocupación referente a eso, que ha dejado un poco de lado los temas relacionados a certificaciones y demás. Yo lo primero que quiero saber es que el producto que compre es seguro, y luego cuéntenme los valores adicionales, pero primero garanticen que cumple con todos los estándares mínimos, para ser calificado como un alimento seguro para mi familia.

Mercados globales de productos del mar: impacto del COVID-19 y perspectivas

Darryl Jory

La pandemia de coronavirus del COVID-19 ha afectado a todo el planeta, con un altísimo costo en vidas humanas y en dolor, y la realidad es que aún estamos lidiando con este flagelo y el mundo al otro lado de esta pandemia no va a ser el mismo. Tenemos que prepararnos para un mundo diferente. Hoy les voy a hacer un resumen breve del impacto de la pandemia sobre la industria de los productos del mar, con algunas perspectivas y recomendaciones personales. Entonces hablemos primero de la industria de los productos del mar antes del COVID-19. Si vemos los datos de producción para el año 2018, alcanzó un récord histórico entre pesca y acuicultura, de alrededor de 179 millones de toneladas métricas, lo cual representó en ventas o en comercio más de 163.000 millones de dólares. El consumo per cápita ha aumentado significativamente en los últimos doce/quince años, hasta llegar a más de veinte kilogramos por persona en el año 2017, y esto representa un porcentaje importante del 17% de la ingesta de proteínas animales en la población mundial. Los productos de mar proporcionan entre el 10 y el 20 por ciento de las proteínas animales de la mayoría de la población del mundo. Si vemos los principales grupos, los salmónidos y los camarones y langostinos cada uno con un 17% y un 18% del valor total, seguido por varias especies de peces de fondo y atunes, con un 9% cada grupo. Lo más importante de todo esto es que, para el año 2018, se movieron internacionalmente unos 67 millones de toneladas métricas de productos del mar, un poco más del 38 por ciento de la producción total pesquera y acuícola. Este movimiento, estas exportaciones, implicaron prácticamente a todos los países del mundo y, en particular, si vemos este comercio de productos del mar representan más del 2%, de absolutamente todos los productos que se mueven, que se comercializan, que se exportan, a nivel mundial. El comercio mundial de productos de mar es muy complejo, es muy dinámico, es muy cambiante, es difícil de predecir, y ahora, gracias a la pandemia, sabemos que es bastante vulnerable también.

¿Qué ha pasado durante el tiempo de la pandemia? La pandemia ha afectado todas las cadenas de

valor de todas las industrias, incluyendo la de productos de mar. Ha mostrado las debilidades y vulnerabilidades de muchas cadenas de valor, pero también ha abierto muchas oportunidades para los productos de mar. Mucha de la información que les voy a presentar es algo repetitiva, ya ha sido mencionada por los ponentes anteriores, pero creo que vale la pena hacer énfasis en muchos de estos puntos. La pandemia ha afectado el comercio internacional y a todos los componentes de la cadena de suministros de alimentos. Ha afectado la producción, el procesamiento, el transporte, la logística, la demanda, los precios, la calidad de vida, etc., pero no todos los sectores y productos se han visto afectados por igual. Diferentes productos han experimentado diferentes interrupciones en diferentes etapas de su cadena de suministro. Como sabemos, cualquier interrupción del flujo en cualquier parte de una cadena de suministro, va a provocar una desaceleración en el resto de sus componentes, o hasta un bloqueo del flujo. También, un punto importante de la pandemia es el cambio muy drástico, y muy rápido, en la demanda y en el comportamiento de los consumidores en los mercados de exportación. Básicamente todas las cadenas de producción, todos los componentes de todas las cadenas de producción del producto del mar han sido impactadas. El confinamiento y las restricciones de movimiento de viajes, ha llevado a la cancelación de muchísimos eventos no sólo científicos y técnicos, sino de eventos comerciales como los eventos de productos de mar en Boston, en Barcelona y en otros sitios. En estos eventos se llevaban a cabo negociaciones importantes, eran oportunidades de contacto que también han sido afectados por la pandemia.

¿Cuál ha sido el impacto en la producción pesquera? algo de esto ha sido mencionado ya y ha afectado la producción de muchas flotas por diversas restricciones: problemas de almacenamiento, problemas de escasez de contenedores para enviar sus productos a los mercados, problemas con el traslado y la disponibilidad de trabajadores para las plantas de proceso, falta de diversos insumos, problemas de flujo de caja, créditos, préstamos para operar. Los precios han bajado en general. Las flotas que operan para producir para productos de mercados de exportación han sido las más afectadas. Las restricciones de movimientos, para personal marítimo y tripulaciones, han resultado en mucha gente, muchas tripulaciones, que han quedado aisladas/varadas en todo el mundo y, si se quiere ver un lado positivo, pues de alguna manera un menor esfuerzo pesquero resultará en un reposo de poblaciones de peces que estaban sobreexplotadas y esto podría, quizás, ayudar de alguna manera a su recuperación.

El impacto sobre la producción acuícola implica que la mayoría de las restricciones que afectan a la producción pesquera, también aplican a la producción acuícola, aunque la industria acuícola tiene problemas específicos: el movimiento transnacional de animales vivos (en muchas industrias hay una alta dependencia en la introducción o la importación de animales vivos como reproductores, larvas y ovas); problemas con las importaciones de insumos y equipos de todo tipo, en particular las exportaciones de ingredientes para alimentos para piensos; realmente en la producción acuícola en muchos países se ha hecho muy difícil la toma de muchas decisiones, la decisión de sembrar o no, de alimentar o no, de cosechar o no, obviamente las especies de ciclo corto tienen ventajas sobre las especies de ciclo más largo, podemos usar los camarones contra los salmones como ejemplo; las

especies que se comercializan en vivo ha sido muy problemáticas. Mirando rápidamente los datos que generamos en nuestra encuesta anual en la *Global Aquaculture Alliance* (GAA), la producción total de camarón para el año 2020 bajó hasta un 12% con respecto al año 2019 (solo Ecuador y Malasia reportaron una mayor producción), la producción de salmones tuvieron un leve aumento, la producción de tilapia fue básicamente la misma, la producción de pangasius bajó algo, la producción de lubina y dorada bajó también un poco y, si tomamos las 27 o 28 especies que manejamos en la encuesta anual de la GAA podemos ver que prácticamente la producción de estas especies indicativas permaneció muy parecida, quizás con un leve aumento en comparación con el año 2019.

Sorprendentemente, la industria acuícola ha seguido creciendo, muchas empresas tuvieron muy buenos resultados con novedosos productos de valor agregado, la fuerte demanda de productos congelados, y la penetración de nuevos consumidores ayudó mucho, y también como se mencionó anteriormente, las ventas directas vía online acortando cadenas de comercialización. Estamos viendo una muy fuerte inversión en acuicultura terrestre (salmón, peces marinos, camarón), y hay mucha inversión también en acuicultura costera y particularmente mar afuera. Hay una serie de nuevos y muy grandes inversores que vienen de otras industrias, están entrando en todos los componentes de la cadena de valor y acuícola. Hay también la expansión dentro de la cadena de valor, tanto hacia arriba como hacia abajo, de grandes empresas productoras de alimentos balanceados. Hay empresas de salmón muy grandes que están buscando diversificar sus actividades hacia otras especies, incluyendo generalmente el camarón. Básicamente en el año 2020 vimos un sólido ritmo de consolidaciones, fusiones y adquisiciones, que continúa y, para el mes de octubre, ya se habían reportado alrededor de 60 fusiones y adquisiciones millonarias en todo el mundo. Otro ejemplo de la mucha información que se ve en línea, de lo que está pasando desde el punto de vista de inversiones, mencioné el salmón en tierra, pero en sistemas de recirculación hay proyectos muy grandes en todo el mundo incluyendo Sudáfrica, Medio Oriente, Europa y EE.UU.

¿Cuál es el impacto de la pandemia en el procesamiento y la transformación? Los impactos pueden ser de tipo de falta de materia prima y también de exceso de materia prima, porque se ha convulsionado toda la cadena de suministro a las plantas de procesamiento en muchos países. El problema de escasez de trabajadores, es la salud de los trabajadores, por el distanciamiento físico y medidas de seguridad, ya esto fue discutido por otro ponente sobre los problemas de tener gran número de personas confinados trabajando juntos. Hay problemas del movimiento de productos a puertos; hay problemas para exportar en países donde hubo un confinamiento muy estricto; se habló también de requerimientos sanitarios de algunos países importadores; es importante también mencionar que muchas plantas de proceso han tenido que diversificar su trabajo, sus operaciones, por la necesidad de llegarle al mercado minorista cuando su principal trabajo, anteriormente, era el *food service*, como se mencionó para los hoteles los restaurantes, etc., pues ahora hay que llegarle a la casa y a la casa no se puede llegar con una caja máster de 50 libras de un producto. Tiene que venir listo para ser consumido, tiene que haber conveniencia de preparación, se habló del tema controversial de China sobre el rechazo de embarque de camarón de

Ecuador. Hubo problemas también con salmones de Noruega, langostas de Canadá, de nueva Zelanda y de otros países. No debemos creer que este es un problema único de los productos de mar, todas las industrias cárnicas han tenido problemas similares, que no han sido quizás reportados en nuestro medio, pero los problemas han existido y existen.

El impacto en los mercados, en el consumo y en el comercio internacional, la pandemia ha provocado cambios de gran alcance y muchos de estos cambios van a persistir a medio y largo plazo. Para el año 2020 los precios agregados bajaron, año a año, para la mayoría de las especies comercializadas, de acuerdo a la FAO. Las ventas minoristas han aumentado muy significativamente, a expensas de los servicios de alimentación. La pandemia produjo un fuerte cambio en los patrones de consumo, como ya se mencionó anteriormente, y es importante saber o tener conciencia de que los consumidores han cambiado sus preferencias, debido a la necesidad, de tener seguridad de que los productos son inocuos, de que no me voy a infectar de COVID por comprar un producto x, y esos productos tienen también que tener la conveniencia de preparación fácil en el hogar. Utilizando el caso de los EE.UU. y los datos de la Conferencia Global de Comercialización de los Productos del Mar, del Instituto Nacional de Pesca, que se llevó a cabo la semana pasada, podemos ver que para diciembre del año 2020 las ventas de mariscos congelados, en los EE.UU., habían tenido un aumento del 35% en relación al año 2019. Las categorías de pescado y mariscos congelados tuvieron una ganancia de 3.200 millones de dólares, seguidos por camarones cocidos y camarones crudos, con 1800 y 2000 millones de dólares. El camarón crudo experimentó en particular un aumento del consumo de casi 48%; los productos de mar congelados aumentaron significativamente su penetración en la mayoría de los mercados y en nuevas categorías de consumidores; en los EE.UU. casi tres de cada cuatro consumidores han comprado mariscos congelados en el año 2020. Los viajes por comprador promediaron cerca de 7, lo que representa un aumento de casi el 22% contra el año anterior. El gasto por viaje aumentó en un 5% y el gasto anual, por comprador, aumentó casi un 28% contra el año 2019. No se ha mencionado mucho el impacto de la pandemia sobre los restaurantes, estos datos que les muestro son datos recopilados por una organización que se llama *Open Table*, que siguen a diario la afluencia de clientes a aproximadamente 20.000 restaurantes en todo el mundo y esta gráfica representa la afluencia a diario desde el día 12 de enero hasta el día 4 de febrero, el jueves de la semana pasada, y pueden ver que a nivel global la afluencia a restaurantes ha bajado entre un 51 y casi 70%. Si lo llevamos a un nivel un poco más afinado, por países, podemos ver que la mayoría de los países en Europa (los ejemplos que tenemos son Alemania, Irlanda y el Reino Unido) prácticamente todo está cerrado. EE.UU. y Canadá tienen cierta afluencia, y países como Australia, que probablemente se estén beneficiando (a fin de año es su verano austral), han tenido un auge de asistencia de participación importante, y hago énfasis en esto porque la industria de restaurantes es una industria que emplea millones de personas, que ha tenido un impacto sumamente fuerte, y es parte de la cadena de valor de nuestra industria.

Pasando al siguiente punto, entre los eventos que llevamos a cabo en preparación para la reunión anual de la GAA, hicimos una encuesta o una revisión del consumo y minoristas de productos de mar

y la información que recopilamos fue muy interesante, y aquí les muestro el aumento en las ventas de productos reportadas por una cadena de supermercados muy importante en los EE.UU., donde los productos como el salmón y el camarón tuvieron un aumento del 40%, llegando inclusive la tilapia congelada al 80%, y el cangrejo de Alaska hasta un 90%. El punto importante de lo que quedó de este trabajo encuesta es el cambio en los patrones de consumo, el aumento del consumo en la casa parece ser una tendencia que no solamente es global, sino que es una tendencia que tiene muy buenas posibilidades de continuar en el futuro. Entonces el comercio internacional, el comercio mundial del producto de mares, probablemente ha cambiado de alguna manera para el año 2020 y va a seguir cambiando y el futuro dirá cómo van a quedar estas relaciones.

¿Qué podemos decir en cuanto a perspectivas? Las ventas de productos de mar, como se ha mencionado están cambiando, la gente está acortando las cadenas de comercialización, están comprando más directamente, están comprando más directamente en línea, y esto obviamente afecta todo todos los procesos que vienen previos desde el punto de vista de transformación, de empaque, de presentación, etc. El comercio electrónico, utilizando China como ejemplo, es una herramienta sumamente potente para expandir los mercados. En China el gasto en comercio electrónico es gigantesco, ha estado aumentando más del 20-22% anualmente por varios años. En China hay mil millones de usuarios de internet, y ya el 80% compraba de todo en línea para el año 2019. Muy importante, un tercio de los alimentos en China son comprados por internet. Hay dos empresas básicamente que dominan este comercio que son JD y Alibaba; JD era responsable de casi un 17% del comercio electrónico minorista en China en el año 2019. Otro aspecto importante del resultado de la pandemia, es el desarrollo de nuevos productos con más conveniencia para ser llevados al hogar. Como ejemplo, una compañía noruega fabrica algunos nuevos productos con salmón, como hamburguesas y perros calientes, que son productos de consumo habituales en muchos hogares alrededor del mundo, son también productos de alto consumo las cadenas de comida rápida en la calle, para que la gente compre su cena y se la lleve a la casa. La pandemia ha obligado o ha inspirado la creación de muchísimos nuevos productos, la mayoría con valor agregado, listos para ser consumidos en el hogar. No debemos olvidar que la industria de los productos del mar no está en un vacío, tenemos competencia de otras industrias cárnicas, no sólo el pollo, los cerdos, el ganado vacuno y otros. Tenemos una potencial competencia muy fuerte de lo que se ha dado en llamar la “acuicultura celular”; cuando escuché el término por primera vez me causó risa pero después que indague un poco de qué se trataba, montos de inversión y los jugadores, las empresas muy importantes que están entrando en esta alternativa de producción del pescado, de marisco, lleva a pensar que hay que considerarlo como un potencial competidor de mucha relevancia a corto plazo, debido a las cantidades de inversión, a la diversificación de productos que están en desarrollo y al calibre de las empresas, muchas de ellas ya en el mercado de productos de mar, que están diversificando sus actividades hacia esta nueva actividad. No puedo dejar de comentar lo que dice el Banco Mundial en su reporte de hace un par de semanas, a finales de enero, sobre las perspectivas de la economía mundial, la solución de la pandemia es la inmunidad de la población pero también la apertura económica, y las perspectivas reportadas por el

Banco Mundial para este año indican que se espera, dentro de una gran incertidumbre por supuesto, quizás un 5,5% del crecimiento en este año, y un 4,2% el año que viene. En Europa aumenta un 4,2% y 3,6% y, para América Latina y el Caribe, números similares. La recuperación va a variar muy significativamente entre diferentes países, dependiendo de cómo manejen sus situaciones particulares, las intervenciones médicas, el acceso a vacunas, la vacunación masiva de la población, la efectividad del apoyo de muchas políticas, etc. Las expectativas son buenas, según el Banco Mundial, pero todo esto está dentro de un marco de incertidumbre bastante fuerte.

Como conclusiones, podemos decir que: la pandemia afecta a todas las cadenas de valor de todas las industrias, no solamente nuestra industria de productos del mar; muchos países han podido reanudar sus actividades, pero las condiciones siguen siendo muy volátiles; día a día, la pandemia ha mostrado la vulnerabilidad en muchas cadenas de valor, incluyendo las nuestras, pero también ha abierto en muchas oportunidades para expandir el consumo de productos de mar y para diversificar la cantidad de productos; básicamente dependemos de qué es lo que va a pasar con el COVID, si hay nuevas olas, mutaciones, es la efectividad y la necesidad que pueda haber nuevas vacunas, el tiempo que tome ponerlas en ejecución, tratamiento, si regresamos al confinamiento y otras restricciones; hay mucho que no sabemos y por eso estamos en un periodo de mucha incertidumbre.

Desde el punto de vista de recomendaciones: hay que analizar las cadenas de suministro e identificar y saber cuáles son los puntos críticos y tener dentro de lo posible alternativas para mitigar los efectos de las pandemias, las interrupciones actuales y futuras; es importante mantener la continuidad de las operaciones de la compañía, la salud y el bienestar de los empleados es primordial, hay que tener planes de contingencia (uso el ejemplo de las políticas de seguros porque muchas empresas, que pensaban que estaban cubiertas por diversas pólizas de seguro, no habían leído la letra fina y se encontraron que la palabra pandemia era una exclusión de la cobertura); hay que anticipar dentro de lo posible la ralentización de la producción, llenar los pedidos antes de la programación, anticipar escasez de suministro de equipos, etc.; tratar de seguir diversificando los productos y los mercados; considerar la competencia, como mencioné anteriormente; es totalmente crítico, como hablaron otros ponentes en otras sesiones, una inversión sana, lógica, bien estudiada en tecnología y en innovación, para reforzar las cadenas de suministro; es primordial también aumentar o mejorar el acceso a la información, su análisis y su uso para la planificación y la toma de decisiones a tiempo.

UNA SALUD: coronavirus en aguas servidas de ciudades de manglares de países productores de camarones

Acacia Alcivar-Warren

En los últimos 18 años he estado trabajando en la costa de Ecuador, desde la frontera con Perú hasta la frontera con Colombia, y tengo una colección muy bonita que ya estoy lista para empezar a analizar,

sobre la biodiversidad genética de la especie de camarones a lo largo de nuestra costa, así como también del análisis de cerca de 30 metales pesados, glifosato, y otros químicos disruptores endocrinos de hormonas, que afectan la salud animal y humana. Sigo estudiando esa relación entre la viabilidad de las poblaciones de camarones en un medio ambiente que está muy destruido, creo yo, con una carga contaminante muy alta, el cambio climático, y las interacciones genéticas que tenemos que cuidar. Estoy muy orgullosa de decir que, después de 20 años de intentarlo, finalmente tengo el genoma del camarón *L. vannamei*, y que tengo la información más increíble, que no creo que pueda vivir lo suficiente para publicar todos los artículos que van a salir de toda la información del genoma, pero lo único que les puedo avanzar es que he secuenciado primero el camarón SPF de EE.UU., del cual fui parte a finales de los años 80, cuando los americanos desarrollaron su primer camarón SPF y ese camarón lamentablemente, bueno lo digo así porque por muchos años hemos dicho que el camarón SPF es libre de enfermedades y, en realidad, lo que se encuentra en el genoma es que la secuencia del virus entero de la mancha blanca está en el genoma de ese camarón. También se encuentra, en casi todos los países productores, el genoma entero del virus IHHN dentro del camarón SPF, lo cual significa que va a haber problemas con los diagnósticos de certificación de la OIE. Yo tengo camarones desde 1995 de diferentes sitios de Ecuador, y ya se empezaba a ver el virus de la mancha blanca y, ahora, como la secuenciación es tan barata, puedo secuenciar muchos genomas fácilmente y volver a mis muestras, que tengo recogidas de todas estas provincias por tantos años en mis viajes de verano de mis expediciones científicas, con mis estudiantes americanos y ecuatorianos. Pero para mí el concepto es UNA SALUD, yo voy cada año a Ecuador y espero que se me unan estudiantes de Manabí, yo nací allí y me gustaría ver más gente envuelta en investigación científica, pero me gusta recoger muestras de todas las especies que están en el manglar es una salud *ONE HEALTH*, estamos todos allí mismo, vivimos allí y a todos nos impactan los animales, los virus y los productos químicos. Me gusta ayudar a medir cuanto CO₂ estamos perdiendo con cada hectárea perdida de manglar, o que podemos hacer para ayudar a la industria a que replanten más, para ayudar a fijar más CO₂, ahora más que nunca con el nuevo gobierno, el cambio climático va a ser mucho más importante y controlarlo. He secuenciado alguna de las especies de los árboles de manglares que tenemos en Ecuador y espero continuar la secuenciación de esas especies, ya que estos árboles tienen unos genes que se llaman elementos transponibles que son genes envueltos en calor y en salinidad, muy interesante. Con mi compañía no sólo hago camarones sino que también secuencio genomas y epigenomas de ostras (*Crassostrea gigas*), aquí la información científica más increíble, todavía no publicada, también con esta especie pero aquí está la información con el virus de la mancha blanca yo le llamaba ya fosilizado dentro del camarón SPF de EE.UU. que fue producido por el consorcio de los de Hawai, ahora estoy estudiando todos mis camarones de Ecuador silvestre para ver qué pasó donde hubo alguna contaminación, o es que ahí es parte de camarón del virus de la mancha blanca que en realidad es endógeno y es como creo que los científicos están aceptando mis papers ahora, diciéndome que es un virus endógeno que está allí y que yo lo que tengo que empezar a ver es la evolución de ese virus de la mancha blanca ya dentro del camarón que no causa enfermedad. Pero lo más importante es la nueva ciencia epigenética, alguien tiene que empezar a hablar sobre esto en el Ecuador. Es una ciencia donde hay cambios en la forma como el cromosoma funciona, pero no

cambia la secuencia del ADN, pero son estos factores epigenéticos los que afectan a la cromatina y no al ADN, las histonas y ciertos factores que no codifican para ninguna proteína, lo que es más importante para controlar las enfermedades del camarón y de otras enfermedades en humanos. Hay tres tipos de esas alteraciones epigenéticas que son a nivel no sólo de ADN, con la metilación pero del mensajero de ADN y después con las proteínas y algo que quiero que entiendan con el virus COVID es que la vacuna no es a nivel de ADN, la vacuna es a nivel de ARN mensajero, lo que significa que todos estos mecanismos que cambian la expresión del mensajero de ADN hacia la proteína hay que entenderlos algún día, y somos ahorita los conejillos de indias porque nadie ha hecho una vacuna con el mensajero de ARN pero está funcionando bien.

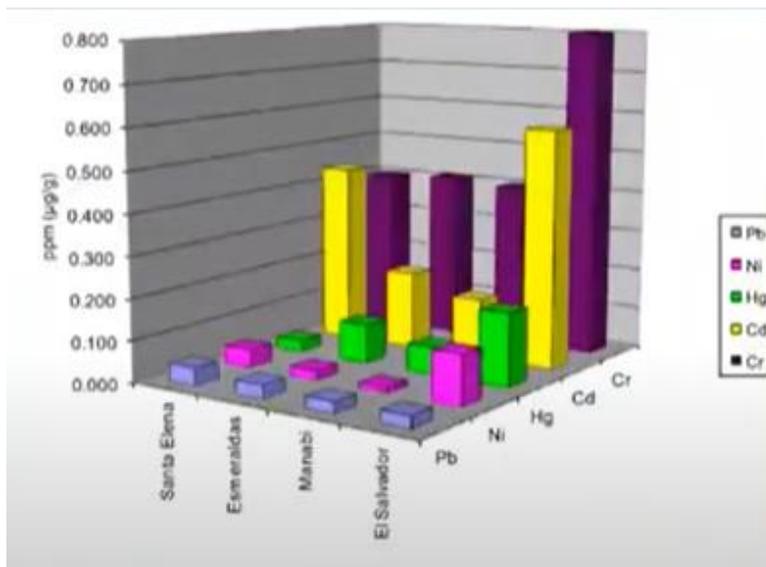


Figura 1.- Niveles de metales pesados en camarones (*L. vannamei*) de El Salvador y diferentes localidades de Ecuador.

Nadie sabe lo que pasa con algunos virus, bacterias, alergias, fumar, etc., todo lo que puede afectar al feto. En humanos se tienen que ver los efectos en la F3 (los efectos a nivel de la bisabuela), especialmente los efectos de los productos químicos. El glifosato causa cáncer, pero los metales producen muchas malformaciones y en Santa Elena (Ecuador), nacen muchos niños con malformaciones. Yo, cada año, cuando voy de viaje a Ecuador y otros países les hago a los camarones una analítica de 15 a 30 metales. Los niveles del camarón de Manabí son bien bajos, especialmente en los metales pesados que son los más peligrosos (plomo, níquel, mercurio, cadmio, cromo). Se puede ver en la Fig. 1 que los camarones de El Salvador tienen los niveles más altos de metales pesados (Ni, Hg, Cd, Cr), mientras que los de Ecuador tienen niveles más bajos y, dentro de la variabilidad existente,

son los de Manabí los que tienen los niveles más bajos, especialmente el Hg, Cd y Cr, analizando al menos 30 animales de cada sitio, que yo recojo de cada provincia, en cada estuario, y yo veo un patrón aquí que el camarón de Manabí es el más saludable de todos. No se le puede decir orgánico porque todavía detecto mercurio, muy poquito níquel, pero en cambio el camarón de Santa Elena tiene para mí demasiado Cadmio que está relacionado con problemas de cáncer de próstata y otras enfermedades, además afecta al sistema reproductivo. También el glifosato que se usa para producir la soja transgénica, aumenta el ácido retinoico que luego afecta a la inhibición de la expresión de genes del sexo y causa microcefalia y ciclopenia, enfermedades que afectan a los niños nacidos en la Península de Santa Elena.

Hay que saber epigenética para hacer el experimento, poder analizar los efectos en la F3 ya que como usted va a analizar al bisabuelo y la bisabuela para saber qué pasó con el hijo, el nieto y el bisnieto, ya que sólo en el bisnieto podemos ver el resultado de una exposición a un químico como glifosato o el cadmio y en el bisnieto si es macho es la testosterona, la hormona testosterona, la que es afectada. Usted no ve ni un problema casi en la F1 y F2, es solo en la F3 y se debe a un cambio en un mecanismo epigenético que se llama metilación de ADN, y el otro es acetilación de histonas.

Pero aquí viene lo que me gusta ahora investigar, quiero ver qué pasa en las aguas servidas, quiero saber cuáles pueden ser los huéspedes intermediarios de la transmisión del COVID a humanos. Todos decimos que queremos la vacuna, pero nadie hace la investigación científica para saber exactamente cómo es la potencial transmisión zoonótica del COVID. A mí me interesa como una ayuda para el futuro de los pueblos pobres de los manglares, para que los alcaldes sepan si el virus va a llegar yo les puedo decir que me den una muestra de las aguas servidas y yo les digo exactamente qué es lo que tienen y cuándo llegará el COVID a su pueblito, porque los americanos y los canadienses acaban de hacerlo, pero estamos asustados de lo que ellos han encontrado. Han encontrado que los mamíferos marinos en Canadá, al este y al oeste, todos los animales tienen el receptor del COVID, pero viene del agua servida. En Ecuador no tenemos muchas plantas de tratamiento de agua servida, por ejemplo en mi pueblo de Chone, en el estuario del río Chone, no tenemos nada de eso, pero los americanos acaban de encontrar también los receptores del COVID en mamíferos marinos en Alaska. Tenemos que hacer más investigación básica para saber cómo otras especies de animales acuáticos pueden ser afectadas por este virus. Todos estamos felices de que todo esto va a pasar, pero hay tres nuevas variantes del virus (UK, Sudáfrica y Brasil) y son más letales que la que tenemos ahora. Tenemos que prepararnos ya que esto puede que no cambie tan fácilmente. Lo que los canadienses encontraron, y que está publicado desde hace dos o tres semanas, ellos lo denominan zoonosis reversa, ya que somos los humanos los culpables, con todo lo que estamos echando en las aguas servidas y en los desechos. En Santa Elena teníamos una laguna y allí iban a parar todos los desechos de la población. Tenemos que hacer algo para evitar lo que pueda contaminar a los camarones en esos estuarios, donde van a parar todos estos desechos y los químicos que se usan para desinfectar por el COVID.

La epidemiología epigenética es un campo relativamente joven que servirá para estudiar el riesgo

de enfermedades complejas y heterogéneas como el COVID. Los americanos ya tienen todas las modificaciones realizadas por el virus del COVID, sabemos cuál virus que va con cuál histona, con cuál parte del ADN, sabemos cómo tenemos que modificar para desarrollar mejores tratamientos. En vez de anticuerpos monoclonales lo mejor es usar la tecnología epigenética y allá vamos las compañías pequeñas, como las mía, buscando una solución para eso. Algo muy sencillo serían los transposones, secuencias insertadas en el ADN, que pueden transponerse a otro ADN directamente, o bien a través de ARN intermediario mediante la transcriptasa inversa, como en las bacterias. En animales tenemos la misma cosa pero más compleja, tenemos lo que se llaman ADN transposón de ADN, retrotransposón LTR y retrotransposón no LTR. Uno de estos últimos es el gen del sexo del camarón, el que puede producir la hembra más grande que los machos. He descubierto 312 retransposones, pero otro me dice exactamente dónde se insertó el virus IHHN en el camarón monodon de África y en el SPF de EE.UU., pero vamos a tener que seguir haciendo este tipo de investigaciones genéticas. Mi meta para el próximo año, ya que no creo en el cambio de nombres que se hizo con vannamei y otras especies de camarón, es secuenciar las 20 especies de *Penaeus* para estar segura de que en realidad valió la pena hacer el cambio de los nombres. Lo que no me gusta es ver la pobre gente de los manglares que recogen especies donde se vierten las aguas servidas. Tenemos que hacer algo por la salud de la gente los manglares son gente pobre y podemos ayudarles a tener buenos camarones limpios, entonces mi proyecto de seguir mirando que pasa con las aguas servidas, aunque tampoco hay que olvidarse de los suelos que allí también se usa el agua sucia. Yo necesito un colaborador en Ecuador que me ayude a conseguir un permiso que la empresa de agua potable Guayaquil no me lo quiere dar, yo no puedo entrar con mis kits a Guayaquil y Machala, o cualquier estuario, porque sencillamente tengo que tener el permiso del gobierno de Ecuador, y ni siquiera puedo tener un permiso de la empresa municipal de agua potable de Guayaquil, y que no me podían dar ni una sola muestra de agua servida. Pueden imaginarse ustedes que no me lo puedo creer todavía, pero yo dije para mí, si yo le pido a la industria camaronera que me ayuden, porque les va a ayudar a ellos, si yo les digo que hay en esas aguas servidas de Machala o de El Oro o de Guayaquil, a lo mejor la industria me ayuda pero algún estudiante sería perfecto, o algún profesor de Manabí, y podríamos hacer algo por el estuario del río Chone.





Doris Soto

Universidad de
Concepción, Chile



Jorge León

Universidad Católica de la
Santísima Concepción, Chile



Ruben Avendaño

Universidad Andrés Bello,
Chile



Fernando Norambuena

Biomar,
Noruega

Sesión 3 | Cultivo de especies salmonídeas: algunos aspectos relevantes y lecciones para el futuro de la industria en Chile y en América Latina

Cultivation of salmonid species: some relevant aspects and lessons for the future of the industry in Chile and Latin America

Doris Soto^{1,2}, Rubén Avendaño-Herrera^{1,3}, Jorge León-Muñoz^{1,4}, Fernando Norambuena⁵

¹Interdisciplinary Center for Aquaculture Research (INCAR), Concepción, Chile

²Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

³Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile

⁴Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile

⁵Biomar, Noruega

 **Doris Soto** () E-mail: dorissf07@gmail.com

De acuerdo con las estadísticas de FAO, en el 2018 se produjeron 990 000 toneladas de salmonídeos en América latina y el Caribe, más del 40% de la maricultura total para esta región. Chile produce el 90% de los salmónidos (salmón del Atlántico, salmón Coho y trucha arcoíris) en tanto el 10 % restante corresponde principalmente a la producción de trucha arcoíris en el Perú y en menor grado en Colombia y en cantidades mucho menores en otros países incluyendo México y Ecuador. Varios otros países también reportan producciones de trucha arcoíris pero menores que 2 000 toneladas anuales.

Chile es el segundo mayor productor mundial de salmón de acuicultura después de Noruega con 1.043 millones de toneladas cosechadas a fines de 2020 y un valor de aproximadamente USD \$ 4.500 millones. Las especies cultivadas incluyen el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), que es el más cultivado y rentable con el 75% de la cosecha total, mientras que el salmón del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) y la trucha arco iris (*O. mykiss*) representaron el 17 y el 8% respectivamente (Informe sectorial 2020 de SERNAPESCA).

El crecimiento de la salmonicultura en Chile fue casi exponencial en los primeros 10 años debido a una rápida implementación de tecnologías, mejoramiento y nutrición, desarrollo de capital humano entre otros, con gran impacto en el crecimiento económico y desarrollo local en muchas comunas del sur del país donde se desarrolla la actividad. Sin embargo, la producción ha mostrado ser vulnerable a: enfermedades, variabilidad climática y cambio climático, demanda de los mercados.

Las enfermedades han sido consecuencia de la intensidad de cultivo, tanto en la etapa de piscicultura en agua dulce como la engorda en mar ($30\text{-}50\text{ kg/m}^3$ y $10\text{-}15\text{ kg/m}^3$, respectivamente), así como otros factores entre los que se incluyen: la calidad del *smolt*, estrés por el transporte de los peces dentro del país, variaciones estacionales de los parámetros ambientales, entre otros.

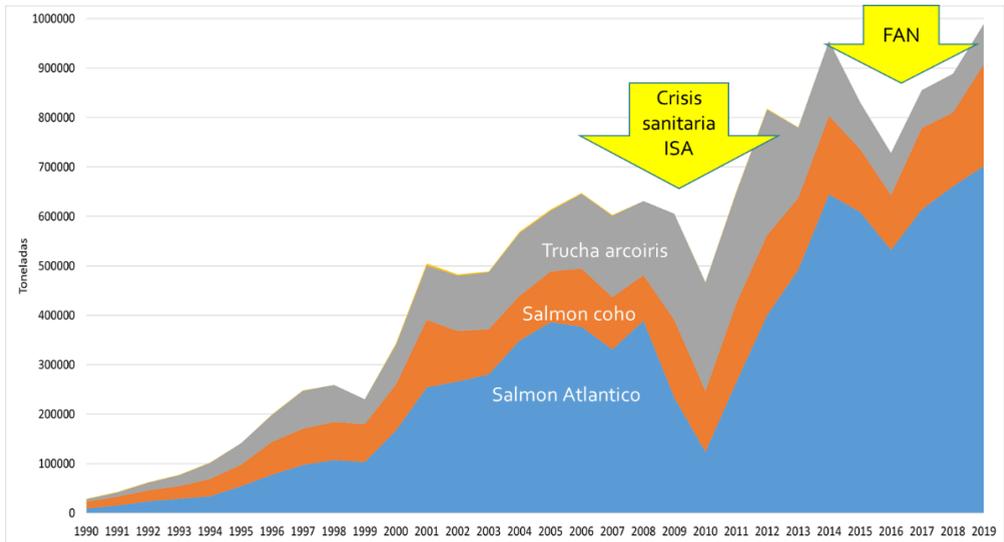


Figura 1. Desarrollo de la salmonicultura en Chile. Producción anual en toneladas con las tres especies más importantes. Las flechas señalan eventos que han producido gran mortalidad y pérdida de la producción, incluyendo la crisis producida por el virus ISA y las floraciones algales nocivas asociadas el ENSO 2015-2016.

Existe además una percepción social del sector un tanto pobre, influenciada por impactos ambientales y sociales, conflictos de uso de espacios y algunos temas de equidad. Sin embargo la salmonicultura puede ser más sustentable si bien hay desafíos importantes para mejorar su desempeño ambiental social y económico. La cooperación público privada y mayor inclusión comunitaria local son necesarias.

Los avances en nutrición de salmonídeos constituyen posiblemente de los aspectos más relevantes y positivos del sector puesto que han llevado a la tremenda reducción del factor de conversión, FCR y el reemplazo de harina de pescado por insumos terrestres. Muchas dietas de salmonídeos ya logran un factor de conversión del alimento incluso inferior a 0.8 durante algunas de las etapas de crecimiento y engorda. También se ha avanzado en el aprovechamiento de insumos que previamente habrían sido descartados en general avanzando hacia una economía más circular. La investigación en nutrición para el cultivo de salmonídeos ha sido pionera de gran avance con una gran contribución para la

sustentabilidad. Estos avances en la formulación de los alimentos y producción de dietas abren la puerta para ser replicados y adaptados en la nutrición y alimentación de otras especies.

En los inicios de la salmonicultura chilena, el conocimiento existente para los problemas sanitarios era escaso y limitado, sin embargo, después de la crisis del virus de la anemia infecciosa del salmón en el año 2007, se avanzó rápidamente no solo en la generación de infraestructura, sino conocimiento científico y preparación del capital humano, lo que provocó cambios a nivel normativo y operativo en las compañías salmoneras. Por tanto, la investigación sobre enfermedades y bioseguridad también ha avanzado en forma importante. Algunos avances han permitido generar normas más efectivas para la prevención y control de enfermedades. Por ejemplo, los laboratorios de diagnósticos que proporcionan servicios a los centros de cultivos desarrollaron técnicas basadas en la reacción en cadena de la polimerasa y sus variaciones, lo que hoy con la pandemia es ampliamente conocido. Este aprendizaje a generado que los desafíos en la actualidad son mirados más ampliamente e involucrando a todos los actores de la industria y buscando en conjunto las soluciones. Además, las capacidades de investigación se encuentran en el país, situación que contrasta a lo que ocurría antes del año 2007, por lo que se investiga desde la célula al problema de poblaciones de peces. Todo este conocimiento se transfiere directamente para la informada toma de decisión, considerando el bienestar de los peces y en la medida de lo posible con consciencia ambiental. Sin embargo, aún hay desafíos que se requieren resolver, como es la priorización de los problemas, anticiparse a algunos de ellos y no reaccionar, así como la obtención de financiamiento. Contrariamente, existe un trabajo arduo que se está realizando que para algunos puede ser más lentamente de lo necesario, pero enfocados en reducir el uso de antimicrobianos, producir sustentablemente y poniendo en la palestra la definición de hasta cuánto puede la salmonicultura chilena crecer para disminuir los impactos sanitarios.

El cambio climático afecta a la actividad tanto en la fase de piscicultura en agua dulce como en el ambiente marino. Estudios recientes en Chile a través de mapas de riesgo para ambas etapas muestran la importancia de factores externos como es el caso de la conservación de las cuencas que producen agua de calidad y en cantidad necesaria para la producción de juveniles bajo proyecciones de reducción de precipitaciones¹. En la etapa de engorda la planificación espacial estratégica de la producción y especialmente un manejo productivo conservador y que considere los nutrientes que ingresa la actividad a los ecosistemas son esenciales para reducir los riesgos por ejemplo de eutroficación e incremento de floraciones algales nocivas (FAN)².

El enfoque eco-sistémico a la acuicultura (EEA) es una estrategia para la integración de la actividad en el ecosistema más amplio, que promueva el desarrollo sostenible, la equidad y la capacidad de recuperación de los sistemas socio-ecológicos interconectados reconociendo que son ecosistemas de

¹ https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/acuicultura_cuencas_aguadulce/

² https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/acuicultura_f_salmon_fan/

múltiples usos (FAO, 2010). La salmonicultura tiene oportunidades para ser más sustentable en la medida que adopta esta estrategia asegurando que el sector sigue los 3 principios generales: a) La acuicultura se debería desarrollar en el contexto de las funciones y servicios eco-sistémicos (incluyendo la biodiversidad) sin degradación de estos más allá de su resiliencia, b) La acuicultura debería mejorar el bienestar humano y la equidad para todas las partes interesadas relevantes y c) La acuicultura debería desarrollarse respetando y conviviendo con otros sectores en forma apropiada. Algunas preguntas importantes y desafío que enfrenta el EAA incluyen: ¿Cuanta materia/energía ingresa y cuanto sale desde los ecosistemas por acción de la salmonicultura? ¿Los beneficios socioeconómicos son superiores a las externalidades? ¿Los beneficios de la salmonicultura están repartidos con equidad?

Es necesario más investigación e información para evaluar el desempeño de la salmonicultura en este sentido pero a la vez es necesario avanzar mejorando el desarrollo de la actividad acorde con los tres principios. Por ejemplo es necesario poner más atención a la evaluación ambiental de los ecosistemas que contiene acuicultura para asegurarse que la producción respeta la capacidad de carga de los ecosistemas³.



³ <https://www.incar.cl/wp-content/uploads/2021/01/Revista.pdf>



Alfonso Maeda
Centro de Investigaciones Biológicas
del Noroeste S.C., México



Paola Barato
Corporación Patología
Veterinaria, Bogotá, Colombia



Alejandro Godoy
Seafood Business Solutions,
México



Javier Escobar
Cotegral Alimentos-Finca,
Colombia



Jorge Galindo-Villegas
Nord University
Noruega

Sesión 4 | Cultivo de tilapia

Tilapia farming

Alfonso N. Maeda-Martínez¹, Paola Barato², Javier Escobar³, Alejandro Godoy⁴, Jorge Galindo-Villegas⁵

¹Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. México. Ponencia: Desarrollo e innovación tecnológica en el cultivo de tilapias en México

²Corporación Patología Veterinaria (CORPAVET) - MolecularVet, Colombia. Ponencia: Enfermedades de importancia económica en la producción de tilapia: patología y manejo

³Cotegral Alimentos-Finca, Colombia. Ponencia: Tecnologías del cultivo de tilapia en Latinoamérica

⁴Seafood Business Solutions, México. Ponencia: La tilapia como sustituto de peces marinos: consumo y evolución

⁵Nord University, Noruega. Ponencia: La epigenética en la domesticación de la tilapia del Nilo como especie modelo

 **Alfonso N. Maeda-Martínez** () **E-mail: alfonsomaeda@gmail.com**

RESUMEN | A través de seis ponencias se hace un análisis sobre la diversidad acuícola en Iberoamérica, se indica que es necesario redoblar los esfuerzos entre los diversos países para lograr una mayor diversificación de especies y que se requiere que los gobiernos se involucren en una serie de acciones para que las actividades sean sostenibles en el tiempo.

Palabras claves: Peces marinos, peces continentales, macroalgas, cianobacterias.

ABSTRACT | Through six presentations an analysis of aquaculture diversity in Ibero-America is made, it is indicated that it is necessary to redouble efforts among the various countries to achieve a greater diversification of species and that governments are required to get involved in a series of actions so that the activities are sustainable over time.

Keywords: Marine fish, inland fish, macroalgae, cyanobacteria.

En el marco del X Foro Ibero Americano de los Recursos Marinos y Acuicultura en su tercer día de actividades, martes 09 de febrero de 2021, dentro de las sesiones vespertinas se desarrolló la *Mesa de Trabajo: Cultivo de Tilapia* la cual, contó con 5 conferencias magistrales impartidas por expertos en el área quienes presentaron temas de alto interés e impacto, compartieron sus experiencias profesionales, empresariales y científicas dentro del campo de la producción de tilapia en Latinoamérica y respondieron al final de la sesión las dudas e inquietudes que surgieron por parte de los asistentes a la mesa en comento.

Antes de iniciar la sesión el Dr. Alfonso Maeda presentó el marco de referencia de la situación de la tilapia a nivel mundial. Comentó que el cultivo de la tilapia tiene sus orígenes en el río Nilo en el año 2,500 a. C. en el marco de la cultura del antiguo Egipto, pero es a mediados del siglo XX cuando este pez se populariza como fuente de proteína para la población en los países en vías de desarrollo, intensificando así su producción. FAO registra en el 2016, una producción mundial de acuicultura de tilapia de 5.89 millones de toneladas. Se trata de una industria con muy alto crecimiento, ya que tan solo del 2006 al 2016, la producción se incrementó 2.6 veces, al pasar de 2.26 a 5.89 millones de toneladas. El 83% de la producción acuícola mundial la concentran siete países: China 31.6%, Indonesia 20.1%, Egipto 15.9%, Filipinas 4.4%, Brasil 4.1%, Tailandia 3.5% y Vietnam 3.1 por ciento. Solo Estados Unidos de Norteamérica importó 151,400 toneladas en 2017, con un valor de 562.9 millones de dólares. Siete países abastecen 96.1% del valor de las importaciones. China aporta 73.3%, Taiwán 6.1%, Honduras 4.8%, Colombia 3.9%, Indonesia 3.7%, Costa Rica 2.6% y México 1.7%, ocupando el séptimo lugar, y abastece el 2.5% del valor de mercado de Estados Unidos. El mercado de tilapia cuenta con tres segmentos: filetes congelados, tilapia entera congelada y filetes frescos, entre los cuales predomina el primero. FAO GLOBEFISH indica que Estados Unidos y México son los dos mercados más grandes para la tilapia china de abril del 2018. Las importaciones de tilapia en la Unión Europea en el 2017 fueron de 28,300 toneladas, representando un aumento de 5.3% en un solo año. Ese reporte señala, como perspectivas a futuro, que la acuicultura de tilapia continuará creciendo en países de Asia, África y América, principalmente en Brasil. Por todo lo anterior, las señales mundiales son claras, el cultivo de tilapia continuará creciendo como una alternativa viable y sustentable para abastecer de productos acuícolas a la población mundial.

La primera conferencia fue desarrollada por el Dr. Alfonso Maeda exponiendo sobre *El Desarrollo e innovación tecnológica en el cultivo de tilapias en México*. Su presentación inició con una breve reseña sobre los antecedentes y aspectos biológicos, productivos y económicos a nivel mundial para dar una referencia a los asistentes a esta sesión. Destaco que La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO, reconoce a la acuicultura de tilapia como una industria emergente y tractora económicamente a partir del siglo XX siendo sus mayores productores China, Indonesia, Brasil, Egipto, Filipinas Tailandia y Vietnam, quienes concentran hasta el 83% de la producción mundial, y el mayor importador Estados Unidos de América quien tiene como proveedores a 4 países de Latinoamérica (Colombia, Honduras, México, Costa Rica).

Ya abordando su tema principal denoto que para el 2017 México tuvo un déficit de 126,700 toneladas las cuales importó desde China y que de continuar así tendremos un rezago productivo de 5 años a futuro. Comentó que uno de los principales problemas de este déficit es el abandono de proyectos productivos en las diferentes presas y cuerpo de aguas interiores del país, un ejemplo es la Presa Infiernillo que tuvo un decremento del 26% durante el periodo 1987 – 2018, los cuales representan un potencial productivo y económico ya que los sistemas acuiculturales implementados en estos requieren inversiones mínimas. Como propuesta para mitigar este problema sugirió la evolución de las pesquerías tradicionales a pesquerías asistidas fomentando la interacción entre centros de investigaciones y grupos de expertos con productores locales con el objetivo de utilizar estos cuerpos de aguas, previamente habiendo realizado una caracterización de los parámetros físico-químicos, como macro-estanques de cultivo en los cuales se lleven planes de siembra de organismos pre-engordados de manera permanente y continua y el uso de alimento natural para la producción de proteína. Aunado a lo anterior, agregó que el CIBNOR ya se encuentra cimentando estas primeras interacciones con productores locales de tilapia para evolucionar a una pesquería asistida y que este centro cuenta con una unidad en la ciudad de Tepic, Nayarit que ha producido y distribuido 18.8 millones de crías pre-engordadas de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*), equivalente a 8,640 toneladas de tilapia de 600 g y a 432 millones de peso, además, de la generación de capital intelectual con el desarrollo de 42 artículos científicos desarrollados en diferentes temas, como nutrición acuícola, piscicultura, fisiología digestiva acuícola, relaciones ambiente – recurso y ostricultura, desde su fundación en el año 2015.

El siguiente tema desarrollado fue el de *Enfermedades de importancia económica en la producción de tilapia: patología y manejo* impartido por la Dra. Paola Barato. La Dra. Barato abordó este tema sanitario que tiene una alta relevancia y es un factor restrictivo en la producción de tilapia considerando dentro de su ponencia las dos patologías principales dentro de la tilapicultura, enfermedad por el virus de la tilapia del lago (ETiV) y estreptococosis, las cuales menguan los resultados económicos de la producción de este organismo. Como introducción detalló la participación e interacción de los elementos que conforman la triada epidemiológica (agente etiológico, hospedero y medio ambiente) enfatizando las condiciones necesarias dentro de estos elementos para la detonación de las enfermedades dentro del cultivo y su transmisión al consumidor final a demás, de compartir antecedentes epidemiológicos de estas enfermedades destacando los principales agentes infecciosos de cada enfermedad así como, las soluciones sanitarias que pueden mitigar la presencia de estos patógenos dentro de los cultivos. Su experiencia se centra principalmente en la producción de tilapia en Colombia ya que como se mencionó anteriormente, este país es uno de los principales exportadores de filetes de tilapia Estados Unidos de América. La Estreptococosis representa uno de los factores más significativos en la mortalidad en los cultivos de tilapia en Colombia con una tasa de letalidad por empresa productora del 30 al 35% representando una pérdida de 8,000 toneladas/año equivalente a \$5 millones de dólares anualmente. Para el caso de la ETiV, por ser una patología emergente (primero indicios en la literatura científica en 2014) y al no existir aún muchos estudios que determinen su impacto económico, se tienen estimaciones preliminares de una pérdida aproximada de \$8,500 dólares y una tasa de letalidad de hasta

el 43% para el estudio de caso de una granja con un lote de siembra de 30,000 organismos en un sistema Biofloc.

Como tercer participante, y abordando un tema más técnico, el Ing. Javier Escobar disertó sobre *Las tecnologías del cultivo de tilapia en Latinoamérica*. En esta ponencia se presentaron los diferentes sistemas de producción que se utilizan para la producción de las especies de tilapia con mayor interés económico en Latinoamérica, dentro las cuales destaco la tilapia nilótica (línea GIFT y Chitralada) y la tilapia roja, así como sus características productivas, elementos que los conforman, manejos en lo que se puede discutir el manejo zootécnico de las producciones evaluando las ganancias de peso día incluyendo planes de alimentación y condiciones ambientales en las unidades de producción para sus cuidados, estrategias y la productividad que tiene cada sistema. Los sistemas abordados en esta plática fueron: sistema extensivo (producción de 0.25 – 0.95 kg/m² y menos de 2 ciclos/año); sistema semi-intensivo (producción de 0.95 – 6 kg/m² o 0.75 – 4.5 kg/m³ y más de 2 ciclos/año en estanques en tierra o estanques recubiertos con PEAD); sistema intensivo (producción en jaulas con densidades de cultivo de 85 – 120 kg/m² o 50 – 60 kg/m³, producción en tanques recubiertos con geomembrana de PEAD de menos de 600 m² de 10 – 25 kg/m² o 8 – 20 kg/m³ y más de 3 ciclos/año para lo cual el uso de los cultivos multifásicos son indispensables usando por ejemplo pre-crias o áreas de levante y áreas engorde); sistemas de recirculación (producción en tanques de menos de 200 m² de más de 25 kg/m² o más de 20 kg/m³ y más de 3 ciclos/año) y sistemas raceway dentro de tanques establecidos o I.P.R.S (producción en tanque de 20 – 25 toneladas/Ha y de 40 a 50 kg/m³ en raceway) el uso de tecnologías adaptadas empieza a tomar relevancia cada día más en los sistemas de producción de tilapia sin distinción de tipo de sistemas y si entre la aplicabilidad de la nueva tecnología al sistema como por ejemplo el uso de implementos mecánicos para la alimentación de más grandes superficies con el mejor aprovechamiento de la mano de obra disponible, también el uso de la Biotecnología para el control de parámetros físico-químicos en el agua que puedan ser factores limitantes de la producción piscícola de tilapia.

La cuarta disertación fue impartida por el LAE, y experto en Comercio Internacional, Alejandro Godoy quien compartió sus experiencias empresariales con el tema *La tilapia como sustituto de peces marinos: consumo y evolución*. De acuerdo a datos estadísticos de Rabobank el crecimiento económico y productivo de la tilapia ha detonado un alto consumo y desarrollo de nuevos mercados en el mundo, como es el caso del mercado africano que después de Estados Unidos de América es el segundo país con mayor importación de filetes de tilapia en el mundo, ofertando en el mercado de pescados y mariscos tres principales productos al consumidor: filetes congelados (71%), congelado entero (18%) y filete fresco (11%); esto ha dado oportunidad a los productores latinoamericanos de tener un crecimiento y desarrollo en sus procesos. El precio de los filetes de tilapia durante el periodo 2008 – 2014 había presentado un crecimiento y evolución satisfactoria, sin embargo, a partir del 2015 empezó a presentar decrementos significativos (entre \$0.75 - \$1.00 dólares/libra) al punto de no poder lograr una recuperación de su precio en el mercado. Normalmente estas variaciones en precios se debe en gran

medida a la ley de la oferta y demanda pero en los últimos 5 años se ha detectado un nuevo factor que ha afectado el precio de la tilapia y esto se ha propiciado por una campaña negativa en contra de la producción de esta por parte de otros sistemas de productivos, como la porcicultura, bovinocultura y la avicultura, que al ver las bondades y los beneficios productivos, económicos y nutricionales que tiene esta actividad, han iniciado este tipo de campañas para cambiar la percepción de los consumidores ante estos productos. A pesar de estas campañas de desprestigio, los productos provenientes de la acuicultura de tilapia han logrado posicionarse dentro del Top 10 de los productos provenientes de la acuicultura y el mar con mayor consumo en el mercado de Estados Unidos pasando del noveno lugar en el 2003 al cuarto lugar en el 2017 presentando un incremento del 106% en el consumo per cápita (de 0.525 a 1.08 libras/habitante respectivamente) y esto se debe en gran medida a su fácil preparación, alta disponibilidad y diversificación en sus presentaciones (filete fresco, ahumado, marinado, carne para hamburguesa de tilapia, etcétera). La tilapicultura se destaca por ser una actividad de 0% residuos, lo que lo vuelve altamente rentable, ya que una vez obtenidos los filetes (31%), subproductos como la piel (23%) y el mince (23.6%) son utilizados para la elaboración de carteras, calzado, cinturones y productos procesados (como los nuggets, dedos de pescado y empanizados de pescado).

Finalmente, para cerrar esta mesa de trabajo, el Dr. Jorge Galindo dictó la conferencia *La epigenética en la domesticación de la tilapia del Nilo como especie modelo*. Al igual que los ponentes anteriores el Dr. Galindo resaltó la evolución que ha tenido la acuicultura en las últimas décadas destacando el futuro prolifero que Organizaciones Mundiales como la FAO proyectan en esta actividad dentro del futuro cercano, además de las características de la acuicultura 4.0 en donde se estima que la producción acuícola se realizará en el interior de cuerpos de aguas continentales con la edificación de infraestructura que pueda albergar todo el equipo y tecnología necesaria para poder desarrollar la producción de manera sostenible y sustentable con el medio ambiente.





Jorge Cuéllar-Anjel

Global Consulting
Colombia



Arturo Rojas

Avi-Mex,
México



Marcos De Donato

Tecnológico de Monterrey,
México



Oscar García

Consulador C.A.,
Nicaragua



John Hargreaves

Consultor USSEC,
USA

Sesión 5. Cultivo de Camarones

Shrimp farming

Jorge Cuéllar-Anjel¹, John Hargreaves², Marco De Donato³, Óscar García⁴, Arturo Rojas⁵

¹ Global Consulting Inc., Panamá

² Consultor, Estados Unidos

³ Tecnológico de Monterrey, México

⁴ Consultor C.A., Nicaragua

⁵ AVIMEX, México

 Jorge Cuéllar-Anjel () E-mail: jocuan@gmail.com

RESUMEN | El creciente sector del cultivo de camarones marinos produce, con otras especies de crustáceos, 9,4 millones de toneladas por año, que en divisas representa de 30 mil-40 mil millones \$USA. El camarón blanco del Pacífico *Penaeus vannamei* representa el 53%, teniendo una producción anual de 5 millones de toneladas. La importancia del cultivo de camarón en los países de Asia y de las Américas, no solamente aporta divisas por concepto de exportación, sino un enorme número de puestos de trabajo directos e indirectos, que forman parte del motor económico de poblaciones de escasos recursos en los alrededores de las empresas camaroneras. Con base en la importancia de este sector, el presente documento resume aspectos del cultivo de camarones marinos, asociados con bioseguridad y prevención de enfermedades; mejoramiento genético, patologías de origen infeccioso más comunes causadas por virus, bacterias y hongos, medidas terapéuticas para el control de enfermedades bacterianas y actualizaciones sobre normativa internacional para el control de movilizaciones de camarones o subproductos para la prevención de enfermedades en países libres.

Palabras clave: camarón, vannamei, genética, alimentación, normativa, antimicrobianos

ABSTRACT | The growing sector of marine shrimp farming produces 9.4 million tons per year in addition to other species of crustaceans, which represent 30,000 to 40,000 million in USA\$. The participation of Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* is 53%, having an annual production of 5 million tons. Shrimp farming in Asian and American countries is important due to its contribution to by-export incomes, but also due to the huge amount of direct and indirect jobs related to the economy of small poor towns surrounding shrimp companies. Based on the importance of this sector, this document summarizes aspects of marine shrimp farming, associated with biosecurity and disease prevention, genetic improvement, common infectious pathologies caused by viruses, bacteria and fungi, and therapeutic measures for the control of bacterial diseases. Updates on international regulations for mobilization control of life shrimp or shrimp by-products for the prevention of diseases, are also reviewed.

Keywords: shrimp, vannamei, genetics, feeding, regulations, antimicrobials.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los camarones de cultivo junto con otras pocas especies de crustáceos, producen cerca de 9.4 millones de toneladas por año, lo cual representa un movimiento de divisas de aproximadamente 30 mil a 40 mil millones de dólares (estimado con base en precios internacionales). De estos crustáceos, el 53% corresponde a la especie de camarón blanco del Pacífico *Penaeus vannamei*, la cual se cultiva en el continente americano, con una producción anual de 5 millones de toneladas (FAO, 2020).

El cultivo del camarón y los beneficios económicos percibidos por los productores, ha llevado a buscar “ganar más” y para esto se ha tendido a la intensificación de los sistemas de engorde. La tendencia que inició hace 5 décadas con cultivos extensivos o semi-intensivos, está cambiando hacia los intensivos y súper-intensivos, estos últimos con menos terreno en espejo de agua pero muchísimo más tecnificados y eficientes.

La intensificación sumada a prácticas de manejo inadecuada en países con poco control sanitario por parte de las Autoridades Competentes, ha creado condiciones propicias para la aparición de enfermedades infecciosas en camarones de cultivo, las cuales, en muchos casos, parece corresponder a microorganismos inocuos que por mucho tiempo estuvieron presentes en los camarones o en su entorno, pero que a causa de la presión de producción, se forzaron delicados sistemas bióticos y se produjo la expresión de genes de enfermedad que no tardaron en producir brotes y/o mortalidades en poblaciones de cultivo en varios continentes. El presente documento, resume de manera muy general, aspectos relacionados con la prevención de enfermedades mediante medidas de bioseguridad y mejoramiento genético; así mismo, describe algunas de las patologías más frecuentes en las américas, producidas por virus, bacterias y hongos e incluye agentes emergentes y medidas terapéuticas para el control de bacteriosis. Finalmente, presenta una actualización sobre la normativa internacional, tendiente al control de las movilizaciones de camarones o subproductos y a la consecuente diseminación de enfermedades infecciosas.

Diseños de granjas camaroneras con recirculación para mejorar la bioseguridad y la productividad

John Hargreaves

Los camarones se producen tradicionalmente mediante el intercambio de agua entre los estuarios o el mar y los estanques de producción. Por lo tanto, los estanques camaroneros funcionan como sistemas abiertos al medio ambiente con los riesgos asociados con la introducción de patógenos y la calidad del agua deficiente o variable. El grado de control sobre la bioseguridad y el manejo de la calidad del agua es bajo.

En los últimos años, algunas granjas camaroneras se han reconfigurado para incorporar principios de diseño de sistemas de acuicultura de recirculación (RAS). Los sistemas de recirculación dividen el proceso de tratamiento de agua en operaciones unitarias que abordan los requisitos fundamentales de producción para el suministro de oxígeno, la captura de sólidos, el control de amoníaco y el control de nitratos. En los sistemas de recirculación, el flujo de recirculación interno es típicamente > 95% del flujo total y la entrada de agua nueva es <5% del volumen total del sistema.

Los sistemas RAS de camarones se operan a niveles semi-intensivo, intensivo y superintensivo. La complejidad y el número de operaciones unitarias aumenta con la intensidad de la producción. Para sistemas semi-intensivos, se utilizan estanques de sedimentación simples para controlar la concentración de sólidos. Para sistemas intensivos y superintensivos, las granjas camaroneras de recirculación generalmente incluyen 1) un reservorio de pretratamiento de agua, 2) un mecanismo para la captura de sólidos, con o sin potencial para la producción de biogás, 3) una zona anaeróbica para controlar el nitrato y recuperar la alcalinidad, 4) una zona aeróbica con medios fijos o bioflocos suspendidos para la nitrificación, y 5) estanques de pulido con o sin peces que se alimentan por filtración para controlar la densidad de algas y la composición de la comunidad para minimizar las algas azules-verdes.

Los sistemas de RAS tienen un potencial considerable para mejorar la bioseguridad, especialmente para los patógenos virales. Estos sistemas también permiten el desarrollo de comunidades microbianas maduras que pueden mitigar el potencial de pérdidas de cultivos debido a AHPND. Los sistemas de estanques de recirculación pueden permitir altos rendimientos, en parte porque el cultivo de camarón utiliza directamente una mayor proporción del oxígeno proporcionado por la aireación. A pesar de estas ventajas, los sistemas de estanques de recirculación requieren una inversión de capital sustancial y un nivel tecnológico relativamente alto para funcionar correctamente.

Mejoramiento genético en camarones

Marco De Donato

La revolución verde que fuera el resultado de los esfuerzos de Norman Borlaug y los investigadores de la época de los 20-60, generó un gran aumento de la producción y eficiencia de la producción de productos vegetales, que luego fue seguido por la producción animal entre los años 40-70. En este sentido, hace unos 30 años comenzó lo que empezaron a llamar la revolución azul, que ha crecido vertiginosamente, más que cualquier otro sector de producción de alimentos, tanto que los productos acuáticos producidos por la acuicultura han sobrepasado los producidos por la pesca. Esta revolución azul se ha aprovechado del uso de tecnologías, del conocimiento de la biología de los organismos y de los avances en las técnicas genéticas y genómicas para mejorar a las especies utilizadas para el cultivo.

Los retos actuales en la producción de camarones incluyen las enfermedades que implican un grave riesgo y alto costo para la prevención y tratamiento, aumento en los costos de producción por rubros como el alimento, la energía y la mano de obra. Además, el sector tiene que asumir los retos en cuanto a la sostenibilidad a futuro de la producción, el impacto que hace en el ambiente, lo cual es cada día más importante por las presiones de los gobiernos, organizaciones no gubernamentales y los mismos consumidores.

En este sentido, el mejoramiento genético se está enfocando en generar líneas resistentes a las principales enfermedades, rápido crecimiento para aumentar beneficios, eficiencia reproductiva para reducir los tamaños de los stocks reproductivos, reducción en la conversión alimenticia para reducir costos y adaptación a los sistemas de cultivo de altas densidades, RAS, biofloc, etc.

Un aspecto importante es el entender que el buen desempeño de los camarones en cultivo depende de tanto los factores genéticos, como el pedigrí y la selección de buenas combinaciones de alelos, como de la presencia de enfermedades, los parámetros ambientales y la alimentación que se provee (Fig. 1). Es por esto importante que los programas de mejora genética sean diseñados de manera específica para cada una de las condiciones en las que se desarrollará el cultivo, adaptando las líneas genéticas al tipo de alimentación, el esquema de cultivo (monofásico versus multifásico) y las condiciones ambientales. Uno de los parámetros más importantes en el mejoramiento de líneas genéticas es la heredabilidad, la cual se define como el porcentaje de mejora que muestran los descendientes de un grupo seleccionado, a partir de una población fundadora, comparado con el desempeño de los padres. Por ejemplo, un grupo seleccionado que muestre una mejora en el crecimiento del 10%, comparado con el promedio de la población de donde se toman estos animales, puede pasar esta mejora a sus descendientes en una proporción que depende de la heredabilidad. Así, una heredabilidad de 0.5 implicaría que los descendientes mejorarán 5% en el crecimiento, comparado con la población inicial, mientras que, si es de 1, pasarán el 10% de mejora, o si la heredabilidad es de 0, no se verá mejorado el crecimiento en los descendientes.

Aunque la heredabilidad tiene un impacto directo en la genética de los organismos, está afectada por la variación ambiental, la variabilidad genética, la medición de la característica que se esté tratando de mejorar y de los niveles de consanguinidad que se presentan en la población. Por esto, la medición de la heredabilidad es dependiente de cada población y del ambiente en el que se cultiva.



Figura 1. El desempeño de los camarones depende de factores genéticos, ambientales, del alimento y de la presencia de patógenos.

En cuanto a los esquemas de selección, se puede hacer selección masiva, tomando en cuenta la medición de un carácter cuantitativo y se toma los ejemplares que demuestren las mejores mediciones de esa característica. Un ejemplo de esto fue el trabajo que se realizó en Aquamarina de la Costa, Venezuela, entre 1990 y 2001 (De Donato *et al.* 2005), donde se observaron mejoras significativas en la sobrevivencia, crecimiento, reducción de la tasa de conversión y de las deformaciones que se presentaban durante el desarrollo larval (Fig. 2). Este esquema, aunque requiere poca inversión y sólo necesita poder medir de manera más o menos precisa la característica que se desea mejorar, está siendo dejado a un lado, debido a la lenta tasa de mejora, así como por ser difícil de aplicar para características de medición postmortem o de supervivencia a enfermedades que luego dejan las poblaciones infectadas. También son difíciles de mejorar las características con una baja heredabilidad.

Selección Masiva en Camarones



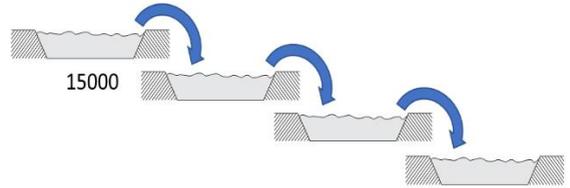
Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Aquaculture 247 (2005) 159–167

Aquaculture

www.elsevier.com/locate/aqua-online



Mass selection and inbreeding effects on a cultivated strain of *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* in Venezuela

Marcos De Donato^{a,*}, Ramon Manrique^b, Raúl Ramirez^b, Luis Mayer^b, Chris Howell^b

^aLab. Genética Molecular, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas, Universidad de Oriente, Cumaná, estado Sucre, Venezuela

^bAquamarina de la Costa Shrimp Farm, Curacao, Venezuela

11 generaciones de selección masiva
1990 - 2001

1500



Figura 2. Resultados de la selección masiva en una granja de cultivo de camarones en Venezuela, durante 11 generaciones, demostrando mejoras en la supervivencia, tasa de crecimiento, tasa de conversión alimenticia y deformidades en las larvas (De Donato *et al.* 2005).

Uno de los esquemas más utilizados hoy en día es la selección de familias, que permite utilizar características que se miden en un grupo de hermanos (como caracteres postmortem o de supervivencia a enfermedades), sin afectar a otro grupo de hermanos que se pueden mantener en condiciones bioseguras. Además, este esquema permite medir de manera más precisa los diferentes componentes genéticos y ambientales que afectan al crecimiento del camarón, por lo que la tasa de mejora es mucho más rápida, ya que la selección no se hace sólo por el genotipo si no por el valor de mejora (breeding value) que cada familia demuestra tener. Un ejemplo de este método fue el trabajo que se realizó en Aquamarina de la Costa, Venezuela, durante dos generaciones de mejora familiar (De Donato *et al.* 2008), donde se observaron mejoras significativas en la tasa crecimiento, pasando de 0.14 g/día a 0.19 g/día en esas dos generaciones, así como aumento de la supervivencia de 83 a 94% (Fig. 2).

Selección de Familias en Camarones



Genetics and Molecular Biology, 31, 4, 850-856 (2008)
 Copyright © 2008, Sociedade Brasileira de Genética. Printed in Brazil
 www.sbg.org.br

Research Article

Artificial family selection based on growth rate in cultivated lines of *Litopenaeus vannamei* (Decapoda, Penaeidae) from Venezuela

Marcos De Donato¹, Raúl Ramírez², Chris Howell², Roberto Verginelli², Tomás Orta², Saúl Cabrera², Enrique Mata² and Ramón Manrique²

¹Laboratorio de Genética Molecular, Departamento de Biomedicina, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

²Aquamarina de la Costa Shrimp Farm, Santa Fe, Sucre, Venezuela.



Northwest Marine Technology, Inc.
 High-tech tagging products

**3 generaciones de familiar
 1990 - 2001**

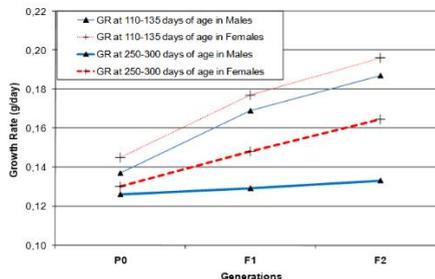
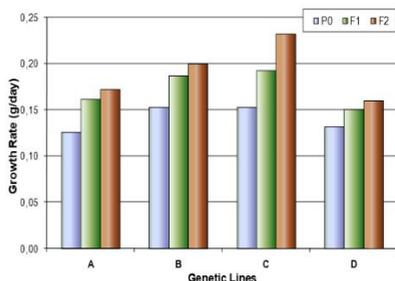


Figura 3. Resultados de la selección de familias en una granja de cultivo de camarones en Venezuela, que se aplicaron en 2 generaciones consecutivas, demostrando mejoras en la tasa de crecimiento (De Donato *et al.* 2008).

Debido al gran avance en las tecnologías de secuenciación y determinación de genotipos a gran escala (Next generation sequencing y High throughput genotyping), en los últimos 10 años se ha estado utilizando cada vez más la selección genómica en animales terrestres y plantas con resultados muy efectivos, sobre todo en características con bajos niveles de heredabilidad. Hoy en día, estas técnicas se han comenzado a utilizar cada vez más en organismos acuáticos, principalmente en salmónidos y últimamente en camarones. Un ejemplo de esto es el trabajo realizado por la compañía de genética de camarones Guangtai Marine Breeding Company de Hainan, China, quienes identificaron regiones en por lo menos 11 cromosomas de *Penaeus vannamei* que estaban afectando el peso corporal de manera significativa. Esta estrategia permitirá hacer selección no por las características expresadas sino por las secuencias de ADN que cada animal posee, demostrándose una altísima efectividad en la tasa de mejora genética.

Selección Genómica con Uso de SNPs

Manhattan plot para peso corporal en *Penaeus vannamei*, genotipeando 522 animales para 23,049 SNPs. El eje Y muestra el porcentaje de la varianza genética explicada por cada SNP.

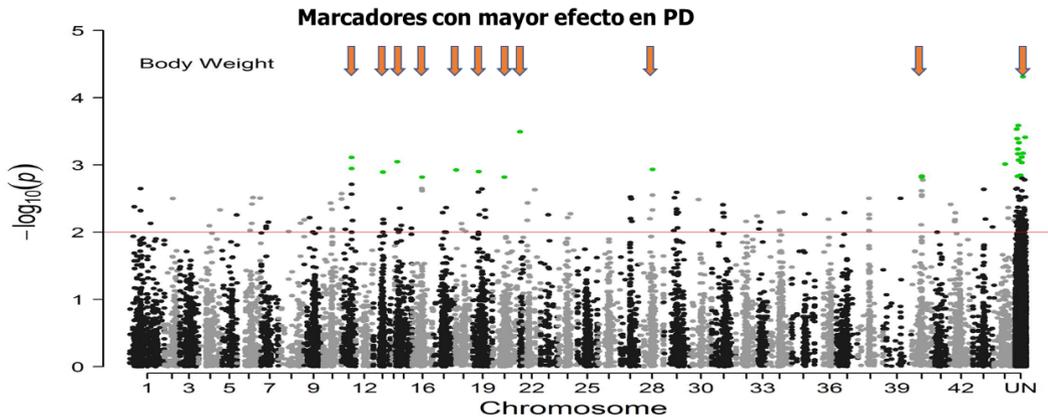


Figura 4. Resultados de un estudio de asociación de marcadores a nivel genómico realizado por la compañía Guangtai Marine Breeding Company en Hainan, China, encontrando marcadores moleculares tipo SNPs que se asociaron al peso del camarón en regiones de 11 cromosomas diferentes (Wang *et al.* 2019).

Patologías infecciosas en camarones: diagnóstico y control

Jorge Cuéllar-Anjel

Numerosas enfermedades producidas por virus, bacterias y hongos, han emergido causando serios problemas económicos, ecológicos y sociales tanto en el continente asiático, como en los países cultivadores de camarón de la región americana (zona tropical) (Tabla 1).

Algunos de los factores que han desencadenado emergencias sanitarias en camaronicultura, incluyen intercambio de enfermedades de organismo silvestres a los de cultivo, transformación de microorganismos no patógenos a patógenos, expansión de áreas de cultivo, intensificación en sistemas de producción (mayor densidad de siembra), diversificación de cultivos, introducción de especies exóticas, comercio internacional de organismos acuáticos (vivos y muertos) sin control ni reglamentación adecuada, aparición y dispersión de enfermedades más rápida que los avances en la investigación y pruebas de diagnóstico desarrolladas lentamente respecto a las necesidades del sector. Adicionalmente, hay factores también vinculados con la aparición de enfermedades en camarones de cultivo, que incluyen la rápida diseminación de patógenos a través del agua, la globalización con lo cual se han roto barreras para la comercialización y la modificación por el hombre de los hábitats naturales de los microorganismos (falta de control en la calidad del agua y del suelo).

Tabla 1. Pérdidas económicas por enfermedades en camarones (adaptado de Jory, 2019).

Enfermedad	Año de reporte	Pérdidas en US\$ millones
IHHNV – Américas	1981	500-1.000
YHV – Asia	1991	500
TSV – Américas	1991/92	2.000
TSV – Asia	1999	1.200
WSSV – Asia	1992/93	>6.000
WSSV – Américas	1999	>2.000
IMNV – Brasil e Indonesia	2002	1.200
EMS/AHPND – Asia y Américas	2009	>10.000
EHP	2010 (¿2003?)	???

De todas las enfermedades reportadas en camarones, sólo algunas han afectado al sector camaronero en las Américas, con pérdidas de poblaciones de cultivo o que representan un riesgo potencial en los países de la región. Las más importantes incluyen Vibriosis Sistémica, Síndrome de Mortalidad Temprana (EMS/AHPND), Hepatopancreatitis Necrotizante (NHP), Síndrome de Taura (TSV), Síndrome de Deformidad y Enanismo (IHHNV), Enfermedad del camarón algodonoso (Microsporidiosis del músculo) y Microsporidiosis del Hepatopáncreas (*Enterocytozoon hepatopenaei* – EHP).

Desde el punto de vista de la causa, estas enfermedades mencionadas se pueden agrupar en bacterianas (producidas por bacterias extracelulares e intracelulares) [Vibriosis Sistémica, EMS/AHPND y NHP], virales (producidas por virus DNA y RNA) [TSV e IHHNV] y micóticas (producidas por hongos, en este caso del tipo de los microsporidios) [Microsporidiosis del músculo y EHP].

Enfermedades por bacterias

La Vibriosis Sistémica es una enfermedad producida por cepas patógenas de especies de bacterias extracelulares pertenecientes al género *Vibrio*, las cuales incluyen *V. alginolyticus*, *V. anguillarum*, *V. campbellii*, *V. carchariae*, *V. damsela*, *V. fischeri*, *V. harveyi*, *V. logei*, *V. mediterranii*, *V. nigripulchritudo*, *V. ordalii*, *V. orientalis*, *V. parahaemolyticus*, *V. pelagicus*, *V. penaeicida*, *V. splendidus*, *V. vulnificus* y *V. owensii*. Estas cepas que en su mayoría son oportunistas, ingresan al camarón vía alimento o alguna laceración y se diseminan a través de la hemolinfa por todo el cuerpo, colonizando y afectando varios órganos y tejidos a la vez. La mortalidades son variables y pueden ir desde 20% hasta 70%, dependiendo de la virulencia, carga bacteriana, condiciones ambientales (materia orgánica en el agua y fondo) y del estado nutricional e inmune de los camarones.

La EMS/AHPND es otra enfermedad producida por bacterias extracelulares. Las cepas causantes pertenecen hasta el momento, a las especies *V. parahaemolyticus*, *V. campbellii* y *V. owensii*. Durante esta enfermedad, toxinas bacterianas afectan exclusivamente el hepatopáncreas produciendo muerte de sus células y desprendimiento de las mismas, que son expulsadas a través del intestino. Las mortalidades pueden alcanzar en casos severos, 100% en los primeros 30 días después de la siembra en piscinas de engorde.

La NHP es una enfermedad producida por bacterias intracelulares pertenecientes a la especie *Candidatus Hepatobacter penaei* y afecta solamente el hepatopáncreas. Las lesiones en este órgano incluyen formación de granulomas, melanización de los túbulos y pérdida progresiva de las funciones digestivas. Las mortalidades acumuladas pueden ir de 50-90% y dependerán del diagnóstico oportuno, control terapéutico (tratamiento curativo) y condiciones ambientales propicias para la enfermedad como temperatura entre 29 y 35°C y salinidad entre 20 y 40 ppt.

Otras enfermedades emergentes o reemergentes producidas por bacterias en camarones, son: Estreptococosis (*Streptococcus* spp.), Espiroplasmosis (*Spiroplasma penaei*) y Enfermedad de los Parches Blancos (*Bacillus cereus*).

Enfermedades por virus

La enfermedad por TSV es producida por un virus RNA con replicación intracitoplasmática, capaz de afectar grandes zonas de epitelio cuticular y branquias. Las mortalidades son muy elevadas cuando el virus llega por primera vez a un país, pero poco a poco la supervivencia va mejorando y por selección natural las nuevas generaciones se van haciendo resistentes. Es posible que muchos camarones en países que fueron afectados por TSV y donde ya no se produzcan mortalidades por este virus, los camarones sigan siendo positivos al virus mediante el diagnóstico molecular (técnica de PCR), pero esto no significa que estén “enfermos” sino simplemente “infectados” (portadores asintomáticos).

La enfermedad producida por IHNV en *Penaeus vannamei*, se conoce como Síndrome de Deformidad y Enanismo (RDS por sus siglas en inglés). El causante es un virus DNA de replicación intranuclear. Esta patología consiste en aparición de deformidades en los camarones, principalmente en el rostro, así como una marcada disparidad de tallas por falta de crecimiento adecuado y de severidad variable en una parte importante de la población (40-80%). Aunque esta enfermedad no ha sido descrita como causante de mortalidad en *P. vannamei* (sí lo es en *P. stylirostris*), tiene un impacto económico alto en la planta de proceso, debido al bajo rendimiento caracterizado por muchas tallas pequeñas y, por consiguiente, un alto factor de conversión alimenticia.

Otras enfermedades detectadas en camarones de cultivo en el continente americano, incluyen el Síndrome de las Manchas Blancas (WSSV), la Mionecrosis infecciosa producida por el virus del mismo

nombre (IMNV), la Enfermedad por el Nodavirus del *Penaeus vannamei* (PvNV), Síndrome de la Cabeza Amarilla producido por el virus del mismo nombre (YHV)

Otras enfermedades emergentes o reemergentes producidas por virus en camarones, son: Enfermedad por el Nodavirus de la Mortalidad Encubierta (CMNV), Enfermedad en *P. vannamei* causada por el Nodavirus del *Macrobrachium rosenbergii* (MrNV) y Enfermedad por el Virus Iridiscente de los Decápodos, genotipo 1 (DIV1).

Enfermedades por hongos

La Enfermedad del Camarón algodonoso (o Enfermedad del camarón lechoso) es producida por hongos que producen microsporas y que pertenecen al Orden Microsporidia; los géneros reportados son *Agmasoma*, *Ameson* y *Pleistophora*. Durante el desarrollo de esta patología que afecta el músculo estriado de los camarones (en cefalotórax y abdomen), se presenta opacidad multifocal o difusa muy marcada y característica, con apariencia algodonosa, bajo crecimiento de la población afectada, coloración oscura o azulosa del cuerpo y letargia (poca actividad). Dependiendo de la prevalencia que se presente en una piscina, puede llegar a afectar el rendimiento post-cosecha, por descarte de camarones afectados no aptos para su comercialización. Su control debe incluir la reducción de peces en las piscinas (hospederos intermediarios) y evitar el uso de reproductores infectados en las maduraciones que dan origen a las postlarvas utilizadas en la finca. Un nuevo microsporidio que produce la misma apariencia lechosa de los camarones pero que a la vez infecta otros órganos (corazón, branquias, órgano linfóide, músculo y hepatopáncreas), pertenece al recientemente identificado género *Perezia*. Sin embargo, por ahora sólo se ha observado infectando *P. monodon* y *P. indicus*, en el continente asiático.

En las larviculturas, es común que se presenten brotes de Micosis Larval, enfermedad infecciosa de curso muy agudo, producida por especies patógenas de los géneros de hongos *Lagenidium* o *Sirolopidium*. Su control es factible a partir de fungicidas comerciales, sin lo cual esta enfermedad puede eliminar casi en su totalidad, la biomasa de postlarvas de un tanque en pocas horas.

La microsporidiosis del hepatopáncreas, es una enfermedad producida por el hongo *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP), se transmite vía horizontal por canibalismo y no requiere vectores intermediarios. Con frecuencia se presenta en brotes combinados con WSSV o EMS/AHPND y cuando se presenta sola parece que no produce mortalidad en el *P. vannamei*. Su efecto sobre la producción se basa en bajo crecimiento de gran parte de la población, con lo cual se eleva el factor de conversión y se reduce el rendimiento de la piscina. Existen medidas de desinfección de instalaciones cuando ya se ha presentado infección en maduración, larvicultura o piscinas de engorde, pero su eficiencia es variable. La mejor medida de prevención es la exclusión.

Manejo de antibióticos en cultivo de camarones

Arturo Rojas

Los antibióticos son, en la actualidad, como lo fueron en su origen, las únicas opciones efectivas para combatir las enfermedades bacterianas tanto en los seres humanos como en los animales, incluyendo los camarones de producción. Debido a esto, han sido objeto de un uso abusivo y en muchas ocasiones irracional, manejando el concepto erróneo de prevenir y no utilizarlos solamente para curar.

El uso adecuado de antibióticos en el cultivo de camarones, es responsabilidad de todos los actores del sector y tiene como objetivos por un lado disminuir la producción de bacterias resistentes a los antibióticos y por otro lado buscar la perdurabilidad de la industria ante los desafíos bacterianos.

La Organización Mundial de la Salud Animal (OIE) entre sus objetivos ha tomado en sus manos la responsabilidad de establecer las normativas y regulaciones para el uso correcto y adecuado de los antibióticos siendo su piedra angular la educación en todos los niveles de los actores de la producción animal (camaronera).

Los antibióticos deben ser utilizados como la última herramienta contra las bacterias que atacan a los camarones, pero no por ello usarlos en el último momento. Aun así, se debe manejar la prevención de las enfermedades bacterianas, mediante las herramientas adecuadas como prebióticos, probióticos, ácidos orgánicos, buena nutrición y buenas prácticas de manejo.

Normativa europea y norteamericana para la exportación de camarones (Óscar García)

La pandemia de COVID-19 causada por el virus SARS-CoV-2 ha puesto al mundo frente una amenaza sin precedentes. El documento publicado por la FAO y la OMS el 7 de abril de 2020 titulado "COVID-19 e inocuidad de los alimentos: orientaciones para las empresas alimentarias", en el que se describe la relación entre la COVID-19 y la inocuidad de los alimentos: "Es muy poco probable que la COVID-19 se transmita a través de los alimentos o de envases de productos alimenticios".

Hasta la fecha, no se ha demostrado que los virus que causan enfermedades respiratorias puedan transmitirse a través de los alimentos o de los envases que los contienen. Los coronavirus no pueden multiplicarse en los alimentos, pues necesitan un huésped animal o humano para hacerlo. Existe un amplio consenso entre los expertos en que el cumplimiento de las medidas generales de higiene a lo largo de la cadena de producción y transporte de alimentos impide la propagación del virus a través del comercio.

Los requerimientos para gestionar la inocuidad de alimentos están bajo presión como nunca, es trascendental que los operadores de empresas de alimentos de la cadena de producción de camarón de

cultivo conozcan los cambios de las regulaciones internacionales, europeas y norteamericanas. Lo fundamental de la legislación como herramienta para garantizar la inocuidad de los alimentos en la Unión Europea y en los EE. UU es muy importante, un buen ejemplo de ello lo podemos observar en la Estrategia «de la granja a la mesa» de la UE y la Nueva Era de Inocuidad Alimentaria Más Inteligente de la FDA publicadas a mediados del año 2020, respectivamente.

La pandemia de COVID-19 aumentó la necesidad de que los sistemas alimentarios sean más transparentes, rastreables y responsables". En las operaciones de las empresas alimentarias, las medidas eficaces se pueden aprovechar e integrar en las buenas prácticas de higiene y los sistemas de gestión de inocuidad de alimentos (como los basados en HACCP y los controles preventivos basados en riesgo). En particular, las medidas de higiene personal y los sistemas de gestión de inocuidad de alimentos existentes deben revisarse, reforzarse y posiblemente fortalecerse en términos de actividades del personal, el transporte, la logística y el diseño de las operaciones, la separación física de actividades (zonificación), así como la limpieza y desinfección de herramientas, equipos y ambiente, el uso de equipo de protección y la gestión de residuos no alimentarios potencialmente contaminados.

Es vital que los operadores de empresas de alimentos garanticen la implementación de sistemas de gestión sólidos de inocuidad de alimentos, en una era de innovación e incertidumbre, en cada eslabón de la cadena de producción y reafirmen su responsabilidad de proteger la salud de los consumidores.





César Lodeiros

Universidad Técnica de
Manabí, Ecuador

Jaime Mendo

Universidad Nacional Agraria
La Molina, Perú



Francisco Fonseca

JJ Chicolino,
México

Jorge Chávez-Villalba

CIBNOR - Unidad Guaymas
México



Eugenio Yokota

Granja Marina Chauquear Ltda. y
Pesquera Pacific Farmer Ltda., Chile

Sesión 6 | Cultivo de moluscos en Iberoamérica Shellfish farming in Ibero-America

César Lodeiros¹, Eugenio Yokota Beuret², Jaime Mendo Aguilar³, Jorge Chávez⁴, Francisco Fonseca⁵

¹ Escuela de Acuicultura y Pesquería, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

² Granja Marina Chauquear Ltda. y Pesquera Pacific Farmer Ltda., Chile

³ Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

⁴ CIBNOR - Unidad Guaymas, México

⁵ JJ Chicolino, México

 César Lodeiros¹ () E-mail: cesarlodeirosseijo@yahoo.es

RESUMEN | La producción de moluscos en Latinoamérica y el Caribe es baja, tan solo el 2,3% de la producción mundial y sin embargo, ésta se centraliza en pocas especies y son muy importantes en tres países, particularmente mejillones con el chorito *Mytilus chilensis* en Chile (aunque hay una producción de *Perna perna* relevante en Brasil), la concha de abanico *Argopecten purpuratus* en Chile y mayoritariamente en Perú, y *Crassostrea gigas* en México y Chile. Las tecnologías utilizadas son las clásicas de cultivo en suspensión utilizando *long lines*, de donde se suspenden linternas para ostras y pectínidos, así como el cultivo en cuerda para el mejillón. La mayor producción es para exportación con grandes volúmenes de congelado en mejillones y el pectínido, los cuales dependen de plantas de procesamiento, a diferencia de la ostra, que se realiza en su mayor parte en vivo. Los mercados internos en Latinoamérica son de poco volumen, inclusive en los países productores; aunque impulsados por bajas en el precio de pectínidos recientemente, en Perú se está creando un mercado interno. El mayor volumen es para exportación, para lo cual se requieren memorándums de entendimiento entre países para la exportación, los cuales normalmente requieren de normas sanitarias adecuadas y estudios recurrentes de la calidad de las aguas de producción. Se presentan características de diversos mercados para la exportación.

Palabras clave: Ostras, vieiras, mejillón, chorito, producción Iberoamérica

ABSTRACT | The molluscs production in Latin America and the Caribbean is low, only 2.3% of world production; however, it is centralized in few species and they are very important in three countries, particularly mussels with the chorito *Mytilus chilensis* in Chile (although there is a relevant production of *Perna perna* in Brazil), the scallop *Argopecten purpuratus* in Chile and mainly in Peru, and *Crassostrea gigas* in Mexico and Chile. The technologies used are the classic suspension culture using long lines, from which lanterns for oysters and scallops are suspended, as well as ropes for mussel culture. The largest production is for export with large volumes of frozen mussels and scallops, which depend on processing plants, unlike oyster that most of the production is live oysters. The markets in Latin America are of little volume, including in the producing countries; although driven by recent declines in the international price of scallops, an internal market is being created in Peru. The largest volume is for export, for which a memorandum of understanding is required between countries for export, which normally require adequate sanitary standards and recurrent studies of the quality production waters. Characteristics of various export markets are presented.

Keywords: Oysters, scallops, mussel, chorito, Latin America production

INTRODUCCIÓN

Los moluscos a nivel mundial representan, según las cifras actuales de la FAO-año 2018, 17.510.949 t, de éstas solo el 2,3% (415.638 t) se producen en Latinoamérica y el Caribe, representando en un 99% por mitílidos, pectínidos y ostreidos; el resto son pequeñas producciones de abulón y almejas, incluyendo organismos de la familia Arcidae.

La proporción de este gran grupo es dominada por mitílidos con un 92,2% seguida por los pectínidos en un 4,9% y los ostreidos con un 2,9%, siendo el principal país productor de mejillón Chile, de pectínidos Perú y ostreidos México (Fig. 1); debido a ello, la sesión de producción de cultivo en el FIRMA estuvo focalizada en los tres grandes grupos de producción y como ha sido su desarrollo en los tres países productores, en adición a como se encuentra el mercado de moluscos en Iberoamérica, para lo cual se invitaron a cinco especialistas, en función de exponer y debatir sobre ello.

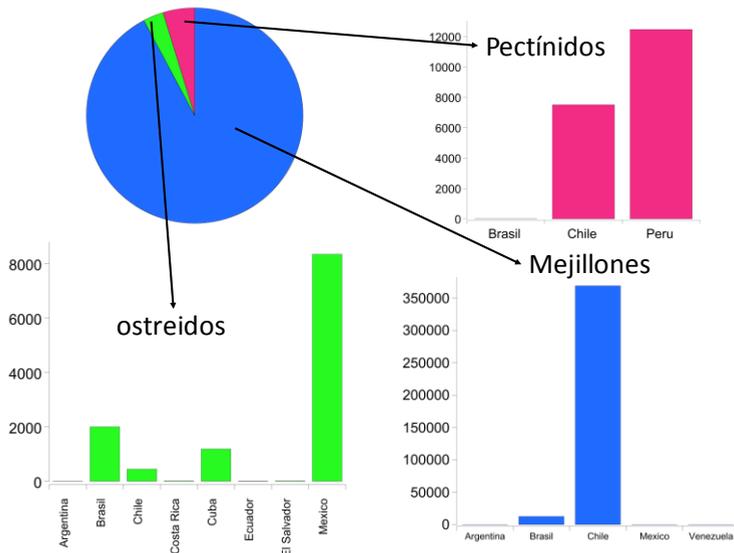


Figura 1. Distribución proporcional de la producción (t) de mitílidos, pectínidos y ostreidos en Iberoamérica y su producción por país en Iberoamérica para el 2018 (FAO 2021).

CULTIVOS DE MITÍLIDOS EN IBEROAMÉRICA: FOCO CHILE

La acuicultura de moluscos bivalvos ha tenido un fuerte impacto en Chile, tanto en producción como en ingresos monetarios. Las primeras experiencias se realizaron en 1943, los cultivos experimentales en los años 60, el despegue en 1980 y su desarrollo con una producción sostenida desde el año 2000. Actualmente Chile es el segundo productor mundial y el primer exportador del mundo, particularmente

de la especie chorito chileno *Mytilus chilensis* (Fig. 2) con más del 99% de la producción. Esta especie se caracteriza por una presencia limpia con concha delgada, mucho más que las otras especies que se cultivan en Chile.

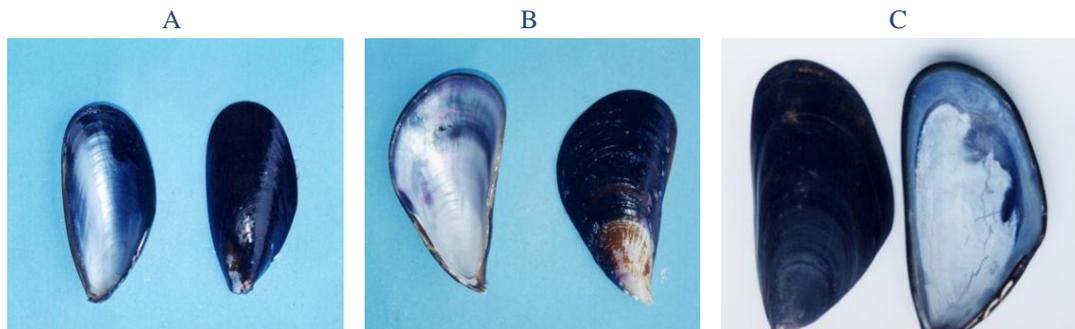


Figura 2. Especies de cultivo del Chile: A) mejillón chorito *Mytilus chilensis*, mejillón chileno o cholga *Aulacomyza ater* y mejillón giganteo choro zapato *Choromytilus chorus*.

A diferencia de los cultivos en España, que se realizan en bateas o grandes balsas, en Chile se probaron estos sistemas en un principio pero actualmente el cultivo se desarrolla en el sistema *long line* (Fig. 3). El proceso productivo se basa en 3 fases que involucran centros de procesado tecnológico: la captación de semillas (2-3 meses, semillas de 20 mm), la producción en líneas de engorde (12-18 meses, adultos de 50-70 mm), y las plantas de proceso.



Figura 3. *Long lines* dobles utilizados para el cultivo de mejillones en Chile.

Las tecnologías de procesamiento convierten en varios productos el mejillón chileno, entre ellos los principales son carne o vianda, volumen que se comercializa en un 56%, entero con un 20%, media concha con un 9% y la conserva con 15%.

Chile exporta alrededor de 202 millones de dólares anuales y produce 339.000 toneladas, esta producción y el procesamiento en la escala procesamiento y transporte y comercialización se traduce en un valor socioeconómico extraordinario.

Las razones para alcanzar el gran desarrollo del cultivo de mejillón en Chile se derivan de tener una costa protegida con una gran superficie de aguas interiores, dotada de excelente circulación de agua de mar influenciada por la corriente de Humboldt, y mareas de hasta 7 m, con profundidades apropiadas para los sistemas de engorde. A ello se le suma una abundante captación larvaria que asegura un abastecimiento de semilla y un programa de certificación de aguas que garantiza la inocuidad, lo cual ha gestionado el desarrollo de plantas de proceso de alta tecnología con certificación HACCP que garantiza la trazabilidad e inocuidad y permite exportar a todos los países del mundo.

Además de ser el mejillón chorito *Mytilus chilensis* un alimento de gran aceptabilidad por su textura y sabor, su calidad nutricional es excepcional con un aporte de ácidos grasos omega 3, vitaminas y minerales, que es reconocido en el mundo por sus características gastronómicas y orgánicas, lo cual ayuda a que tenga una elevada y continua aceptabilidad con un crecimiento sostenido de un 21% en los últimos 20 años.

CULTIVO DE PECTÍNIDOS: FOCO PERÚ

El cultivo y producción de pectínidos ha presentado fuertes fluctuaciones, y en algunos casos por fenómenos naturales como EL Niño que genera descensos (Norte) y aumentos (Sur) de producción. A nivel mundial, la producción total en el 2018 (data FAO) alcanza 2.892.493 t de las cuales el 73,8% (2.136.103 t) son por cultivo, la mayoría producida por China con 90,5% de la producción, luego, 8,1% Japón, Perú con el 0,6% y Chile 0,4%. No obstante, en valor, el porcentaje baja en China, particularmente por su consumo interno y poco procesamiento, y aumenta en los demás países. Llama la atención Chile (3,6%) que en el 2018 superó a Perú (1,9%) a pesar de haber producido menos (7.512 t con respecto a las 12.477 de Perú), pero esto se debe probablemente a la innovación en nuevos productos. En líneas generales, Perú produce *Argopecten purpuratus* la cual es prácticamente la especie que soporta mayor producción (96,6%) de toda Iberoamérica, incluyendo España (Fig. 4).

Producción 1974-2018			
1	<i>Argopecten purpuratus</i>	Perú y Chile	99.64
2	<i>Pecten maximus</i>	España	0.29
3	<i>Argopecten ventricosus</i>	México	0.06
4	<i>Lyropecten subnodosus</i>	Brasil	0.01
5	Pectinidae	Ecuador	< 0.01
6	<i>Chlamys varia</i>	España	< 0.01
7	<i>Aequipecten opercularis</i>	España	< 0.01



Figura 4. Especies producidas comercialmente en Iberoamérica entre 1974 y 2018 (FAO 2021).

La producción en Perú según los registros FAO (1950-2018), ha tenido muchas fluctuaciones (Fig. 5), algunas fueron favorecidas por el fenómeno del Niño, cuando todavía no se cultivaba *Argopecten purpuratus*. En los años 1982-1983 y en 1998 las extracciones fueron elevadas sobrepasando las 35.000 t en el sur de Perú, a partir de allí la región del sur dejó de producir y las actividades se comenzaron a desarrollar en la zona norte a partir de cultivos con mayores producciones de hasta 90.000 t/año en el 2013. No obstante, se presentaron muchas fluctuaciones debido también al fenómeno del Niño, pero en estas latitudes de forma negativa, tanto en los desembarques como en el cultivo. Por ejemplo, se tuvieron disminuciones de producción importantes en el 2012 y en el 2017, esta última debido a mortalidades elevadas en la zona norte asociadas al Niño (Fig. 5).

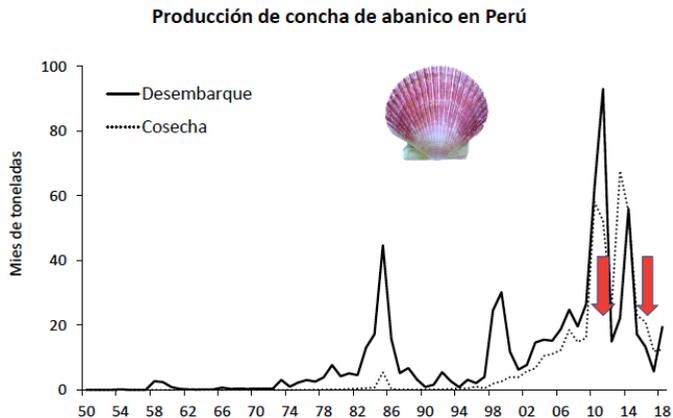


Figura 5. Producción de concha de abanico *Argopecten purpuratus*, tanto de desembarque o cosecha (cultivo) durante el periodo 1950-2018 (data FAO).

La producción de semillas para cultivo en Perú es soportada por tres fuentes, la producción bajo condiciones controladas en “hatchery”, la captación de semillas con colectores artificiales y una muy importante, la extracción de bancos naturales. Esto último supuso una gran ventaja para que los costos de producción en Perú fuesen bajos, lo que provocó el cierre de varios centros de producción en Chile a partir del 2013. El cultivo de las semillas es en suspensión mayoritariamente utilizando *long lines* de donde se suspenden cestas de cultivo, particularmente *pearl nets* y *linternas* con cosechas prácticamente mecanizadas. El cultivo de fondo es un trasplante de los bancos naturales a otros sitios más adecuados para el cultivo y producción, siendo la cosecha manual por buceo.

La producción de concha de abanico está dirigida principalmente a la exportación, músculo con gónada, callo solo y media valva con callo y gónada, principalmente dirigido en un 70% a Francia y Estados Unidos (Figura 6).

CULTIVO DE CONCHA DE ABANICO EN PERU

Exportación de concha de abanico

“Roe On”



“Roe Off”



“Media valva”

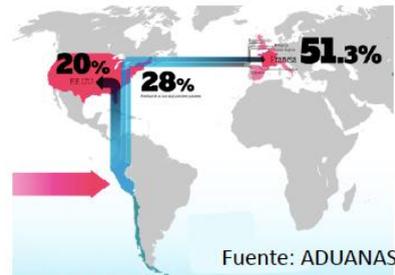
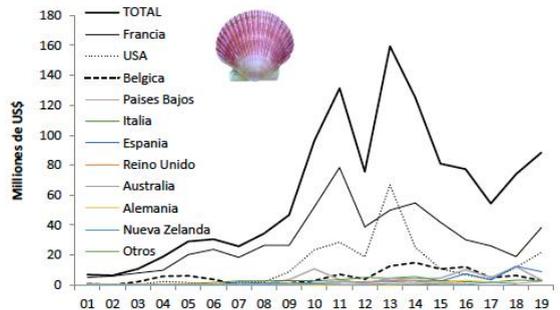


Figura 6. Productos y destinos de la exportación de concha de abanico *Argopecten purpuratus* de Perú **Fuente:** (Tomado de Mendo y Quevedo, 2020).

Recientemente, las exportaciones han disminuido notablemente, no solo por la pandemia, también porque el precio cambió y ha caído a precios históricamente bajos. En la cadena de valor, los exportadores y los intermediarios son los que obtienen mayor ganancia del producto, siendo los productores los que logran menor beneficio. La mayoría del producto es congelado porque se dirige a exportaciones, pero cuando cayeron los precios (2018), se comenzó a incentivar el comercio interno, ya que el 30% del producto (inclusive congelado) se queda en Perú, lo que implica que hay posibilidades

de abrir mercados internos. El impacto del Covid19 en las cadenas de producción ha sido con mayor fuerza en los productores, particularmente aquellos en micro y mediana escala.

En vista de incentivar más el cultivo hacia un rendimiento más adecuado, se propone establecer la tecnología necesaria para la producción de aparejos, materiales y suministros así como una serie de medidas que incluyen; (1) cestas de cultivo en el Perú, (2) mejorar la oferta de calidad de semilla de producción por hatchery, (3) mejorar el sistema de trazabilidad y vigilancia del control sanitario, (4) optimizar la producción de cultivo, particularmente evitando siembras de densidades altas, (5) desarrollar nuevos productos y darle valor a los subproductos luego el procesamiento (tejidos sobrantes, conchas etc.), (6) ampliar la base comercial tanto interna como externamente y (7) certificar los procesos y las buenas prácticas en las cadenas de valor. Dado estos requerimientos, se están realizando conjuntamente con Instituciones nacionales e internacionales estudios para analizar las cadena de valor con un enfoque de sostenibilidad económica, social y ambiental (Increasing resilience in fishing communities to impacts of COVID 19 in northern Perú)), en función de establecer estrategias para incrementar la resiliencia de los actores en la cadena de valor de concha de abanico.

CULTIVO DE OSTRAS EN IBEROAMÉRICA: FOCO MÉXICO

El cultivo de ostras en el mundo es una actividad económica importante, principalmente en los países de regiones templadas. Existe un contraste significativo con respecto a regiones subtropicales y tropicales donde el cultivo de estos organismos ha tenido un menor desarrollo y por lo tanto un menor impacto. En este sentido es relevante conocer lo que ocurre en Iberoamérica con respecto al cultivo de ostras.

El cultivo en América inició a mediados del siglo pasado utilizando técnicas desarrolladas en Japón y Europa y adaptándolas para algunas especies nativas. En España y Portugal se cultivaban especies nativas, pero estaban enfrentando problemas de disminución de bancos debido a enfermedades, por lo que se inició la importación de semilla de ostras de otros países. No obstante, el cultivo en Iberoamérica empezó a desarrollarse de manera más sostenida a partir de la introducción de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas*, una especie nativa del Pacífico occidental desde la isla Sakhalin, Rusia, hasta Pakistán. Debido a su gran adaptación a diferentes condiciones ambientales, *C. gigas* se ha introducido en más de 65 países y territorios de diferentes condiciones climáticas, estimándose que se encuentra actualmente en unos 50 países, ya sea de forma de cultivo dado su elevado desempeño o en poblaciones ferales. De esta forma *C. gigas* se fue introduciendo paulatinamente en muchos de los países de América, así como también en España y Portugal.

En Iberoamérica la primera introducción fue en México en 1973, de ahí siguieron otros países como Brasil, Chile, Costa Rica, Portugal, Ecuador, Argentina, España y Perú donde el cultivo se desarrolló hasta convertirse en actividad comercial. La producción de *Crassostrea gigas* es de 2,531 ton/año en

México, 1500 ton/año en Chile, 725 ton/año en España como los principales productores de la región. Sin embargo, también ocurrieron introducciones no exitosas de *C. gigas* en Nicaragua, Venezuela, Belice, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Guatemala, Colombia, El Salvador, Panamá, Honduras, Cuba y Martinica.

El cultivo de la ostra del Pacífico se lleva a cabo utilizando diferentes sistemas de acuerdo a las condiciones fisiográficas de cada región y el capital disponible. De todos los sistemas los más utilizados son; cultivo en balsas, estantes de madera, en línea-larga (“long-line”) o estantes de fondo empleando diferentes tipos de contenedores, o elementos de confinamiento como canastas plásticas, *pearl-nets*, *lantern-nets* o linternas, sartas, costales, etc. (Fig. 7), y el cultivo en costales sobre estantes en la zona intermareal.

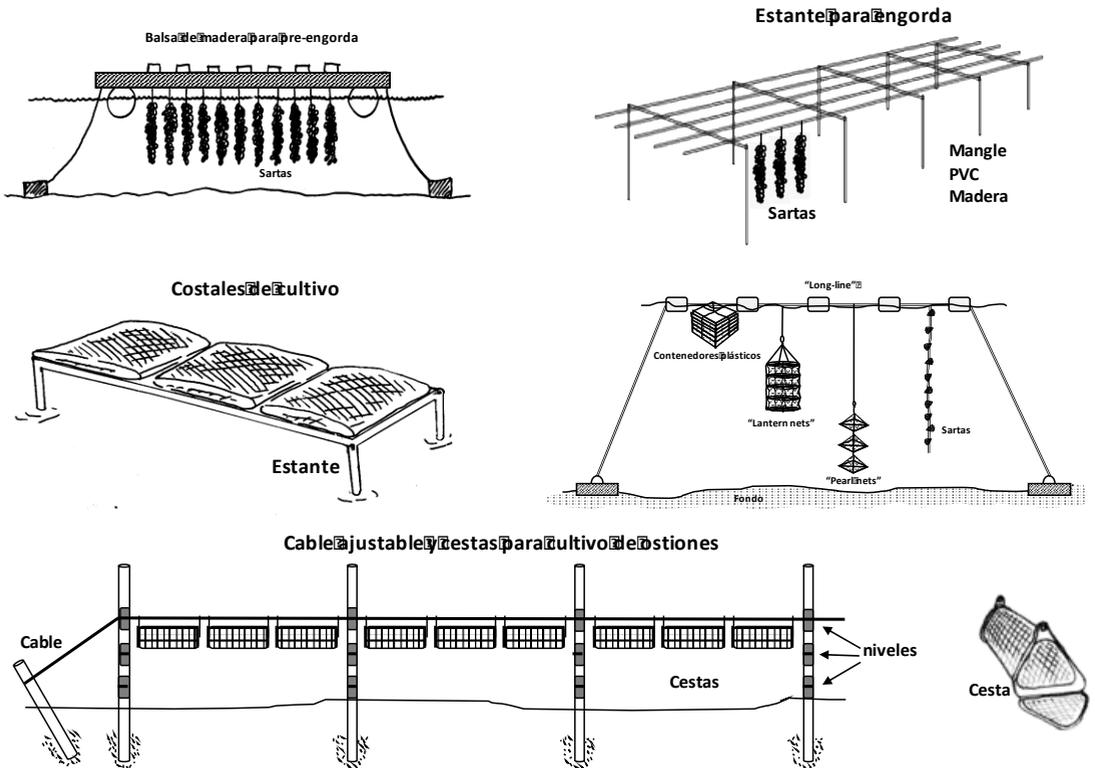


Figura 7. Diferentes sistemas de cultivo (balsas, estacas o estantes, *long lines*, etc.) y tipos de cestas o elementos de cultivo ensayados en Iberoamérica.

Estos sistemas y otros se han adaptado para el cultivo de ostras nativas en varios países, por ejemplo, la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae* en Brasil, Puerto Rico, Cuba, Jamaica y Venezuela; la ostra americana *Crassostrea virginia* en Venezuela y República Dominicana; la ostra de placer (*Crassostrea corteziensis*) y la ostra Kumamoto (*Crassostrea sikamea*) en México, la ostra *Crassostrea gasar* en Brasil; y la ostra plana *Ostrea edulis* en España y Portugal.

Existen varias especies emergentes en Iberoamérica destacándose la gran ostra de piedra *Striostrea prismatica* (Fig. 8) debido a que existe la tecnología para la producción masiva de semilla en criadero, así como resultados alentadores en ensayos de cultivo.



Figura 8. La ostra de roca *Striostrea prismatica*, muy popular en Ecuador y otros países del Pacífico tropical americano.

MERCADOS DE MOLUSCOS EN IBEROAMÉRICA

Los países de Latinoamérica tienen sistemas socioeconómicos parecidos y las limitantes para comercializar son similares. De esta manera, los países que producen productos en grandes cantidades como Chile, buscan exportación porque el mercado interno es pequeño, así que el producto que se queda para consumo local es mínimo.

Una limitante para los países de Latinoamérica ha sido lograr Memorándums de Entendimiento (MOU por sus siglas en inglés) con los países donde están los mercados más consolidados. Para conseguir estos memorándums, los procesos son largos y tediosos y requieren hacer muestreos durante varios años para certificar las aguas y después continuar los muestreos anuales. Otra opción que es muy común en Latinoamérica es manejar productos congelados, lo cual permite transportar, almacenar y

comercializar con más tiempo y menos costos. En líneas generales las especies de interés en los mercados son:

- Almejas duras, mercado principal España (presentación: viva)
- Almeja gigante, mercado Asia, China principalmente (presentación: viva)
- Mejillón, mercado principal Estados Unidos y España (presentación: congelado)
- Vieiras, mercado principal Estados Unidos y Francia

Se presentan a continuación los mercados receptores de las producciones de Latinoamérica.

Mercados en México

Los moluscos de cultivo están limitados a las ostras, con dos especies comerciales principalmente; *Crassostrea virginica* del Golfo de México, y *Crassostrea gigas* en el noroeste. La ostra *C. virginica* es muy abundante pero no se exporta, se producen cerca de las 40 mil toneladas anuales en todo el Golfo y sólo se consume en México. Es la ostra del pueblo, muy barata y se considera de alto riesgo sanitario. Por otro lado, *C. gigas* es la especie más producida en el país, las granjas de cultivo la exportan principalmente y el producto que se queda llega por lo general a restaurantes de mantel blanco.

Se produce poco mejillón (*Mytilus californianus* y *Mytilus galloprovincialis*) en el país y se comercializa de la misma manera, es decir, el enfoque es la exportación y el que queda en el país por lo general termina en restaurantes. Con respecto a las almejas, las que se producen a nivel latinoamericano provienen de México (manila y *Chione* spp.), las cuales se exportan a los mercados de Estados Unidos, a no ser la almeja generosa *Panopea* spp. que se exporta a China.

Mercados de Estados Unidos

Dependiendo del producto del que se habla existen una variedad de mercados potenciales para los productos que se producen en Latinoamérica. Estados Unidos ha sido el más obvio por la cercanía, logísticas de transporte confiable, pago en dólares y un mercado enorme. Por ejemplo, los productos de México entran vivos (almeja *Chione* spp. y *Crassostrea gigas*), mientras que los productos de Chile entran congelados (principalmente mejillón).

El mercado de *Crassostrea gigas* es en todo EEUU, aunque el de *Crassostrea virginica* empieza a cubrir posiciones en el mercado de ostras, principalmente en los bares de ostras que están proliferando y donde constantemente se buscan productos diferentes. El mercado de ostras en EEUU se está transformando en un mercado muy sofisticado y versátil, dado que hay una gran variedad de especies y el consumidor se ha vuelto más conocedor. Por otra parte, por las limitaciones en logísticas en los países latinoamericanos algunos países como México y Colombia compran ostra congelada de EE.UU.

Mercado de Europa

Al igual que el mercado de EEUU, los mercados para moluscos bivalvos en Europa requieren que exista un MOU entre países, en este caso es con la Unión Europea. Una vez existiendo éstos, el producto puede entrar a toda Europa, incluyendo a los países que no son miembros de la UE. Por ejemplo, España, Francia e Italia consumen volúmenes elevados de marisco, especialmente almeja, mejillón, ostra y vieiras. España es el país con mayor atención de Europa en almeja. Para entrar en el mercado de estos países hay que entrar con calidad, volumen y precio.

Mercado de Asia

Los países de Asia también tienen requisitos sanitarios para poder exportar a sus países, los requisitos sanitarios son prácticamente los mismos, pero el trámite burocrático es más ágil. China es el comprador más grande y prefiere producto vivo, a este mercado hay que entrar con volúmenes grandes. Japón, en contraste con China, compra volúmenes más pequeños pero se fijan en calidad. A estos mercados hay que entrar con calidad. Otros países como Singapur, Malasia, Vietnam y otros, tienen mercados importantes para ostra viva grande. Estos países producen mucha almeja dura y exportan almeja congelada a todo el mundo.

REFERENCIAS

FAO. 2021. Fishery statistical collections. Global production, global capture production and global aquaculture production/. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department. Accessed March 24, 2020. Available at: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en>.

Mendo J., Quevedo I. 2020. La cadena de valor de la concha de abanico. Serie Estudio Prospectivo Nro. 1. Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA). Ministerio de la Producción. 68pp.





Jorge Sonnenholzner

Universidad Técnica de
Manabí, Ecuador



Tamara Rubilar

CONICET / Instituto patagónico
del Mar-UNPSJB, Argentina



Jeremie Bauer

Universidad Autónoma de Baja
California, México



Juan M. Estrada

Centro de Investigación Marina
Quintay CIMARQ, Chile



Luis Felaco

PanaSea / CINVESTAV,
México



Mauricio Castrejón

Universidad de Waterloo,
Canadá

Sección 7 | Cultivo de equinodermos en Iberoamérica *Echinoderm cultivation in Iberoamerica*

Jorge Sonnenholzner¹, Tamara Rubilar², Jeremie Bauer³, Juan Manuel Estrada Arias⁴, Luis Felaco⁵, Mauricio Castrejón⁶

¹ Universidad Técnica de Manabí, Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables

² Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco/ CONICET-CENPAT, Argentina

³ Universidad Autónoma de Baja California, México

⁴ Universidad Andrés Bello, Chile

⁵ PanaSea, CINVESTAV, México

⁶ Universidad de Waterloo, Canadá

 **Jorge Sonnenholzner** () E-mail: jorge.sonnenholzner@utm.edu.ec

RESUMEN | Desde el enfoque de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenibles de la ONU, seguimos en la disyuntiva de aprovechamiento al máximo de los recursos naturales y aumentar la producción de alimento funcional de origen animal (no cárnicos) como fuente de provisión de proteína de alta calidad y micronutrientes para una creciente población mundial. Desde 2014 la acuicultura es el sector con mayor crecimiento de producción global de alimento para consumo humano, pero que depende de pocos recursos, la mayoría no nativos. Por otra parte, la pesca de captura evidencia marcado estancamiento en su producción sin signos de mejora. No obstante, se ha fortalecido el sector de la acuicultura marina con recursos nativos emergentes como los equinodermos que incentivan y promueven el uso y consumo local de varias especies basándose en el diseño de sistemas de acuicultura multitrófica integral para el manejo de pesquerías sostenibles para varias especies de equinodermos. Entre las especies de pepinos de mar más relevantes, tenemos: *Isostichopus fuscus* y *Holothuria theeli* en Ecuador (incluyéndose la Reserva Marina de Galápagos), *I. badionotus* en la región del Gran Caribe, entre México y Panamá y *Apostichopus parvimensis* en la península de Baja California, México. Además, varios estudios de caso presentan innovaciones disruptivas y prospectivas (con visión a largo plazo) de emprendimiento exitoso y sostenido de la diversificación acuícola que satisface el incremento en la demanda de productos con rasgos nutracéuticos, farmacognosia y cosmeacéuticos para los próximos 30 años, desde el entorno de la acuicultura 4.0. Este es el caso para los erizos de mar *Diadema antillarum* y *Arbacia dufresnii* en España (DIADEMAR) y Argentina (ARBACIA), respectivamente. El proyecto “Caletas Rurales Innovando con el Erizo Rojo (*Loxechinus albus*)” ha permitido incrementar la competitividad de las caletas rurales y semi urbanas en Valparaíso (Chile) para un sector estratégico de producción masiva de alimentos que permite mejorar la economía, competitividad y potenciar la capacidad de respuesta ante la seguridad alimentaria entre las naciones latinoamericanas.

Por su parte, para la transferencia tecnológica asociada a la producción de semillas de erizo para el desarrollo de la acuicultura a pequeña escala en las AMERBS. Se presentan avances importantes para otras especies, tales como *Mertensothuria franciscanus*, *Strongylocentrotus purpuratus*, *Lytechinus variegatus* y *Tripneustes depressus*. Esta Sección comprende a cinco charlas de Argentina, Chile, Ecuador, México y Venezuela.

Palabras clave: Agenda 2030 - FAO, Granjas marinas, Acuicultura multitrófica integral, Alimentos funcionales, pepinos de mar, erizos de mar, Reserva Marina de Galápagos

ABSTRACT | From the focus of the 2030 Agenda and the UN Sustainable Development Goals, we continue in the dilemma of making the most of natural resources and increasing the production of functional food of animal origin (not meat) as a source of protein provision of high quality and micronutrients for a growing world population. Since 2014, aquaculture is the sector with the highest growth in global production of food for human consumption, but it depends on few resources, most of them non-native. On the other hand, capture fisheries show marked stagnation in production with no signs of improvement. However, the marine aquaculture sector has been strengthened with emerging native resources, such as echinoderms that encourage and promote the use and local consumption of various species according to the design of comprehensive multitrophic aquaculture systems for the management of sustainable fisheries for various species of echinoderms. Among the most relevant sea cucumbers species, we have: *Isostichopus fuscus* and *Holothuria theeli* in Ecuador (including the Galapagos Marine Reserve), *I. badionotus* in the Greater Caribbean region, between México and Panamá, and *Apostichopus parvimensis* in the Baja California peninsula, México. In addition, several case studies present disruptive and prospective innovations (with a long-term vision) of successful and sustained entrepreneurship of aquaculture diversification that satisfies the increase in demand for products with nutraceutical, pharmacognosy and cosmeaceutical traits for the next 30 years, from the environment of aquaculture 4.0. This is the case for the sea urchins *Diadema antillarum* and *Arbacia dufresnii* in Spain (DIADEMAR) and Argentina (ARBACIA), respectively. The project "Coves Rural Innovating with the Red Sea Urchins (*Loxechinus albus*)" has made it possible to increase the competitiveness of rural and semi-urban coves in Valparaíso (Chile) for a strategic sector of mass food production that improves the economy, competitiveness and enhances the response capacity to food security among Latin American nations. Important advances are presented for other species, such as *Mertensothuria franciscanus*, *Strongylocentrotus purpuratus*, *Lytechinus variegatus* and *Tripneustes depressus*. This Section includes five talks from Argentina, Chile, Ecuador, Mexico and Venezuela.

Keywords: Agenda 2030 – FAO, Marine farming, Integrated multitrophic aquaculture systems, Functional food, sea cucumbers, sea urchins, Galapagos Marine Reserve.

7-12 febrero 2021 X Firma 2021 online X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y l Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y le

Jorge Sonnen...

Tecnología de
CULTIVOS DE EQUINODERMOS
en iberoamérica: acuicultura
prospectiva al 2030

Dr. Jorge Sonnenholzner
Departamento de Acuicultura y Pesca
Universidad Técnica del Manabí - Ecuador

X FIRMA ONLINE 2021
MESA: ACUICULTURA DE EQUINODERMOS
JUEVES 11 DE FEBRERO DE 2021, 10h00

The slide features a green header with event information and logos. The main content area includes the title 'Tecnología de CULTIVOS DE EQUINODERMOS en iberoamérica: acuicultura prospectiva al 2030' and the speaker's name 'Dr. Jorge Sonnenholzner'. On the right side, there is a photograph of a man, identified as 'Jorge Sonnen...', and a collection of various sea urchin and brittle star specimens, including whole animals and cross-sections showing internal structures.

Tecnología de cultivos de equinodermos en Iberoamérica: acuicultura prospectiva al 2030

Jorge Sonnenholzner

El consumo de recursos al 2030

En el contexto del plan globalizado en el tema de seguridad alimentaria y sostenibilidad, la Agenda 2030 impulsada desde 2015 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ante el retraso provocado por la pandemia del Covid-19, el Foro Económico Mundial – Davos 2021 se sincronizó para gestionar avances y responder la pregunta sobre la oferta de alimento de calidad versus consumo de recursos en el marco de lo sostenible: ¿Cuánta comida se podría producir de forma sostenible para el 2050? De hecho, la proyección estadística pesquera global proyecta que el alimento proveniente del mar podría aumentar en producción entre 21 y 44 millones de toneladas para alimentar a más de 9 800 millones de personas para el 2050. No obstante, la FAO declaró que en 2014 la acuicultura había rebasado por demás la producción de la pesquería global, ya que desde 1985 la producción pesquera estaba estancada debido a la sobreexplotación de los recursos, estableciéndose por sobre la base de una máxima sostenibilidad de recursos cuya biología literalmente se desconoce. Por este motivo, el consumo de recursos de origen marino es un tema de crucial importancia hoy. En 1960 el consumo de pescado *per capita* fue 9 kg, pero en 2017 alcanzó un máximo de 20,5 kg. A este ritmo, la hipótesis que hoy se plantea es frente a un rango de oportunidades referidas al consumo de mejor calidad de proteínas y nuevos hábitos de consumo.

Reseteo global pos pandemia (4RI): granjas marinas en Latinoamérica

La enfermedad Covid-19 ha afectado severamente el desempeño económico de ALyC con enfoque a seguridad y soberanía alimentaria y sistemas alimenticios. Por ello, se debate promover el cultivo de nuevos recursos marinos nativos emergentes no tradicionales para la diversificación efectiva de la matriz acuícola global por efecto del cambio de patrón de consumo y preferencias. A pesar de las innovaciones y técnicas de producción mejoradas, persiste la percepción errónea y opiniones negativas que obstaculizan su implementación para ampliar el consumo de productos de origen marino. Por eso, es urgente una transformación en aprendizaje y generación de I+D+i (en el marco de lograr una ciencia a largo plazo con innovaciones disruptivas y perspectivas) con visión a largo plazo para el emprendimiento exitoso y sostenido de la diversificación que satisfaga el incremento en la demanda de alimentos nuevos procedentes del mar y no de los cárnicos con rasgos nutraceuticos, farmacognosia y cosmeaceuticos para los próximos 30 años. La acuicultura 4.0 es la cuarta revolución industrial (4RI) que aparece trascendental con una nueva generación de la acuicultura caracterizada por integrar la tecnología globalizada de la información, basada en la digitalización, inteligencia artificial (internet de las cosas-nube-*big Data*) y la robótica. Por ello, la maricultura con tecnología desarrollada y amplificada para atender el mercado que existe y dicta la demanda, los equinodermos son una magnífica propuesta. Tanto así que esta acuicultura está conceptualizada desde lo multitrófico integral (AMI) que promueva la sostenibilidad y el valor de los productos de la acuicultura en sistemas cerrados e intensivos desde un enfoque ecosistémico (Fig. 2). Se trata de promover una acuicultura marina diversificada más sostenible y más competitiva mediante la co-producción de alimentos saludables con el aprovechamiento al máximo del hiper-espacio y micronutrientes.

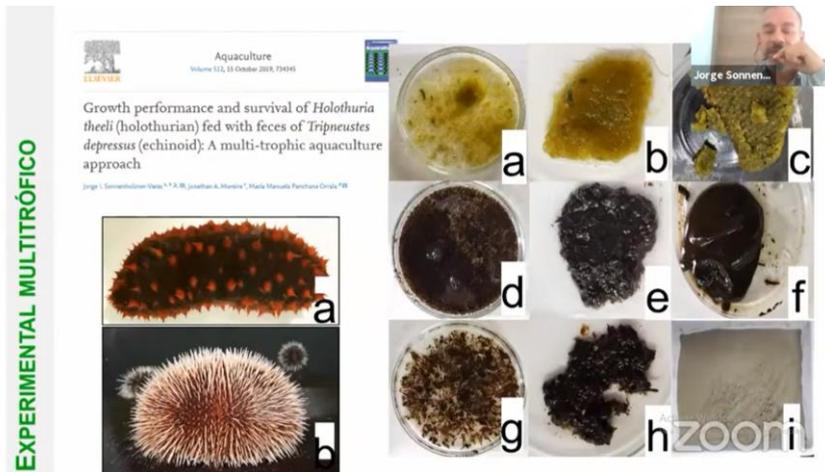


Figura 2. Diseño experimental de acuicultura multitrófica integral (AMI) para el cultivo del pepino de mar *Holothuria theeli* y el erizo de mar *Tripneustes depressus* en condiciones controladas de laboratorio.

¿Por qué hacer AMI de equinodermos?

La globalización y la alta demanda del mercado asiático explican la necesidad urgente de diversificar y utilizar métodos efectivos de producción desde el mar. China es el principal productor y consumidor de pepinos de mar y erizos de mar que marca el pulso – presión forzante del mercado a nivel global (Fig. 3).

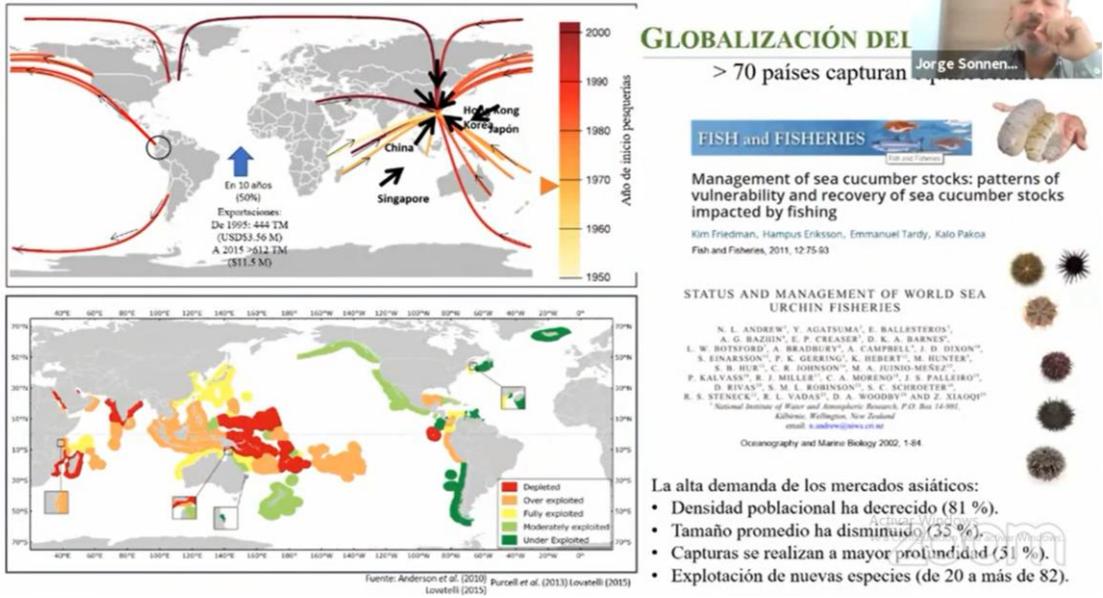


Figura 3. Globalización y demanda del consumo de pepinos y erizos de mar a nivel global.

Hoy la estadística pesquera indica que son más de 70 países que capturan especies variadas (en pocos años se pasó de menos de 20 a más de 82 especies), pero que la densidad poblacional ha decrecido (81%), el tamaño promedio de los individuos ha disminuido (35%) y las capturas se realizan en aguas cada vez más profundas con alto riesgo para los pescadores (51%). Desde un enfoque ecosistémico, estos invertebrados marinos juegan un factor importante y preponderante ya que mantienen el ecosistema saludable de otros invertebrados bentónicos con valor comercial. Son considerados emergentes compuesto de una enorme cantidad de especies con valor comercial, pero que su biología no ha sido estudiada. Por eso, estas pesquerías de corta vida (menos de 10 años) han sido denominadas del tipo *Bonanza Seguidas de Colapso*. Por eso la acuicultura de repoblación es lo que se está manejando con el enfoque de producir para recuperar las poblaciones disminuidas por mal manejo de las pesquerías y hacerlas sostenibles.

De hecho, en Latinoamérica se está empezando a desarrollar fuertemente la acuicultura de pepinos de mar y erizos de mar. Hoy son ya más de 11 países latinoamericanos que los cultivan. Entre las especies de pepinos de mar más explotadas y mejor cotizadas en el mundo es la especie latinoamericana *Isostichopus fuscus* distribuida desde Baja California, México hasta norte del Perú, incluyéndose las Islas Galápagos. Su costo está en aproximadamente en US\$ 2 500 kg peso seco. De hecho, Galápagos es el sitio donde mayormente sus poblaciones han sido disminuidas por sobreexplotación pesquera. Ante esta situación, en la última década se ha empezado a producir protocolos técnicos de acuicultura optimizados basados en investigaciones básicas y aplicadas para la diversificación de la industria acuícola (p.e., agroecología marina y producción de alimentos funcionales) para fines de seguridad y soberanía alimentaria. El proyecto sobre repoblamiento del pepino de mar *I. fuscus* en Ecuador fue galardonado entre los 500 mejores proyectos de la 5ta Edición Latinoamérica Verde, Guayaquil – Ecuador 2018) (Fig. 4).

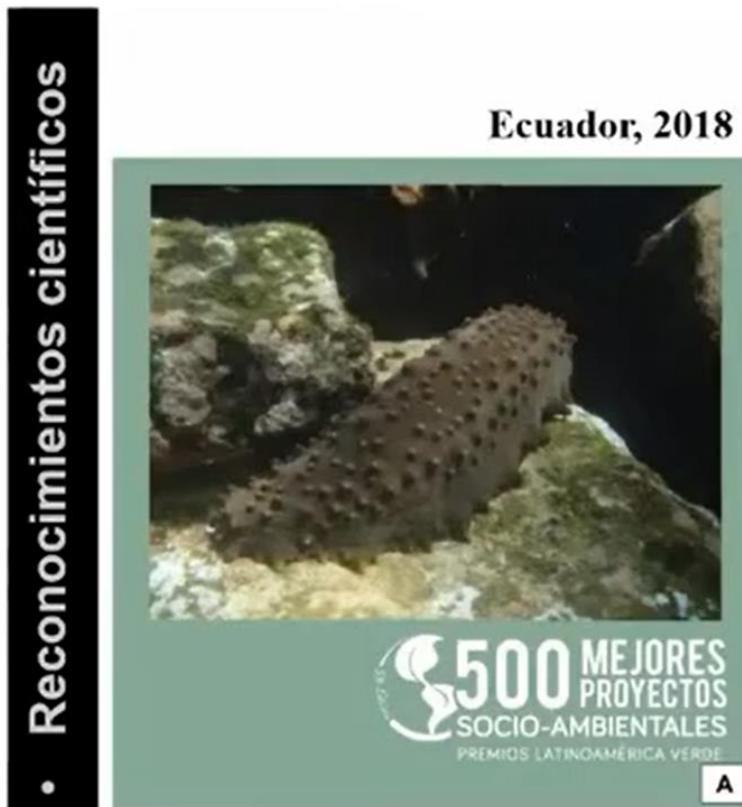


Figura 4. Proyecto de cultivo y repoblamiento de pepinos de mar en Ecuador que fue galardonado en la 5ta Edición de Latinoamérica Verde, Guayaquil – Ecuador 2018.



Sesión 7. Cultivo de equinodermos
Jueves, 11 de febrero



Erizos de mar y prospectiva para la industria farmacéutica y nutracéutica en tiempos Covid-19

*Sea urchins and prospects for the pharmaceutical and nutraceutical
industry in Covid-19 pandemic*

Dra. Tamara Rubilar



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA
SAN JUAN BOSCO



Erizos de mar y prospectiva para la industria farmacéutica y nutracéutica en tiempos de Covid-19.

Tamara Rubilar

Thinking Outside of the Box en tiempos de Covid-19

Existen interesantes innovaciones alrededor de la actividad productiva de la acuicultura de erizos de mar a escala global; pero, ¿cómo definimos innovación? Innovación es un proceso que introduce nuevas características o modifica elementos pre existentes para mejorar algo, que implica animarse a plantear algo para dar el gran salto y generar algo nuevo (*Thinking Outside the Box*). De hecho, la innovación está reforzada por el desarrollo científico y/o tecnológico desde la academia hasta la industria, ya que el producto debe ser validado y pagado por un cliente que lo necesita, ya que sin venta y demanda real no existe innovación. Pero, los gobiernos son los que debieran de crear, mantener y fortalecer esos microambientes conocidos como *Start-Up* para hacer transferencia de tecnología. Existen cuatro tipos armonizados de innovación que generan modelos de negocio innovador exitoso: 1) de proceso, 2) de producto, 3) de organización o manejo y 4) de marketing.

Alrededor de los equinodermos hay varios casos de interés:

I. El proyecto innovador español DIADEMAR (Fig. 5) cuyo modelo propuso controlar la superpoblación del erizo de mar *Diadema antillarum* mediante la reducción de sus densidades para recuperación del ecosistema rocoso en las islas Canarias. Plantearon la generación de un nuevo recurso pesquero (que de hecho no existía) con fines socioeconómico, alimentario y ecológico para

recuperación del equilibrio del ecosistema y generar productos de valor agregado a partir de las gónadas (pastel de erizos de mar y libro de recetas de erizos de mar), conchas y espinas (fertilizante) de los erizos de mar. Hubo mucha demanda de los productos y gente estuvo dispuesta a pagar, pero el proyecto no prosperó por problemas políticos;



Dra. Tamara Rubilar

Figura 5. Thinking outside the box con el erizo de mar *Diadema antillarum*. Proyecto innovador DIADEMAR – España.

II. El proyecto innovador noruego URCHINOMICS propuso un modelo que planteó crear alimento artificial tipo pienso diseñado específico para cultivar erizos de mar, y a su vez, un método que permita mejoramiento gonadal. Para esto, se tuvo que buscar la manera de evitar el sobrepastoreo de macroalgas del ecosistema al retirar erizos de mar adultos que no estaban bien alimentados para mejorar la calidad de sus gónadas en condiciones de cautiverio y sistemas de recirculación con alimento para su mejor aprovechamiento (Fig. 6).



Figura 6. Thinking outside the box con manejo de erizos de mar. Proyecto innovador Blue growth: Sea urchin sustainable aquaculture, innovative approaches (URCHINOMICS) de Nofima.

III. El proyecto innovador ruso de manejo de principios bioactivos del erizo de mar ECHINOCHROME - A. A través del biodescubrimiento el modelo planteó la búsqueda de moléculas de origen natural para la industria farmacéutica. Al erizo de mar irregular *Echinarachnius parma* se les extrajeron sustancias pigmentadas purificadas para crear dos formulaciones farmacéuticas aprobadas y comercializadas Gistochrome (Glaucoma) e Histochrome (cardio protector) (Fig. 7). Este descubrimiento no estuvo aislado, sino que ya existía en el conocimiento ancestral de la medicina China (polvos de erizos de mar curan dolor de cabeza, flema e inflamación). Los científicos rusos, chinos, coreanos y japoneses han sabido nutrirse y aprovechar esta información para producir productos nutracéuticos a partir de principios activos de las espinas y conchas de varias especies de erizos de mar.

Pharmaceutical Innovation

Echinochroma A

CC1=C(O)C(=O)C(O)C(O)C(O)C1=O

Más de 20 años de estudio

Two pharmaceutical formulation

Russia P N002363/02-2003

Gistochrome™

Histochrome™

Dra. Tamara Rubilar

Activar Windows
We're committed to helping you activate Windows.

zoom

Figura 7. *Thinking outside the box* con manejo de erizos de mar. Proyecto innovador farmacéutico del erizo de mar (ECHINOCHROME – A).

IV. El proyecto argentino de agroecología marina *Start-Up* de una empresa de base tecnológica ARBACIA estuvo basada en la acuicultura de erizos de mar que genera ingresos. El modelo de este proyecto de negocio está fundamentado en triple impacto: social, económico y ambiental que aprovecha el conocimiento ancestral y científico sobre la biotecnología del erizo *Arbacia dufresnii* para la salud humana, a través de moléculas en los espinocromos que tienen potencial antioxidante, antimicrobiano, antiviral y potencia el sistema inmunitario, entre otros beneficios. ARBACIA se sumó a un espacio de articulación, capacitación, motivación, autoconocimiento y apoyo para productores de la acuicultura sostenible, servicios y su cadena de valor. Este espacio fue MAYMA Azul para crear productos revolucionarios con impacto real en la sociedad y ambiente.

La empresa ARBACIA inició en 2019 y produce extractos de huevos del erizo de mar *A dufresnii*. Se los cultiva en laboratorios con altos estándares de calidad y ética animal (este laboratorio en la Patagonia Argentina es la primera planta de producción sustentable y libre de crueldad animal de erizos de mar del mundo) en sistemas circular de residuos para disminuir la huella de carbono posible. El alimento fue creado para alimentar a los erizos y se generaron protocolos de extracción sin solventes orgánicos. Tres productos destinados a la industria: ARBACHrome, ARBAX y ARBANatural y cada uno tiene su especificación técnica (Fig. 8). Esta tecnología produce entre 300 y 500 veces más equinocromo que la producción natural en otras especies reportadas en erizo de mar. Durante la pandemia del Covid-19, ARBACIA presentó el proyecto EchA al COVID-19: terapia de COVID-19 como droga antiviral y/o droga acompañante cardioprotectora y antioxidante para humanos con comorbilidad y produjeron el producto nutraceutica immunoestimulante que alivia la tormenta de cotocinas (prueba médica) llamado ARBAMarine.



Figura 8. *Thinking outside the box* con manejo de erizos de mar. Proyecto innovador farmacéutico del erizo de mar (ARBACIA). Productos de extractos de huevas del erizo de mar *Arbacia dufresnii*.



IMPORTANCIA DE LOS EQUINODERMOS EN LA COSTA PACÍFICO DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

M.C. Jeremie Bauer

Programa de Doctorado en Oceanografía Costera de la Universidad Autónoma de Baja California



Importancia de los equinodermos en la costa Pacífico de Baja California, México

Jeremie Bauer

Pesquerías de equinodermos en Baja California, México

Desde el enfoque oceanográfico, Baja California, México es una región de transición entre aguas de la bioregión subtropical (aguas cálidas) y la bioregión templadas (aguas templadas frías), donde las especies de equinodermos que allí habitan viven al límite (temperaturas marinas extremas, tormentas, hipoxia, mareas rojas, decremento en pH, entre otros).

La pesquería ribereña de equinodermos en Baja California comprende a tres especies ampliamente reconocidas por su importancia a nivel comercial a nivel mundial, tenemos: *Mesocentrotus franciscanus* (erizo de mar rojo: US \$2,5 millones por año), *Apostichopus parvimensis* (pepino de mar: US \$600 mil por año) y *Strongylocentrotus purpuratus* (erizo de mar morado, produce entre el 8 y 10% de la pesquería del erizo rojo). Los erizos rojo y morado, junto con el pepino de mar son especies que se exportan al mercado asiático y que poseen importancia para la acuicultura (Figs. 9, 10).

Estresores ambientales y pesquerías

Las poblaciones del erizo de mar rojo *M. franciscanus* y sus pesquerías han sido muy fluctuantes y han estado afectadas por condiciones variadas relacionadas con el ecosistema y las pesquerías. En 1986 se produce su máxima extracción del recurso (8 500 toneladas en un año) de allí un decremento constante. En 2013 se registraron 3 215 toneladas. En 2016 se registra una extracción de 1 000 toneladas

en un año. En lo que respecta a la historia pesquería del pepino de mar *A. parvimensis* es muy similar a lo ocurrido con la del erizo rojo, enmarcada en decrementos de sus capturas. En 1992 su máxima captura fue de 723 toneladas. En 2011 su captura fue de 250 toneladas y en 2019 menos de 100 toneladas.

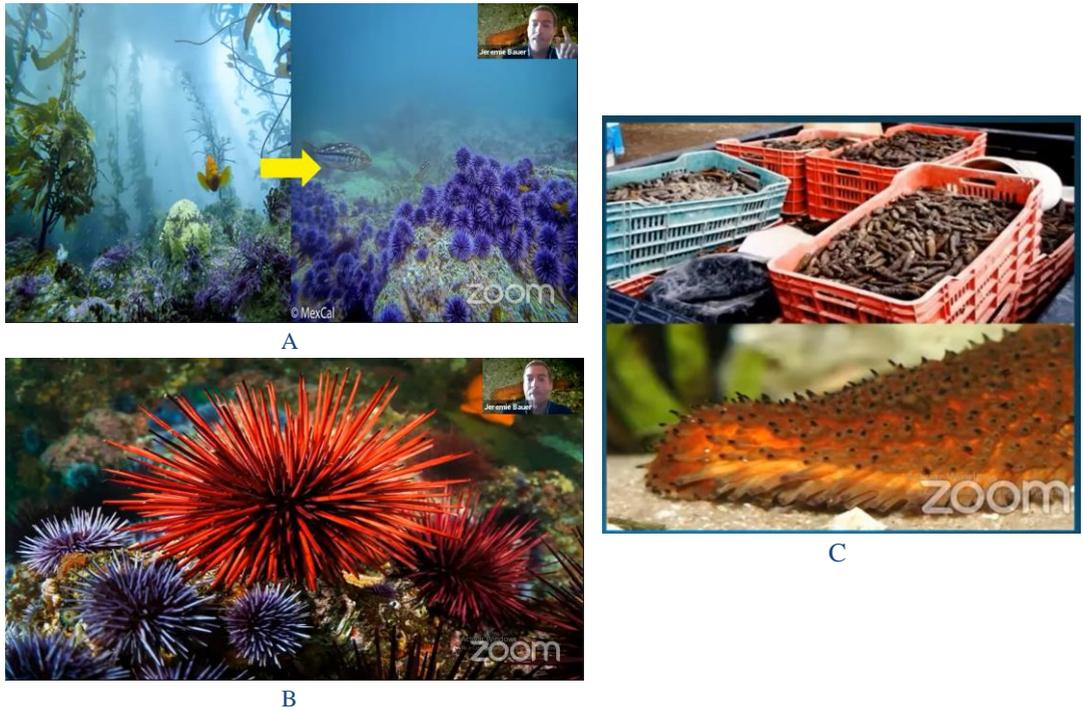


Figura 9. A. Erizo de mar morado *Strongylocentrotus purpuratus* en condiciones de desierto; B. Erizo de mar rojo *Mertensothuria franciscanus* compite por espacio y alimento con *S. purpuratus*; C. Pepino de mar *Apostichopus parvimensis* comercializado seco salado y en fresco.

De hecho, la acuicultura del pepino de mar *A. parvimensis* es una herramienta potencial para continuar con el aprovechamiento sostenible de este organismo (Fig. 10). En especial, aprovechar su nivel trófico para la AMTI. Por ello, necesitamos continuar con el desarrollo de biotecnología en cultivo de pepinos de mar. Por tal motivo, la AMTI es importante que continúe a una escala comercial junto con programas de repoblamiento de erizos y pepinos de mar. Todo esto debiera ir acompañado de experimentación de organismos de importancia acuícola con su relación con pepinos de mar. El proyecto URCHINOMICS debiera ser aplicado en varios lugares a lo largo de la costa este del Pacífico (Fig. 11).

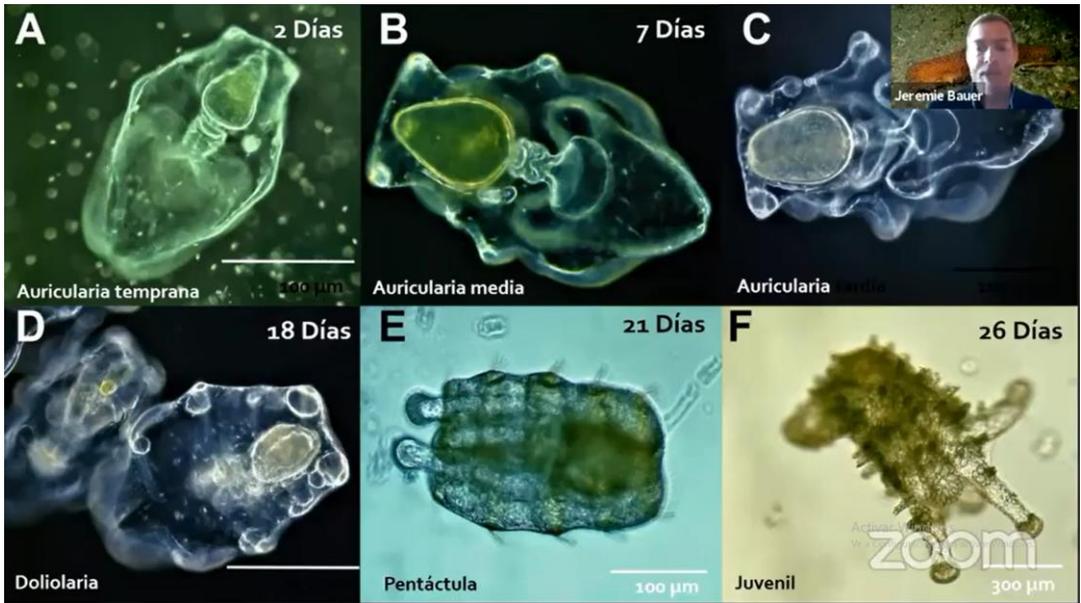
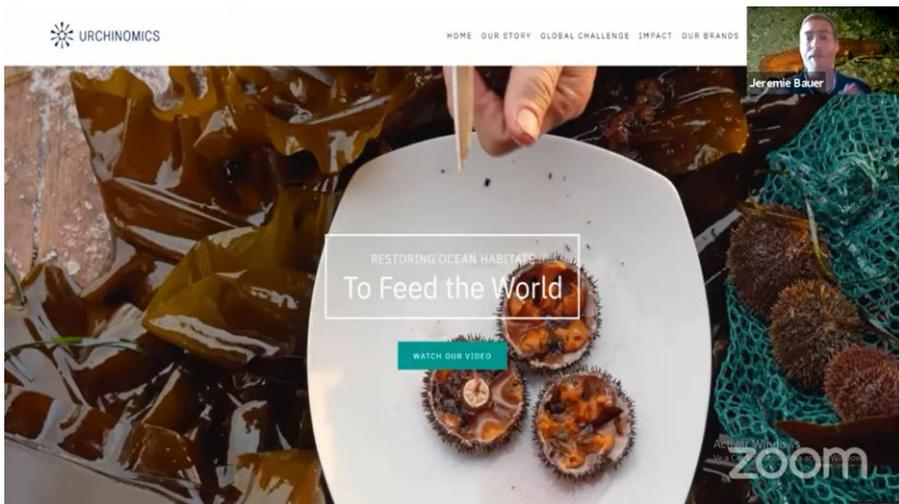


Figura 10. A-E) Desarrollo larvario y F) juvenil del pepino de mar comercial *Apostichopus parvimensis*



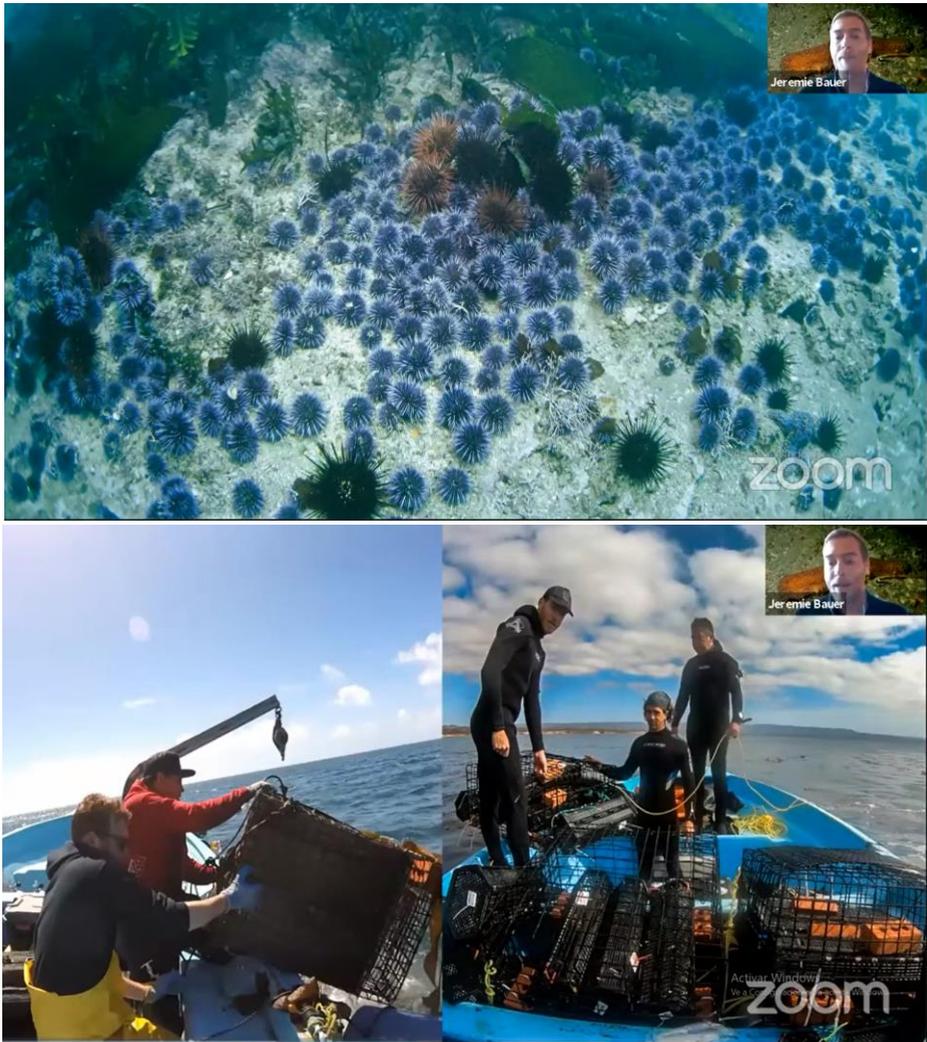


Figura 11. Proyecto innovador pesquero acuícola URCHINOMICS para siembra y repoblación de erizos de mar y pepinos de mar de interés comercial.

El propósito es lograr la diversificación de la matriz productiva marina con especies locales nativas (abulón rojo, pepinos de mar), a través de una acuicultura de repoblamiento y de la acuicultura multitrofica integral, AMTI. Donde el abulón rojo, *Haliotis rufescens* (organismo herbívoro) es alimentado con macroalgas silvestres (o cultivadas) y los desechos del abulón son utilizados por el pepino de mar, *Apostichopus parvimensis* (organismo detritívoro). En Isla Natividad, BC se realizaron dos experimentos multitroficos para evaluar diferentes densidades de cultivo.

El experimento 1, consistió en tres tratamientos: 1) Tratamiento-1 Control (= abulón sin pepinos de mar), Tratamiento-2 Alta Densidad (= por cada gramo de abulón un gramo de pepino de mar, 1:1 g) y Tratamiento-3 Densidad Media (= por cada dos gramos de abulón un gramo de pepino de mar, 2:1 g). El resultado indicó que en el tratamiento de densidad media el abulón creció mejor que el control (Fig. 12).



Figura 12. Experimento 1 de mesocosmo del abulón rojo (*Haliotis rufescens*) y pepino de mar (*Apostichopus parvimensis*) en diferentes densidades de cultivo y actividad de asimilación de la materia orgánica por los pepinos de mar en el fondo de los tanques de cultivo

El experimento 2, consistió en un estudio de mesocosmo del abulón rojo *H. rufescens* y del pepino de mar *A. parvimensis*. Se probaron tres tratamientos de densidades, Tratamiento-1 Control (= abulón sin pepino de mar), Tratamiento-2 Densidad Media (= por cada dos gramos de abulón un gramo de pepino de mar, 2:1 g) y Tratamiento-3 Baja Densidad (= por cada cuatro gramos de abulón un gramo de pepino de mar, 4:1 g). El resultado indicó que en el tratamiento de densidad media, el abulón creció mejor que el control (Fig. 13).

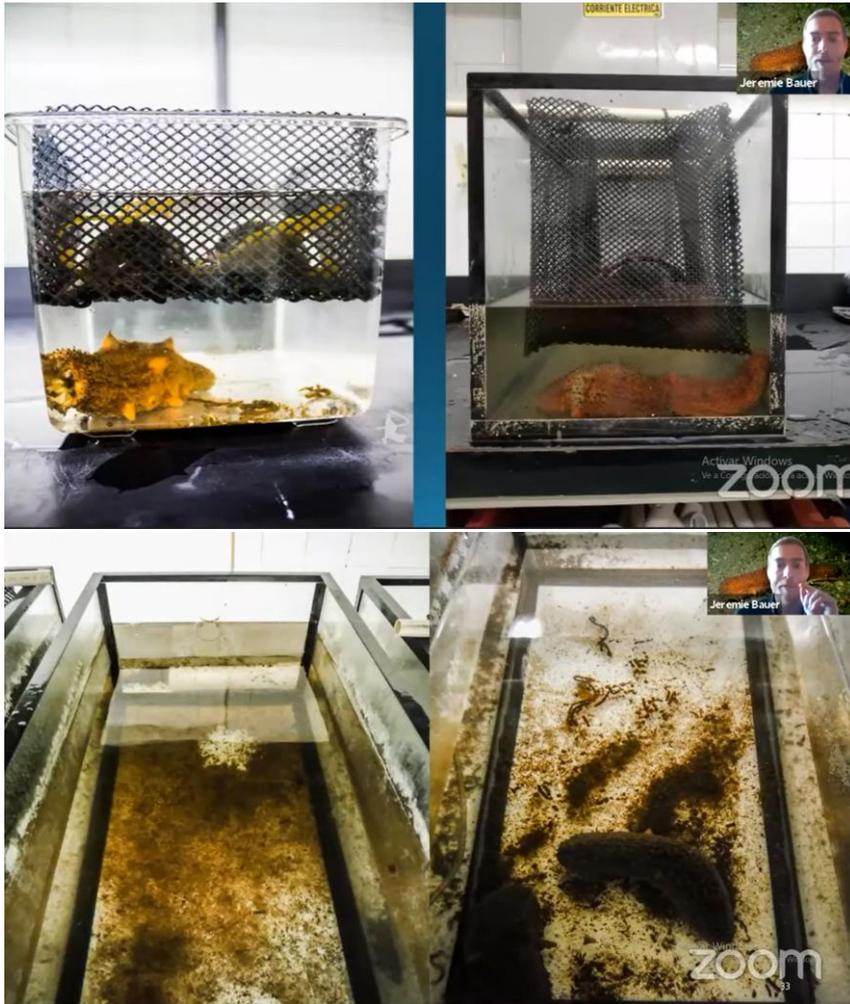


Figura 13. Experimento 2 de mesocosmo del abulón rojo (*Haliotis rufescens*) y pepino de mar (*Apostichopus parvimensis*) en diferentes densidades de cultivo y actividad de asimilación de la materia orgánica por los pepinos de mar en el fondo de los tanques de cultivo.



Cultivo de erizo rojo *Loxechinus albus* Avances en la última década y proyecciones



Dr. Juan Manuel Estrada
Actual Windows
mestrada@unab.cl

Cultivo del erizo de mar rojo *Loxechinus albus*. Avances en la última década y proyecciones

Juan Manuel Estrada Arias

¿Por qué el erizo rojo es importante?

El erizo rojo *Loxechinus albus* es uno de los recursos marinos bentónicos más importantes de Chile (tanto en valor de exportación como en volúmenes de desembarque a escala global). Su extracción se lleva a cabo exclusivamente por pescadores artesanales. Su extracción por las comunidades costeras del Pacífico sur oriental se puede datar hasta 10 milenios atrás. A nivel global el erizo rojo es la especie más explotada. El máximo desembarque registrado correspondió a 60 166 toneladas en 2002 y desde entonces los desembarques han descendido a un promedio de 30 000 ton anuales. Su precio en Japón puede alcanzar hasta US\$ 35 por kilogramo de lenguas frescas. Es muy importante para estudios de fertilización, embriogénesis y biología del desarrollo.

Importancia del erizo rojo para áreas de manejo y acuicultura

En Chile, de las 827 Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), 19,8 % tienen incorporado el erizo como recurso principal. El Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SENARPESCA) indicó que el 44 % de las áreas de manejo de la región de Valparaíso tienen al erizo de mar rojo *L. albus* como un recurso principal. En 2018, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) declaró que en la región de Valparaíso existen 42 áreas de manejo de 19 organizaciones (superficie > 2 300 ha). Si bien existe una tecnología básica para el cultivo y producción de semillas de erizo de mar, existen también grandes oportunidades de mejora para optimizar y escalar la tecnología de

producción de semillas para beneficio de estas organizaciones de pesca. Esto debiera ir acompañado del desarrollo de métodos de engorda intensivos que optimicen uso de espacio y crecimiento de los ejemplares. El Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ) tiene dos proyectos I+D para el erizo de mar rojo *L. albus* (Fig. 14).



Figura 14. El Centro de Investigación Marina Quintay (CIMARQ) y la acuicultura del erizo de mar rojo *Loxechinus albus*.

El primer caso, corresponde a las actividades de un proyecto titulado: “Caletas Rurales Innovando con Erizo”. Este proyecto permitió que se incrementara la competitividad de las caletas rurales y semi urbanas de la región de Valparaíso, a través de la transferencia tecnológica asociada a la producción de semillas de erizo para el desarrollo de la acuicultura a pequeña escala en las AMERBS. Las actividades fueron: 1) optimización de la producción de semillas del erizo de mar, a través del manejo de 19

consorcios micro bacterianos asociados a procesos de asentamiento de larvas competentes en los sistemas de cultivo, 2) optimización de las labores operacionales (*Husbandry*) asociadas a la producción de semilla de erizo rojo, a través del análisis detallado de cada una de las etapas y el ajuste del proceso productivo. Entre los principales resultados de este proyecto tenemos: i. Perfil general de pescadores artesanales de caletas rurales; ii. Información del proyecto difundido a los beneficiarios (socios de sindicatos); iii. Monitores comprometidos a participar en proyecto, estrategia se sustenta a través del proyecto; iv. Pescadores de 12 caletas capacitados con metodologías de aprendizaje activo; v. Tecnología optimizada para la producción de semillas del erizo rojo *L. albus*; vi. Manual completo de cultivo de semillas de erizo (124 pp) que incluye póster desarrollo embrionario y larval; vii. Laboratorio nuevo adaptado para la captación de pescadores artesanales; viii. Nuevos proyectos para trabajo conjunto con organizaciones de pescadores artesanales. Todo esto hizo que se produjera el empaquetamiento tecnológico enfocado en 4 dimensiones (i. caracterización de los pescadores, ii. cultura organizacional, iii. vinculación con el medio, y iv. Área de Manejo y Trayectoria Pesquera) que constó del diseño de una unidad de cultivo con alta productividad de erizos (hasta 3 larvas por mililitro) dirigida a tres caletas de pescadores, a través de metodologías de aprendizaje activo vivencial, junto a la construcción de un manual con información de la tecnología de producción del erizo de mar rojo *L. albus* y el uso de guías de aprendizaje relacionadas con la tecnología de producción de semillas (Figs. 15, 16).

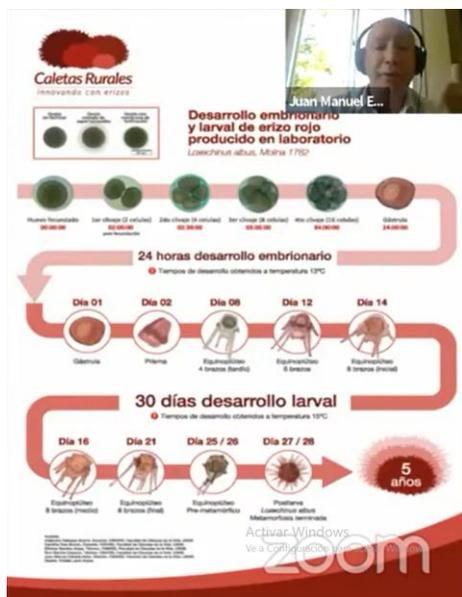


Figura 15. Guía de aprendizaje para explicar a pescadores de cooperativas de pesca de modo fácil, didáctico y técnico el desarrollo del cultivo del erizo de mar rojo *Loxechinus albus* en cautiverio.



Manual para la producción de semillas de erizo rojo

2ª Edición



Esta iniciativa ha sido financiada con aportes del Fondo de Innovación para la competitividad del Gobierno Regional de Valparaíso año 2016. (BIP 30480917-0)



Siembra de gástrulas

Una vez terminada la incubación de los huevos, diferenciamos el embrión de desarrollo conocido como gástrula.

La siembra debe realizarse solamente con las gástrulas viables.



Módulo 1 Inducción al desove e incubación



Este módulo ha sido financiado con aportes del Fondo de Innovación para la competitividad del Gobierno Regional de Valparaíso año 2016. BIP 30480917-0

Inducción al desove	Fertilización de gametos	Desarrollo embrionario
<p>La inducción al desove (liberación de gametos femeninos y masculinos) se realiza experimentando con el estímulo de potasio a 0.5M en la membrana peritrofal del erizo mediante una siringa estéril.</p> <p>KCl 0.5M</p>	<p>La fertilización de los gametos se realiza manteniendo una proporción de 1 sector: 33-35 espermatozoides.</p> <p>1 : 10-20</p>	<p>Nuevo fecundado 00:00:00</p>
		<p>1er día (2 células) post fecundación 02:00:00</p>
		<p>3do día (8 células) 02:30:00</p>
<p>Una vez concluida la fertilización, los huevos son incubados durante 24 horas.</p>		<p>5er día (16 células) 03:00:00</p>
<p>Una vez concluida la fertilización, los huevos son incubados durante 24 horas.</p>		<p>7to día (32 células) 04:00:00</p>
<p>Una vez concluida la fertilización, los huevos son incubados durante 24 horas.</p>		<p>9to día 24:00:00</p>
<p>E F M A M I J A S O N D</p> <p>El período de desove en la zona rural de Chile y sus alrededores.</p>	<p>24hrs</p>	<p>El desarrollo embrionario de la vida comienza en el día 00:00:00 y continúa hasta el día 24:00:00.</p>



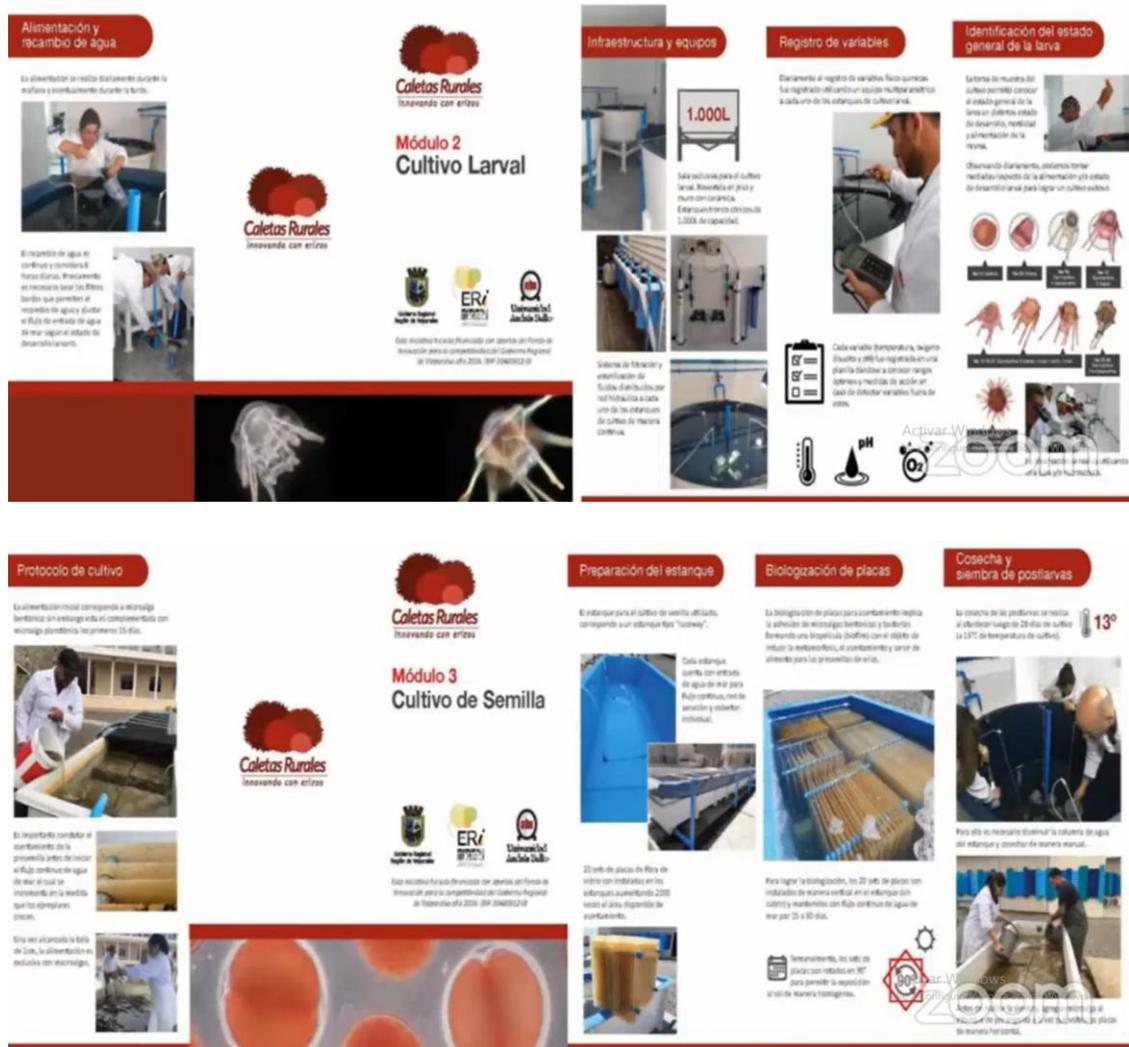
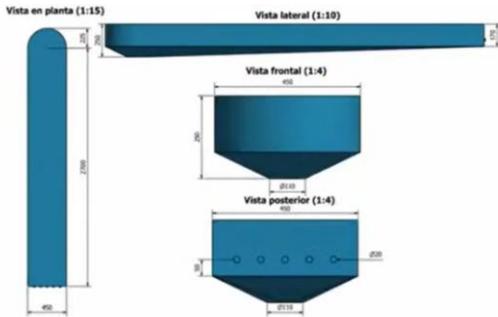


Figura 16. Manual de producción de semillas del erizo de mar rojo *Loxechinus albus* en cautiverio. Módulo I: Inducción al desove e incubación; Módulo II: Cultivo larval; Módulo III: Cultivo de semillas.

El segundo proyecto correspondió al desarrollo de una unidad de engorda intensiva de erizo de mar. Cuyo objetivo general fue diseñar una unidad de engorda intensiva del erizo rojo en tierra, que permita optimizar su crecimiento y rendimiento acortando el periodo de engorda a tamaño comercial. Los objetivos específicos fueron: 1) establecer las condiciones de diseño de un sistema de cultivo intensivo que permita mejorar el crecimiento y el rendimiento del erizo rojo en la etapa de engorda y 2) diseñar

un sistema y metodología de cultivo intensivo en tierra que mejora el crecimiento y el rendimiento del erizo rojo en la etapa de engorda. Pese a que este proyecto no pudo ser ejecutado adecuadamente por razones de la pandemia del Covid-19, pero sí se alcanzaron a realizar experimentos que evaluaron: 1) efecto de la densidad de cultivo en crecimiento y supervivencia de juveniles del erizo rojo y 2) efecto de la profundidad del sistema de cultivo (columna de agua del sistema) en la supervivencia y crecimiento de juveniles del erizo rojo. El experimento 1 consistió en tres tratamientos de densidad de cultivo (T-1: 91 erizos; T-2: 181 erizos; T-3: 271 erizos) en función del área del tanque cubierta por los erizos de mar. Cada tratamiento en 9 cajas (3 erizos por caja). El total de organismos utilizados fue 1629 erizos de mar. La talla inicial fue $9,81 \pm 1,37$ mm. Hubo una clara relación entre la densidad del cultivo con la supervivencia y crecimiento de los organismos. El T-1 obtuvo la mayor supervivencia (98,5%) y la mayor talla promedio y mayor tasa de crecimiento mensual. Estos resultados sugieren que existe una densidad máxima para *L. albus* en tallas entre 10 y 25 mm de diámetro de testa, entre 50 y 60 % de cobertura. El experimento 2 utilizó un total de 148 erizos de talla inicial entre 43,5 y 50,3 mm de diámetro de testa y peso entre 31,1 y 55,8 g. Se utilizaron dos estanques tipo batea mantenidos a diferente profundidad y tasa de recambio hidráulico. Los tratamientos fueron: T-1: 21 recambios de agua por hora en una columna de agua de 3 cm de profundidad y T-2: 5 recambios de agua por hora en una columna de agua de 12 cm de profundidad. La densidad inicial de 15% de ocupación del área disponible en cada estanque. Se determinó que la mayor supervivencia fue mayor en bateas de menor profundidad de columna de agua, pero no hubo diferencias significativas en el crecimiento de los erizos. En general, el flujo de agua favorece una correcta homogenización y recambio de agua. Se concluye que el uso de subunidades de cultivo de erizos pudiera ralentizar el perfil de velocidad del flujo del agua en los sistemas de cultivo afectando su crecimiento y supervivencia de los erizos. Esto es clave para el diseño de estanques con la hidráulica apropiada para el desempeño y comportamiento de la especie cultivada en altas densidades que pudieran implicar importantes costos de producción (Fig. 17).



Fabricación prototipo de baja profundidad para cultivo de erizo en tierra

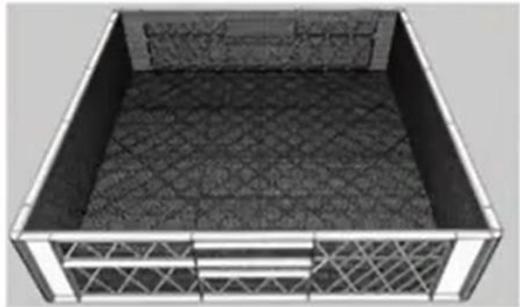
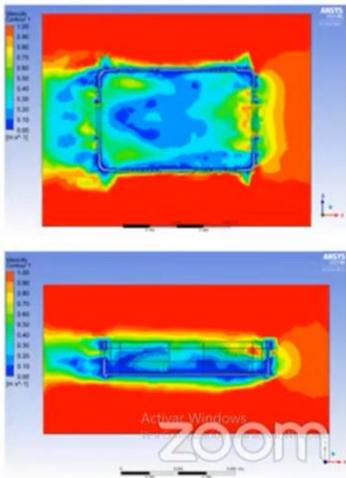


Figura 17. Experimento para medir efecto del flujo y circulación del agua en el tanque para fines de cultivo del erizo de mar *Loxechinus albus*.

7-12 febrero 2021  X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y
Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad

Sesión 7. Cultivo de equinodermos
Jueves, 11 de febrero



Luis Felaco

Acuicultura sostenible de holotúridos del Caribe

Experiencias en cultivos multitróficos y a escala piloto



Dr. Luis Felaco
CINVESTAV / PANASEA



Acuicultura sostenible de holotúridos del Caribe: experiencias en cultivos multitróficos y a escala piloto

Luis Felaco

Los pepinos de mar y su potencial acuícola en el caribe

La acuicultura ha incrementado su producción anual a nivel global con organismos cultivados de alimentación vía exógena (necesitan ser cultivados y alimentados con pienso, por ejemplo: peces) y extractivos (cultivados pero que utilizan y extraen alimento del medio donde se cultivan). En este segundo grupo se encuentran los bivalvos, gasterópodos, holotúridos, erizos, macroalgas y varios otros invertebrados. En cambio, una acuicultura fundamentada en cultivos vía exógena tiene impacto negativo en el ambiente. Por ello, se ha impulsado la acuicultura multitrófica integrada – AMI (Fig. 18). Donde la excreción de los organismos se traduce en recurso utilizado por los organismos extractivos que lo utilizan para mantenerse y crecer.

La acuicultura en el Caribe está poco desarrollada por desventajas (limitación de mano de obra calificada y capacitada, inseguridad jurídica, inestabilidad de servicios básicos: agua, electricidad, baja inversión del sector privado). Sin embargo, existen varios aspectos ventajosos que hacer del Caribe una región prometedora porque existe la presencia abundante de especies marinas autóctonas con valor comercial, ambientes saludables y clima estable, poca competencia con otras empresas con cambio de paradigma hacia la diversificación.



Figura 18. Representación esquemática del modelo de Acuicultura Multitrófica Integral (AMI) para proyectos de maricultura de equinodermos en mar abierto en Latinoamérica.

Experiencias en cultivos multitróficos y a escala piloto

Sustrato de arena

Estudio realizado con el pepino de mar comercial *Isostichopus badionotus* en el Caribe mexicano demostró que es necesario incluir arena en la dieta (producción de excretas enriquecidas de nutrientes durante la actividad nocturna) para mantenimiento de adultos reproductores (para ganancia de peso y producción de gónadas) en cautiverio. Además, es clave para los sistemas de Acuicultura Multitrófica Integrado porque hay que considerar el tipo y la distancia del sustrato en contacto con el sistema de jaulas flotantes suspendidas.

Densidad y alimentación de juveniles

Se determinó que la mejor densidad de cultivo en cautiverio es de 20 individuos por metro cuadrado (o cerca de 400 g por metro cuadrado, 5 – 10 g). La tasa de alimentación entre 50 y 70% del peso por semana más que eso las condiciones del sedimento se desmejoran mucho y el crecimiento se vería afectado.

AMIs (algas – peces – pepino de mar)

Mediante el diseño de un experimento se utilizaron a la alga roja *Solieria filiformis*, la corvina roja *Scianus ocellatus* y el pepino de mar *Isostichopus badionotus*. Hubo mayor concentración de nutrientes durante el día, horas de alimentación de *S. ocellatus*. Se demostró que la integración es viable, pero necesita mejorarse la calidad del sedimento donde no proliferen bacterias, hongos y copépodos en los cultivos. El crecimiento de algas fue superior cuando estuvieron integradas en distintos niveles tróficos. *S. filiformis* también crece con bajas cantidades de nutrientes (Fig. 19).



Figura 19. Diseño experimental para Acuicultura Multitrófica Integral (AMI) utilizando algas marinas, peces y pepinos de mar.

Diversificación y aprendizaje

PANASEA es la única empresa de cultivo de pepinos de mar en el Caribe que ha logrado concretar varios procesos validados acompañados con automatización y nuevos desarrollos tecnológicos que ayudan al rendimiento de la acuicultura de equinodermos (Fig. 20). No obstante, se ha considerado que el recurso agua es crítico para realizar una acuicultura sostenible, al igual que la disponibilidad de reproductores de stocks naturales no afectados por pesquerías y la producción de alimento vivo. Todo esto debiera realizarse en un ambiente de trabajo óptimo (relaciones personales y profesionalismo – visión compartida). Se han logrado evaluar algunas especies de pepinos de mar, *I. badionotus*, *Holothuria floridana*, *H. sanctori*, *H. mexicana*, *H. grisea*, *Astichopus multifidus* y el erizo de mar *Lyttechinis variegatus*. De estas, sólo tres han sido cultivadas para fines de AMIs.



Figura 20. Nuevos desarrollos tecnológicos para la acuicultura de pepinos de mar en el Caribe.

7-12 febrero 2021  X Firma 2021 online X Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura
Sinergia entre ciencia e industria para el desarrollo y la sostenibilidad

Sesión 7. Cultivo de equinodermos
Jueves, 11 de febrero

La maricultura del pepino de mar *Isostichopus fuscus*, una potencial solución para mejorar la resiliencia y capacidad adaptativa de la Reserva Marina de Galápagos ante el cambio climático

Mauricio Castrejón, PhD
University of Waterloo

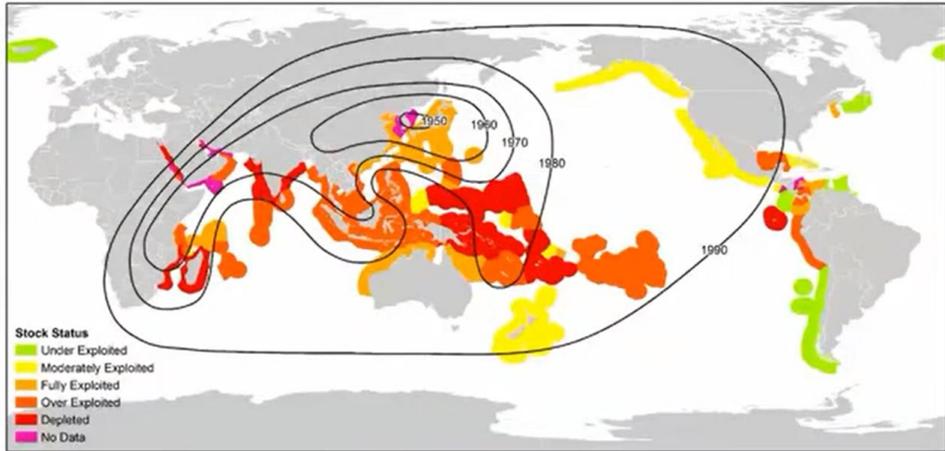


La maricultura del pepino de mar *Isostichopus fuscus* una potencial solución para mejorar la resiliencia y capacidad adaptativa de la Reserva Marina de Galápagos ante el cambio climático

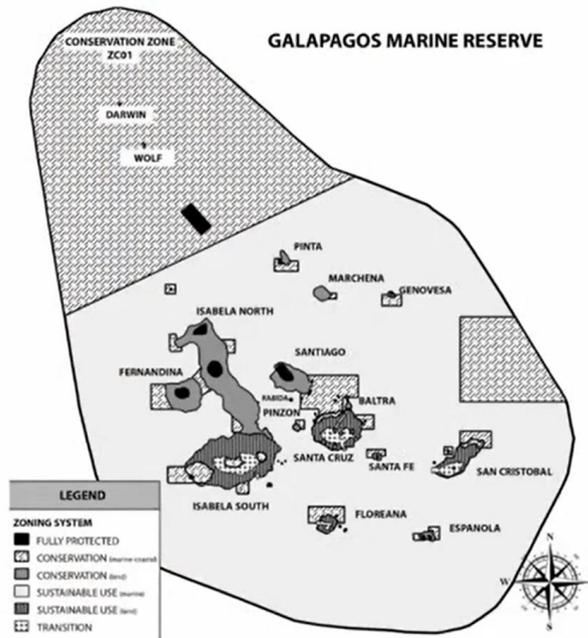
Mauricio Castrejón

Globalización de mercados y la población del pepino de mar

La Reserva Marina de Galápagos (RMG) hoy se enfrenta a marcados desafíos para alcanzar la mejora de la resiliencia y capacidad de mitigar amenazas externas a la zonificación de este frágil ecosistema insular. Para resolver esta problemática un grupo interdisciplinario de científicos liderados por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Universidad de Las Américas (UDLA), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), en pro de ayudar al gobierno del Ecuador se elaboró una propuesta técnica para el Fondo Verde Climático. Uno de los objetivos de esta propuesta es mejorar la resiliencia y capacidad adaptativa de las pesquerías de especies protegidas de pequeña escala de Galápagos frente al cambio climático. Esta propuesta se fundamenta en tres medidas de adaptación: 1) prevención y mitigación de la pesca no regulada, no declarada e ilegal, sobrepesca mediante co-manejo adaptativo de la zonificación marina de la RMG; 2) restaurar función ecológica de poblaciones sobreexplotadas y diversificar medio de vida mediante enfoque de pesca y acuicultura en pequeña escala climáticamente inteligente y 3) mejoramiento de cadenas de valor para productos del mar climáticamente inteligentes, potenciadas con vínculos a nuevos mercados (Fig. 21).



Anderson et al. (2011); Purcell et al. (2013); Bennett y Basurto (2018)



Burbano et al. (2020)

Figura 21. Globalización de mercados: agotamiento serial de las poblaciones del pepino de mar *Isostichopus fuscus* y sus consecuencias en la Reserva Marina de Galápagos – Ecuador.

Perspectiva de acuicultura de pepinos de mar en la RMG

Respecto al tema de la acuicultura la *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) reconoce en su reporte *Aquaculture and Marine Protected Areas: Exploring Potential Opportunities and Synergies* que la acuicultura de pepinos de mar es una actividad de bajo impacto, compatible con los objetivos de las Áreas Marinas Protegidas (AMP) de categoría V y VI. La RMG es una AMP de categoría VI (MPA de uso múltiple) como la RMG (Fig. 22).



Aquaculture and Marine Protected Areas:

Exploring Potential Opportunities and Synergies

- El cultivo de pepinos de mar es una actividad de bajo impacto, compatible con los objetivos de las AMP de Categoría V y VI.
- La Reserva Marina de Galápagos es una AMP de Categoría VI (MPA de uso múltiple)

Protected Area Category and International Name	Management Objectives
Ia – Strict Nature Reserve	Managed mainly for science
Ib – Wilderness Area	Managed mainly to protect wilderness qualities
II – National Park	Managed mainly for ecosystem protection and recreation
III – Natural Monument	Managed mainly for conservation of specific natural/cultural features
IV – Habitat/ Species Management Area	Managed mainly for conservation through management intervention
V – Protected Landscape/Seascape	Managed mainly for landscape/seascape conservation and recreation
VI – Managed Resource Protected Area	Managed mainly the sustainable use of natural ecosystem

Categories	Ia	Ib	II	III	IV	V	VI
High density fish cage culture	N	N	N	N	*	*	*
High density on-land close system fish culture	N	N	N	N	*	*	Y
Medium density on-land circulating system fish pond culture	N	N	N	N	*	Y	Y
High density shell fish culture (table, long-lines)	N	N	N	N	*	*	Y
Low density pond /lagoon fish culture	N	N	N	N	*	Y	Y
High density seaweed culture	N	N	N	N	*	*	Y
Low density shellfish culture	N	N	N	N	*	Y	Y
Medium density invertebrate (e.g. sea cucumber) culture	N	N	N	N	*	Y	Y
Integrated Multi-trophic culture	N	N	N	N	*	Y	Y
Restoration purpose aquaculture *	N	N	N	N	*	Y	Y

Figura 22. Reporte de la *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) reconoce que la acuicultura del pepino de mar en la RMG puede tolerar y dar apertura a la acuicultura de bajo impacto, compatible con los objetivos de las Áreas Marinas Protegidas (AMP) de categoría V y VI.

Por su parte, la acuicultura climáticamente inteligente presenta grandes oportunidades, entre ellas: 1) Recuperación de las poblaciones del pepino de mar *I. fuscus* mediante repoblamiento; 2) Mitigación de acidificación del mar; 3) Proveer fuente alterna de ingreso a los pescadores artesanales; 4) Biotecnología azul mediante el desarrollo de productos con perfil alimenticio, farmacéutico y nutracéutico, y 5) Promover el manejo pesquero basado en derecho y acceso exclusivo de reservas pesqueras donde los pescadores se encarguen del cuidado de sus recursos cultivados en áreas de concesión (Fig. 23).

Es pertinente explorar la maricultura del pepino de mar *Isostichopus fuscus*, pero existen algunos riesgos y obstáculos que habrían que atender primero: i. Percepción negativa sobre efectos de la acuicultura en AMPs de uso múltiple; ii. Desarrollo insostenible de la maricultura (experiencias previas

en el continente); iii. Guía limitada sobre el desarrollo de maricultura de pepino de mar en AMPs; iv. Pepinos de mar son una especie poco carismática y v. Existe temor por el resurgimiento de conflictos de manejo. Sin embargo, para eliminar este tipo de riesgos y obstáculos, hay que implementar este tipo de actividades. Por ello, habrá que diseñar un proyecto piloto participativo de maricultura experimental de pepino de mar en pequeña escala en la Reserva con diversos actores involucrados (pescadores y tomadores de decisión, entre otros), sobre todo con asistencia técnica especializada de largo plazo (se debe asegurar una política de estado para que se mantenga su efectividad en el tiempo), cuyos objetivos estarían definidos y acordados siguiendo los lineamientos de FAO, IUCN y *Aquaculture Stewardship Council*.



Figura 23. Acuicultura del pepino de mar en Galápagos sería climáticamente inteligente: oportunidades y retos para recuperación de poblaciones disminuidas y agotadas por la gestión pesquera. Se promovería el manejo pesquero basado en derecho y acceso exclusivo de reservas pesqueras donde los pescadores se encarguen del cuidado de sus recursos cultivados en áreas de concesión.

Para que el proyecto sea exitoso, desde un inicio se deberá implementar un adecuado monitoreo, control y vigilancia en el marco legal en función de resultados del proyecto piloto. Si el proyecto es exitoso, las lecciones aprendidas del proyecto servirán para adecuar la Ley Especial de Galápagos y el Reglamento de Pesca para promover la acuicultura de pepinos de mar en la Reserva (Figs. 23, 24).

Entre las conclusiones tenemos: *i.* se requiere de un nuevo enfoque de manejo para recuperar la pesquería de pepinos de mar de la RMG; *ii.* La maricultura de pepinos de mar representa una oportunidad para restaurar la abundancia y rol ecológico de esta especie en AMPs de uso múltiple y resto de costas de Latinoamérica; *iii.* El cultivo de pepinos de mar es compatible con los objetivos de AMP de uso múltiple por ser de bajo impacto ambiental; *iv.* Existen riesgos y obstáculos para el desarrollo de la maricultura en AMP de uso múltiple, pero también existen grandes oportunidades; *v.* El punto clave no es prohibir la acuicultura en AMPs de uso múltiple sino las malas prácticas de acuicultura; *vi.* La acuicultura debe ser sostenible, socialmente responsable, adecuada al contexto local estar alineada a los objetivos de manejo de la AMP de uso múltiple; y *vii.* Se requiere de espacios de dialogo y debate donde se analicen las oportunidades y energías entre la acuicultura y las AMP (Fig. 24).

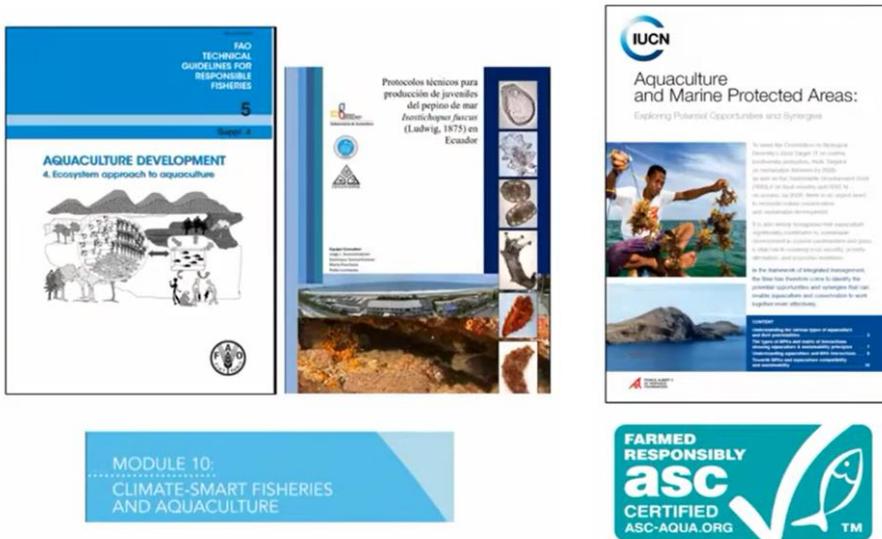


Figura 24. Pesquería del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en la Reserva Marina de Galápagos estaría basada en una acuicultura ecosistemica, sostenible y saludable a pequeña escala para repoblamiento.





Paul Baltazar
Universidad Científica del Sur,
Perú



Ricardo Pereira
Universidad Estatal de
Maringá, Brasil



Cristian Bulboa
Universidad Andrés Bello,
Chile



Alejandra Torres
Universidad del Mar,
Oaxaca, México



Héctor Flores
Universidad Católica
del Norte, Chile

Sesión 8 | Diversificación en la Acuicultura: relatoría

Diversification in Aquaculture: report

Paul M. Baltazar Guerrero¹, Christian Berger Cebrelli², Javier Ojeda³, Ricardo Pereira Ribeiro⁴, Alejandra Torres Ariño⁵, Cristian Bulboa Contador⁶, Héctor Ricardo Flores Gatica⁷

¹Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos, Universidad Científica del Sur, Perú

²Carrera de Ingeniería Acuícola, Universidad Científica del Sur, Perú

³Gerente de Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos de España (APROMAR), España

⁴Departamento de Ciencia Animal, Universidad Estadual de Maringá, Brasil

⁵Laboratorio de Biotecnología de Microalgas, Universidad del Mar, Oaxaca, México

⁶Departamento de Ecología y Biodiversidad, Facultad Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello, Chile.

⁷Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Centro AquaPacífico, Chile

 **Paul M. Baltazar Guerrero** () **E-mail: pbaltazar@cientifica.edu.pe**

RESUMEN | A través de seis ponencias se hace un análisis sobre la diversidad acuícola en Iberoamérica, se indica que es necesario redoblar los esfuerzos entre los diversos países para lograr una mayor diversificación de especies y que se requiere que los gobiernos se involucren en una serie de acciones para que las actividades sean sostenibles en el tiempo.

Palabras claves: Peces marinos, peces continentales, macroalgas, cianobacterias

ABSTRACT | Through six presentations an analysis of aquaculture diversity in Ibero-America is made, it is indicated that it is necessary to redouble efforts among the various countries to achieve a greater diversification of species and that governments are required to get involved in a series of actions so that the activities are sustainable over time.

Keywords: Marine fish, inland fish, macroalgae, cyanobacteria

Diversificación de la Acuicultura, una herramienta para la sostenibilidad

La conferencia inició resaltando la importancia de la acuicultura de España, que con una producción de 350 mil t. anuales y una oferta de 40 mil empleos, es la más importante de la Unión Europea (UE), y, asimismo, la que muestra una diversificación algo más amplia en las especies y productos obtenidos, y resaltándose que se debe continuar con esta línea. Ello, por cuanto la diversificación de la acuicultura (Fig. 1), tanto en España como en el resto del mundo, se ha tornado una imperiosa necesidad para su crecimiento sostenible, la reducción de riesgos, el acceso a nuevas oportunidades de desarrollo, y para contribuir a la resiliencia de los emprendimientos acuícolas y las comunidades que la practican, como una mejor opción de adaptación a escenarios futuros.

En este contexto, se abordó la necesidad de reimpulsar el crecimiento acuícola en la UE, el mismo que se ha visto afectado por varios factores, siendo esto consecuencia de la complejidad de los trámites para su acceso, la insuficiente información favorable hacia el público sobre ella y sus productos, dificultades en el uso de medicamentos autorizados, y por el contrario, las facilidades que se tienen para el acceso a productos similares importados.



Figura 1. La diversificación de la acuicultura como herramienta sostenible.

Si bien se reconoce que, en estas limitantes, la diversificación por sí sola no es una solución, sí es necesario abordarla para asegurar su éxito futuro, en sus aspectos de especies a cultivar, productos, paradigmas productivos y especialidades profesionales concurrentes. Pero, asimismo, considerando las condiciones de cada especie, productos derivados, condición regional, interés comercial, características de la tecnología a emplear y su factibilidad práctica y económica. En todos estos aspectos, el expositor señaló los detalles de mayor preponderancia y las opciones que vienen presentándose en el mundo a este respecto, como los Sistemas de Recirculación (RAS), la acuaponía, la acuicultura “offshore” y la llamada Multitrófica Integrada (IMTA).

Mención aparte, merece la importancia que en la diversificación de la acuicultura se tengan en cuenta los criterios de sostenibilidad ambiental, en particular impulsando a las especies autóctonas a cada ecosistema, el conocimiento de la huella ambiental de las mismas, sus eslabones tróficos y los marcos legales en que estas deban desarrollarse.

Finalmente, se dio paso a diversas participaciones de los asistentes a través de preguntas que permitieron aclarar algunos conceptos, enfatizándose en que cada opción debe ser adecuadamente evaluada según los casos particulares, en especial de los aspectos ambientales y biológicos, de las tecnologías, de los mercados y de los marcos regulatorios.

Diversificación de especies continentales en Iberoamérica

Se enfocó la importancia que los organismos especializados atribuyen a la acuicultura para atender las demandas alimenticias de la creciente población humana, en particular ante el agotamiento de los recursos pesqueros. Asimismo, en la dependencia que en muchos países del mundo tienen los pescados y mariscos, para la nutrición de sus habitantes. Por otra parte, se resalta el impacto de la acuicultura en el desarrollo y la oferta de empleo

La acuicultura en América Latina y el Caribe, ha crecido fundamentalmente a partir de la introducción de especies y sus tecnologías más usuales, en contraste con la abundante biodiversidad nativa. A este respecto, se mencionan las opciones de piscicultura continental más frecuentes a partir de especies locales, en especial en los ambientes tropicales y amazónicos, particularmente los Carácidos y los Pimelódidos.

Al revisarse el limitado crecimiento de la acuicultura en base a especies nativas, se reconocen como los aspectos de mayor freno a la falta de investigación y desarrollo, lo que conduce que se dispongan de escasos paquetes tecnológicos, poca oferta de alimentos enfocados a estas especies, escasez de avances en genética y en generación de bancos de reproductores, inestabilidad en la oferta en el volumen y presentaciones de los productos, y las diferentes costumbres y preferencias de consumo en las diversas áreas geográficas, principalmente.

Como soluciones a estas limitantes, se propone – para una efectiva y exitosa diversificación acuícola - la focalización en las especies nativas que resulten de mayor interés productivo y comercial, el decidido impulso al desarrollo de las tecnologías involucradas, incluyendo todas las fases de la domesticación y crianza, y el impulso a las buenas prácticas de acuicultura para asegurar la sostenibilidad de estos emprendimientos.



Figura 2. Diversificación de la acuicultura continental en Iberoamérica.

Cianobacterias: Diversificación y potencialidades

Resume la importancia de este grupo de organismos unicelulares con capacidad de realizar fotosíntesis oxigénica similar al de las microalgas eucariotas que en acuicultura han sido más empleadas, mientras que las cianobacterias por sí solas reúnen características evolutivas, formas de reproducción, modos diversos de nutrición, así como la capacidad de realizar procesos únicos como la fijación del nitrógeno, presentan pigmentos asociados a proteínas – ficobiliproteínas - que en conjunto con la clorofila *a*, transforman eficientemente la energía a partir de su capacidad de absorber diferentes longitudes de onda. Estos aspectos, así como su gran adaptabilidad y plasticidad fenotípica a muy diversos ambientes y algunos de ellos extremos, otorgan a las cianobacterias grandes oportunidades de aportar al desarrollo acuícola y biotecnológico con necesidad de diversificación (Fig. 3).

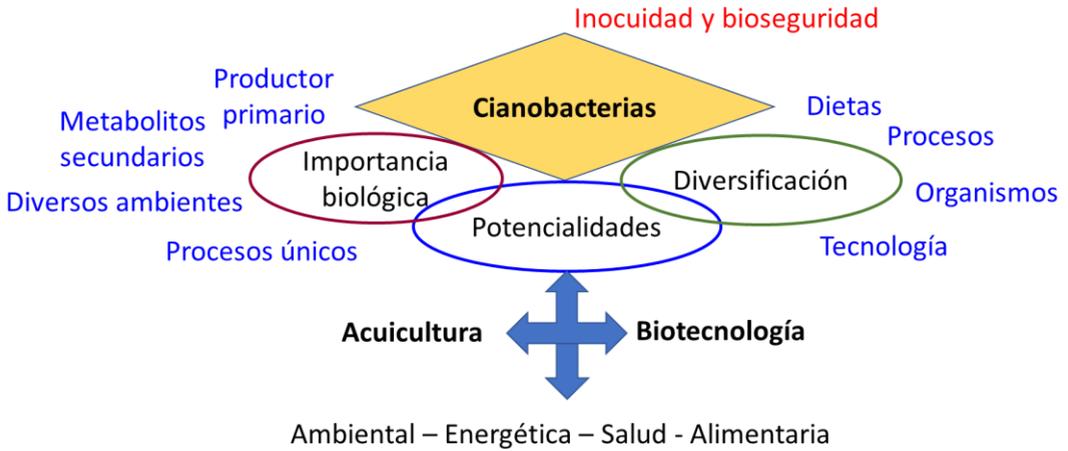


Figura 3. Papel de las cianobacterias, necesidad de diversificación y múltiples beneficios al ambiente y a la humanidad.

Parte de la diversificación en acuicultura es contar con organismos, dietas vivas, aditivos o piensos funcionales que suplan los requerimientos de los organismos que se cultivan, y mejor si además proveen un valor agregado. En su mayoría se han empleado un número restringido de microalgas, coincidiendo muchas de ellas en diferentes lugares por ser las más estudiadas y en las cuáles se han obtenido buenos resultados. Sin embargo, muchas de ellas no son especies nativas de los lugares y es por eso que se requieren especies que sean aisladas y cultivadas en los lugares donde se desarrollan los proyectos acuícolas, cierto que esto demanda tiempo, esfuerzo y costo. En cianobacterias, esto es aún más selectivo y son escasas especies las que se han empleado en acuicultura como alimento vivo, su importancia radica más como aditivo o pienso funcional. Por sí solas pueden conformar proyectos acuícolas y transferir su tecnología de cultivo a comunidades o bien conformar proyectos a gran escala con diversidad de usos potenciales.

En la revisión de sus potencialidades, producen una serie de metabolitos secundarios como fitohormonas, inhibidores de proteasas, antimicrobianos, sideróforos, antiproliferativos, compuestos antivirales, fotoprotectores, polisacáridos, entre otras cosas y hasta ciertas toxinas que destacan por su aplicación hacia las áreas ambiental, energética, alimentaria y de salud. Por otro lado, en las aplicaciones industriales como la de los plásticos dirigida a la cada vez más necesaria generación de energía limpia y los pigmentos naturales encaminados hacia pigmentación de peces de ornato o colorantes de textiles, para diagnóstico y fotoprotectores dirigidos a la cosmeceútica, entre otros más usos (Fig. 4).



Figura 4. Potencialidad de los usos de las cianobacterias.

Se presentaron algunas experiencias generadas donde se resalta la importancia de trabajar con cianobacterias. Por una parte, la obtención de cianobacterias (en su mayoría filamentosas) aisladas de ambientes marinos y en estanques de cultivo de camarón y en tracto digestivo de camarón, las cuales presentaron inhibición del crecimiento para especies que producen enfermedades en camarón como *Vibrio splendidus*, *V. alginolyticus* y *V. parahaemolyticus*, así como la bacteria Gram positiva *Bacillus subtilis* y Gram negativa *Escherichia coli*, cuya presencia puede deberse a un manejo inadecuado o mala calidad del agua pero por otro, el hecho de que estas cianobacterias estén presentes puedan actuar como probióticos. De igual forma, algunas cianobacterias tienen una función como antimicrobiano de especies de importancia nosocomial como *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*.

Otra aplicación importante en la generación y evaluación de cianobacterias es su alto contenido de polisacáridos encaminados para la generación de filtros, plásticos y como promotores de cicatrización de heridas y proliferación celular, lo que abre un campo en diversas industrias (Biomédica, farmacéutica, alimentaria y ambiental).

Del mismo modo, se resaltó la importancia ancestral y actual en la alimentación directa de diversas poblaciones de la Región Latinoamericana, con especies como *Nostoc commune* y *Arthrospira maxima* y *A. platensis* en América del Sur, México y África. Además el trabajo de investigación de universidades y de otras instancias, por un lado, la Universidad Científica del Sur en Perú y la Universidad del Mar en México, que buscan generar información y la tecnología de transferencia a comunidades con problemas de desnutrición y en el caso de *N. commune* ayudar a la recuperación en el ambiente natural debido a la sobreexplotación de sus ambientes naturales.

Como conclusión, es de remarcar el potencial que revisten las cianobacterias en la diversificación de la acuicultura del futuro y en usos diversos de la biotecnología, por su gran adaptabilidad, plasticidad,

adaptación a condiciones extremas de vida, su identificación es aún un reto y, es imprescindible asegurar su inocuidad e importante dar prioridad a especies nativas. Aun así, las posibilidades que se formulen, con base en ellas, son múltiples, de gran aplicación y de utilidad para la humanidad.

Diversificación del cultivo de macroalgas

La producción de macroalgas cultivadas marinas, está fuertemente concentrada en Asia (97%), mientras que, en nuestra Región Latinoamericana, la mayor producción proviene de Chile, pero fundamentalmente a partir de su recolección costera, lo que ocasiona impactos negativos en el ambiente marino. Asimismo, se genera muy poco valor agregado, siendo por ello que el retorno económico de esta actividad sea muy bajo, en especial frente al aporte que las macroalgas hacen al ecosistema a través de diversos servicios.

Sin embargo, en Chile esta acuicultura se viene consolidando – en especial con algas pardas - y muestra muchas oportunidades con éste y otros grupos. Por su lado, otros países de Sudamérica, también muestran avances con sus especies locales, como son los casos de Brasil y Perú, cuyas características tecnológicas son detalladas en la presentación. Se menciona el caso de la especie introducida *Kappaphycus alvarezii*, alga roja usada para la producción de carragenanos, la que ha sido introducida en Panamá, Colombia, Venezuela, México, Cuba y Ecuador.

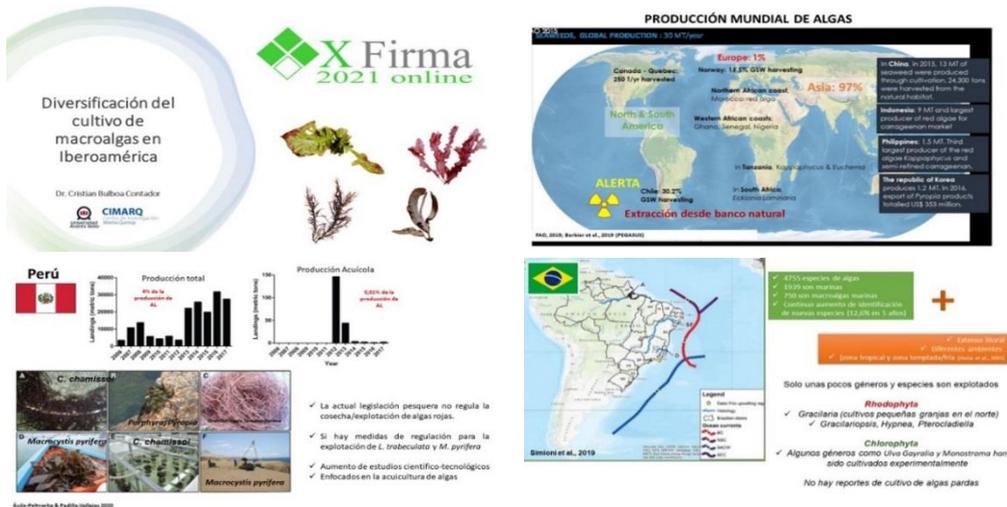


Figura 5. Diversidad de macroalgas en Iberoamérica.

Sobre las principales investigaciones en los países latinoamericanos, se menciona su orientación a resolver problemas reproductivos y tecnológicos del cultivo, tanto en ambientes marinos abiertos, como en instalaciones en tierra, siendo los objetivos principales la obtención de alimentos, productos para la

industria y los bio-combustibles. Sobre este particular, se señala la necesidad de mejorar las políticas de los gobiernos en el sentido de impulsar decididamente esta actividad, mejorando los aspectos regulatorios y fiscalizadores, así el reforzamiento de programas de investigación aplicada, la creación de bancos de semilla, el aseguramiento de la sostenibilidad en los procesos y en mantener la diversidad genética de los bancos naturales.

Diversificación de peces marinos en Iberoamérica

A partir de la revisión de las cifras de la acuicultura mundial, se determina la situación de la acuicultura de peces marinos. Específicamente, se hace referencia a las producciones en los distintos países de Latinoamérica (Fig. 6), la cual se muestra comparativamente muy baja frente a lo logrado en España, en cuanto a volúmenes productivos y en la diversidad de las especies y sus productos. Pero al mismo tiempo, permite visualizar la gran ventana de crecimiento para este grupo de especies, en particular en las vastas y diversas costas de la región Latinoamericana.

En el enfoque de los principales desafíos para el desarrollo diversificado de la acuicultura peces marinos dentro de dicha región, se menciona la necesidad de ajustar la gestión normativa y la capacitación de los funcionarios que operan en las diversas agencias gubernamentales, a fin de facilitar la comprensión y aplicación de sus oportunidades, de gran potencial en la generación de empleos y de valor, a través de la gestación de una amplia cadena productiva, obteniendo productos para el consumo interno y para la exportación. Esta acción, debe además enfocarse en mejorar la imagen pública de la actividad acuícola a todo nivel, tanto en la comunidad en su conjunto, como entre los consumidores.

Por su lado, se resalta la importancia de fomentar la generación, ejecución de programas de ciencia y tecnología aplicables a la diversificación productiva, la que debe estar debidamente focalizada y dirigirse a programas de largo aliento, más que a proyectos de investigación de corto plazo. En este contexto, la valoración del aporte del sector privado es imprescindible, así como la evaluación de alianzas con el sector académico, los centros de investigación y las asociaciones de pescadores, cada vez más interesadas e involucradas en la acuicultura.

No escapa la mención a los enfoques prioritarios de la tecnología productiva, en sus distintos aspectos, y en atención a las variables ambientales de ocurrencia actual y futura. Asimismo, a la capacitación profesional y técnica, la que debe mantener gran atención y adaptación a las nuevas tendencias productivas y a las preferencias de los consumidores.

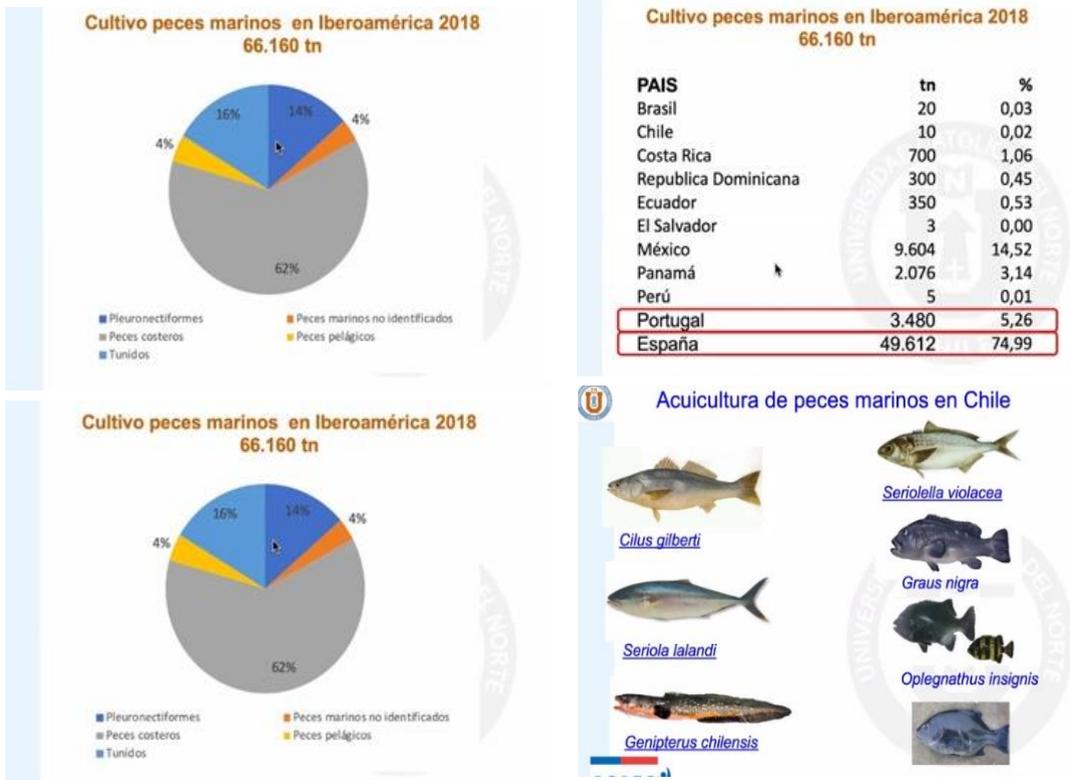


Figura 6. Diversidad peces marinos en Iberoamérica.

CONCLUSIONES

En la sesión de **Diversificación de la Acuicultura en Iberoamérica**, las distintas exposiciones señalaron los diversos estados situacionales de la acuicultura de peces dulceacuícolas, peces marinos, macroalgas y cianobacterias. Se resalta la concentración existente en pocas especies, y en particular en América del sur, Central y del Caribe, y en que actualmente, la acuicultura está basada mayormente en especies alóctonas. En todos los casos se reconoce la apremiante necesidad de diversificar la acuicultura iberoamericana con enfoques sostenibles, a partir de sus especies nativas, por requerimientos ambientales, tecnológicos y comerciales, contribuyendo así, igualmente, a su competitividad. Para estos efectos, se señalaron los puntos más críticos y problemas a abordar, y las acciones de mayor trascendencia a adoptar, tanto por las instituciones de gobernanza, los centros de investigación y la academia, así como por los productores privados de todo nivel y los organismos de cooperación.

RECOMENDACIONES

Tanto los expositores como los participantes en esta sesión técnica, expresaron que, en atención a la importancia de la diversificación de la acuicultura, es necesario redoblar los esfuerzos en las acciones que le permitan avanzar en el más corto plazo y de manera ambiental y socialmente sostenible, ordenada y efectiva. A este respecto, sugirieron la realización de más acciones coordinadas en la Región Latinoamericana, y en la conveniencia de solicitar auspicios a los organismos de cooperación correspondientes, a fin de realizar un evento que se ocupe específicamente de este tema, y de la manera más amplia y participativa.



Figura 7. Ponentes de la mesa de diversificación en la acuicultura.





Marcos De Donato
Tecnológico de Monterrey,
México



José M. Yáñez
Universidad de Chile-FCVP,
Chile



Ricardo Pérez
Centro de Invest. Biológicas del
Noroeste, S.C., México



Juan M. Afonso
Universidad de Las Palmas de Gran
Canaria (ULPGC), España



Raul Llera Herrera
Universidad Nacional
Autónoma de México

Sesión 9 | Más allá de la mejora genética

Beyond genetic improvement

Marcos De Donato¹, José M. Yáñez², Ricardo Pérez-Enríquez³, Juan Manuel Alfonso⁴, Raúl Llera-Herrera⁵

¹Unidad de Genómica, Centro de Bioingenierías, Tecnológico de Monterrey, Campus Querétaro, México.

²Aquaculture Genomics Lab, Faculty of Veterinary and Animal Sciences, Universidad de Chile, Santiago, Chile. ³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.

⁴Instituto Universitario de Acuicultura Sostenible y Ecosistemas Marinos (IU-ECOQUA), Grupo de Investigación en Acuicultura (GIA), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria, España.

⁵Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica de Mazatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sinaloa, México.

✉ **Marcos De Donato** () E-mail: marcosdedonato@yahoo.com

RESUMEN | Muchas de las especies utilizadas en acuicultura han sido domesticadas recientemente, en comparación con la mayoría de las especies de producción terrestre, por lo que tienen un gran potencial para la mejora genética. La mayoría de las especies acuícolas tienen alta prolificidad y tiempo de generación corto, pudiéndose generar una tasa de mejora genética rápida en el corto plazo. En los últimos años se han desarrollado tecnologías genómicas, reproductivas y de medición de los fenotipos en estas especies y se han venido aplicando en la mejora de características comercialmente importantes y el manejo reproductivo, lo que permitirá mejorar la eficiencia, la sostenibilidad, la calidad del producto y la rentabilidad de la producción acuícola en apoyo del sector comercial y en beneficio de los consumidores. El viernes 12 de febrero de 2021, el X FIRMA online presentó una sesión de discusión sobre las nuevas tecnologías genéticas aplicadas a la caracterización de poblaciones, detección de genes de resistencia a enfermedades, comprensión de las bases genéticas de los organismos acuáticos que se relacionan con la eficiencia en producción y la implementación de nuevos esquemas de mejora genética, especialmente enfocados en peces, moluscos y camarones.

Palabras clave: Mejora genética, SNPs, genómica, transcriptómica, selección. GWAS.

ABSTRACT | Many of the species used in aquaculture have recently been domesticated, compared to most species in terrestrial production, so they have great potential for genetic improvement. Most of the aquaculture species have high prolificacy and short generation time, being able to generate a rapid genetic improvement rate in the short term. In recent years, improvements in genomic, reproductive and phenotype measurement technologies have been developed in these species and have been applied in the improvement of commercially important traits and reproductive management, which will improve the efficiency, sustainability, and quality of the product and profitability of aquaculture production in support of the commercial sector and for the benefit of consumers. On Friday, February 12, 2021, the X FIRMA online presented a discussion session on new genetic technologies applied to the characterization of populations, detection of disease resistance

genes, understanding of the genetic bases of aquatic organisms that are related to production efficiency and the implementation of new genetic improvement schemes, especially focused on fish, mollusks and shrimp.

Keywords: Genetic breeding, SNPs, genomics, transcriptomics, selection, GWAS.

INTRODUCCIÓN

En la historia de la humanidad han habido tres grandes revoluciones en la forma cómo generamos nuestro alimento, que han cambiado nuestra historia, trayendo bienestar y progreso a quienes han sido parte de ellos. El primer acontecimiento fue el surgimiento de la agricultura, que hizo que nuestras sociedades pasaran de ser tribus nómadas para fundar civilizaciones que dejaron su marca en la historia. Los registros históricos nos demuestran que la agricultura se apareció en múltiples sitios en todo el mundo, estando los principales avances en once regiones, a saber: China, India (incluyendo el subcontinente entero), Indo-Malasia (incluyendo Indonesia, Filipinas, etc.), Asia Interior (Tajikistan, Uzbekistan, etc.), Asia Menor (incluyendo Transcaucasia, Irán y Turkmenistán), Mediterráneo, Abisinia (hoy Etiopía), Sur de México y América Central, Sudamérica Andina (Bolivia, Perú, Ecuador), Chile y Brasil-Paraguay (Damania *et al.* 1998).

El segundo gran acontecimiento coincide con la segunda revolución industrial, que dio paso a la agricultura comercial, que implicaba el uso de nuevas tecnologías (sembradora, máquina de vapor), y ocurrió entre 1700 y 1900 en los países desarrollados. Como resultado de esta revolución, se aumentó la producción y el alcance en la distribución de los productos. La eficiencia de la mano de obra, gracias al uso de maquinarias, aumentó de tal forma que se podía manejar el doble o triple de extensión de terreno, lo que aumentó la productividad y expandió el intercambio de productos entre regiones y países.

El tercer acontecimiento es conocido como la tercera revolución agrícola o la revolución verde, que consistió en el uso de un conjunto de iniciativas de transferencia de tecnología de investigación que tuvieron lugar entre 1950 y finales de la década de 1960, liderado por Norman Borlaug fundador del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que aumentaron la producción agrícola en todo el mundo, comenzando de manera más marcada a fines de la década de 1960. Los elementos clave de la revolución incluyen: 1) desarrollo de nueva tecnología para mejorar la eficiencia, 2) adopción de métodos científicos modernos de cultivo, 3) uso adecuado de fertilizantes químicos, 4) consolidación de tenencias de tierra y 5) uso de variedades de semillas genéticamente mejoradas de alto rendimiento.

La acuicultura, que se ha desarrollado más fuertemente después de la década de los 80, se ha aprovechado de las experiencias de la segunda y la tercera revolución agrícola, aunque el uso de organismos mejorados genéticamente por selección artificial no ha sido una práctica extendida sino en los últimos diez años, aunque todavía existen rubros que dependen de organismos obtenidos del ambiente para hacer la siembra.

El último acontecimiento que marcó el inicio de la última revolución agrícola comenzó con la publicación del genoma humano y el desarrollo de las tecnologías de secuenciación masiva y análisis de Big Data. Así, en los últimos 10 años se ha estado utilizando cada vez más la selección genómica en animales terrestres y plantas con resultados muy efectivos, sobre todo en características con bajos niveles de heredabilidad. Hoy en día, estas técnicas se han comenzado a utilizar cada vez más en organismos acuáticos, principalmente en salmónidos y últimamente en camarones. En la tabla 1, se observan las 8 especies que han tenido el mayor desarrollo genómico, destacándose el salmón del atlántico y la tilapia, entre los peces, el camarón blanco y la ostra del Pacífico.

Tabla 1. Principales organismos acuáticos en los que se han desarrollado secuencias genómicas y herramientas de genotipificación a gran escala.

Species	Valor de Producción (Us\$ Millones)	Genome size (Gb)	Matrices SNP publicadas (número de SNPs)	Genomas Resequenciados
Salmón del Atlántico (<i>Salmo salar</i>)	16,690	2.96	7 (15–286 K)	165
Carpa herbívora (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	12,640	0.90	None	1
Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	7,610	1.00	2 (50–58 K)	65
Camarón blanco (<i>Penaeus vannamei</i>)	26,740	2.6	1 (9 K)	1
Camarón tigre (<i>Penaeus monodon</i>)	5,590	1.44	1 (6 K)	2
Almeja japonesa (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	6,950	2.56	None	15
Ostra del Pacífico (<i>Crassostrea gigas</i>)	1,240	0.55	2 (27–190 K)	516
Pepino japonés (<i>Apostichopus japonicus</i>)	1,400	0.8	None	1

Este desarrollo ha generado la implementación de selección con herramientas genómicas de manera cotidiana en los esquemas de mejoramiento genético del salmón del Atlántico y ahora se ha empezado a utilizar en los programas de mejoramiento genético de *Penaeus vannamei*. En este sentido, la infraestructura de investigación de las instituciones en Iberoamérica se ha venido desarrollando, enfocándose en proyectos con aplicaciones para la industria que resultará en aplicaciones que pueden

ser utilizadas por los programas de mejoramiento genético en las especies de importancia en la acuicultura y los recursos marinos.

En este sentido, el Tecnológico de Monterrey, en México, ha inaugurado el Laboratorio Nacional de Secuenciación Genómica TecBASE (Fig. 1), con base en el Centro de Biotecnología FEMSA del campus de Monterrey, y el Centro de Bioingenierías del campus Querétaro, que ahora cuenta con 4 equipos de secuenciación masiva que cubre todos los rangos que se pudieran requerir para proyectos de secuenciación para la industria de acuicultura.



Figura 1. El Laboratorio Nacional de Secuenciación Genómica TecBASE del Tecnológico de Monterrey que está integrado por las unidades genómicas del Centro de Biotecnología FEMSA del campus de Monterrey, y del Centro de Bioingenierías del campus Querétaro en México.

Selección Genómica en salmón, trucha y tilapia

La mejora genética representa una aproximación para incrementar la eficiencia en la producción de especies acuícolas, mediante la mejora de características, tales como rápido crecimiento, calidad del producto y resistencia a enfermedades. La información genómica se puede utilizar para acelerar el progreso genético de los caracteres que son difíciles de medir en los propios candidatos de selección. Los avances tecnológicos realizados en la secuenciación masiva paralela y en la genotipificación a gran escala han permitido desarrollar nuevas herramientas que pueden ser implementadas en los programas de mejoramiento genético de los salmónidos y la tilapia (Fig. 2). La aplicación de estos recursos genómicos, basados en polimorfismos de nucleótido único (SNP, *Single Nucleotide Polymorphisms*),

tanto en Chile como en Noruega. Sin embargo, este caso no es representativo, y en la mayoría de los casos la aplicación práctica de QTL para el mejoramiento genético, mediante el uso de MAS, se ha visto limitada por la baja proporción de heredabilidad explicada por marcadores individuales y la inconsistencia de la fase de ligamiento, incluso entre familias de la misma población.

Con la aparición de paneles de genotipado de polimorfismos de un solo nucleótido (SNP), la arquitectura genética de los rasgos cuantitativos y los *loci* que los controlan se ha estudiado con un nivel más profundo de resolución mediante la aplicación de estudios de asociación de genoma completo (GWAS). Este enfoque aprovecha el desequilibrio de ligamiento de la población para identificar la asociación entre variantes genéticas particulares y la variación fenotípica de rasgos de interés. Además, los paneles densos de SNP se pueden utilizar para implementar esquemas de selección genómica, los cuales permiten estimar valores de cría (*Estimated Breeding Values*, o EBVs) individuales más precisos, asumiendo que la varianza genética para un rasgo particular se explica por los efectos aditivos de miles de *loci* con efectos muy pequeños, y distribuidos uniformemente por todo el genoma. En un esquema selección de genómica acuícola típico, los individuos genéticamente conectados a los candidatos de selección (por ejemplo, hermanos completos y medios hermanos) son fenotipados y genotipados (población de entrenamiento), mientras que los candidatos de selección solo están genotipados (población de prueba). La población de entrenamiento se utiliza para estimar los efectos de los SNP individuales, y los EBV genómicos se predicen para los candidatos de selección utilizando todos los SNP genotipados. De esta forma, la selección genómica tiene el potencial de aumentar la precisión de la selección y acelerar el progreso genético de los rasgos que no se pueden medir directamente en los candidatos de selección (por ejemplo, la calidad producto y rasgos de resistencia a enfermedades). Como ejemplo del impacto de la selección genómica en el mejoramiento genético de animales, se estima que en la industria del ganado lechero se han genotipado más de 3 millones de animales desde 2008 y se asume que la selección genómica duplica la tasa de progreso genético. De la misma manera, se espera que la industria acuícola adopte cada vez más la selección genómica en especies de elevado valor económico.

Caracterización genómica de poblaciones: Impacto de la diversidad genética y la endogamia

Con el fin de poner en relevancia la importancia de los estudios de genómica poblacional para el desarrollo y seguimiento de los programas de mejora genética en la acuicultura, se realizó una presentación dividida en cuatro secciones: 1) La explicación de los principales conceptos básicos de la genética de poblaciones; 2) La descripción de los marcadores genéticos como herramientas de estudio; 3) Ejemplos de su aplicación en el manejo de líneas genéticas para la acuicultura y 4) Conclusiones y retos.

Frecuencias alélicas, diversidad, composición y diferenciación genética, endogamia y depresión por endogamia son los conceptos básicos descritos. Para su estudio, se describió la definición de marcador genético y se detallaron las características de los Polimorfismos de Nucleótido Sencillo (SNPs por sus

siglas en inglés) como los marcadores genéticos más utilizados en la actualidad y con mayor potencial de aplicación. Asimismo, se hizo un análisis comparativo de las ventajas y desventajas de diversos sistemas de obtención de perfiles genéticos (llamado genotipificación o genotipado).

A través de la ejemplificación de estudios realizados en camarón y peces marinos se describieron las diversas aplicaciones de la caracterización genética y genómica de poblaciones silvestres y de cultivo en la acuicultura. Por ejemplo, se mostró que las poblaciones silvestres de camarón blanco *Penaeus vannamei* en el Pacífico tropical del continente americano, se encuentran genéticamente diferenciadas en la escala continental, pero sin diferenciación en la escala regional (específicamente para Sinaloa, México). Se describió el análisis de estatus de la diversidad genética en las líneas de cultivo de esta especie en México y los niveles de diferenciación entre líneas de acuerdo con el origen (México, Centro y Sudamérica), para lo cual se cuenta con la disponibilidad de paneles de SNPs de alta y baja densidad. Se mostraron ejemplos de análisis de parentesco para el seguimiento de la estructura reproductiva de peces marinos de cultivo (*Pagrus major* y *Lutjanus guttatus*). Se mostraron ejemplos de trazabilidad en relación a programas de repoblación del abulón *Haliotis fulgens* y de la potencialidad de seguir producto en el mercado de tilapia.

Se concluyó que el diseño de estrategias de manejo, reproducción y cruzas en la producción de larvas y postlarvas requiere la aplicación de la genética poblacional, que el manejo genético es factible para grandes y pequeños productores acuícolas, que los programas de repoblación deben elaborarse sobre bases genéticas y que hay disponibilidad de tecnologías de análisis genómico.

Algunos de los principales retos para avanzar en la aplicación de la genética y genómica enfocados al desarrollo de la acuicultura son concientizar y capacitar a productores acuícolas y tomadores de decisiones en temas relacionados con la genética, desarrollar tecnologías de análisis de perfiles genéticos de costo accesible, así como de recursos genéticos (genomas, marcadores específicos) para las especies acuícolas, y lograr el incremento de la inversión en I+D+i en esta materia.



Figura 3. Retos para la aplicación de la genómica y los recursos genéticos para fomentar el desarrollo de la acuicultura.

Mejoramiento genético en peces marinos y camarones

La mejora genética es un área de conocimiento que estudia los cambios genéticos de las poblaciones de animales bajo explotación industrial o selección artificial. Para ello, utiliza conceptos – herramientas de genética cuantitativa como son el valor genético aditivo, la heredabilidad, las correlaciones genéticas, la interacción genotipo – ambiente, la evaluación genética, la respuesta a la selección, el parentesco y el cruzamiento. La mejora genética pone en valor la repercusión económica que tienen los genes, que conforman las poblaciones de interés comercial, en la producción. De tal manera que cambiar las frecuencias de los genes de interés, a través de procesos de selección genética, permite mejorar los rendimientos productivos de las empresas a la vez que racionalizar los procedimientos de la producción.

Dependiendo de los caracteres de interés, la respuesta requerida por las empresas puede ser positiva, como en el caso de caracteres de crecimiento (peso o rendimiento canal a la cosecha), o negativa, como es el caso de caracteres de prevalencia de enfermedades (incidencia de malformaciones corporales o mortalidad frente a un agente infeccioso). La ganancia genética que permite la mejora genética es dependiente de la variabilidad genética de los caracteres y la intensidad de la selección, pero en peces marinos y camarones puede alcanzar valores por generación de entre el 8% - 20 %. Así, en salmón del Atlántico, en sólo cinco generaciones, se ha duplicado la tasa de crecimiento.

Una comparación de programas de mejoramiento, entre peces marinos y camarones frente a peces agua dulce, pone de manifiesto un claro déficit de aquellos en ambos grupos de especies, pero especialmente en camarones, ya que suponen el grupo de especies económicamente más importantes de la acuicultura mundial.

Utilizando como especies de referencia, la dorada (*Sparus aurata*) y el camarón (*Penaeus vannamei*), en ambas especies se han estudiado parámetros genéticos para caracteres relacionados con el crecimiento, el rendimiento, la reproducción, la supervivencia, la resistencia a patógenos, el sistema inmune, la calidad de la carne y del animal. En ambas especies, las heredabilidades para el crecimiento son medias – bajas para la presencia de deformidades y medias – altas para la morfología. En el caso del camarón, la calidad de la carne muestra heredabilidades medias – altas para el contenido en lípidos y ceniza en el músculo, respectivamente, mientras que es baja para el contenido en proteína. En el caso de la dorada, la calidad morfológica a través de la presencia – ausencia de cualquier deformidad es baja, pero correlacionada genéticamente con el peso en sentido positivo, a la vez que entre edades. Por lo que la selección para el peso conlleva animales más deformes. Mientras que en camarón la selección a favor del peso no implica que aumento de la prevalencia de deformes, ya que la correlación es escasa. Más aún, en dorada, los reproductores genéticamente deformes, tienen puestas de peor calidad y más cortas bajo fotoperiodo natural.

Estudios recientes sobre el *RNAseq* entre larvas con EBV antagónicos para la deformidad han revelado la segregación de 64 genes, 8 de ellos asociados a QTL previos y 56 nuevos también asociados al carácter de la deformidad.



Figura 4. Factores relevantes para la implementación de programas de mejoramiento genético en peces y camarones.

Expresión génica y sus aplicaciones en acuicultura

Las plataformas actuales para el análisis de la expresión de genes son variadas y pasan desde el uso de PCR en tiempo real, microarreglos y secuenciación de los transcritos, siendo este último el que ha venido a revolucionar los estudios de expresión génica en especies acuícolas debido a que te permite analizar todo el genoma a la vez, tiene un menor costo por muestra sin tener que desarrollar tecnología adaptada específicamente a la especie (como los microarreglos), lo que permite la posibilidad de estudiar especies sin conocimiento de sus genomas. La secuenciación masiva de lecturas cortas no sólo permite la reconstrucción o armado de transcriptomas completos para especies no modelo; también permiten conocer y comparar los niveles de expresión génica de todos los genes del genoma a la vez (sólo los genes que tienen expresión muy baja pudieran estar no siendo detectados), así como permite detectar las variantes que se producen por empalme alternativo entre los diferentes estadios o tejidos, y las variaciones en las secuencias (SNPs) que pueden existir entre los individuos de una población (Fig. 5).

En este sentido, la secuenciación de transcritos, se ha venido implementando cada vez más en especies de alta importancia en la acuicultura, como los salmónidos, tilapia, camarón blanco (*P. vannamei*), camarón tigre (*P. monodon*), así como muchas otras especies que están a diferentes niveles de desarrollo de sus cultivos, entre diferentes especies de peces, crustáceos y moluscos. Gracias al desarrollo de plataformas de análisis computacionales que incluyen servidores y paquetes de análisis, los ensamblajes transcriptómicos a partir de la secuenciación de ~100 millones de lecturas cortas son relativamente sencillos de realizar, por lo que esta aproximación resulta atractiva para prácticamente cualquier especie de la cual no se cuente con información genómica de referencia previa.

Más específicamente en México, se están estudiando especies de interés económico para conocer su transcriptómica (Fig. 6), como por ejemplo, La totoaba o corvina blanca (*Totoaba macdonaldi*), la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), el jurel aleta amarilla (*Seriola rivoliana*), el robalo hocicudo (*Centropomus viridis*), el pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*), el pez blanco del lago de Pátzcuaro (*Chirostoma estor*), la mojarra prieta (*Amphilophus trimaculatus*) y el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*).

Estos estudios están siendo utilizados no sólo para conocer qué genes están presentes en cada especie y analizar su función, sino también para correlacionar sus niveles de variación genética con la eficiencia en el crecimiento, eficiencia alimenticia y resistencia a patógenos, lo que permitirá implementar esta información en los sistemas de cultivo para aumentar su eficiencia, reducción de costos y aumento de la sustentabilidad en general.

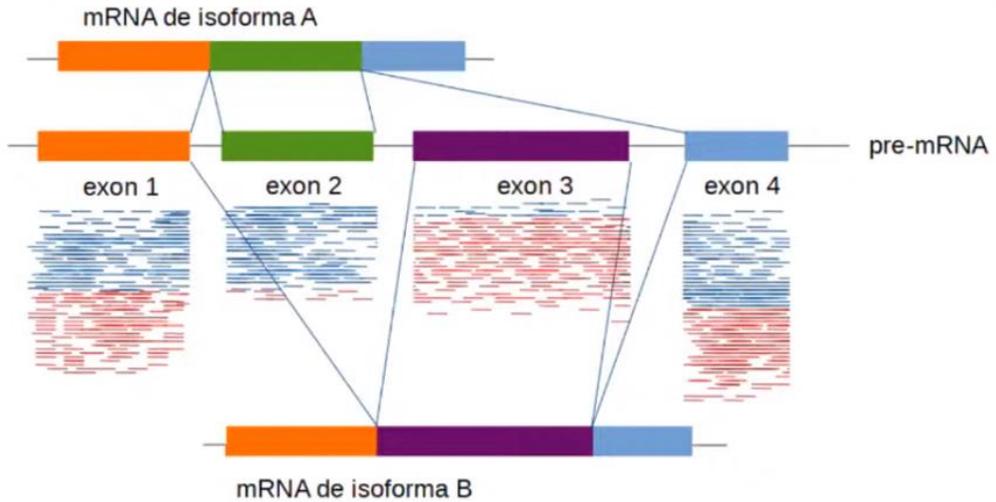


Figura 5. La secuenciación del perfil transcripcional te permite analizar simultáneamente el nivel de expresión de los genes, las variantes transcripcionales y la variación en sus secuencias.

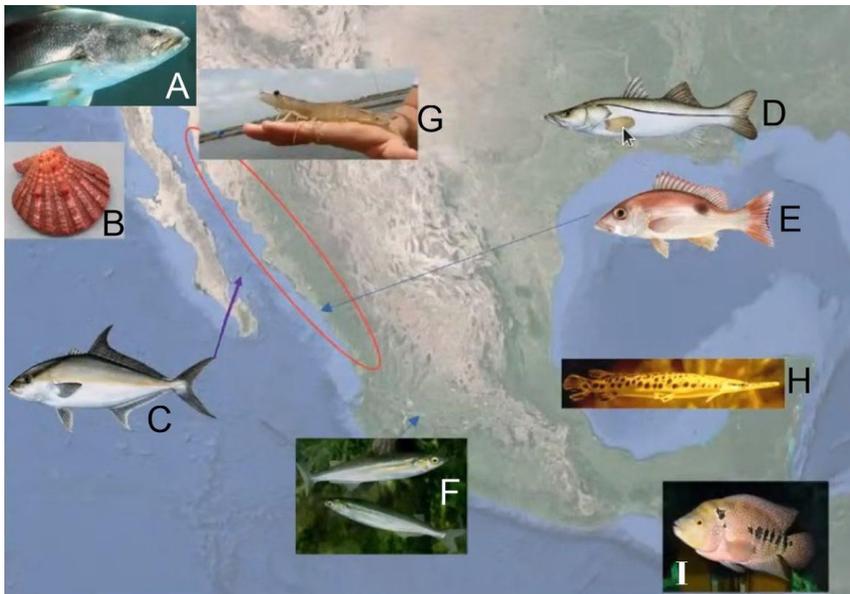


Figura 6. Especies de interés económico de México con estudios de transcriptómica. A: La totoaba o corvina blanca (*Totoaba macdonaldi*), B: almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), C: jurel aleta amarilla (*Seriola rivoliana*), D: robalo hocicudo (*Centropomus viridis*), E: pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*), F: pez blanco del lago de Pátzcuaro (*Chirostoma estor*), G: camarón blanco (*Penaeus vannamei*), H: pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) e I: mojarra prieta (*Amphilophus trimaculatus*).

REFERENCIAS

- Damania AB, Valkoun JV, Willcox G, Qualset CO. (1998). The origins of agriculture and crop domestication. Proceedings of the Harlan Symposium, Aleppo, Syria, May 10-14, 1997.
- Elalfy, I., Shin, H.S, Negrín-Báez, N., Navarro, A., Zamorano, M.J., Manchado, M., Afonso, J.M. (2020). Genetic parameters for quality traits by non-invasive methods and their G x E interactions in ocean cages and estuaries on gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 537 – 736462.
- Lhorente, J. P., Araneda, M., Neira, R., & Yáñez, J. M. (2019). Advances in genetic improvement for salmon and trout aquaculture: the Chilean situation and prospects. *Reviews in Aquaculture*, 11(2): 340-353.
- Lorenzo-Felipe, A., Shin, H.S., León-Bernabeu, S., Pérez-García, C., Zamorano, M.J., Pérez-Sánchez, J., Afonso-López, J.M. (2021). The effect of the deformity 1 genetic background of the breeders on the spawning quality of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Frontiers in Marine Science* (aceptado, doi: 10.3389/fmars.2021.656901).
- Yáñez, J. M., Joshi, R., & Yoshida, G. M. (2020). Genomics to accelerate genetic improvement in tilapia. *Animal Genetics*, 51(5): 658-674.
- Yue GH. Recent advances of genome mapping and marker-assisted selection in aquaculture. *Fish Fish*. 2014; 15:376–96.





Firma
2021 online
7 al 12 de febrero

Sesión 10 Cooperación Iberoamericana



Nieves González
Universidad de Las Palmas de
Gran Canaria, España



Alejandro Flores
COPESAALC-FAO,
Chile



Graciela Pereira
RLMP-INFOPECSA,
Uruguay



Enric Gisbert
Instituto de Investigación y
Tecnología Agroalimentarias, España



Raúl Castillo
Ministerio de la Producción del
Gobierno Peruano, Perú

Sesión 10 | Cooperación Iberoamericana en pesca y acuicultura

Ibero-American cooperation in fisheries and aquaculture

**Nieves González-Henríquez¹, Alejandro Flores Nava², Graciela Pereira³
Enric Gisbert⁴, Raúl Castillo Rojas⁵**

¹ Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ULPGC - España)

² Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Comisión de Pesca en Pequeña Escala, Artesanal y Acuicultura de América Latina y el Caribe (COPESCAALC -FAO) - Panamá.

³ INFOPESCA – Uruguay

⁴Programa de Acuicultura del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias IRTA y Coordinador de la Red CYTED LARVAplus – España.

⁵Instituto del Mar del Perú IMARPE – Perú. - *Actividades de fortalecimiento de la cooperación regional entre América Latina y Corea*

 **Nieves González-Henríquez** () E-mail: nieves.gonzalez@ulpgc.es

RESUMEN | En el contexto de esta década 2020-2030 FAO alerta sobre la preocupante situación de los recursos acuáticos y el aumento de la población mundial, que suponen una amenaza para la seguridad alimentaria. Esta situación se ha acentuado más en este último año de pandemia, por lo que es urgente establecer estrategias de cooperación y desarrollo entre los países iberoamericanos para dar soluciones a corto y largo plazo. Estas estrategias están respaldadas y/o coordinadas por entidades, organismos, redes de investigación y/o cooperación internacionales o regionales. Todas ellas están en línea con una visión innovadora de la cooperación, apostando por la transferencia tecnológica y la colaboración de entidades públicas y privadas. En esta sesión se han presentado algunos ejemplos de estas estrategias, las actividades de cooperación sur-sur de la Comisión de Pesca en Pequeña Escala, Artesanal y Acuicultura de América Latina y el Caribe, de la Red Latinoamericana de Mujeres del Sector Pesquero- Acuícola, de la Red de CYTED de investigación LARVAplus y la cooperación regional entre América Latina y Corea.

Palabras clave | Redes de cooperación, pesca artesanal, acuicultura, cooperación regional

ABSTRACT | In the context of this 2020-2030 decade, FAO warns about the worrying situation of aquatic resources and the increase in world population, which pose a threat to food security. This situation has become more accentuated in the last year of the pandemic, so it is urgent to establish cooperation and development strategies among Ibero-American countries to provide short and long-term solutions. These strategies are supported and / or coordinated by international or regional entities, organizations, research networks and / or

cooperation. All of them are in line with an innovative vision of cooperation, betting on technology transfer and the collaboration of public and private entities. In this session some examples of these strategies have been presented, the south-south cooperation activities of the Commission for Small-scale, Artisanal and Aquaculture Fisheries of Latin America and the Caribbean, of the Latin American Network of Women in the Fisheries-Aquaculture Sector, of the CYTED LARVAplus Research Network and finally the regional cooperation between Latin America and Korea.

Keywords: Cooperation networks, artisanal fishing, aquaculture, regional cooperation.

RESUMEN DE LAS PONENCIAS

La cooperación Sur-Sur en los países de la COPPESAALC

Alejandro Flores Nava

La COPPESAALC es una Comisión Técnica de carácter consultivo de FAO, establecida en 1976, para promover el uso racional de los recursos pesqueros marinos y continentales, asesorar a los gobiernos en medidas de ordenación pesquera y apoyar el desarrollo sostenible de la acuicultura, en el marco de los principios del CCPR.

Cuenta con 21 países miembros: todos los de América Latina, Jamaica y Surinam. Es, junto con la COPACO, la principal fuente de recomendaciones en materia de pesca y acuicultura de la Conferencia Regional de FAO, máximo órgano de gobierno de la FAO en ALC.

Es un Foro de debate e intercambio de información, conocimiento y experiencias, con reuniones anuales, generación de documentos técnicos y capacitaciones. La Cooperación Sur-Sur es el intercambio de soluciones clave de desarrollo —saber, experiencias y buenas prácticas, políticas, tecnología y conocimientos técnicos, recursos— entre los países en vías de desarrollo. FAO, 1996. Los 4 pilares de la Estrategia de CSS de FAO son:

1. Facilitar el intercambio y la adopción de soluciones de desarrollo.
2. Promover plataformas para el establecimiento de redes de conocimiento.
3. Movilizar recursos para la Cooperación Sur-Sur.
4. Fomentar un entorno favorable para una CSS efectiva.

Algunos hitos históricos de la CSS en pesca y acuicultura en la región: Engorda de penaeidos Ecuador (1973-1986); Reproducción controlada de penaeidos Panamá (1976-1990); Cultivo de especies amazónicas Brasil-Perú (1980-a la fecha); Redes suriperas para captura de camarón (langostino) México 2010.

Esfuerzos recientes de FAO en materia de CSS en pesca y acuicultura: Reunión Internacional para la Cooperación Sur-Sur y Triangular en el marco de la iniciativa Crecimiento Azul en América Latina 2019. 15 países (Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Paraguay y República Dominicana). Los objetivos fueron: Identificar brechas en el desarrollo relativo sectorial de la pesca y la acuicultura entre los países de la región.

Establecer líneas de Cooperación Sur-Sur entre países oferentes de capacidades y países demandantes de asistencia.

Se solicitaron 21 áreas temáticas para la Cooperación en Pesca y Acuicultura y 76 acciones de CSS.

Algunas acciones de CSS entre países de la COPPESAALC en los últimos 5 años:

México Nicaragua. (Métodos seguros de captura de langosta).

México Guatemala (utilización del pez diablo)

Costa Rica Guatemala (cultivo de trucha)

México Cuba (cultivo de tilapia y ostión).

Brasil Cuba (mejoramiento genético de tilapia)

Colombia Costa Rica (evaluación de recursos pesqueros)

Chile Perú (sistemas de inspección pesquera y monitoreo satelital)

Perú Ecuador (sistemas de inspección pesquera y monitoreo satelital)

Argentina Bolivia. (Nutrición de peces)

Chile Argentina (implementación del Enfoque Ecosistémico de la Pesca)

Chile Países de América Latina (Combate a la pesca INDNR)

- La Cooperación Sur-Sur en pesca y acuicultura es quizás el único instrumento para transferir solidariamente conocimientos y experiencias, contribuyendo a cerrar asimetrías tecnológicas entre países y a desarrollar el potencial sectorial aún latente en la región.
- Hoy más que nunca, la CSS tiene un rol fundamental en el abordaje de desafíos emergentes como el cambio climático, la sobreexplotación de los recursos acuáticos y la producción sostenible al servicio de la recuperación post-pandemia.
- La FAO, a través de la COPPESAALC y sus diversos mecanismos organizacionales, continuará fortaleciendo la Cooperación Técnica entre países en vías de desarrollo y

gestionando transferencia entre países desarrollados y países en desarrollo. Finalmente este flujo de conocimiento beneficia a la humanidad.

Actividades de la Red Latinoamericana de Mujeres del Sector Pesquero-Acuícola (RLMP-INFOPESCA)

Graciela Pereira

INFOPESCA es una organización intergubernamental, registrada bajo el no. 31660 del registro de tratados y acuerdos internacionales de las Naciones Unidas. Tiene como principales objetivos el servicio a los gobiernos, asociaciones industriales y empresas, en todos los aspectos del desarrollo de la pesca y la acuicultura. Su particularidad radica en abordar diferentes proyectos de producción, procesamiento y comercialización, teniendo siempre en cuenta un concepto de marketing.

Principales temáticas abordadas en INFOPESCA

- Información de Mercado
- Análisis de Cadena de Valor
- Tecnología y procesamiento de productos pesqueros
- Inspección y control de calidad de productos pesqueros
- Género

Dinámica de trabajo en INFOPESCA

- Un equipo multidisciplinario con experiencia internacional.
- Funcionarios de los gobiernos que funcionan como enlace en países de América Latina y el Caribe.
- Una red de consultores independientes asociados,
- Base de datos, actualizada sobre diferentes aspectos del comercio del sector de la pesca y la acuicultura.

- Red FISHINFONETWORK (que también incluye INFOFISH en Asia, en África INFOPECHE, INFOSAMAK en países árabes, EUROFISH en Europa del Este e INFOYU en China continental).
- Colaboración continúa con asociaciones que trabajan en pesca y acuicultura en la región.

El Rol de las Mujeres en cada uno de los eslabones de la cadena de valor en la Pesca y la Acuicultura.

Su actividad se desarrolla a lo largo de toda la cadena productiva.

- Las capturas.
- La siembra y cosecha (acuicultura).
- El procesamiento.
- La comercialización de productos pesqueros.
- Inspección.
- Docencia.
- Empresarial.

Se mencionan una serie de “factores limitantes” de la participación de la mujer en la actividad pesquera: tabúes sociales, mitos “la mujer trae mala suerte”, menor fortaleza física, problemas fisiológicos etc. Pese al fuerte componente femenino en el sector pesquero mundial, se sabe muy poco en algunos países sobre las particularidades y necesidades de las mujeres de la pesca. Debido a la problemática anteriormente descrita que INFOPECSA, se propuso conseguir el pleno reconocimiento del papel de la mujer en la pesca, el apoyo a sus actividades y su realización económica y humana mediante la creación, coordinación y promoción de “La Red Latinoamericana de las Mujeres del Sector Pesquero”

Objetivos de la Red:

- Identificar las necesidades de todas las mujeres vinculadas al sector.
- Proveer información y capacitación a la mujer, que facilite la mejor participación y desempeño en el sector (nuevas tecnologías disponibles, salud, control de calidad, investigación y avances en el sector).

- Detectar, apoyar y fuentes de cooperación: Fuentes de financiamiento. Obtención de recursos.
- Congregar, apoyar y ayudar a incentivar la creación de redes locales.
- Promover la divulgación de todas las actividades y los resultados obtenidos de los trabajos efectuados por la Red, no solo en Latinoamérica sino también en otros continentes.

La Red CYTED LARVApplus: Estrategias de desarrollo y mejora de la producción de larvas de peces en Iberoamérica

Enric Gisbert

CYTED es el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, creado por los gobiernos de los países iberoamericanos para promover la cooperación en temas de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo armónico de Iberoamérica.

Logra sus objetivos a través de diferentes instrumentos de financiación que movilizan empresarios, investigadores y expertos iberoamericanos y les permiten capacitarse y generar proyectos conjuntos de investigación, desarrollo e innovación. Sirve de puente para la cooperación interregional en Ciencia y Tecnología entre la Unión Europea y América Latina.

La Red LARVAPLUS ((Estrategias de desarrollo y mejora de la producción de larvas de peces en Iberoamérica) busca mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de larvas de peces. Está integrada por 24 socios, entre los cuales se encuentran universidades, centros de investigación y desarrollo y empresas privadas de España, Portugal, Brasil, Perú, Argentina, Chile, Colombia, México y Costa Rica.

El objetivo general de la Red CYTED LARVApplus es generar un espacio de intercambio de conocimientos y experiencias en pro del desarrollo de la acuicultura iberoamericana, y en particular, de la producción de larvas y alevines de peces que permita dar un impulso científico-tecnológico a la competitividad empresarial, crecimiento sostenible y responsable del sector, así como una transferencia transversal de conocimiento, capacidades y habilidades entre los centros de investigación y el sector industrial.

Dinámica de trabajo en la Red: 19 grupos de investigación y 11 empresas

- Generación e intercambio del conocimiento.
- Establecimiento de un marco de colaboración transversal entre participantes.

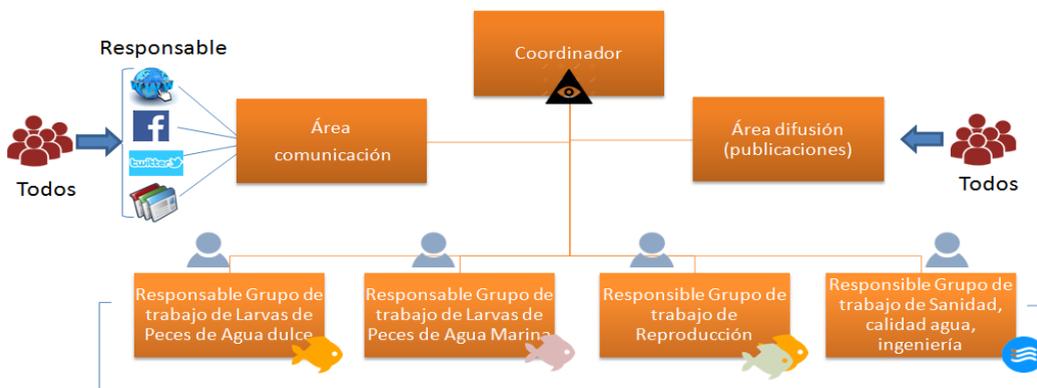
- Promover la formación y capacitación de los participantes.
-
- Aproximación multidisciplinar y multiespecífica.
- Generación múltiples escenarios y casuísticas.

Actividades desarrolladas:

- 5 cursos presenciales **Impacto: 140 personas.**
- 4 Webinars **Impacto: 150 personas.**
- Asesorías a empresas.
- Estancias formativas unipersonales.
- Colaboración en Tesis de Maestría y Doctorales.
- Colaboración en 7 Proyectos de investigación bilaterales.

La Red LARVAplus es una gran oportunidad de desarrollo de la acuicultura iberoamericana que aborda diferentes aspectos:

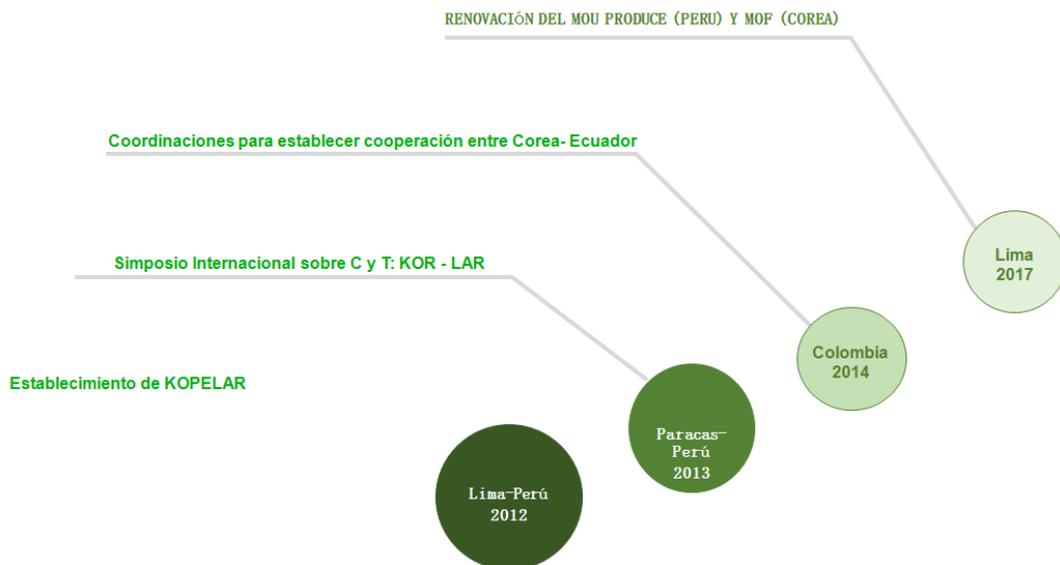
- Diversificación y biodiversidad.
- Alimentos sostenibles y adaptados .
- Salud y gestión sanitaria.
- Trabajo colaborativo y asociativo.
- Mejora calidad, seguridad alimentaria y eficiencia productiva.
- Desarrollo tecnológico + Acuicultura familiar.



Actividades de fortalecimiento de la cooperación regional entre América Latina y Corea

Raúl Castillo Rojas

Establecimiento de la cooperación KOPELAR:



Funciones de KOPE-LAR

- Identificar, desarrollar e implementar proyectos de investigación conjunta y actividades en el campo de la C y T Marina.

- Promover el intercambio de conocimientos y recursos humanos entre las partes del Acuerdo.
- Facilitar la gestión y el fortalecimiento de capacidades en el campo de la C y T marina.
- Propiciar la extensión a la esfera latinoamericana, actividades y proyectos formulados en el marco del Acuerdo.

Prioridades estratégicas de cooperación

Enfoque Geográfico



Enfoque Temático

- Desarrollo de Recursos Marinos Vivos y No vivos, incluyendo la Biodiversidad.
- Monitoreo y Predicción de la Variabilidad Climática (El Niño y La Niña).
- Manejo Costero y del Ambiente Marino.
- Promoción de la Acuicultura.

- Desarrollo de Energía Renovable del Océano.
- Promoción de la Industria Marítima.

Objetivo

Desarrollo y apoyo de Proyectos en Ciencia y Tecnología Marina entre la República de Corea y América Latina

Programas de investigación conjunta

- Pesquería y acuicultura.
- Variabilidad climática.
- Gobernanza y manejo integrado y costero del océano.

Proyectos identificados: Pesquería y acuicultura

- *Research playback flounder (*Paralichthys adspersus*) and other species in captivity, sex control and handling* (PERÚ).
- *Research microalgae for biofuels and other applications* (PERÚ).
- *Development of the National Strategy for marine biodiversity of marine biotechnology from Colombia* (COLOMBIA).
- *Developing techniques for growing marine marine-oriented livestock* (ECUADOR).
- *Study on Energy Efficiency in regional fisheries* (OLDEPESCA).
- *Regional Sustainable Development of Aquaculture* (OLDEPESCA).
- *Regional Centre of Fisheries and Aquaculture* (OSPESCA).

Proyectos identificados: Variabilidad climática

- *Establishment of Monitoring and Action Center for the design of adaptation measures to address the effects of climate change on coastal areas (COLOMBIA).*
- *Study upwelling system of the Pacific Basin (COLOMBIA).*
- *Validate satellite images of surface chlorophyll (ECUADOR).*
- *Observations of the ENSO system with buoys (PERÚ).*
- *Coastal pollution by the lights of the big cities (ARGENTINA).*
- *Collecting evidence on the nature and consequences of climate variability that affects fishing and aquaculture in Central America (OSPESCA).*

Proyectos identificados: Gobernanza y manejo integrado y costero del océano

- *The unconventional energy resources in Patagonia (Argentina).*
- *System of coastal and ocean observations and validation of remote sensing (ARGENTINA).*
- *Linking Science and Policy (ARGENTINA).*
- *Marine Biodiversity Conservation and Marine ranching (PERÚ).*
- *Capacity building for Data Center (COLOMBIA).*
- *Action Plan for the Management of Fisheries on an ecosystem approach (OLDEPESCA).*
- *Impacts on fish stocks, marine ecosystems and coastal communities about global warming and Pre adaptation in response to El Niño and La Niña (ECUADOR).*
- *Strengthening the management of marine fisheries in Central America through the management of coastal areas and the development of the marine environment (OSPESCA).*





**BIODIVERSIDAD, CONSERVACIÓN Y
EVALUACIÓN DE RECURSOS**

Evaluación de una dieta a base de Pleco (*Pterygoplichthys* sp.) para cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en cautiverio

Erika Cecilia Maya Albarrán, Elvia Margarita Romero Treviño, Ramón Eduardo Martínez Grimaldo, Ana Lilia Avilés Mariño [157-166](#)

Influencia de la surgencia costera y estratificación sobre la condición fisiológica de *Echinometra lucunter* en Isla Lobos, Venezuela

Jeny Reyes-Lujan, Daniel Polanco-Marin, Edgar Zapata-Vivenes, Dwight Arrieche, César Lodeiros Seijo [167-175](#)

Quem conta um conto aumenta um ponto: cuidados com a mudança de paradigm

Sérgio Ricardo Brito Santos, Márcio Luís Chagas Macedo, Thaís Rodrigues Maciel, Gabriel Barros Gonçalves Souza, Laís da Silva Almeida, Otto Bismarck Fazzano Gadig, Marcelo Vianna [176-192](#)

Estudio de la variabilidad genética en poblaciones mediterráneas del cangrejo batial *Geryon longipes*

Mestres F, Lagares C, Rojo E, Serra B, Colmenero A, Abelló P. [193-203](#)

Diagnóstico del desarrollo sostenible de la comunidad pesquera de Adícora. Dimensión de ecosistema (recurso y medio ambiente)

María Virginia Guanipa Maldonado, Jesús Méndez, Luis González [204-213](#)

Evaluación preliminar del zooplancton de la Laguna Costera Boca de Caño, Península de Paraguaná- Estado Falcón

Jesús Méndez, María Guanipa, Luis González, Mario Nava, Jenny Reyes, Roberta Mora [214-226](#)

Distribución espacio-temporal de los recursos pesqueros en el Golfo de Venezuela

Orlando Pomares, Ricardo Molinet, Jorge Jurado [227-246](#)

Los expendios populares de productos pesqueros como estrategia para la enseñanza de la ictiología.

Otto Enrique Castillo González, Alvaro Luis Cedeño Luna, Albany Nacarid Castillo Valdez [247-269](#)

Peces comerciales asociados a la migración ascendente del río Arauca binacional de Colombia y Venezuela.

Mailuet V. López Gómez, Otto E. Castillo González [270-287](#)

Peces del río Atabapo: Visión etnoictiológica del pueblo Curripaco, municipio Atabapo, estado Amazonas, Venezuela

Alvaro Luis Cedeño Luna, Yurilandy Jhoana Giraldo Romero, Otto Enrique Castillo González [288-304](#)

Efecto del pretratamiento enzimático de *Ulva ohnoi* como ingrediente potencial en piensos para acuicultura

F.P. Martínez-Antequera, J.M. Reyna, M.J. Aznar, F.J. Moyano **305-319**

Comparación entre enzimas comerciales o de origen marino para la hidrólisis de carbohidratos presentes en macroalgas

Domingo, A.C., Fernández, L., Martínez-Antequera, F.P., Moyano, F.J. **320-332**

Caracterização lipídica em gônadas e trato digestório de *Holothuria (Halodeima) grisea* Selenka, 1867 na costa subtropical do Brasil

Yara Aparecida Garcia Tavares, Matheus Pires Miranda, Natalie Semanosvchi, Heiddy Alvarez, Walter Ramos Pinto Cerqueira, Emily L. Gazineu **333-350**

Estudio poblacional de la ortiguilla de mar (*Anemonia sulcata*) en su entorno natural

Eva Encarnación Rufino Palomares, Ana Esther Ortiz Maldonado, Carolina Alonso Pozas, Pedro Antonio Álvarez Molina, Cristina Elena Trenzado Romero, Amalia Pérez Jiménez **351-360**

Macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana en playa "La Caracola", estado Nueva Esparta, Venezuela

Yormarys Fernández-Fuentes y Yuraima García-González **361-369**

Contribución al estudio de la distribución del ictioplancton en el mediterráneo marroquí

Diouri Lamia, Abdelouahab Hinde, Soukri Abdelaziz, Malki Mohamed, Baibai Tarik **370-381**

Identificación del fitoplancton presente en laguna costera Boca de Caño, Península de Paraguaná - Estado Falcón

Jesús Méndez, María Guanipa, Ronald Moreno, Luis González, Roberta Mora **382-404**

Evidencias de mal manejo en la pesquería del cangrejo azul (*Callinectes sapidus*, Rathbun, 1896) en el Lago de Maracaibo y un dispositivo para mitigar la mortalidad por descarte

David Mejías, Misael Molina **405-412**

Pesquería de tajali (*Trichiurus lepturus*) en Venezuela Caso golfo de Venezuela

Luis del V. González Rodríguez, Jesús A. Méndez, María V. Guanipa, José R. Rengel **413-421**

30 Años de evaluación (CPUE) de la eliminada flota industrial de arrastre en el golfo de Venezuela (1956-2004)

Luis González Rodríguez, (✉) Rodolfo Álvarez Castillo, Orlando Pomares Ferraz **422-433**

Influencia de las actividades antrópicas en el manejo de la pesquería de langosta en la zona norcentral de Cuba

Susana Cobas, Rafael Puga **434-447**

Consumo efectivo per cápita de pescado en Ecuador durante el año de la pandemia 2020

Ormaza-González Franklin I., Bobadilla-Córdova Nayiva D., Casa-Pérez Ángeles V., Chuya-Zhangallimba Darwin B., Enderica-Posligua César A., García-Coloma María J., Intriago-Basurto Analía, Mendoza-Camino Kelly D., Palate Cagua Jessica A **448-458**

Ciclo reproductivo del gasterópodo *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1825), de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Verónica Mitsui Saito-Quezada, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte, Esther Uría-Galicia **459-475**

Multivariate and likelihood tests for aquatic organisms' growth expression comparison

Salgado-Ugarte, Isaías Hazarmabeth, Verónica Mitsui Saito-Quezada, García-Martínez Alan, Chacón-Ramírez Leonardo **476-494**

La conectividad entre poblaciones del cangrejo marino *Liocarcinus depurator* en la transición Atlántico-mediterránea

Francisco Mestres, María Sellés M, Eva Rojo, Clàudia Lagares, Bruna Serra, Víctor Ojeda, Pere Abelló **495-511**

Tissue-expression pattern of *elovl4* genes in *Sparus aurata* and *Solea senegalensis*: from larvae to adult

M. Torres, F. Hontoria, Ó. Monroig, I. Varó and J.C. Navarro **512-524**

Estudio preliminar de la diversidad genética y la filogenia molecular de *Girella laevis* de la costa central del Perú

César Abram Cruz-Castellón, David Cordero, Carlos Saavedra **525-536**

Subsídios para a exploração comercial de ovas de *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) no sul do Brasil

Yara Aparecida Garcia-Tavares, Natalie Petrovna Semanovschi **537-550**

Living together, feeding apart: trophic ecology of three demersal sharks in the North-east Atlantic

Lola Riesgo Torres, Francisco Baldó, José Luis Varela **551-563**

Infección por *Klebsiella variicola* en calamar gigante *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835)

Leonela Griselda Muñoz-Chumo, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Ramón Isea-León, Yanis Cruz-Quintana **564-572**

Variación espacio temporal metales pesados en organismos bentónicos de la ensenada de carenero, estado Sucre, Venezuela

Romero Patricia, Acosta Vanessa, Márquez Aristide, Deudedith Hernández **573-583**

Marcadores de estrés oxidativo e índices moleculares (ARN: ADN y Proteína: ADN) en *Donax denticulatus* (Linné, 1758) colectado en zonas impactadas post-derrame petrolero

Edgar Zapata-Vívenes, Nataly Ruiz-Brito **584-595**

Evaluación de una dieta a base de Pleco (*Pterygoplichthys* sp.) para cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en cautiverio

Evaluation of a diet based on the sailfin pleco (*Pterygoplichthys* sp.) for the Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) in captivity

Erika Cecilia Maya Albarrán¹, Elvia Margarita Romero Treviño¹, Ramón Eduardo Martínez Grimaldo², Ana Lilia Avilés Mariño¹

¹Tecnológico Nacional de México- Instituto Tecnológico de Altamira, Tamaulipas, México.

²Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero, CDMX, México.

 Erika Cecilia Maya Albarrán () E-mail: erikacmaya@gmail.com

RESUMEN | En la búsqueda para desarrollar alimentos que sean de bajo costo y de alto valor nutrimental, se considera el aprovechamiento del “Pleco” (*Pterygoplichthys* sp.), como posible fuente alimenticia para el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*). Pescados enteros fueron deshidratados para ser colocados en un molino con motor de ½ hp, y obtener harina de pescado (50 kg), que fue mezclada con sorgo (10 kg), melaza (22 kg), calhidra (6 kg), cemento (4 kg), carbonato de calcio (2 kg) y una premezcla de vitaminas (2 kg), con la que se elaboraron pellets en una máquina peletizadora. Para la evaluación de la dieta propuesta se requirieron 32 cocodrilos con una semana de eclosión, los cuales se dividieron en dos grupos heterogéneos, de 16 organismos cada grupo, que fueron alimentados con los pellets elaborados con la harina de pleco y con una dieta convencional a base de vísceras de pollo, sugerida por la FAO para organismos neonatos en granjas. Durante nueve meses se realizaron registros de talla y peso (octubre 2016 – junio 2017). El suministro del alimento se realizó bajo las recomendaciones del Manual para la Explotación de Cocodrilo en Cautividad de la FAO, el cual menciona que debe realizarse dos veces por semana con una porción individual del 25% del peso del organismo. Se observó crecimiento significativamente mayor de los cocodrilos alimentados con la dieta a base de pellets de harina ($\bar{x}L = 22,68$; SE = 4,78) que la dieta a base de vísceras de pollo ($\bar{x}L = 21,43$; SE = 9,04; $t(16) = 1,86$; $df = 175,16$; $p < 0,5$). Lo que se concluye es que la utilización de la harina del pleco como alimento alternativo para cocodrilos de pantano neonatos en cautiverio, resulta ser una propuesta de acuicultura no convencional sustentable en la zona sur de Tamaulipas.

Palabras clave: Acuicultura no convencional, pez invasor, nutrición, cocodrilo de pantano

ABSTRACT | On the search to develop foods that are low cost and of high nutritional value, the use of the sailfin pleco (*Pterygoplichthys* sp.), is considered as a possible food source for the Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*). The fishes were dehydrated to be grinded in a feedmill with a motor of ½ hp, and obtain fishmeal (50 kg), which was mixed with sorghum (10 kg), molasses (22 kg), calhidra (6 kg), cement (4 kg), calcium carbonate (2 kg) and a vitamin premix (2 kg), to made pellets in a pelletizing machine. For the evaluation of the proposed diet, 32 crocodiles with one week of hatching were required, which were divided into two heterogeneous groups, of 16 organisms each group, which

were fed with pellets made with pleco flour and with a conventional diet with chicken viscera suggested by FAO for crocodiles hatchling of farms. Length and weight records were measured for nine months (October 2016 - June 2017). Feeding supply was carried out under the recommendations of the FAO Manual for the Exploitation of Crocodile in Captivity, which mentions that it must be done twice a week with an individual portion of 25% of the body's weight. Significantly higher growth was observed in crocodiles fed the diet based on pellets ($\bar{x}L = 22.68$ cm, SE = 4.78 cm) with regard the diet based on chicken viscera ($\bar{x}L = 21.43$, SE = 9.04; $t(16) = 1.86$, $df = 175.16$, $p < 0.5$). In conclusion, the use of pleco flour as an alternative food for neonatal Morelet's crocodiles in captivity, turns out to be a non-conventional sustainable aquaculture proposal to the south region of Tamaulipas.

Keywords: Non-conventional aquaculture, invasive fish, nutrition, Morelet's crocodile.

INTRODUCCIÓN

México posee una gran riqueza de especies silvestres, lo que representa un potencial enorme como alternativa productiva (SEMARNAT, 2012). Algunas de esas especies, que pueden ser aprovechadas, y que además fascinan a la población por ser organismos de gran tamaño y aspecto atractivo, son los cocodrilianos.

Una de las 24 especies de cocodrilianos que existen en el mundo, con un alto potencial de aprovechamiento en México, es el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), motivo por el cual en la década de los setenta estuvieron en riesgo de desaparecer, principalmente a causa de la cacería para el comercio de su piel y carne. Como consecuencia de ello, la especie se encuentra catalogada bajo estatus de riesgo de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, por sus siglas en inglés), y su comercio internacional es regulado por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés).

Por su parte, en México, la normatividad describe a la especie como organismos que podrían llegar a encontrarse amenazados por factores que inciden negativamente en su viabilidad (NOM-059-SEMARNAT-2010). Debido a la situación crítica que sufrió esta especie, y bajo su estatus de protección, el organismo solo puede ser explotado a través de granjas registradas ante la autoridad como Unidades de Manejo Ambiental (UMA), las cuales centran esfuerzos en su aprovechamiento sustentable, principalmente para comercializar su piel y carne. Por lo tanto, estas granjas de cocodrilo de pantano, son consideradas un agronegocio redituable para los campesinos de las comunidades rurales que cuentan con cuerpos de agua naturales, como en la zona sur de Tamaulipas, una región de transición entre las cuencas hidrológicas del Lago San Andrés-Lago Morales y la Cuenca Río Tamesí-Río Pánuco, y que además alberga un amplio sistema lagunar-estuarino, en donde se encuentran hábitats exclusivos de *Crocodylus moreletii*, ideales para el su aprovechamiento sustentable.

Por otro lado, la introducción en aguas continentales de los “plecos”, peces miembros de la familia Loricariidae, por su abundancia y amplia distribución como especies exóticas invasoras, se han convertido en un problema económico para los pescadores (Barba y Cano-Salgado, 2014; Lienart et al.,

2013). Para México, ya se han identificado un total de ocho diferentes especies (Especies Invasoras de alto Impacto a la Biodiversidad: Prioridades en México). Estos organismos, conocidos comúnmente como plecos o peces diablo, con morfología espinosa y acorazada, ocasionan cortes en las mallas produciendo pérdidas económicas, significativas, en las artes de pesca (Mendoza-Carranza *et al.*, 2008).

En el Estado de Tamaulipas, en los últimos años con el incremento de las poblaciones de plecos, los pescadores han señalado que se duplica el esfuerzo pesquero para la obtención en cantidad de lo que se percibía antes de su llegada (CONAPESCA, 2018). Además, esta especie no es de total agrado del mercado de consumo, por lo que las intenciones de transformación y comercio han sido muy lentas (Cano-Salgado *et al.*, 2012), lo que ha generado una problemática adicional, ya que estos pescados suelen ser desechados de forma inadecuada, apilándolos en las orillas de los cuerpos de agua y muelles donde fueron capturados, ocasionando mal aspecto, olores desagradables y también es atrayente de vectores zoonóticos, lo que conduce a daños en la salud pública por este mal manejo.

Debido a la problemática anterior, en la búsqueda para desarrollar alimentos que sean de bajo costo y de alto valor nutrimental, se consideró el aprovechamiento del pleco como posible fuente alimenticia para el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), y de esta forma promover el rancheo de este reptil que se presenta como una opción de actividades productivas, priorizando su manejo en las zonas donde se distribuye de manera natural y que, además, permite acciones para conservar su hábitat, la biodiversidad local, los ecosistemas y obtener recursos económicos que se reflejará en una mejora en el nivel de vida de las comunidades locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto fue dividido en dos fases. Para la Fase 1, se elaboró la harina de “pleco” (*Pterygoplichthys* sp.), a partir de una técnica artesanal, que consiste en la deshidratación del producto pesquero en un secador solar de aluminio de tres pisos, durante un tiempo suficiente para que alcancen un secado adecuado, y que facilite su posterior molienda, pero evitando superar temperaturas que desnaturalicen sus proteínas.

Se utilizó un molino con motor de ½ hp para obtener harina, a la que se le realizó un análisis bromatológico utilizando las técnicas del AOAC (1985), para determinar proteína cruda (PC), humedad (H), ceniza (C), extracto etéreo (EE) y fibra detergente neutro (FDN). Posteriormente se realizó una formulación, en donde se introdujeron las materias primas y los requerimientos nutricionales del organismo. Finalmente, para la elaboración de los pellets se utilizó sorgo molido, pericarpio, premezcla de vitaminas y minerales, melaza, calhida y la harina de pleco.

La Fase 2 del proyecto consistió en evaluar, por nueve meses, dos dietas suministradas a dos grupos de 16 cocodrilos de un mes de edad. La primera dieta fue convencional, la cual, de acuerdo al Manual para la Explotación de Cocodrilo en Cautividad de la FAO (Bolton, 1994), es a base de vísceras de pollo; y la segunda dieta, la experimental, consistió en los pellets elaborados a base de pleco. Durante

el primer trimestre, se midió cada mes la longitud, en centímetros, de cada organismo alimentado, y se determinó su peso en gramos. Posteriormente, las tallas se midieron cada dos meses. Finalmente, para conocer las diferencias entre ambas dietas (pellets y vísceras de pollo), sobre el crecimiento de los cocodrilos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a la tasa de crecimiento corporal y al índice de masa corporal en el software estadístico R 3.5.1.

RESULTADOS

Se observó crecimiento significativamente mayor de los cocodrilos alimentados con la dieta a base de pellets de harina ($\bar{x}L = 22,68$; SE = 4,78), que la dieta a base de vísceras de pollo ($\bar{x}L = 21,43$; SE = 9,04; $t(16) = 1,86$; $df = 175,16$, $p < 0,5$).

El crecimiento de los cocodrilos se puede observar en la Fig. 1. Los resultados del análisis de la varianza indican que existe una fuerte dependencia ($R^2 = 0,9125$; $F = 1982$; $DF = 1-90$; $p < 0,001$), entre talla (L) y el peso (P) de los organismos, para ambas dietas. Observando diferencias significativas en el crecimiento entre dietas ($F = 1102,85$; $gl = 5$; $p < 0,001$).

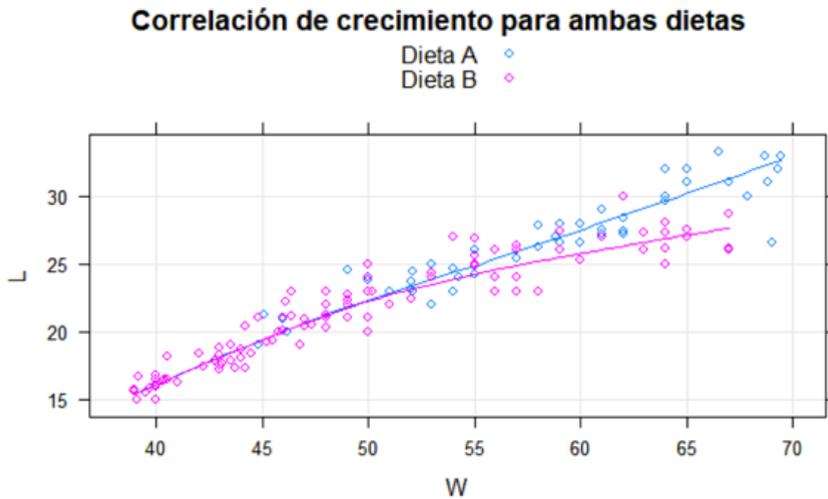


Figura 1. Relación de crecimiento Talla (L) y Peso (W) de crías de cocodrilo, para dietas a base de pellets de harina de pleco (dieta A) y vísceras de pollo (dieta B).

La Fig. 2 muestra el aumento de tallas comparando ambas dietas suministradas a los dos grupos de cocodrilos, observándose una marcada diferencia en el aumento de longitud (cm) a partir del mes IV, siendo la de mayor longitud por parte del grupo de organismos alimentados con la dieta A, que consistió en pellets elaborados a partir de harina de pleco.

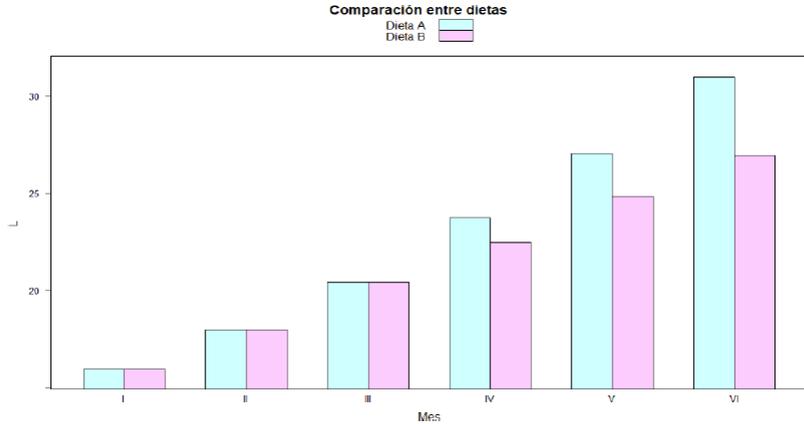


Figura 2. Aumento de talla en cm (L) en el tiempo que duró el estudio para la dieta a base de pellets elaborados con harina de pleco (dieta A) y vísceras de pollo (dieta B). I: octubre; II: noviembre; III: diciembre; IV: febrero; V: abril; VI: junio.

En la Fig. 3 se observa que en los primeros dos meses el comportamiento del aumento de peso fue similar, mostrando diferencia en el tercer mes, ganando más peso con la dieta convencional que consiste en vísceras de pollo. Esto probablemente es debido a los ácidos grasos contenidos en esta dieta (Cupul, 2004). Sin embargo, para el cuarto mes se observó el remonte de crecimiento en los organismos alimentados con pellets elaborados con harina de pleco. Este efecto se ve reflejado en una correlación entre su talla y peso.

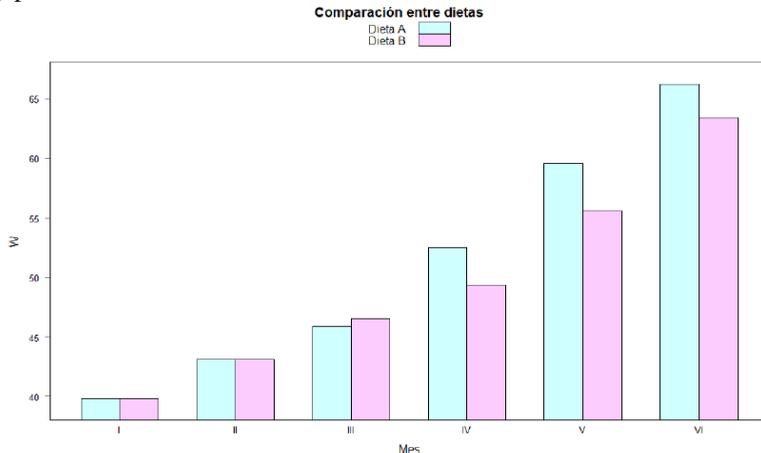


Figura 3. Aumento del peso en gramos (W) en el tiempo que duró el estudio para la dieta a base de pellets elaborados con harina de pleco (Dieta A) y vísceras de pollo (Dieta B). I: octubre; II: noviembre; III: diciembre; IV: febrero; V: abril; VI: junio.

En la Fig. 4 se puede observar como los organismos alimentados con la dieta a base de pellets, elaborados con harina de pleco, alcanzan mayores tallas que aquellos cocodrilos que fueron alimentados con vísceras de pollo.

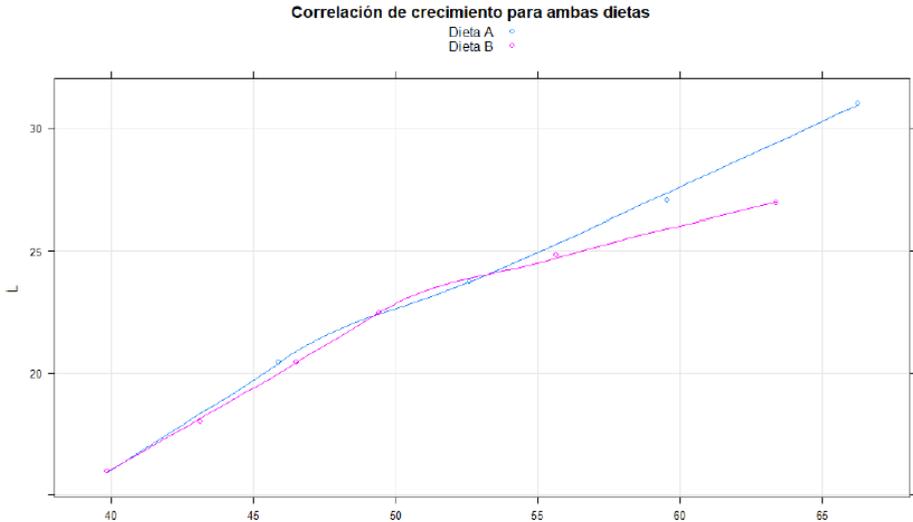


Figura 4. Comparación del crecimiento de cocodrilos en función de la relación longitud hocico cloaca (L, en cm) con el peso (P, en g), para ambas dietas. Dieta A: Pellets elaborados con harina de pleco; Dieta B: Vísceras de pollo.

DISCUSIÓN

Los presentes resultados son similares a los mostrados en otros estudios, como los realizados por Pérez (2009), en donde se usaron como biomodelo de estudios 90 neonatos de *C. acutus*, que fueron alimentados con tres dietas experimentales (A: pescados marinos, hígado y pulmón de res; B: pescado y C: larvas de moscas), resultando más efectiva la dieta B (de pescado) que las dietas A y C. Estos trabajos previos dejan como evidencia una mayor eficiencia nutricional con dietas a base de pescado (reflejándose en su peso y talla), sobre otras dietas. Sin embargo, en el estudio mencionado, debe tomarse en cuenta que el pescado fue 14 veces más caro que el resto de los componentes utilizados para las otras dietas (Pérez, 2009).

Algunos autores consideran que los cocodrilianos deben ser alimentados con dietas de alto contenido en proteínas y grasas, como los valores reportados en el presente estudio con la dieta a base de pellets de pleco.

En un trabajo anterior, realizado por Santos (1993), se compararon cuatro dietas (pescado, crustáceos, moluscos e insectos acuáticos), en 20 ejemplares de caimán (*Crocodilus yacare*), los cuales fueron alimentados desde su nacimiento hasta los 88 días de vida. En ese estudio, ninguna de las monodietas ensayadas resultó adecuadas para esta especie, aunque la mayor tasa de crecimiento se reportó para una dieta proporcionada con pescados. El autor infiere que su resultado se debió a la falta de grasas, ya que se le suministró solo la parte blanda del pescado. Considerando lo anterior, para el presente trabajo se tomó la decisión de incluir todo el pescado para la elaboración de la harina, y no discriminar, tal como el organismo lo haría en el medio natural, y de esta forma se pudo observar un aumento de la talla de en los cocodrilos alimentados con los pellets elaborados a base de harina de pleco.

De esta forma, queda demostrado que existe una alta velocidad de crecimiento, con mayores ganancias de talla y peso, con una alimentación a base de harina de pescado, como en el estudio realizado por Jiménez (2006), en neonatos de caimán (*Crocodilus fuscus*).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que el crecimiento, tanto en talla como en peso, de los cocodrilos, es mayor con una dieta a base de pellets de harina de pleco, con respecto a la dieta típica recomendada por la FAO a base de vísceras de pollo.

Este trabajo es pionero en el análisis de un alimento comprimido, los pellets, para ser suministrados en la dieta de cocodrilos de pantano en cautiverio. Por otro lado, el estudio resulta ser innovador, debido a que los estudios realizados hasta ahora no aprovechan un recurso local y que, además, el pescado utilizado en la harina, genera problemáticas económicas y ecológicas en los cuerpos lacustres que ha invadido.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que es viable usar al pleco, debido a que es considerada como una plaga para los pescadores de la zona sur de Tamaulipas, como una alternativa alimenticia de alto contenido proteico y bajo costo (\$ 4,70 por kg), comparándolo con respecto al precio de la dieta convencional de vísceras de pollo reportado por la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) para abril de 2018 (a \$ 8,00 por kg), en la alimentación de los cocodrilos en cautiverio.

Si bien, la generación de pellets para la alimentación de un organismo que siempre ha sido alimentado con menudencias refrigeradas, trae consigo una serie de características que no son contempladas, como la necesidad de tratamientos previos y la adquisición de maquinaria especializada, las ventajas que representa la presentación del alimento en esta forma comprimida, son las siguientes: en una cantidad mínima de alimento se encuentran todos los componentes necesarios para una

alimentación balanceada formulada para el cocodrilo, particularmente en la etapa de desarrollo en la que le fue proporcionada en este estudio; el peletizado evita la selección de ciertos ingredientes por parte del cocodrilo, por lo que impide desperdicio de alimento; mediante esta presentación, existe mayor digestibilidad de almidones y proteínas, disminuye el riesgo de enfermedades, ya que reduce por mucho la cantidad de desecho que se descompone en cautiverio para la explotación comercial, evitando la generación de olores desagradables, y manteniendo por más tiempo la limpieza del lugar, lo que reduce también la mano de obra; el almacenamiento es menos especializado, ya que solo se necesita mantenerlo en una bodega, dentro de contenedores de materiales inertes, por lo que no es necesaria su refrigeración; y se ha observado que la calidad proteica permanece nutrimentalmente aceptable alrededor de los seis meses.

La alimentación de animales de aprovechamiento mediante pellets elaborados de harina de pleco, además de evitar problemas de contaminación ambiental y desequilibrio ecológico, generará una ventaja social, como una fuente extra de ingresos, durante la contingencia invasora causada por este organismo.

El aprovechamiento de *Pterygoplichthys sp.* en una actividad productiva como la elaboración de harina, impacta de manera positiva en el ambiente, al ser retirada del medio una especie que ha tenido diversas repercusiones en la fauna nativa (Guzmán, 1997). Así también la minimización de los problemas de salud pública que ocasionan los desechos de este pez debido a que no son aprovechados por los pescadores que no les encuentran un valor económico viable.

Finalmente, antes de suministrar de forma definitiva los pellets a base de harina de pleco para la alimentación de cocodrilos, se recomienda replicar el presente trabajo a lo largo de la estacionalidad anual, con la intención de no marginar el experimento por un efecto de temporalidad.

Agradecimientos

Se agradece a la Unidad de Manejo Ambiental S.O.S Cocodrilo, por la aportación de los organismos para la realización del presente trabajo y a los pescadores libres de la Laguna de Champayan que proporcionaron de una manera constante la materia prima para la elaboración del alimento.

REFERENCIAS

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1985). Official Methods of Analysis. 14th Edition, Washington, D.C. No. 43.292.

- Barba, E., Cano-Salgado, M. P. (2014). Abundancia del plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) en sistemas lagunares y ribereños de la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. En A. M. Low Pfeng y E. M. Peters Recagno (Eds.), *Especies invasoras acuáticas, casos de estudio en ecosistemas de México* (pp. 293–311). México D.F.: SEMARNAT.
- Bolton, M. (1994). La explotación del cocodrilo en cautividad. *Guía FAO Conservación*. 22:156 p.
- CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (2014), Informe Anual. México. 306 pp.
- CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (2018), Informe Anual. México. 293 pp.
- Cano-Salgado, M. P., Baltazar, E. B. y Barba, E. (2012). Innovación social y capacidad de organización de las cooperativas pesqueras en el municipio de Balancán, Tabasco, México. *Estudios Sociales*, 20, 65–98.
- Cupul-Magaña, F. G., A. De Niz-Villaseñor, A. Reyes-Juárez, y A. Rubio-Delgado. (2004). Historia natural del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) en el estero Boca Negra, Jalisco, México: anidación y crecimiento de neonatos. *Ciencia y Mar* 9: 31-42.
- Guzmán A. F., Barragán S. (1997). Presencia de bagres sudamericanos (Osteichthyes: Loricariidae) en el río Mezcala, Guerrero, México. *Vertebrata Mexicana*, 3: 1-4.
- Jiménez G, Afanador G, Viorello HJ. (2006). Evaluación de la inclusión de harina integral de carne de gallina de desecho en alimentos completos balanceados para neonatos de babilla (*Caiman crocodylus fuscus*; Cope, 1868) y su efecto sobre el crecimiento y la productividad en cautiverio. *Memorias de la Conferencia Interna en Medicina y Aprovechamiento de Fauna Silvestre, Exótica y no Convencional*, 2(1): 26-36.
- Lienart, G. D. H., Rodiles-Hernández, R., Capps, K. A. (2013). Nesting burrows and behavior of nonnative catfishes (Siluriformes: Loricariidae) in the Usumacinta-Grijalva Watershed, México. *The Southwestern Naturalist* 58 (2), 238-243
- Mendoza-Carranza, M., Martínez-Gutiérrez, M. L., Segura-Bertolini, E. C., Hernández-López, A. (2008). Memorias del taller diagnóstico de la pesca en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla: la perspectiva social de pesca en los Pantanos de Centla. *Distrito Federal, México: El Colegio de la Frontera Sur*, 96pp.
- Pérez G. M, Naranjo C, Reyes B, Vega I. (2009). Influencia de dos tipos de dietas sobre la talla y el

Maya et al.

peso corporal de *Crocodylus acutus*. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(1): 151-160.

Santos SA, Pinheiro MS, Silva RA. (1993). Efeitos de diferentes dietas naturais no desenvolvimento inicial de *Caiman crocodilus yacare*. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 22(3): 406-412.

SEMARNAT (2012). Cocodrilo de Pantano. Manual Técnico para Beneficiarios: Manejo de Vida de Silvestre. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 32 pp.

SEMARNAT (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-169-SEMARNAT-2010, Diario Oficial de la Federación. 78 pp.



Influencia de la surgencia costera y estratificación sobre la condición fisiológica de *Echinometra lucunter* en Isla Lobos, Venezuela

Influence of coastal upwelling and stratification on the physiological condition of *Echinometra lucunter* in Isla Lobos, Venezuela

Jeny Reyes-Lujan¹, Daniel Polanco-Marin¹, Edgar Zapata-Vivenes², Dwight Arrieche³, César Lodeiros Seijo⁴

¹Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

²Grupo de Biología y cultivo de equinodermos (INBICEQ), Ecuador.

³Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas, Dra. Susan Tai, Universidad de Oriente, Venezuela.

⁴Departamento de Acuicultura y Pesca, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

 **Jeny Reyes-Lujan** () E-mail: jenyreyes1@gmail.com

RESUMEN | *Echinometra lucunter* (Echinometriidae) es un equinoideo con potencial de cultivo en Venezuela que, en la región nororiental del país, se encuentra sometido a la variabilidad ambiental ocasionada por la surgencia costera y la estratificación. El uso de índices fisiológicos permite conocer la condición de salud de la población. En esta investigación, se evaluó la variación de algunos índices de condición fisiológica de *E. lucunter* durante las épocas de surgencia costera y estratificación, en Isla Lobos, nororiente de Venezuela. Mensualmente, desde junio 2010 hasta noviembre 2011, se colectaron quince ejemplares de *E. lucunter* con tallas superiores a 20 mm de diámetro de testa, midiendo a cada individuo la masa húmeda total (g), y el diámetro y la altura de la testa (mm). Luego se extrajo el estómago y se pesó (g). Se determinaron el Índice de llenado (ID), índice de condición (*Kn*) y la relación talla-peso. Se observaron diferencias importantes en ambas épocas, siendo los valores más bajos del ID y *Kn* durante la surgencia costera.

Palabras clave: *Echinometra lucunter*, surgencia costera, índice de llenado, índice *Kn*.

ABSTRACT | *Echinometra lucunter* (Echinometriidae) is an echinoid with potential for cultivation in Venezuela that, in the northeastern region of the country, it is subject to environmental variability caused by coastal upwelling and stratification. The use of physiological indices such as the filling index and the condition index (*Kn*), allows to quickly know the condition of the population. In this research, the variation of some indices of the physiological condition of *E. lucunter* was evaluated during times of coastal upwelling and stratification, in Isla Lobos, located in the northeastern region of Venezuela. Monthly, from June 2010 to November 2011, fifteen specimens of *E. lucunter* with sizes greater than 20 mm in test diameter were collected, measuring the total wet mass (g), and the diameter and height of the test (mm). The stomach was then removed and weighed (g). The following physiological condition indices were determined: filling index (ID), condition index (*Kn*) and the length-weight relationship. Important differences were observed in both seasons, being the lowest values of the ID during the coastal upwelling.

Keywords: *Echinometra lucunter*, coastal upwelling, filling index, index *Kn*.

INTRODUCCIÓN

Echinometra lucunter conocido como erizo negro, es un equinoideo relativamente abundante en los ecosistemas tropicales; en Venezuela representa una especie con potencial para el cultivo, debido a su corto periodo embriológico (16 h) y larvario (12 h) y altas tasas de sobrevivencia cuando se alimenta con monocultivos de *Chaetoceros gracilis* y producción de gónadas en poco tiempo (Astudillo *et al.*, 2005). En el nororiente del país, algunos trabajos señalan que las bajas temperaturas promueven la gametogénesis (Reyes *et al.*, 2015a); mientras que la ingestión del alimento parece estar relacionada con la disponibilidad de biomasa fitoplanctónica (Reyes *et al.*, (2015b). No obstante, existen pocas investigaciones que determinen el efecto de la modulación ambiental sobre equinoideos en zonas tropicales con influencia de surgencia costera, como es el caso de la zona nororiental de Venezuela, donde se genera una gran variabilidad ambiental, especialmente de estos dos factores (Sellers *et al.*, 2019).

Los estudios de condición asumen que los organismos más pesados de una talla dada, poseen mejor condición fisiológica (salud), por lo que es común el uso de índices como indicadores indirectos del bienestar de las poblaciones (Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla, 2008). Una de las mejores formas de analizar esto es a través del uso de la relación longitud-peso y del índice de condición relativa Kn (Cone, 1989). Otro índice utilizado es el de llenado del estómago (ID) el cual permite obtener una medida indirecta de la ingestión del alimento por parte del organismo (Cobb y Lawrence, 2005). Dado que estos índices varían mensualmente y son dependientes de los factores ambientales, conocer su fluctuación en épocas constantes como la surgencia costera y la estratificación, permitirían conocer el estado de salud de la población de *E. lucunter*.

En esta investigación se muestra la variación de algunos índices de condición de *E. lucunter* en una isla situada a mar abierto, sometida a la influencia de la surgencia costera y estratificación, en el nororiente de Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección y procesamiento de los organismos

Se realizaron muestreos desde junio 2010 hasta noviembre 2011 en Isla de Lobos, situada a mar abierto, en la Península de Araya, estado Sucre, Venezuela. Mensualmente se colectaron quince ejemplares en edad reproductiva de *E. lucunter*, con tallas superiores a 20 mm de diámetro de testa (Mariante *et al.*, 2009, Stephen *et al.* 2007). A cada organismo se le midió la masa húmeda total (g), y el diámetro y la altura de la testa (mm). Luego se extrajo el estómago y se pesó (g) con una balanza analítica (0,01 mg).

Índices de condición fisiológica

Para analizar la condición fisiológica del intestino, se utilizó el índice de llenado (ID), el cual permite obtener una medida indirecta de la ingestión de alimento por parte del erizo. Se estimó con la siguiente relación (Cobb y Lawrence, 2005): $ID = (\text{peso húmedo del intestino}/\text{peso húmedo total del cuerpo}) \times 100$.

El índice de condición relativa (Kn), es un indicador del bienestar relativo (salud) de un organismo, y expresa cómo difiere el peso de un individuo dado respecto al valor esperado calculado para la población. Se determinó a partir de los parámetros a y b (obtenidos del modelo alométrico), datos de peso (W) y longitud (L) para cada mes y la muestra total, según la relación utilizada de Herrero-Pérezrul y Reyes-Bonilla (2008), donde:

Kn = índice de condición

W = peso del organismo (g)

L = longitud (DT en mm)

a = la ordenada, b = la pendiente (parámetros obtenidos del modelo alométrico)

En el caso de erizos, el Kn indica que en relación a su talla (DT en mm):

$Kn = 1$: poseen un peso normal

$Kn < 1$ = están por debajo del peso esperado

$Kn > 1$ = están por encima del peso esperado

La relación talla-peso permite estudiar el crecimiento relativo de un organismo, ya que a partir de esta se puede estimar la biomasa utilizando la distribución de frecuencias de tallas y el peso (Tomšić *et al.*, 2010). La relación del diámetro de la testa y peso se analizó con base en el modelo alométrico general (Sparre y Venema, 1995), donde:

W = peso en g,

L = longitud del cuerpo (DT en mm)

a = la ordenada, b = la pendiente

VARIABLES AMBIENTALES

Se utilizaron los registros ambientales aportados por Reyes (2014) de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad, séston, oxígeno disuelto (mg/L) y clorofila a . Los datos de temperatura se utilizaron para discriminar dos épocas ambientales en la zona estudiada: surgencia costera ($<24^{\circ}\text{C}$) y estratificación ($>24^{\circ}\text{C}$)

(Pirela-Ochoa *et al.*, 2008).

Tratamiento estadístico

Los registros de temperatura obtenidos durante el periodo de muestreo se utilizaron para discriminar dos épocas ambientales: surgencia costera ($<24\text{ }^{\circ}\text{C}$) y estratificación ($>24\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Pirela-Ochoa *et al.*, 2008). Para el tratamiento de los datos se utilizó el programa Statistix versión 10.0 (Statistix versión 10.0, 2015). Se comprobó la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza. En los datos con varianzas homogéneas se aplicó un ANOVA de una vía y una prueba a posteriori de Tukey; en caso contrario se empleó estadística no paramétrica (prueba de Kruskal-Wallis) (González, 2009). Diferencias significativas se establecieron con $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

En Isla Lobos las siguientes variables ambientales mostraron diferencias significativas entre los meses: temperatura (KW = 70,00; $P < 0,05$), el oxígeno disuelto (KW = 56,10; $P < 0,05$), (KW=53,85; $P < 0,05$), seston (KW =83,79; $P < 0,05$), y salinidad (KW=52,25; $P < 0,05$). La temperatura promedio fue $26,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($24,0\text{-}29,53\text{ }^{\circ}\text{C}$), y la clorofila *a* $1,96\text{ mg/m}^3 \pm 1,58$ (0-7,3), mostrando ambas variables un comportamiento inverso.

El ID promedio ($3,53\% \pm 2,10$ Desviación Estándar) mostró diferencias significativas entre las épocas (ANOVA: $gl = 1$; $F = 11,59$; $p < 0,05$), valores máximos se presentaron durante la época de estratificación, en septiembre 2010 ($5,73\% \pm 5,17$) y septiembre 2011 ($5,47\% \pm 3,81$), mientras que los mínimos en surgencia costera, especialmente en enero 2011 ($2,00\% \pm 0,79$) (Figura 1). El ID estuvo relacionado con la temperatura, oxígeno disuelto y seston inorgánico.

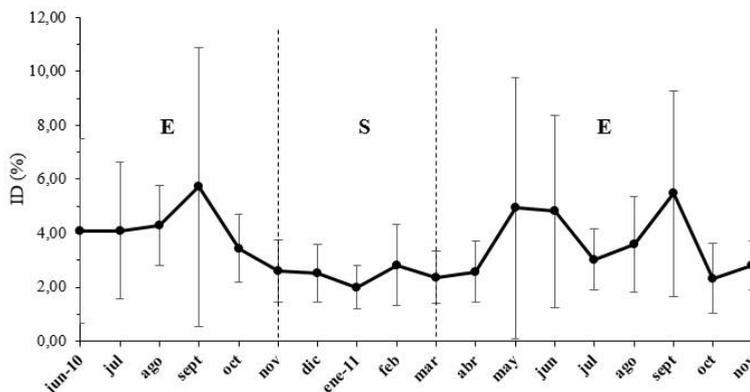


Figura 1. Variación del ID de *E. lucunter* durante estratificación (E) y surgencia costera (S)

El Kn , osciló entre 0,59 y 1,30 ($1,02 \pm 0,23$ EE), con valores máximos durante la época de estratificación y menores en surgencia costera. Se detectaron diferencias significativas entre las épocas ($gl= 1$; $F= 12,27$; $p < 0,05$). La prueba *a posteriori* de Tukey indicó que las diferencias de valores máximos en surgencia 1,10 y mínimos en estratificación 0,99 (Figura 2). El Kn estuvo relacionado con el seston inorgánico y la clorofila *a*.

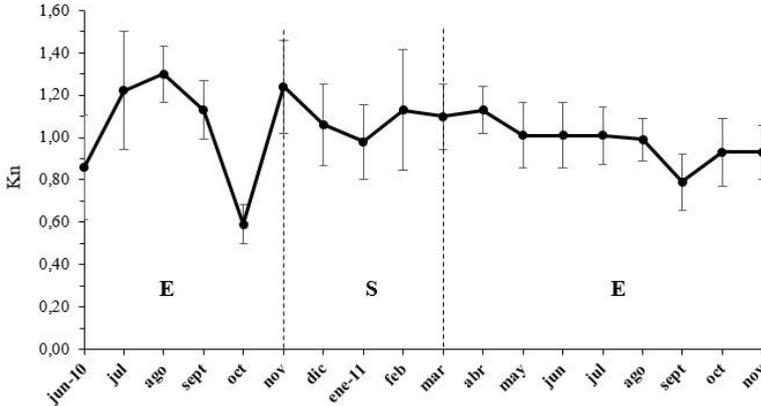


Figura 2. Variación del Kn de *E. lucunter* durante estratificación y surgencia costera

La relación diámetro-peso en *E. lucunter* fue significativa y con un crecimiento alométrico minorante. La ecuación que explica la relación es $W = 0,0031 * L^{2,4873}$, con un parámetro de determinación de $r^2 = 0,80$ (Figura. 3). Se encontraron diferencias altamente significativas ($t = 34,28$; $p < 0,05$) en relación al coeficiente de regresión “*b*” y para el modelo en general ($gl = 1$; $F = 1175,65$; $p < 0,05$).

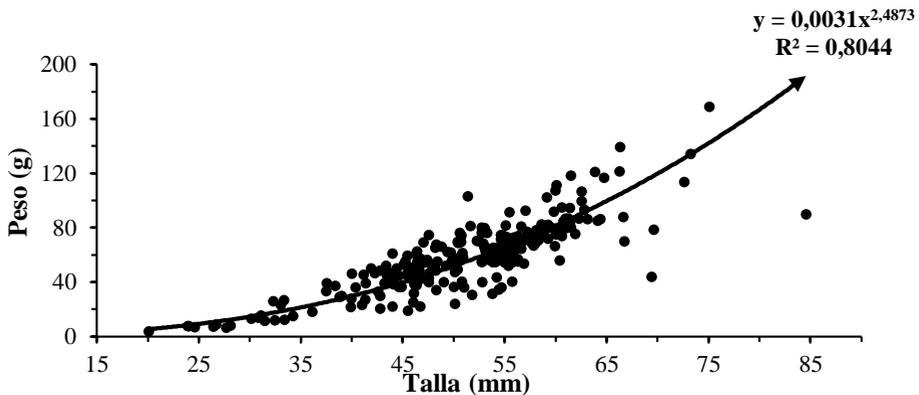


Figura 3. Relación diámetro-peso para *Echinometra lucunter* en Isla Lobos

DISCUSIÓN

Varios factores ambientales cambian considerablemente entre los periodos de surgencia costera y la relajación (estratificación) en el nororiente de Venezuela; esta variabilidad es mayormente manifestada en la temperatura del agua y la biomasa fitoplanctónica estimada por la concentración de clorofila *a*, factores que mostraron las principales fluctuaciones. Las máximas temperaturas fueron alcanzadas durante la estratificación, y las mínimas durante la surgencia costera (noviembre 2010 - marzo 2011); la clorofila mostró un comportamiento inverso a esta variable. El resto de las variables no registraron variaciones importantes que pudieran producir efectos notables en la fisiología de los invertebrados marinos de la zona. Resultados similares han sido referidos para la zona nororiental del país (Lodeiros y Hiemmelman, 1994; Pirela-Ochoa *et al.*, 2008; Freitas *et al.*, 2013).

Las variaciones mensuales observadas en los índices de condición posiblemente se encuentran asociadas a las condiciones ambientales predominantes en la región nororiental de Venezuela. En este trabajo, los valores más elevados del ID se registraron durante la época de estratificación, lo cual difiere de lo señalado por Reyes *et al.* (2015a) en la Ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, donde los mayores registros se encontraron durante la surgencia costera. En Isla Lobos si bien predominan durante todo el año las corrientes marinas y el oleaje, es probable que el efecto sea mayor durante la surgencia, influyendo sobre la ingesta de alimento por parte de los erizos. Es importante realizar estudios sobre el alimento disponible para *Echinometra* en la zona, que permitan conocer su preferencia y disponibilidad durante todo el año.

El valor promedio de *Kn* (1,02) indica que los organismos poseen un peso ligeramente superior en relación a sus tallas, lo cual sugiere buenas condiciones de salud para la población (Jones *et al.*, 1999). Por otro lado, valores de *Kn* alcanzaron máximos entre mayo-septiembre (estratificación) y mínimos entre noviembre y marzo (surgencia costera); datos que coinciden con las épocas de iniciación de la gametogénesis y desove respectivamente, reportada para esta especie por Reyes *et al.* (2015b). En este trabajo los organismos analizados superaban en promedio los 59,4 g, coincidiendo con la edad reproductiva esperada para esta especie. Sin embargo, se debe ser cauteloso con estos resultados, dado que las gónadas sirven no solo para la producción de gametos sino también para el almacenamiento de nutrientes (Hughes *et al.*, 2006). Por lo tanto, el conocimiento de este fenómeno, puede generar ventajas para el aprovechamiento del recurso, lo que resulta de gran interés en acuicultura.

Uno de los principales indicadores de potencial pesquero de erizos es el diámetro y la presencia de gónadas con tallas adecuadas para el mercado (González, 2004). La relación potencial talla-peso ($W=a*Lb$) es uno de los métodos más empleados para estudiar el crecimiento relativo de erizos (Tomšić *et al.*, 2010). Esta relación resulta de gran importancia para plantear el manejo del recurso, puesto que permite estimar la biomasa a partir de la distribución de tallas (González, 2009). *Echinometra lucunter*

mostró un crecimiento alométrico negativo (también llamado minorante), lo indica que al crecer su testa se aplanan en los polos. Estos resultados son esperados ya que esta especie habita en madrigueras, generalmente en el área intermareal. La menor altura respecto al diámetro permite ofrecer una menor resistencia al movimiento del agua con la misma superficie de fijación, disminuyendo las posibilidades del erizo de ser desplazado; lo que capacita a los individuos colonizar zonas de elevado hidrodinamismo, que resultan limitadas para otras especies (Tuya *et al.*, 2007). Datos de crecimiento de *Echinometra lucunter* en este estudio son pioneros para Venezuela, pero deben interpretarse con cautela debido a que las presiones a las cuales son sometidos los erizos pueden variar entre las localidades.

CONCLUSIONES

Los índices de condición fisiológica de *E. lucunter* mostraron diferentes comportamientos entre la surgencia costera y la estratificación. Es probable que los procesos hidrológicos ocasionados por el elevado oleaje y las corrientes oceánicas, tengan una influencia adicional sobre la ingesta del alimento de este erizo, evidenciado por los cambios en el índice de llenado del intestino. En general la población muestra buenas condiciones de salud, según evidencia el *Kn*.

Agradecimientos

Al proyecto PEII, No. 2012000236 “Evaluación poblacional del erizo *Echinometra lucunter* y su factibilidad de cultivo en las costas del estado Sucre, Venezuela” 2012-2014. Al Personal técnico de Centro de Investigaciones ecológicas de Guayacán de la Universidad de Oriente, Núcleo Sucre, Venezuela.

REFERENCIAS

- Cobb J., Lawrence J. (2005). Diets and coexistence of the sea urchins *Lytechinus variegatus* and *Arbacia punctulata* (Echinodermata) along the central Florida gulf coast. *Marine Ecology Progress Series*, 295: 171–182.
- Freites L., García N., Lodeiros C., Maeda-Martínez A., Troccoli L., Vasquez A., Guderley H. (2013). Seasonal change in macromolecular support of reproduction of the tropical scallop *Nodipecten nodosus*: evidence from lipid content and fatty acid profiles of four tissues. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1 - 10.
- González S. (2004). Biología poblacional del erizo *Echinometra vanbrunti* (Echinodermata: Echinoidea), en el sur del Golfo de California, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones

Biológicas del Noroeste, S.C, La Paz. 105 pp.

- González, J. (2009). Contribución al conocimiento del erizo de mar *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) en el Mar Cantábrico: Ciclo gonadal y dinámica de poblaciones. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria, Santander, España. 450 pp.
- Herrero-Pérezrul M., Reyes-Bonilla H. (2008). Weight-Length relationship and relative condition of the holothurian *Isostichopus fuscus* at Espíritu Santo Island, Gulf of California, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 273-280.
- Lodeiros C., Himmelman J. (2000). Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo de Cariaco, Venezuela. *Aquaculture*. 182: 91-114.
- Murillo-Navarro R., Jiménez-Guirado D. (2012). Relationships between algal food and gut and gonad conditions in the Mediterranean sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lam.). *Mediterranean Marine Science*, 13/2, 227-238.
- Pirela-Ochoa E., Troccoli L., Hernández, I. (2008). Hidrografía y cambios en la comunidad del microfitoplancton de la Bahía de Charagato, Isla de Cubagua, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 47(1): 3-15.
- Reyes J. (2014). Influencia de los factores ambientales sobre el ciclo reproductivo y la gametogénesis de *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) en el Nor-oriente de Venezuela, estado Sucre. Tesis Doctoral. Universidad de Oriente, Núcleo Sucre. Venezuela.
- Reyes J., Arrieche D., Zapata-Vívenes E., Barrios J., Salgado W., Lodeiros C. (2015b). Ciclo gametogénico del erizo marino *Echinometra lucunter* (Echinometra: Echinoidea) en el Noriente de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 63 (2): 273-283.
- Reyes J., Barrios J., Arrieche D., Zapata-Vívenes E., Salgado W., Lodeiros C. (2015a). Dieta del erizo negro *Echinometra lucunter* (Echinometra: Echinoidea) en el Nororiente de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 63 (2): 233-242.
- Sellers A., Leung B., Torchin M. (2019). Global meta-analysis of how marine upwelling affects herbivory. *Global Ecology and Biogeography*, 29(2): 370-383.
- Sparre P., Venema S. (1997). Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Roma,

Italia. DANIDA- FAO.

Stephen D.W., Brown J.S., Ydenberg R.C. (2007). Foraging Behavior and Ecology. University of Chicago Press, DOI: [10.7208/chicago/9780226772653.001.0001](https://doi.org/10.7208/chicago/9780226772653.001.0001)

Statistix 10.0. Analytical Software. (2015). Tallahassee, Florida, USA. Disponible en <https://www.statistix.com/>.

Steneck R., Dethier M. (1994). A functional group approach to the structure of algal dominated communities. *Oikos*, 69: 476-498.

Tomšić S., Conides A., Dupčić radić I., Glamuzina B. (2010). Growth, size class frequency and reproduction of purple sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) in Bistrina (Adriatic Sea, Croatia). *Acta Adriatica*. 51(1): 67-77.

Tuya F., Cisneros-Aguirre J., Ortega-Borges L., Haroun, R. (2007). Bathymetric segregation of sea urchins on reefs of the Canarian archipelago: Role of flow-induced forces. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3-4): 481-488.



Quem conta um conto aumenta um ponto: cuidados com a mudança de paradigma

A tale never loses in the telling: considerations for the shifting etnobaseline

Sérgio Ricardo Brito Santos¹, Márcio Luís Chagas Macedo¹, Thaís Rodrigues Maciel¹, Gabriel Barros Gonçalves Souza¹, Laís da Silva Almeida², Otto Bismarck Fazzano Gadig³, Marcelo Vianna¹

¹BioTecPesca – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ/Brasil.

²Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ/Brasil.

³Laboratório de Pesquisa de Elasmobrânquios – Universidade Estadual Paulista, São Vicente, São Paulo/Brasil.

✉ Sérgio Ricardo Brito Santos () E-mail: srbs.ufjf@gmail.com

Resumo | O conhecimento tradicional oferece uma fonte complementar de dados ainda mais importante no contexto de países tropicais e em desenvolvimento. O presente estudo foi conduzido com pescadores de comunidades tradicionais que se distribuem na área entre a Região dos Lagos e o norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. O estudo foi desenvolvido com base em entrevistas semi-estruturadas, com profissionais com no mínimo 30 anos de experiência na pesca. Foram questionados sobre as alterações na comunidade biológica em que atuam, como relatos de mudanças na abundância das espécies, desaparecimento de pescados ou inserção de novos, bem como alterações de peso e tamanho. Os etnonomes obtidos foram confirmados a nível específico, sempre que possível, por meio de fotografias e descrições complementares. Os valores de tamanho e peso foram recalculados com base nos parâmetros biológicos das espécies. Foram entrevistados 35 pescadores, com idades entre 39 a 76 anos. O tempo de atividade na pesca variou de 30 a 57 anos, com média de 39,9 anos. Pescadores reportaram estimativas que distoam do esperado segundo a relação peso-comprimento conhecida para as espécies. Em geral, as estimativas tenderam a ser mais próximas ao esperado nos comprimentos dos peixes de maior porte. Foram identificados 60 etnonomes, incluindo variações, associados a 55 categorias de pescado. Deste total, foi possível associar as denominações a 46 espécies ou gêneros da ictiofauna local, enquanto três etnonomes não puderam ser relacionados a qualquer identificação taxonômica. O estudo permitiu resgatar dois novos registros importantes da presença de *Carcharodon carcharias* em águas brasileiras. Este estudo é resultado de pesquisa financiada pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade e pelo Projeto de Educação Ambiental Pescarte, que é uma medida de mitigação exigida pelo Licenciamento Ambiental Federal, conduzido pelo IBAMA.

Palavras-chave: etnoconhecimento, pesca artesanal, nomes comuns, Brasil

Abstract | Ethnoknowledge offers a complementary source of data even more important in the context of tropical and developing countries. The present study was conducted with fishermen from traditional communities that are distributed in the area between the Region of the Lakes and the north of the State of Rio de Janeiro, Brazil. The study was developed based on semi-structured interviews, with professionals with at least 30 years of experience in fishing. They were asked about changes in the biological community in which they

operate, such as reports of changes in species abundance, disappearance of fish or insertion of new ones, as well as changes in weight and size. The obtained ethno-names were confirmed at a specific level, whenever possible, by means of photographs and complementary descriptions. The values of size and weight were recalculated based on the biological parameters of the species. Thirty-five fishermen were interviewed, with ages between 39 to 76 years old. Fishing activity time ranged from 30 to 57 years, with an average of 39.9 years. Fishermen reported estimates that differed from what was expected according to the known weight-length ratio for the species. In general, the estimates tended to be closer to what was expected in the lengths of larger fish. Sixty ethno-names were identified, including variations, associated with 55 categories of fish. Of this total, it was possible to associate the denominations with 46 species or genera of the local ichthyofauna, while three ethno-names could not be related to any taxonomic identification. The study allowed to rescue two important new records of the presence of the *Carcharodon carcharias* in Brazilian waters. This study is the result of research financed by the Brazilian Fund for Biodiversity and the Pescarte Environmental Education Project, which is a mitigation measure required by the Federal Environmental Licensing, conducted by IBAMA.

Keywords: ethnoknowledge, artisanal fisheries, common names, Brazil

INTRODUÇÃO

Os impactos da atividade pesqueira precisam ser analisados num contexto de alterações ecossistêmicas contínuas e históricas, concomitante à colonização e expansão demográfica de uma região, bem como às mudanças tecnológicas da frota e petrechos de captura. Dessa forma, a pesca representa um quadro mutável onde os parâmetros das condições ótimas dos ecossistemas precisam refletir o quanto o ambiente já foi alterado ao longo do tempo. A síndrome da mudança de paradigma (“*Shifting baseline syndrome*”), conceito proposto por Pauly (1995), é descrita como a adulteração da memória coletiva por alterações graduais das condições ambientais, devido a perda de informações pretéritas, e também pela falta de experiência das novas gerações com as condições pasadas, inviabilizando a percepção das mudanças. Assim, sem o registro acurado dessas alterações, o estado de conservação de um ecossistema reflete um componente geracional, no qual o que um conjunto de pessoas interpreta como estado pristino de um ambiente não condiz com a mesma percepção de uma geração anterior ou posterior. Isso implica necessariamente que o estado considerado ideal de uma área de pesca não representa a condição ótima da teia trófica encontrada antes de qualquer intervenção humana. Isso é ainda mais relevante no contexto histórico de comunidades de pescadores artesanais e na dimensão dos impactos já causados por elas e as demais intervenções humanas (Pinnegar e Engelhard, 2008).

O levantamento histórico da atividade pesqueira permite resgatar e inferir alterações tróficas e ecossistêmicas ao longo do tempo e espaço, bem como acompanhar mudanças tecnológicas que

alteraram o esforço de pesca (Freire *et al.*, 2015; Prestrelo e Vianna, 2016). No caso da pesca artesanal brasileira, ainda que contribuições acadêmicas tenham sido publicadas (*e.g.* Silva-Júnior *et al.*, 2008; Prestrelo *et al.*, 2019), os órgãos governamentais de diferentes esferas e períodos falharam em monitorar a pesca ao longo do século XX. O quadro se repete em maior ou menor grau em vários outros países, principalmente os em desenvolvimento, relevando a necessidade do uso do conhecimento empírico acumulado pelos pescadores artesanais para reconstituir o histórico da pesca e permitir que a lacuna de dados temporais seja minimizada.

Apesar da mudança de paradigma ser abordada em vários estudos onde o conceito foi demonstrado (*e.g.* Giglio *et al.*, 2015), é necessário um esforço para melhorar o entendimento sob quais as condições que guiam os casos de mudança de paradigma, bem como levar em consideração a escala espacial em que ocorrem (Soga e Gaston, 2018). O estudo do etnoconhecimento de pescadores artesanais serve como um excelente objeto para se ampliar o entendimento e oferece não apenas uma fonte de dados para observar padrões temporais, não disponíveis na literatura acadêmica ou nos órgãos de monitoramento, mas também permite avaliar casos de mudança em comunidades isoladas e restritas na sua capacidade de deslocamento e exploração dos recursos (Soga e Gaston, 2018). O presente trabalho foca nos pescadores artesanais, da Região dos Lagos ao norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Área de grande interesse histórico, econômico e ecológico, com o objetivo de observar a percepção de alterações ambientais, com base no histórico da produção pesqueira e suas características reveladas pelos pescadores mais experientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área entre a Região dos Lagos e o norte do Estado do Rio de Janeiro, local do estudo, na costa sudeste do Brasil, se estende entre 21°S a 23°S, 11 municípios e mais de 1,3 milhão de habitantes (IBGE, 2010) (Figura 1). Duas massas d'água predominam sobre a plataforma continental da região, a saber: a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), caracterizada por águas frias (6°C-18°C, 34,5‰S-36,0‰S) fluindo em direção contrária à Corrente do Brasil, e a Água Superficial (ST), uma combinação de águas costeiras e oceânicas (<18°C, >36‰S) com aportes continentais e inserções periódicas da ACAS provocadas por ressurgências periódicas (Viana *et al.*, 1998). O dinamismo desse encontro de massas d'água resulta num ecossistema rico, com ocorrência concomitante de espécies de áreas tropicais e temperadas, muitas das quais de interesse econômico. O histórico da ocupação humana da região também é antigo, sendo habitado desde antes da colonização europeia, no século XVI, por populações nativas praticantes de várias modalidades de pesca, muitas das quais ainda em uso na região pela pesca artesanal (Bernardes e Bernardes, 1950; Lopes *et al.*, 2016).

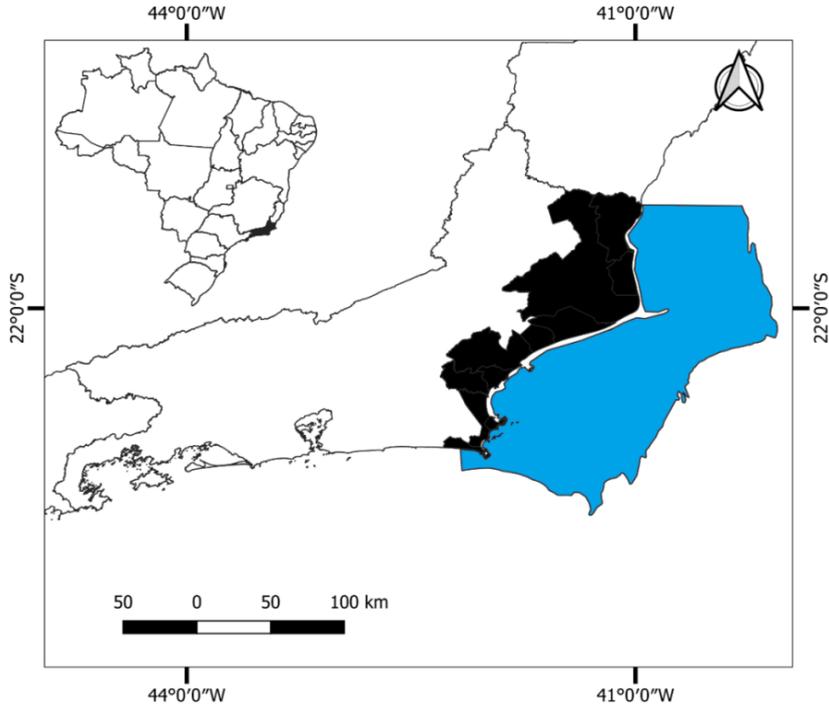


Figura 1. Estado do Rio de Janeiro (Brasil), em preto os municípios com pescadores artesanais entrevistados e em azul a área marinha que se estende do litoral até a isóbata de 100m, onde ocorre a maior parte da atuação desses pescadores.

Etnoconhecimento

O estudo foi desenvolvido com base em entrevistas semiestruturadas, com pescadores locais, com no mínimo 30 anos de experiência na pesca, com atividade comercial e histórico de atuação na região costeira estudada. Estes pescadores representam a pesca artesanal praticada com o uso de uma ampla variedade de artes, em uma parte da costa brasileira historicamente conhecida pela atividade pesqueira (Braga *et al.*, 2020). Foi dada preferência aos pescadores com maior tempo de atuação na pesca e/ou que fossem apontados como lideranças e portadores da memória da pesca na região. Foram levantados o tempo de atuação na pesca, a idade e os petrechos utilizados pelos entrevistados, bem como a ligação familiar com a pesca, em graus de parentesco. Os pescadores foram questionados em relação a percepção de alterações na comunidade biológica onde atuam, tais como relatos de mudanças na abundância das espécies, desaparecimento de pescados ou inserção de novos, bem como alterações de peso e tamanho. Também foram obtidos registros fotográficos e relatos das capturas mais memoráveis (recordes) dos principais pescados, como maior captura em volume total de produção, maior indivíduo

e maior peso. Os dados foram organizados em planilhas e complementados com informações biológicas disponíveis na literatura. Os etnonomes obtidos nas entrevistas foram confirmados ao nível específico, sempre que possível, por meio de fotografias e descrições complementares. Os valores de tamanho e peso foram recalculados com base nos parâmetros biológicos das espécies (*e.g.* Vianna *et al.*, 2004; Catelani *et al.*, 2017). Esses cálculos tiveram como objetivo estimar a diferença em relação ao esperado, com base na relação peso-comprimento, com a informação fornecida pela memória do pescador. Tamanhos máximos conhecidos para as espécies também foram obtidos (Froese e Pauly, 2019).

RESULTADOS

Foram entrevistados 35 pescadores artesanais, pertencentes a sete municípios, com idades variando de 39 a 76 anos e média de 57,6 anos, dos quais 77,1% se encontram em atividade, enquanto os demais estão aposentados. O tempo de atividade na pesca variou de 30 a 57 anos, com média de 39,9 anos. Do total, 37% são pescadores sem tradição familiar com a pesca, outros 37% são filhos de pescadores e 26% pertencem a linhagens antigas de pescadores, sendo a terceira ou quarta geração dedicada à pesca (Figura 2).

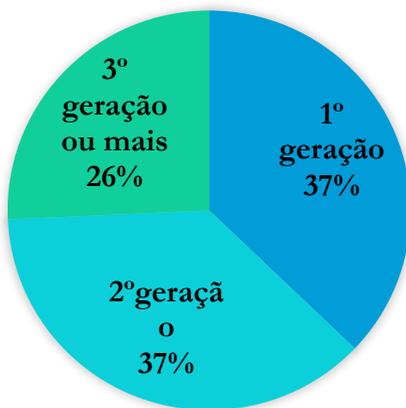


Figura 2. Porcentagem de entrevistados divididos por gerações da família dedicada à pesca, em municípios da Região dos Lagos até o norte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil).

Os recordes reportados pelos pescadores se referem a capturas obtidas basicamente com uso de redes (emalhe de fundo, pareja e arrasto), constituindo 62,5% dos recordes e 83,4% da produção total, com quase 250 toneladas. Linha e anzol foi o segundo principal petrecho utilizado, com 29,7% dos registros e 10,6% da produção. Já espinhel e armadilha apresentaram proporção consideravelmente menor (Tabela 1). A produção total reportada foi avaliada ao longo das últimas décadas, sendo exposta a redução na escala em que os recordes ocorreram nas últimas três décadas (Figura 3).

Tabela 1. Recordes de produção relatados por pescadores da Região dos Lagos até o norte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil), separados por petrecho, em número e produção total.

Petrechos	Recordes	% Recordes	Produção (Kg)	% Produção
Armadilha	1	0,8	600	0,2
Espinhel	9	7,0	17290	5,8
Linha e anzol	38	29,7	31472	10,6
Rede de arrasto	6	4,7	13630	4,6
Rede de emalhe	74	57,8	234063	78,8
	128	100	297055	100,0

Os pescadores relataram a captura de 55 categorias de pescado, sendo as mais recorrentes o peróá *Balistes capriscus*, xerelete *Caranx crysos*, dourado *Coryphaena hippurus*, pargo *Pagrus pagrus* e enchova *Pomatomus saltatrix*. Destas, três categorias apresentaram redução no comprimento total dos indivíduos reportados entre os recordes anteriores a 2009 e a última década: dourado, pargo e enchova (Tabela 2). Nota-se que *B. capriscus* e *P. saltatrix*, classificadas como vulnerável, segundo a IUCN (2012), tiveram comportamentos distintos. Enquanto foi observada a redução no comprimento dos indivíduos na última década para *P. saltatrix*, no caso de *B. capriscus* foi observado um aumento de tamanho.

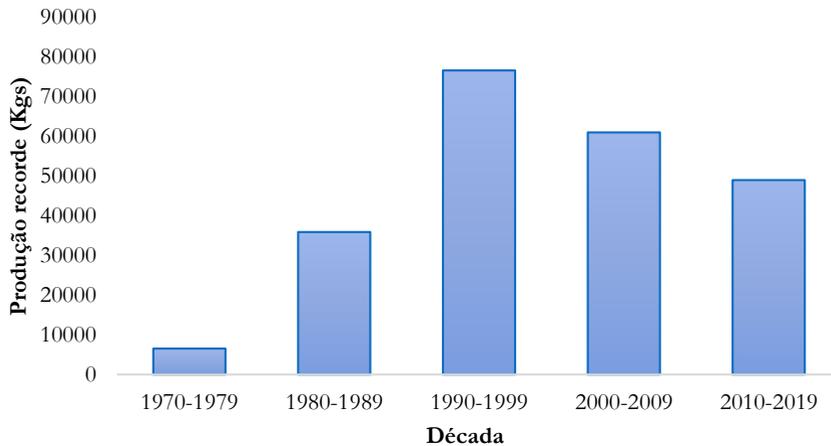


Figura 3. Produção total dos recordes reportados por pescadores artesanais, da Região dos Lagos até o norte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil), agrupados por décadas.

As estimativas de peso relatadas pelos pescadores foram mais imprecisas do que a riqueza taxonômica reportada. Com ampla dispersão de dados, a média do peso dos recordes citados tendeu a ser sobrestimado em 122,2% do valor retrocalculado, com base no comprimento oferecido,

apresentando um desvio-padrão de 346,7% (Tabela 3).

Tabela 2. Variação no comprimento total (CT) médio, reportado por pescadores da Região dos Lagos até o norte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil), em recordes (registros máximos), anteriores a 2009 e na última década (2010-2020).

Categoria	Espécie	relatos	CT médio (cm)		
			1968-2009	2010-2020	IUCN
peroá	<i>Balistes capriscus</i>	8	48,0	54,7	VU
xerelete	<i>Caranx crysos</i>	8	32,6	34,3	LC
dourado	<i>Coryphaena hippurus</i>	9	125,9	104,7	LC
pargo	<i>Pagrus pagrus</i>	14	59,8	40,1	LC
enchova	<i>Pomatomus saltatrix</i>	16	85,4	78,5	VU

Tabela 3. Comparativo entre os relatos de peso e comprimento dos recordes reportados por pescadores, da Região dos Lagos até o Norte Fluminense (Brasil), e os valores estimados com base na relação peso-comprimento. Peixes agrupados por tamanho (CT, m) e peso (PT, kg).

Peixes (geral)	Dif. CT (%)	CT>1m	Dif. CT (%)	0,3m>CT>1m	Dif. CT (%)	CT<0,3m	Dif. CT (%)
Média	-23,1	Média	3,7	Média	-26,9	Média	-31,9
Mediana	-25,4	Mediana	-0,3	Mediana	-31,2	Mediana	-31,9
Desv.Pad.	25,8	Desv.Pad.	19,9	Desv.Pad.	23,5	Desv.Pad.	23,9
Peixes (geral)	Dif. PT (%)	>10kg	Dif. PT (%)	1kg>PT>10kg	Dif. PT (%)	<1kg	Dif. PT (%)
Média	134,1	Média	97,6	Média	192,1	Média	76,2
Mediana	65,3	Mediana	83,1	Mediana	185,6	Mediana	76,2
Desv.Pad.	165,2	Desv.Pad.	139,3	Desv.Pad.	183,0	Desv.Pad.	121,0

As informações de comprimento das espécies passadas pelos pescadores, quando comparadas com o esperado, segundo a relação peso-comprimento, mostram distinção nas diferentes faixas de tamanho. Com base em 82 capturas, os relatos foram 23,1% menores do que o esperado. No entanto, quando agrupados por tamanhos (CT>1m, 0,3m>CT>1m e CT<0,3m), a precisão é maior nos peixes de grande porte, com mais de 1 metro, com uma diferença de 3,7% maior do que o esperado. Ainda que o desvio padrão tenha sido de 19,9%. Os registros de médio e pequeno porte foram mais subestimados. Para peixes médios, os relatos foram em média 26,9% ($\pm 23,5\%$) menores, enquanto que a média foi de 31,9% nos peixes menores ($\pm 23,9\%$). Quando a mesma análise é aplicada às estimativas de peso, entre o reportado e o esperado, pela relação peso-comprimento, os dados foram mais destoantes, com clara tendência a superestimar o peso em relação ao tamanho relatado. Com base em 55 capturas, os relatos atribuíram peso 134% ($\pm 165,2\%$) maior do que o esperado. Assim como em relação ao tamanho, as

estimativas foram distintas entre faixas de peso. Em peixes de maior peso (>10kg), os relatos tenderam a superestimar o peso quase o dobro do esperado (97,6%, $\pm 139,3\%$). Nos peixes mais leves (<1kg), os relatos superestimaram o peso numa proporção menor (76,2%, $\pm 121,0\%$). O grupo intermediário (1kg>PT>10kg) apresentou as maiores distorções entre o peso relatado e o esperado, tendo superestimado o relatado em 192,1% ($\pm 183,0\%$) (Tabela 3).

Dois conjuntos de espécies de importância ecológica e econômica, os tubarões/cações e as pescadas/pescadinhas, foram analisados e tiveram comportamentos opostos. Os tubarões formam um amplo grupo de Selachii onde são tratados como um agrupamento denominado cações. Ainda que os pescadores consigam identificar espécies e grupos menores: como cambeva (*Sphyrna* spp.), tintureira (*Galeocerdo cuvier*), anequim (*Isurus oxyrinchus*), entre outros, o conjunto é tratado de forma agrupada em uma ou poucas categorias no desembarque pesqueiro. Já pescadas e pescadinhas refletem outro grupo diverso de espécies de Sciaenidae com morfologia similar, na maioria *Cynoscion* e *Macrodon* (Santos e Vianna, 2017). Os registros citados pelos pescadores mostraram redução na escala e no número de grandes eventos de captura de tubarões, com queda de 35,5% na captura total, ao mesmo tempo em que se tornaram 25% mais raros nos últimos 20 anos. Já para pescadas e pescadinhas, a comparação entre os últimos 20 anos e as duas décadas anteriores mostraram um aumento de 54,1% nos recordes reportados e um incremento de 44,4% nas capturas recordes (Tabela 4).

Tabela 4. Variação temporal nos recordes para os agrupamentos tubarões/cações e pescadas/pescadinhas, reportados por pescadores da Região dos Lagos até o norte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil).

	Tubarões/cações		Pescadas/pescadinhas	
	Total (Kg)	Registros	Total (Kg)	Registros
1960-1980	3542	3	1500	1
1980-2000	18228	12	7480	9
2000-2020	11762	9	11530	13

O estudo permitiu resgatar e adicionar mais dois registros da presença do tubarão-branco, *Carcharodon carcharias*, em águas brasileiras (Figura 4), espécie com rara ocorrência previamente reportada na costa atlântica da América do Sul (Gadig e Rosa, 1996; Cione e Barla, 2008; Amorim *et al.*, 2018), mas o levantamento junto aos pescadores obteve registros para *Carcharodon carcharias*, com informações e evidências fotográficas. No relato mais antigo, a captura de um *C. carcharias*, em 1968, foi reportada por um pescador de 76 anos que o mencionou como um indivíduo de 11 m e de 6 ton. A preservação do registro fotográfico desta captura permitiu confirmar a ocorrência da espécie, bem como realizar a correção da estimativa de tamanho atribuída ao indivíduo. Foi possível obter o comprimento com base nas proporções das nadadeiras, resultando em um espécime de 5,3 m, com peso

estimado em 2,2 ton. Outros registros foram feitos pelos pescadores artesanais e resgatados no estudo, como o do tubarão-tigre *Galeocerdo cuvier*, com quatro capturas relatadas, indicando a presença de indivíduos juvenis e adultos na região, com espécimes variando de 20 a 360 kg (191 a 393 cm CT), com um registro fotográfico de 1990. Assim como os registros individuais, o resgate de dados também foi informativo em relação a grandes capturas em volume de produção, destacadamente a pesca por cerco de praia de um considerável número de tubarões-galha-preta *Carcharhinus brevipinna*, em Arraial do Cabo, em 2005. Também foi resgatada a captura de um exemplar do robalo-flecha *Centropomus undecimalis*, que pode ser o registro de maior tamanho para a espécie. O peso reportado para o espécime capturado foi de 30 kg, o que potencialmente representaria um indivíduo de cerca de 1,5m CT. Tais dimensões são superiores aos records reportados para o gênero no Brasil (1,13m CT) e no restante do Atlântico Ocidental (24,3 kg) (IGFA, 2019).

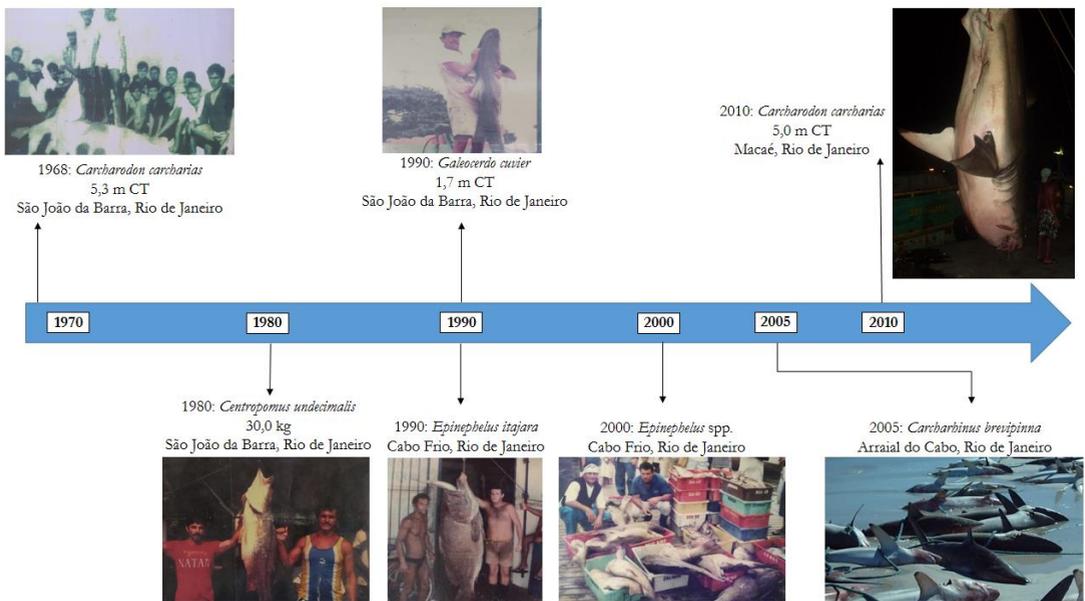


Figura 4. Registros fotográficos de capturas records fornecidas por pescadores artesanais do Norte Fluminense e da Região dos Lagos (Rio de Janeiro, Brasil) ocorridas nos últimos 50 anos.

Foram identificados 60 etnonomes utilizados pelos pescadores, incluindo variações, associados a 55 categorias de pescado. Deste total, foi possível associar as denominações a 46 espécies ou gêneros da ictiofauna local, enquanto três etnonomes não puderam ser relacionados a qualquer identificação taxonômica. Além dos etnonomes associados aos cações e às pescadas e pescadinhas, também foi observado o uso de outros sete etnonomes que englobam agrupamentos não específicos de peixes ou crustáceos, como nos casos de garoupas (Epinephelinae), bonitos (Thunninae) e camarão (Penaeidae).

Seis etnonomes foram usados para as espécies de Selachii, cobrindo desde nomes genéricos, como tubarão ou cação, até específicos como o tubarão-baleia *Rhincodon typus*. Os elasmobrânquios também apresentaram múltiplas designações para a mesma espécie, como registrado para *Galeocerdo cuvier* (cação-marimbondo, cação-tigre) e *Carcharodon carcharias* (tubarão-branco, anequim-boto). Além disso, apesar de cação e tubarão serem designações equivalentes, a Selachii é dominante sob o etnonome cação. Os teleósteos foram o grupo de maior diversidade de etnonomes, o que reflete a diversidade observada nos ecossistemas da região. Por sua vez, os teleósteos também representaram o principal grupo tratado em agrupamentos não específicos, como o grande número de espécies inclusas nos etnonomes sardinhas, manjubas, garoupas, bem como as já citadas pescadas e pescadinhas. Os três principais crustáceos explorados comercialmente (*Artemesia longinaris*, *Xiphopenaeus kroyeri* e *Farfantepenaeus* spp.) também foram mencionados pelos entrevistados.

DISCUSSÃO

Conhecimento tradicional e tecnologia da pesca

A abordagem sobre o conhecimento tradicional, no contexto dos ecossistemas marinhos, são uma temática relativamente recente e em franca expansão, sendo essencial o investimento em uma estrutura colaborativa que una pesquisadores, gestores e pescadores, visando integrar os conhecimentos empírico e científico (Thornton e Scheer, 2012; Abreu *et al.*, 2017). Os pescadores entrevistados mostraram que boa parte dos profissionais constituem a primeira ou segunda geração de pescadores. Em estudo anterior, Bender *et al.* (2014) já haviam apontado a ocorrência da mudança de paradigma (“*shifting baseline*”) em entrevistas junto a pescadores de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, mostrando a remoção de espécies e perdas de biomassa em várias categorias comerciais, incluindo tubarões e garoupas. A mudança de paradigma expõe não apenas a perda do referencial do conhecimento coletivo sobre as mudanças ambientais no longo prazo, como envolve outra perda ainda mais danosa no contexto das comunidades tradicionais. O conhecimento tradicional demanda que as novas gerações sejam capacitadas pelas gerações anteriores para minimizar a perda do conhecimento transmitido. Dessa forma quando a mudança de paradigma se traduz em alterações na composição e biomassas, a perda do conhecimento tradicional também incute a perda na capacidade de reconhecer a fauna local, o que inviabiliza que mudanças desses componentes sejam perceptíveis pelas gerações seguintes.

O volume de capturas não estabelece uma relação direta com a escala da produção pesqueira da região, mas é aceitável que a redução da biomassa disponível das espécies comerciais proporcione menos oportunidades de grandes capturas pelos pescadores. O presente estudo demonstrou que esses eventos têm se reduzido nas últimas três décadas, tanto em volume capturado, como em número de eventos registrados. Bender *et al.* (2014) também apontaram o declínio dos estoques de pescados na região, baseado não apenas na análise de capturas com petrechos diversos, por entrevistas com

pescadores de Arraial do Cabo, mas também na observação da abundância de peixes por censo visual e análise da produção pesqueira. As entrevistas com relatos de recortes produzidos com vários petrechos ainda que principalmente por rede e linhas diversas, sugerem indícios que o quadro encontrado por Bender *et al.* (2014) está presente na região nos últimos 30 anos. Também corroborando o cenário de declínio da saúde ambiental da região e sua ictiofauna, a redução no tamanho dos peixes citados pelos pescadores, como para a enchova *Pomatomus saltatrix*, o pargo *Pagrus pagrus* e o dourado *Coryphena hippurus*, sugerem que pelo menos os estoques dessas espécies estão sob grande pressão pesqueira. É importante notar que os relatos se baseiam em entrevistas com pescadores artesanais, mas os mesmos recursos são alvo de interesse por parte da pesca industrial, sendo inclusive ponto de conflito entre as duas pescarias.

Estimativas de peso e tamanho

A acurácia nas estimativas de tamanho e peso dos peixes relatados são de extrema importância para o uso desses valores como complemento aos dados oficiais da atividade e produção pesqueira pretéritas. O potencial é ainda maior considerando as históricas lacunas no conhecimento das espécies comerciais e da atividade pesqueira de pequena escala (Begossi *et al.*, 2016). Quando comparados os valores estimados, com base nas relações peso-comprimento, os pescadores relataram valores próximos do esperado no caso de tamanho, em especial dos peixes maiores. Ainda que a variação tenha sido grande, tanto nos registros agregados, como nas classes de tamanho analisadas, a diferença em média foi de menos de 25%. Isso demonstra a viabilidade de se obter dados da pesca e condições dos estoques, com base nas memórias dos pescadores. Mesmo que não seja possível substituir esses dados pelos gerados por um monitoramento contínuo da atividade pesqueira, prática necessária e indispensável para o manejo sustentável da pesca, eles permitem dar uma referência pontual para as categorias mais citadas nas entrevistas de uma dada comunidade ou região. A distorção de estimativas para o blenídeo *Salarias fasciatus* foi avaliada por St. John *et al.* (1990) com base em mergulhos na Austrália. Os autores compararam as estimativas de mergulhadores especialistas e registraram uma acurácia média para tamanho de 86%, tendo sido comparado ao estimado por biólogos. A acurácia foi pouco superior à média para todos os peixes nos relatos dos pescadores artesanais, o que pode ser creditado ao fato dos mergulhadores estarem focados em apenas uma espécie. Além disso, outro importante aspecto levantado por St. John *et al.* (1990) é o viés de cada observador que pode superestimar ou subestimar peixes em determinada faixa de tamanho. Isso ajuda a entender os altos valores de desvio-padrão aqui apresentados, com a diferença nas médias das classes de tamanho, variando de 31,9% nos peixes menores de 30 cm a 3,7% nos peixes acima de 1 metro.

A confiabilidade das estimativas de tamanho feitas por especialistas também foi comparada à de observadores leigos para *Carcharodon carcharias* (May *et al.*, 2019), verificando-se que a precisão dos cientistas experientes foi superior a do público leigo. A experiência e a constância com que os peixes

são observados e identificados é fundamental para a qualidade dos registros de tamanho relatados. Nesse contexto, a acurácia do pescador experiente é mais próxima da observada por cientistas do que pelo público leigo, com maior precisão para peixes grandes e de interesse comercial, como identificado no presente estudo. Quando a análise é feita para o peso, o padrão encontrado é de menor precisão nas estimativas. O que sugere menor confiança no uso desses dados, com diferenças médias superiores a 76% e grande variação nas estimativas.

Etnonomes e registros históricos

O uso de nomes vulgares na análise do monitoramento da atividade pesqueira no Brasil é um conhecido problema para a qualidade dos dados e a correta determinação do esforço de pesca ao qual as espécies exploradas estão submetidas (Freire e Pauly, 2005). O problema é ainda maior no contexto dos nomes utilizados na pesca artesanal, onde o isolamento de comunidades de pescadores propicia o desenvolvimento de uma linguagem própria, dentre as quais os etnonomes utilizados para denominar as espécies mais comuns ou de maior interesse pesqueiro (Santos e Vianna, 2017; Marques *et al.*, 2019). Em levantamento feito por Freire e Pauly (2005), com base nos dados oficiais de monitoramento pesqueiro brasileiro, o etnonome cação foi usado para 20 espécies de tubarões. Já pescadas/pescadinhas são etnonomes associados a 13 espécies, basicamente Sciaenidae, mas também espécies de *Sphyaena* (Sphyaenidae) (Freire e Pauly, 2005; Santos e Vianna, 2017). Barbosa-Filho *et al.* (2021), com base em entrevistas com pescadores do nordeste brasileiro, encontraram uma média de 4,8 etnonomes por espécie de tubarão, salientando que tal riqueza de nomes inviabiliza o monitoramento do desembarque pesqueiro em nível específico se não for feito em parceria com pescadores especialistas da região monitorada. Apesar de menos nomes relatados, a mesma recomendação de Barbosa-Filho *et al.* (2021) se aplica ao presente estudo. A riqueza de nomes, no entanto, não é aleatória e faz referências anatômicas, ontogenéticas, ecológicas ou comportamentais, que abrem a oportunidade de se aproveitar o etnoconhecimento para melhorar os dados monitorados. Tal sugestão, também feita por Barbosa-Filho *et al.* (2021), precisa considerar o etnoconhecimento em diferentes gerações de uma mesma comunidade, bem como as diferenças entre comunidades distintas. As entrevistas na região estudada revelaram etnonomes distintos para a mesma espécie, como para o tubarão-tigre *Galeocerdo cuvier*, também chamada de tintureira e marimbondo. A variedade de etnonomes ocorreu em comunidades próximas e nos últimos 30 anos, o que mostra que nomes diferentes podem coexistir, sem predomínio de uma forma.

O uso do nome pescada e pescadinha é exemplar para mostrar a complexidade dos etnonomes e os limites da sua utilização pela academia e pelos órgãos responsáveis por monitorar a pesca. A principal família associada ao etnonome, Sciaenidae, é uma das mais importantes para a pesca comercial brasileira. Desta família, o etnonome pescada ou pescadinha é o que engloba o maior número de espécies, sendo aplicado tanto a formas marinhas de *Cynoscion* e *Macrodon*, como dulcícolas de

Pachyurus, *Plagioscion* e *Pachypops*. Além destas, outras espécies de Sciaenidae também são associadas ao nome, como *Isopisthus parvipinnis*, mais comumente associada ao etnonome faneca, e *Nebris microps*, conhecida como pescada-rolão, pescada-banana ou pescada-rosa (Santos e Vianna, 2017). As dificuldades encontradas em pescadas e pescadinhas também se repetem em outras categorias do desembarque pesqueiro brasileiro, como os linguados. Seu uso contínuo na estatística pesqueira sem a devida identificação taxonômica representa um grande obstáculo ao uso dos dados oficiais de desembarque, com consequências já identificadas no ritmo da produção científica sobre a biologia e a pesca dessas espécies (Santos e Vianna, 2017; Santos e Vianna, 2018). Pescada ou pescadinha ainda tem o uso do etnonome aplicado a grupos distintos como para espécies do gênero *Sphyaena* (Sphyaenidae), que são comumente conhecidas como pescada-bicuda ou bicuda. Além disso, traços culturais da origem portuguesa ainda permaneceram nas comunidades de pescadores. O que é particularmente importante no Rio de Janeiro, um dos locais mais antigos da colonização portuguesa das Américas. O etnonome pescada, aplicado a *Merluccius* (Merluccidae) na costa portuguesa, também é utilizado por pescadores da costa do Rio de Janeiro, como pescada-portuguesa para *Merluccius hubbsi* ainda que seja mais comumente conhecido como merluza (Santos e Vianna, 2017).

Relevante nos dados levantados, o etnonome pescada e pescadinha foi mencionado em 26 relatos, mas apenas doze destes incluíram estimativas de peso e tamanho. Ainda assim, existe um possível indicativo de que seja aplicada como referência às dimensões do espécime capturado, sendo relativamente independente da espécie. Dessa forma, uma mesma espécie pode ser tratada como pescadinha ou pescada, dependendo da faixa de tamanho que os pescadores interpretam como o limite para essas formas. Apesar de arbitrário, os dados coletados apontam para um limite de peso, onde todas as formas com menos de 1 kg foram associadas a pescadinha, bem como de tamanho, com formas menores de 40 cm mencionadas como pescadinha. Ainda como consequência desse raciocínio, as limitações específicas de tamanho podem adquirir alguma precisão taxonômica. Adultos da pescada-amarela *Cynoscion acoupa*, espécie que alcança mais de 1m de comprimento total, não seriam descritas como pescadinha, apenas suas formas jovens, mas todos os indivíduos capturados de *I. parvipinnis* seriam tratados como faneca ou associados a pescadinha, já que a espécie não alcança 40 cm. Etnonomes aplicados a diferentes tamanhos também são recorrentes em outros grupos de pescado como descrito por Ferreira-Araújo et al. (2021) para pequenos pelágicos do nordeste brasileiro, tratados como ginga ou sardinha. Os autores relatam que o primeiro etnonome foi associado basicamente a Clupeidae menores de 7 cm, enquanto espécimes maiores de 10 cm foram citados pelos pescadores como sardinha. Mais entrevistas são necessárias para validar os valores apontados pelos dados, sendo necessário verificar o quanto as variações pessoais deslocam esses limites dentro de uma comunidade de pescadores, bem como alterações intergeracionais do etnoconhecimento.

O tubarão-branco *C. carcharias* é uma espécie emblemática no imaginário popular, sendo rara em águas brasileiras e com poucas dezenas de ocorrências registradas ao longo da costa, com o Rio de

Janeiro sendo a área mais setentrional das ocorrências sul-americanas (Gadig e Rosa, 1996; Cione e Barla, 2008). O registro mais antigo relatado pelos pescadores, de 1968, com o exemplar sendo chamado de anequim-boto, foi acompanhado por outro mais recente, em 2010. Gadig e Rosa (1996) relacionam a ocorrência da espécie no Rio de Janeiro com a ressurgência sazonal da região.

O presente estudo permitiu mostrar várias vertentes do etnoconhecimento e o seu potencial como fonte de dados e contribuições para o entendimento da pesca regional. Os registros, dados pretéritos e os critérios que permeiam a etnotaxonomia das comunidades de pescadores permitem observar períodos raramente considerados em estudos acadêmicos ou dados oficiais. Apesar de ainda fundamentarem a estatística pesqueira, os etnonomes dos dados estatísticos oficiais carecem de determinação taxonômica para vários grupos e o auxílio dos pescadores poderia contribuir para dirimir as incongruências entre o conhecimento popular e científico. As complexidades nomenclaturais observadas para tubarões ou pescadas e pescadinhas demandam atenção por constituírem grupos de interesse econômico e/ou sob algum risco de ameaça. Ao mesmo tempo que interessam como registros de captura, os etnonomes também refletem conhecimentos detalhados da biologia das espécies. Apesar do foco nos registros de recordes de tamanho, ou volume desembarcado, muitas das espécies aqui listadas são categorias com mais de um etnonome. Mas diferente de representarem variações regionais ou intergeracionais, os etnonomes identificam fases ontogenéticas dos peixes capturados. Contudo o uso do etnoconhecimento também traz a necessidade de atenção na validação e seleção do conhecimento relatado. Além das diferenças de etnonomes em uso, com variações regionais e intergeracionais, as estimativas de peso e tamanho reportadas pelos pescadores foram caracterizadas por grandes desvios do esperado, ainda que em média tenham demonstrado maior precisão do que a esperada para o público leigo. Tais estimativas podem ser indicativos do estado dos estoques à época, mas não substituem os dados técnicos produzidos pelos órgãos governamentais, nem os estudos acadêmicos.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio de uma medida compensatória estabelecida pelo Termo de Ajustamento de Conduta de responsabilidade da empresa PetroRio, conduzido pelo Ministério Público Federal – MPF/RJ, com implementação do Fundo Brasileiro para a Biodiversidade – Funbio e do Projeto de Educação Ambiental Pescarte, que é uma medida de mitigação exigida pelo Licenciamento Ambiental Federal, conduzido pelo IBAMA. Os autores agradecem a Maurício D. Abreu pela fotografia de *Carcharodon carcharias*, de 2010, e aos pescadores que participaram da pesquisa respondendo ao questionário.

REFERÊNCIAS

Abreu J.S., Domit C., Zappes C.A. (2017). Is there dialogue between researchers and traditional

- community members? The importance of integration between traditional knowledge and scientific knowledge to coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 141: 10–19.
- Amorim A.F., Arfelli C.A., Bornatowski H., Hussey N.E. (2018). Rare giants? A large female great white shark caught in Brazilian waters. *Marine Biodiversity*, 48: 1687–1692.
- Barbosa-Filho M.L.V., Ramires M., Mourão J.S., Rosa R.S., Alves R.R.N., Costa-Neto E.M. (2021). Ethnotaxonomy of sharks by fishers from south Bahia, Brazil: Implications for fisheries management and conservation. *Ethnobiology and Conservation* 10: 2.
- Begossi A., Salivonchik S., Lopes P.F.M., Silvano R.A.M. (2016). Fishers' knowledge on the coast of Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(1): 20.
- Bender M.G., Machado G.R., Silva P.J.d.A., Floeter S.R., Monteiro-Netto C., Luiz O.J., Ferreira C.E.L. (2014). Local Ecological Knowledge and Scientific Data Reveal Overexploitation by Multigear Artisanal Fisheries in the Southwestern Atlantic. *PLoS ONE*, 9(10): e110332
- Bernardes L.M.C., Bernardes N. (1950). A pesca no litoral do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, 12(1): 17–53.
- Braga H.O., Pardal M.A., Musiello-Fernandes J., Azeiteiro U.M. (2020). Target species of artisanal fisheries and their conservation status in two fishing villages in the Atlantic: Peniche (Portugal) and Arraial do Cabo (Brazil). *Ethnoscientia*, 5(1).
- Catelani P.A., Bauer A.B., Petry A.C. (2017). Length-weight relationships of fishes from the estuary of the Macaé River, Southeastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(6): 1251–1253.
- Cione A.L., Barla M.J. (2008). Causes and contrasts in current and past distribution of the white shark (Lamniformes: *Carcharodon carcharias*) off southeastern South America. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 10(2): 175–184.
- Ferreira-Araújo T., Lopes P.F.M., Lima S.M.Q. (2021). Size matters: identity of culturally important herrings in northeastern Brazil. *Ethnobiology and Conservation* 10: 7.
- Freire K.M.F., Pauly D. (2005). Richness of common names of Brazilian marine fishes and its effect on catch statistics. *Journal of Ethnobiology* 25(2): 279–296.
- Freire K.M.F., Aragão J.A.N., Araújo A.R.R., Ávila-da-Silva A.O., Bispo M.C.S., Velasco G., Carneiro

- M.H., Gonçalves F.D.S., Keunecke K.A., Mendonça J.T., Moro P.S., Motta F.S., Olavo G., Pezzuto P.R., Santana R.F., Santos R.A., Trindade-Santos I., Vasconcelos J.A., Vianna M., Divovich E. (2015). Reconstruction of catch statistics for Brazilian marine waters (1950-2010). *Fisheries Centre Research Reports*, 23(4): 3–29.
- Froese R., Pauly D. (Eds.). (2019). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (12/2019).
- Gadig O.B.F., Rosa R.S. (1996). Occurrence and distribution of the white shark, *Carcharodon carcharias*, in Brazilian waters. In: Klimley, P. A., Ainley, D. G. (eds.) *Biology of White Shark*. San Diego, Academic Press, 1996. p. 347-350.
- Giglio V.J., Luiz O.J., Gerhardinger L.C. (2014). Depletion of marine megafauna and shifting baselines among artisanal fishers in eastern Brazil. *Animal Conservation*, 18(4): 348–358.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – I.B.G.E. (2010). Censo de 2010. 20 janeiro 2021 (www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm).
- International Game Fish Association – I.G.F.A. (2019). 2019 World Record Game Fishes. Flórida, EUA. 444 pp.
- International Union for Conservation of Nature – IUCN. (2012). IUCN Red List categories and criteria: Version 3.1. Second edition. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 36pp.
- Lopes M.S., Bertucci T.C.P., Rapagnã L., Tubino R.A., Monteiro-Neto C., Tomas A.R.G., Tenório M.C., Lima T., Souza R., Carrillo-Briceño J.D., Haimovici M., Macario K., Carvalho C., Aguilera-Socorro O. (2016). The Path towards Endangered Species: Prehistoric Fisheries in Southeastern Brazil. *PLoS ONE*, 11(6): e0154476.
- Marques R.A., Julio T.G., Sole-Cava A.M., Vianna M. (2019). A new strategy proposal to monitor ray fins landings in south-east Brazil. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(1): 68–85.
- May C., Meyer L., Whitmarsh S., Huvaneers C. (2019). Eyes on the size: accuracy of visual length estimates of white sharks, *Carcharodon carcharias*. *Royal Society Open Science* 6: 190456.
- Pauly D. (1995). Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends in Ecology and Evolution*, 10(10): 430.

- Pinnegar J.K., Engelhard G.H. (2008). The shifting baseline phenomenon: a global perspective. *Reviews in Fish Biology Fisheries*, 18: 1–16.
- Prestrelo L., Oliveira R., Vianna M. (2019). A new proposal to classify small fishing vessels to improve tropical estuarine fishery management. *Fisheries Research*, 211: 100–110.
- Prestrelo L., Vianna M. (2016). Identifying multiple-use conflicts prior to marine spatial planning: A case study of a multi-legislative estuary in Brazil. *Marine Policy*, 67:83–93.
- Soga M., Gaston K.J. (2018). Shifting baseline syndrome: causes, consequences, and implications. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(4): 222–230.
- Santos S.R., Vianna M. (2017). Scientometric Analysis of the Fisheries Science for the Species of Cynoscion (Sciaenidae: Perciformes) from the Western Atlantic, with Emphasis in the Comparison of the North American and Brazilian Fisheries Catch Data. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(1): 55–69.
- St. John J., Russ G.R., Gladstone W. (1990). Accuracy and bias of visual estimates of numbers, size structure and biomass of a coral reef fish. *Marine Ecology Progress Series* 64: 253–262.
- Santos S.R., Vianna M. (2018). Scientometric Analysis of Fisheries Science Studies of Western Atlantic Species of Paralichthys (Paralichthyidae: Pleuronectiformes). *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(4): 443–459.
- Silva-Júnior L.C., Andrade A.C., Vianna M. (2008). Caracterização de uma pescaria de pequena escala em uma área de importância ecológica para elasmobrânquios, no Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro. *Arquivcos de Ciências do Mar*, 41(2): 47–57.
- Thornton T.F., Scheer A.M. (2012). Collaborative Engagement of Local and Traditional Knowledge and Science in Marine Environments: A Review. *Ecology and Society*, 17(3): 8.
- Viana A.R., Faugeres J.C., Kowsmann R.O., Lima J.A.M., Caddah L.F.G., Rizzo J.G. (1998). Hydrology, morphology and sedimentology of the Campos continental margin, offshore Brazil. *Sedimentary Geology*, 115(1-4): 133–157.
- Vianna M., Costa F.E.S., Ferreira C.N. (2004). Length-weight relationship of fish caught as by-catch by shrimp fishery in the southeastern coast of Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 30(1): 81–85.



Estudio de la variabilidad genética en poblaciones mediterráneas del cangrejo batial *Geryon longipes*

Study of genetic variability in Mediterranean populations of the bathyal crab *Geryon longipes*

Mestres F.¹, Lagares C.¹, Rojo E.¹, Serra B.¹, Colmenero A.¹, Abelló P.²

¹ Dept. de Genètica, Microbiologia i Estadística, Universitat de Barcelona, Barcelona.

² Institut de Ciències del Mar (CSIC), Barcelona.

✉ Francisco Mestres Naval () E-mail: fmestres@ub.edu

RESUMEN | El cangrejo rojo mediterráneo (*Geryon longipes*) es habitual en las lonjas de pescado y marisco de muchos puertos costeros de nuestro país. Su hábitat se encuentra en los fondos fangosos del talud continental medio e inferior y en las profundidades batiales. En este proyecto se estudió la variabilidad molecular de cuatro poblaciones mediterráneas de dicha especie (Barcelona, Valencia, Alicante e Ibiza) utilizando un fragmento del gen mitocondrial *COI* (*Citocromo Oxidasa subunidad I*). Además se analizaron también diferentes secuencias para el mismo gen de *G. longipes* que se descargaron de bases de datos y que procedían de Israel, Malta, Portugal y Escocia. La variabilidad molecular observada no fue muy elevada, siendo similar a la observada en otras especies de crustáceos que habitan en la zona del talud continental. Se detectaron únicamente tres posiciones polimórficas (una con heteroplasmia) que daban lugar a solamente cuatro haplotipos. De ellos dos eran muy abundantes (Glon_1 y Glon_2) y los otros dos poco frecuentes (Glon_3 y Glon_4). Su distribución no seguía ningún patrón geográfico definido, probablemente ligado a la relativa uniformidad del ambiente de las poblaciones de los fondos marinos asociados. Finalmente el estudio del gen *COI* permitió clasificar a los individuos procedentes de Escocia como pertenecientes a la misma especie, al corresponder sus secuencias a los dos haplotipos más comunes observados en esta investigación.

Palabras clave: cangrejo, variabilidad genética, *COI*, *DNA barcode*, adaptación.

ABSTRACT | In our country, the Mediterranean red crab (*Geryon longipes*) is a common species in the fish and shellfish markets of many coastal ports. Its habitat is found on the muddy bottoms of the middle and lower continental slope and in the bathyal depths. In this project, the molecular variability of four Mediterranean populations of this species (Barcelona, Valencia, Alicante and Ibiza) was studied by using a fragment of the mitochondrial gene *COI* (*Cytochrome Oxidase subunit I*). In addition, different sequences from Israel, Malta, Portugal and Scotland, downloaded from databases, were also analyzed for the same *G. longipes* gene. The molecular variability observed was not very high, being similar to that observed in other Crustacean species that inhabit the muddy continental slope and bathyal bottoms. Only three polymorphic sites (one showing heteroplasmy) were detected, giving rise to only four haplotypes. Of these, two were very abundant (Glon_1 and Glon_2) and the other two (Glon_3 and Glon_4), infrequent. Their distribution did not follow any defined geographical pattern, probably because the environment of the deep sea populations is rather homogeneous, regardless of their location. Finally, the study of the *COI* gene made it possible to classify the individuals from Scotland as belonging to the same species, as their sequences correspond to the two most common haplotypes observed in the present research.

Keywords: crab, genetic variability, *COI*, *DNA barcode*, adaptation.

INTRODUCCIÓN

La pesca y comercialización de crustáceos es un sector económicamente importante en las costas europeas, y particularmente en España, ya que en 2017 sus capturas representaron un valor de unos 113,60 millones de euros, donde los cangrejos, braquiuros y anomuros, constituyeron unos 7,98 millones (I.N.E., 2019). Por dicho motivo es de vital importancia seguir estudiando la biología, la reproducción, la distribución geográfica y la capacidad adaptativa de los cangrejos marinos. Para entender este último punto es fundamental conocer la variabilidad genética, materia prima para que la selección natural pueda escoger a aquellos organismos mejor adaptados a un medio ambiente concreto. El presente proyecto se planteó para tener más información respecto a algunos de estos aspectos en el cangrejo batial *Geryon longipes*, especie habitual en lonjas, mercados y pescaderías de nuestros pueblos y ciudades. Recibe diferentes nombres según la localidad, siendo los más frecuentes los de cangrejo rojo mediterráneo o cangrejo de fondo. Desde un punto de vista gastronómico es utilizado en arroces, sopas y caldos de pescado o salsas de marisco. En algunas localidades también se preparan fritos, cocidos o en salsa, con toques picantes, para su ‘chupeteo’. Por lo general se captura, como especie acompañante, en pesquerías de arrastre de fondo dirigidas a capturar la gamba roja del Mediterráneo (*Aristeus antennatus*). Es por esta razón que en algunos puertos de Catalunya se le conoce como el ‘cangrejo de la gamba’.

Taxonómicamente *G. longipes* se clasifica en la familia de los geriónidos, exclusiva de las aguas profundas de todos los océanos. Sin duda alguna es el cangrejo más común de los fondos fangosos del talud continental medio e inferior y también de las profundidades batiales del Mediterráneo occidental (Abelló, 2008). Por este motivo se encuentra habitualmente por debajo de los 400m de profundidad pudiendo llegar hasta más de 2000m (Abelló y Valladares, 1988; Cartes, 1993; Company *et al.*, 2004). Su distribución geográfica abarca todo el Mediterráneo y las costas atlánticas desde el golfo de Vizcaya hasta Marruecos. Ejemplares capturados más al norte, por ejemplo en Escocia, pertenecerían a la otra especie del género, *G. trispinosus* (WoRMS, 2021). En algunas zonas del Mediterráneo occidental, como por ejemplo en el canal de Ibiza, *G. longipes* puede presentar densidades relativamente elevadas (Abelló, 2008). Morfológicamente, su caparazón presenta tres dientes prominentes anterolaterales, que son típicos del género *Geryon*. El caparazón es un poco más ancho que largo con una cierta forma hexagonal, mostrando una clara convexidad dorsal. La parte posterior del cefalotórax es bastante recta y en el rostro (frente) presenta dos pequeñas espinas centrales. El color, como indica su nombre común, es rojo ladrillo, siendo sus patas más rosadas. Las tallas muestran un marcado dimorfismo sexual siendo los machos marcadamente mayores. Los más grandes pueden alcanzar hasta 76 mm de longitud de cefalotórax, mientras que la talla máxima en las hembras se sitúa en 50-55 mm. Sin embargo, las tallas más comunes en machos están comprendidas entre 50-65 mm mientras que en las hembras oscilan entre 30-45 mm (Abelló, 2008). Se alimenta de muchos tipos de invertebrados bentónicos que presenten baja o nula movilidad. Su reproducción es aún poco conocida, pero se sabe que la mayoría de hembras

ovígeras lo son durante la primavera y cada una puede poner entre 2000 y 15000 huevos. El desarrollo embrionario comprende cuatro estadios de zoea, que forman parte del plancton, y un estadio final de megalopa. Durante este estadio es cuando tiene lugar el asentamiento en el fondo.

En este proyecto se analizó la variabilidad genética a nivel molecular de muestras de *G. longipes* procedentes de poblaciones catalanas y levantinas. Para ello se utilizó como marcador el gen mitocondrial *COI* (*Citocromo Oxidasa subunidad I*) del cual se tiene información para muchos crustáceos marinos (por ejemplo, Palero *et al.*, 2008; Matzen da Silva *et al.*, 2011; Guerao *et al.*, 2011; García-Merchán *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2019). El estudio de dichas secuencias, más otras descargadas de bases de datos de DNA, permitió además analizar si existía diferenciación geográfica en *G. longipes* para los diferentes haplotipos de dicho gen. Por otra parte, como el gen *COI* puede actuar como *DNA barcode* (Hebert *et al.*, 2003; Mestres y Vives-Rego, 2015), es decir reconociendo de forma precisa a nivel molecular las diferentes especies, se estudió si todos los individuos analizados pertenecían a la especie *G. longipes*. Este aspecto puede tener repercusiones relevantes tanto para la industria pesquera como de la alimentación. Finalmente se realizó un estudio comparativo entre las secuencias que se obtuvieron en *G. longipes* y las de otros decápodos de aguas profundas (talud) y también de zonas más superficiales (plataforma continental) (García-Merchán *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2016) para analizar si había diferencias en la variabilidad genética del gen *COI* respecto a la profundidad en la que habitan las especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las muestras, extracción del DNA, amplificación y secuenciación

Los individuos de *G. longipes* se recogieron mediante un arte de arrastre de fondo durante la campaña MEDITS_ES de 2016. En concreto las poblaciones muestreadas fueron Barcelona, Valencia, Alicante e Ibiza (Figura 1) en profundidades comprendidas entre 380 y 730 metros. A bordo del barco cada cangrejo capturado era examinado y se obtenía información biológica. De una submuestra se separaba una porción de tejido muscular de un pereiópodo, la cual era deshidratada y conservada en un vial con alcohol de 96° debidamente rotulado y mantenida a 4°C hasta el momento de su análisis.

Una vez en el laboratorio se tomaba una pequeña fracción de tejido muscular, cuyas células presentan gran número de mitocondrias, para extraer el DNA utilizando la resina Chelex al 10% según el protocolo de Estoup y colaboradores (1996). Se amplificó un fragmento de 622 pb del gen *Citocromo Oxidasa subunidad I* (*COI*) mediante una reacción de PCR utilizando los *primers* universales de Folmer y colaboradores (1994). Los detalles de la reacción de PCR y limpieza de los productos resultantes son similares a los utilizados para el cangrejo *Liocarcinus depurator* y se encuentran descritos en detalle en

Pascual *et al.* (2016). Finalmente la secuenciación se realizó en los *Serveis Científics i Tècnics* de la Universitat de Barcelona.

Análisis de las secuencias

Las secuencias obtenidas se compararon con otras para el mismo gen de *G. longipes* depositadas en diferentes bases de datos (GeneBank y BOLD), procedentes de Nahariyya (Israel) (Tel Aviv University), costa Sur de Portugal, costa Suroeste de Portugal, Malta y St. Kilda (Noroeste de Escocia) (Matzen da Silva *et al.*, 2011), tal y como puede verse en la Fig. 1.

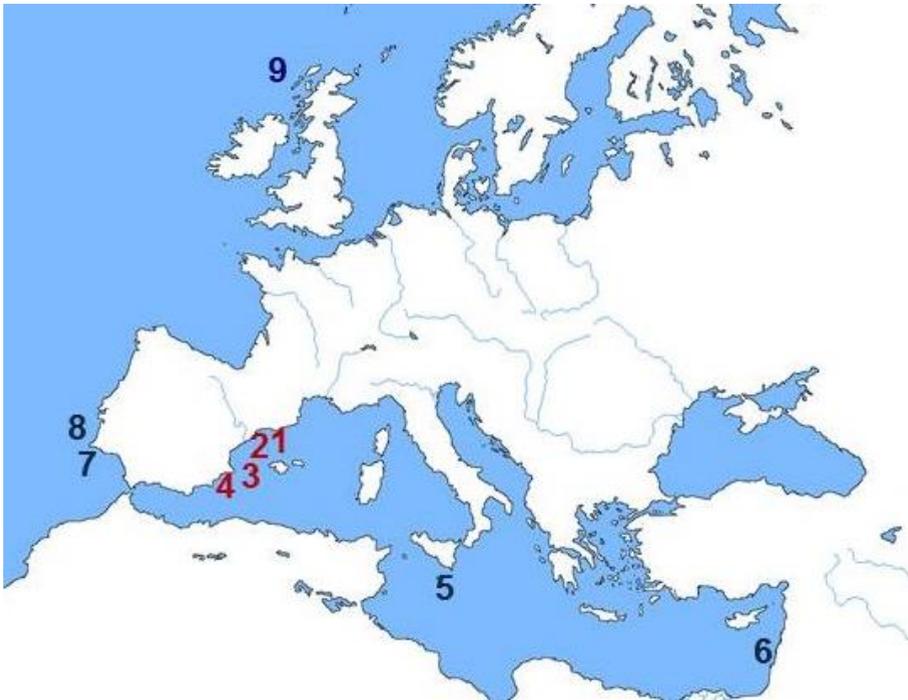


Figura 1. Procedencia de las secuencias del gen *COI*: En rojo las secuencias propias, en azul las descargadas de bases de datos. (1) Barcelona, (2) Valencia, (3) Ibiza, (4) Alicante, (5) Malta, (6) Israel, (7 y 8) Portugal y (9) Escocia.

Por este motivo fue necesario recortar y alinear nuestras secuencias con las de las bases de datos para obtener el fragmento máximo en común para todas ellas. Este proceso se realizó con el programa informático BioEdit v7.2.6.1 (Hall 1999), obteniéndose unas secuencias comparables entre sí de 572 pb. Los indicadores de la variabilidad molecular utilizados fueron: el número de haplotipos diferentes (h), el número de posiciones polimórficas (S), la diversidad haplotípica (Hd) y la diversidad

nucleotídica (π). Todos ellos se calcularon mediante el programa DnaSP v.6 (Rozas *et al.*, 2017). Finalmente se construyó una red de haplotipos utilizando el algoritmo *Median Joining* del paquete informático Network v5.0.1.1 (Bandelt *et al.*, 1999).

RESULTADOS

Variabilidad molecular

En este estudio se obtuvieron 20 secuencias (5 de Barcelona, 6 de Valencia, 6 de Alicante y 3 de Ibiza) y tan sólo se observó una posición polimórfica. En ella se diferenciaban dos haplotipos, uno en cuya posición se encontraba una G mientras que en el otro había heteroplasmia con picos iguales y completamente solapados para G y A. Si dicha posición se analizaba en las secuencias descargadas de las bases de datos (trece en total) se observaba en algunas G, en otras A y en las restantes la heteroplasmia para G y A. Para dichas secuencias se observaron dos posiciones polimórficas más. Así pues estudiando todas las secuencias disponibles (33 en total) se obtenían únicamente cuatro haplotipos distintos, que se denominaron Glon_1, Glon_2, Glon_3 y Glon_4, siendo los dos primeros los más abundantes. Las relaciones entre ellos pueden observarse mediante la red de haplotipos (Fig. 2).

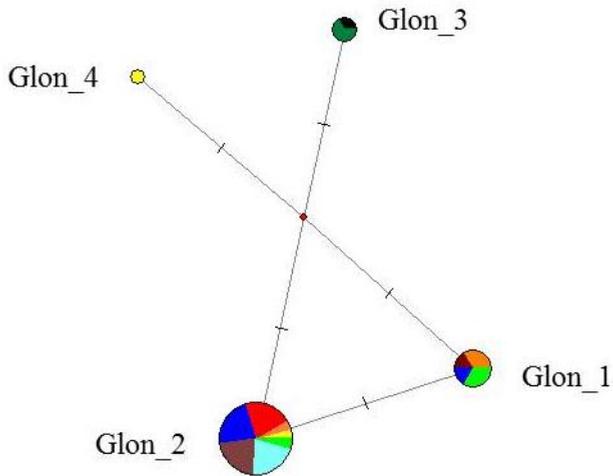


Figura 2. Red para los cuatro haplotipos observados. El tamaño de los nodos es proporcional a las frecuencias de los haplotipos y están conectados mediante ramas donde una línea transversal corta indica un cambio de nucleótido. Así, Glon_1 y Glon_2 están conectados por un solo cambio, pero a partir de cada uno de ellos para llegar hasta Glon_3 o Glon_4 se necesitan dos cambios, siempre pasando por un haplotipo intermedio (punto central coloreado) no detectado en este estudio. Los colores indican las poblaciones: amarillo (Malta), negro (Israel), verde oscuro (Portugal SW), verde claro (Portugal S), naranja (Escocia), morado (Valencia), rojo (Alicante), azul oscuro (Ibiza) y azul claro (Barcelona).

Los indicadores a nivel molecular utilizados para estimar la variabilidad del gen *COI* en las muestras estudiadas de *G. longipes* mostraron valores no muy elevados, tal y como puede observarse en la Tabla 1. Los valores para Hd y π fueron más bajos en las secuencias del presente estudio respecto a los obtenidos de las secuencias descargadas de las bases de datos.

Tabla 1. Estimaciones de la variabilidad molecular para el gen *COI* en las muestras de *G. longipes*. n indica el número de secuencias, h el número de haplotipos diferentes, S el número de posiciones polimórficas, Hd \pm SD la diversidad haplotípica con la desviación estándar y $\pi \pm$ SD la diversidad nucleotídica con la desviación típica.

	Secuencias del estudio	Secuencias de las bases de datos	Todas juntas
n	20	13	33
h	2	4	4
S	1	3	3
Hd \pm SD	0,337 \pm 0,110	0,679 \pm 0,012	0,487 \pm 0,091
$\pi \pm$ SD	0,00059 \pm 0,00019	0,00206 \pm 0,00040	0,00124 \pm 0,00029

Por último, es interesante observar cual fue la distribución de los haplotipos en las diferentes poblaciones (Tabla 2). Para el gen *COI* no parece existir una diferenciación geográfica, ya que poblaciones alejadas comparten haplotipos.

Tabla 2. Distribución poblacional de los haplotipos observados para *G. longipes*. El signo “x” indica presencia del haplotipo en la población. Entre paréntesis se indica el número de secuencias para cada población.

Población	Haplotipo			
	Glon_1	Glon_2	Glon_3	Glon_4
Barcelona (5)		x		
Valencia (6)	x	x		
Ibiza (3)	x	x		
Alicante (6)	x	x		
Malta (2)		x		x
Israel (1)			x	
Portugal S (5)		x		
Portugal SW (2)			x	
Escocia (3)	x	x		

DISCUSIÓN

El estudio de las 33 secuencias del fragmento de 572 pb del gen *COI* puso de manifiesto que existían muy pocas posiciones polimórficas y la más frecuente presentaba heteroplasmia. Este fenómeno puede deberse a tres causas: a una mezcla de diferentes moléculas de DNA de la misma especie en un mismo

individuo, la presencia de Numts (*nuclear mitochondrial pseudogens*, es decir pseudogenes del genoma mitocondrial que se han establecido en algún cromosoma nuclear) o a algún caso particular de introgresión entre especies diferentes (Schizas, 2012). Está descrito que los Numts pueden ser relativamente frecuentes en crustáceos (Williams y Knowlton, 2001; Buhay, 2009), incluso en *G. longipes* (Schubart, 2009). Sin embargo, en este caso el espécimen secuenciado estaba preservado en un museo y en estos casos puede ser que la extracción del DNA o su amplificación por PCR produzcan resultados anómalos (Schizas 2012). En lo que respecta las secuencias obtenidas en las costas levantina y catalana lo más probable es que la heteroplasmia fuese debida a una mezcla de moléculas de DNA mitocondrial procedentes de la misma especie, puesto que se utilizó tejido fresco con mitocondrias abundantes para la extracción del DNA, no se detectaron codones de parada en ninguna de las secuencias, la posición heteroplásmica mostró alta variabilidad entre los individuos analizados y por último ambos picos (el de G y el de A) presentaban la misma altura y se solapaban completamente, lo que muy probablemente era un indicador de un origen intraespecífico de dicha variación.

Los valores para la variabilidad molecular del gen *COI* en nuestras secuencias fueron algo inferiores a los obtenidos con las secuencias descargadas de las bases de datos (Tabla 1). Este resultado podría deberse a que estas últimas procedían de áreas de muestreo muy alejadas y con pocos individuos analizados. Por otra parte es muy interesante comparar los valores de H_d y π obtenidos en *G. longipes*, que respectivamente fueron de $0,487\pm 0,091$ y $0,00124\pm 0,00029$, con los de otros crustáceos. Por ejemplo son similares a los del cangrejo portúnido *Macropipus tuberculatus* ($0,420\pm 0,034$ y $0,0009\pm 0,0001$) y del camarón carídeo *Plesionika heterocarpus* ($0,524\pm 0,055$ y $0,0012\pm 0,0001$), ambas especies capturadas en la zona alta del talud continental (García-Merchán *et al.*, 2012). También fueron similares a los estimados para la gamba roja *A. antennatus* para muestras del Mediterráneo Noroccidental ($0,589\pm 0,078$ y $0,0012\pm 0,0003$) y central ($0,552\pm 0,097$ y $0,0013\pm 0,0004$), aunque estas estimas son conjuntas para unos fragmentos de los genes mitocondriales *COI* (514 pb) y *16S rDNA* (547 pb). Es interesante el hecho de que *G. longipes* y *A. antennatus* coinciden ambas en la zona del talud continental medio y bajo, y también respecto a su hábitat (Cartes *et al.*, 2004; Politou *et al.*, 2005). Estos resultados parecen apoyar la hipótesis de que las especies que habitan a mayor profundidad marina presentarían menor diversidad que las más superficiales (García-Merchán *et al.*, 2012).

En cuanto a los haplotipos encontrados, que fueron sólo cuatro, la topografía de su red era particular. Los dos haplotipos mayoritarios (Glon_1 y Glon_2) se conectarían por sólo un cambio nucleotídico (la posición en la que se puede observar la heteroplasmia) y para pasar a cualquiera de los otros dos (Glon_3 o Glon_4) se requieren dos cambios, pasando forzosamente por un haplotipo intermedio no descubierto aun en las muestras analizadas o en las depositadas en las bases de datos. También es de destacar que no se observó un patrón geográfico en la distribución de haplotipos por poblaciones. Podría ser que el ambiente de los fondos marinos donde habitan las poblaciones de *G. longipes* fuese muy similar con independencia de la localización geográfica, lo que conduciría a unas adaptaciones parecidas. Al estar

éstas fuertemente seleccionadas permitirían poca variación en las secuencias nucleotídicas que las controlan. Finalmente destacar que fue muy interesante observar que las muestras de St. Kilda (Noroeste de Escocia) mostraban los dos haplotipos más abundantes, confirmando que dichos individuos pertenecen a la misma especie. Este resultado puede ser importante a nivel de la gestión pesquera, su etiquetaje y posible comercialización. A pesar de algunas limitaciones el gen *COI* se ha demostrado muchas veces extremadamente útil en la distinción entre especies diferentes, siendo de mucha ayuda cuando los caracteres morfológicos no permiten una buena discriminación (Krishnamurthy y Francis, 2012; Pečnikar y Buzan, 2014; DeSalle y Goldstein, 2019).

CONCLUSIONES

1. En el cangrejo *G. longipes* se ha encontrado una baja variabilidad a nivel molecular respecto al gen *COI*.
2. La distribución de los haplotipos para el gen *COI* en *G. longipes* no muestra un patrón geográfico. Ello podría deberse a las condiciones ambientales similares a las que se encuentran sometidos los cangrejos de profundidad, con independencia de su localización geográfica.
3. De acuerdo con los resultados de las secuencias para el gen *COI*, todos los ejemplares analizados, incluyendo las muestras de Escocia, pertenecerían a la misma especie. El hecho de formar parte de una única especie puede tener repercusiones respecto a su gestión pesquera, etiquetaje y comercialización.

Agradecimientos

Queremos dar las gracias a todas las personas que nos ayudaron en la recolección de las muestras durante la campaña MEDITS_ES_2016, especialmente a E. Marco-Herrero y E. Zas. Este estudio fue financiado por los proyectos CTM2017-88080 AEI/FEDER, UE del Ministerio de Economía y Competitividad (España) y 2017SGR 1120 de la Generalitat de Catalunya. Se agradece financiación parcial por parte del proyecto CLIFISH (CTM2015-66400-C3-3-R, MINECO/FEDER), Ministerio de Economía y Competitividad.

REFERENCIAS

Abelló P. (2008). Crustáceos. Los Decápodos. Los Geriónidos. En: La riqueza de nuestros mares: especies de interés del sector pesquero español. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. pp: 623-628.

- Abelló P., Valladares F.J. (1988). Bathyal decapod crustaceans of the Catalan Sea (northwestern Mediterranean). *Mésogée*, 48: 97-102.
- Bandelt H.J., Forster P., Röhl A. (1999). Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 16: 37-48.
- Buhay J.E. (2009). 'COI-like' sequences are becoming problematic in molecular systematic and DNA barcoding studies. *Journal of Crustacean Biology*, 29: 96-110.
- Cartes J.E. (1993). Deep-sea decapod fauna of the western Mediterranean: bathymetric distribution and biogeographic aspects. *Crustaceana*, 65: 29-40.
- Cartes J.E., Maynou F., Moranta J., Massutí E., Lloris D., Morales-Nin B. (2004). Patterns of bathymetric distribution among deep-sea fauna at local spatial scale: comparison of mainland vs. insular áreas. *Progress in Oceanography*, 60: 29-45.
- Company J.B., Maiorano P., Tselepides A., Politou C.Y., Plaity W., Rotllant G., Sardá, F. (2004). Deep-sea decapod crustaceans in the western and central Mediterranean Sea: preliminary aspects of species distribution, biomass and population structure. *Scientia Marina*, 68S3: 73-86.
- DeSalle R., Goldstein P. (2019). Review and interpretation of trends in DNA barcoding. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7: 302.
- Estoup A., Largiadèr C. R., Perrot E., Chourrout D. (1996). Rapid one-tube DNA extraction for reliable PCR detection of fish polymorphic markers and trasgenes. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 5: 295-298.
- García-Merchán V.H., Robainas-Barcia A., Abelló P., Macpherson E., Palero F., García-Rodríguez M., Gil de Sola L., Pascual M. (2012). Phylogeographic patterns of decapod crustaceans at the Atlantic–Mediterranean transition. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62: 664-672.
- Guerao G., Andree K.B., Frogliá C., Simeo C.G., Rotllant G. (2011). Identification of European species of *Maja* (Decapoda: Brachyura: Majidae): RFLP analyses of COI mtDNA and morphological considerations. *Scientia Marina*, 75: 129-134.
- Hall T. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41: 95-98 (1999).

- Herbert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., deWaard J.R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270: 313-321.
- Hernández M., Martín M.V., Herrador-Gómez P.M., Jiménez S., Hernández-González C, et al. (2019) Mitochondrial COI and 16S rDNA sequences support morphological identification and biogeography of deep-sea red crabs of the genus *Chaceon* (Crustacea, Decapoda, Geryonidae) in the Eastern Central and South Atlantic Ocean. *PLoS One*, 14: e0211717.
- I.N.E. (2019). Anuario estadístico de España 2019: 12. Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca. Madrid, España. 365 pp.
- Krishnamurthy P.K., Francis R.A. (2012). A critical review on the utility of DNA barcoding in biodiversity conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21: 1901-1919.
- Matzen da Silva J., Creer S., dos Santos A., Costa A.C., Cunha M.R., Costas F.O., Carvalho, G.R. (2011). Systematic and Evolutionary Insights Derived from mtDNA COI Barcode Diversity in the Decapoda (Crustacea: Malacostraca). *PLoS One*, 6: e19449.
- Mestres F., Vives-Rego J. (2015). La genética forense en el fraude alimentario: implicaciones jurídicas y sociales. *La Ley Penal*, 114: 1-9.
- Palero F., Abelló P., Macpherson E., Grisina M., Pascual M. (2008). Phylogeography of the European spiny lobster (*Palinurus elephas*): Influence of current oceanographical features and historical processes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48: 708-717.
- Pascual M., Palero F., García-Merchán V.H., Macpherson E., Robainas-Barcía A., Mestres F., Roda T., Abelló P. (2016). Temporal and spatial differentiation in the crab *Liocarcinus depurator* across the Atlantic-Mediterranean transition. *Scientific Reports*, 6: 29892.
- Pečnikar F.Z., Buzan E.V. (2014). 20 years since the introduction of DNA barcoding: from theory to application. *Journal of Applied Genetics* 55, 43-52.
- Politou C.Y., Maiorano P., D'Onghia G., Mytilineou C. (2005). Deep-water decapod crustacean fauna of the Eastern Ionian Sea. *Belgian Journal of Zoology*, 135: 235-241.
- Rozas J., Ferrer-Mata A., Sánchez-DelBarrio J.C., Guirao-Rico S., Librado P., Ramos-Onsins S.E., Sánchez-Gracia A. (2017). DnaSP v6: DNA Sequence Polymorphism analysis of large datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 34: 3299-3302.

- Schizas N.V. (2012). Misconceptions regarding nuclear mitochondrial pseudogenes (Numts) may obscure detection of mitochondrial evolutionary novelties. *Aquatic Biology*, 17: 91-96.
- Schubart C.D. (2009). Mitochondrial DNA and decapod phylogenies: the importance of pseudogenes and primer optimization. In: Martin J.W., Crandall K.A., Felder D.L. (eds). Decapod crustacean phylogenetics. CRC Press, Boca Raton, FL., U.S.A., pp. 47-65.
- Williams S.T., Knowlton N. (2001). Mitochondrial pseudogenes are pervasive and often insidious in the snapping shrimp genus *Alpheus*. *Molecular Biology and Evolution*, 18: 1484-1493.
- WoRMS (2021). *Geryon* Krøyer, 1837. Accessed at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=106918> on 2021-02-13.



Diagnóstico del desarrollo sostenible de la comunidad pesquera de Adícora. Dimensión de ecosistema (recurso y medio ambiente)

Diagnosis of the sustainable development of the Adícora fishing community. Ecosystem dimension (resource and environment)

María Virginia Guanipa Maldonado, Jesús Méndez, Luis González

Campo Experimental Las Piedras. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Punto Fijo Edo. Falcón

 **María Virginia Guanipa Maldonado** E-mail: mguanipa@inia.go.ve; vimar86@gmail.com

RESUMEN | El objetivo del estudio consistió en proponer Estrategias para el Desarrollo Sostenible de la Comunidad Pesquera de Adícora. Caso: Consejo Socialista de Pescadores Acuicultores de Adícora. En el marco teórico destacan los planteamientos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, relacionados con el desarrollo sostenible, como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades; además, se presenta la conceptualización de estrategias, según Galbraith y Nathanson (1978), quienes afirman que la estrategia es una acción específica, que normalmente va acompañada de la correspondiente asignación de recursos, para alcanzar un objetivo decidido. La metodología se apoyó en un proyecto factible sustentado en una investigación descriptiva y de campo. La población se conformó con 62 personas del Consejo de Pescadores de la Comunidad Pesquera de Adícora, de la cual se seleccionó su totalidad, a quienes se les aplicó una encuesta y se registró la información en un cuestionario de preguntas mixtas, utilizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), según las especificaciones de la (FAO). Se orientó en la línea de investigación correspondiente a “Empresa y Medio Ambiente”. El análisis de los resultados permitió establecer conclusiones tales como que se evidenció que en el caso de las pesquerías como sistema artesanal, es sostenible si se conserva el recurso base. De esta forma, los resultados evidencian que existe debilidad en la dimensión ecosistema. El análisis e interpretación de los resultados permitió proponer una alternativa de solución viable ante las debilidades diagnosticadas. Dicha propuesta proporciona estrategias, las cuales permitirán optimizar la actividad pesquera del Consejo Socialista de Pescadores de Adícora. En función de estos resultados, se formularon un conjunto de recomendaciones dirigidas a mejorar la situación objeto de estudio.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible, Pesca Artesanal.

ABSTRACT | The objective of the study was to propose Strategies for the Sustainable Development of the Adícora Fishing Community. Case: Socialist Council of Aquaculture Fishermen of Adícora. In the theoretical framework, the approaches of the Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, related to sustainable development, such as development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet the needs of the present generation stand out. your own needs; In addition, the conceptualization of strategies is presented, according to

Galbraith and Nathanson (1978), who affirm that the strategy is a specific action, which is normally accompanied by the corresponding allocation of resources, to achieve a decided objective. The methodology was supported by a feasible project supported by descriptive and field research. The population was made up of 62 people from the Council of Fishermen of the Fishing Community of Adícora, from which it was selected in its entirety, to whom a survey was applied and the information was recorded in a questionnaire of mixed questions, used by the National Institute of Agricultural Research (INIA), according to the specifications of the (FAO). It was oriented in the line of investigation corresponding to "Company and Environment". The analysis of the results allowed to establish conclusions such as that it was evidenced that in the case of fisheries as an artisanal system, it is sustainable if the base resource is conserved. Thus, the results show that there is weakness in the ecosystem dimension. The analysis and interpretation of the results made it possible to propose a viable alternative solution to the diagnosed weaknesses. This proposal provides strategies, which allow optimizing the fishing activity of the Socialist Council of Fishermen of Adícora. Based on these results, a set of recommendations were formulated aimed at improving the situation under study.

Palabras clave: Sustainable development-artisanal fishing.

INTRODUCCIÓN

En estos tiempos de incertidumbre conceptual se hace necesario volver los ojos y las reflexiones a las construcciones básicas. El desarrollo y el término muy relacionado, desarrollo sostenible, tienen respuestas importantes a los cuestionamientos que nacen cuando la crisis genera reflexión en cuanto a la validez de los fundamentos sobre los que se construye la acción.

Al respecto, el concepto de desarrollo sostenible es muy distinto al de sostenibilidad, en el sentido que la palabra desarrollo apunta hacia la idea de cambio gradual y direccional. La definición de desarrollo sostenible que se cita con mayor frecuencia es la propuesta por la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, conocida también como comisión de Brundtland, en 1987. En su informe a la Asamblea General de las Naciones Unidas, que lleva por nombre "Nuestro Futuro Común", donde se definió al desarrollo sostenible como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias". (FAO, 2015).

En efecto, el desarrollo sostenible implica la conjunción de varios factores que sinérgicamente deben procurar la promoción de un desarrollo integral, no sectorial. Y para que exista un proceso de sostenibilidad del desarrollo, se hace necesaria una etapa previa, la planificación del desarrollo; es así como se hace necesario disponer de estrategias dirigidas a mejorar una realidad o situación específica.

Dentro de este contexto, la estrategia se constituye en un aspecto muy importante en las decisiones

que deben tomar las personas que tienen a cargo la gestión de una organización, en la que hay recursos de todo tipo que deben ser utilizados en forma óptima para cumplir con las políticas y metas trazadas. Asimismo, la estrategia es una apuesta en un mundo globalizado en el que las empresas luchan por lograr mantenerse en el mercado utilizando todas las herramientas que poseen, estableciendo políticas flexibles y agresivas de gestión que les permitan posicionarse y tener continuidad en el futuro.

Es importante destacar que se pueden analizar las estrategias con relación a las actividades de una organización o comunidad en particular y cómo se van a implementar en el corto o largo plazo, con miras a lograr los objetivos propuestos. Pero también podrían revisarse desde el punto de vista de la sostenibilidad y del direccionamiento, a través del establecimiento de objetivos globales y específicos que lleven a obtener los mejores resultados con los recursos que se tienen.

En atención al enfoque de desarrollo sostenible, la actividad pesquera ha sido desde la antigüedad una fuente importante de alimentos para la humanidad, de empleo y beneficios económicos para quienes se dedican a esta actividad. Sin embargo, con el aumento de conocimientos y la evolución dinámica de la pesca, se dice que, aunque eran renovables, los recursos acuáticos vivos no eran infinitos y era necesario explotarlos de manera apropiada para poder mantener su contribución al bienestar nutricional, económico, ecológico y social de una población mundial en constante crecimiento (Orozco y Núñez, 2013).

Esto significa que en el caso de las pesquerías como sistema artesanal, es sostenible si se conserva el recurso base; sin embargo, se ignoran los peligros y las consecuencias que conlleva una explotación irracional de la fauna marina. Por ello, es prioritario hacer cumplir las políticas de ordenación pesquera en las costas para garantizar el aprovechamiento responsable de los recursos por los diferentes tipos de pesquerías que los explotan. Una buena planificación de las actividades pesqueras con posibilidades de regeneración de los recursos es una solución eficaz para el hombre, siempre y cuando se apliquen estrategias adecuadas que beneficien a dichas pesquerías y a los recursos que estas explotan. (Taddei, 2011).

El propósito general de esta investigación es formular estrategias para el desarrollo sostenible de la comunidad pesquera de Adícora. Caso: Consejo Socialista de Pescadores Acuicultores de Adícora, que está ubicada en el Municipio Falcón del Estado Falcón. Más específicamente, se localiza en el extremo norte del estado y cuenta con una extensión de costas de 600 Km. Para ello se toma en cuenta que la sostenibilidad de las pesquerías no puede entenderse sin la integración de sus dimensiones: ecosistema (recurso y medio ambiente), económico y social.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población y Muestra: Es necesario señalar que Balestrini (2006) explica que “estadísticamente hablando, por población se entiende un conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos que presentan características comunes” (p.137). Por lo tanto, la población objeto de estudio en la presente investigación, estuvo conformada por 62 personas, quienes forman parte del Consejo Socialista de Pescadores y Acuicultores de Adícora. En atención a las ideas expuestas, la población es finita, relativamente pequeña, lo que permitió medirla y seleccionarla en su totalidad.

Técnicas e instrumento de recolección de información: En atención al instrumento de recolección de datos, se utilizó un Cuestionario; a este respecto Hernández *et al.* (2010), establecen que el cuestionario “consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir”. El contenido de las preguntas de un cuestionario puede ser tan variado como los aspectos que mide, pudiéndose hablar de preguntas abiertas y cerradas”. En la investigación, se aplicó un cuestionario semi-estructurado, diseñado y validado en el año 2012 por el INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS (INIA), en conjunto con la FUNDACION PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y TECNOLOGIA (FUNDACITE) y la UNIVERISDAD NACIONAL EXPERIMENTAL FRANCISCO DE MIRANADA (UNEFM); su contenido permitió medir los indicadores del desarrollo sostenible de la pesca, establecidos y estandarizados por la FAO sostenible de la Comunidad Pesquera de Adícora.

Procesamiento y análisis de los resultados: Con el propósito de procesar y analizar la información recolectada con la aplicación del instrumento, se procedió a efectuar el análisis descriptivo para medir la efectividad de la investigación. En efecto, el tratamiento estadístico de los datos recopilados se realizó con la aplicación de la estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central (media) dispersión (desviación estándar) y coeficiente de variación, en virtud que se apoya en gráficos y diagramas que presentan los datos organizados para facilitar su interpretación.

RESULTADOS

En el análisis de la Dimensión Ecosistema para el año 2015, se observó que el indicador que presentó mayor frecuencia porcentuales el de “descartes”, porque el 98% de las personas encuestadas, manifestaron que la captura de pescado que es vertida o lanzada al mar es “bajo/nulo”, el porcentaje de descartes se ubica en la categoría de “bueno”. Un 76% opinó que el porcentaje de hembras ovadas en las capturas es “bajo/nulo”, siendo seleccionado como “bueno” el indicador de “reproducción”. Un 71% señaló que la disminución de la pesca en los últimos años es regular, al seleccionar como “poca” el indicador referido al “tamaño de la captura”. En esta perspectiva, un 58% contestó que capturan otras especies marinas, que no son el objeto principal en las labores de pesca, lo que corresponde a la categoría de “malo”, porque se afecta la denominada “fauna acompañante”, que corresponde a uno de

los indicadores en análisis en la presente investigación.

Además un 55% ubicó su respuesta en “ninguno”, en cuanto a la disminución del número y tamaño de los caladeros de pesca, es decir el indicador correspondiente a la “distribución del recurso” se ubica en la categoría “buena”. El 53% de los encuestados, opinó que en los últimos años ha habido poca “variabilidad en la captura”, lo que indica que la variabilidad histórica en la captura se ubica en la categoría “regular”. El cuestionario aplicado a los integrantes de la muestra, revela mayor frecuencia porcentual en el promedio de respuestas hacia la alternativa “bueno” con un 50% (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis en promedio de la dimensión ecosistema año 2015

Items	BUENO		REGULAR		MALO		Total General	
	f	%	f	%	f	%		
1. ¿La pesca ha disminuido en los últimos años?	14	23%	44	71%	4	6%	62	100%
2. ¿Ha disminuido el número y tamaño de los caladeros de pesca?	34	55%	23	37%	5	8%	62	100%
3. ¿Cuántos de la captura de pescado es vertida o lanzada al mar?	61	98%	1	2%	0	0%	62	100%
4. ¿En los últimos años ha habido mayor variabilidad en la captura?	13	21%	33	53%	16	26%	62	100%
5. Porcentaje de hembras ovadas en las capturas	47	76%	14	23%	1	2%	62	100%
6. ¿Capturan otras especies marinas, que no son el objeto principal en las labores de pesca?	17	27%	9	15%	36	58%	62	100%
∑1	186	300%	124	200%	62	100%		
Promedio	31	50%	20,7	33%	10,3	17%		
∑2	300%		300%					600%

DISCUSIÓN

Comportamiento del Desarrollo Sostenible en la Dimensión de Ecosistema (recurso y medio ambiente) 2012-2015, de la Comunidad Pesquera de Adícora del Municipio Falcón. Edo Falcón Venezuela

A través de la tabla comparativa (N° 2) se puede observar que para el año 2015, existe una frecuencia favorable correspondiente al indicador “Descartes”, al ubicarse en un 10% superior al valor obtenido en el año 2012 ; esto permite inferir que se disminuyó la captura de pescado que era vertida o lanzada al mar. En términos generales, la estimación actual del nivel de descartes (Año 2015) es

considerablemente más baja que la estimación de 2012. Igualmente, se puede observar que el indicador “Reproducción” en el año 2015 obtuvo un valor positivo al ubicarse en un 59%; es así como se ha logrado minimizar (en comparación con la estimación del año 2012), el porcentaje de hembras ovadas en las capturas. En relación con el indicador de “Fauna Acompañante” se ha incrementado en un 58% con respecto al Año 2012, lo que denota una valoración negativa. El indicador de “Tamaño de la Captura” presenta una tendencia favorable porque la pesca no ha disminuido en los últimos años, representada por un 23 % (en la categoría “bueno”). En el mismo año, la “Distribución del recurso” ha mejorado en un 38 % debido a que no se ha disminuido el número y tamaño de los caladeros de pesca (zonas de pesca); finalmente, para el indicador “Variabilidad en la captura” se incrementó favorablemente en un 17 %.

Tabla 2. Análisis en promedio de la dimensión ecosistema año 2012

INDICADOR	Comportamiento en la Dimensión Ecosistema							
	AÑO 2012			AÑO 2015			2012	2015
	BUENO	REGULAR	MALO	BUENO	REGULAR	MALO		
Tamaño de la captura	0%	83%	17%	23%	71%	6%	100%	100%
Distribución del recurso	17%	50%	33%	55%	37%	8%	100%	100%
Descartes	88%	8%	4%	98%	2%	0%	100%	100%
Variabilidad en la captura	4%	63%	33%	21%	53%	26%	100%	100%
Reproducción	17%	50%	33%	76%	23%	2%	100%	100%
Fauna acompañante	58%	42%	0%	27%	15%	58%	100%	100%
Media	0,306666667	0,4933333	0,200	0,5	0,335	0,167		
Varianza	0,121186667	0,0616667	0,02344	0,10208	0,06487	0,0495467		
Desviación	0,348118754	0,2483277	0,15310127	0,319499609	0,2546959	0,2225908		
Coeffic de variac	113,51698	50,3367	76,55064	63,899922	76,02863	133,554		
Media	0,33333333			0,33388889				
Varianza	0,07623529			0,08328399				
Desviación	0,2761074			0,28858965				
Coeffic. de variación Gral. 2012	82,832219			86,432841			Coeffic. de variación Gral. 2015	

Tabla 3. Medidas descriptivas de tendencia central de la dimensión ecosistema – año 2012

	BUENO		REGULAR		MALO	
Medidas Descriptiva	$p(\mu - \sigma < X \leq \mu + \sigma) = 0.6826 = 68.26 \%$		$p(\mu - 2\sigma < X \leq \mu + 2\sigma) = 0.954 = 95.4 \%$		$p(\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma) = 0.997 = 99.7 \%$	
	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR
MEDIA	0,05722594	0,609441	-0,2188815	0,88554813	-0,494989	1,161656

Fuente: INIA (2012)

Tabla 4. Medidas descriptivas de tendencia central de la dimensión ecosistema – año 2015

Medidas Descriptiva	BUENO		REGULAR		MALO	
	$p(\mu - \sigma < X \leq \mu + \sigma) = 0.6826 = 68.26 \%$		$p(\mu - 2\sigma < X \leq \mu + 2\sigma) = 0.954 = 95.4 \%$		$p(\mu - 3\sigma < X \leq \mu + 3\sigma) = 0.997 = 99.7 \%$	
	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR
MEDIA	0,045299237	0,6224785	-0,2432904	0,911068192	-0,5318801	1,1996578

Fuente: Guanipa (2015)

Con respecto a las Medidas Descriptivas de Tendencia Central (Media o Promedio) y las medidas de variabilidad o de dispersión (Desviación y Varianza, y coeficiente de variación). En la Tabla 3 se observa que los promedios en las escalas $\mu \pm 2s$ (95,4%) (Representa la categoría “Regular”) y la $\mu \pm 3s$ (99,7%) (Representa la categoría “Malo”) arrojaron valores negativos (aun cuando sus Medias se mantienen dentro de los rangos), esto permite indicar la existencia de desviaciones en el ecosistema, lo que afectó el desarrollo sostenible de la pesca, específicamente en el tamaño de la captura, variabilidad en la captura, distribución del recurso y reproducción, en el Año 2012. Igualmente, el promedio en la escala $\mu \pm 1s$ (68,26%) (representa la categoría “Bueno”), la Media se mantiene dentro de los rangos, evidenciándose el cumplimiento de los indicadores del desarrollo sostenible de la pesca, con respecto al descarte y fauna acompañante; siendo el promedio más representativo en la escala regular (50,337) porque existe mayor homogeneidad (consistencia) en los datos.

En relación a la tabla 4, se observa que los promedios en las escalas $\mu \pm 2s$ (95,4%) (Categoría “Regular”) y la $\mu \pm 3s$ (99,7%) (Categoría “Malo”) presentan valores negativos, esto indica debilidades en el desarrollo sostenible de la pesca, las cuales corresponden al tamaño de la captura, variabilidad en la captura y fauna acompañante, para la dimensión ecosistema, en el Año 2015. El promedio en la escala $\mu \pm 1s$ (68,26%) (Categoría “Bueno”), su valor está dentro de los rangos, evidenciándose los mayores valores porcentuales en el cumplimiento de los indicadores del desarrollo sostenible, con respecto al descarte, reproducción y distribución del recurso. En el año 2015 el promedio denota mayor consistencia en la categoría “bueno”, con un 63,89 (Ver tabla 2), indicando que dicho valor es representativo, concentrándose alrededor de ésta (Homogeneidad).

CONCLUSIONES

El tamaño de la **Captura**, en el año 2012 presentó una alta estimación porcentual en “regular”, lo cual se mantiene en el año 2015, aun cuando se presentó una valoración en “bueno”, pero no suficiente para señalar que esta variación en el tamaño de la captura garantiza la sostenibilidad de la pesca. Este resultado en el tamaño de la captura, se circunscribe a lo indicado por la FAO (2000) cuando expresa que las variaciones en la estructura de la captura son signos importantes de una no sostenibilidad potencial en la pesquería.

Con respecto a la **Distribución del Recurso**, en el año 2012 obtuvo una alta valoración porcentual en “regular”, al especificarse que había disminuido poco el número y tamaño de los caladeros de pesca; para el año 2015, cambió la valoración a “bueno”, señalando que no hubo ninguna disminución. Estos resultados permiten inferir que los caladeros de pesca hacia los cuales se desplazan los pescadores de la Comunidad de Adícora, les proveen de suficiente especies; sin embargo, resultaría necesario conocer si esto atiende a lo expuesto por la FAO (2000) cuando plantea que no se suele considerar que los caladeros sean homogéneamente productivos, por lo que en algunas zonas se pescará con más intensidad debido a que se espera obtener mayor rendimiento o tasa de captura.

El indicador referido a los **Descartes**, obtuvo valoraciones favorables, en los años 2012 y 2015, al valorarse como baja/nula la cantidad de captura de pescado que es vertida o lanzada al mar. En este sentido, se está cumpliendo lo señalado por la FAO (2008) al indicar que la variabilidad en los descartes, refleja la respuesta del pescador a las circunstancias cambiantes de la pesquería. La cantidad de descartes depende de una decisión individual del pescador relativa a dónde y cómo pescar (artes de pesca), a los resultados de la actividad de pesca y al comportamiento y pago de la tripulación.

Con respecto a la **Variabilidad en la Captura**, los años 2012 y 2015 presentó una alta valoración negativa (Regular) al indicarse que en los últimos años ha habido poca variabilidad en la captura; al respecto se puede constatar lo expuesto por la FAO (2008) al explicar que los cambios en la zona del hábitat, medidos utilizando instrumentos de inventarios del hábitat, pueden indicar condiciones cambiantes en el medio ambiente que podrían ser causadas por la pesca, o podrían afectar a las actividades pesqueras.

En atención a la **Reproducción** (hembras ovadas), en el año 2012 presentó altas valoraciones negativas (Regular-Malo); en el año 2015 presentó ponderaciones favorables, existe un comportamiento positivo de este indicador, al arrojar resultados que demuestran su disminución. Esto permite destacar la relevancia de preservar y proteger las hembras ovadas, según lo planteado por la FAO (1975) sobre la reproducción, la cual señala que permite la perpetuación de la especie y la continuidad de la población.

Con respecto a la **Fauna Acompañante**, en el año 2012 se ubicó en una estimación favorable, al especificar que era poca la captura de otras especies marinas, que no son el objeto principal en las labores de pesca. Sin embargo, en el año 2015 presentó una alta valoración negativa al presentar mayor frecuencia porcentual en la categoría de malo, lo que indica que es mucha la captura de otras especies marinas, que no es parte de su objetivo de pesca o que no se desea pescar.

En atención a las ideas precedentes el desarrollo sostenible de la Comunidad Pesquera de Adicora, debe enfocarse hacia la protección del ecosistema, por cuanto las debilidades diagnosticadas con

respecto al tamaño de la captura confirmaron que se requieren acciones que conlleven a conocer exhaustivamente el estado de explotación (tasas de captura y estructuras de tamaños) y su incidencia en la expansión geográfica de esta pesquería. Además, que permita efectuar el seguimiento y control de los cambios en los patrones de selectividad, y del desarrollo que presenten en la comercialización de sus productos pesqueros, aspectos que conllevarían a un manejo y conservación efectivos del ecosistema.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), y al Consejo de Pescadores y Acuicultores de Adícora (CONPA).

REFERENCIAS

Balestrini A., M. (2006) Cómo se elabora el Proyecto de investigación (Para estudios formulativos o explorativos, diagnóstico, evaluativos, formulación de hipótesis causales, experimentales y los proyectos factibles). Consultores Asociados, Servicio Editorial, Caracas, Venezuela. (6ª. Ed.).

Brundtland, Gro Harlem, 1987. Our Common Future, Bruxelles : Commission des Nations Unies pour l'environnement et le développement. Meadows, Donella H. et al., 1972. Limits to Growth, Report for the Club of Rome, New York: Universe Book.

Galbraith & Nathanson, J. R. (1978). Strategy implementation: The role of structure and process. Boston, USA: St Paul.

Instituto Nacional de Investigaciones -INIA (2012) *Caracterización de la Pesquería de Adícora y Evaluación de los Recursos Pesqueros. Informe Final - Libro IV: Diagnóstico Integral de la Problemática Pesquera y Propuesta estratégica de Ordenamiento de la Pesquería*. Con la participación de FUNDACITE y la UNEFM.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (1971) *Manual de Métodos para la Evaluación de las Poblaciones de Peces*. Consultado en línea el 26 de Agosto de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x5685s/x5685s00.htm#Contents>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (1975) *Manual de Ciencia Pesquera Parte 2 - Métodos para investigar los recursos y su aplicación*. Consultado en línea el 11 de Julio de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/f0752s/F0752S05.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2000) *Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable N° 8. Indicadores para el Desarrollo Sostenible de la Pesca de Captura Marina*. Consultado en línea el 6 de Junio de 2015. Disponible en

<http://www.fao.org/docrep/003/x3307s/x3307s04.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2007) Guía para Reducir la Captura de Fauna Incidental (bycatch) en las Pesquerías por Arrastre de Camarón Tropical. Consultado en línea el 28 de agosto de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/015/a1008s/a1008s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2008) *Descartes en la pesca de captura marina mundial*. Consultado en línea el 10 de Julio de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/011/y5936s/y5936s00.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2010) Orientaciones técnicas para la pesca responsable, la ordenación pesquera. Consultado en línea el 25 de Julio de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i1146s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2015) *Las Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza*. Consultado en línea el 2 de Junio de 2015. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4356s.pdf>

Orozco A., J. y Núñez M, P. (2013). *Las teorías del desarrollo. En el análisis del turismo sustentable*. InterSedes: *Revista de las Sedes Regionales*, 14(27): 144-167. Consultado en línea el 4 de Junio de 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66627452008>



Evaluación preliminar del zooplancton de la Laguna Costera Boca de Caño, Península de Paraguaná- Estado Falcón

Preliminary evaluation of the zooplankton of the Boca de Caño Coastal Lagoon, Peninsula de Paraguaná- Falcón State

Jesús Mendez¹, María Guanipa¹, Luis Gonzalez¹, Mario Nava², Jenny Reyes², Roberta Mora²

¹Campo Experimental Las Piedras. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Punto Fijo Edo. Falcón.

²Facultad Experimental de Ciencias. Departamento de Biología, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

✉ Jesús Mendez E-mail: Jemendez@inia.go.ve; ing.pesq.jamm@hotmail.com

RESUMEN | El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización preliminar del zooplancton y fitoplancton de La Laguna Costera Boca De Caño, Península De Paraguaná - Estado Falcón; se realizó un muestreo el día 21 de junio del año 2017, en 4 estaciones, que fueron seleccionados tomando en cuenta la conformación morfológica de la laguna. Los organismos se capturaron filtrando 100 l de agua a través de una red de plancton de 45 μm y fueron preservadas con formaldehído a una concentración de 10%. Se identificaron 12 taxones de zooplancton y 11 de fitoplancton. Los copépodos representaron el grupo más importante de la comunidad zooplanctónica y su abundancia fue heterogénea entre todas las estaciones de muestreo, siendo el grupo *Cyclopoide* el de mayor abundancia relativa (66,3 %) del total de individuos. Para la comunidad fitoplanctónica el grupo de Bacillariophyta representó el de mayor número de especies (6) presentes. Los índices de diversidad para el zooplancton se calcularon entre un intervalo (0,23decits/ind) en la E1 y (0,84 decits/ind) en la E3. La riqueza de especies osciló entre (0,57) en la E1 y (1,21) en la E2 y la equidad cuyo valor máximo (0,93) fue observado simultáneamente para la E3 y E4, mientras el valor mínimo (0,30) fue estimado para la E1, estando relacionado principalmente con la alta abundancia (52,93ind/L) de los copépodos *Cyclopoide* observados para esta estación de muestreo.

Palabras clave: Boca de Caño, lagunas costeras, zooplancton, fitoplancton.

ABSTRACT | The objective of this work was to carry out a preliminary characterization of the zooplankton and phytoplankton of the Boca de Caño Coastal Lagoon, Paraguaná Peninsula - Falcón State; A sampling was carried out on June 21, 2017, in 4 stations, which were selected taking into account the morphological conformation of the lagoon. The organisms were captured by filtering 100 liters of water through a 45 μm plankton net and were preserved with formaldehyde at a concentration of 10%. Twelve zooplankton and 11 phytoplankton taxa were identified. Copepods represented the most important group in the zooplankton community and their abundance was heterogeneous among all sampling stations, with the *Cyclopoide* group having the highest relative abundance (66.3%) of the total number of individuals. For the phytoplankton community, the Bacillariophyta group represented the one with the largest number of species (6) present. The diversity indices for zooplankton were calculated between an interval (0.23decits / ind) in E1 and (0.84 decits / ind) in E3. The species richness ranged between (0.57) in E1 and (1.21) in E2 and the equity

whose maximum value (0.93) was observed simultaneously for E3 and E4, while the minimum value (0, 30) was estimated for E1, being mainly related to the high abundance (52.93ind / L) of the *Cyclopoide* copepods observed for this sampling station.

Palabras clave: Boca de Caño, coastal lagoons, zooplankton, phytoplankton.

INTRODUCCIÓN

Las Lagunas costeras están definidas junto con los estuarios como zonas de interfaces que presentan límites o gradientes de dimensiones variables en escala, espacio y tiempo (Margalef, 1995). Su gran importancia se fundamenta en la alta tasa de producción primaria y secundaria, además de ser zona de protección, reproducción, crecimiento y alimentación para una gran cantidad de especies marinas, estuarinas y dulce acuícolas (Yáñez-Arancibia, 1986).

La laguna Boca de Caño es un ecosistema que presenta una gran riqueza y diversidad de especies, con una extensión de 250ha, es un cuerpo de agua somero con profundidad entre 30 y 80 cm con valores máximo alrededor de 2m en el sector de la boca, a través del cual posee una conexión permanente con el Mar Caribe, se encuentra circunscrita dentro las regiones denominadas Áreas Naturales Protegidas (ANAPRO), por lo cual están sujetas a un régimen especial de manejo y protección, cuyo objetivo principal es conjugar la conservación de la diversidad biológica y sus componente contenidos en estas, con el uso sostenible de los mismo.

Desde el aspecto ecológico se desconoce sobre las características estructurales y funcionales que en este ecosistema se presentan, en especial sobre los recursos hidrobiológicos y la dinámica de los factores abióticos y bióticos locales que operan a diferentes escalas temporales y espaciales, que permita su uso racional sustentable. Es por tal motivo que la composición específica del componente planctónico puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico del sistema acuático y para deducir la estructura de sus comunidades. Las diferencias en el estado trófico se manifiestan claramente en la estructura de la comunidad zooplanctonica y en las relaciones zooplancton-fitoplancton. (Conde, Ramos, & Morales, 2004)

En referencia a lo expuesto el presente trabajo constituye un primer aporte en la caracterización estructural del componente planctónico de la Laguna Boca de Caño , el cual a pesar de su importancia como pilar fundamentar en las complejas redes tróficas que transfieren la materia orgánica hasta los niveles tróficos superiores en los sistemas acuáticos se desconoce en su totalidad, resaltando la valiosa contribución del presente estudio como base útil para emprender nuevos estudios sobre la ecología acuática de este ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio está situada dentro del Refugio de Fauna Silvestre y Reserva de Pesca Laguna Boca de Caño, ubicada geográficamente entre 12°00' y 12°02' de Latitud Norte y los 69°49' y 69°50' y Longitud Oeste; región costera oriental de la Península de Paraguaná, entre las poblaciones del Supí y Tiraya, en jurisdicción de la parroquia Adícora del Municipio Falcón, Estado Falcón (Fig. 1).



Figura 1. Zona de estudio y estaciones de muestreo de la laguna costera Boca de Caño (Junio -2017)

Métodos de obtención de las variables estudiadas

Muestras de plancton:

Se realizó una salida de campo el día 21 de junio del año 2017 para la recolección de plancton, en 4 estaciones de muestreos, seleccionados tomando en cuenta la conformación de la laguna (Fig. 1) para lograr una cobertura de las distintas condiciones del sistema: Zona sur de la laguna (E1), Zona media de la laguna (E2), caño de la laguna (E3), y zona externa de la laguna (4). Las muestras fueron recolectadas en la superficie de la columna de agua a una profundidad (0 - 0,5 m), usando un recipiente plástico de volumen conocido (20 Lts), mediante el cual se procedió a la recolección de la muestra de un volumen total de (100 Lts), filtrados a través de una de la red de plancton de 45 μ m. La muestras fueron envasadas en frascos boca ancha de 200 ml, fijadas con solución de formol al 10 %, para su preservación y traslado al laboratorio (Briceño *et al.*, 2009).

Variables fisicoquímicas

Se midieron in situ en cada una de las 4 estaciones de muestreo los parámetros fisicoquímicos del agua, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y pH utilizando una sonda multiparamétrica YSI 556 mps. La transparencia del agua fue medida con un disco de Secchi (20 cm) de diámetro.

Análisis de laboratorio

Zooplankton

En el análisis cualitativo y cuantitativo del zooplankton se empleó una Cámara Bogorov, se tomó 3 alícuotas de 5 ml por muestras, el cual se observó los organismos mediante una lupa estereoscópica LITZ WETZLAR según la técnica descrita por Casanova *et al.* (2007). El análisis cualitativo del zooplankton se realizó hasta el menor nivel taxonómico posible, utilizando claves y bibliografía especializada para zooplankton de Boltovskoy (1981) y Massuti y Margalef (1950); la abundancia total se reportó en número de individuos por litro (ind/L).

Cálculo de Índice Ecológico

Con la finalidad de conocer el comportamiento de las especies zooplánctónicas según su distribución en la zona de estudio, se estimó la riqueza (d) y la abundancia de especies (S) según Margalef (1995). Se calculó el índice de Diversidad (H'), el cual es un indicador de la relación entre el número de especies en cada estación de muestreo y sus respectivas abundancias numéricas (Magurran, 1991), según Shannon-Weaver (1963): $H = \sum_{i=1}^S p_i * \log_2(p_i)$, en donde p_i es la proporción del número total de individuos que aparece representada en la especie i . Para cuantificar el componente de equitatividad de la diversidad se utilizó el índice de Pielou (J'), donde H' es el índice de Shannon-Wiener, y $\log S$ es la diversidad máxima (H'_{\max}).

Los análisis (S, d, H' , J') fueron realizados mediante la utilización del paquete PRIMER V6.0, Plymouth Routines in Marine Environmental Research Programs, (Clark y Gorley, 2006).

Análisis estadístico

Se empleó un análisis de correlación, el cual es la técnica más usada para medir la asociación o relación entre dos variables y no implica causalidad. Las correlaciones se realizaron por el método Spearman (no paramétrico), originado a que algunas de las variables aquí utilizadas no se ajustan a una distribución normal (Sokal&Rohlf, 1995). Para la corrida de los análisis se utilizó el programa IBM SPSS versión 22.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos registrados en el área de estudio se presentan en la (Tabla 1). La temperatura promedio del agua fue de 29,43 °C (intervalo 27,80 - 30,86 °C), registrándose la máxima en la E1, y la mínima en la E4. El intervalo de las temperaturas observadas se encuentran dentro de las reportadas para sistemas similares lagunas marino-costeras de Venezuela, tales como la Laguna de Las Maritas y la Laguna de las Restinga, ambas ubicadas hacia la región oriental del país (FAO,1994). Según Wetzel (2001), los valores registrados se encuentran dentro de los límites de desarrollo de las comunidades zooplanctónicas, en donde las zonas tropicales, los sistemas de aguas someras presentan temperaturas con una mínima variación espacial y no exhibe obstáculo alguno para la dispersión de los organismos.

El oxígeno disuelto promedio fue de 7,33 mg/L (intervalo 5,58 - 11,58 mg/L), registrándose la máxima concentración en la (E2) y la mínima para (E4). En efecto, el oxígeno disuelto evidentemente es esencial para comprender la distribución, el comportamiento y el crecimiento fisiológico de los organismos acuáticos (Briceño *et al.* 2009). La disolución del oxígeno en los ambientes acuáticos depende fundamentalmente de dos factores: temperatura y salinidad, sin embargo, la actividad metabólica diaria de los organismos (Fotosíntesis y respiración) hace variar ostensiblemente la concentración de este gas en el medio. (Lanza y Gómez, 1999)

Los valores de pH presentaron un promedio de 8,16 (intervalo 7,50-8,40), en donde la (E1) fue la que presentó el valor máximo y la mínima correspondió a la (E4). El pH del agua oscila generalmente entre los 6,5 – 8,7, y los valores por encima se debe a la presencia respectiva de ácidos o carbonatos (Briceño *et al.* 2009). Los valores registrados en este estudio nos indica una tendencia de aguas ligeramente alcalina (mayor a 7,5), lo cual no representa un límite para el establecimiento y reproducción de comunidades planctónicas.

Respecto a la transparencia en las estaciones de muestreo con el disco de Secchi el promedio fue de 56,25 cm (intervalo 20 – 100 cm), obteniéndose la máxima en la E3, la cual pudiera estar asociada con la profundidad de la estación, debido a que corresponde a la zona de mayor profundidad de la laguna (2 m), la transparencia mínima se registró en la (E1), igualmente pudiéndose relacionar con la profundidad por ser la zona más somera de la alguna (0,20 m).

Los sólidos totales disueltos (TDS) presentó un promedio de 38,14 gr/L (intervalo 41,79 – 35,55 gr/L), obteniéndose el valor máximo en la (E1) y la mínima en la (E4).

La salinidad presento un promedio de 39,09 ‰ (intervalo 36,14 – 43,29 ‰), observándose la mayor salinidad en la (E1) y la mínima en la (E4). La heterogeneidad de los valores entre las distintas estaciones de muestreo corresponderá a la estacionalidad, al intercambio marino (régimen de marea) y la evaporación, fundamentalmente (Lanza y Gómez, 1999). No obstante, las características morfométricas de cada laguna, modifican en menor o mayor grado la hidrología, dándoles condiciones específicas a cada una de ellas (Hutchison 1967, Bautistas 1997, Rodríguez 2000 y Briceño *et al.* 2009).

La conductividad registrada en la zona de estudio oscilo entre los 54,70µS/cm y 64,90µS/cm, presentando su valor máximo en la E1, al igual que se obtuvo el valor de la salinidad. Este parámetro y la salinidad aportan información sobre la concentración de sales solubles en el agua. Por lo que Influye en el equilibrio osmótico de los organismos y limita la presencia de aquellos organismos no tolerantes (Ibáñez *et al.*, 2009).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos por estación, en la laguna costera Boca de Caño (Junio – 2017)

Est/Par	Hora	T (°C)	O ₂ (mg/L)	pH	Secchi (cm)	TDS (g/L)	Salinidad (‰)	µS/cm	Prof. (m)
Est. 1	12:00	30,86	6,20	8,40	20	41,79	43,29	64,90	0,25
Est. 2	12:55	29,90	11,58	8,39	60	38,19	39,11	58,70	0,65
Est. 3	14:00	29,17	5,96	8,36	100	37,02	37,80	56,95	2
Est. 4	10:50	27,80	5,58	7,50	45	35,55	36,14	54,70	0,60
	Prom.	29,43	7,33	8,16	56,25	38,14	39,09	58,81	0,875
	Max.	30,86	11,58	8,40	100	41,79	43,29	64,90	2
	Min.	27,80	5,58	7,50	20	35,55	36,14	54,70	0,25

Zooplankton

El análisis taxonómico de la fauna zooplanctónica revelo la presencia de 12 taxones, clasificados en 5 grupos: Copépodos, Anélidos, Foraminíferos, Huevos y Misceláneos (Tabla 2). Destacando por su abundancia relativa el grupo de los copépodos con el 93 % del total de los organismos colectados, incluyendo sus nauplios (Figura 2), en donde el género *Cyclopoide* fue el que presento mayor abundancia relativa 66,30 % del total de individuos. En este grupo también resalta el género *Calanoide* con una abundancia relativa 12,93%, seguido por el género *Harpaticoide* 11,13 %. En cuanto a su distribución horizontal para este grupo en el área de estudio se observó que la (E1) fue la de mayor abundancia (62,13 ind/L), distribuidos entre los genero *Cyclopoide* (52,93 ind/L) y el género *Calanoide* (9,20 ind/L). En relación con el género *Harpaticoide* represento el taxón dominante y con mayor abundancia (8,53 ind/L) en la (E2).

El segundo grupo de importancia encontrado en la zona de estudio tenemos a los Huevos con una abundancia relativa (2,59%) del total de los organismos contados, reportándose su presencia en la estación E2 y E3.

Los foraminíferos representa un tercer grupo, con una abundancia relativa (2,27%), distribuidos en las cuatro estaciones de muestreo presentando su máxima abundancia en la (E2) 1,07 ind/L.

El grupo de los anélidos presento una abundancia relativa (1,02%), con su valor máximo de abundancia encontrado en la (E2) 0,60 ind/L, en relación a su distribución horizontal en la zona de estudio se observó su ausencia (E1).

En los misceláneos, encontramos los acari con una abundancia relativa 0,63%, denotando su ausencia para la E1, seguido tenemos a los anfípodos 0,16% de abundancia relativa, en donde solo fue registrado para la E2, por último reportamos valores similares en su abundancia relativa 0,08% a los tintinidos, megalopas y nematos, dichas observaciones solo fueron para la E4.

La presencia y el número de especies variaron según la estación de muestreos, reflejando una heterogeneidad en la zona de estudio. Estas variaciones pudieran ser explicadas en términos de distribución propia del zooplancton, de la acción de las variables ambientales y fisicoquímicas del agua, características morfológicas propias de la laguna y el grado de vegetación presente (Rodríguez, 1969, 1978, Siebeck y Ringelberg 1969, Burgis y Wlter 1973, Zoppi *et al.* 1990, Briceño *et al.* 2009).

Los copépodos constituyeron el grupo de mayor abundancia en la Laguna Costera de Boca de Caño. Estos resultados afirman lo señalado por Yáñez-Arancibia y Day (1982), quienes señalan este patrón para este tipo de ecosistema, en donde las poblaciones de copépodos son generalmente el componente más abundante de cualquier muestra de zooplancton, constituyendo del 70 al 90% de la comunidad zoopláncica. Este esquema se encuentra asociado al sistema de adaptación que poseen las especies de este grupo que utilizan los recursos disponibles, asegurando de este modo su predominio (Infante, 1988)

En relación a su distribución espacial, la mayor concentración reportada para la E1 62,13 ind/L puede estar sujeta como área de pastoreo y como efecto de la influencia de la vegetación litoral (macrofitas) que sirven de refugio (Lehman, 1988). Es importante recordar que como grupo de especies herbívoras, los copépodos tienen gran importancia en los procesos de pastoreo, y su distribución espacial está asociada a zonas de concentración de fitoplancton, como ha sido descrito para la Bahía de La Paz, Baja California Sur por (Hernández *et al.*, 2007).

Zooplankton de la Laguna Costera Boca de Caño

Tabla 2. Total de grupos zooplanctónicos (ind/L) y su abundancia relativa de la laguna costera Boca de Caño. Junio de 2017.

Grupo/Estación	Est.(1)	Est.(2)	Est.(3)	Est.(4)	Abundancia Total	(%) AR
Copépodos						
Calanoide	9,20	1,13	0,47	0,20	11,00	12,93
Cyclopoide	52,93	2,53	0,60	0,33	56,40	66,30
Harpaticoide	0,00	8,53	0,80	0,13	9,47	11,13
N. de Copépodo	1,47	0,20	0,67	0,00	2,33	2,74
Anélidos						
Larva de Poliqueto	0,00	0,60	0,13	0,13	0,87	1,02
Foraminíferos	0,13	1,07	0,47	0,27	1,93	2,27
Huevos	0,00	1,93	0,27	0,00	2,20	2,59
Misceláneos						
Anfípodos	0,00	0,13	0,00	0,00	0,13	0,16
Tintinido	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07	0,08
Acari	0,00	0,27	0,20	0,07	0,53	0,63
Nematodos	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08
Me galopa	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08
Total	63,87	16,47	3,60	1,13	85,07	100%

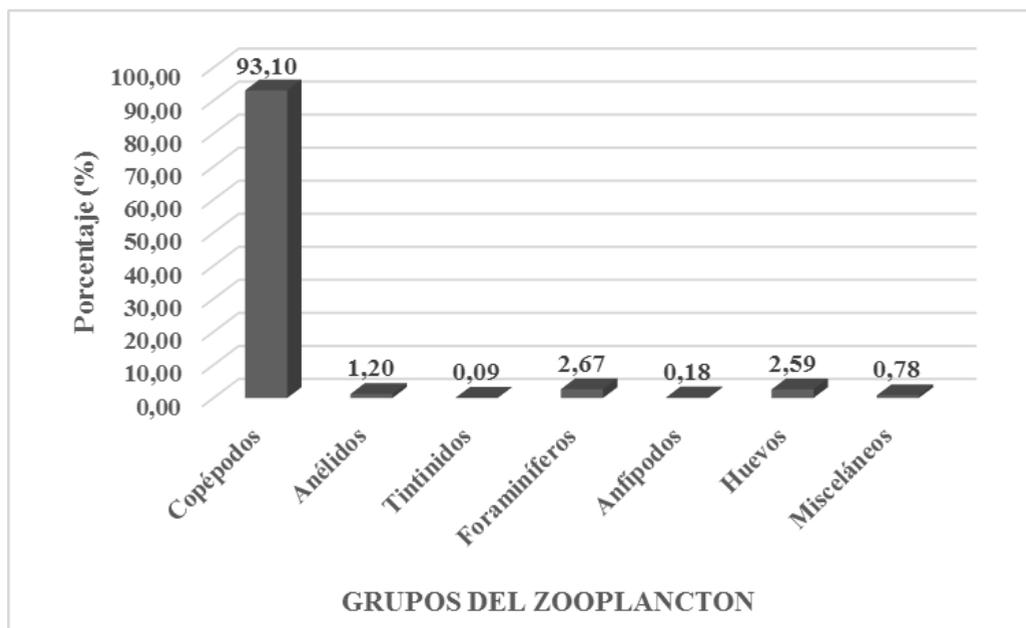


Figura 2. Representación porcentual de la abundancia relativa por grupos zooplanctónicos de la laguna costera Boca de Caño (Junio - 2017).

Índices Ecológicos

Los índices ecológicos Diversidad (H), Riqueza (d), Equidad (J), fueron medidos para todas la estaciones muestreos (Tabla 3). El índice de diversidad (H') se calculó entre un intervalo 0,23decits/ind en la E1 y 0,84 decits/ind en la E3. En referencia a la riqueza de especies oscilo entre 0,57 en la E1 y 1,21 en la E2, por otra parte tenemos la equidad cuyo valor máximo (0,93) fue observado simultáneamente para la (E3) y (E4), indicándonos que no hay dominancia por parte de alguno de los taxones allí presentes, mientras el valor mínimo (0,30) fue estimado para la E1, estando relacionado principalmente a la alta abundancia (52,93ind/L) de los copépodos Cyclopoide observados para esta estación de muestreo.

Según Theis *et al.* (2006), los valores obtenidos de los indicies ecológicos pueden ser considerados relativamente bajos, quienes reportaron en su estudio valores de diversidad (H') entre los 0,26 bits/ind y 2,03bits/ind, equidad (J') 0,16 y 0,89 y riqueza (d) 0,49 y 3, caracterizando la dominancia de unas pocas especies.

Tabla 3. Índice de Riqueza, Equidad, Diversidad para el zooplankton de la laguna costera Boca de Caño. (Junio - 2017)

Estación/Índice	S	N	d	J'	H'(log10)
Estación 1	6	6387	0,5706	0,3065	0,2385
Estación 2	10	1646	1,215	0,6708	0,6708
Estación 3	8	361	1,189	0,9375	0,8467
Estación 4	6	113	1,058	0,9364	0,7287

S= Total de Especie, N= Total de Individuos, d= Riqueza, H'= Diversidad, J'= Equidad

Correlaciones (Parámetros fisicoquímicos vs Índices ecológicos)

El análisis de correlaciones de Spearman para muestras no paramétricas aplicado entre los índices ecológicos y los parámetros fisicoquímicos no evidencio una correlación estadísticamente significativa para estas variables (Tabla 4). Estos resultados pueden estar sujetos a que las correlaciones significativas podrían estar relacionadas con factores bióticos más que con los factores fisicoquímicos (Gasca & Castellano, 1993).

Para futuros estudios de la zona se debe tomar registros de la comunidad planctónica de la laguna varias veces, a fin de detectar los patrones de cambios tanto de su composición como de su abundancia,

y establecer plenamente las relaciones existentes entre el componente planctónico y variables fisicoquímicas.

Tabla 4. Índice de correlación de Spearman entre parámetros fisicoquímicas y índices ecológicos de la laguna costera Boca de Caño. (Junio – 2017)

Par./ I.E.	Riqueza (d)		(J) Equidad		Diversidad (H')	
	Rho de spearman	p- (level)	Rho de spearman	p- (level)	Rho de spearman	p- (level)
Temp (°C)	-0,2	0,8	-0,8	0,2	-0,8	0,2
Salinidad (‰)	-0,2	0,8	-0,8	0,2	-0,8	0,2
Secchi (cm)	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2
pH	-0,2	0,8	-0,8	0,2	-0,8	0,2
(OD)	0,4	0,6	-0,6	0,4	-0,6	0,4
(Tds)	-0,2	0,8	-0,8	0,2	-0,8	0,2
(µs/cm)	-0,2	0,8	-0,8	0,2	-0,8	0,2

Par.= Parámetros, I.E. = Índices Ecológicos, (OD)= Oxígeno Disuelto, (Tds)= Solidos Totales Disuelto, (µs/cm)= Conductividad

CONCLUSIONES

La composición de la fauna zooplanctónica en general, estuvo compuesta por 12 taxones, representada por 3 géneros de copépodos además de los nauplios, anélidos, foraminíferos, huevos y entre los misceláneos: anfípodos, tintinidos, acari, nematodos y megalopa.

Los copépodos representaron el grupo más importante de la comunidad zooplanctónica de la Laguna Costera Boca de Caño. Su abundancia fue heterogénea entre todas las estaciones de muestreo, siendo el grupo Cyclopoide el de mayor abundancia relativa 66,3 % del total de individuos.

Los índices de diversidad y equidad de especies son relativamente bajos, la comunidad zooplanctónica de la laguna Boca de Caño se caracterizó por presentar una dominancia por unas pocas especies.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del esfuerzo interinstitucional del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y La Universidad del Zulia. Se agradece la colaboración del Equipo de Trabajo del Campo Experimental Las Piedras, El departamento de Biología de la Universidad del Zulia y Pescadores de la Comunidad de Titaraya del Municipio Falcón del Estado Falcón.

REFERENCIAS

- Bautistas, H. (1997). Proceso de salinización del Lago de Maracaibo. ICLAM-CORPOZULIA, VENEZUELA, pp. 109.
- Boltovskoy, D. (1981). Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Instituto Nacional de Investigaciones y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Argentina.
- Briceño, H., Buonocore, R., Sangronis, C., García, L., Rojas, J., Chirinos, J., . . . López, C. (2009). Composición y abundancia del plancton de la Costa Noreste de la Bahía el Tablazo, Sistema de Maracaibo, Venezuela. *Boletín Centro Investigaciones Biológicas*, 43(4): 463 - 483.
- Burgis, M., & Walter, A. (1973). A preliminary comparison of the zooplankton in tropical and temperate Lakes (Lake George, Uganda and Loch Lomond, Scotland), Verhandlung der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 18, 647-652.
- Clarke, K., & Gorley, R. (s.f.). PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Plymouth. UK.
- Conde, J., Ramos, E., & Morales, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas*, 13(2): 23-29.
- FAO. (1994). MANEJO Y APROVECHAMIENTO ACUICOLA DE LAGUNAS COSTERAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Trabajos presentados por Brasil, Colombia, Cuba, México y Venezuela en el II Taller Regional sobre Lagunas Costeras México. MEXICO: FAO.
- Gasca, R., & Castellano, I. (1993). Zooplancton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Revista de Biología Tropical*, 41(3): 619-625.
- Hernández, S., Zarate, A., Pacheco, G., Reyes, A., & Acevez, G. (2007). Pastoreo del mesozooplancton sobre el fitoplancton en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. *Hidrobiología*, 17(3), 225-231.
- Hutchinson, E. (1967). Introducción a la ecología de poblaciones (1era ed). Barcelona, España: Blume.
- Ibañez, C., Caiola, N., Nebra, A., & Wessels, M. (2009). Estuarios. En: V.V. A.A, Bases Ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat comunitario en España. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 75 pp.

- Infante, A. (1980). Los cladoceros en el Lago de Valencia. Act. Cient. Venezolana, 31, 593-603.
- Infante, A. (1988). El plancton de aguas continentales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos (Ed), Washington D.C. 125 pp
- Lanza, G., & Gomez, S. (1999). Físicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. Ciencias Naturales, 6(2), 147-153.
- Lehman, J. (1988). Ecological principles affecting community structure and secondary production by zooplankton in marine and freshwater environments. Limnology and Oceanography, 33(4), 931-945.
- Magurran, A. (1991). Ecological diversity and its measurement. Chapman and Hall, London, 179 pp.
- Margalef, R. (1995). Teoría de los ecosistemas ecológicos. Universidad de Barcelona, 289 p.
- Massuti, M., & Margalef, R. (1950). Copepoda. Introducción al Estudio del Plancton Marino. Patrono Juan de la Cierva de Investigación Técnica. Sección de Biología Marina.
- Reid, J. (1985). Chave de Identificación e lista de referencias bibliográficas par las especies continentales sulaméricas de vida libre de orden ciclopoidea (crustáceos copepoda). *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografía*, 9, 17-43.
- Rodríguez, J. (1978). Distribución del zooplankton en pequeña escala, en la Laguna de Tacarigua. Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente, 17((1-2)): 55-68.
- Rodríguez, G. (2000). El sistema de Maracaibo. Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC), 264 pp.
- Siebeck, O., & Ringelberg, J. (1969). Spatial orientation of planktonic crustaceans, I, The Swimming behaviour in a horizontal plane 2, The Swimming behaviour in a vertical plane. Verh, Int, Ver. Limnol. 17(3), 831-847.
- Sokal, R., & Rohlf, F. (1995). Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. Freeman and Company. New York. USA.
- Theis, S., Rojas, J., Ferrer, O., & Severeyn, H. (2006). Variación estacional en la composición de 1 zooplankton y su relación con los cambios de salinidad en la Laguna de Sinamaica, Estado Zulia, Venezuela. Ciencia, 14(2): 109-118.

Wetzel, R. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems. Academic Press, San Diego, USA. pp. 259-319.

Yáñez-Arancibia, A. & J.W. Day Jr. 1982. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Gulf of Mexico. pp. 431-440. In P. Lasserre & H. Postma (eds.). Coastal Lagoons. Oceanológica Acta, Vol. Spec., 5:462 p

Yañez, A., & Sanchez, P. (1988). Ecología de los recursos demersales marinos. AGT Editor, México. 137 pp.

Zoppi de Roa, E., Vasquez, W., Colomine, G., & Pardo, M. (1990). Composicion preliminar del zooplancton del rio churún (Auyantepuy, Venezuela). *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales* 49(133-134): 29-44.



Distribución espacio-temporal de los recursos pesqueros en el Golfo de Venezuela

Spatio-temporal distribution of fishing resources on the Gulf of Venezuela

Orlando Pomares¹, Ricardo Molinet², Jorge Jurado^{1*}

¹Departamento de Ciencias Pesqueras. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda".

²Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar.

 Orlando Pomares () E-mail: opomares@gmail.com

RESUMEN | El presente estudio se deriva de la “Línea Base de Recursos Pesqueros y Pesquerías del Golfo de Venezuela” del Proyecto “Rafael Urdaneta” de Explotación de gas costa afuera (FUNINDES-USB-PDVSA, 2016); en la cual mediante dos campañas (Noviembre - diciembre de 2014, y Marzo - abril, junio de 2015 respectivamente) de prospección pesquera por área barrida (arrastre de fondo) se generó información sobre las densidades (kg/mn²) de los recursos pesqueros demersales y bentónicos del Golfo de Venezuela, así como la elaboración de mapas de distribución por recurso (SIG). Dicha información fue complementada con parámetros ambientales tomados *in situ* (Temperatura, salinidad, O₂, transparencia) y de sensores remotos, así como de información de estudios hidrográficos previos. A partir de la elaboración de mapas de distribución de cada especie por rangos de densidades para cada campaña, se pudo estructurar una clasificación en cinco (05) categorías o tipologías funcionales de especies con patrones comunes de distribución espacial, dependiendo de la asociación de cada especie a condiciones ambientales particulares (ej.: salinidad, transparencia, profundidad). Los resultados obtenidos muestran consistencia con estudios anteriores en la zona y con patrones más generales en otros ecosistemas tropicales, por lo que se consideran útiles para un doble propósito: servir como línea base para evaluar posibles impactos de los desarrollos costa afuera y, como insumo para la gestión (ordenamiento) de las pesquerías actuales y potenciales del Golfo de Venezuela.

Palabras Clave: recursos demersales y bentónicos, Golfo de Venezuela, área barrida, distribución.

ABSTRACT | This study is derived from the “Baseline of Fisheries Resources and Fisheries of the Gulf of Venezuela” from the “Rafael Urdaneta” Project for Offshore Gas Exploitation (FUNINDES-USB-PDVSA, 2016); In which, through two campaigns (November - December 2014, and March - April, June 2015 respectively) of fishing prospection by swept area (bottom trawl), information was generated on the densities (kg/mn²) of demersal and benthic fishing resources of the Gulf of Venezuela, as well as the development of resource distribution maps (GIS). This information was complemented with environmental parameters taken *in situ* (Temperature, salinity, O₂, transparency) and from remote sensors, as well as information from previous hydrographic studies. From the elaboration of distribution maps of each species by ranges of densities for each campaign, it was possible to make a classification into five (05) functional categories or typologies of

species with common patterns of spatial distribution, depending on the association of each species to particular environmental conditions (ex: salinity, transparency, depth). The results obtained show consistency with previous studies in the area and with more general patterns in other tropical ecosystems, which is why they are considered useful for a double purpose: to serve as a baseline to evaluate possible impacts of offshore developments and, as an input for the management (ordering) of current and potential fisheries in the Gulf of Venezuela.

Keywords: demersal and benthic resources, Gulf of Venezuela, swept area, distribution.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este estudio consistió en actualizar la información sobre los patrones de distribución natural de los recursos pesqueros en el área y relacionarlo con variables hidrográficas, como línea base pesquera de los futuros desarrollos gasíferos costa afuera del Proyecto Rafael Urdaneta (PRU) y, a la vez, como herramienta útil a los fines del ordenamiento pesquero ordinario con matiz espacial. Los estudios previos en el Golfo de Venezuela han sido escasos y se limitan a Valdez (1984), Ginés (1982), FLASA (1985) y Pomares (2001), por lo que la data recabada y analizada acá por medio de cruceros exploratorios correspondientes a finales de 2014 y comienzos de 2015, no solo constituye una oportunidad de actualización de la información referente a los patrones de distribución de los recursos pesqueros del Golfo de Venezuela, sino además, si los mismos son consistentes o han cambiado de manera significativa en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Planificación de las campañas

Se planificaron dos campañas de pesca por área barrida empleando el Buque de investigaciones pesqueras y ambientales L/M “CARLITOS” (M: AMMT-2041; entonces bajo la armadura de FUNDATUN) para dos períodos estacionalmente contrastantes del año en cuanto a climatología e hidrografía, de los años 2014-2015; la primera (I) durante el período octubre-noviembre de 2014 y la segunda (II) en febrero-abril de 2015, correspondiendo respectivamente a los períodos de lluvia-aguas altas-sin surgencia (menor salinidad y turbidez y mayor temperatura y transparencia) y sequía-aguas bajas-con surgencia (mayor salinidad y turbidez y menor temperatura y transparencia). Cada campaña se concibió para abarcar un total de 37 estaciones cuya ubicación garantizara una cobertura integral del Golfo de Venezuela (Fig. 1) y, a la vez, la representatividad de los distintos bloques que PDVSA ha seleccionado como oportunidades para la exploración/explotación de gas.

A los efectos de las campañas de área barrida se dispuso de redes polivalentes pareadas de arrastre

de fondo, una por babor y otra por estribor. Cada red posee una longitud, desde las relingas al borde posterior del cañón, de 18,8 m, un saco de 4,20 m con una luz de malla de 1,5 pulgadas (3,81 cm), una abertura horizontal de 30 m. Los arrastres (“lances” o “caladas”) se programaron para durar aproximadamente 0,5 horas contadas a partir de la red tocar fondo. Las faenas de pesca daban comienzo por lo general a primeras horas de la mañana y finalizan al anochecer, aun cuando ello dependía de la cercanía entre estaciones por día y de que no se presentasen percances en el buque.

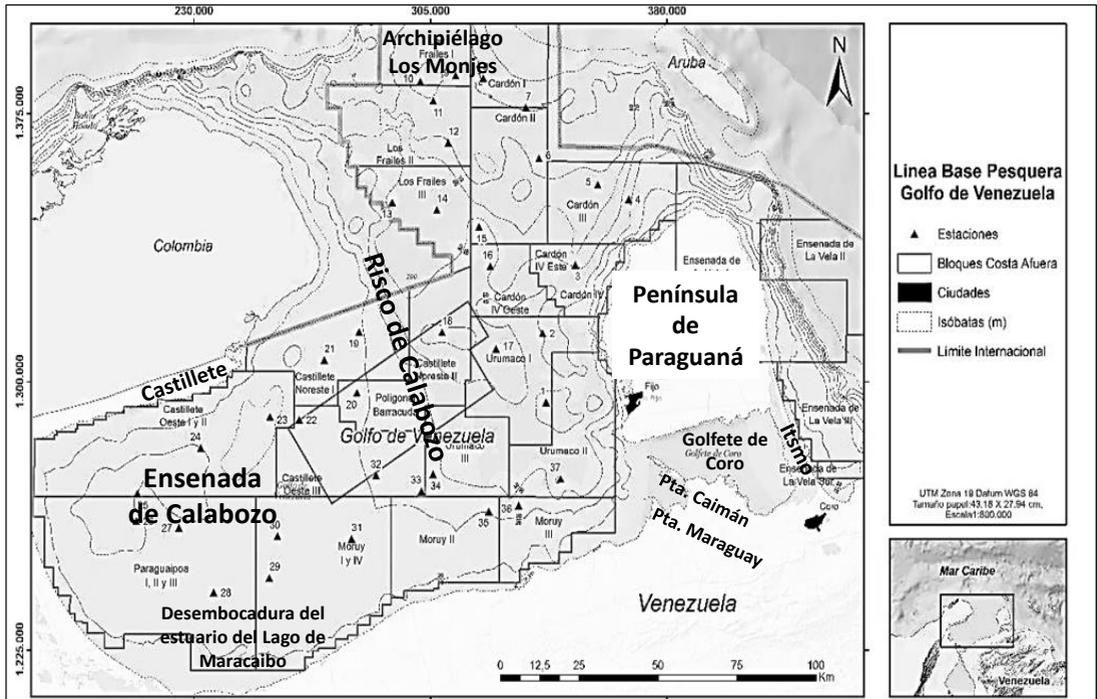


Figura 1. Estaciones referenciales de las campañas de muestreo en el Golfo de Venezuela, evidenciando los bloques de exploración y la identificación de algunas ecorregiones e hitos geográficos.

Fuente: Modificado de: FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

Procesamiento de la captura a bordo

Una vez que los copos con las capturas son izados a bordo se procesan uno a la vez a fin de evitar que las capturas se mezclen. El copo es abierto sobre la cubierta y toda la captura es encajada de manera aleatoria (en cestas que llenas lo más al ras posible de pescado y que almacenan aproximadamente 10 kg de producto) para calcular la captura total. De inmediato toda la captura es vaciada nuevamente sobre cubierta y se toman submuestras de manera aleatoria (sin discriminar organismos comerciales y no comerciales y estimada en N² de cajas) equivalentes a aproximadamente el 20% de la captura total

por cada red. Así, por ejemplo, si la captura total fue de 10 cajas, se tomaban 2 cajas como submuestra. Las submuestras fueron previamente clasificadas en fauna comercial y “broza” o “descarte” con ayuda del criterio del capitán y los marinos. Los ejemplares comerciales fueron identificados al máximo nivel de resolución taxonómica posible (especie), y los de la broza a un nivel taxonómico variable (opcional), dependiendo de las dificultades del caso. Los ejemplares en los cuales se presentaron problemas de identificación y/o análisis biológico, se preservaron y etiquetaron para su posterior procesamiento en el laboratorio (Fig. 2).

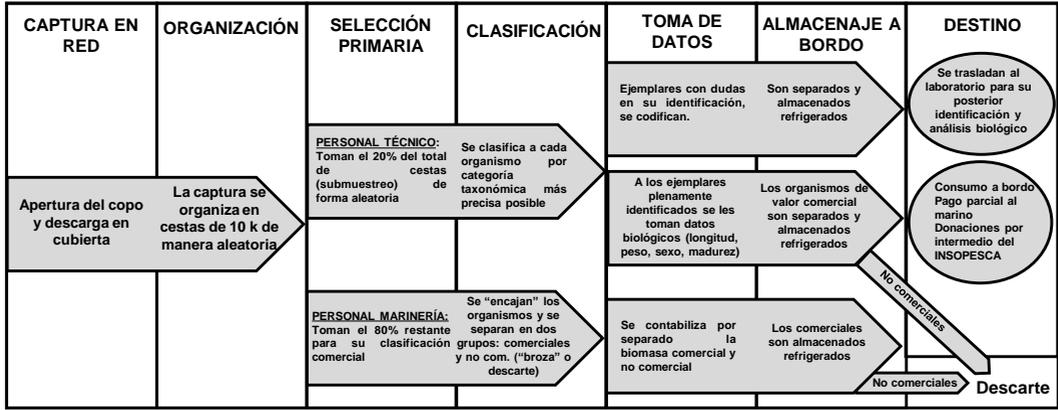


Figura 2. Diagrama esquemático del protocolo para el procesamiento de la captura a bordo.

Fuente: Modificada de FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

Variables hidrográficas

En cada estación de muestreo, se hicieron mediciones de temperatura (°C), concentración de oxígeno disuelto (mL/L) y salinidad (UPS) mediante el uso de una sonda multi-paramétrica YSI-556 MPS, tanto a nivel superficial como a intervalos de 05 de profundidad hasta llegar a los 15 m (máxima longitud del cable), lo cual, si bien, no permitió determinar perfiles completos, facilitó la identificación de procesos de estratificación /mezcla de la columna de agua debido a las profundidades relativamente someras del golfo. Adicionalmente, se utilizaron imágenes satelitales de la página web del Proyecto Cariaco. (<http://cariaco.intecmar.usb.ve/>) para verificar la distribución superficial de la temperatura y la presencia/ausencia de surgencia en el área. Como información complementaria se determinó la transparencia (Secchi).

Procesamiento de los datos

El área del Golfo de Venezuela quedó circunscrita al área dentro de los límites internacionales, al oeste del Cabo San Román y se excluye el área del Golfete de Coro; por lo que los modelos obtenidos

se restringieron a esa área. Toda la información y los mapas se encuentran proyectada en coordenadas UTM, Zona 19 y Datum WGS84 (equivalente a REGVEN-SIRGAS). Una vez cargados los datos en el Sistema de Información Geográfico, se procedió a determinar el área potencial de distribución con base en la densidad (kg/m^2) de organismos para cada una de las especies. Para realizar dichos cálculos se utilizó un modelo de batimetría elaborado por el Laboratorio de Sensores Remotos de la Universidad Simón Bolívar. Para calcular el área de distribución potencial de las especies de peces y crustáceos más representativas en el Golfo de Venezuela, se utilizó la técnica de interpolación Kriging (Fortis-Hernández, 2010), la cual asume que los datos recogidos de una determinada población se encuentran correlacionados en el espacio (modelos de superficie con celdas de 100 m de lado). Por lo tanto, las estaciones de muestreo más próximas tienden a tener valores más parecidos que las más distantes. Estos cálculos se realizaron por separado para cada campaña de investigación.

A partir de los datos de densidad íctica e isóbatas se elaboraron patrones tentativos de distribución espacio-temporal por especie. Para la determinación del área de distribución se utilizaron tanto los rangos de profundidad de captura registrados en el presente estudio, como los rangos de profundidad según la bibliografía disponible de índole internacional (Baisre, 1985; Longhurst y Pauly, 1987; Yañez-Arancibia y Sanchez-Gill, 1988; Froese y Pauly 2005; FishBase, 2015) y local (Ewal *et. al.* 1968; Ginés, 1978; FLASA, 1984; Pomares, 2001), escogiéndose los valores mínimos y máximos entre éstos. Para facilitar el cálculo se utilizaron intervalos de profundidad cada 5 metros y se redondeó por debajo para los valores mínimos y por encima para los valores máximos. Con esta información y el modelo de batimetría se generaron áreas que representan la distribución potencial de cada especie.

Adicionalmente, se elaboraron mapas con isolíneas de distribución de la temperatura, oxígeno disuelto y salinidad, a fin de cotejarlos con los mapas de distribución de las especies, en la búsqueda de afinidades entre parámetros físico-químicos y distribución de especies. Estas comparaciones se complementaron con aquella que no fue mapeada de esta forma: transparencia al disco de Secchi.

RESULTADOS-DISCUSSION

Contexto ambiental condicionante de la distribución de los recursos pequeros

Temperatura superficial

Un primer examen de la temperatura superficial media o promedio (TSM) para ambas campañas se muestra en la Fig. 3.A. En ella se presentan las temperaturas por estación de muestreo alineadas en un gradiente de menor a mayor, el cual fue segmentado en zonas contiguas con temperaturas afines. En primera instancia, se aprecia que el rango de temperaturas es más amplio para la campaña II y que en esta se alcanzan temperaturas más bajas que en la campaña I (cerca de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por otra

parte, si consideramos que los límites de la surgencia del Golfo de Venezuela sugeridos por la literatura para la serie 1995–2005, (Castellanos et al., 2002) se encuentran entre los 25 °C y 26 °C; podemos afirmar entonces que, las estaciones muestreadas durante la campaña I corresponden a un período estacional sin surgencia, o con surgencia despreciable, ya que apenas dos estaciones (I-4 y I-6) tienen valores dentro de este rango. Por el contrario, buena parte de las estaciones (un total de 17) de la campaña II, tienen temperaturas por debajo de los 25 °C; en razón de lo cual, podemos inferir que existe surgencia en amplias zonas del Golfo. A fin de corroborar esto, resulta útil revisar la clasificación de las distintas zonas del golfo en función de su temperatura que se muestra en la Fig. 3.A. Así vemos que, las estaciones con bajas temperaturas (< 25 °C) corresponden a: el norte de Paraguaná y centro-norte del golfo (asociadas probablemente al foco de surgencia de Cabo San Román); la costa occidental de Paraguaná (al foco de Punta Cardón); y los alrededores del archipiélago Los Monjes (al foco de Punta Gallinas). Luego encontramos un gradiente acentuado de cambio en la temperatura que coincide con la zona central del golfo, un ambiente de transición que se corresponde con la ubicación habitual del frente marino en las inmediaciones del risco de Calabozo. Por último, encontramos un conjunto de estaciones con elevadas y similares temperaturas que se ubican en la Ensenada de Calabozo. Es decir, se consigue claramente el patrón hidrográfico predominante durante el primer semestre de cada año y que es emblemático del golfo (Redfield, 1955; Zeigler, 1964; Ginés, 1982; 1985; Monente y Astor, 1987).

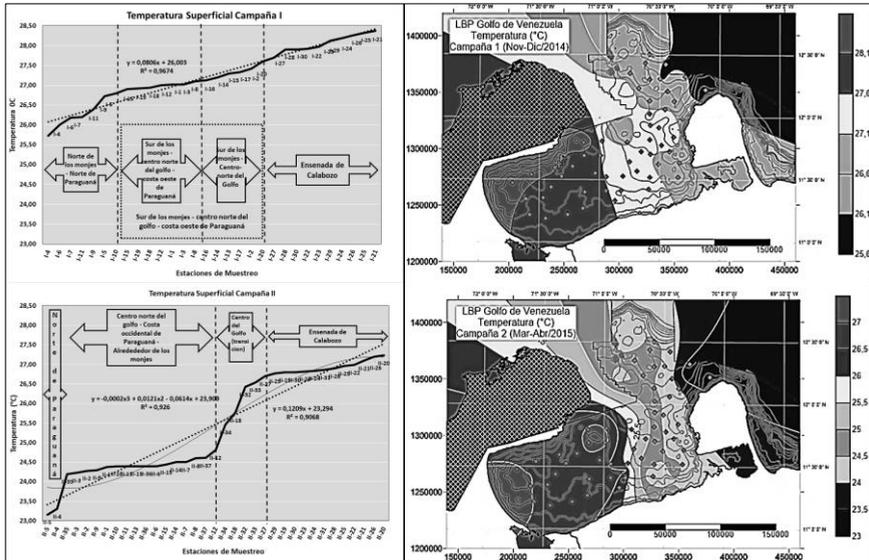


Figura 3. A) A la izquierda arriba y abajo: Diagrama de clasificación de zonas del golfo afines en la temperatura superficial media entre estaciones de muestreo (°C). B) A la derecha arriba y abajo: isotermas; en ambas figuras durante las campañas I y II.

Fuente: FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

La campaña I, como ya comentamos, evidencia la ausencia de surgencia y un gradiente lineal, en el cual, las temperaturas de menos a más siguen la siguiente “secuencia zonal”: a) Estaciones del norte de Los Monjes y Paraguaná; b) del centro-norte del golfo y costa oeste de Paraguaná; c) sur de Los Monjes y centro-norte del golfo; y d) Ensenada de Calabozo. Es decir, se trata de un claro patrón de incremento de la temperatura de norte a sur y de este a oeste, producto del calentamiento diferencial de las aguas costeras en ausencia de surgencia. Por lo demás, la “zonificación”, si bien, algo diferente a la de la segunda campaña, responde evidentemente a un patrón previo de hidrodinámica con presencia de surgencia.

Una manera de reforzar este punto de manera más gráfica es mediante mapas de las isotermas construidas a partir de estas mediciones de temperatura superficial en las estaciones, tal y como se muestran en la figura 3.B. En la campaña II observamos el gradiente de temperatura con las aguas más frías al este (particularmente al norte de Paraguaná, asociadas al foco de Cabo San Román) gradualmente calentándose hacia el este, y el frente marino ubicado a la derecha del meridiano 71, a cuya izquierda encontramos la gran masa de agua uniforme y cálida de la Ensenada de Calabozo (la homogeneidad no es total apenas por un par de lóbulos de agua más cálida en particular hacia la costa de la ensenada). En contraste, la porción este del golfo muestra una mayor heterogeneidad, si bien, se trata de pequeñas variaciones de 0,5 °C en cada isoterma, que no representan importantes diferencias de densidad que restrinjan de manera importante el trabajo del viento para favorecer la mezcla al menos en los primeros 15 metros de la columna de agua (ello se verificó al examinar los perfiles, que no se muestran aquí). Mayor uniformidad en las isotermas de la zona este se percibe en dirección norte-sur donde se observan “franjas” continuas que estarían probablemente indicando predominio de vientos con componente norte y en menor grado este. El mapa de la campaña I no difiere esencialmente del anterior al menos en cuanto a su fisonomía general, a saber: dos masas de agua de diferentes temperaturas y densidades que se mezclan parcialmente en un frente marino. Este último aquí se sitúa propiamente en el risco de Calabozo. Esto refuerza el comentario anterior en cuanto a que los gradientes de temperatura de la campaña I en ausencia de surgencia prefiguran los del momento previo con surgencia. Ahora, si bien, la panorámica general tiene ciertos parangones, esto no es más que en apariencia, debido a los rangos de temperatura más elevados involucrados y que, como ya se comentó, son indicativos de ausencia de surgencia y, además, porque el gradiente no es propiamente lineal (se pudo hacer un ajuste lineal altamente significativo, pero era aún mejor el ajuste polinomial, ver figura 3.A).

Salinidad superficial

De manera análoga al caso de la temperatura, se elaboraron los diagramas e isohalinas que se muestran en las figuras 4.A y 4.B. El examen de las mismas nos revela que, al contrario de lo ocurrido con la temperatura; existe un mayor gradiente salino en la campaña I ($> 30,5 \text{ UPS} < 37,5 \text{ UPS}$) que en

la campaña II ($\geq 35,5$ UPS $< 37,5$ UPS); con los rangos de salinidades más bajos correspondiendo a la primera y en ambos casos las menores salinidades en la región oeste del golfo: Ensenada y Risco de Calabozo. En cambio, las zonas norte y este son bastante homogéneas en ambas campañas con valores muy cercanos a las 37 UPS. Esto denota tres cosas: a) que la salinidad superficial en el noreste del Golfo no varió con y sin presencia de surgencia (lo que sí ocurrió evidentemente con la temperatura); b) que la porción oeste comprendida por la Ensenada y Risco de Calabozo se comportó como estuario ($>30,5$ UPS $\leq 36,5$ UPS) durante la primera campaña y como ambiente esencialmente marino ($\geq 35,5$ UPS $< 36,5$ UPS) en la segunda, aun cuando, manteniendo salinidades ligeramente más bajas que en la porción noreste (alrededor de las 36 UPS vs. 37 UPS); c) que se verifica el esquema de las masas de agua diferenciadas en dirección este-oeste / sur-norte detectado en el análisis de las temperaturas superficiales; y d) que existe un gradiente de salinidad a lo interno de la propia zona oeste, de manera que las salinidades van disminuyendo a medida que nos acercamos a su costa (en las cercanías del estrecho del Lago de Maracaibo, y por ende, bajo mayor influencia de este) y aumenta a medida que nos acercamos al frente marino y a la zona de transición con la masa de agua del este (disminución de la influencia del lago e incremento de la de la zona de mezcla parcial).

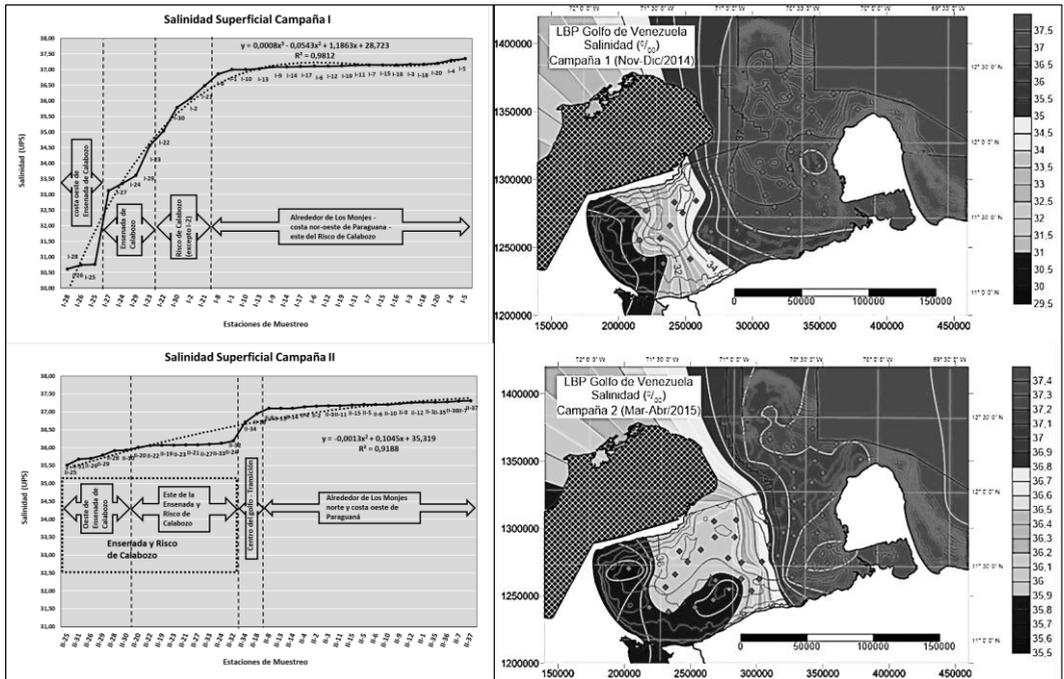


Figura 4. A) A la izquierda arriba y abajo: Diagrama de clasificación de zonas del golfo afines en la salinidad superficial media entre estaciones de muestreo (UPS). B) A la derecha arriba y abajo: isohalinas; en ambas figuras durante las campañas I y II.

Fuente: FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

Oxígeno superficial

Los análisis de los diagramas de líneas y oxiclina de las concentraciones de oxígeno disuelto (O_2), a diferencia de lo acontecido con la temperatura y salinidad superficiales, no arrojaron patrones ni gradientes claros en su distribución. Además, los rangos totales de concentración de O_2 superficial fueron reducidos (5,20-6,41 mg/l y 5,10-7,10 mg/l en las campañas I y II respectivamente). Por ello, y, además, por no ser los rangos más bajos, limitantes para la adaptación de las especies no resultaron útiles para asociarlos a los patrones que se hallaron de distribución de las especies. Hay que tener presente que estas variaciones en los niveles de O_2 son lo bastante pequeñas como para servir de indicador, máxime al tratarse principalmente de recursos demersales y bentónicos, adaptados a tensiones medias a bajas de O_2 , y para los que importa más conocer cómo se distribuye el O_2 en las capas inferiores de la columna de agua y en el fondo. Esto último, no fue posible pues como ya se indicó sólo se pudo llegar hasta los 15 m de profundidad.

Transparencia

Otros parámetros físicos importantes a considerar como condicionantes de la distribución espacio-temporal de los recursos son la turbidez (entendida como grado de opacidad del agua) y la transparencia (penetración de la luz en el agua), debido a que algunas especies presentan adaptaciones especiales para los ambientes con poca visibilidad, y otras, por el contrario, son visualmente activas. Sumemos el hecho de que los ambientes con poca transparencia limitan la fotosíntesis y con ello las cadenas alimentarias del pastoreo (derivadas de los productores primarios) y, en general, a las especies pelágicas. Sólo se contó con las mediciones de transparencia obtenidas durante los cruceros, y las mismas, fueron tan sólo aproximadas (redondeadas a valores enteros) por lo que usaron como un referente de tipo cualitativo, lo cual no impidió que se consideraran en los análisis. Se asumió que la transparencia fungía como un indicador indirecto aproximado de la turbidez.

Los rangos en la profundidad de transparencia encontrados fueron de 2-18 m y 1-10 m, en las campañas I y II respectivamente, y de ellos se pudo inferir que fue mayor durante la ausencia de vientos fuertes (Campaña I) que durante sus mayores intensidades en la época de surgencia (Campaña II). En ambas campañas se presentó un “gradiente zonal” de menor a mayor transparencia (e inverso de turbidez) en sentido: oeste-centro-este-norte del golfo, tal y como se aprecia en la figura 5. Existen, claro está, diferencias en las magnitudes de los rangos por campaña en cada zona: A) oeste del golfo y Ensenada de Calabozo: 2-7 m y 1m; zona de transición (inmediaciones del Risco de Calabozo): 7-17 m y 3-7 m; este y norte del golfo: 18 m y 10 m (campañas I y II respectivamente, en cada zona).

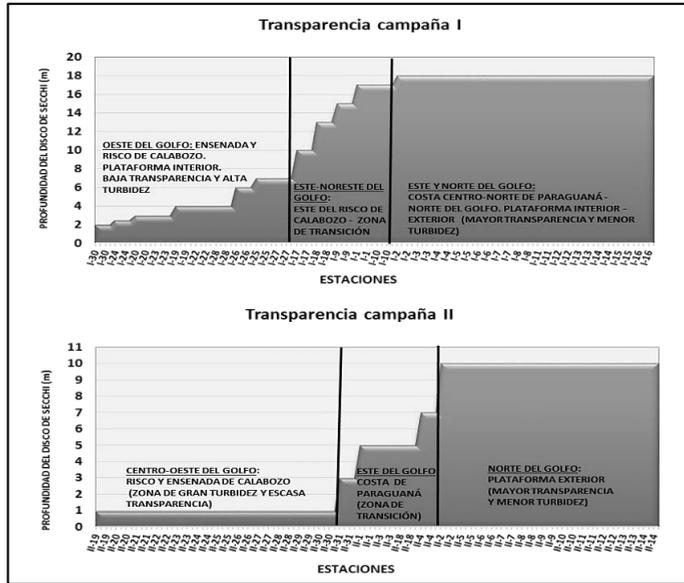


Figura 5. Transparencia medida por la profundidad del disco de Secchi en las campañas I y II (valores redondeados a números enteros).

Distribución de especies

Se pudieron elaborar para cada campaña mapas de distribución individuales de las especies (en rangos de densidad en kg/m^2) con base en un modelo que restringe la misma al rango batimétrico reportado en cada campaña y acotados por límites fronterizos del país, tales como los que se muestran a manera de ejemplo en la figura 6.

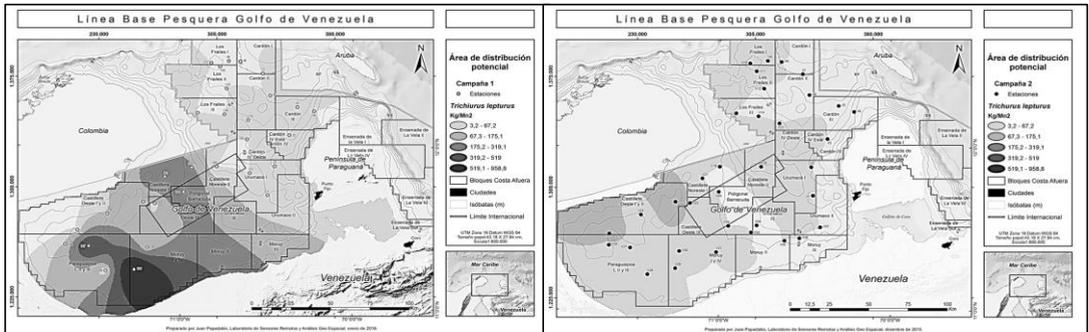


Figura 6. Distribución del Tajalí (*Trichurus lepturus*) con base en las densidades promedio (Kg/m^2) para las campañas I y II.

Fuente: FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

Distribución de los recursos pesqueros del Golfo de Venezuela

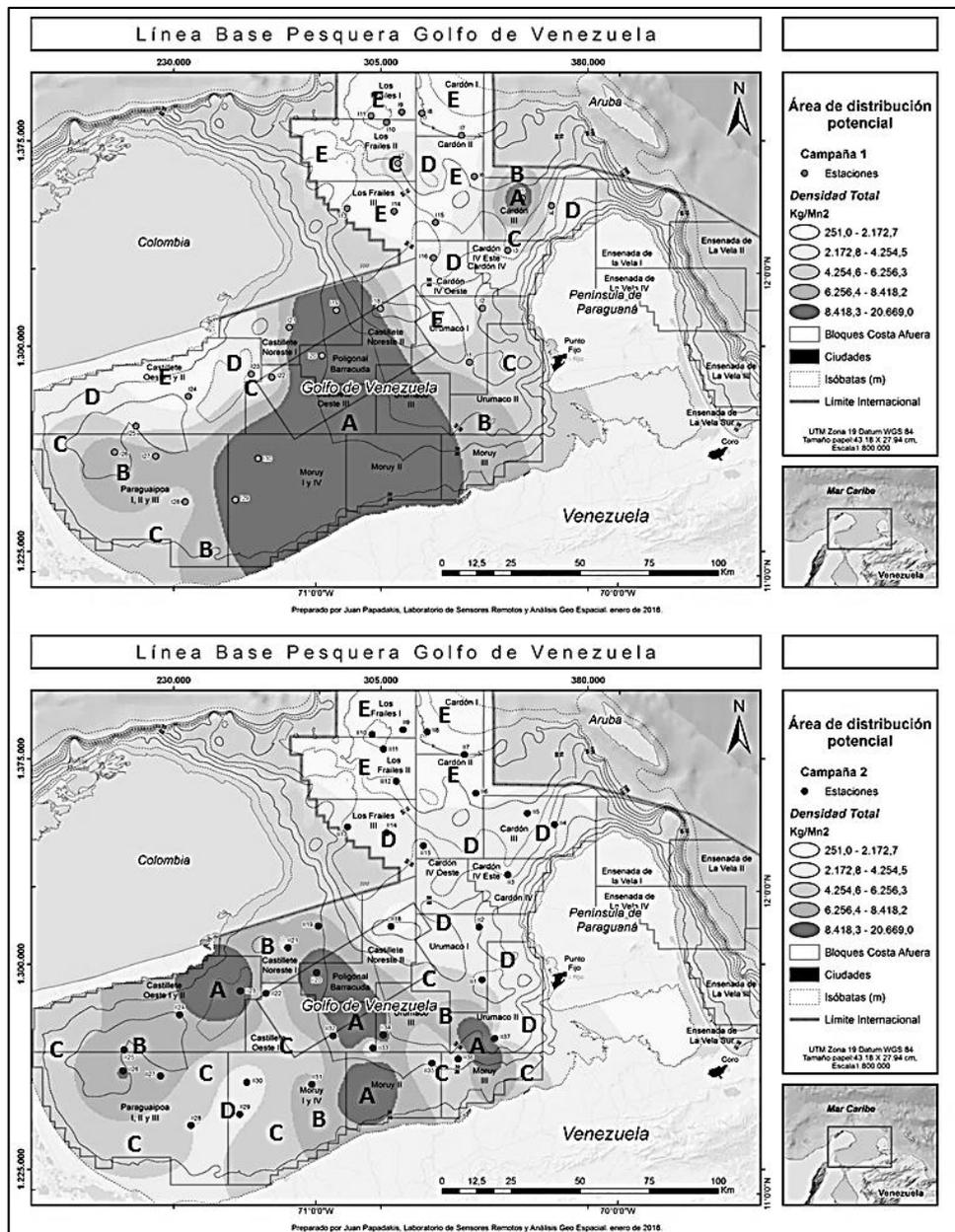


Figura 7. Distribución espacial de la Densidad total (kg/mn²) por campaña (Se identifican con letras y tonalidades de gris las agregaciones de recursos pesqueros por rangos de densidad que se discuten en el texto).

Fuente: FUNINDES-USB-PDVSA, (2016).

Distribución por densidades totales

La distribución de las densidades globales (kg/m^3) por campaña se representa en la figura 7, y a los fines de facilitar su interpretación en el contexto ambiental se añadió la figura 8, en la cual se muestran los mapas de distribución de recursos de la figura 7 junto a los mapas de las isotermas e isohalinas (figs. 3.B y 4.B). A partir estas figuras y considerando otras variables como profundidad, transparencia-turbidez, tipo de fondo (literatura) y, siempre teniendo en mente la existencia de gradientes ambientales; se elaboró la siguiente clasificación en “grupos” o “agregaciones” de especies y se discutió la asociación de las mismas a condiciones ambientales particulares. Sin embargo, debe tomarse en consideración que esta desagregación en grupos discretos es en cierta forma un artificio con fines prácticos (Ej.: manejo) de lo que en realidad es un gradiente ambiental y de densidades.

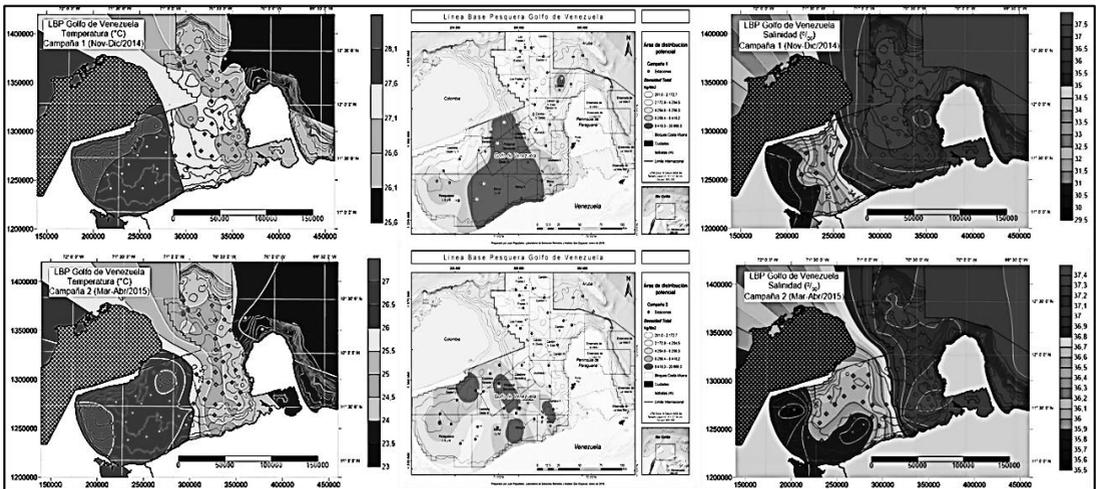


Figura 8. Comparación de los mapas para cada campaña de distribución de las densidades totales (kg/m^3) (Figura central) con los de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (Figura a la izquierda) y la salinidad (USP) (Figura a la derecha).

Fuente: FUNINDES-USB-PDVSA, (2016).

A continuación, se describen las principales agregaciones de recursos pesqueros (se identifican con letras en el mapa de la Fig. 7) y cuya principal fundamentación se basa en la combinación de información de la Fig. 8 complementada con los datos de transparencia:

A) Un foco de mayor densidad ($> 8,4 \text{ t}/\text{m}^3$) se ubicó en el centro del Golfo con estribaciones a ambos lados del Risco de Calabozo, pero más hacia el oeste. Se detectó en ambas campañas, pero tuvo mayor alcance espacial en la campaña I. Tiene forma más o menos elongada y su mayor longitud es en dirección norte-sur (a la altura de Castillete por el norte y de Pta. Maraguay por el sur), aunque fue algo más disperso y fragmentado en la campaña II) abarcando principalmente las isóbatas de 20 y 30 m, por

lo que se circunscribe a la plataforma interior del golfo. Esa región constituyó un frente marino entre dos masas de agua con diferentes salinidades y temperaturas. El ecotono salino fue más evidente en la campaña I y el térmico en la II. Por ello, y debido también a la convergencia de corrientes del este y oeste, fue al mismo tiempo un ambiente turbulento por ser una zona de transición, favoreciendo el encuentro de especies estuarinas y marinas y la resuspensión de nutrientes que, por la vía de las cadenas alimenticias del pastoreo, pero sobre todo del detritus —las primeras no deben ser tan relevantes, pues la turbidez limita la penetración de luz y con ello, la fotosíntesis (FLASA, 1984, Monente y Astor, 1987)—, debió presentar una buena oferta de alimento y/o estímulo para la reproducción, favoreciéndose con ello las agregaciones de peces. Así mismo, es probable que constituya un hábitat propicio para el refugio, en particular de los juveniles, precisamente por las condiciones de baja visibilidad que limitan la eficacia de los depredadores visuales.

Las siguientes especies alcanzaron importantes densidades individuales contribuyendo a los estimados globales en este foco: Roncador (*M. furnieri*), Rayas (*Dasyatidae*, *Rajidae*), Curvinata (*M. ancylodon*), Cherechere (*H. steindacneri*), Mojarra (*D. rhombeus*), Guanapo (*L. synagris*), Curvina (*C. jamaicensis*), Tahalí (*T. lepturus*). La mayoría de estas especies son indicadoras de ambientes de influencia estuarina, pero algunas (Ej.: Guanapo, los Haemúlidos) lo son de ambientes marinos reflejando la condición de ambiente de transición en el que se detectaron estas grandes densidades. Precisamente este tipo de especies sumadas a: la Catalana (*P. arenatus*), el Panchito (*P. aquilonaris*) y el Cunaro (*R. aurorubens*), entre otras, incidieron en que se formara un foco alterno de concentración (pequeño y aislado) al noroeste de Paraguaná, el cual, apunta a una composición de especies y físico-química particular, que únicamente coincidió en los rangos de densidades con el previamente descrito; de hecho, se ubicó en la plataforma exterior del golfo.

B) La segunda agregación en importancia también presente en ambas campañas se evidenció a ambos márgenes (derecha e izquierda) de la anterior, teniendo densidades comparativamente altas $> 6,2$ y $< 8,4$ t/mn², circunscribiéndose a la plataforma interior del golfo. Sin embargo, respondieron a contextos ambientales distintos, así la agregación de peces de la margen izquierda (oeste) se ubicó en ambientes de marcada (30-32,5 USP) y moderada (35,6-36,1 USP) influencia estuarina en las campañas I y II respectivamente, y de temperaturas similares en ambas campañas (≈ 28 °C y 26,5-27 °C) presentando condiciones muy someras (isóbata de 20 m). El ambiente de la margen derecha (este) presentó valores altos y bastante homogéneos de salinidad (37-37,5 USP y 36,2-36,7 USP en las campañas I y II) indicando además de la regularidad de ese parámetro, la condición dominante de ambiente marino en ambas épocas del año. La temperatura también fue bastante homogénea (≈ 27 °C y 25-26 °C en las campañas I y II), y si bien, los valores fueron inferiores a las medias de los obtenidos en la zona oeste, no fueron lo suficientemente bajos como para indicar influencia directa de la surgencia aún durante la 2^{da} campaña, lo cual si ocurrió más al este y al norte del golfo. Las profundidades fueron algo mayores que las de la porción oeste (isóbata de los 40 m) pudiendo calificarse

de intermedias. Los bagres, los Esciánidos y los robalos estuvieron entre los principales grupos que contribuyeron a las densidades totales de la zona oeste. Por su parte, el Guanapo, los Haemúlidos, las rayas y los lenguados estuvieron entre los más relevantes de la zona este. El efecto condicionante del medio se evidencia al comprobar que el primer grupo de especies corresponde a especies indicadoras de ambientes estuarinos, y el segundo de ambientes marinos.

C) La tercera agregación prácticamente envuelve a la anterior y puesto que aquella lo hacía con la primera, podríamos estar hablando –como ya se dijo con anterioridad– de un gradiente de densidades de mayor a menor desde el centro a las periferias del golfo. En esta agregación las densidades fueron intermedias teniendo un rango de $> 4,2$ a $< 6,2$ t/mn² y se dispersaron en ubicaciones aún más periféricas de las fracciones este y oeste del golfo, no obstante, lo cual, estuvieron prácticamente circunscritas a la plataforma interior del golfo.

Puede decirse que, ambos subgrupos de agregación de densidades este-oeste reflejan a su vez, los subgrupos este-oeste discutidos en “B”, solo que a menores densidades y valores algo más extremos de las variables físico-químicas (temperatura, salinidad, transparencia) a la manera de un gradiente ambiental como ya se comentó. Así, la salinidad registrada fue: 30-33 USP y ≈ 37 UPS (Campaña I: oeste y este), y: ≈ 35 UPS y 36,8-37,2 UPS (Campaña II: oeste y este); y la temperatura: $\approx 26,6$ y ≈ 28 °C (Campaña I: oeste y este), y: 26,5-27 y 24,5-25,5 °C (Campaña II: oeste y este). Las mismas especies indicadoras de los ambientes al este y oeste del golfo que se mencionaron en “B”, son en líneas generales también representativas aquí.

Una excepción al patrón descrito lo constituye un pequeño “parche” aislado que se ubica justo al sur del arrecife de Los Monjes en la campaña I. Al margen de esa coincidencia en cuanto al rango de densidad de peces, resulta evidente que está restringida y distante agregación guarda poca relación con la composición de especies y las características ambientales descritas para este grupo “C”, y más bien se ajustan a las del grupo “E” que serán discutidas abajo.

D) Esta agregación de densidades moderadas ($> 2,1$ a $< 4,3$ t/mn²) incluyó espacios en la parte oeste en la plataforma interior del golfo (ensenada de Calabozo), sin embargo, estos fueron reducidos y las áreas más extensas se centraron en la costa occidental de Paraguaná y el centro-norte del golfo, abarcando parte de las plataformas interior y exterior, y los grandes bloques Cardón y Urumaco. En este caso las agregaciones se ubicaron en ambientes con amplios rangos de profundidad (isóbatas de 30-70 m) con aguas más claras y de mayor influencia oceánica. Los sustratos presentan aquí mayor heterogeneidad con alternancia de fondos duros y blandos y con distintas composiciones porcentuales de fangos, arenas, gravas. Esto contrasta con los fondos blandos predominantemente fangosos o fango-arenosos, que caracterizan a las zonas donde se delimitaron las agregaciones “A”, “B” y “C”. Hubo cierta diferenciación estacional importante en el sentido de que la agregación se extendió más en la

campaña II llegando hasta la costa sur del golfo y, por el contrario, más al norte hasta llegar a Los Monjes, en la campaña I.

Si observamos la buena correspondencia entre los mapas de temperatura y salinidad con los de densidad (figura 8), podría inferirse que la influencia de la surgencia durante la campaña II, traducida en: menores temperaturas relativas: 23-24,5 °C, y, mayores salinidades relativas: 37,1-37,4 USP; estaría facilitando el desplazamiento hacia el sur de las especies con mayor “vocación” marina. Por el contrario, su ausencia o disminución durante la Campaña I, indicaría una influencia estuarina (básicamente del Lago de Maracaibo), evidenciada por mayores temperaturas relativas: 26,6-27,1 °C y menores salinidades relativas: 35,5-36,5 USP; las cuales estarían limitando la distribución de estas especies más al norte donde el Mar Caribe mantiene una mayor influencia. Las especies contribuyendo en mayor medida a la densidad global de este foco fueron: lenguados (*Baothidae*), rayas (*Dasyatidae*, *Rajidae*), Cherechere (*H. steindacneri*), Cherechere boca-roja (*H. plumieri*), Guanapo (*L. synagris*), Corocoro (*O. ruber*), Cachicato (*C. penna*), Cunaro (*R. aurorubens*), Salmonete (*U. parvus*). Si bien, responsables principales de las densidades globales de este foco, varias de ellas presentan un rango de distribución que lo excede, es decir no son auténticos especialistas de hábitat. Un factor adicional que podría contribuir a explicar la conformación de estas agregaciones sería la existencia de cierta “exportación” de especies desde los Monjes y Aruba (debido a la cercanía de ambas), combinada con la influencia oceánica ya comentada. Adicionalmente, se presentó una pequeña agregación al sur de Los Monjes bordeando a la mencionada en “C” que igualmente guarda relación con el grupo “E” que se describe a continuación.

E) La agregación con la menor densidad total en ambas campañas se situó al norte del golfo, exclusivamente en su plataforma exterior abarcando los grandes bloques Cardón y Los Frailes. El ambiente se caracterizó por su naturaleza oceánica y relativa profundidad (isóbatas de 60-100 m) que moldean las comunidades que lo habitan, pero por sobre todo, debe ser determinante la influencia del archipiélago Los Monjes y la geomorfología aledaña caracterizada por la presencia de hábitats de gran heterogeneidad: arrecifes, fondos duros compactados, de grava, y/o arenosos, relieve abrupto; los responsables de conformar asociaciones ícticas adaptadas a esas condiciones que al final incidieron en las densidades globales encontradas. Esto se corrobora al identificar las especies responsables de las mismas en este foco: Guanapo (*L. synagris*), Cunaro (*R. aurorubens*), Panchito (*P. aquilonais*), Pargo Cebal (*L. analis*), Mucoso-Corocoro (*H. lavolineatum*), Cachicato (*C. penna*). Algunas de estas especies se restringen bastante a la zona (Ej.: Panchito, Cunaro, Pargo Cebal), por lo que suelen ser referidas en la literatura como indicadores de ambientes arrecifales, y otras, aun siendo abundantes acá, tienen una distribución bastante más amplia, siendo lo que podríamos llamar generalistas de hábitat (Ej.: Guanapo).

Clasificación de las especies en tipologías según su distribución

A partir del análisis previo de distribución por densidades totales con base en los mapas de las figuras 7 y 8, de los mapas de distribución por especie (ej.: figura 6) y, del análisis previo de las variables ambientales; se pudo construir una clasificación de la distribución de las especies permitiendo agruparlas en categorías o tipologías que expresan un patrón más o menos general y común de uso del hábitat, y cuáles especies serían indicadoras por cada tipología. Al momento de construir la clasificación se propendió a una suerte de síntesis o condición “promedio”, producto de la consideración simultánea de ambos mapas (las dos campañas) por especie. En total se conformaron 5 categorías o tipologías atendiendo al grado de generalidad o especificidad en la distribución espacial, cotejando ésta con una combinación de criterios ambientales que pueden ser asociados a las distintas zonas del golfo: tipos de fondo (obtenidos de la literatura), profundidad, salinidad, temperatura, transparencia-turbidez, y en general, el matiz hidrográfico marino y/o estuarino. Debido a esto último, los 5 tipos se pueden agrupar en dos categorías más amplias: Especies estuarinas-marinas y especies marinas, por lo que la salinidad resultó un criterio clave.

Tabla 1. Lista de especies por tipología funcional de distribución, propuesta en el presente estudio.

Tipología de distribución	Nombre(s) común(es)	Nombre científico (Especie o de menor resolución taxonómica)
ESTUARINAS- MARINAS 1:	Bagre	<i>Arius spp</i>
	Bagre quince	<i>Cathorops spixii</i>
	Bagre cucumo	<i>Bagre marinus</i>
	Róbalo	<i>Centropomus spp</i>
	Camarón blanco	<i>Litopenaeus scmitti</i>
	Camarón titi	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>
	Camarón marrón	<i>Farfantepenaeus subtilis</i>
	Zapatero-tuna	<i>Oligoplites palameta</i>
	Conchúa	<i>Cynoscion acoupa</i>
	Curvina-tonguicha	<i>Cynoscion jamaicensis</i>
	Curvina dorada	<i>Cynoscion microlepidotus</i>
	Curvinata	<i>Macrodon ancylodon</i>
	Chicharra-cuchilla-ruya	<i>Chloroscambus crysurus</i>
ESTUARINAS- MARINAS 2:	Merluza	<i>Cynoscion leiarchus</i>
	Cagalona	<i>Archosargus rhomboidalis</i>
	Cachúa-perra	<i>Ballister capricus</i>
	Rayas	<i>Dasyatidae, Rajidae</i>
	Mojarra	<i>Diapterus rhombeus</i>
	Pámpano	<i>Trachinotus carolinus</i>
	Cota-mondeque	<i>Lagoccephalus laevigatus</i>
	Camarón rojo	<i>Farfantepenaeus notialis</i>
ESTUARINAS- MARINAS 3:	Thali-tajali-machete	<i>Trichurus lepturus</i>
	Pargo gallo	<i>Lachnolaimus maximus</i>
	Paguara	<i>Chaetodipterus faber</i>
	Roncador-ronco	<i>Micropogonias furnieri</i>
MARINAS 1:	Sardina	<i>Sardinella aurita</i>
	Bocachico	<i>Meristicurus littorali</i>
	Macabi-carajo	<i>Albula vulpes</i>
	Lamparosa	<i>Selene setapini</i>
	Lenguados-arrevés	<i>Boothidae</i>
	Mocoso-Corocoro	<i>Haemulon flavolineatum</i>
	Cherechere	<i>Haemulon steindocneri</i>
MARINAS 2:	Guamapo	<i>Lutjanus synagris</i>
	Cazones-tiburones	<i>Squaliformes</i>
	Cherechere boca roja	<i>Haemulon plumieri</i>
	Garipete	<i>Synodus spp</i>
	Corocoro-peorro	<i>Othorpristis ruber</i>
	Panchito	<i>Pristipomoides aquilonaris</i>
MARINAS 2:	Cumaro	<i>Rhomboplites aurorubens</i>
	Pargo	<i>Lutjanus analis</i>
	Salmonete	<i>Upeneus parvus</i>
	Gallina	<i>Prionotus spp.</i>
	Bolo-trucha	<i>Diplectrum radiale</i>
	Paleta	<i>Caulolatilus cyanops</i>
	Langosta	<i>Panulirus argus</i>
	Catalana-catalucia	<i>Priacanthus arenatus</i>
	Cataco ojoñ	<i>Selar crumenophthalmus</i>
	Cachicato-sargo	<i>Colamus penna</i>
	Calamares	<i>Loligo spp</i>

A continuación, se hace la descripción desagregada de cada grupo (En la tabla 1 se listan las especies representativas de cada grupo):

Estuarinas-marinas 1: Especies eurihalinas que se encuentran concentradas básicamente al oeste del golfo bajo la influencia estuarina del Lago de Maracaibo, estando ausentes o a bajas o medias densidades en la porción este, en cuyo caso lo hacen generalmente bordeando la costa de dicha zona en ambientes salobres o hipersalinos bajo la influencia distante del lago de Maracaibo en el primer caso, y del Golfete de Coro en el segundo. Se encuentran casi exclusivamente en la plataforma interior del golfo y en la P. exterior solo en zonas costeras de la Guajira (El camarón rojo especie incluida en este grupo, tiene una distribución especial pudiendo cubrir zonas del norte). Su hábitat se caracteriza por la presencia de aguas de gran turbidez (ofrece cierta protección a los juveniles ante la depredación) y fondos someros (< 40 m) con predominancia de fangos o combinaciones fango-arenosas. Algunas especies desovan en los ambientes estuarinos (Lago de Maracaibo, desembocadura de ríos Limón y Ricoa, y Golfete de Coro) y otras los usan básicamente como lugares de cría, pero en todo caso su distribución está condicionada a los cambios estacionales en la salinidad.

Estuarinas-marinas 2: Especies generalistas con moderada capacidad eurihalina presentando abundancias similares en el este y oeste del golfo (dependiendo de la época del año), y tanto en la plataforma interna como en la externa. En aguas claras y turbias y en fondos arenosos, fangosos. Su plasticidad les permite además cubrir amplios rangos batimétricos. En ambientes marinos y de influencia estuarina. Algunas especies reproduciéndose en medio marino de influencia estuarina, otras sólo lo utilizan como ambiente de crianza; pero en todo caso, sin ser estrictamente dependientes del ambiente estuarino son bastante influenciadas por este.

Estuarinas-marinas 3: Especies generalistas con gran capacidad eurihalina presentando abundancias similares en el este y oeste del golfo, bastante restringidas a la plataforma interna, siendo esta la principal distinción con referencia a las especies del grupo anterior (estuarinas-marinas 2). En aguas de turbidez media a alta y en fondos arenosos y fangosos. La reproducción se da usualmente en el ambiente marino con influencia estuarina.

Marinas 1: Especies netamente marinas que se encuentran concentradas al este y con densidades bajas al oeste, tanto en la plataforma interior como exterior del golfo (Algunas solo en la interior). Frecuentan aguas de media a baja turbidez, en fondos fangosos y arenosos y también asociadas a arrecifes. Amplio rango de profundidades.

Marinas 2: Especies concentradas al norte (plataforma externa) y/o al noreste (Frontera entre plataforma interna-externa) en aguas claras o de turbidez media, en fondos arenosos, areno-fangosos, con grava y/o asociadas a arrecifes. En profundidades de intermedias a altas. Ambientes

predominantemente marinos. Un aspecto distintivo del grupo además de su preferencia por ambientes profundos es su asociación a fondos duros y con presencia de arrecifes o parches rocosos (excepción hecha de los calamares y el cataco que son pelágicos, y fueron incluidos en el grupo por la coincidencia en la distribución).

Naturalmente, esta es una clasificación *ad hoc* en función de datos obtenidos a partir de muestreos empleando un solo método de pesca (arrastre) que es muy eficaz para la captura de recursos demerso-bentónicos o demerso-pelágicos (estas categorizaciones son algo laxas), pero no para algunos pelágicos. Además, la data está representando dos únicos “momentos” o “fotografías” (campanas de pesca) en el año (estacionalidad incompleta), y tampoco abarca el espectro temporal diario completo (los lances abarcaron el crepúsculo, pero no las horas de la noche). Todo lo cual, claro está, nos da una visión fragmentaria e incompleta de los patrones de distribución de las especies. No obstante, las peculiaridades del caso, la presente clasificación no se diferencia apreciablemente de otras tipologías equivalentes reflejadas en la literatura para la región FAO del atlántico-centro-occidental (Longursth y Pauly, 1985; Carranza, 1991), del Caribe (Baisre, 1985, Baisre, 1991). Lo mismo podemos decir de las que han sido definidas previamente para el mismo Golfo de Venezuela (Valdez, 1984; FLASA, 1985, Pomares, 2001), en las cuales se detectan como aquí los conjuntos ictiofaunísticos asociados a las porciones este-oeste (plataforma interna) y norte (plataforma externa); lo que en última instancia apunta hacia una cierta persistencia en la estructura de estas agregaciones o asociaciones (Otros autores emplean los términos ensambles o ensamblajes) de especies en función del tiempo. Lo importante a entender aquí, es que se trata de especies que persistentemente tienden a coincidir en las mismas eco-regiones, ya sea porque estas ofrecen las condiciones ambientales más idóneas para sus estrategias de vida o porque tienen una estrecha interacción biológica (Ej.: depredadores siguiendo a sus presas habituales), pero no necesariamente tienen que darse importantes interacciones entre todos los integrantes de estas “agrupaciones” de especies coincidentes en el espacio y en el tiempo. En otras palabras, no son gremios o grupos tróficos.

CONCLUSIONES

Se presenta una clasificación en tipologías de distribución de los recursos pesqueros del Golfo de Venezuela con base en muestreos exploratorios de arriba barrida cotejados con información hidrográfica. La misma apunta a cierta consistencia en el tiempo al hacer una revisión de los estudios previos en la zona. También se ha sugerido que existe una comprobada persistencia de varias de estas asociaciones en diversos ecosistemas pesqueros tropicales y templados y que conviene utilizarlas como unidades de estudio para la gestión de los recursos pesqueros y el control de las pesquerías, así como para el monitoreo de los impactos potenciales de las actividades antrópicas sobre estos. El presente aporte sería un ejemplo de ello, tal como es el caso de los futuros desarrollos gasíferos del proyecto Rafael Urdaneta en el Golfo de Venezuela.

Agradecimientos

La presente investigación formó parte del “Estudio de línea base de recursos pesqueros y pesquerías del golfo de Venezuela”, como parte del conjunto de subproyectos (específicamente el Proyecto a05.) correspondientes a la propuesta técnica del “Proyecto Convenio 1”, entre FUNINDES-Universidad Simón Bolívar y PDVSA (FUNINDES-USB-PDVSA, 2016), dentro del marco de las actividades de exploración de gas que se adelantan en el Golfo de Venezuela: Proyecto Rafael Urdaneta (PRU).

REFERENCIAS

- Baisre Julio A. 1991. Unidades de población para recursos pelágico-costeros de las Antillas Mayores. Pp: 186-217, en FAO (ed.), Western Central Atlantic Fishery Commission: National reports and selected papers presented at the sixth session of the working party on assessment of marine fishery resources, St. Georges's, Grenada, 15-19 May, 1989. FAO Fish. Rep. 431. Suppl.
- Carranza F. J. 1991. Zonas ecológicas y unidades de población. Pp: 218-243. En: FAO (ed.), Western Central Atlantic Fishery Commission: National reports and selected papers presented at the sixth session of the working party on assessment of marine fishery resources, St. Georges's, Grenada, 15-19 May, 1989. FAO Fish. Rep. 431. Suppl.
- Castellanos P., R. Valera y F. Muller-Karger. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del Mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Memorias De La Fundación La Salle De Ciencias Naturales* 154: 55-76.
- Ewald J. J., W. Brandhorst, V. De Espinosa, V.W. Diaz y Fh. Durant. 1971. Cruceros de pesca exploratoria del arrastrero "Carmelina" en la zona occidental de Venezuela. Caracas (Venezuela). MAC- PNUD - FAO. Inf. Téc. 25: 58pp.
- Fortis-Hernández, Manuel, Huerta-García, Alexis, Segura-Castruita, Miguel Ángel, García-Hernández, José Luis, Leos-Rodríguez, Juan A., García-Salazar, Alberto, Valdez-Cepeda, Ricardo. 2010. Validación de cuatro modelos de interpolación para cartografiar nitrato y amonio en suelo. *Terra Latinoamericana* [en línea]. 2010, 28(4), 371-379. 10 de Marzo de 2020: (<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318502009>).
- Froese, R. y D. Pauly (Ed.) 2015. FishBase. [en línea]. Octubre 2015 (www.fishbase.org.).
- Fundación La Salle (FLASA). 1985. Estudio y evaluación de los recursos pesqueros en aguas del estado Falcón y región occidental. Informe Final: 208pp.

- FUNINDES-USB-PDVSA. 2016. "Estudio de línea base de recursos pesqueros y pesquerías del golfo de Venezuela". Informe final. Ed. Ricardo Molinet y Orlando Pomares. Adhesión al convenio entre universidad simón bolívar (FUNINDES-USB) y PDVSA exploración / en la elaboración de los estudios y planes ambientales de las oportunidades o prospectos exploratorios costa afuera, Barracuda, Róbaló, Cardón I y Paraguaipoa". Convenio 1. Caracas. Proyecto a05: 275pp.
- Ginés Hno. 1982. Carta pesquera de Venezuela. (2). Áreas central y occidental. (Ed) Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas. Monografía No 27: 277pp.
- Longhurst A. R. y D. Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press. New York. 407pp.
- Monente J. e I. Astor. 1987. Observaciones hidrográficas superficiales en la región nororiental del Mar Caribe venezolano. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle* 47 (127-128): 125-148.
- Pomares Ferraz, O. 2001. Estructura espacio-temporal y trófica de las comunidades acuáticas del Golfo de Venezuela. Trabajo de grado doctoral. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 161pp.
- Redfield, A. C. 1955. The hydrography of the Gulf of Venezuela. *Papers Marine Biology oceanography. Deep Sea Research*, 3 (Suppl):115-133.
- Valdez J.A. 1984. Contribución al conocimiento de la ictiofauna de la broza de los arrastres en el Golfo de Venezuela. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*, 44(122):57-77.
- Zeigler, J. 1964. The hydrography and sediments of the Gulf of Venezuela. *Limnology and Oceanography*, 9(3): 397-411.
- Yañez-Arancibia A. y Sánchez-Gill P. 1988. Ecología de los recursos demersales marinos. AGT editor. 228pp.



Los expendios populares de productos pesqueros como estrategia para la enseñanza de la ictiología

Popular fish shops as a strategy for teaching ichthyology

Otto Enrique Castillo González, Álvaro Luis Cedeño Luna, Albany Nacarid Castillo Valdez

Programa de Ciencias del Agro y del Mar, Vicerrectorado de Producción Agrícola-VPA, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora-UNELLEZ, Guanare, Venezuela.

✉ **Otto Enrique Castillo González** () E-mail: ottoenriquecastillo@gmail.com

RESUMEN | En la UNELLEZ de Guanare en las asignaturas relacionadas con los recursos pesqueros continentales, tradicionalmente las prácticas para el estudio de los peces comerciales se realizaban en salidas hacia comunidades y puertos pesqueros de la región. En años recientes las limitaciones en el uso de unidades de transporte universitario, obligó como estrategia de enseñanza, a realizar estas prácticas en visitas al mercado municipal de la ciudad de Guanare, capital del estado Portuguesa, Venezuela. Los objetivos de la actividad eran identificar los órdenes, familias y especies de peces ofertados; recabar algunos datos morfométricos y merísticos; establecer las estrategias de historia de vida (K, r1 y r2); determinar los gremios tróficos, y de ser posible, el sexo y el desarrollo gonadal. Se muestran los resultados de las visitas realizadas el 4, 12 y 13 de febrero de 2016 por estudiantes de la asignatura Manejo de Recursos Acuáticos. Se observaron 29 especies de peces, que constituyen cerca del 42% de las 69 especies que se comercializan en la cuenca del río Apure, agrupadas en cuatro órdenes y trece familias. Dominaron los órdenes Siluriformes y Characiformes, y a nivel de familias los Pimelodidae, Serrasalminidae y Loricariidae. 76% de las especies eran estrategias r2 o periódicos, grupo que incluyen a los peces migratorias o reofilicos. Se detectaron también, siete especies (24%) estrategias K o de equilibrio, que incluyen peces no migratorios o limnofilicos. Los gremios tróficos estuvieron dominados por los piscívoros (55%). Algunos ejemplares fueron medidos y se realizaron conteos de los radios de las aletas, del número de branquias sobre el primer arco branquial y del número de escamas sobre la línea lateral, lo que permitió identificarlos. Varios ejemplares lograron sexarse pese a estar eviscerados. Se demostró la factibilidad del uso de peces en los mercados populares como estrategia de enseñanza.

Palabras clave: Peces comerciales, estrategias de vida, gremios tróficos, especies migratorias, desarrollo gonadal.

ABSTRACT | In the UNELLEZ of Guanare, in the subjects related to continental fishing resources, traditionally the practices for the study of commercial fish were carried out on outings to communities and fishing ports in the region. In recent years the limitations in the use of transport units, forced as a teaching strategy, to carry out these practices in visits to the municipal market of the city of Guanare, capital of Portuguesa state, Venezuela. The objectives of the activity were to identify the orders, families and species of fish offered; collect some morphometric and meristic data; establish life history strategies (K, r1 and r2); determine trophic guilds, and if possible, sex and gonadal development. The results of the visits made on February 4, 12 and 13, 2016 by students of the Aquatic Resources

Management course are shown. 29 species of fish were observed, which constitute about 42% of the 69 species that are traded in the Apure river basin, grouped into four orders and thirteen families. The orders Siluriformes and Characiformes dominated; in family level the Pimelodidae, Serrasalminidae and Loricariidae. 76% of the species were r2 or periodic strategists, a group that includes migratory or rheophilic fish. Seven species (24%) K or equilibrium strategists were also detected, which include non-migratory or limnophilic fish. The trophic guilds were dominated by piscivores (55%). Some specimens were measured and counts were made of the fin radii, the number of gill rakers on the first gill arch and the number of scales on the lateral line, which allowed them to be identified. Several specimens were sexed despite being eviscerated. The feasibility of using fish in popular fish shops as a teaching strategy was demonstrated.

Keywords: Commercial fish, life strategies, trophic guilds, migratory species, gonadal development.

INTRODUCCIÓN

En el Vicerrectorado de Producción Agrícola (VPA) de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora-UNELLEZ, en las asignaturas o subproyectos relacionados con los recursos pesqueros continentales, como Manejo de Recursos Acuáticos, y Acuicultura y Pesca Continental, tradicionalmente las prácticas para el estudio de los peces comerciales se realizaban en salidas hacia los caseríos rurales y puertos pesqueros de la región (Fig. 1), donde el estudiantado tenía la posibilidad de observar y manipular peces frescos, incluso no eviscerados. En años recientes las limitaciones en el uso de las unidades de transporte universitario, obligaron como estrategia de enseñanza, a realizar estas prácticas en visitas al mercado municipal de la ciudad de Guanare (Fig. 2), capital del estado Portuguesa en Venezuela y sede de la UNELLEZ-VPA.



Figura 1. Salida académica de la asignatura Manejo de Recursos Acuáticos al río Apure, frente a la población de Bruzual, estado Apure, el 14 de abril de 2014.



Figura 2. Mercado Municipal de la ciudad de Guanare, estado Portuguesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los objetivos de la actividad práctica eran identificar los peces comerciales ofertados por nombre comunes, y taxonómicamente en los taxones de orden, familia y especie apoyados por el folleto o álbum fotográfico de los principales peces comerciales de los Llanos de Venezuela de Castillo y Cedeño (2012) (Fig. 3); la anatomía básica de los peces, tomando como referencia el plan corporal, patrón corporal, arquetipo o “bauplan”, para lo ubicación topográfica de los principales órganos (Fig. 4); la toma de datos morfométricos (longitud total y estándar) y merísticos (fórmula de las aletas, número de branquispinas o rastrillos branquiales sobre el primer arco branquial y número de escamas sobre la línea lateral); separar las especies de peces de acuerdo a sus estrategias de historia de vida (K , r_1 y r_2) según el modelo del continuo trilateral de Winemiller y Taphorn (1989) y Winemillery Rose (1992) (Figura 5 y Tabla 1); así como, por gremios tróficos, y determinar el sexo y los estadios de maduración sexual en ejemplares con remanentes de gónadas, siguiendo la escala de Nikolsky modificada por Castillo (2001).



Figura 3. Portada del folleto o álbum fotográfico de los peces comerciales de los Llanos de Venezuela.

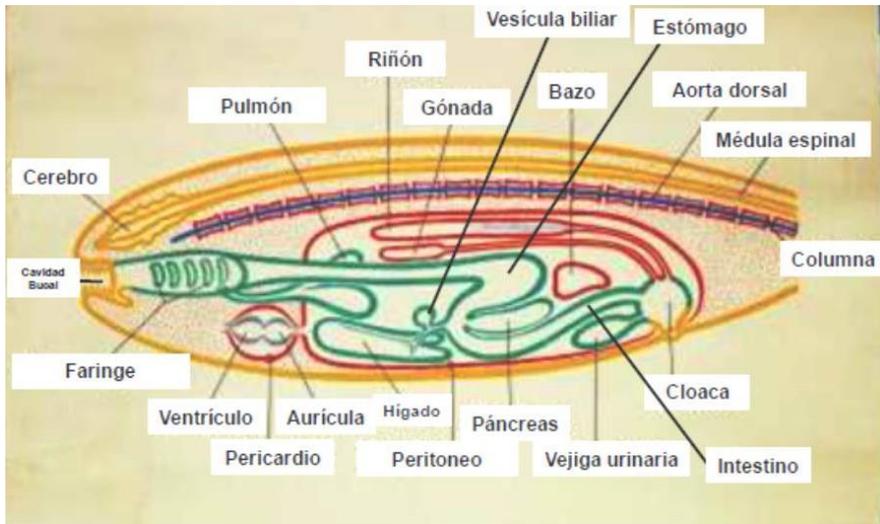
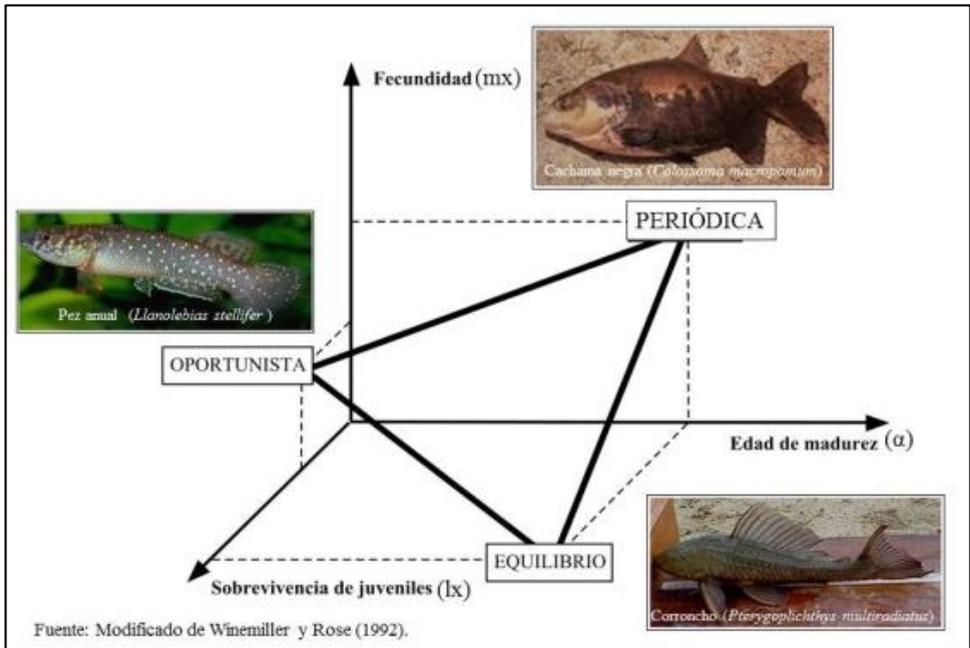


Figura 4. Plan corporal o “bauplan” de un vertebrado.



Figuro 5. Modelo del continuo trilateral de las estrategias de vida de los peces.

Tabla 1. Estrategias de vida de los peces según el modelo del continuo trilateral (Modificado de Winemiller y Taphorn, 1989).

Estrategia K (Equilibrio)	Estrategia r1 (Oportunista)	Estrategia r2 (Periódica)
Alta sobrevivencia de juveniles	Baja sobrevivencia de juveniles	Baja sobrevivencia de juveniles
Alta sobrevivencia de adultos	Baja sobrevivencia de adultos	Alta sobrevivencia de adultos
Fecundidad relativa baja	Fecundidad relativa baja	Fecundidad relativa alta
Ciclo de vida larga	Ciclo de vida corta	Ciclo de vida larga
Varios desoves anuales	Varios desoves anuales	Un solo desove anual
Densidad poblacional estable	Densidad poblacional variable	Densidad poblacional variable
Ejemplos: Cíclidos (pavón estrella), Loricáridos (corronchos), Calíctidos (curito), caribe capaburro.	Ejemplos: Microcarácidos en general, pecílidos y peces anuales rivúlidos. NO SON PECES COMERCIALES DE CONSUMO	Ejemplos: Los peces reofílicos o migratorios comerciales (Sardinata, mije, tuso, saltador, cachamas, coporo, palometa, payara, bagres pimelódidos) y algunos no migratorios (curvina de río).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran los resultados de tres visitas realizadas el 4, 12 y 13 de febrero de 2016 por estudiantes de la asignatura Manejo de Recursos Acuáticos. Los peces fueron identificados con la ayuda del folleto de Castillo y Cedeño (2012) y reconfirmados por los docentes (Figs. 6 y 7). Se observaron 29 especies de peces, que constituyen cerca del 42% de las 69 especies que se comercializan en la cuenca del río Apure (Castillo *et al.*, 1988), agrupadas en cuatro órdenes y trece familias (Tabla 2).



Figura 6. Estudiante identificando un pez del mercado con el apoyo de un docente.



Figura 7. Docente listando los órdenes y familias de peces observados en el Mercado Municipal de Guanare.

Tabla 2. Especies observadas en el Mercado Municipal de Guanare.

<p>Orden Clupeiformes (1 especie y 1 familia) Familia Pristigasteridae <i>Pellona flavipinnis</i>, Sardinata, perra.</p> <p>Orden Characiformes (11 especies y 6 familias) Familia Anostomidae <i>Leporinus</i> cir. <i>Friderici</i>, Mije. <i>Schizodon scotorhabdotus</i>, Tuso. Familia Bryconidae <i>Salminus iquitensis</i>, Saltador, sauta, dorada. Familia Curimatidae <i>Curimata cerasina</i>, Coporito pecho rojo. Familia Cynodontidae <i>Hydrolichus armatus</i>, Payara. Familia Prochilodontidae <i>Prochilodus mariae</i>, Coporo, bocachico. Familia Serrasalmididae <i>Colossoma macropomum</i>, Cachama negra, cherna. <i>Piaractus orinoquensis</i>, Cachama blanca, morocoto. <i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus orinoquensis</i>, Híbrido cachamoto. <i>Mylossoma albiscopum</i>, Palometa. <i>Pygocentrus cariba</i>, Caribe capaburro.</p> <p>Orden Siluriformes (15 especies y 4 familias) Familia Auchenipteridae <i>Ageneiosus inermis</i>, Pavón de cuero, rambao. Familia Callichthyidae <i>Hoplosternum littorale</i>, Curito, busco. Familia Loricariidae <i>Pterygoplichthys multiradiatus</i>, Corroncho. <i>Acanthicus hystrix</i>, Corroncho, cascarrón. <i>Pseudacanthicus</i> sp., Corroncho, cascarrón. Familia Pimelodidae <i>Pseudoplatystoma orinocoense</i>, Bagre rayado, cabezona. <i>Pseudoplatystoma metaense</i>, Bagre rayado, matafraile. <i>Douplatynus peruanus</i>, Chorrosco. <i>Hemisorubim platyrhynchos</i>, Dormilón, cupido. <i>Brachyplatystoma juruense</i>, Cunaguaro, manto. <i>Zungaro zungaro</i>, Toruno, itoto. <i>Leiarius marmoratus</i>, Bagre negro, yaque. <i>Calophysus macropterus</i>, Zamurito, mapurite. <i>Pinirampus pirinampu</i>, Berbanche, lebranche. Cajaro (<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>), Cajaro.</p> <p>Orden Cichliformes (1 especie y 1 familia) Familia Cichlidae <i>Cichla orinocensis</i>, Pavón estrella.</p> <p>Serie Eupercaria (1 especie y 1 familia) Familia Sciaenidae <i>Plagioscion Squamosissimus</i>, Curvinata, curvina de río.</p>
--

Dominaron los órdenes Siluriformes y Characiformes (Fig. 8), y a nivel de familias los Pimelodidae, Serrasalmidae y Loricariidae (Fig. 9).

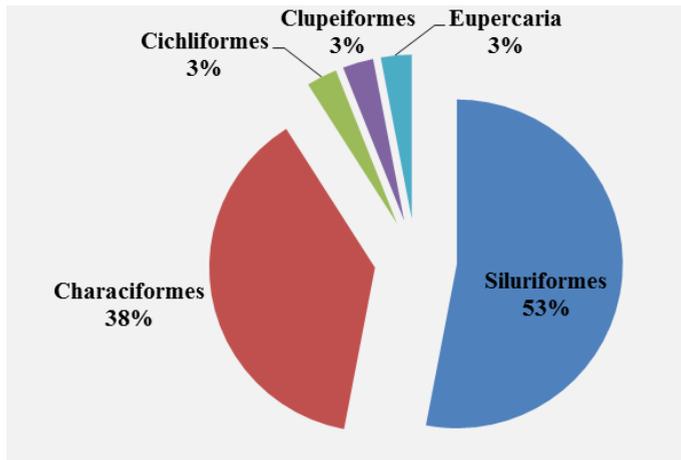


Figura 8. Composición porcentual de los órdenes de los peces observados en el Mercado Municipal de Guanare.

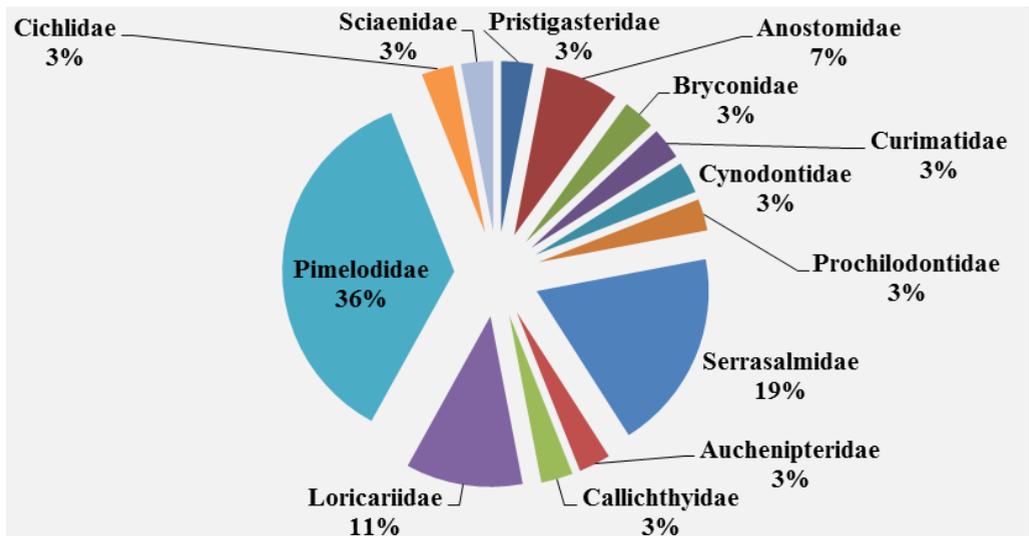


Figura 9. Composición porcentual de las familias de los peces observados en el Mercado Municipal de Guanare.

Se explicaron algunos aspectos relacionados con las estrategias de vida de los peces allí presentes (Fig. 10), donde la mayoría de las especies eran estrategias r2 o periódicos (76%), grupo que incluye a la mayoría de los peces migratorias o reofilicos, excepto la curvina de río *Plagioscion squamississimus* (Fig. 11) una especie no migratoria; se detectaron también, siete especies (24%) con estrategias K o de equilibrio, que incluyen a los peces no migratorios. Como era de esperar, no se detectaron especies de estrategia r1u oportunistas, ya que se trata de peces de tamaño pequeño que no exceden los 10 centímetros de longitud total, por lo que no se destinan al consumo humano como alimento; este grupo incluye a las sardinitas o “microcarácidos”, conformada por varias familias entre ellas los Characidae, a los guppy (familia Poeciliidae) y a los peces anuales (familia Rivulidae). Los peces presentes fueron agrupados en migratorios y no migratorios, y se les habló a los estudiantes sobre la dinámica de las migraciones en la cuenca del río Orinoco, y la importancia de mantener los planos de inundación y su conexión con los ríos, por tratarse de las áreas fundamentales de cría y alimentación durante la temporada de aguas altas (Fig. 12); cabe destacar que las especies de mayor valor comercial corresponden al grupo de los peces migratorios, que realizan extensas migraciones anuales con fines reproductivos y alimenticios en todos los ríos de la cuenca. Como era de esperar la mayoría de las especies (72%) presentes en el mercado correspondieron al grupo de las especies migratorias o reofilicas, y un porcentaje menor (28%) a las especies no migratorias (Fig. 13). Se les explicó de forma teórica sobre los gremios tróficos de los peces allí presentes; sin embargo, fue posible intuir el gremio de algunas especies por características como la dentición, en el caso de la payara *Hydrolicus armatus* (Figura 14) y la conformación de las branquispinas o rastrillos branquiales en el primer arco branquial. Los gremios tróficos estuvieron dominados en 55% por las especies piscívoras, seguidas por las especies omnívoras y herbívoras (Fig. 15).

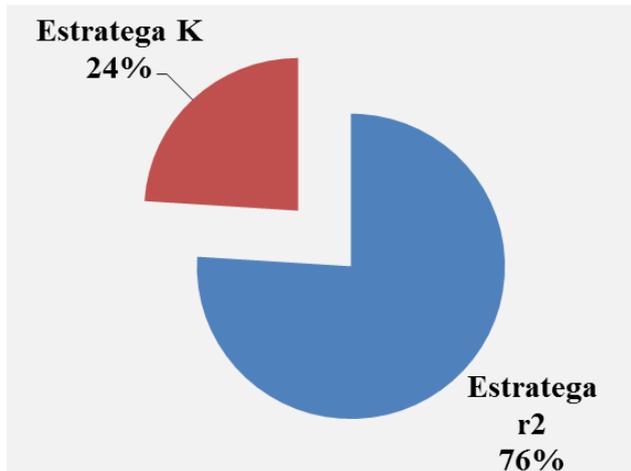


Figura 10. Porcentaje de especies estrategias r2 y K de los peces observados en el Mercado Municipal de Guanare.



Figura 11. Curvina de río o curvinata (*Plagioscion squamosissimus*) una especie no migratoria de estrategia r2.



Figura 12. Docente explicando el proceso anual de migración y su importancia en la cuenca del río Orinoco.

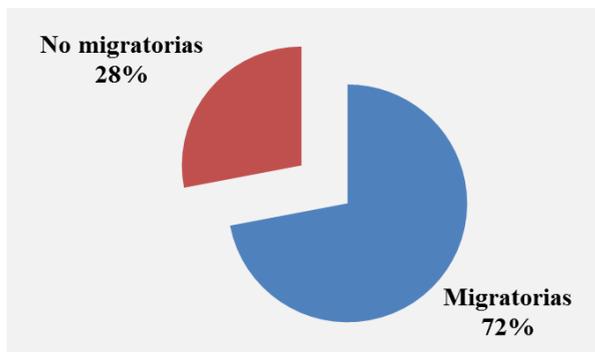


Figura 13. Porcentaje de especies migratorias y no migratorias de los peces observados en el Mercado Municipal de Guanare.



Figura 14. Detalle de la dentición de la payara (*Hydrolicus armatus*) un pez de hábitos piscívoros.

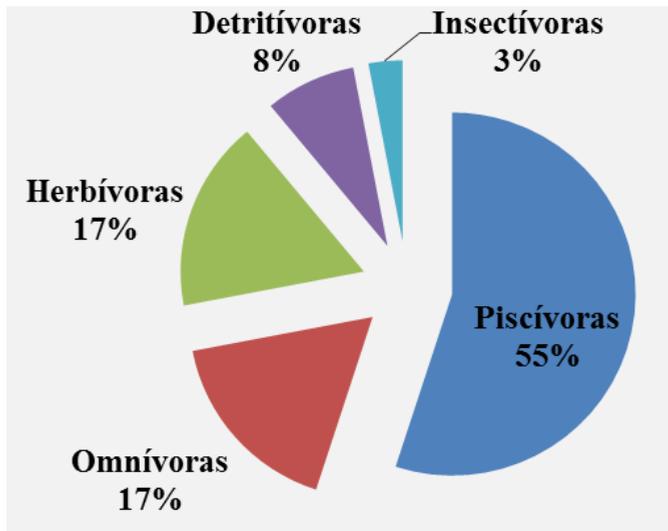


Figura 15. Composición porcentual de los gremios tróficos de los peces observados en el Mercado Municipal de Guanare.

Se explicó el patrón corporal o “bauplan” de un vertebrado (Figs. 16 y 17) y la anatomía básica de algunos de los peces disponibles, todos eviscerados (Fig. 18), ubicando los remanentes de algunos órganos como las branquias, el corazón, los riñones, las gónadas, el hígado, la vejiga de gas, el esófago

y la posición final del intestino. Algunos ejemplares fueron medidos con un ictiómetro (Figs. 19, 20 y 21), y se realizaron conteos de los radios de las aletas (Fig. 22).



Figura 16. Docente explicando el plan corporal o “bauplan” de un vertebrado.



Figura 17. Docente mostrando el esquema del plan corporal o “bauplan” de un vertebrado.



Figura 18. Docente explicando algunos aspectos relacionado con la anatomía de los peces.



Figura 19. Docente explicando cómo tomar las longitudes estándar y total con el ictiómetro



Figura 20. Grupo de estudiantes midiendo un bagre rayado o cabezona (*Pseudoplatystoma orinocoense*) con el ictiómetro.



Figura 21. Esquema de cómo se toman las tallas y la talla mínima reglamentaria para las dos especies de bagres rayados (*Pseudoplatystoma metaense* y *P. orinocoense*) en Venezuela (65 cm de longitud total).



Figura 22. Corroncho gigante o cascarrón (*Acanthicus hystrix*), mostrando su aleta dorsal con una espina y 8 radios blandos ramificados (Fórmula D: I, 8).

La fórmula de la aleta dorsal en el corroncho *Pterygoplichthys multiradiatus* (Figs. 23 y 24), presente en el mercado, conformada por una espina y 12 radios blandos ramificados (Fórmula D: I, 12), le permitió a los estudiantes separarlo de *Hypostomus argus*, un loricárido muy parecido, que presenta en su aleta dorsal una espina y 7 radios blandos ramificados con una fórmula de D: I, 7 (Fig. 25).



Figura 23. Ejemplar de corroncho (*Pterygoplichthys multiradiatus*) del Mercado Municipal de Guanare.



Figura 24. Corroncho (*Pterygoplichthys multiradiatus*) del folleto de Castillo y Cedeño (2012).



Figura 25. Corroncho (*Hypostomus argus*) del folleto de Castillo y Cedeño (2012).

Se hicieron conteos del número de branquispinas o rastrillos branquiales sobre el primer arco branquial para el caso de las cachama negra (*Colossoma macropomum*), cachama blanca o morocoto (*Piaractus orinoquensis*) y el híbrido cachamoto o cruce de *C. macropomum* y *P. orinoquensis* (Fig. 26); cabe destacar que en la cachama negra el mayor número y la disposición de las branquispinas le permiten aprovechar el zooplancton por filtración, que es menor en el híbrido cachamoto y prácticamente nulo en la cachama blanca o morocoto. El conteo de las branquispinas y de los escudetes pospélvicos en la sardinata, permitió identificar a la especie presente en el mercado como *Pellona fkavipinnis* (Figs. 27 y 28), que presenta un mayor número de ambas estructuras en relación a la especie *Pellona castelnaeana* (Fig. 29).

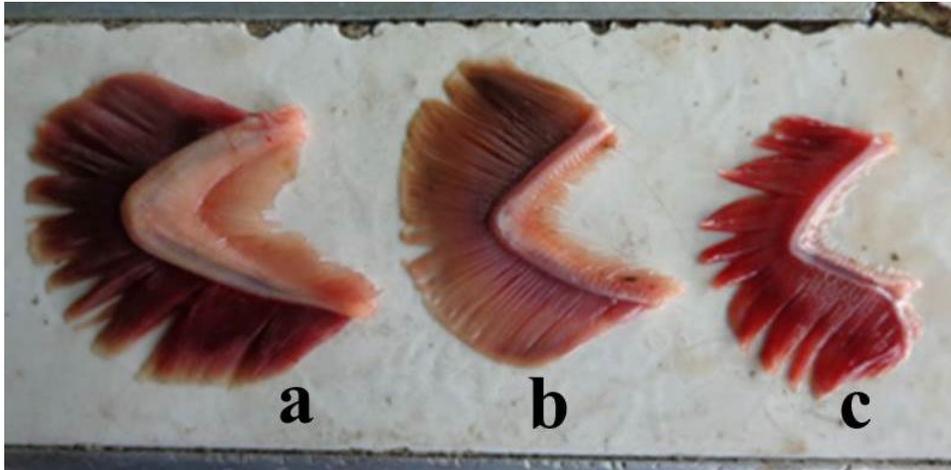


Figura 26. Primeros arcos branquiales de a. Cachama negra, b. Híbrido cachamoto y c. Morocoto.



Figura 27. Ejemplar de sardinata o perra (*Pellona fkavipinnis*) del Mercado Municipal de Guanare.



Figura 28. Sardinata o perra (*Pellona flavipinnis*) del folleto de Castillo y Cedeño (2012).

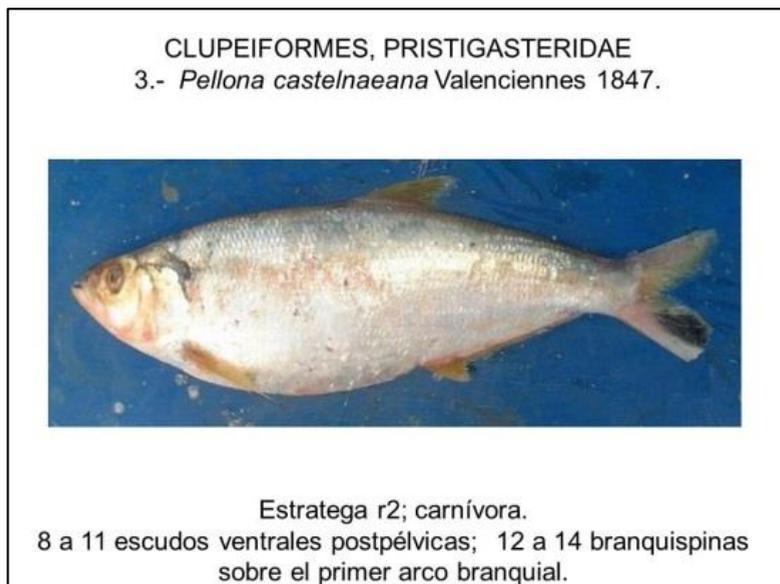


Figura 29. Sardinata o perra (*Pellona castelnaeana*) del folleto de Castillo y Cedeño (2012).

El sexo y su desarrollo mostraron que la mayoría de los ejemplares observados en el Mercado Municipal de Guanare estaban en reposo sexual o estadio II en la escala de Nikolsky (Figs. 30 y 31), con escasos ejemplares en proceso de maduración sexual o estadio III de Nikolsky (Figs. 32 y 33) y maduros en estadio IV de Nikolsky (Fig. 34).

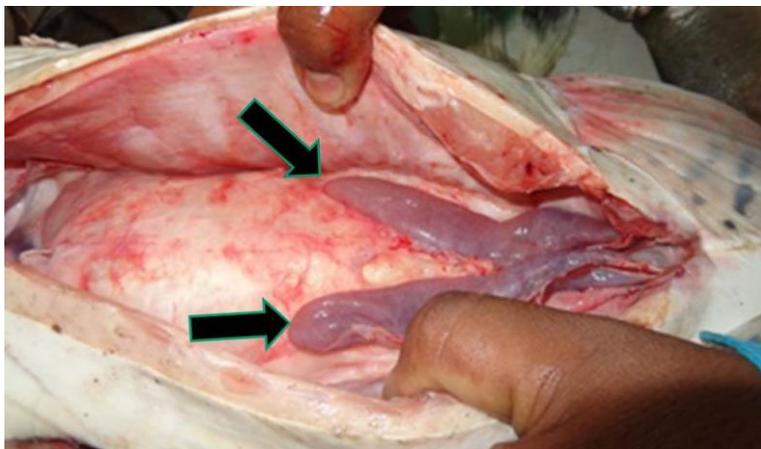


Figura 30. Ovarios en estadio II en la escala de Nikolsky del bagre rayado o cabezona (*Pseudoplatystoma orinocoense*).

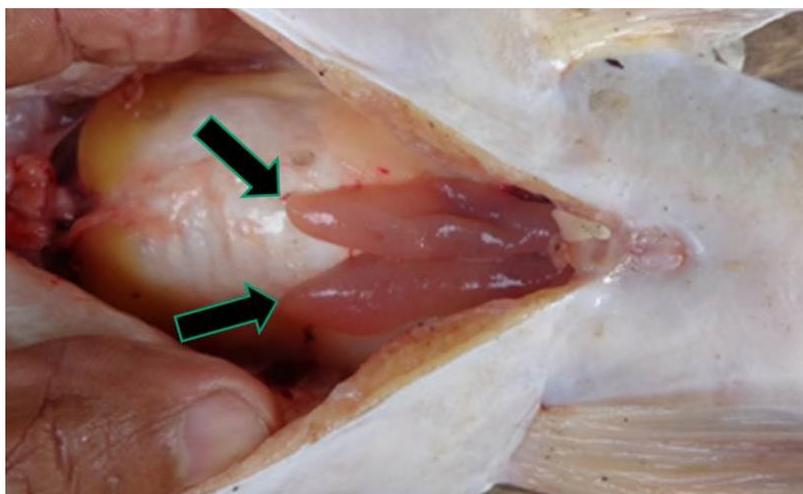


Figura 31. Ovarios en estadio II en la escala de Nikolsky del bagre dormilón o cupido (*Hemisorubim platyrhynchos*).

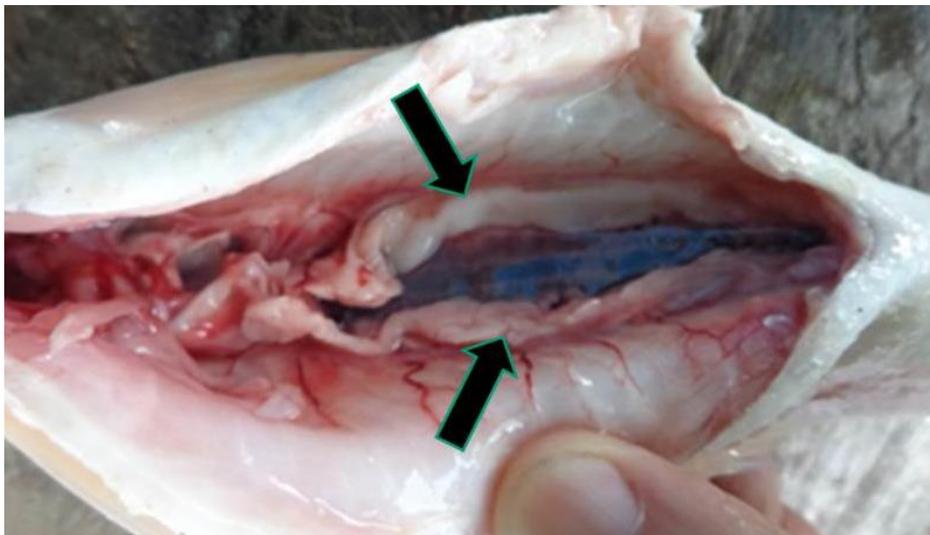


Figura 32. Testículos en estadio III en la escala de Nikolsky de saltador, sauta o dorada (*Salminus iquitensis*).

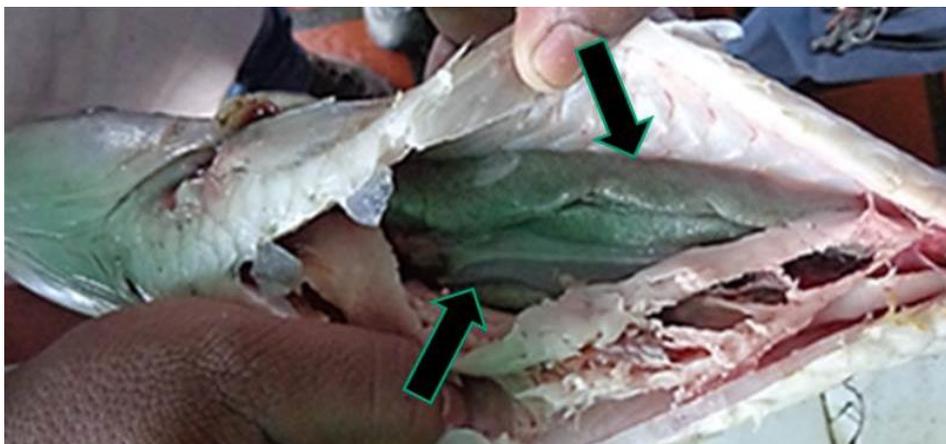


Figura 33. Ovarios en estadio III en la escala de Nikolsky del coporo (*Prochilodus mariae*).



Figura 34. Ovario en estadio IV en la escala de Nikolsky de la curvina de río (*Plagioscion squamosissimus*).

Se observaron algunos ejemplares grandes o megareproductores, como un corroncho o cascarrón del género *Pseudacanthicus*, endémico de la cuenca del río Orinoco, que representa una especie nueva para la ciencia, que está siendo descrita por el Dr. Francisco Provenzano, ictiólogo de la Universidad Central de Venezuela (Figura 35), del bagre rayado o matafraile *Pseudoplatystoma metaense* (Fig. 36) y del bagre toruno o itoto *Zungaro zungaro* (Fig. 37). En la foto 38 aparecen los docentes con un comerciante de productos pesqueros del Mercado Municipal de Guanare, y en la foto 39 un grupo de estudiantes de la asignatura Manejo de Recursos Acuáticos de la UNELLEZ-VPA, una vez culminada la actividad práctica en las instalaciones del Mercado Municipal de la ciudad de Guanare.



Figura 35. Ejemplar de corroncho o cascarrón (*Pseudacanthicus* sp. nov.) del Mercado Municipal de Guanare.



Figura 36. Ejemplar del bagre rayado o matafraile (*Pseudoplatystoma metaense*) del Mercado Municipal de Guanare.



Figura 37. Ejemplar de bagre toruno o itoto (*Zungaro zungaro*) del Mercado Municipal de Guanare.



Figura 38. Docentes de la UNELLEZ-VPA en compañía de un comerciante del Mercado Municipal de Guanare que colaboró con la práctica de peces comerciales.



Figura 39. Grupo de estudiantes y docentes de la UNELLEZ-VPA una vez culminada la práctica en el Mercado Municipal de Guanare.

CONCLUSIONES

Resultó factible el uso de los peces en un mercado popular como estrategia para la enseñanza de algunos tópicos referentes a la ictiología.

Se recomienda aplicar esta estrategia de enseñanza en asignaturas relacionadas con la zoología, y las ciencias pesqueras y acuícolas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las expendedoras y expendedores de productos pesqueros del Mercado Municipal de la ciudad de Guanare por su colaboración, al permitir el uso de algunos peces allí comercializados. A la MSc. Gabriela Pérez, al MSc. Julio Velásquez y al Lcdo. Pedro Garcés, servidores públicos de Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INSOPESCA) de la Subgerencia del estado Portuguesa por el apoyo durante algunas de las prácticas.

REFERENCIAS

- Castillo, O., Valdez de Castillo, E., Ortiz, N. y Moscó, P. (1988). Aspectos sobre la historia natural de los bagres comerciales del bajo llano. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, XLVIII: 253-281.
- Castillo, O. (2001). Ecología de la reproducción de los bagres comerciales del río Portuguesa. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Profesor Asociado, UNELLEZ, Vicerrectorado de Producción Agrícola, Guanare, Venezuela. 120pp.
- Castillo, O. y Cedeño, A. (2012). Peces Comerciales de los Llanos de Venezuela. Folleto de uso docente, Subproyecto Manejo de Recursos Acuáticos, Subprograma de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Vicerrectorado de Producción Agrícola-VPA, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora-UNELLEZ, Guanare, Venezuela. 65pp.
- Winemiller, K. O. y Taphorn, D. C. (1989). La evolución de las estrategias de vida en los peces de los llanos occidentales de Venezuela. *Biollania*, 6: 77-122.
- Winemiller, K. O. and Rose, K. A. (1992). Patterns of life-history diversification in North American fishes: implications for population regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(10): 2196-2218.



Peces comerciales asociados a la migración ascendente del río Arauca binacional de Colombia y Venezuela

Commercial fish associated with the upward migration of the binational Arauca River from Colombia and Venezuela

Mailuet V. López Gómez¹, Otto E. Castillo González²

¹Egresada, Subprograma de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, UNELLEZ, Guanare, Venezuela.

²Grupo de Creación Intelectual en Recursos Hidrobiológicos Profesor Francisco Mago Leccia, UNELLEZ, Guanare, Venezuela.

 Mailuet V. López Gómez¹ () E-mail: mailuet.saray31@gmail.com

RESUMEN | Los 296 kilómetros del río Arauca binacional que comparten Colombia y Venezuela es asiento de una importante actividad pesquera, ejecutada principalmente por pescadores artesanales de ambos países. El ciclo de pesca del año 2019 generó gran preocupación debido a la aparente ausencia del proceso anual de migración ascendente, denominado ribazón, que aporta los mayores volúmenes de captura. Del 14 de diciembre de 2020 al 9 de enero de 2021 se evaluó una ribazón en las cercanías de las localidades de Arauca en Colombia y El Amparo en Venezuela. Se detectaron 30 especies de peces comerciales, agrupados en 3 órdenes y 10 familias, donde predominaron el orden Siluriformes con 21 especies (70%) y la familia Pimelodidae con 15 especies (50%). Las especies dominantes fueron los bagres rayados (*Pseudoplatystoma orinocoense* y *P. metaense*), el cajaro (*Phractocephalus hemioliopus*) y el coporo (*Prochilodus mariae*). La presencia de peces carnívoros de las especies *Brachyplatystoma juruense*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Calophysus macropterus*, *Phractocephalus hemioliopus*, *Pinirampus pirinampu*, *Pseudoplatystoma metaense*, *Pseudoplatystoma orinocoense*, *Sorubim lima*, *Zungaro zungaro*, *Ageneiosus inermis*, *Cephalosilurus apurensis*, *Hydrolicus armatus* y *Pellona castelnaeana*, incluidos algunos megareproductores, indican un relativo estado de buena salud del río Arauca. La mayoría de los ejemplares evaluados se encontraban en reposo sexual (Estadio II en la escala de Nikolsky) y se observó una hembra del bagre guaro (*Pinirampus pirinampu*) sexualmente madura (Estadio IV), especie que desova todo el año en los grandes ríos de la Orinoquía. Se observaron algunos ejemplares menores a las tallas mínimas reglamentarias de bagres rayados, cajaro y cachama blanca (*Piaractus orinoquensis*). Está ribazón de finales del año 2020 e inicios del 2021 demuestran el alto grado de resiliencia de la ictiofauna comercial del río Arauca binacional. Es necesario implementar a la brevedad un plan único binacional para el manejo y la ordenación de este importante recurso natural renovable.

Palabras clave: Maduración sexual, manejo binacional, recurso pesquero, ribazón, tallas mínimas.

ABSTRACT | The 296 kilometers of the binational Arauca River that Colombia and Venezuela share is the seat of an important fishing activity, carried out mainly by artisanal fishermen from both countries. The 2019 fishing cycle generated great concern due to the apparent absence of the annual upward migration process, called ribazón, which contributes

the largest catch volumes. From December 14, 2020 to January 9, 2021, a migration was evaluated in the vicinity of the towns of Arauca in Colombia and El Amparo in Venezuela. 30 commercial fish species were detected, grouped in 3 orders and 10 families, where the Siluriformes order with 21 species (70%) and the Pimelodidae family with 15 species (50%) predominated. The dominant species were striped catfish (*Pseudoplatystoma orinocoense* and *P. metaense*), cajaro (*Phractocephalus hemiiopterus*) and coporo (*Prochilodus mariae*). The presence of carnivorous fishes of the species *Brachyplatystoma juruense*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Calophysus macropterus*, *Phractocephalus hemiiopterus*, *Pinirampus pirinampu*, *Pseudoplatystoma metaense*, *Pseudoplatystoma orinocoense*, *Sorubim lima* and some, including *Pseudoplatystoma orinocoense*, and some of the, *Zungaro zungaro*, *Ageneiosus inermis*, *Cephalosilurus apurensis*, *Hydrolicus armatus* y *Pellona castelnaeana*. reproducers, indicate a relative state of good health of the Arauca River. Most of the evaluated specimens were in sexual rest (Stage II on the Nikolsky scale) and a sexually mature female guaro catfish (*Pinirampus pirinampu*) was observed (Stage IV), a species that spawns all year round in the great rivers of the Orinoquía. Some specimens smaller than the minimum statutory sizes of striped catfish, cajaro and white cachama (*Piaractus orinoquensis*) were observed. This migration at the end of 2020 and the beginning of 2021 shows the high degree of resilience of the commercial ichthyofauna of the binational Arauca River. It is necessary to implement as soon as possible a single binational plan for the management and ordering of this important renewable natural resource.

Keywords: Sexual maduración, binational management, fishing resource, migration, minimum sizes.

INTRODUCCIÓN

El río Arauca comparte 296 kilómetros entre el departamento de Arauca en Colombia y el estado Apure en Venezuela (Fig. 1), es asiento de una importante pesquería, ejecutada principalmente por pescadores artesanales de ambos países. El ciclo de pesca del año 2019 generó honda preocupación en la región debido a la aparente ausencia del proceso anual de migración ascendente, denominado ribazón, que aporta los mayores volúmenes de pesca, fenómeno quizás relacionado al débil pulso de inundación de ese año. Para finales del año 2020 y principios de 2021 se manifestó una ribazón, cuya descripción es el objetivo del presente trabajo.

En la cuenca del río Orinoco, con una extensión de 981 000 km², se han reportado 663 y 960 especies de peces, respectivamente para Colombia y Venezuela (DoNascimento *et al.*, 2017; DoNascimento, 2020). Si bien en la actualidad se explotan con fines de consumo humano cerca de 100 especies, resaltan por su importancia y frecuencia en los desembarques, cerca de 70 (Castillo *et al.*, 1988; Ramírez-Gil y Ajiaco-Martínez, 2011). La explotación pesquera en la Orinoquia se fundamenta en peces de los órdenes Siluriformes y Characiformes, que en conjunto representan entre 84 y 96 % de las especies comercialmente apetecidas para el consumo humano en Colombia y Venezuela, respectivamente (Castillo *et al.*, 1988; Novoa, 2002; Ramírez-Gil y Ajiaco-Martínez, 2011).



Figura 1. Río Arauca binacional.

En la Orinoquía colombiana, para el período comprendido entre 1995 a 2009, se registraron desembarcos anuales que variaron entre 7742 y 1024 toneladas, que involucraron 68 especies, con predominio de *Pseudoplatystoma orinocoense*, *Prochilodus mariae*, *Zungaro zungaro*, *Pseudoplatystoma metaense*, *Mylossoma albiscopum*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Calophysus macropterus*, *Phractocephalus hemiliopterus*, *Brachyplatystoma platynemum* y *Piaractus brachypomus* (Ramírez-Gil y Ajiaco-Martínez, 2011)

MATERIALES Y MÉTODOS

Del 14 de diciembre de 2020 al 9 de enero de 2021 se evaluaron las capturas de una ribazón en las cercanías de las localidades de Arauca en Colombia y El Amparo en Venezuela, las cuales fueron observadas en el puerto de desembarque de la ciudad de Arauca en Colombia, al amanecer (Fig. 2) entre las 5 de la mañana, cuando los pescadores regresaban o salían a su labor de pesca y las 9 de la mañana. Se observaron las especies desembarcadas por los pescadores, para los cual se tomó como referencia el folleto fotográfico de Castillo (2018), en el que se muestran las 55 especies autóctonas más comunes de la Orinoquía colombo-venezolana; la abundancia relativa de las distintas especies, el tamaño relativo, así como los estadios de maduración sexual, siguiendo la escala de Nikolsky, modificada por Castillo (2001). Se realizó un registro fotográfico de toda la actividad consistente en cerca de 1.678 imágenes y 51 videos.



Figura 2. Amanecer en el río Arauca binacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron 30 especies de peces comerciales, agrupados en 3 órdenes y 10 familias (Tabla 1), donde predominaron el orden Siluriformes con 21 especies (70%) y la familia Pimelodidae con 15 especies (50%). Estas 30 especies representan el 44% de las 68 especies comerciales reportadas para la Orinoquía colombiana (Ramírez-Gil y Ajiaco-Martínez, 2011) y el 60% de las 50 especies comercializadas en la ciudad de Arauca (López-Gómez *et al.*, 2018).

Las especies dominantes fueron ambos tipos de bagres rayados, denominados también cabezona y tumame (Fig. 3 y 4), el coporo (Fig.5), la palometa (Fig. 6) y el cajaro (Fig. 7).



Figura 3. Cabezona (*Pseudoplatystoma orinocoense*).



Figura 4. Matafraile (*Pseudoplatystoma metaense*) de 11,5 kg.



Figura 5. Coporo (*Prochilodus mariae*).



Figura 6 Palometa (*Mylossoma albiscopum*).



Figura 7. Cajaro (*Phractocephalus hemiliopterus*) de 24 kg.

La presencia de peces carnívoros como el bagre manto (Fig. 8), el dorado (Fig. 9), el mapurite (Fig. 10), el cajaro, el guaro (Fig. 11), el tumame, la cabezona, el paleta (Fig. 12), el toruno (Fig. 13), el pavón de cuero (Fig. 14), el bagre sapo (Fig. 15), la payara (Fig. 16) y la sardinata (Fig. 17), incluidos algunos megareproductores de bagres rayados, cajaros y torunos, indican un relativo estado de buena salud del río Arauca.



Figura 8. Bagre manto (*Brachyplatystoma juruense*).

Migración de peces comerciales en el río Arauca colombo-venezolano



Figura 9. Dorado (*Brachyplatystoma rosusseauxii*) de 12,5 kg.



Figura 10. Mapurite (*Calophysus macropterus*).



Figura 11. Guaro (*Pinirampus pirinampu*).



Figura 12. Paleto (*Sorubim lima*).



Figura 13. Toruno (*Zungaro zungaro*) de 54 kg y al lado derecho un matafraile (*P. metaense*) de 36 kg pescados en diciembre de 2018.



Figura 14. Pavón de cuero (*Ageneiosus inermis*).



Figura 15. Bagre sapo (*Cephalosilurus apurensis*).



Figura 16. Payara (*Hydrolicus armatus*).



Figura 17. Sardinata (*Pellona castelnaeana*).

La mayoría de los ejemplares evaluados se encontraban en reposo sexual (Fig. 18, 19, 20 y 21), y se observaron tan sólo una hembra del bagre guaro sexualmente madura (Fig. 22) especie que desova todo el año en los grandes ríos de la Orinoquía (Castillo *et al.* 1988), así como una hembra de sierra cuca (Fig. 23) en estadio III (Fig. 24).

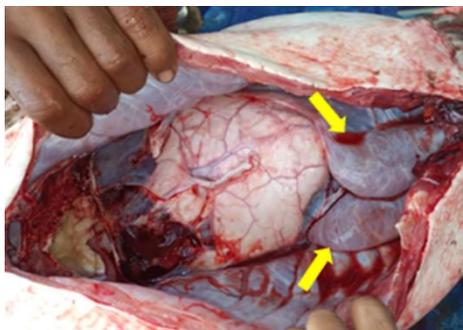


Figura 18. Ovarios de cajaro (*Phractocephalus hemiliopterus*) en estadio II.



Figura 19. Ovarios de manto (*Brachyplatystoma juruense*) en estadio II.



Figura 20. Ovarios de cabezona (*Pseudoplatystoma orinocoense*) en estadio II.

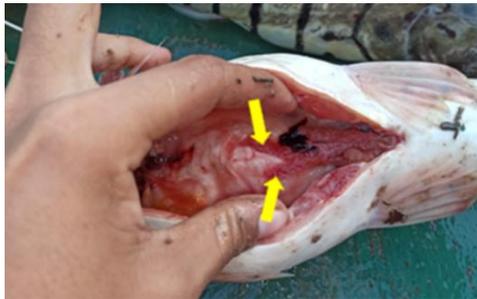


Figura 21. Testículos de cabezona (*Pseudoplatystoma orinocoense*) en estadio II.



Figura 22. Ovarios de guaro (*Pinirampus pirinampu*) en estadio IV.



Figura 23. Sierra cuca (*Oxydoras sifontesi*).



Figura 24. Ovarios de sierra cuca (*Oxydoras sifontesi*) en estadio III.

Se observó un bajo número de ejemplares menores a las tallas mínimas reglamentarias que incluyeron a los bagres rayados, al cajaro y la cachama blanca (Fig. 25).



Figura 25. Juvenil de cachama blanca (*Piaractus orinoquensis*).

Los pescadores desembarcaron especies no migratorias, como el corroncho *Pterygoplichthys multiradiatus* (Fig. 26) y el caribe *Pygocentruus cariba* (Fig. 27), los cuales no forman parte de la ribazón, pero por su abundancia fueron capturadas y aprovechadas.



Figura 26. Corroncho (*Pterygoplichthys multiradiatus*).



Figura 27. Caribe (*Pygocentrus cariba*).

Algunas de las especies comerciales reportadas para la cuenca del Orinoco como el valentón *Brachyplatystoma filamentosum* (Fig. 28), el bagre baboso *Brachyplatystoma platynemum* (Fig. 29), el blanco pobre *Brachyplatystoma vaillantii* (Fig. 30) y la doncella *Sorubimichthys planiceps* (Fig. 31), no fueron capturadas en la ribazón lo cual indica su aparente desaparición en el río Arauca binacional; además, hay especies que pese a que fueron capturadas presentan preocupantes signos de declinación, como es el caso del dorado (*Brachyplatystoma roussauxii*), el toruno (*Zungaro zungaro*) y la cachama negra o cherna (*Colossoma macropomum*). Para la Orinoquía colombiana, Mojica *et al* (2012), catalogan al valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*), al bagre manto (*Brachyplatystoma juruense*), al bagre baboso (*Brachyplatystoma platynemum*), al dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*), al blanco pobre (*Brachyplatystoma vaillantii*), al bagre rayado o matafraile (*Pseudoplatystoma metaense*), al bagre rayado o cabezona (*Pseudoplatystoma orinocoense*) y al toruno (*Zungaro zungaro*) como especies amenazadas en la categoría de vulnerable (VU); asimismo, consideran al bagre paleta (*Sorubim lima*) y la doncella (*Sorubimichthys planiceps*) como especies con preocupación menor, al incluirlas en la categoría de casi amenazadas (NT).



Figura 28. Valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*). Tomado de Castillo (2018).



Figura 29. Bagre baboso o jipi (*Brachyplatystoma platynemum*). Tomado de Castillo (2018).



Figura 30. Blanco pobre o jatero (*Brachyplatystoma vaillantii*). Tomado de Castillo (2018)



Figura 31. Doncella (*Sorubimichthys planiceps*). Tomado de Castillo (2018).

En los últimos años se están aprovechando especies de mediano y pequeño porte como el mije *Leporinus cir. friderici*, el tuso *Schizodon scotorhabdotus* (Fig. 32), algunos bagres como el pavón *Ageneiosus magoi* (Fig. 33), el dormilón *Hemisorubim platyrhynchos* (Fig. 34), el chorrosco cañero *Doupalatinus peruanus* (Fig. 35), el maguaní *Pimelodus ornatus* (Fig. 36) y el chorrosco *Pimelodus aff. blochii*, con dos formas (Alargada y robusta), de estatus taxonómico confuso y que podrían representar dos especies distintas (Figs. 37 y 38).



Figura 32. Tuso (*Schizodon scotorhabdotus*).



Figura 33. Pavón (*Ageneiosus magoi*).



Figura 34. Dormilón (*Hemisorubim platyrhynchos*).



Figura 35. Chorrosco cañero (*Doupalatinus peruanus*).



Figura 36. Maguaní (*Pimelodus ornatus*).



Figura 37. Chorrosco (*Pimelodus* aff. *blochii*), forma alargada.



Figura 38. Chorrosco (*Pimelodus* aff. *blochii*), forma robusta.

Un problema que habrá que resolver en relación al manejo y ordenación del recurso pesquero en toda la cuenca del río Orinoco, es lo relacionado en primer lugar, en darle el ejecútase a la resolución que norma la pesca en la Orinoquía venezolana, que fue ampliamente discutida y concertada con todos los sectores en consulta pública nacional en el año 2012, donde se contempla, entre otros puntos, la

regulación de las tallas para 28 especies (Tabla 1), que sustituiría a la resolución vigente del año 2002 (Venezuela, 2002), donde por ejemplo, sólo se contempla la regulación de tallas mínimas para tan sólo 14 especies (Tabla 2), que no incluye al coporo (*Prochilodus mariae*), la especie que aporta los mayores volúmenes en los capturas de toda la cuenca (30 a 60%). En contraposición la resolución colombiana pese a datar del año 1981 (Tabla 3), regula las tallas de 23 especies, entre ellas el coporo con 27 cm de longitud estándar, equivalente a 31,5 cm de longitud total. En segundo lugar y algo más complejo, sería aplicar una resolución única que regule la actividad pesquera en los ríos binacionales, como es el caso del río Arauca binacional, donde las resoluciones no colindan en cuanto a las tallas mínimas reglamentarías, el uso de ciertas artes de pesca, como por ejemplo el chinchorro, que está prohibido en Colombia, pero se permite en Venezuela, y las temporadas de vedas, que para la Orinoquía colombiana se establece desde el 1 de mayo al 30 de junio de cada año (Colombia, 1981) y en la venezolana desde el Domingo de Resurrección (Semana Santa) hasta el 31 de julio de cada año. Cabe destacar que en la nueva normativa, aún no aprobada, se contempla un período de veda fijo anual desde el 1 de mayo al 31 de julio de cada año, y además, se establece una veda indefinida para la cachama negra (*Colossoma macropomum*), el valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*), la doncella (*Sorubimichthys planiceps*), el bagre tigre (*Platynemichthys notatus*), y las rayas de río (*Paratrygon aiereba* y *Potamotrygon* spp.), cuyas poblaciones se encuentran gravemente amenazadas en prácticamente toda la Orinoquia colombo-venezolana.

Tabla 1. Tallas mínima propuestas para Venezuela en 2012 y aún no vigentes.

Nombre común o coloquial (nombre científico)	LT en cm
Bagre amarillo, toruno itoto (<i>Zungaro zungaro</i>)	82
Bagre atero, blanco pobre (<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>)	60
Bagre berbanche, guaro, blanco pobre (<i>Pirirampus pirinampu</i>)	55
Bagre cajaro (<i>Phractocephalus hemioliopterus</i>)	83
Bagre chorrosco, cogitúo (<i>Pimelodus aff. blochii</i>)	27
Bagre cunaguaro, manto, rabo e' chino (<i>Brachyplatystoma juruense</i>)	73
Bagre dorado, parcho (<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>)	93
Bagre jipi, garbanzo (<i>Brachyplatystoma platynemum</i>)	76
Bagre mapurite, zamurito, come muerto (<i>Calophysus macropterus</i>)	44
Bagre paisano, mollejo (<i>Hypophthalmus edentatus</i>)	48
Bagre rambao, azulillo, chanclero, pavón de cuero (<i>Ageneiosus inermis</i>)	39
Bagre rayado, cabezona (<i>Pseudoplatystoma orinocoense</i>)	75
Bagre rayado, matafraille, tumame (<i>Pseudoplatystoma metaense</i>)	75
Bagre sapo, tongo, ruaco (<i>Cephalosilurus apurensis</i>)	48
Bagre yaque, bagre negro (<i>Leiarius marmoratus</i>)	50
Caribe colorado, capaburro (<i>Pygocentrus cariba</i>)	26
Caribe pinche, mondonguero, ojo rojo (<i>Serrasalmus rhombeus</i>)	26
Coporo, bocachico (<i>Prochilodus mariae</i>)	29
Corroncho, guaraguara, panaque (<i>Pterygoplichthys multiradiatus</i>)	30
Curvinata, curvina de río (<i>Plagioscion squamosissimus</i>)	42
Curito, busco (<i>Hoplosternum littorale</i>)	15
Guabina (<i>Hoplias malabaricus</i>)	39
Mije, cabeza de manteco (<i>Leporinus cir. friderici</i>)	34
Palometa (<i>Mylossoma albiscopum</i>)	23
Payara (<i>Hydrolicus armatus</i>)	67
Sierra amarilla, sierra apureña, cagona (<i>Pterodoras rivasi</i>)	39
Sierra cuca, negra, guitarrilla, copora (<i>Oxydoras sifintesi</i>)	37
Morocoto, cachama blanca, sardinata (<i>Piaractus orinoquensis</i>)	60

Tabla 2. Tallas mínimas reglamentarias vigentes para la Orinoquía venezolana (Resolución N° 140, Venezuela, 2002).

Nombre común o coloquial (nombre científico)	LT en cm.
Valentón, laulao (<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>)	95
Cunaguaro, manto (<i>Brachyplatystoma juruense</i>)	65
Jipi, garbanzo (<i>Brachyplatystoma platynemum</i>)	65
Dorado (<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>)	85
Atero, blanco pobre (<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>)	60
Cajaro (<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>)	75
Bagre tigre (<i>Platynemichthys notatus</i>)	70
Bagre Rayao, matafraile (<i>Pseudoplatystoma metaense</i>)	65
Bagre Rayao, cabezona (<i>Pseudoplatystoma orinocoense</i>)	65
Doncella, cabo de hacha (<i>Sorubimichthys planiceps</i>)	95
Itoto, toruno, bagre amarillo (<i>Zungaro zungaro</i>)	85
Curito, busco (<i>Hoplosternum littorale</i>)	12
Cachama negra, cherna (<i>Colossoma macropomum</i>)	70
Cachama blanca, morocoto (<i>Piaractus orinoquensis</i>)	60

Tabla 3. Tallas mínimas vigentes para la Orinoquía colombiana (Resolución N° 1087, Colombia, 1981).

Nombre común o coloquial (nombre científico)	LE en cm.
Valentón, plumita (<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>)	100
Apuy, manto (<i>Brachyplatystoma juruense</i>)	56
Baboso (<i>Brachyplatystoma platynemum</i>)	62
Dorado (<i>Brachyplatystoma rosusseauxii</i>)	85
Mapurito, simi, comegente (<i>Calophysus macropterus</i>)	32
Yaque (<i>Leiarius marmoratus</i>)	44
Barbancho (<i>Pirirampus pirinampu</i>)	42
Cajaro (<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>)	65
Bagre rayado (<i>Pseudoplatystoma orinocoense</i> y <i>P. metaense</i>)	65
Paletón, cabo de hacha (<i>Sorubimichthys planiceps</i>)	95
Amarillo (<i>Zungaro zungaro</i>)	80
Chanquete, boca sin hueso (<i>Ageneiosus inermis</i>)	35
Sierra copora, sierra cuca (<i>Oxydoras sifontesi</i>)	55
Sierra cagona (<i>Pterodoras rivasi</i>)	60
Cachama (<i>Piaractus</i> aff. <i>brachypomus</i>)	51
Cherna, cachama negra (<i>Colossoma macropomum</i>)	60
Palometa (<i>Mylossoma albiscopum</i>)	24
Yamu (<i>Brycon amazonicus</i>)	28
Payara (<i>Hydrolycus armatus</i>)	55
Bocachico, coporo (<i>Prochilodus mariae</i>)	27
Sapuara (<i>Semaprochilodus laticeps</i>)	35
Pacora (<i>Plagioscion squamosissimus</i>)	32

CONCLUSIONES

La dinámica de las ribazones en el río Arauca está asociada a los pulsos anuales de inundación.

Pese a los impactos antrópicos, que incluyen la sobrepesca, el río Arauca mostró un relativo estado de buena salud, con presencia de carnívoros topes, megareproductores y una comunidad de peces comerciales resilientes.

Se detectaron algunas especies con severa escasez, como la cachama negra (*Colossoma macropomum*), el dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) y el toruno (*Zungaro zungaro*), así como algunas ausentes, como el bagre baboso (*Brachyplatystoma platynemum*), el valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*), el blanco pobre (*Brachyplatystoma vailantii*), la doncella (*Sorubimichthys planiceps*) y el bagre tigre (*Platynemichthys notatus*), lo cual debe ser evaluado a la brevedad.

Se requiere unificar a la mayor brevedad la legislación pesquera en el río Arauca binacional.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los pescadores artesanales de Arauca y El Amparo, así como a los comercializadores de la ciudad de Arauca. Al Sr. Felibher Urbina por facilitar la fotografía donde aparecen los megareproductores del toruno (*Zungaro zungaro*) y del bagre rayado o matafraile (*Pseudoplatystoma metaense*), de 54 y 36 kilogramos respectivamente, capturados en diciembre de 2018 en aguas del río Arauca binacional. A la señora Aura Gómez, madre de la primera autora, por el acompañamiento y la toma de las fotografías y videos. Al profesor Otto Enrique Castillo González, coautor del trabajo, por su motivación y acompañamiento.

REFERENCIAS

- Castillo, O.; Valdez de Castillo, E., Ortiz, N. y Moscó, P. (1988). Aspectos sobre la historia natural de los bagres comerciales del bajo llano. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, XLVIII: 253-281.
- Castillo, O. (2001). Ecología de la reproducción de los bagres comerciales del río Portuguesa. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Profesor Asociado, UNELLEZ, Vicerrectorado de Producción Agrícola, Guanare, Venezuela. 120pp.

- Castillo, O. (2018). Peces comerciales de consumo de la Orinoquia colombo-venezolana. 1er. seminario-taller de manejo de fauna silvestre y acuática en la Orinoquia colombo-venezolana. Grupo de Creación Intelectual en Recursos Hidrobiológicos Profesor Francisco Mago- Leccia, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Cooperativa de Colombia, Arauca, Colombia. 65pp.
- Colombia (1981). Resolución N° 1087 mediante el cual se reglamentan las tallas mínimas de peces de consumo, las artes y los métodos pesqueros en la cuenca del río Orinoco. INDERENA, Bogotá, Colombia.
- DoNascimento, C. (2020). Ictiología en Venezuela [Entrada de blog]. Recuperado de <http://ictiovenezuela.blogspot.com/p/lista-de-especies-de-peces-de-agua.html?m=1> Consulta el 30 octubre 2020.
- DoNascimento, C., Herrera-Collazos, E. E., Herrera, G. A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F. A., Usma-Oviedo, J. S. Maldonado-Ocampo, J. A. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. *ZooKeys*, 708: 25-138.
- López-Gómez, M., Castillo, O., Salamanca, A., Valdez de Castillo, E., Cedeño, A. y Velásquez, J. (2018). Aproximación al estado actual de los peces comerciales del río Arauca binacional. In: Salamanca, A. (ed.). Avances de investigación en ciencias agrícolas, ambientales, sociales e ingenierías. III Encuentro Binacional de Jóvenes Investigadores, Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá, Colombia. pp. 120-123.
- Novoa, D. (2002). Los recursos pesqueros del eje fluvial Orinoco-Apure: presente y futuro. Instituto Nacional de la Pesca y Acuicultura (INAPESCA) y Ministerio de Agricultura y Tierras, Caracas, Venezuela. 141pp.
- Mojica, J. I., Usma, J. S., Álvarez-León, R. y Lasso, C. A. (2012). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, D. C., Colombia, 319pp.
- Ramírez-Gil, H. y Ajiaco-Martínez, R. (2011). Diagnóstico de la pesquería en la cuenca del Orinoco. In: Lasso, C., Gutiérrez, F., Morales-Betancourt, B., Agudelo, E., Ramírez-Gil, H y Ajiaco-Martínez, R. (ed.). II Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá. Colombia. pp. 168-198.

Venezuela. (2002). Resolución N° 003 mediante el cual se regula la pesca comercial artesanal en los ríos y cuerpos de agua ubicados en los estados Apure, Barinas, Cojedes, Portuguesa, Táchira y los afluentes de los ríos del estado Guárico que drenan hacia el río Apure, exceptuando los ríos de la cuenca del Lago de Maracaibo en el estado Táchira, así como las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial. Gaceta oficial N° 37.472.



Peces del río Atabapo: Visión etnoictiológica del pueblo Curripaco, municipio Atabapo, estado Amazonas, Venezuela

Fishes of the Atabapo River: Ethnoichthyological vision of the Curripaco people, Atabapo municipality, Amazonas state, Venezuela

Álvaro Luis Cedeño Luna, Yurilandy Jhoana Giraldo Romero, Otto Enrique Castillo González

Programa de Ciencias del Agro y del Mar, Vicerrectorado de Producción Agrícola-VPA, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora-UNELLEZ, Guanare, Venezuela.

✉ Álvaro Luis Cedeño Luna () E-mail: alvarocedeno85@gmail.com

RESUMEN | La agricultura, pesca y la cacería, son la base de la economía del Pueblo indígena Curripaco. El río Atabapo, se considera un río de baja productividad primaria y escasos recursos pesqueros, en términos de abundancia y biomasa. No obstante, su íctiofauna es aprovechada para la pesca comercial y de subsistencia, además de representar un valor inmaterial para el pueblo Curripaco por sus usos medicinales, fuente de alimentos y las creencias culturales hacia algunas especies. El estudio se realizó al noroeste del municipio Atabapo en el estado Amazonas, Venezuela, en la confluencia de los ríos Orinoco, Guaviare y Atabapo, donde se localiza la población de San Fernando de Atabapo. Es una investigación etnográfica dado que se trata de describir e interpretar las modalidades de vida de personas habituadas a vivir juntas. La toma de la información se hizo a través de la aplicación de encuestas y entrevistas a grupos focales e identificación de actores clave. Se describieron catorce artes o métodos de pesca y utilizados en la actualidad por el pueblo Curripaco. Se identificaron ocho especies para tratar seis enfermedades o padecimientos, además del uso de la vejiga natatoria para combatir la impotencia sexual, así como también del contenido del globo ocular para tratar las picadas de las rayas. Se señalaron doce especies que se asocian a creencias culturales. Existen seis métodos ancestrales para la preparación del pescado y se reconocieron 42 especies que aprovechan y comercializan, agrupadas en cinco órdenes, con predominio de Characiformes (45%) y Siluriformes (31%); agrupadas también, en 17 familias con predominio de Cichlidae y Pimelodidae con 17% y 7 especies, respectivamente. Se lograron identificar 27 especies con nombres en la lengua Curripaco variación âjakurri. Se proponen algunos lineamientos para el aprovechamiento sostenible del recurso íctico y la preservación de estos saberes ancestrales.

Palabras clave: Etnografía, uso medicinal, creencias culturales, minería, peces ornamentales.

ABSTRACT | Agriculture, fishing and hunting are the basis of the economy of the Curripaco indigenous people. The Atabapo River is considered a river with low primary productivity and scarce fishing resources, in terms of abundance and biomass. However, its ichthyofauna is used for commercial and subsistence fishing, in addition to representing

an immaterial value for the Curripaco people for its medicinal uses, food source and cultural beliefs towards some species. The study was carried out in the northwest of the municipality of Atabapo in the state of Amazonas, Venezuela, at the confluence of the Orinoco, Guaviare and Atabapo rivers, where the population of San Fernando de Atabapo is located. It is an ethnographic investigation since it tries to describe and interpret the ways of life of people accustomed to living together. The information was collected through the application of surveys and interviews to focus groups and the identification of key actors. Fourteen fishing gears are used today by the Curripaco people. Eight species were identified to treat six diseases or conditions, in addition to the use of the swim bladder to combat sexual impotence, as well as the contents of the eyeball to treat stingray bites. Twelve species associated with cultural beliefs were identified. There are six ancestral methods for the preparation of fish and 42 species that they use and commercialize were recognized, grouped in five orders, with a predominance of Characiformes (45%), which presented the highest number of species with 19, and Siluriformes (31%) with 13 species; also grouped in 17 families with a predominance of Cichlidae and Pimelodidae with 17% and 7 species, respectively. 27 species were identified with names in the Curripaco *ajakurri* language variation. Some guidelines are proposed for the sustainable use of the fish resource and the preservation of this ancestral knowledge.

Keywords: Ethnography, medicinal use, cultural beliefs, mining, ornamental fish

INTRODUCCIÓN

La FAO (2018) señala que la falta de reconocimiento de los valores culturales, las creencias, los conocimientos, la organización social y la diversidad de prácticas de subsistencia de los pueblos indígenas, han dado a menudo lugar a políticas que excluyen a estos grupos y aumentan su vulnerabilidad, incluso por los cambios antrópicos que afectan al recurso íctico. La sistematización del conocimiento tradicional que poseen las comunidades indígenas acerca de los peces se denomina etnoictiología (Souza y Barella, 2001; Mourão y Nordi, 2003). Al igual que otras ramas de la etnobiología, esta disciplina intenta sistematizar el conocimiento tradicional sobre diversos aspectos biológicos de los peces. En Venezuela aún son incipientes las investigaciones sobre etnoictiología documentadas a partir del conocimiento de los pueblos indígenas presentes en la Orinoquía. Existen algunas investigaciones realizadas por Mansutti (1998), Royero (1989 y 1994) y Lasso (2011). En el Estado Amazonas, se estima que en la actualidad existen de 22 a 26 etnias con numerosas comunidades distribuidas en los 177.617 Km² de superficie del estado, que representa la quinta parte del territorio nacional (Rondón, 2003), entre ellos el pueblo Curripaco, donde la agricultura, la cacería y la pesca, son la base tradicional en la que se sustenta su economía. El río Atabapo, pese a ser un río de aguas negras con una baja productividad primaria y escasos recursos pesqueros en términos de abundancia y biomasa, representa un valor inmaterial para el pueblo Curripaco como fuente de alimento, usos medicinales y creencias culturales enraizadas hacia algunas especies de peces. El trabajo tuvo por objetivos identificar los conocimientos ancestrales de la ictiofauna y la actividad pesquera del pueblo

Curripaco, en el río Atabapo, estado Amazonas, Venezuela, así como proponer algunos lineamientos para el aprovechamiento sostenible del recurso íctico y la preservación de estos saberes ancestrales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio (Fig. 1), se encuentra ubicada al noroeste del municipio Atabapo en el estado Amazonas, Venezuela, en la confluencia de los ríos Orinoco, Guaviare y Atabapo, donde se localiza la población de San Fernando de Atabapo. La actividad pesquera realizada por el pueblo Curripaco, se hace principalmente en el curso de río Atabapo y cuerpos de agua asociados a su canal; se considera un río de aguas negras de acuerdo a la clasificación de Sioli (1965), caracterizado por presentar aguas de color té o marrón-rojizo, con una alta transparencia que supera los 1,5 metros, baja conductividad eléctrica, aguas ácidas con pH cercano a valores de 4, con muy bajo contenido de nutrientes, baja productividad primaria y escasos recursos pesqueros, en términos de abundancia y biomasa. Las precipitaciones promedio son cercanas a los 2400 mm, superando los 4000 mm en las zonas de más alto relieve. En las dos terceras partes del territorio no hay una estación seca propiamente dicha, y la intensidad de lluvias máximas se presentan de mayo a noviembre. La temperatura media anual es superior a 25°C en toda la región, a excepción de las zonas de relieve superior a los 800 msnm, donde hay un descenso térmico en razón de la altura. El río Atabapo desemboca en el río Guaviare y allí se forma un accidente hidrográfico sorprendente y único en el planeta, donde tres ríos confluyen prácticamente en el mismo punto (Fig. 2). La investigación es de tipo etnográfica dado que se trata de describir e interpretar las modalidades de vida de los grupos de personas habituadas a vivir juntas (Martínez, 2009); del mismo modo tiene un enfoque cualitativo (Denzin y Lincoln, 2012). La toma de la información se llevó a cabo a través de la aplicación de encuestas y entrevistas a grupos focales e identificación de actores clave, caracterizado por los pescadores más antiguos. Las especies de peces aprovechadas por el pueblo Curripaco fueron identificadas por el ictiólogo Otto Castillo, curador de la Colección de Peces del Museo de Zoología de la UNELLEZ-VPA en Guanare y coautor del trabajo.

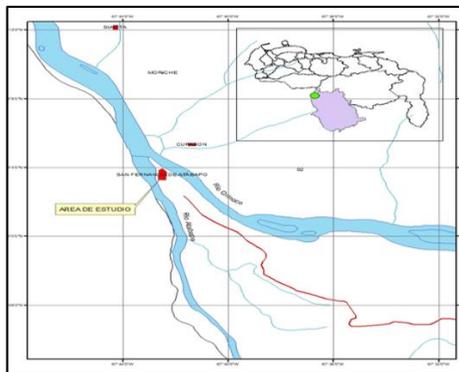


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio. Facilitado por el Centro Cartográfico de la UNELLEZ-VPA.



Figura 2. Desembocadura del Guaviare en el Orinoco-confluencia con el Atabapo. Fotografía: Karen Brewer.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron dos (2) visitas de campo, una correspondiente al periodo lluvioso durante el mes de abril de 2019 y otra durante el periodo de sequía en el mes de diciembre de 2019, a fin de comparar los atributos de la actividad en relación con el ciclo hidrológico (sequía e inundación); cada visita tuvo una duración de 15 días.

Las faenas de pesca dependen en gran parte de las fases lunares que condicionan algunos métodos de pesca. También varía mucho con los periodos del año; durante las lluvias predominan los peces de cuero o bagres y en la época de sequía dominan los peces de escama, en especial las viejas o cíclicos. Las faenas de pesca duran de 9 a 14 horas dependiendo de la hora del día, siendo más largas durante la noche. Las embarcaciones usadas para la pesca se denominan curiaras, fabricadas en madera de Parature (*Goupia glabra*), Kabachä (*Caryocar pallidum*) y Majagua (*Anaxagorea brevipes*), y tienen de 3 a 4 metros de eslora (Fig. 3), que son ocupadas por una o dos personas y propulsadas a canaleta; En muchas ocasiones, una vez que finaliza la pesca se agrupan los peces de varias curiaras, que son transportados en una embarcación de mayor calado de madera o metal de 10 a 15 metros de eslora, que transporta los peces hacia San Fernando de Atabapo (Fig. 4).



Figura 3. Curiara de madera utilizada por el pueblo Curripaco para ejercer la pesca.



Figura 4. Embarcación utilizada para transportar los peces capturados hasta la población de San Fernando de Atabapo.

Se describieron catorce artes o métodos de pesca reconocidos y utilizados en la actualidad por el pueblo Curripaco, que incluyen el rendal; la técnica del guaraleao (Fig. 5); la vara anzuelo y nylon; el cacure (Fig. 6); las mallas; el arco y lanceta (Fig. 7), que es una de las técnicas de mayor importancia cultural, pero en la actualidad su uso es restringido solo a pocos pescadores, dado que requiere conocimiento y habilidad, y es un arte de pesca altamente selectivo que requiere de dos personas, el que acciona el arte de pesca y el “guatenero” que recoge el pescado atrapado y lo guarda en la “guatura” que es un bolso de carga (Fig. 8); el macheteao; el arpón; el barbasco; la sagaya; la atarraya; la técnica de las varillas; la pesca con la mano; y el mapire (Fig. 9).



Figura 5. Guaral con palo de boya.



Figura 6. Cacure.



Figura 7. Arco y lanceta.

Fuente: <https://www.radionacional.co/noticia/cultura/juegos-autoctonos-indigenas-inirida>



Figura 8. Guatura.

Fuente: <https://www.coleccionisneros.org/es/collections/orinoco>



Figura 9. Mapire.

Fuente: Catálogo del Patrimonio Cultural Venezolano 2004-2009.

Se identificaron ocho especies para tratar seis enfermedades o padecimientos, además del uso de la vejiga de gas o natatoria para combatir la impotencia sexual, así como también del contenido del globo ocular (Humor vítreo y acuoso) para tratar las picadas de las rayas (Tabla 1).

Tabla 1. Peces utilizados por el pueblo Curripaco para el tratamiento de enfermedades o padecimientos.

Nombre común	Nombre científico	Producto o derivado utilizado	Forma de preparación	Enfermedad o padecimiento que controla o mejora
Raya tigre.	<i>Potamotrygon motoro.</i>	Hígado licuado (manteca o aceite de raya).	Se integra con aceites de seis animales para formar un brebaje.	Enfermedades del sistema respiratorio, especialmente el asma.
Bagre tigre.	<i>Brachyplatystoma juruense.</i>	Tejido graso (manteca o aceite).	Se integra con aceites de seis animales para formar un brebaje.	Enfermedades del sistema respiratorio, especialmente el asma.
Bocón.	<i>Brycon amazonicus.</i>	Tejido graso (manteca o aceite).	Se integra con aceites de seis animales para formar un brebaje.	Enfermedades del sistema respiratorio, especialmente el asma.
Cajaro.	<i>Phractocephalus hemiliopterus.</i>	Tejido graso (manteca o aceite).	Obtención directa.	Enfermedades de la piel o epidermis.
Caribe o Caripano.	<i>Pygocentrus cariba.</i>	Todo el animal.	Se seca y se muele.	Impotencia sexual y energizante.
Sierra cuca.	<i>Oxydoras sifontesi.</i>	Espinas pectorales.	Se secan y se muelen las estructuras óseas.	Enfermedades del sistema respiratorio, especialmente el asma.
Bocachico.	<i>Semaprochilodus kneri.</i>	Contenido de la vesícula biliar o hiel.	Se abre el pescado recién capturado, se extrae la hiel y la persona la ingiere.	Diabetes.
Temblador.	<i>Electrophorus electricus.</i>	Estructuras óseas (vértebras).	Se dejan secar las vértebras, luego se separan, se insertan en una cuerda y se usan como pulsera.	Hipertensión arterial.
Especies varias.		Vejiga de gas o "natatoria".	Se prepara en hervido o sopa.	Impotencia sexual y energizante.
Especies varias.		Humor vítreo y humor acuoso.	Obtención directa.	Para punzadas por rayas de agua dulce. Se aplica directamente sobre el área afectada.

Se señalaron nueve especies que se asocian a creencias culturales (Tabla 2). Se describen las preparaciones más destacadas de la cocina tradicional del pueblo Curripaco, observadas durante las

visitas; cabe destacar que no fueron incluidos métodos convencionales como el pescado frito, horneado, ahumado o cualquier otro, que no representan un valor cultural para el pueblo sino adaptaciones de su comida por personas foráneas. Se muestran los seis métodos ancestrales para la preparación del pescado, que incluyen el sancocho de bagre (Fig. 10), el cuajado (Fig. 11), el ajicero (Fig. 12), el pisillo de pescado asado (Fig. 13), el pescado asado en hoja de manaca (Fig. 14) y el pescado pilado (Fig. 15). Estos platos se acompañan con casabe y maízoco, torta y harina de yuca (*Manihot esculenta*), respectivamente.

Tabla 2. Peces del río Atabapo, que se le atribuyen creencias supersticiosas.

Nombre común	Nombre científico	Descripción de la creencia supersticiosa
Bagre tigre.	<i>Brachyplatystoma juruense.</i>	No se consume bajo ningún concepto por el pueblo Curripaco. Se tiene la creencia que este pez come gente.
Sierra cuca.	<i>Oxydoras sifontesi.</i>	Existe la creencia que esta especie es utilizada para satisfacer deseos sexuales de los pescadores, cuando realizan largas faenas de pesca.
Curito.	<i>Hoplosternum littorale.</i>	Esta especie no es consumida, porque se considera un pez de tierra y no del agua.
Toruno.	<i>Zungaro zungaro.</i>	Las mujeres durante el periodo de gestación no lo consumen y tampoco en los primeros años de lactancia materna, porque existe la creencia que su consumo mancha al hijo.
Curvina.	<i>Plagioscion squamosissimus.</i>	Las "piedras", representada por los otolitos, específicamente las sagittas, las utilizan como amuletos de la suerte, los rezan y no pueden ser tocados por ninguna persona.
Morocoto.	<i>Piaractus orinoquensis.</i>	Se cree que esta especie es la hembra del morocoto macho (<i>Colossoma macropomum</i>).
Vieja pavona.	<i>Astronotus cir. ocellatus.</i>	La pesca de esta especie se realiza con recelo, porque se cree que en su aleta caudal se encuentra el símbolo del organismo militar venezolano (Guardia Nacional Bolivariana) lo que puede ocasionarle problemas al capturarlo.
Raya tigre.	<i>Potamotrygon motoro.</i>	Es considerada una especie de mala suerte. Su captura se asocia con una mala faena de pesca.
Temblador.	<i>Electrophorus electricus.</i>	Especie utilizada para hacer un preparado que es utilizado para hacer daño.



Figura 10. Sancocho de bagre



Figura 11. Cuajado de pescado.



Figura 12. Pescado al ajicero.



Figura 13. Pisillo de pescado



Figura 14. Pescado asado envuelto en hoja de manaca y troja para el asado.



Figura 15. Pescado pilado y a la derecha pilón utilizado en su preparación.

Se reconocieron 42 especies que aprovechan y comercializan (Tabla 3), agrupadas en cinco órdenes, con predominio de los Characiformes (45%), que presentó el mayor número de especies con 19, y los Siluriformes (31%) con 13 especies (Fig. 16); agrupadas también en 17 familias, con predominio de los Cichlidae y los Pimelodidae con 17% y 7 especies, respectivamente (Fig. 17). Se lograron identificar 27 especies con nombres en la lengua Curripaco variación âjakurri (Tabla 3).

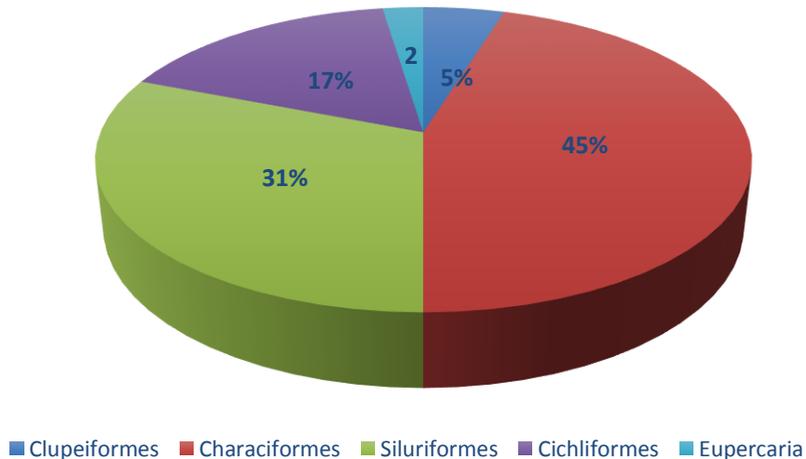


Figura 16. Composición de los órdenes de los peces del río Atabapo utilizados por el pueblo Curripaco.

Tabla 3. Peces del río Atabapo consumidos y comercializados por el pueblo Curripaco, con algunos nombres en la lengua Curripaco, variación *âjakurri*.

Oden/Familia	Especie	Nombre común	Nombre Curripaco
Clupeiformes			
Pristigasteridae	<i>Pellona flavipinnis</i>	Sardinata	
	<i>Pellona castelnaeana</i>	Sardinata	
Characiformes			
Acestrorhynchidae	<i>Acestrorhynchus falcatus</i>	Care´ perro	Parrá
Anostomidae	<i>Leporinus fasciatus</i>	Cuana	Cuané
	<i>Leporinus friderici</i>	Cabeza de manteco	Dume
Bryconidae	<i>Brycon amazonicus</i>	Bocón	Yamú
Chalceidae	<i>Chalceus macrolepidotus</i>	Sardina de cola roja	
Ctenoluciidae	<i>Boulengerella cuvieri</i>	Picúa	Sebucan de maguari
Cynodontidae	<i>Cynodon gibbus</i>	Payarita negra	
	<i>Hydrolicus armatus</i>	Payara	Guemay
	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Curagua	
Erythrinidae	<i>Erythrinus erythrinus</i>	Agua dulce	Purré
	<i>Hoplias malabaricus</i>	Guabina	Urrai
Hemiodontidae	<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Saltón	Zebure
	<i>Hemiodus immaculatus</i>	Saltón	
Prochilodontidae	<i>Prochilodus mariae</i>	Coporo	
	<i>Semaprochilodus kneri</i>	Bocachico	Zanapari
Serrasalminidae	<i>Mylossoma albiscopum</i>	Palometa	
	<i>Piaractus orinoquensis</i>	Morocoto	Catama
	<i>Colossoma macropomum</i>	Cachama	
	<i>Pygocentrus cariba</i>	Caribe o maripano	Humai
Siluriformes			
Auchenipteridae	<i>Ageneiosus inermis</i>	Bagre chancleta	Tirri
	<i>Auchenipterichthys longimanus</i>	Bagre negro	Cudarro
Doradidae	<i>Oxydoras sifontesi</i>	Sierra cuca	
	<i>Platydoras armatulus</i>	Bagre policía	Adaca
	<i>Pterodoras rivasi</i>	Atuncito	
Heptapteridae	<i>Rhamdia quelen</i>	Bagre liso	Muzzi
Pimelodidae	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Bagre blanco	
	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	Bagre blanco	
	<i>Leiarius marmoratus</i>	Yaqui	Machapi
	<i>Phractochaphalus hemioliopterus</i>	Cajaro	Gemapari
	<i>Pseudoplatystoma metaense</i>	Bagre rayado	Curirri
	<i>Pseudoplatystoma orinocoense</i>	Bagre rayado	Curirri
	<i>Zungaro zungaro</i>	Toruno	Maparra
Cichliformes			
Cichlidae	<i>Astronotus cir. ocellatus</i>	Vieja pavona	
	<i>Cichla orinocensis</i>	Pavón amarillo	Dapa
	<i>Cichla temensis</i>	Pavón verde o pinta de lapa	Dapa
	<i>Crenicichla lenticulata</i>	Mataguaro	Guinare
	<i>Crenicichla lugubris</i>	Mataguaro rojo	Guavi
	<i>Geophagus abalios</i>	Vieja carga piedra	Jayó
	<i>Uaru fernandezyepezi</i>	Vieja roncona	Errutú
Eupercaria			
Sciaenidae	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Curvina	

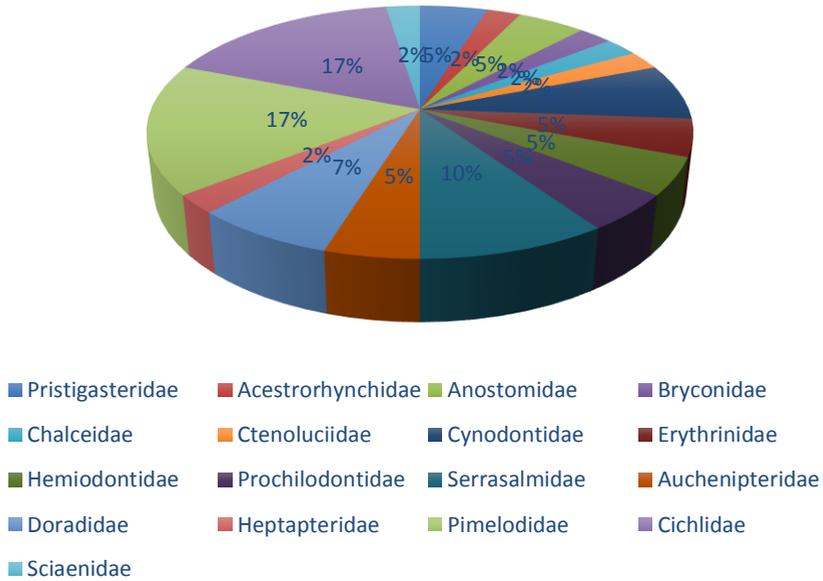


Figura 17. Composición de las familias de los peces del río Atabapo utilizados por el pueblo Curripaco.

Algunas de las especies aprovechadas incluyen al bagre blanco *Brachyplatystoma vaillantii* (Fig. 18), el pavón verde, pinta de lapa o dapa *Cichla temensis* (Fig. 19) y el bocachico o zanapari *Semaprochilodus kneri* (Fig. 20), uno de los peces más abundantes de la zona y con mayor demanda dentro del pueblo Curripaco.



Figura 18. Bagre blanco (*Brachyplatystoma vaillantii*).



Figura 19. Pavón verde (*Cichla temensis*).



Figura 20. Bocachico (*Semaprochilodus kneri*).

Dentro de la problemática ambiental de la zona se ha detectado la actividad minera en los márgenes del río Atabapo. Se estima que existen al menos 30 establecimientos mineros en la zona; además de balsas realizando labores de exploración y explotación de oro en el lecho del canal principal del río Atabapo, las cuales entre otros impactos dragan el fondo del río destruyendo los hábitats de los peces bentónicos, alterando de esta manera la cadena trófica. Por otro lado el proceso para la obtención del oro incluye la deforestación que destruye la capa vegetal y conduce a altos procesos erosivos; adicionalmente, el uso del Azogue base principal del metilmercurio que es la forma química más toxica del mercurio, causa no sólo un proceso de envenenamiento silencioso a las personas que trabajan en las minas, sino que también se acumulan en los tejidos de los peces, contribuyendo al proceso de biomagnificación, vale destacar el predominio de especies de hábitos piscívoros, que acumulan en mayor porcentaje este elemento tóxico. Por otra parte los procesos de deforestación ocasionan la pérdida de diversidad biológica y la sedimentación de los cauces, producto de los procesos erosivos por desprendimiento de los suelos. Todos estos eventos desfavorables contribuyen con la proliferación de enfermedades como el paludismo o malaria, que resultan en gran medida del desajuste ambiental. Las

soluciones a corto, mediano y largo plazo incluyen una medida ecosistémica radical que partiría del principio de desarticular la actividad minera en la zona; no obstante, en la actualidad existen cientos de personas que dependen de la actividad para subsistir y es una acción difícil de abordar por sus fuertes aristas sociales. En ese sentido se propone contrarrestar la expansión de la actividad y regularla según la superficie, número de personas y fortalecer los procesos de vigilancia sobre el uso de elementos contaminantes como el mercurio; suprimir la actividad minera en balsas y desarrollar un plan de recuperación en las áreas más susceptibles o frágiles, a partir de técnicas apropiadas no solo de recuperación de suelo, sino también de vegetación y fauna. De igual modo se recomienda realizar evaluaciones inmediatas de concentraciones de mercurio en peces, fauna silvestre y humanos.

En relación a la problemática social tenemos la pérdida de valores culturales, producto de los procesos de transculturización, contacto e incorporación de personas ajenas a las comunidades, los cuales traen consigo valores, costumbres, hábitos y tradiciones que se contraponen con la idiosincrasia del pueblo Curripaco, y causan grandes cambios culturales principalmente en las nuevas generaciones, los cuales se ven influenciadas por nuevos estilos de vida que desencadenan el desapego a las tradiciones y saberes ancestrales. Dentro de las soluciones a corto y mediano plazo tenemos: Establecer programas de sensibilización en jóvenes y adolescentes del pueblo Curripaco, que permitan afianzar y rescatar los valores culturales, a través del reconocimiento y aplicación de prácticas ancestrales; Respetar los espacios considerados sagrados para el pueblo, limitando el acceso de personas o grupos ajenos a este; Vincular a los nuevos pobladores en el conocimiento de los valores culturales del pueblo Curripaco, para identificar como actuar de manera apropiada; Regular las actividades que se contrapongan a la cultura originaria, dentro del área de influencia de sus comunidades; Verificar el estatus actual del grupo Curripaco, valorar el uso actual de su lengua y dialectos; y Diseñar estrategias comunicacionales que permitan conocer las características, valores y tradiciones de los pueblos indígenas, dado que la información es escasa y de difícil acceso.

En cuanto a la problemática económica tenemos la dificultad en el acceso a recursos económicos dada la escasa oferta de trabajo en la región. Las actividades económicas solo se restringen a la actividad minera y a la pesca comercial. Dentro de las soluciones en el corto y mediano plazo se propone: Estimular a la población al desarrollo de nuevas actividades económicas que generen menos impacto; tal es el caso del potencial de peces ornamentales en la zona, la cual es considerada en la actualidad una actividad informal, donde el mayor porcentaje de regalías tributa hacia el vecino país de Colombia; Realizar un estudio del estado actual de los peces con potencial ornamental del río Atabapo, dado que las publicaciones existentes se restringen a Colombia; Desarrollar proyectos pilotos para la captura, cría, almacenamiento y transporte de peces ornamentales; Crear la cadena de comercialización de los peces ornamentales a escala nacional e internacional; Crear alianzas de trabajos con otros centros de recepción a nivel nacional y facilitar el comercio de las especies; Mejorar los medios de comunicación entre San Fernando de Atabapo y Puerto Ayacucho, la capital del estado Amazonas; Establecer la

actividad piscícola con especies autóctonas como medio alternativo de vida; y Capturar reproductores de especies de importancia acuícola y enlazar con posibles proyectos de la Orinoquía.

CONCLUSIONES

Se identificaron 14 artes o métodos de pesca utilizados por los Curripacos. Por otro lado, se contabilizaron ocho especies para combatir enfermedades o padecimientos, 11 especies de fuertes creencias culturales y seis métodos tradicionales para la preparación del pescado.

Se identificaron 42 especies de importancia comercial representadas por 5 órdenes y 17 familias, dominadas por los órdenes Characiformes y Siluriformes, y por las familias Pimelodidae y Cichlidae.

Basado en los diferentes aspectos evaluados en lo ambiental se recomienda regular la actividad minera a cielo abierto y suprimir la minería sobre balsas, desarrollar estudios de valoración de los niveles de mercurio en peces y humanos, además de promover acciones de restauración ambiental. En lo social rescatar los valores y creencias ancestrales del pueblo Curripaco, y en lo económico impulsar la pesca ornamental como actividad comercial alternativa.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al pueblo Curripaco de San Fernando de Atabapo y en especial a los pescadores por la colaboración prestada para el desarrollo de la actividad. A Lcda. Mariana Moscoso del Proyecto Ictiología y Cultura de Colombia por sus valiosos comentarios para la mejora del presente manuscrito.

REFERENCIAS

- Denzin, N. K. y Lincoln, Y. (2012). Manual de investigación cualitativa. Editorial Gedisa, España.
- FAO 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma, Italia. 233 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Instituto del Patrimonio Cultural. 2009. Municipios Alto Orinoco-Atabapo, estado Amazonas. Catálogo del Patrimonio Cultural Venezolano, Región Orinoco, Ministerio del Poder Popular para la Cultura, Caracas, Venezuela. 181pp.

- Lasso, C. A. (2011). Consumo de pescado y fauna acuática en la cuenca amazónica venezolana: análisis de nueve casos de estudio entre comunidades indígenas. COPESCA Documento Ocasional N° 15, FAO, Roma, Italia. 28pp.
- Mansutti, A. (1988). La pesca entre los Piaroas (Uotjuja) del Orinoco y la cuenca del Sipapo. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 48 (130): 3-40.
- Martínez, M. (2009). Ciencia y arte en la metodología cualitativa. Editorial Trillas, segunda edición, México, D.F. 350pp.
- Mourão, J. e Nordi, N. (2003). Etnoictiología de Pescadores artesanais do estuario do rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 29 (1): 9-17.
- Rondón, J. A. (2003). Temas etnobotánicos. Vocablos Piaroa de algunas artesanías de origen forestal del estado Amazonas, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 34: 71-86.
- Royero, R. (1989). Contribución al conocimiento de la etnoictiología Piaroa (Dearuwa). *Antropológica*, 72: 61-75.
- Royero, R. (1994). Algunos aspectos de la etnoictiología y la historia natural de los Yanomami del Alto Río Siapa y Río Mavaca, Estado Amazonas, Venezuela. *Antropológica*, 84: 73-96.
- Sioli, H. (1965). Bemerkungen zur Typologie amazonischer Flüsse. *Amazoniana* 1: 74-83.
- Souza, M. R. e Barella, W. (2001). Conhecimento popular sobre peixes numa comunidade Caiçara da Estação Ecológica de Juréia-Itatins/SP. *Boletim do Instituto de Pesca*, 27 (2): 123-130.



Efecto del pretratamiento enzimático de *Ulva ohnoi* como ingrediente potencial en piensos para acuicultura

Effect of the enzymatic pretreatment of *Ulva ohnoi* as a potential ingredient in feeds for aquaculture

F.P. Martínez-Antequera¹, J.M. Reyna², M.J. Aznar¹, F.J. Moyano¹

¹Departamento de Biología y Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Almería, E04120 Almería (España).

²CTAQUA. Muelle comercial S / N. 11500. El Puerto de Santa María. Cádiz, (España)

✉ **Francisca P. Martínez-Antequera** () E-mail: fma996@inlumine.ual.es

RESUMEN | El uso de macroalgas está recibiendo cada vez más atención como ingredientes en piensos acuícolas con potenciales beneficios nutricionales y fisiológicos. Desde una perspectiva nutricional su utilización presenta limitaciones debidas sobre todo al alto contenido en polisacáridos de difícil digestión. El presente estudio abordó la posible mejora de la biodisponibilidad de nutrientes en una harina de *Ulva ohnoi* mediante un pretratamiento con carbohidrasas, así como su posterior evaluación nutritiva al ser incluida en piensos para juveniles de lubina. Se demostró que el pretratamiento de la harina de *Ulva* con mezclas comerciales de carbohidrasas tiene efectos sobre la disponibilidad de algunos nutrientes, pero son limitados y quedan contrarrestados tanto por los bajos niveles de inclusión de dicha harina en los piensos como por las variaciones del perfil nutritivo derivadas del uso de otros ingredientes en las fórmulas. Además, la inclusión de un 5% de harina de *Ulva ohnoi* en piensos para juveniles de lubina (*Dicentrarchus labrax*) no mostró ningún efecto significativamente negativo sobre los parámetros zootécnicos evaluados (FCR y SGR).

Palabras clave: macroalgas, *Ulva ohnoi*, enzimas, hidrólisis enzimática.

ABSTRACT | The use of macroalgae is receiving increasing attention as ingredients in aquafeeds with potential nutritional and physiological benefits. From a nutritional perspective, their use presents limitations mainly due to the high content of undigestible polysaccharides. The present study addressed the possible improvement of the bioavailability of nutrients in an *Ulva ohnoi* meal through a pretreatment with carbohydrases, as well as its subsequent nutritional evaluation when it is included in feeds for juvenile seabass. It was shown that the pretreatment of *Ulva* meal with commercial mixtures of carbohydrases has effects on the availability of some nutrients, but they are limited and counteracted both by the low levels of inclusion of the meal in the feed and by variations in the nutritional profile derived from the use of other ingredients in the formulas. In addition, the inclusion of 5% *Ulva ohnoi* meal in feed for juvenile seabass (*Dicentrarchus labrax*) did not show any significant negative effect on the zootechnical parameters evaluated (FCR and SGR).

Keywords: macroalgae, *Ulva ohnoi*, enzymes, enzymatic hydrolysis

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las diversas especies de macroalgas con alto contenido proteico y altas tasas de producción están recibiendo cada vez más atención como nuevos alimentos con posibles beneficios nutricionales y como un posible ingrediente en piensos para la acuicultura. Las macroalgas son conocidas por su riqueza en compuestos bioactivos, moléculas con una variedad de propiedades biológicas, entre las que destacan los compuestos antioxidantes, antibacterianos y antitumorales, entre otros (Holdt & Kraan, 2011). Los complejos carbohidratos y polisacáridos presentes en las algas muestran una gran diversidad; las algas marrones contienen alginatos, polímeros que contienen fucosa sulfatada y laminarina; las rojas son una rica fuente de agar, carragenanos, xilanos, galactanos sulfatados y porfiranos; y las algas verdes contienen xilanos y galactanos sulfatados (Makkar *et al.*, 2016).

La inclusión de macroalgas en diferentes cantidades en piensos para acuicultura ha dado resultados prometedores, ya que en general, se observan mejoras en los parámetros productivos y fisiológicos, así como un aumento en la concentración en el filete de ciertos compuestos beneficiosos. Gran parte de la atención se ha centrado en inclusiones incrementales en formulaciones de dieta equilibrada con niveles de pescado y harinas de soja entre 5% y 30%, de los cuales se informa que un nivel óptimo de algas es alrededor del 15% antes de que el crecimiento se vea afectado. Cabe destacar que la mayoría de los estudios se han realizado sobre algas verdes, específicamente con *Ulva rigida* y *Ulva lactuca*. En relación con esto, se ha confirmado el poder inmunoestimulante del polisacárido ulvan (Fernández-Díaz *et al.*, 2017).

Sin embargo, hay una serie de aspectos que limitan el uso práctico de macroalgas en los piensos de acuicultura, como son los aspectos nutricionales, entre los que se destaca el alto contenido descrito anteriormente de polisacáridos difíciles de digerir, como alginatos y carragenanos. El uso de aditivos enzimáticos para mejorar el valor nutricional de los ingredientes vegetales y subproductos en los piensos para animales terrestres es una práctica rutinaria y su extensión a los piensos para la acuicultura se está investigando actualmente (Klinger & Naylor, 2012). La posibilidad de utilizar tratamientos enzimáticos para hidrolizar parcialmente los polisacáridos macroalgas también ha sido sugerida por diferentes autores (Maneein *et al.*, 2018; Kwon *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2018). Sin embargo, a excepción del trabajo reciente de Fernandes *et al.* (2019) no hay estudios publicados que aborden este proceso específicamente dirigido a mejorar la biodisponibilidad de nutrientes cuando las macroalgas se utilizan en piensos para la acuicultura.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la posibilidad de mejorar la utilización nutritiva de la macroalga verde *Ulva ohnoi* como ingrediente en un pienso para acuicultura mediante pretratamiento enzimático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procesamiento y composición de la macroalga

La biomasa de *Ulva ohnoi* utilizada en este estudio se ha cultivado en tanques externos de las instalaciones del Centro de Tecnología de la Acuicultura (CTAQUA), y ha sido procesada en el laboratorio mediante lavado con agua dulce, secado y triturado hasta obtener la harina de *Ulva*. La composición proximal de las macroalgas muestra grandes variaciones que se determinan tanto por aspectos puramente biológicos como tecnológicos. En el caso de las especies de *Ulva*, se han notificado grandes variaciones, que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Estimación de la composición proximal de *Ulva* por diferentes autores.

	Bobin-Dubigeon <i>et al</i> 1997	Yaich <i>et al</i> 2011	Wassef <i>et al</i> 2013	Santizo <i>et al</i> 2014	Peixoto <i>et al</i> 2016	Abdel-warith <i>et al</i> 2015	Rasyid 2017	Estimación
Humedad	-	14,9	3,7	14,5	14,3	10,4	16,9	15,2
Proteína	11,6	8,5	17,4	13,4	23,2	11,5	13,6	13,5
Grasa	-	7,9	2,5		1,5	6,1	0,2	1,3
Carbohidratos totales	-	54,9	41,5	34,6	-	-	58,1	52,0
Fibra insoluble	-	34,3	5,7	4,4	-	-	28,4	5,0
Minerales	21,5	19,6	32,8	31,7	34,8	24,5	11,2	27,0

Experimento de pretratamiento de la harina de *Ulva*

Para este experimento, se planteó evaluar el efecto exclusivamente de un tratamiento enzimático de la harina de *Ulva* sobre la biodisponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos, considerando 3 factores: tipo de producto enzimático, dosis de producto y tiempo de incubación. Se utilizaron como tipo de producto 3 mezclas enzimáticas comerciales ricas en carbohidrasas, con diferentes actividades β -1,3-glucanasa, β -1,4-glucanasa y pectinasa. Estas fueron denominadas como MEC1, MEC2 y MEC3. Se realizó un diseño en cuadrado latino con la finalidad de evaluar dichos factores y sus interacciones con un mínimo de ensayos. Previamente a la realización de los ensayos, se llevó a cabo una caracterización de las actividades enzimáticas presentes en los 3 productos comerciales a evaluar. Cada una de las diferentes combinaciones de factores se asignó a un contenedor de 100 mL donde se dosificaron 3 g de harina de *Ulva* y tampón citrato 0,5M en proporción 1:1 p/v. El pH se ajustó a 5,5 en las diferentes muestras antes de ser ubicados en la cámara de incubación ajustada a 45°C. Una vez terminado el periodo de incubación correspondiente a cada tratamiento, el contenedor se almacenó rápidamente a -20°C para detener la reacción hasta el momento de realizar las analíticas correspondientes.

Técnicas analíticas utilizadas

La determinación de la actividad de β -1,3-glucanasa se analizó mediante hidrólisis en condiciones controladas del polisacárido laminarina, la de β -1,4-glucanasa utiliza como sustrato carboximetilcelulosa y la pectinasa emplea pectina. En todos los casos, los productos liberados (azúcares reductores para la glucanasa y ácido galacturónico para la pectinasa) son cuantificados posteriormente utilizando el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) mediante el método de Miller (1959). Además, se tomaron muestras de cada combinación para el análisis de proteína soluble, azúcares reductores, pentosas libres, fenoles totales y capacidad antioxidante. La proteína soluble fue analizada por el método Bradford (1976) utilizando el kit de proteína total SIGMA (TP0100). Los azúcares reductores se midieron utilizando ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) siguiendo el método descrito por Miller (1959). Las pentosas libres se midieron por el método floroglucinol descrito por Douglas (1981). El contenido total de fenoles se analizó por el método descrito por Graça *et al.* (2005). La capacidad antioxidante equivalente a Trolox se determinó siguiendo el método DPPH descrito por Brand-Williams *et al.* (1995).

Experimento de evaluación nutritiva

Este experimento tenía como objetivo evaluar el resultado de incluir diferentes cantidades de harina de *Ulva*, tratadas enzimáticamente o no, en piensos para preengorde de una especie acuícola marina (lubina en este caso), tanto en el crecimiento como en la eficiencia del uso nutricional de los mismos.

Animales e instalaciones

El ensayo se llevó a cabo con juveniles de lubina (*Dicentrarchus labrax*) de unos 16 g de peso promedio inicial. Los peces fueron distribuidos en grupos de 30 en 15 tanques de 120 litros, asignando 3 tanques por tratamiento. Los peces fueron alimentados manualmente todos los días con una ración de alimento del 2,5% del peso, que se adaptó según los controles de esto llevado a cabo cada 15 días por anestesia ligera (0,5 mL de 2-fenoxietanol / L agua de mar). La cantidad de alimento ingerido por cada una de las unidades experimentales se registró semanalmente utilizando el método gravimétrico (g de alimento consumido / tanque). El ensayo duró 67 días.

Alimentos experimentales

Se formularon cinco piensos: un control sin harina de *Ulva* (P0); dos piensos con 5% de harina de *Ulva*, con y sin tratamiento enzimático (P5 y P5E) y dos piensos con 8% de harina de *Ulva*, con y sin tratamiento (P8 y P8E). El tratamiento enzimático de la harina de algas que se utilizó en las fórmulas se llevó a cabo con la adición de la enzima comercial en las mejores condiciones obtenidas en el

experimento de pretratamiento. Una vez concluido el tratamiento enzimático, las macroalgas se mezclaron con el resto de los ingredientes necesarios y los piensos experimentales se granularon a un tamaño de 2 mm.

Los ingredientes utilizados en la elaboración de la alimentación experimental fueron suministrados por DIBAQ S.A. Los datos de composición proximal de los mismos utilizados para la formulación se obtuvieron de las tablas de la Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Los piensos fueron formulados teniendo en cuenta los requisitos nutricionales de los juveniles de *Dicentrarchus labrax* utilizando el módulo de programación lineal Solver incluido en el software Excel. En la Tabla 2, se muestran los ingredientes y la composición de los cinco piensos experimentales.

Tabla 2. Ingredientes y composición proximal de los cinco piensos utilizados en el ensayo. El número indica el % de inclusión de la harina de *Ulva*. Los piensos tratados con enzimas se detallan con la letra "E".

Ingredientes (g/100 g)	P0	P5/P5E	P8/P8E
Harina pescado	32,0	32,0	32,0
Harina soja	8,0	10,0	5,0
Harina guar	10,0	6,0	5,0
Concentrado soja	20,0	20,2	23,1
Gluten maíz	15,0	15,0	16,0
Harina <i>Ulva</i> seca (tratada o no)	0,0	5,0	8,0
Harina trigo	3,7	0,45	0,0
Aceite pescado	4,9	4,9	5,0
Aceite girasol	3,9	4,0	4,0
Lecitina soja	0,4	0,4	0,4
Complemento vit/min	0,5	0,5	0,5
Taurina	0,5	0,5	0,5
Saborizante	0,1	0,1	0,1
Cr ₂ O ₃	1,0	1,0	1,0
PB (%)	52		
grasa (%)	14		

Se tomaron muestras de cada pienso para el análisis de proteína total, proteína soluble, azúcares reductores, pentosas libres, fenoles totales y capacidad antioxidante, de acuerdo con las metodologías descritas en el apartado anterior.

Parámetros evaluados

A partir de los datos obtenidos en el ensayo experimental de piensos se calcularon los siguientes índices; tasa de crecimiento específica (SGR), este parámetro se utilizó para estimar la variación en el

peso corporal a lo largo del tiempo, y tasa de conversión (FCR, tasa de conversión de alimentos), indica la relación entre los alimentos consumidos y el peso corporal ganado gracias a ese alimento.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por ANOVA seguido de la prueba Bonferroni utilizando el software *Statgraphics Centurion* (Statgraphics Corp. UU.). El nivel de significancia se estableció en $p < 0.05$. Cuando es necesario, los datos expresados en porcentaje se transformaron previamente en arco-sin.

RESULTADOS

Experimento de pretratamiento de la harina de *Ulva*

Tabla 3. Variación en el contenido en monosacáridos (azúcares reductores y pentosas), polifenoles totales y actividad antioxidante resultantes de las diferentes combinaciones del ensayo de cuadrado latino. Los valores indicados son los incrementos frente a los presentes en la harina sin tratar. Todos los valores se expresan en g/100g de m.s., mientras que la actividad antioxidante se expresa en porcentaje referido al Trolox (%).

Nombre enzima	Tiempo incubación (h)	Actividades:		Pentosas	Fenoles totales	Actividad antioxidante (%)
		1,3 glucanasa; 1,4 glucanasa y pectinasa	Azúcares reductores			
MEC1	6	0,63 U; 0,29 U; 0,38 U	0,000	1,350	0,027	31,833
MEC2	7,5	0,64 U; 0,58 U; 0,63 U	0,000	0,656	0,005	22,622
MEC3	9	0,78 U; 0,58 U; 0,52 U	3,045	0,995	0,006	23,015
MEC3	6	1,57 U; 1,15 U; 1,03 U	2,726	1,130	0,004	27,770
MEC1	7,5	1,25 U; 0,58 U; 0,77 U	1,289	1,877	0,020	29,432
MEC2	9	1,29 U; 1,16 U; 1,25 U	0,000	1,563	0,004	21,676
MEC2	6	1,93 U; 1,74 U; 1,88 U	0,000	3,198	0,025	23,338
MEC3	7,5	2,35 U; 1,73 U; 1,55 U	0,000	1,521	0,008	24,885
MEC1	9	1,88 U; 0,87 U; 1,15 U	0,994	2,833	0,011	28,440

El efecto de los tratamientos enzimáticos realizados con los 3 compuestos a distintas cantidades y tiempos de incubación sobre distintos compuestos presentes en la harina de *Ulva* se resumen en las Tablas 3 y 4. Los resultados muestran que el tipo de enzima fue un factor significativo en la liberación

de azúcares reductores, siendo el complejo MEC3 el que liberaba mayor cantidad de los mismos. Por otra parte, la liberación de pentosas resultó menos dependiente del perfil enzimático del complejo, pero sí de la dosis de enzima, de manera que las dosis más altas produjeron una mayor cantidad de tales azúcares. El tiempo de incubación no mostró un efecto significativo sobre la liberación de azúcares o pentosas, lo que indicaría que con 6 h de incubación ya se obtenía el efecto deseado. El contenido de polifenoles totales se vio afectado significativamente por dos factores: tipo de enzima y tiempo de incubación, siendo MEC1 y el tiempo más breve de incubación (6 h) los que mayor impacto tuvieron sobre la biodisponibilidad de estos compuestos ya que el tratamiento con los otros productos, MEC2 y MEC3, no determinó variaciones sobre el contenido de polifenoles inicialmente presente en la harina. Por su parte, la capacidad antioxidante sólo se vio afectada significativamente por el tipo de complejo enzimático utilizado, obteniéndose los mejores valores con MEC1.

Tabla 4. Tratamiento estadístico de los diferentes factores evaluados. Los valores que no comparten la misma letra difieren significativamente con $p < 0,05$.

Respuesta/Factor		Azúcares reductores	Pentosas	Fenoles totales	Actividad antioxidante (%)
Enzima	MEC1	ab		a	a
	MEC2	b		ab	b
	MEC3	a		b	ab
Dosis (µl)	9		a		
	18		a		
	27		b		
T. incubación (h)	6			a	
	8			ab	
	9			b	

Experimento de evaluación nutritiva

Los resultados de la evaluación de las diferencias en los compuestos nutricionales y bioactivos presentes en los piensos formulados se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Contenido de nutrientes de los piensos experimentales expresados en g / 100 m.s. Las comparaciones estadísticas generales entre los niveles de inclusión de algas se detallan con una letra mayúscula, mientras que las realizadas entre cada par de piensos con o sin tratamiento enzimático se detallan con una letra pequeña. Los valores que no comparten la misma letra difieren significativamente con $p < 0,05$.

Pienso	Proteína soluble		Azúcares reductores		Pentosas	Fenoles totales	Actividad antioxidante (%)	
P0	2,163	A	0,425	A	0,301	0,129	47,794	A
P5	0,869	Ba	0,245	B	0,321	0,131	77,893	B
P5E	0,619	b	0,156		0,403	0,137	73,758	
P8	0,602	Ca	0,195	B	0,324	0,120	75,514	B
P8E	0,131	b	0,281		0,368	0,121	77,374	

Los resultados muestran que, aunque los 5 piensos formulados presentaban contenidos casi idénticos de proteína bruta, el contenido de proteína soluble fue significativamente menor en los piensos con harina de *Ulva* en comparación con el control. Dentro del pienso con *Ulva*, el tratamiento enzimático a su vez redujo significativamente el contenido de proteínas solubles en cualquiera de los dos niveles probados. Sin embargo, la inclusión de la harina de *Ulva* en cualquiera de los dos niveles dio lugar a una disminución en la reducción de azúcares en comparación con el alimento de control. Por otro lado, el contenido de fenoles totales no se vio afectado por la incorporación de macroalgas, tratadas enzimáticamente o no, en los piensos experimentales. Por el contrario, los piensos que incluían harina de algas mostraron una cantidad significativamente mayor de compuestos con capacidad antioxidante, aunque no se observó un efecto significativo del tratamiento enzimático en este parámetro.

Los resultados de la eficiencia de crecimiento y conversión de piensos obtenidos al suministrar los piensos experimentales durante 65 días a los juveniles de lubina se resumen en el Tabla 6. Se puede verificar que:

- Durante el período experimental los peces crecieron adecuadamente y multiplicaron su peso por un factor de 2,45. No hubo muertes significativas y su salud general fue satisfactoria.
- En general, los resultados fueron bastante homogéneos; no se encontraron diferencias significativas en el indicador de eficiencia en la utilización del alimento (FCR), pero sí en las tasas de crecimiento (SGR). Estos mostraron valores equivalentes para el pienso P0 y los que incluían 5% de harina de *Ulva*, tratada enzimáticamente o no, que eran significativamente mejores que las obtenidas en peces alimentados con un 8% de harina de algas.
- Dentro de cada uno de los dos niveles de inclusión de la harina de *Ulva*, el tratamiento enzimático no determinó diferencias significativas en los parámetros evaluados.

Tabla 6. Crecimiento y eficiencia en el uso de alimentos en piensos experimentales. Los valores que no comparten la misma letra difieren significativamente con $p < 0.05$.

Parámetro	P0	P5	P5E	P8	P8E
Peso inicial individuo (g)	16.95 ± 0.15	16.92 ± 0.03	17.01 ± 0.20	17.09 ± 0.11	16.93 ± 0.05
Peso final individuo (g)	42.64 ± 0.40	42.54 ± 1.22	42.13 ± 0.92	40.57 ± 0.54	40.75 ± 1.32
Consumo (g)	33.66 ± 1.70	33.90 ± 0.60	33.98 ± 0.92	32.15 ± 0.43	32.25 ± 0.88
FCR (g feed/g fish)	1.31 ± 0.06	1.32 ± 0.06	1.35 ± 0.05	1.37 ± 0.06	1.35 ± 0.03
SGR (% día)	1.38 ± 0.04	1.38 ± 0.04	1.35 ± 0.02	1.29 ± 0.05	1.31 ± 0.01

DISCUSIÓN

Las cantidades totales de azúcares y pentosas liberados como resultado de la hidrólisis enzimática resultaban similares a los obtenidos al emplear algunos de estos compuestos sobre ingredientes vegetales de origen terrestre. Más concretamente, el uso de MEC1 para el pretratamiento enzimático en una fórmula para lubina que incluía gluten de trigo y harinas de soja, guar y trigo determinó una liberación del conjunto de monosacáridos (azúcares + pentosas) de unos 3 g/100 g (Bainour, 2020). Se trata en la mayoría de los casos de productos desarrollados para mejorar el uso de los ingredientes vegetales en animales terrestres por lo que se supone que funcionalmente las enzimas operan mejor bajo las condiciones de temperatura y pH existentes en los digestivos de cerdos y aves, las cuales son notablemente diferentes de las existentes en los de especies piscícolas. Desde un punto de vista práctico, además de lo descrito, hay que considerar que la mayor parte de los piensos actualmente utilizados en acuicultura se extruyen a alta temperatura, por lo que las enzimas a utilizar deberían ser altamente resistentes a este proceso. Los estudios mencionados se alejan de las condiciones reales de fabricación ya que los alimentos experimentales se preparan mediante granulación fría o añadiendo las mezclas enzimáticas en el recubrimiento final del grano con aceite (coating) (Ai *et al.*, 2007; Dalsgaard *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2014). Partiendo de esta base es por lo que se planteó realizar el tratamiento enzimático del alga antes de su incorporación al pienso, en vez de añadir la enzima a la mezcla y esperar que resultase efectiva.

Con el objetivo de mantener los compuestos bioactivos, algunos autores (Bikker *et al.*, 2016) han evaluado la utilidad de una hidrólisis enzimática intensa sobre *Ulva* y han conseguido un preparado enriquecido en azúcares y proteína que muestra un valor nutritivo potencial mejorado respecto a la *Ulva* sin tratar, aunque no evaluaron la presencia de polifenoles o carotenoides ni el efecto de dicho proceso sobre los mismos. Fernandes *et al.* (2019) utilizaron *Ulva rigida* como sustrato para un proceso de biotransformación mediante fermentación en estado sólido (SSF) con *Aspergillus niger*, seguida de hidrólisis enzimática con las enzimas producidas en la propia etapa de fermentación y sí notifican un aumento significativo en la concentración relativa de polifenoles y capacidad antioxidante, lo que estaría en línea con los resultados obtenidos en el presente experimento. El aumento de la actividad antioxidante logrado tras el tratamiento enzimático puede ser debido a que las xilanasas y celulasas presentes en dichos compuestos promovieron la liberación de compuestos fenólicos unidos a polisacáridos. De hecho, las enzimas que degradan los carbohidratos pueden liberar compuestos fenólicos presentes en forma conjugada, lo que conduce a un aumento en actividad antioxidante (Dulf *et al.*, 2016; Bei *et al.*, 2018). Considerando los anteriores resultados, se decidió utilizar el preparado MEC1 para el tratamiento de la harina de alga a utilizar en los piensos del siguiente experimento, debido a que ofrecía la mejor combinación de características.

En cuanto a la evaluación nutritiva, se puede observar que el menor nivel de proteína soluble en cualquiera de los piensos con *Ulva* en comparación con el control podría explicarse porque la inclusión de esta harina en la fórmula modificó la matriz fisicoquímica del pienso debido a la presencia de una cantidad significativa de polisacáridos con capacidad higroscópica y aglutinante proporcionada por las algas, que representan más del 50% de la composición total de su composición (Alves *et al.*, 2013; Rasyid, 2017) que podría interferir con la extracción de proteína soluble llevada a cabo en medio acuoso. Por otro lado, el hecho de que la adición del preparado enzimático también tuviera un efecto negativo en la cantidad de proteína soluble en el pienso que incluía la harina de *Ulva* podría explicarse teniendo en cuenta que dichas preparaciones son productos obtenidos de fermentaciones de hongos o levaduras con diferentes grados de purificación. Por lo tanto, aunque se enriquecen en una serie de actividades enzimáticas principales (carbohidrasas en este caso), también pueden tener proteasas residuales y lipasas (Fasuyi & Kehinde, 2009), las primeras actuando como agentes hidrolizantes con un efecto sobre la fracción proteica soluble.

En cuanto a las cantidades de alga, cabe destacar algunos efectos positivos en la ganancia de peso, tasa específica de crecimiento y eficiencia de utilización del alimento cuando las tasas de incorporación son inferiores al 10 % del peso seco del pienso (Wassef *et al.*, 2001; Ergün *et al.*, 2009; Wassef *et al.*, 2013; Valente *et al.*, 2006). Niveles del 10% no determinan cambios en los parámetros mencionados (Abdel-Warith *et al.*, 2015; Diler *et al.*, 2007; Vizcaíno *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2014), pero cantidades mayores (del 20% o más) afectan negativamente a dichos parámetros (Thi *et al.*, 2015; Abdel-Warith *et al.*, 2015; Shpigel *et al.*, 2017; Diler *et al.*, 2007). En definitiva, dado que las inclusiones menores del 10% de *Ulva* en alimentos para acuicultura no parecen presentar efectos negativos sobre los parámetros de crecimiento y eficiencia estudiados, en el presente trabajo se decidieron evaluar niveles de inclusión del 5 y 8%, acordes con los que produjeron mejores resultados en tales estudios. Los resultados obtenidos así lo confirman, aunque se apunta a que un nivel del 8% ya podría resultar inadecuado en los parámetros zootécnicos evaluados.

En este sentido, cabe señalar que las respuestas obtenidas al emplear como alimento una especie concreta de alga en distintas especies pueden resultar diferentes. En el caso concreto de *Ulva ohnoi*, utilizada en el presente trabajo, su inclusión en un 5% en piensos para *Solea senegalensis* determinó peores tasas de crecimiento y de eficiencia en el uso del alimento (Vizcaíno *et al.*, 2019). De hecho, pese a haber encontrado algunos efectos positivos sobre la integridad del epitelio intestinal, los autores recomiendan limitar el uso del alga en piensos para esta especie. En contraste, un nivel equivalente de inclusión en un pienso para *Salmo salar* no produjo diferencias significativas en ningún parámetro de crecimiento o uso del alimento (Norambuena *et al.*, 2015), aunque en este caso no se evaluó una harina de alga, sino un producto derivado de la misma, (Verdemin[®]), que podría presentar características físico-químicas y nutricionales potencialmente diferentes.

Un aspecto importante a valorar en los resultados del presente estudio tiene que ver con el efecto del pretratamiento enzimático de la harina de alga. El objetivo, tal como se señaló en la introducción, era incrementar la biodisponibilidad de nutrientes al hidrolizar parcialmente la matriz de polisacáridos del alga. Aunque, como se ha demostrado en el experimento *in vivo*, el tratamiento enzimático del alga determinó un incremento en la concentración de azúcares reductores y pentosas, pero debido a la baja proporción de harina de alga contenida en los piensos (50 u 80 g/kg) dicho incremento no resultó suficiente para compensar las modificaciones en las proporciones de ingredientes antes mencionadas. En consecuencia, los resultados detallados en la Tabla 5 sugieren que el tratamiento enzimático no tuvo un efecto apreciable y por lo tanto no se observaron diferencias entre los resultados obtenidos en los piensos con alga tratada enzimáticamente o no. Cabría plantear que una hidrólisis más efectiva podría haberse llevado a cabo con otros compuestos enzimáticos, dado que la combinación de enzimas utilizadas en el presente estudio está diseñada para hidrolizar específicamente la fracción de polisacáridos no amiláceos presentes en ingredientes vegetales terrestres, pero no los polisacáridos presentes en *Ulva*, cuyo principal componente es el sulfopolisacárido ulvan, cuya particular estructura lo hace especialmente resistente a la hidrólisis (Kidgell *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Es factible incluir hasta un 5% de harina de *Ulva ohnoi* en piensos para juveniles de lubina sin encontrar ningún efecto negativo sobre el crecimiento y la utilización del alimento. Además, el pretratamiento de la harina de *Ulva* con mezclas comerciales de carbohidrasas tiene efectos sobre la disponibilidad de algunos nutrientes, pero son limitados y quedan contrarrestados tanto por los bajos niveles de inclusión de dicha harina en los piensos como por las variaciones del perfil nutritivo derivadas del uso de otros ingredientes en las fórmulas.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEIMAR) dentro de la “III Convocatoria de Proyectos de Innovación empresarial”.

REFERENCIAS

- Abdel-warith, A. A., Younis, E. M. I. & Al-asgah, N. A. (2015). Potential use of green macroalgae *Ulva lactuca* as a feed supplement in diets on growth performance, feed utilization and body composition of the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Saudi Journal of Biological Sciences. King Saud University*, 23(3):404–409.
- Ai, Q., Mai, K., Zhang, W., Xu, W., Tan, B., Zhang, C., & Li, H. (2007). Effects of exogenous enzymes

- (phytase, non-starch polysaccharide enzyme) in diets on growth, feed utilization, nitrogen and phosphorus excretion of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Comparative Biochemistry Physiology A* 147:502–508.
- Alves, A., Sousa, R. A., & Reis, R. L. (2013). A practical perspective on ulvan extracted from green algae. *Journal of Applied Phycology*, 25(2):407-424.
- Bainour, K. (2020). Evaluación de aditivos enzimáticos aplicables en piensos para acuicultura mediante modelos de simulación digestiva. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Las Palmas Gran Canaria. España.
- Bei, Q., Chen, G., Lu, F., Wu, S., & Wu, Z. (2018). Enzymatic action mechanism of phenolic mobilization in oats (*Avena sativa* L.) during solid-state fermentation with *Monascus anka*. *Food Chemistry*, 245:297–304.
- Bikker, P., van Krimpen, M. M., van Wikselaar, P., Houweling-Tan, B., Scaccia, N., van Hal, J. W., & López-Contreras, A. M. (2016). Biorefinery of the green seaweed *Ulva lactuca* to produce animal feed, chemicals and biofuels. *Journal of Applied Phycology*, 28(6):3511-3525.
- Bobin-Dubigeon, C., Lahaye, M., Guillon, F., Barry, J. L., & Gallant, D. J. (1997). Factors limiting the biodegradation of *Ulva* sp. cell-wall polysaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(3): 341-351.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2):248-254.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1):25-30.
- Dalsgaard, J., Verlhac, V., Hjermitsev, N.H., Ekmann, K.S., Fischer, M., Klausen, M., Pedersen, P.B. (2012). Effects of exogenous enzymes on apparent nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with high inclusion of plant-based protein. *Animal Feed Science Technology*, 171: 181–191.
- Diler, I., Tekinay, A. A., Guroy, D., Guroy, B. K., & Soyuturk, M. (2007). Effects of *Ulva rigida* on the growth, feed intake and body composition of common carp, *Cyprinus carpio* L. *Journal of Biological Sciences*, 7(2):305-308.
- Douglas, S.G. (1981). A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour. *Food*

Chemistry, 7:139–145.

- Dulf, F.V., Vodnar, D.C., & Socaciu, C. (2016). Effects of solid-state fermentation with two filamentous fungi on the total phenolic contents, flavonoids, antioxidant activities and lipid fractions of plum fruit (*Prunus domestica* L.) by-products. *Food Chemistry*, 209:27–36.
- Ergün, S., Soyutürk, M., Güroy, B., Güroy, D., & Merrifield, D. (2009). Influence of *Ulva* meal on growth, feed utilization, and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid. *Aquaculture International*, 17(4): 355 <https://doi.org/10.1007/s10499-008-9207-5>.
- Fasuyi, A. O., & Kehinde, O. A. (2009). Effect of cellulase-glucanase-xylanase combination on the nutritive value of *Telfairia occidentalis* leaf meal in broiler diets. *Journal of Cell and Animal Biology*, 3(11):188-195.
- Fernandes, H., Salgado, J. M., Martins, N., Peres, H., Oliva-Teles, A., & Belo, I. (2019). Sequential bioprocessing of *Ulva rigida* to produce lignocellulolytic enzymes and to improve its nutritional value as aquaculture feed. *Bioresource technology*, 281:277-285.
- Fernández-Díaz, C., Coste, O., & Malta, E. J. (2017). Polymer chitosan nanoparticles functionalized with *Ulva ohnoi* extracts boost *in vitro* ulvan immunostimulant effect in *Solea senegalensis* macrophages. *Algal research*, 26:135-142.
- Graça, M. A., Bärlocher, F., & Gessner, M. O. (Eds.). (2005). Methods to study litter decomposition: a practical guide. Springer Science & Business Media. Total phenolics, 14.
- Holdt, S. L. & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3):543–597.
- Jiang, T.T., Feng, L., Liu, Y., Jiang, W.D., Jiang, J., Li, S.H., Tang, L., Kuang, S.Y., & Zhou, X.Q. (2014). Effects of exogenous xylanase supplementation in plant protein-enriched diets on growth performance, intestinal enzyme activities and microflora of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Nutrition*, 20:632-645.
- Kidgell, J. T., Magnusson, M., de Nys, R., & Glasson, C. R. (2019). Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Research*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101422>.

- Klinger, D., & Naylor, R. (2012). Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual Review of Environment and Resources*, 37:247-276.
- Kwon, O. M., Kim, D. H., Kim, S. K., & Jeong, G. T. (2016). Production of sugars from macro-algae *Gracilaria verrucosa* using combined process of citric acid-catalyzed pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Algal Research*, 13:293-297.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212:1-17.
- Maneein, S., Milledge, J. J., Nielsen, B. V., & Harvey, P. J. (2018). A review of seaweed pre-treatment methods for enhanced biofuel production by anaerobic digestion or fermentation. *Fermentation*, 4(4):100. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040100>
- Miller, G. L. (1959). Modified DNS method for reducing sugars. *Anal Chem*, 31(3): 426-428.
- Norambuena, F., Hermon, K., Skrzypczyk, V., Emery, J. A., Sharon, Y., Beard, A., & Turchini, G. M. (2015). Algae in fish feed: performances and fatty acid metabolism in juvenile Atlantic salmon. *PLoS One*, 10(4), e0124042.
- Park, M. R., Kim, S. K., & Jeong, G. T. (2018). Biosugar production from *Gracilaria verrucosa* with sulfamic acid pretreatment and subsequent enzymatic hydrolysis. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 23(3):302-310.
- Peixoto, M. J., Salas-Leitón, E., Pereira, L. F., Queiroz, A., Magalhães, F., Pereira, R., & de Almeida Ozório, R. O. (2016). Role of dietary seaweed supplementation on growth performance, digestive capacity and immune and stress responsiveness in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Reports*, 3:189-197.
- Rasyid, A. (2017). Evaluation of nutritional composition of the dried seaweed *Ulva lactuca* from Pameungpeuk waters, Indonesia. *Tropical Life Sciences Research*, 28(2):119-125.
- Santizo, R. B., Serrano Jr, A. E., & Corre, V. L. (2014). Proximate composition and dry matter digestibility of *Ulva lactuca* in the black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Animal Biology & Animal Husbandry*, 6(1):75-83.
- Shpigel, M., Guttman, L., Shauli, L., Odintsov, V., Harpaz, S. & Ben-Ezra, D. (2017). *Ulva lactuca* from an Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) biofilter system as a protein supplement in

- gilthead seabream (*Sparus aurata*) diet. *Aquaculture*, 481:112–118.
- Silva, D. M., Valente, L. M. P., Sousa-Pinto, I., Pereira, R., Pires, M. A., Seixas, F. & Rema, P. (2014). Evaluation of IMTA-produced seaweeds (*Gracilaria*, *Porphyra*, and *Ulva*) as dietary ingredients in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., juveniles. Effects on growth performance and gut histology. *Journal of Applied Phycology*, 27(4):1671-1680.
- Thi, N., Anh, N., Nevejan, N. & Bossier, P. (2015). Seaweed, *Enteromorpha intestinalis*, as a diet for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fry. *Journal of Applied Aquaculture*, 27(2):113–123.
- Vizcaíno, A. J., Fumanal, M., Sáez, M. I., Martínez, T. F., Moriñigo, M. A., Fernández-Díaz, C., & Alarcón, F. J. (2019). Evaluation of *Ulva ohnoi* as functional dietary ingredient in juvenile Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Effects on the structure and functionality of the intestinal mucosa. *Algal Research*, 42:101608. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101608>.
- Vizcaíno, A.J., Mendes, S.I., Varela, J.L., Ruiz-Jarabo, I., Rico, R., Figueroa, F.L., Abdala, R., Moriñigo, M.Á., Mancera, J.M. & Alarcón, F.J. (2015). Growth, tissue metabolites and digestive functionality in *Sparus aurata* juveniles fed different levels of macroalgae, *Gracilaria cornea* and *Ulva rigida*. *Aquaculture Research*, 47:3224–3238.
- Wassef, E. A., El Masry, M. H., & Mikhail, F. R. (2001). Growth enhancement and muscle structure of striped mullet, *Mugil cephalus* L., fingerlings by feeding algal meal-based diets. *Aquaculture Research*, 32:315-322.
- Wassef, E. A., El-Sayed, A.-F. M. & Sakr, E. M. (2013). Pterocladia (Rhodophyta) and *Ulva* (Chlorophyta) as feed supplements for European seabass, *Dicentrarchus labrax* L., fry. *Journal of Applied Phycology*, 25(5):1369–1376.
- Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food chemistry*, 128(4), 895-901.



Comparación entre enzimas comerciales o de origen marino para la hidrólisis de carbohidratos presentes en macroalgas

Comparison between commercial and marine enzymes for the hydrolysis of carbohydrates in macroalgae

Domingo, A.C., Fernández, L., Martínez-Antequera, F.P, Moyano, F.J.

Departamento de Biología y Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Almería, E04120 Almería (España).

✉ **Andrea C. Domingo E-mail: adr131@inlumine.ual.es**

RESUMEN | El presente trabajo evaluó el interés de modificar el valor nutritivo de una macroalga (*Ulva ohnoi*) mediante un pretratamiento enzimático con carbohidrasas, equivalente a los que normalmente se llevan a cabo para mejorar el uso digestivo de los polisacáridos no amiláceos en ingredientes de origen terrestre. Para ello se planteó utilizar tanto un producto enzimático comercial (Rovabio), como el extracto obtenido de la glándula digestiva del gasterópodo marino *Patella vulgata*. Como paso preliminar se midieron los óptimos funcionales de la actividad xilanasa presente en dicho extracto, para comprobar en qué medida se podrían adecuar a las condiciones de desarrollo del bioproceso. El ensayo evidenció un pH óptimo de 5, una temperatura óptima en el intervalo de 30-50°C y una estabilidad elevada del enzima a 45°C durante periodos prolongados de incubación. Considerando estos resultados se diseñó un ensayo factorial empleando ambos preparados enzimáticos destinados a evaluar el efecto de modificar diferentes parámetros (tiempo de incubación, dosis y humedad) sobre la hidrólisis de carbohidratos y la capacidad antioxidante de la harina de *Ulva*. Se comprobó que el tratamiento con ambos compuestos enzimáticos incrementó la liberación de pentosas de manera lineal y creciente dentro de los rangos de los factores considerados, aunque los factores con efecto significativo fueron diferentes; dosis y tiempo de incubación para Rovabio y tiempo de incubación y humedad para el extracto de *Patella*. En contraste, ambos compuestos determinaron una disminución significativa en la capacidad antioxidante inicialmente presente en la harina de *Ulva*. Se concluye que las condiciones a utilizar en una digestión enzimática deben ajustarse en función del objetivo de empleo de la macroalga como ingrediente funcional o nutricional.

Palabras clave: Macroalgas, *Ulva*, carbohidrasas, *Patella*, hidrólisis.

ABSTRACT: The present work evaluated the interest of modifying the nutritional value of a green seaweed (*Ulva ohnoi*) by means of an enzymatic pretreatment with carbohydrases, equivalent to those normally carried out to improve the digestive use of non-starch polysaccharides in ingredients of terrestrial origin. For this, it was proposed to use both a commercial enzymatic product (Rovabio), as well as the extract obtained from the digestive gland of the marine gastropod *Patella vulgata*. As a preliminary step, the functional optimum of the xylanase activity present in such extract was measured, to check to what extent it could be adapted to the conditions developed during the bioprocess. The assay showed an optimum pH of 5, an optimum temperature in the range of 30-50°C and a high stability of the enzyme at 45°C during long periods of incubation. Considering this, a factorial test was designed using both enzyme sources to evaluate the effect of modifying different parameters (incubation time, dose and moisture content) on carbohydrate

hydrolysis and the antioxidant capacity of the *Ulva* meal. The treatment with both compounds increased the release of pentoses in a linear and increasing manner within the ranges of the factors considered, although the factors with significant effect were different; dose and incubation time for Rovabio and incubation time and moisture for the Patella extract. In contrast, both enzyme compounds determined a significant decrease in the antioxidant capacity initially present in *Ulva*. It is concluded that the conditions to be used in an enzymatic digestion must be adjusted according to the objective of using the macroalgae as a functional or nutritional ingredient.

Palabras clave: Seaweed, *Ulva*, carbohydrases, *Patella*, hydrolysis.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe una creciente demanda por la utilización de recursos alimenticios naturales cuya producción sea ambientalmente sostenible. En este contexto cabe destacar el enorme interés potencial que las macroalgas presentan para su empleo tanto en alimentación humana como de animales terrestres y acuáticos por su contenido en macronutrientes y en compuestos bioactivos capaces de mejorar el metabolismo o reforzar el sistema inmune (Collins *et al.*, 2016; Fernandes *et al.*, 2019). No obstante hay que señalar que el componente de las macroalgas que condiciona en mayor medida sus niveles de inclusión en piensos es la fracción de carbohidratos, la cual está constituida por polímeros de diferentes tipos de azúcares que no son fácilmente degradables por las enzimas digestivas de vertebrados. Aunque el tratamiento de la bio masa de macroalgas con diferentes carbohidrasas específicas ha sido ampliamente evaluado como método para la liberación de dichos azúcares con fines industriales (Kwon *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2018; Maneein *et al.*, 2018), dicho procesado no se ha valorado de manera equivalente con el objetivo de mejorar su valor nutritivo para permitir la utilización en piensos para acuicultura. En este sentido, cabe destacar que numerosos preparados comerciales que incluyen xilanasas, β -glucanasas y celulasas se han mostrado altamente eficaces para incrementar la hidrólisis de la fracción de carbohidratos de difícil digestión (polisacáridos no amiláceos o PNA) presentes en ingredientes vegetales de origen terrestre (Bainour, 2020) y por tanto su aplicación podría resultar igualmente interesante en el caso de las macroalgas. Por otra parte, hay que señalar que otra fuente potencialmente interesante de enzimas capaces de hidrolizar los polisacáridos presentes en las macroalgas pueden ser aquellos organismos marinos que las incluyan regularmente en su dieta, tales como equinodermos o moluscos (van Weel, 1961; Levy y McAllan, 1963; Gomare *et al.*, 2011; Cano, 2016; Gobet *et al.* 2018).

Considerando lo anterior, el presente trabajo se planteó como objetivo evaluar si era factible la mejorar del valor nutritivo de una macroalga mediante la una hidrólisis enzimática parcial de sus polisacáridos, sin que dicho tratamiento determinase una reducción en componentes bioactivos. La especie elegida para el estudio fue la clorofita *Ulva*, la cual posee un amplio potencial de uso en alimentación acuícola tanto por la abundancia de biomasa que se deposita en las costas de diferentes

lugares del mundo como por su fácil recolección mediante maquinaria no especializada a un costo relativamente bajo (Charlier *et al.*, 2008). El tratamiento enzimático se llevó a cabo mediante hidrólisis en estado sólido (Solid State Hydrolysis o SSH), procedimiento que permite controlar los parámetros operativos de manera equivalente a la hidrólisis líquida, pero a diferencia de esta facilita mucho la manipulación de la biomasa. Los productos enzimáticos utilizados fueron; a) una mezcla enzimática comercial empleada en el procesado de ingredientes vegetales terrestres y b) un extracto semipurificado obtenido a partir de la glándula digestiva de un gasterópodo marino; la lapa *Patella vulgata*. Como paso previo en la evaluación de la utilidad del extracto del molusco para hidrolizar la fracción de xilanos presente en los polisacáridos de *Ulva* se procedió a realizar una caracterización básica de los óptimos funcionales (pH y temperatura) de la actividad xilanasa presente en el mismo con el fin de garantizar que el tratamiento de hidrólisis podría llevarse a cabo en condiciones equivalentes a las usadas con el producto comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1. Caracterización funcional de la actividad xilanasa presente en la lapa *Patella vulgata*.

Este experimento iba orientado, tanto a cuantificar la actividad xilanasa presente en la glándula del molusco como a conocer sus óptimos funcionales de pH y temperatura. Esta información se utilizaría posteriormente para establecer las condiciones operativas al utilizar dicho extracto en el experimento de hidrólisis de la macroalga mediante SSH (experimento 2).

Extracto enzimático de lapa *Patella vulgata* (EP)

Se obtuvo a partir del hepatopáncreas de ejemplares de lapa recolectados en la costa de Almería. Los extractos se prepararon a partir de tejidos extraídos mediante disección seguida de homogenización en agua destilada con una relación 1:3 p/v y posterior centrifugación (15.000 x g; 4°C, 20 min).

Medidas de actividad xilanasa y proteína soluble en los extractos

La actividad xilanasa se analizó mediante hidrólisis en condiciones controladas del polisacárido xilano. La xilosa liberada se cuantificó posteriormente utilizando ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) mediante el método de Miller (1959) empleando como patrón una solución estándar de xilosa. La proteína soluble fue analizada por el método Bradford (1976) utilizando el kit de proteína total SIGMA (TP0100).

Determinación de óptimos funcionales de pH y temperatura

Para determinar el pH óptimo de la actividad xilanas se utilizó una modificación del protocolo descrito por Lu *et al.* (2008). Las reacciones se hicieron a temperatura constante (25°C) y la escala de pH usados fue de 3 a 10, con intervalos de 1 unidad. Las disoluciones de sustrato se llevaron a cabo en buffer universal (Stauffer) 0,05 M ajustado a los diferentes pH deseados. La determinación de la temperatura óptima se llevó a cabo en un rango de 10°C a 60°C, con intervalos de 10°C. Las reacciones se llevaron a cabo con el pH óptimo obtenido del ensayo anterior siguiendo la metodología descrita. La estabilidad térmica a 45 °C se evaluó preincubando muestras del extracto en diferentes momentos durante un intervalo de 24 h y midiendo la actividad frente a un control mantenido a 25 °C.

Experimento 2. Optimización de las condiciones de hidrólisis de polisacáridos presentes en *Ulva* mediante un preparado enzimático o extracto de glándula de lapa.

Este experimento se diseñó con objeto de evaluar el efecto combinado de distintos factores sobre la hidrólisis de los polisacáridos y compuestos bioactivos presentes en la macroalga *Ulva ohnoi* al llevar a cabo el tratamiento en estado sólido con ambos tipos de extractos enzimáticos.

Macroalga utilizada: *Ulva ohnoi*.

La biomasa de *Ulva ohnoi* utilizada en este estudio se cultivó en tanques externos en el Centro de Tecnología de la Acuicultura de Andalucía (CTAQUA, Cádiz, España) y fue procesada en el laboratorio de la Universidad de Almería (Almería España) mediante lavado con agua dulce, secado y triturado hasta obtener una harina con tamaño de partícula < 0,5 mm. La composición de la fracción de carbohidratos presentes en esta alga es muy diversa ya que incluye multitud de azúcares (glucosa, xilosa, manosa, galactosa, ramnosa, ácido glucurónico) que forman parte de diversos polisacáridos más o menos complejos (almidón, celulosa, ulvan) y también muestra grandes variaciones en las proporciones de los mismos descritas por diferentes autores (Bobin- Dubigeon *et al.*, 1997; Pengzhan *et al.*, 2003; Robic *et al.*, 2009; Kerton *et al.*, 2017). Las macroalgas son conocidas también por su riqueza en compuestos bioactivos, moléculas con una amplia variedad de propiedades biológicas, entre las que destacan compuestos antioxidantes, antibacterianos y antitumorales, entre otros (Holdt & Kraan, 2011).

Complejos enzimáticos utilizados

Como se indicó anteriormente, para este estudio se emplearon dos complejos enzimáticos; el extracto enzimático de glándula digestiva de *Patella* (EP) descrito en el experimento 1 y el preparado comercial Rovabio (Adisseo, Francia) el cual es una solución concentrada de enzimas con actividades xilanas y β -glucanasa obtenida a partir de un mosto de fermentación de *Talaromyces versatilis*.

Diseño experimental

El diseño se orientó para evaluar el efecto de 3 factores utilizados en la hidrólisis en estado sólido (dosis enzima/kg alga, tiempo de hidrólisis y contenido de humedad de la mezcla) sobre dos respuestas; la hidrólisis de los polisacáridos complejos (medida mediante la cuantificación de las pentosas liberadas a partir de la fracción de polisacáridos presente en la macroalga) y el contenido en compuestos con capacidad antioxidante. Las pentosas se midieron por el método del floroglucinol descrito por Douglas (1981) en tanto que la capacidad antioxidante equivalente a Trolox se determinó siguiendo el método DPPH descrito por Brand-Williams *et al.* (1995). Se empleó un diseño factorial de superficie de respuesta tipo Box-Behnken. Para ello se fijaron dos factores y se variaron otros tres. Los factores fijos (temperatura y pH) se ajustaron a los óptimos funcionales determinados para la actividad xilanasa medida en el EP y que (como se detalla en los resultados del experimento 1) resultaron coincidentes con los del preparado enzimático comercial. Los factores variables fueron:

Tiempo de incubación: se estableció un rango con un valor mínimo de 6 h y un máximo de 24 h.

Dosis del preparado enzimático: las cantidades de ambos preparados enzimáticos se normalizaron respecto a la actividad xilanasa. El rango a evaluar (mínimo 0,61 U, máximo de 2,44 U xilanasas) se estableció utilizando como referencia los valores aconsejados por el fabricante

Humedad de mezcla: el rango de valores seleccionados osciló entre un mínimo de 50% y un máximo de 70% de humedad. La humidificación se llevó a cabo con buffer citrato (pH 5 y 0,1 M) con objeto de mantener constante el pH tal como antes se indicaba.

El diseño se construyó usando el programa Minitab 17 (Minitab Inc, LLC. State College, Pensilvania, EE. UU.) y generó un total de 40 combinaciones de los diferentes valores de los factores. La unidad de ensayo utilizada fueron pequeños contenedores de plástico de 30 ml donde se ubicaron 3 g de la harina a la que se le aplicaron las diferentes condiciones requeridas en el diseño factorial. Se utilizaron blancos de referencia en los que se incluyó la harina de *Ulva* sometida a los factores tiempo y humedad, pero en ausencia de cualquiera de los preparados enzimáticos. Durante el periodo de incubación de los productos enzimáticos con la harina de *Ulva* las mezclas se agitaron regularmente para garantizar una distribución homogénea de la reacción. Una vez terminado el periodo de incubación correspondiente a cada tratamiento, el contenedor se almacenó rápidamente a -20°C para detener la reacción hasta el momento de realizar las analíticas correspondientes.

Tratamiento estadístico de los datos

Los datos del experimento 1 se evaluaron mediante ANOVA de una vía seguidos del test de Dunnett. Para el experimento 2, una vez llevadas a cabo las medidas tanto de la liberación de pentosas como de

la capacidad antioxidante en cada uno de los contenedores del ensayo, se introdujeron en Minitab 17 para hacer el correspondiente análisis. Los datos expresados de capacidad antioxidante que estaban expresados en porcentaje fueron previamente modificados mediante la transformación arcoseno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. Caracterización funcional de la actividad xilanasa presente en la lapa *Patella vulgata*

El pH para la actividad xilanasa del EP mostró un óptimo muy marcado en un valor de 5.0 (Fig 1). Este valor se sitúa en el rango descrito para las actividades carbohidrasas de diferentes gasterópodos marinos, tales como la amilasa de *Aplysia californica* (Purchon, 1977) o las agarasas y alginato liasas descritas para una variedad de especies por Gómez-Pinchetti y García-Reina (1993). Igualmente, cabe señalar que una β -glucuronidasa comercial de *Patella vulgata* (Sigma-Aldrich SRE0093) presenta su óptimo funcional a pH 4.5.

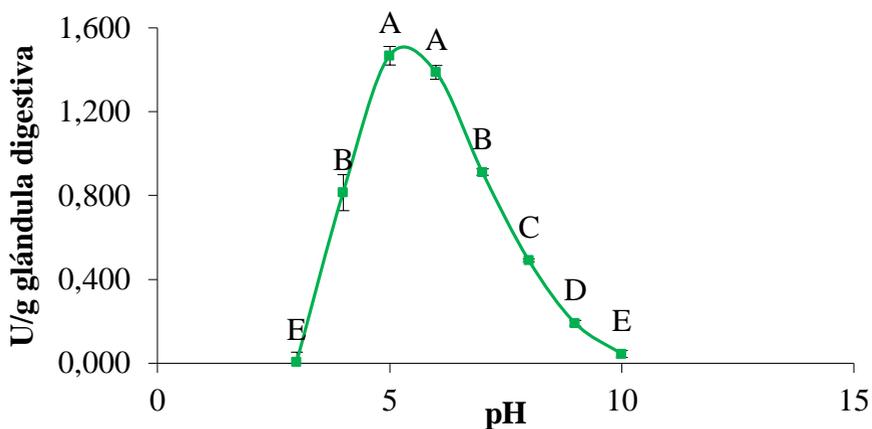


Figura 1. Óptimo de pH para actividad xilanasa de *Patella vulgata*

El efecto de la temperatura sobre la actividad xilanasa del EP se detalla en las Figs 2 y 3. Se evidenció que la actividad máxima se mantiene en un amplio rango de temperatura (30-50°C). Una temperatura óptima de 40°C ha sido descrita para las celulasas de diversos moluscos marinos por Gómez-Pinchetti y García-Reina (1993) y también para β -glucosidasas de diferentes gasterópodos (*Aplysia californica*, *Megathura crenulata* y *Haliotis spp.*) por García *et al.* (2004). La xilanasa de EP mostró una importante sensibilidad frente a la incubación a 45°C durante las primeras 2h de incubación, donde redujo su actividad en cerca de un 70%, manteniéndose estable a partir de ese momento por un

tiempo prolongado. Una reducción similar y una estabilidad equivalente muestra la β -glucuronidasa comercial antes mencionada.

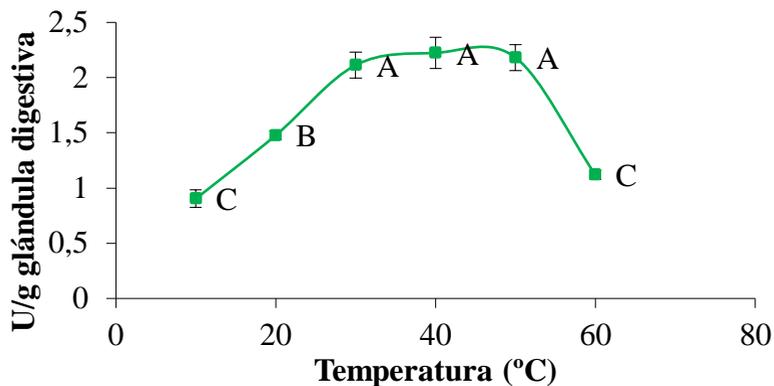


Figura 2. Óptimo de temperatura para actividad xilanasa de *Patella vulgata*.

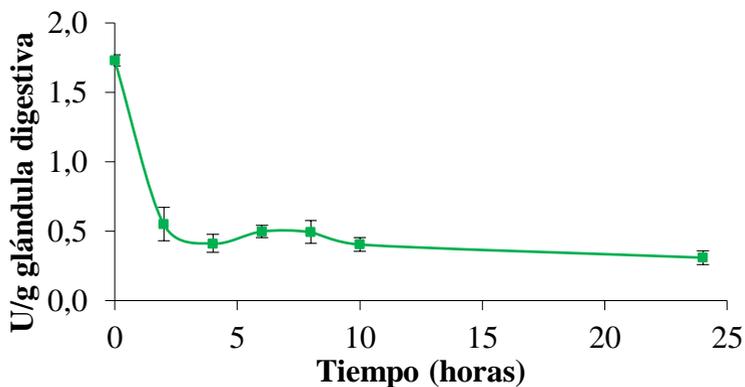


Figura 3. Estabilidad frente a incubación a 45°C de la actividad xilanasa de *Patella vulgata*.

Las características operativas de las glucanasas de *Talaromyces versatilis* presentes en el producto comercial que se emplearía en el ensayo de SSH aportadas por el fabricante muestran que la eficiencia de la hidrólisis es máxima cuando el proceso se lleva cabo a una temperatura elevada pero inferior a 85°C y a un pH de 4,9. De los resultados anteriores se deduce que la efectividad del EP podría ser evaluada en condiciones equivalentes a las del producto comercial ya que la actividad xilanasa del mismo utilizada como referencia mostraba un pH óptimo equivalente al de las glucanasas presentes en Rovabio. Por otra parte, la elevada estabilidad observada a 45°C aseguraba que el tratamiento de

hidrólisis con dicho extracto podría llevarse a cabo sin problemas durante un tiempo prolongado a una temperatura elevada.

Experimento 2. Optimización de las condiciones de hidrólisis de polisacáridos presentes en *Ulva* mediante un preparado enzimático o extracto de glándula de lapa

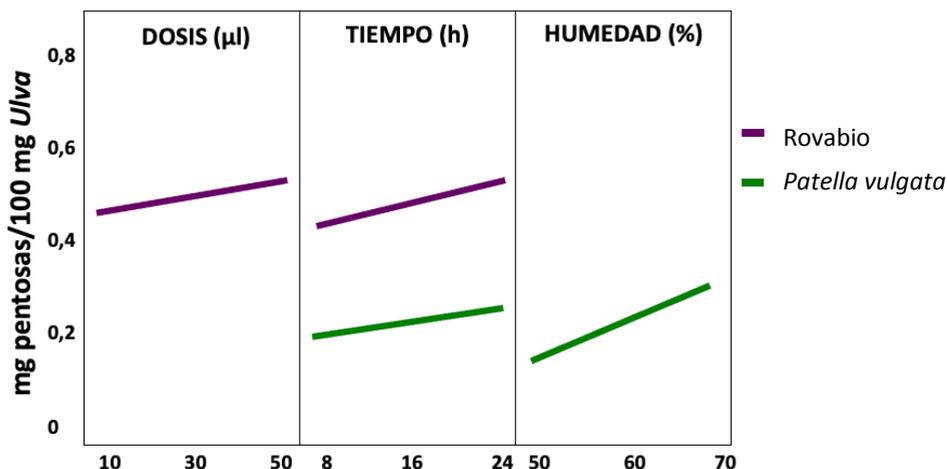


Figura 4. Efecto de los factores evaluados para los dos extractos enzimáticos durante la SSH de harina de *Ulva* expresada en mg/100 mg de harina de *Ulva* seca.

El efecto de los diferentes factores evaluados sobre la hidrólisis de polisacáridos de *Ulva* realizada tanto por Rovabio como por el EP (reflejada como aumento de la cantidad de pentosas liberadas sobre los blancos) se detalla en la Fig. 4 y puede resumirse en:

- Los factores que mostraron un efecto significativo fueron diferentes según el producto empleado; dosis y tiempo de incubación para Rovabio y tiempo de incubación y humedad para EP.
- Dentro de los rangos establecidos para cada factor las respuestas observadas siempre resultaron lineales y mostraron un incremento proporcional al aumento en los valores.
- Aunque las dosis enzimáticas aplicadas se normalizaron en función de la actividad xilanas presente en ambos compuestos, las respuestas resultaron diferentes. La cantidad de pentosas liberadas como indicador de la hidrólisis de xilano resultó mayor al aplicar la enzima comercial que al utilizar el EP. Esto podría explicarse considerando que la mezcla enzimática comercial

contiene una combinación de carbohidrasas que en conjunto resultaría más efectiva para hidrolizar los polisacáridos de *Ulva* que el conjunto de actividades enzimáticas presentes en el EP.

Cabe señalar que las cantidades totales de pentosas liberadas como resultado de la hidrólisis enzimática llevada a cabo con Rovabio resultaban similares a los obtenidos sobre ingredientes vegetales de origen terrestre (Bainour, 2020). Esto es un resultado interesante teniendo en cuenta que estos productos enzimáticos no han sido desarrollados para mejorar el uso nutricional de ingredientes de origen marino. Por otra parte el efecto de los factores señalados sobre la capacidad antioxidante de la harina de *Ulva* resultó notablemente diferente al descrito para los polisacáridos. En este caso, el único factor con efecto significativo fue el tiempo de incubación, el cual afectó de manera negativa al contenido en compuestos con capacidad antioxidante mostrando un patrón no lineal y equivalente para los dos preparados enzimáticos (Fig. 5).

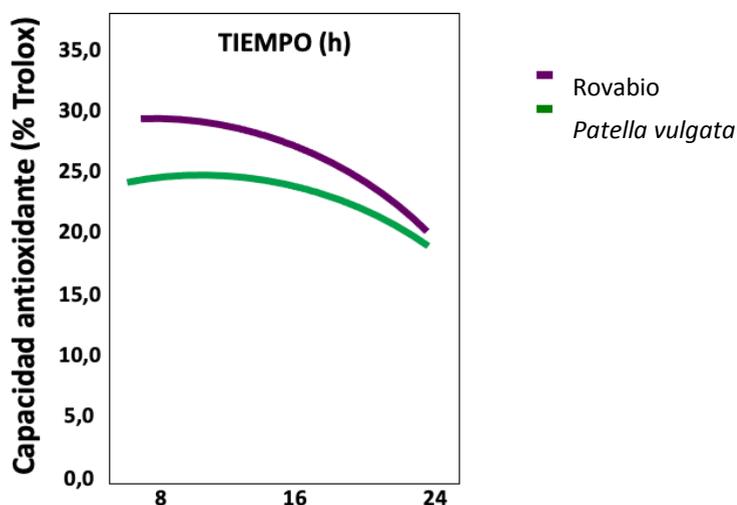


Figura 5. Variación en la capacidad antioxidante (% Trolox) obtenida en función del factor tiempo con los preparados enzimáticos evaluados.

La utilidad de la hidrólisis enzimática para incrementar la biodisponibilidad en azúcares y aminoácidos de *Ulva* con destino a alimentación animal ya ha sido puesta de manifiesto en algún estudio previo (Bikker *et al.*, 2016) aunque en el mismo no se evaluó el efecto sobre la presencia de compuestos bioactivos. En este sentido, Fernandes *et al.* (2019) tras llevar a cabo una fermentación en estado sólido de *Ulva rigida* empleando *Aspergillus niger*, notificaron un aumento significativo en la concentración relativa de polifenoles y capacidad antioxidante. Este efecto positivo puede explicarse considerando que las enzimas que degradan los carbohidratos pueden liberar compuestos fenólicos presentes en forma conjugada, lo que aumentaría la actividad antioxidante (Dulf *et al.*, 2016; Bei *et al.*, 2018). En el

presente estudio, por el contrario, la actividad antioxidante se vio afectada negativamente conforme aumentaba el tiempo de acción de los preparados enzimáticos. Esto podría estar determinado por un aumento en la solubilización de minerales presentes en *Ulva* (más concretamente iones Fe) como resultado de la propia hidrólisis enzimática, lo cual tendría un efecto negativo sobre los compuestos antioxidantes. También es preciso considerar que dicha capacidad es el resultado neto de la contribución de diferentes compuestos (polifenoles, carotenoides, etc.), algunos de los cuales muestran elevada inestabilidad frente a la temperatura.

CONCLUSIONES

El pretratamiento de la macroalga verde *Ulva ohnoi* con mezclas enzimáticas ricas en carbohidrasas podría incrementar la biodisponibilidad potencial de carbohidratos y otros nutrientes, pero afectaría negativamente a la estabilidad de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

El extracto enzimático de *Patella vulgata* presenta potencial en la hidrólisis de los polisacáridos de *Ulva*, aunque debido al bajo contenido en otras enzimas requeridas para complementar la acción de la xilanasas, las cantidades a utilizar deben ser convenientemente ajustadas si se pretende alcanzar los valores obtenidos con la mezcla enzimática comercial.

Las condiciones a utilizar en los tratamientos enzimáticos deben ser ajustadas en función del objetivo de empleo de *Ulva*, bien como ingrediente nutricional o funcional en piensos para acuicultura.

REFERENCIAS

- Bainour, K. (2020). Evaluación de aditivos enzimáticos aplicables en piensos para acuicultura mediante modelos de simulación digestiva. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Las Palmas Gran Canaria.
- Bei, Q., Chen, G., Lu, F., Wu, S., & Wu, Z., (2018). Enzymatic action mechanism of phenolic mobilization in oats (*Avena sativa* L.) during solid-state fermentation with *Monascus anka*. *Food Chemistry*, 245:297–304.
- Bikker, P., van Krimpen, M. M., van Wixselaar, P., Houweling-Tan, B., Scaccia, N., van Hal, J. W., & López-Contreras, A. M. (2016). Biorefinery of the green seaweed *Ulva lactuca* to produce animal feed, chemicals and biofuels. *Journal of Applied Phycology*, 28(6):3511-3525.
- Bobin-Dubigeon, C., Lahaye, M., Guillon, F., Barry, J. L., & Gallant, D. J. (1997). Factors limiting the biodegradation of *Ulva* sp. cell-wall polysaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(3):341-351.

- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Cano, M. (2016). Actividad carbohidrasa en el estilo cristalino de bivalvos: comparación entre especies infaunales y epifaunales. Trabajo de Fin de Grado. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (España).
- Charlier, R. H., Morand, P. & Finkl, C. W. (2008) How Brittany and Florida coasts cope with green tides. *International Journal of Environmental Studies*, 65(2):191–208.
- Collins, K. G., Fitzgerald, G. F., Stanton, C., & Ross, R. P. (2016). Looking beyond the terrestrial: the potential of seaweed derived bioactives to treat non-communicable diseases. *Marine Drugs*, 14(3):60. doi: 10.3390/md14030060.
- Douglas, S.G. (1981). A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour. *Food Chemistry*, 7:139–145.
- Dulf, F.V., Vodnar, D.C., & Socaciu, C., (2016). Effects of solid-state fermentation with two filamentous fungi on the total phenolic contents, flavonoids, antioxidant activities and lipid fractions of plum fruit (*Prunus domestica* L.) by-products. *Food Chemistry*, 209:27–36.
- Fernandes, H., Salgado, J. M., Martins, N., Peres, H., Oliva-Teles, A., & Belo, I. (2019). Sequential bioprocessing of *Ulva rigida* to produce lignocellulolytic enzymes and to improve its nutritional value as aquaculture feed. *Bioresource Technology*, 281: 277-285.
- García, R. (2004). Preparación de protoplastos de *Macrocystis pyrifera* mediante digestión enzimática. Trabajo fin de máster. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada Baja CFA, México.
- Gobet, A., Mest, L., Perennou, M., Dittami, S. M., Caralp, C., Coulombet, C., & Leblanc, C. (2018). Seasonal and algal diet-driven patterns of the digestive microbiota of the European abalone *Haliotis tuberculata*, a generalist marine herbivore. *Microbiome*, 6(1): 1-14.

- Gomare, S., Kim, H. A., Ha, J. H., Lee, M. W., & Park, J. M. (2011). Isolation of the polysaccharidase-producing bacteria from the gut of sea snail, *Batillus cornutus*. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28(5):1252-1259.
- Gomez-Pinchetti, J. L., & Garcia-Reina, G. (1993). Enzymes from marine phycophages that degrade cell walls of seaweeds. *Marine Biology*, 116(4):553-558.
- Kerton, F. M., & Yan, N. (Eds.). (2017). Fuels, chemicals and materials from the oceans and aquatic sources. ProQuest Ebook Central.
- Kwon, O. M., Kim, D. H., Kim, S. K., & Jeong, G. T. (2016). Production of sugars from macro-algae *Gracilaria verrucosa* using combined process of citric acid-catalyzed pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Algal Research*, 13:293-297.
- Levy, G. A., & McAllan, A. (1963). β -d-Fucosidase in the limpet, *Patella vulgata*. *Biochemical Journal*, 87(1):206-209.
- Lu, F., Lu, M., Lu, Z., Bie, X., Zhao, H., & Wang, Y. (2008). Purification and characterization of xylanase from *Aspergillus ficuum* AF-98. *Bioresource Technology*, 99(13):5938-5941.
- Maneein, S., Milledge, J. J., Nielsen, B. V., & Harvey, P. J. (2018). A review of seaweed pre-treatment methods for enhanced biofuel production by anaerobic digestion or fermentation. *Fermentation*, 4(4):100. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040100>.
- Miller, G.L. (1959). Modified DNS method for reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 3(31): 426-428.
- Park, M. R., Kim, S. K., & Jeong, G. T. (2018). Biosugar production from *Gracilaria verrucosa* with sulfamic acid pretreatment and subsequent enzymatic hydrolysis. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 23(3): 302-310.
- Pengzhan, Y., Quanbin, Z., Ning, L., Zuhong, X., Yanmei, W., & Zhi'en, L. (2003). Polysaccharides from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and preliminary studies on their antihyperlipidemia activity. *Journal of Applied Phycology*, 15(1):21-27.
- Purchon, R. D. (1977). *The Biology of the Mollusca*. Pergamon, New York.

Robic, A., Bertrand, D., Sassi, J. F., Lerat, Y., & Lahaye, M. (2009). Determination of the chemical composition of ulvan, a cell wall polysaccharide from *Ulva* spp. (Ulvales, Chlorophyta) by FT-IR and chemometrics. *Journal of Applied Phycology*, 21(4):451-456.

Van Weel, P. B. (1961). The comparative physiology of digestion in molluscs. *American Zoologist*, 1(2):245-252.



Caracterização lipídica em gônadas e trato digestório de *Holothuria (Halodeima) grisea* Selenka, 1867 na costa subtropical do Brasil

Lipid characterization in gonads and digestive tract of *Holothuria (Halodeima) grisea* Selenka, 1867 from the subtropical coast of Brazil.

Yara Aparecida Garcia Tavares¹, Matheus Pires Miranda^{2,3}, Natalie Semanosvchi¹, Heiddy Alvarez², Walter Ramos Pinto Cerqueira³, Emily L. Gazineu¹

¹Universidade Estadual do Paraná campus de Paranaguá. Centro de Ciências da Educação, Humanas e Biológicas. Rua Comendador Correa Junior, 117. 83203-560. Paranaguá – PR.

²Universidade Estadual de Feira de Santana. Departamentos de Ciências Exatas/Ciências Biológicas. Avenida Transnordestina, s/n. 44036-900, Feira de Santana – BA.

³Universidade Estadual do Paraná campus Paranaguá. Centro de Ciências Humanas, Biológicas e da Educação. Colegiado de Ciências Biológicas. 83203-560. Paranaguá-PR.

 Yara Aparecida Garcia Tavares () E-mail: yara.tavares@unespar.edu.br

RESUMO | O presente trabalho teve como objetivos determinar os percentuais lipídicos em *H. grisea*, estabelecer prováveis relações entre demandas metabólicas por sexo, estágio reprodutivo e órgão, analisar a participação do peso das gônadas e do trato digestório e contribuir para a implementação de políticas de manejo para a espécie na costa subtropical brasileira. Nos meses de outubro de 2008, fevereiro, abril e julho de 2009, espécimes adultos de *H. grisea* foram coletados no sul do Brasil (25° 20 'S-48°10'W). A cada mês, cerca de 10 a 20 espécimes foram eviscerados e calculados os índices gonadais (GI) e do trato digestório (IT). Os lipídios totais foram obtidos de tecidos frescos pela técnica de extração com solvente. Os valores gonadais mais altos ocorreram no verão em ambos os sexos. O IT variou sazonalmente para machos no outono e inverno. As maiores concentrações de lipídios foram registradas nas gônadas, acompanhando a variação do IG. Um padrão sazonal distinto de lipídios totais foi observado no trato digestório dos machos. Possivelmente, o fenômeno de alocação de recursos é influenciado por mudanças ambientais em favor da atividade reprodutiva relacionadas à recuperação das gônadas no inverno. As particularidades entre os sexos nas estratégias energéticas indicam uma possível existência de transferência de energia do trato digestivo para as gônadas no período de crescimento dos gametas nesta população, em épocas de maior hidrodinamismo ambiental (estações mais frias do ano). Estudos complementares sobre estratégias de alocação de recursos entre órgãos e o valor nutricional dos compartimentos corporais (principalmente a parede corporal, muito utilizada como iguaria) são recomendados para que esta espécie possa ser um potencial candidato ao consumo.

Palavras Chaves: pepino do mar, alocação, bioquímica, exploração comercial.

ABSTRACT | The present work had as objectives: determine the lipid percentages of *H. grisea*; establish probable relationships between metabolic demands by sex, reproductive stage and organ; analyze the participation of the weight of the gonads and the digestive tract and to contribute to the implementation of management policies for the species on the Brazilian subtropical coast (25° 20 'S-48°10'W). In the months of October of 2008, February, April and July of 2009, specimens of *H. grisea* were collected in southern Brazil. Ten to twenty specimens per month were eviscerated, sexed and the gonadal index (GI) and digestive tract index (IT) were calculated. Total lipids were obtained from fresh tissues by a solvent extraction technique. The highest gonadal values occurred in summer for both sexes. IT varied seasonally for males in fall and winter. The highest concentrations of lipids were registered in gonads, following the variation of IG. A distinct seasonal pattern of total lipids was observed in digestive tract, mainly in males. Possibly, the resource allocation phenomenon is influenced by environmental changes in favor of reproductive activity, related to the recovery of gonads during winter. The particularities between the sexes in energetic strategies indicate a possible transference from digestive tract to gonads through the gamete growth period in this population during higher environmental hydrodynamism (colder seasons of the year). Complementary studies focusing on resource allocation strategies between organs and the nutritional value of body compartments (mainly the body wall, widely used as delicacy) are recommended to validate the species as a potential candidate for human consumption.

Key Words: sea cucumber, trade-off, biochemistry, commercial exploration.

INTRODUÇÃO

Os pepinos do mar (Holothuroidea) são recursos vivos explorados comercialmente tendo como principais produtos sua massa corporal cozida e/ou desidratada, “*bêche-de-mer*” ou “*trepang*”, vísceras ou órgãos processados (gônadas e/ou musculatura) “*konowata*”, “*iriko*” e “*kuchiko*” para os quais existe uma demanda crescente (Kasai, 2003; Salarzadeh *et al.* 2012; Ibrahim *et al.*, 2015). Além disso, compostos bioquímicos extraídos desses animais apresentam propriedades nutricionais e terapêuticas potenciais (Haider *et al.*, 2015).

As capturas mundiais são da ordem de 100.000 toneladas de animais vivos/ano (Purcell, 2010). As principais pescarias ocorrem ainda na China, Equador, Indonésia, Japão, República da Coreia, Malásia, Filipinas, Madagascar, Austrália e Nova Caledônia sendo os estoques naturais mais abundantes na região tropical como os gêneros *Parastichopus*, *Stichopus*, *Isostichopus*, *Holothuria*, *Actinopyga*, *Bohadschia* e *Thelenota* (Bakus, 1973; Lalli e Parsons, 1999; Toral-Granda *et al.*, 2008; Pereira, 2017). A inexistência de qualquer sistema de gestão ou restrições em vigor para estas capturas, aliado ao elevado valor nutricional de algumas espécies e a facilidade com que organismos em águas rasas podem ser coletados contribuem para a superexploração e o colapso das pescarias, já eminente em algumas regiões mundiais (Sloan, 1985; Richards *et al.*, 1994; Conand, 1990 e 1997; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Purcell *et al.*, 2002).

Proteínas, carboidratos, lipídios e minerais são os principais constituintes animais e o conhecimento sobre suas concentrações provém informações relacionadas às características fisiológicas e nutritivas principalmente se estes se referem a espécies com potencial para consumo humano (Vergara; Rodríguez, 2016). As distintas classes de lipídios são exemplificadas como componentes estruturais das membranas e organelas celulares com propriedades hidrofóbicas e grande diversidade estrutural; triglicerídeos (ácidos graxos de cadeia longa) e ésteres de cera estão entre as principais formas de armazenamento nos organismos sendo vitais para o crescimento somático (Gurr *et al.*, 2002; Liu *et al.* 2007; Fahy *et al.*, 2011; Arafa *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2017).

Algumas espécies de pepinos do mar são conhecidos por conterem quantidades consideráveis de ácidos graxos, ausentes em outros animais marinhos (Chang-Lee *et al.* 1989; Kasai, 2003). Estudos sobre a composição bioquímica do tegumento e vísceras destes indicam os ácidos graxos poli insaturados como quantitativamente predominantes (superior a 70% dos lipídios totais) (Mecheta *et al.*, 2020) e com propriedades terapêuticas promissoras (redução dos riscos coronarianos, oncológicos, efeitos anti-inflamatórios e cicatrizantes) (Ram *et al.* 2017), crescimento e desenvolvimento humano (Sroyraya *al.*, 2017) além de fonte de ômega-3 e 6 (Zmemlia *et al.*, 2020) e ácido araquidônico (um precursor de eicosanoides utilizado em processos de proliferação celular e regeneração tecidual) (Liu *et al.*, 2017; Hanna e Hafez, 2018). Além disso, podem fornecer informações sobre estratégias de alocação de energia, possibilitar rastrear biomoléculas específicas em transferências tróficas e compreender processos fisiológicos (Sardenne *et al.*, 2018).



Figura 1. Representante de *H (H.) grisea*
(Foto: Bueno, 2010)

No litoral brasileiro estão representadas 5 das 6 ordens de Holothuroidea (Apodida, Elasipodida, Aspidochirotida, Molpadiida, Dendrochirotida e Dactylochirotida) com registros de 32 espécies (Tommasi, 1969; Hadel *et al.*, 1999; Bueno, 2010; Bueno *et al.*, 2018). As populações de *Holothuria (Haloidema) grisea* são comuns entre os estados do Piauí (2°53'S-41°39'O) e Santa Catarina (27°41'S-48°27'O) em até 5m, sobre fundos arenosos próximos a costões rochosos (Tommasi, 1969; Mendes *et al.*, 2006; Bueno *et al.*, 2018) (Fig. 1). Aspectos bioecológicos e sobre a exploração comercial (alimentação e fins farmacêuticos) de *H. grisea* foram avaliadas por Hadel *et al.* (1999), Tiago *et al.* (2005), Cogo *et al.* (2009), Alvarado *et al.* (2013) e Pereira (2017).

Estudos abordando a composição bioquímica tecidual/orgânica dos holoturóides de interesse comercial são de extrema relevância. Com a diminuição dos estoques asiáticos, a captura desordenada na costa brasileira (em particular sobre a *H. grisea*, espécie comercial alternativa) coloca em risco o equilíbrio das comunidades das quais fazem parte e alerta para a depleção das populações nativas no país (Hadel *et al.*, 1999; Bueno, 2010; Pereira, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivos: a) determinar as porcentagens de lipídios em diferentes órgãos de *Holothuria grisea*; b) estabelecer relações prováveis entre demandas metabólicas por sexo, compartimento corporal e estação do ano; c) analisar a participação em peso (índices fisiológicos) das gônadas e do trato digestivo e d) Contribuir para a implementação de políticas públicas de tratamento da espécie na costa subtropical brasileira.

METODOLOGIA

A região litorânea do estado do Paraná (25°20'S/48°10'W) estende-se por aproximadamente 100km na costa subtropical brasileira. A região é caracterizada pelas desembocaduras das baías de Paranaguá e de Guaratuba (Bigarella, 1978; Angulo, 1992) e sendo banhada por água de plataforma, diretamente influenciada pelo aporte periódico das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) (Silva, 2001; Bueno, 2015). As marés são semidiurnas e inferiores a 2m. O município de Guaratuba, adjacente à baía de mesmo nome, apresenta esparsos trechos de costão rochoso, que representa um dos maiores pontos rochosos em contato direto com o oceano (Angulo, 1992; Bueno *et al.*, 2018) (Fig. 2).

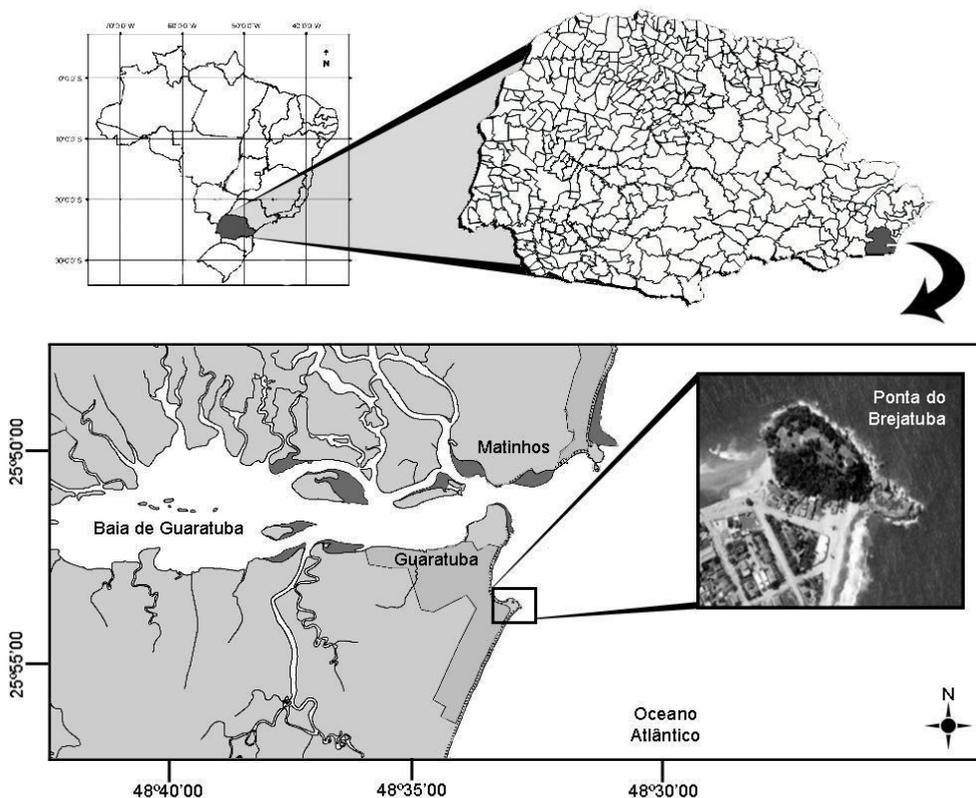


Figura 2. Mapa da área de estudo. A seta indica o local de coleta: Morro do Cristo, Praia de Brejatuba, Guaratuba, Paraná, Brasil. (Fonte: Bueno, 2010).

Amostragem e procedimentos laboratoriais

No local cerca de 10 a 20 espécimes adultos (a partir de aproximadamente 10cm de comprimento) foram coletados por busca ativa manual nos meses (estações) de outubro/2008 (primavera), fevereiro/2009 (verão), abril/2009 (outono) e julho/2009 (inverno), acondicionados em recipientes contendo água do mar e conduzidos ao Laboratório de Biologia Marinha da UNESPAR campus de Paranaguá. Em laboratório os exemplares foram mensurados (paquímetro manual precisão 0,02mm), pesados úmidos (balança digital 0,02g) eviscerados, sexados (técnica do esfregaço) e separados gônadas e trato digestivo para o cálculo do índice gonadal (IG) e do trato digestivo - trecho entre o esôfago e o reto (ITD): $[(\text{peso úmido do órgão}/\text{peso úmido total}) \times 100]$ segundo procedimentos descritos por Tavares (2004), Bueno (2010) e Bueno *et al.* (2015).

Durante a evisceração amostras de tecido fresco (2g) das gônadas e trato digestório foram retiradas de cada indivíduo e congeladas (-20°C) até o processamento bioquímico. O procedimento de extração de lipídios totais foi adaptado de Bligh e Dyer (1959) que utiliza uma combinação de solventes e água para a separação de componentes lipídios polares e apolares de tecidos animais. Após descongelamento as frações de tecido foram homogeneizadas na proporção de 1:9 (peso úmido: água destilada) para a obtenção de alíquotas em triplicata (1000 µl). Após adição de clorofórmio e metanol (2:1, v/v) estas foram centrifugadas, separadas fases (lipídica e aquosa + tecidos) em *overnight* e transferidas para placas de Petri (pré-pesadas) e então processadas por técnica gravimétrica usual. Por fim, a quantidade de lipídios totais na alíquota foi obtida por diferenças entre pesos inicial e final dos recipientes utilizados.

Análise de dados

No tratamento estatístico foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para comparações das concentrações bioquímicas médias (mg lipídeos totais/100g de tecido) e índices fisiológicos entre sexos e estações do ano. Possíveis relações entre as variáveis biológicas foram interpretadas por regressões simples ($p < 0,05$). A análise multidimensional de Componentes Principais (PCA) foi utilizada para verificar possíveis relações entre níveis bioquímicos, índices e fases reprodutivas (estas descritas por Bueno *et al.*, 2015) categorizadas sazonalmente. Todas as análises foram realizadas utilizando o software STATISTICA para Windows (versão 8) (Statsoft, 2008).

RESULTADOS

As gônadas em ambos os sexos apresentaram flutuações sazonais significativas ($p < 0,001$) com maior expressão do índice gonadal (IG) na primavera/2008 e verão/2009 (cerca de 10%). O trato digestório (índice IT) representou menos de 3,0% da participação no peso corporal de *H. (H.) grisea* com variações significativas ($p < 0,01$) apenas para os machos na primavera/2008 (Figs. 3 e 4).

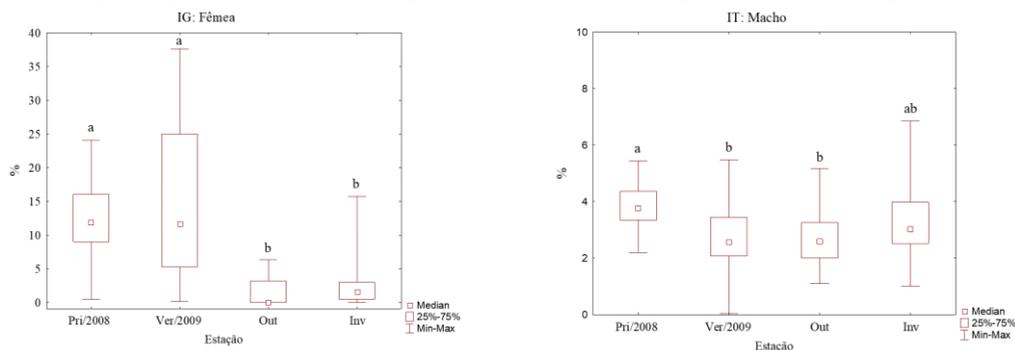


Figura 3. Variação do Índice Gonadal de *H. (H.) grisea* no sul do Brasil.

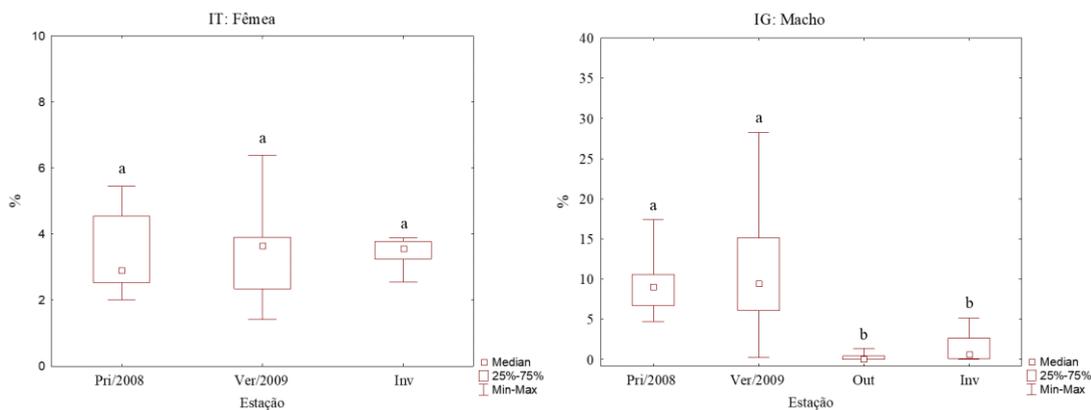


Figura 4. Variação do Índice do Trato Digestório de *H. (H.) grisea* no sul do Brasil.

As concentrações de lipídios totais em ambos os compartimentos apresentaram variações sazonais significativas ($p < 0,01$) com máximos no verão/2009 e mínimos no inverno/2009 e um padrão antagônico para os valores no trato digestório apenas nos machos (Figs. 5 e 6).

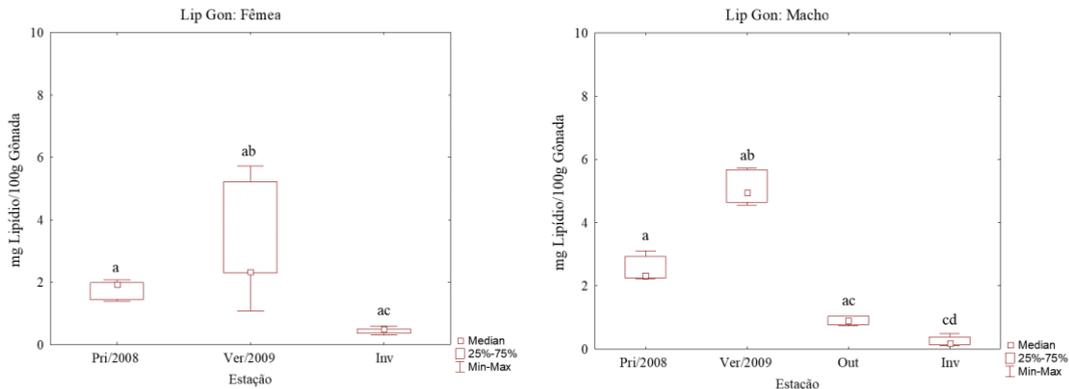


Figura 5. Variação dos níveis de lipídios nas gônadas de *H. (H.) grisea* no sul do Brasil.

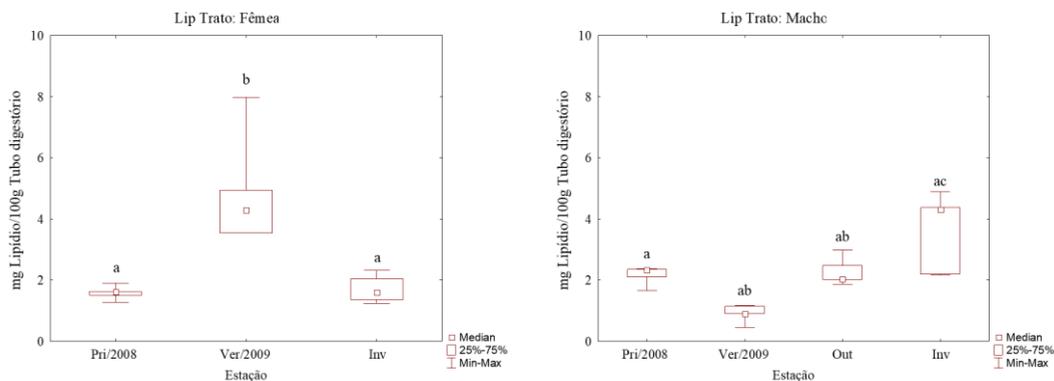


Figura 6. Variação dos níveis de lipídios no trato digestório de *H. (H.) grisea* no sul do Brasil.

As concentrações de lipídeos na gônada e o IG apresentaram correlações positivas e significativas ($r = 0,7$; $p < 0,05$) em ambos os sexos (Tabela 1) diferentemente dos resultados negativos em machos apresentados entre os níveis bioquímicos do trato digestório e o IT com menores valores estatísticos ($r = -0,5$). A significância da correlação foi estaticamente comprovada pelo valor de $p < 0,05$.

Tabela 1 - Resultado das análises de regressão simples. Variáveis: Índices da gônada (IG), do trato digestivo (IT) em fêmeas e machos de *H. (H.) grisea* no sul do Brasil.

Fêmea	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Const. b	Coef. A
Lipídios Gônadas							
IG	0,603	0,364	1,898	0,017	35	0,117	0,590
IT	0,230	0,053	-0,853	0,409	35	-0,433	3,251
Lipídios Trato Digestório							
IG	0,480	0,166	1,613	0,130	35	0,048	1,914
IT	0,158	0,025	0,577	0,573	35	0,180	1,951
Macho	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Const. b	Coef. A
Lipídio Gônadas							
IG	0,842	0,710	6,641	0,000	40	0,267	1,914
IT	0,650	0,022	0,644	0,527	40	0,389	1,235
Lipídio Trato digestório							
IG	-0,475	0,226	-2,293	0,034	40	-0,051	2,015
IT	-0,494	0,224	-2,413	0,026	40	-0,441	3,164

Na análise PCA os primeiros eixos ou fatores explicaram 92,0% da projeção do plano multidimensional indicando uma grande separação dos níveis de armazenamento dos lipídios do trato

digestório e os estágios de emissão, bem como o de proliferação dos gametas em fêmeas e machos de *H. (H.) grisea* (Fig. 7).

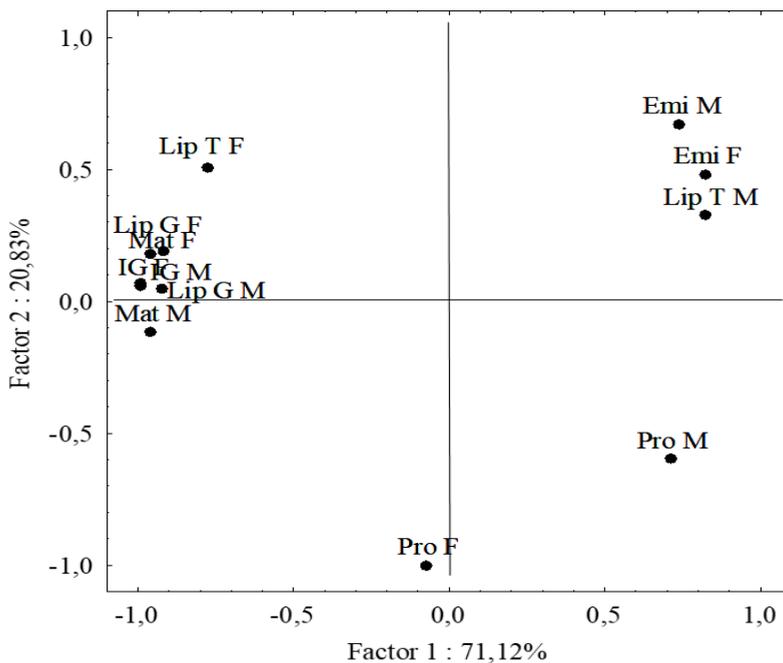


Figura 7. Multiespaço (*D-plot*) da análise PCA para as características fisiológicas, bioquímicas e reprodutivas de *H. (H.) grisea* no sul do Brasil. **IG F** (índice gonadal em fêmeas); **IG M** (índice gonadal em machos); **Lip T F** (níveis de lipídios no Trato Digestório de fêmeas); **Lip T M** (níveis de lipídios no Trato Digestório de machos); **Pro F** (estágio de proliferação de gametas em fêmeas); **Pro M** (estágio de proliferação de gametas em machos); **Mat F** (estágio de maturação de gametas em fêmeas); **Mat M** (estágio de maturação de gametas em machos); **Emi F** (estágios de emissão de gametas em fêmeas); **Emi M** (estágios de emissão de gametas em machos).

DISCUSSÃO

Considerações sobre alocação de energia são amplamente discutidas para equinodermos; limitações naturais na aquisição de recursos e os mecanismos de alocação para as estruturas corpóreas são assumidas como desencadeadoras de *trade-offs* de modo a maximizar o *fitness* individual e delinear discussões acerca da história de vida de uma espécie ao longo de sua faixa de distribuição (Lawrence, 1987; Svetashev *et al.*, 1991; Lawrence e Herrera, 2000; Hill e Lawrence, 2003; Tavares *et al.*, 2003; Ventura *et al.* 2003; Hudson *et al.*, 2004; Arafa *et al.* 2012; Cossi *et al.* 2015).

A translocação de energia em prol da atividade gametogênica já foi relatada para diversas espécies de holoturoides: *H. (H.) scabra* (Krishnan, 1968), *Oneirophanta mutabilis* (Santos *et al.*, 2002),

Amperima rosea, *Bathyploetes natans* e *Laetmogone violacea* (Hudson *et al.*, 2004). Mudanças sazonais nos conteúdos lipídicos entre tecidos são descritas como fenômenos de mobilização de biomoléculas para o desenvolvimento dos gametas por meio de células da linhagem somática (conhecidas como fagócitos) que acumulam e transferem substâncias de reservas (Tanikawa *et al.* 1955; Krishnan, 1968; Moss e Lawrence 1972; Fenaux *et al.* 1977; McClintock, 1989; Tavares *et al.* 2003; Hudson *et al.* 2004; Audelo e Rodríguez, 2015; Vergara e Rodríguez, 2016).

As distinções no investimento em peso de gônadas (IG) e do trato digestório (IT) em *H. (H.) grisea* e nas concentrações de lipídeos analisadas nesses compartimentos apontam também para a existência de estratégias distintas relacionadas à atividade reprodutiva. O IG apresentou um padrão sazonal estando relacionado aos estágios de desenvolvimento gonadal observados para a espécie (Bueno *et al.*, 2015): maturidade (primavera), emissão (verão) e proliferação de gametas (inverno) acompanhados pelos resultados obtidos quanto às concentrações lipídicas no órgão ao longo do ano.

Estudos realizados com as congêneras *H. (H.) leucospilota* (Sree *et al.*, 1994), *H. (H.) scabra* (Krishnan, 1968) indicam variações nos requerimentos energéticos no ciclo reprodutivo com declínio da quantidade de lipídios nas gônadas no período de emissão de gametas. Especificamente para *H. (H.) grisea* (presente estudo) tais variações foram relacionadas a diferenças entre sexo, fases do ciclo reprodutivo e compartimento corporal analisado.

A disponibilidade e qualidade da dieta (Sree *et al.*, 1994; Neto *et al.*, 2006; Wen *et al.*, 2015; Gianasi *et al.*, 2016), os habitats ocupados pelas populações (Hudson *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2012), e mesmo o tipo de biomolécula encontrado nos compartimentos corporais (Isay e Busarov, 1984; Svetashev *et al.*, 1991; Kasai, 2003) são também apontados como moduladores das estratégias de alocação de energia desenvolvidas nos holoturoídeos.

Devido a suas dimensões, a parede do corpo é associada como local de maior disponibilidade de biomoléculas, como analisadas em *Leptosynapta galliennei* (Féral, 1985), *Holothuria leucospilota* (Sree *et al.*, 1994); *Parastichopus* spp. (Chang-Lee *et al.*, 1989) e *Apstichopus japonicus* (Li *et al.*, 2009). Especificamente sobre a presença de reservas lipídicas e ácidos graxos, demais estruturas que não o tegumento de Holothuroidea são indicados como locais de maior concentração desses componentes bioquímicos: trato alimentar e/ou gônadas em *Holothuria scabra* (Krishnan, 1968), *Oneirophanta mutabilis* (Santos *et al.*, 2002) e *Stichopus japonicus* (Kasai, 2003) e músculos em *Isostichopus* sp. (Vergara e Rodríguez, 2016), *Deima validum*, *Amperima rosea* e *Bathyploetes natans* (Hudson *et al.*, 2004).

Deste modo o padrão sazonal distinto observado nas concentrações de lipídios totais nas gônadas e no trato digestório particularmente nos machos sugere a existência de uma transferência energética para

a recuperação das gônadas após o outono e o inverno. Em *H. (H.) grisea* a parede do corpo representa praticamente todo o peso do animal (80 a 90%) e flutuações sazonais sugerem investimentos intensos sobre sobrevivência animal em épocas frias do ano (Bueno *et al.*, 2015) do que em prol da atividade reprodutiva. Até a presente investigação não há dados disponíveis sobre a composição, armazenamento ou translocação de nutrientes neste compartimento corporal. Estudos complementares sobre as estratégias de alocação de energia e maior esforço amostral são sugeridos para a complementação dos resultados aqui apresentados.

A integração de informações bioecológicas, fisiológicas e bioquímicas em holoturoides são cruciais e podem melhor elucidar os mecanismos de requerimento energético (Black *et al.*, 1984; Lawrence, 1984; Isay e Busarov, 1984; Lawrence e Byrne, 1994; Kasai, 2003). Assim, estudos analisando o tegumento, compartimento corporal mais utilizado no consumo humano, são recomendados doravante. *H. (H.) grisea* é elencada como um candidato em potencial para o consumo, entretanto, investigações focando as diferentes classes de lipídios e o valor nutricional de demais macromoléculas (proteínas, carboidratos) são necessárias, para que as informações biológicas sejam utilizadas em prol da aquicultura ou na proposição de planos de manejo e épocas de defeso das capturas comerciais do holoturoide mais abundante do litoral brasileiro.

CONCLUSÕES

As flutuações na concentração de lipídios totais das gônadas e do trato digestório na população nativa de *Holothuria (Halodeima) grisea* habitante da costa subtropical brasileira estão correlacionadas com aspectos reprodutivos e estratégias de alocação de energia, revelando-se um potencial marcador biológico para a definição de futuros planos de exploração comercial deste pepino-do-mar no país.

REFERÊNCIAS

- Alvarado J., Solís-Marín F. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In: Echinoderm Research and Diversity in Latin America. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-9.
- Angulo R. (1992). Geologia da planície costeira do Estado do Paraná. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 334pp.
- Audelo V., Rodríguez A. (2015) Advances on Spontaneous Captive Breeding and Culture Conditions of Caribbean Sea Cucumber *Stichopus* sp. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 35:50-57
- Arafa S., Chouaibi M., Sadok S., El Abed A. (2012). The influence of season on the gonad index and biochemical composition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* from the Gulf of Tunis. *The*

Scientific World Journal, 2012:1-8

- Aydın M., Sevgili H., Tufan B., Emre Y., Köse S. (2011). Proximate composition and fatty acid profile of three different fresh and dried commercial sea cucumbers from Turkey. *International journal of food science & technology*, 46(3):500-508.
- Bakus G. (1973) The biology and ecology of tropical holothurians. In: Jones, I. O. A., Endean, R. (eds.) *Biology and geology of coral reefs*, Vol. II. Academic Press, New York, p.325-367.
- Bigarella J. (1978). A serra do mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Governo do Estado do Paraná, Secretaria do planejamento.
- Black R., Cood C., Herbbert D., Vink S., Burt J. (1984). The functional significance of the relative size of Aristotle's lantern in the sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Amsterdam, 77:81-97.
- Bligh E., Dyer W. (1959). A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8):911-917.
- Bueno M. (2010). Biología reproductiva de *Holothuria grisea* Selenka, 1867 (Echinodermata: Holothuroidea) em Guaratuba-Paraná-Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Ciências Filosofia e Letras de Paranaguá, Paraná, Brasil, 62pp.
- Bueno M. (2015). Biodiversidade dos Echinodermata na porção sul do Embaiamento Sul Brasileiro. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil, 200pp
- Bueno M., Alitto R.,Guilherme P., Di Domenico M., Borges M. (2018). Guia ilustrado dos Echinodermata da porção sul do Embaiamento Sul Brasileiro. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 2(2):169-237.
- Cameron J., Fankboner P. (1986). Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Parastichopus californicus* (Stimpson) (Echinodermata: Holothuroidea) I. Reproductive periodicity and spawning behavior. *Canadian Journal of Zoology*, 64:168-175.
- Chang-Lee M., Price R., Lampila L. (1989). Effect of processing on proximate composition and mineral content of sea cucumbers (*Parastichopus* spp.). *Journal of food Science*. 54(3):567- 572.
- Chao S., Chen C., Alexander, P. (1995). Reproductive cycles of tropical sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea) in southern Taiwan. *Marine Biology*, 122:289–295.

- Chen J. (2003) Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 18:18-23.
- Cogo A., Pereira E., Virgens, A., Cruz Z. (2009). *Holothuria grisea* (Selenka, 1867) como bioindicador da preservação ambiental. Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil.
- Conand C. (1990). The fishery resources of Pacific island countries: Holothurians (No. 272). Food & Agriculture Org. 2th. ed. Roma: FAO, 1990. 142p.
- Conand C. (1997) Are holothurian fisheries for export sustainable? In: Lessios, H. A., MacIntyre, I. G. (Eds) Proceedings 8th International Coral Reef Symposium, vol 2. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama, p.2021–2026.
- Cossi P., Boy C., Giménez J., Pérez A. (2015). Reproductive biology and energy allocation of the sea star *Cosmasterias lurida* (Echinodermata: Asteroidea) from the Beagle Channel, Tierra del Fuego, Argentina. *Polar Biology*, 38(9):1321-1333.
- Drumm D., Loneragan N. (2005). Reproductive Biology of *Holothuria leucospilota* in the Cook Island and the implications of the traditional fishing of gonads on the population. *New Zealand Journal of the Marine and Freshwater Research*. 39:141-156.
- Fawzya Y., Januar, H., Susilowati, R., Chasanah, E. (2015). Chemical composition and fatty acid profile of some Indonesian sea cucumbers. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 10(1):27-34.
- Fenaux L., Malara G., Cellario C., Charra R., Palazzoli I. (1977) Évolution des constituants biochimiques des principaux compartiments de l'oursin *Arbacia lixula* (L.) au cours d'un cycle sexuel et effets d'une jêune de courte durée au cours de la maturation sexuelle. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 28:17-30.
- Féral J. (1985). Effect of short-term starvation on the biochemical composition of the apodous holothurian *Leptosynapta galliennei* (Echinodermata): possible role of dissolved organic material as an energy source. *Marine Biology*, 86:297-306.
- Gianasi B., Parrish C., Hamel J., Mercier, A. (2016). Influence of diet on growth, reproduction and lipid and fatty acid composition in the sea cucumber *Cucumaria frondosa*. *Aquaculture Research*, 48(7): 1-20.

- Gurr M., Harwood, J., Frayn, K. (2002). Lipid Biochemistry. Editorial Blackwell Science, Great Britain. 320pp.
- Guzmán H., Guevara C., Hernández I. (2003). Reproductive Cycle of two commercial species of sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) from Caribbean Panama. *Marine Biology*, 142:271-279.
- Hadel F. (1999). Invertebrados Marinhos: Echinodermata. In: Joly C., Bicudo C., Orgs. Biodiversidade do Estado de São Paulo, *Brasil: síntese ao conhecimento ao final do século XX*, 3. FAPESP.
- Haider M., Sultana R., Jamil K., Tarar O., Afzal W. (2015). A study on proximate composition, amino acid profile, fatty acid profile and some mineral contents in two species of sea cucumber. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(1):168-175.
- Hamel J., Himmelman J., Dufresne L. (1993). Gametogenesis and spawning of the sea cucumber *Psolus fabricii* (Duben and Koren). *Biological Bulletin*, 184:125–143.
- Hanna V., Hafez E. (2018). Synopsis of arachidonic acid metabolism: A review. *Journal of Advanced Research*. 11:23-32.
- Herrero-Perezrul M., Reyes-Bonilla H. (1999). Reproduction and growth of *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holothuroidea) in the southern Gulf of California, Mexico. *Marine Biology*, 135: 521–532.
- Hill S., Lawrence J. (2003) Habitats and characteristics of the sea urchins *Lytechinus variegatus* and *Arbacia punctulata* (Echinodermata) on the Florida Gulf-Coast shelf. *Marine Ecology*, 24(1):15-30.
- Hudson I., Pond D., Billett D., Tyler, P., Lampitt R., Wolff, G. (2004) Temporal variations in fatty acid composition of deep-sea holothurians: Evidence of benthic-pelagic coupling. *Marine Ecology Progress Series*, 281:109-120.
- Isay S., Busarova N. (1984). Study of fatty acid composition of marine organisms-I. Unsaturated fatty acids of Japan Sea invertebrates. *Comparative Biochemistry Physiology*, 77B:803–810.
- Kasai T. (2003). Lipid contents and fatty acid composition of total lipid of sea cucumber *Stichopus japonicus* and *Konowata* (Salted Sea Cucumber Entrails). *Food Sci. Technol. Res.*, 9(1):45-48.
- Krishnan S. (1968). Histochemical studies on reproductive and nutritional cycles of the holothurian, *Holothuria scabra*. *Marine Biology*, 2:54-65.

- Lalli C., Parsons, T. (1999). *Biological Oceanography: an Introduction*. 2a ed. UK: The Open University, 314p.
- Lawrence J. (1987) *The functional biology of Echinoderms*. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press. 340 p.
- Lawrence J., Herrera J. (2000). Review article – Stress and deviant reproduction in *Echinoderms Zoological Studies*, 39(3):51-171.
- Lee M., Kim Y., Moon H., Kim K., Kim G., Cho H., Yoon N., Sim K., Park H., Lee D., Lim C., Yoon H., Han S. (2012) Comparison on proximate composition and nutritional profile of red and black sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) from Ulleungdo (Island) and Dokdo (Island), Korea. *Food Science and Biotechnology*, 21:1285-1291.
- Li D., Chang Y., Wu Z., Chen W., Wang, J., Cheng G. (2009) Analysis of nutritive composition of body wall in wild sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka at Zhangzi Island in Spring and Autumn. *Fisheries Science*, 28:365-369.
- Liu H., Kelly M., Cook E., Black K., Orr H., Zhu J., Dong S. (2007). The effect of diet type on growth and fatty-acid composition of sea urchin larvae, I. *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata). *Aquaculture*, 264(1-4):247–262.
- Liu F., Zamora L., Jeffs A., Quek S. (2017). Biochemical composition of the Australasian sea cucumber, *Australostichopus mollis*, from a nutritional point of view. *Nutrire* 42(12):1-11.
- McClintock J. (1989). Toxicity of shallow-water Antarctic echinoderms. *Polar Biology*, 9(7):461-465.
- Mecheta A., Hanachi A., Jeandel C., Arab-Tehrany E., Bianchi A., Velot E., Mezali K., Michel L. (2020). Physicochemical properties and liposomal formulations of hydrolysate fractions of four sea cucumbers (Holothuroidea: Echinodermata) from the northwestern Algerian. *Coastal Molecules*, 25(2972):1-26.
- Mendes F., Marenzi A., Domenico M. (2006). Population patterns and seasonal observations on density and distribution of *Holothuria grisea* (Holothuroidea:Aspidochirotida) on the Santa Catarina Coast, Brazil. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 23:5-10.
- Moss J., Lawrence J. (1972). Changes in carbohydrate, lipid, and protein levels with age and season in the sand dollar *Mellita quinquesperforata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*,

8(3):225-239.

- Neto R., Wolff G, Billett D., Mackenzie K., Thompson, A. (2006). The influence of changing food supply on the lipid biochemistry of deep-sea holothurians. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(3):516-527.
- Pereira V. (2017). Caracterização comportamental, morfológica e genética do sexo em pepino do mar *Holothuria grisea* (Selenka, 1987), no Nordeste Do Brasil. Dissertação, Universidade Estadual do Ceará, Ceará, Brasil. 79pp.
- Purcell S., Gardner D., Bell J. (2002). Developing optimal strategies for restocking sandfish: a collaborative project in New Caledonia. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 16:1- 4
- Purcell S., Lovatelli A., Vasconcellos M., Ye Y. (2010). Managing sea cucumber fisheries with an ecosystem approach. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 171 pp.
- Rasolofonirina R., Vaitilingon D., Eeckhaut I., Jangoux M. (2005). Reproductive cycle of edible echinoderms from the South-Western Indian Ocean. II: The sandfish *Holothuria scabra* (Jaeger, 1833). *Western Indian Oceanography Journal Marine Science*, 4(1):61-75.
- Ram R., Francis D., Chand R., Southgate P. (2017). Nutritional value of the sea cucumber *Holothuria scabra* from Fiji Islands. *SPC Fisheries Newsletter*, 152:29-31.
- Richards A., Bell L., Bell J. (1994). Inshore fisheries resources of Solomon Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 29:90–98.
- Santos V., Billett D., Wolff G. (2002). 1-O-alkylglyceryl ether lipids of the gut walls and contents of an abyssal holothurian (*Oneirophanta mutabilis*). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 13(5): 653-657.
- Sardenne F., Bodin N., Métral L., Crottier A., Le Grand F., Bideau A., Brisset B., Bourjea J., Saraux C., Bonhommeau S., et al. (2018). Effects of extraction method and storage of dry tissue on marine lipids and fatty acids. *Analytica Chimica Acta*, 1051:1-27.
- Silva A. (2001). Estrutura e dinâmica de comunidades epilíticas de habitats artificiais e suas relações com os fatores ambientais na plataforma rasa do Estado do Paraná. Tese (Doutorado em Zoologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 166pp.

- Sloan, N. (1985). Echinoderm fisheries of the world: a review. In: Keegan BF, O'Connor BDS (Eds) Echinodermata. Proceedings 5th International Echinoderm Conference. Balkema, Rotterdam, p. 109–124.
- Statsoft, Inc. 2008. Statistica - data analysis softwaresystem version 8, accessible at www.statsoft.com. (Accessed 03/08/2008).
- Silva A. (2001). Estrutura e dinâmica de comunidades epilíticas de habitats artificiais e suas relações com os fatores ambientais na plataforma rasa do Estado do Paraná. Tese (Doutorado em Zoologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 166pp.
- Sree V., Parulekar A., Wahidulla S., Kamat S. (1994). Seasonal changes in biochemical composition of *Holothuria leucospilota* (Echinodermata). *Indian Journal of Marine Sciences*, 23:117-119.
- Sroyraya M., Peter H., Siangcham T., Tinikul R., Jattujan P., Poomtong T., Sobhon P. (2017). Nutritional components of the sea cucumber *Holothuria scabra*. *Functional Foods in Health and Disease*, 7(3):168-181.
- Svetashev V., Levin V., Lam C., Nga D. (1991). Lipid and fatty acid composition of holothurians from tropical and temperate waters. *Comparative Biochemistry Physiology* 98(4):489-494.
- Tanikawa E., Akiba M., Yoshitani S. (1955). Studies on the nutritive value of the meat of sea cucumber (*Stichopus japonicus* Selenka). II. Seasonal changes of chemical components of the meat of *Stichopus japonicus*. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 5:341-345.
- Tavares Y., Kawall H., Borzone C. (2003). (Biochemical changes the gonad in relation to the reproductive cycle of *Echinometra lucunter* and *Arbacia lixula* in southern Brazil. In: Lawrence & Guzman (Eds), Proc. International Conference on Sea Urchin Fisheries and Aquaculture, Puerto Varas, DEStech Publications Inc.147-155.
- Tavares, Y. (2004). Biologia reprodutiva dos equinóides *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) e *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) na Ilha da Galheta, litoral paranaense, Brasil. Tese (Doutorado em zoologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 196pp.
- Tiago C., Brites A., Kawauchi G., (2005). A simple enzymatic method for examining calcite ossicles of Echinodermata. *Journal of Microscopy*, 218(3):240-246.
- Tommasi L. (1969). Lista dos holothuroidea recentes do Brasil. *Contribuições Avulsas do Instituto Oceanográfico*. 15:1-29.

- Toral-Granda V., Lovatelli A., Vasconcellos M. (2008). Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers*, 516:1-331.
- Ventura C., Varotto R., Carvalho A., Pereira A., Alves, S., MacCord, F. (2003). Interpopulation comparison of the reproductive and morphological traits of *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) from two different habitats on Brazilian coast. Pp. 289-293. In: Féral, J. P. & David, B. (Eds.). *Echinoderms Research*. Lisse, Swets and Zeitlinger, 352 p.
- Vergara W., Rodríguez A. (2016). Nutritional Composition of Sea Cucumber *Isostichopus* sp. *Natural Resources*, 7:130-137.
- Wen B., Gao Q., Dong S., Hou Y., Yu H., Li W. (2015). Effects of different feed ingredients on growth, fatty acid profiles, lipid peroxidation and aminotransferases activities of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*, 454:176-183.
- Zmemlia N., Bejaoui S., Khemiri I., Bouriga N., Louiz I., El-Bok S., Bem-Attia M., Souli A. (2020). Biochemical composition and antioxidant potential of the edible Mediterranean sea cucumber *Holothuria tubulosa*. *Grasas y Aceites*, 71(3):1-8.



Estudio poblacional de la ortiguilla de mar (*Anemonia sulcata*) en su entorno natural

Population study of sea anemones (*Anemonia sulcata*) in their natural environment

Eva Encarnación Rufino Palomares¹, Ana Esther Ortiz Maldonado^{2,3}, Carolina Alonso Pozas², Pedro Antonio Álvarez Molina², Cristina Elena Trenzado Romero³, Amalia Pérez Jiménez⁴

¹Departamento de Bioquímica y Biología Molecular I, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

² iMare Natural S.L. Granada, España.

³Departamento de Biología Celular, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

⁴Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

✉ Eva Encarnación Rufino Palomares () E-mail: evaevae@ugr.es

RESUMEN | El presente estudio se enmarca dentro del proyecto ORTIMAR, “Estrategias de reproducción en cautividad de *Anemonia sulcata*, para optimizar su reintroducción en el medio natural” (Fundación Biodiversidad, España). Se llevó a cabo un estudio previo del estado de conservación de las poblaciones de anémonas de los fondos marinos del litoral de Granada, sur de España. Para ello se seleccionaron tres áreas costeras. El estudio poblacional se estableció como método el análisis de abundancia de anémonas por m² a lo largo de una serie de transectos perpendiculares a la línea de costa, en los cuales también se reflejó el tipo de sustrato y la cota batimétrica. Los resultados pusieron de manifiesto que el sustrato más adecuado para el asentamiento de esta especie fue el constituido por roca y piedra y, en menor medida, por piedra y arena. De este estudio *in situ* se concluyó que las tres áreas seleccionadas mostraron zonas idóneas para la reintroducción de nuevos ejemplares reproducidos en cautividad, con el objetivo final de favorecer su expansión y la colonización de zonas castigadas por la sobreexplotación marisquera.

Palabras clave: Ortiguilla de mar, *Anemonia sulcata*, reproducción, repoblación.

ABSTRACT | The present study carried out within ORTIMAR framework project "Strategies for reproduction in captivity of *Anemonia sulcata*, to optimize its reintroduction into the natural environment" (Fundación Biodiversidad, España). A prior evaluation of the conservation state of sea anemones populations was made on the seabed of Granada coastline, Southern of Spain. Three sampling areas were selected. For population study, the analysis of abundance of anemones per square meter was followed along a series of transects perpendicular to the coastline, in which the type of substrate and the bathymetric level were also reflected. The results showed that the most suitable substrate for the settlement of this species was the one constituted by rock and stone and, to a lesser extent, by stone and sand. As a conclusion, three selected areas showed suitable for the restock of new specimens reproduced in captivity, in order to promote their expansion and colonization of over-exploited areas.

Keywords: Sea anemones, *Anemonia sulcata*, reproduction, restocking.

INTRODUCCIÓN

La ortiguilla de mar, *Anemonia sulcata* var. *viridis* (Forsskål, 1775; Pennant 1777), es una especie de cnidario antozoo de la familia Actinidae que abunda en zonas rocosas del mar Mediterráneo y océano Atlántico (Ocaña *et al.*, 2000). Suele habitar zonas intermareales, fondos rocosos someros de hasta 10 metros de profundidad y, sobre todo, expuestos a la batida del oleaje (Manuel, 1988; Schmidt, 1972) y mareas (Ottoway y Thomas, 1971). Es una especie fotófila y sésil, aunque con capacidad de desplazamiento en la búsqueda de una ubicación óptima en cuanto a las condiciones de iluminación y presencia de corrientes marinas (Pearse, 1974). Puede alcanzar tamaño con un diámetro en torno a 15 cm y su coloración es variable encontrándose tonalidades verdes, pardas o amarillas y presentando muchas de ellas una pigmentación púrpura en el ápice de los tentáculos (Pérez-Sánchez y Moreno-Batet, 1991). Los individuos son dioicos y ovíparos. La reproducción es tanto sexual, por liberación de gametos al medio y fecundación externa, como asexual por segmentación longitudinal del disco basal, generando clones genéticamente idénticos (Francis, 1973). Son estrictamente fotófilas dado que se encuentran en simbiosis con zooxantelas que les proporcionan moléculas orgánicas ricas en energía como azúcares. Si bien, tienen un comportamiento trófico oportunista, alimentándose de pequeños invertebrados, peces o crustáceos (Pérez-Sánchez y Moreno-Batet, 1991).

En los últimos años se ha producido un incremento de las capturas de esta especie debido a la alta demanda en su consumo, siendo muy valorada en la gastronomía actual por sus excelentes propiedades nutricionales y como fuente de moléculas biológicamente activas en biomedicina (Schweitz *et al.*, 1995; Honma y Shiomi, 2006). Esto ha llevado a que en la actualidad exista una regulación de su captura, dado que se ha producido un notable declive de sus poblaciones naturales, deteriorando considerablemente su nicho ecológico en la zona costera.

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis exhaustivo de las poblaciones naturales de anémonas en tres zonas seleccionadas de la costa de Granada (España), con el fin de determinar la densidad de esta especie en cada una de ellas y valorar el grado de idoneidad de las mismas como entorno natural para la repoblación de la especie.

MATERIAL Y MÉTODOS

Áreas de muestreo

El estudio de las poblaciones de anémonas (*Anemonia sulcata*) se llevó a cabo en el litoral granadino, en el que se seleccionaron tres zonas: Estación 1, Calahonda (36°42'11.0"N, 03°24'45.5"W); Estación 2, Salobreña (36°44'12.2"N, 03°35'35.1"W) y Estación 3, Almuñécar (36°44'41.8"N, 03°39'41.9"W).

Estudio por transectos

En cada zona, mediante expediciones subacuáticas, se analizaron 5 transectos de una longitud de 15 metros, en dirección perpendicular a la línea de costa, de este a oeste. Se realizaron 5 mediciones de cuadrantes por cada uno de los transectos, estableciéndose un total de 25 cuadrantes por estación de estudio (Fig. 1). La distancia entre transectos fue de 5 m, con lo cual se abarcó un área de estudio de 375 m². La cota de profundidad de la zona de estudio fue de 2,5 m a partir de la cual se observaron los ejemplares hasta los 5 m. Para el estudio en la zona se utilizó el siguiente material:

Equipo de buceo autónomo completo.

Cuadrante de una superficie de 1 m² realizado con tubos de PVC (25 mm de diámetro), dividido en 9 subcuadrículas hechas con cuerda de color amarillo para facilitar la visibilidad bajo agua.

Dos estacas metálicas, mazo y carrete de hilo blanco, para marcaje y delimitación de transectos.

Pizarra subacuática.

Cámara de grabación Go-pro Hero7.

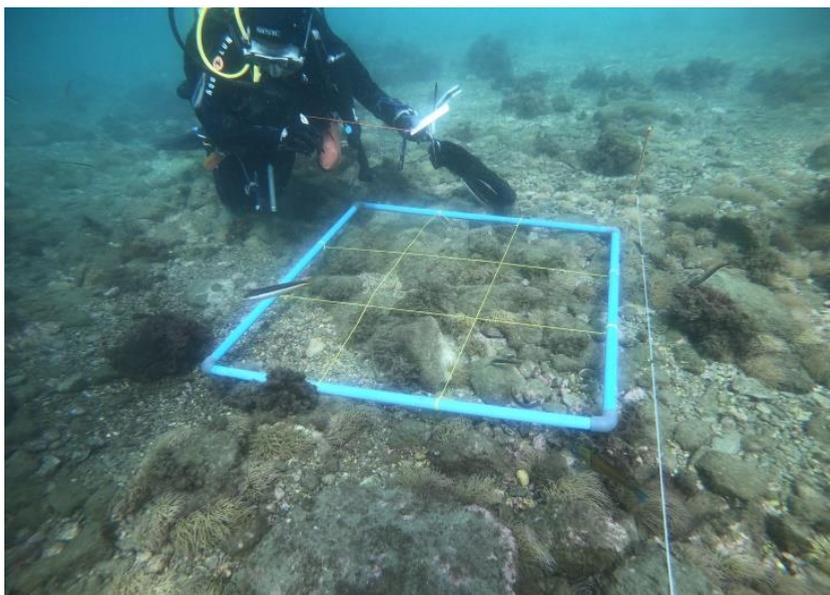


Figura 1. En la imagen se muestra el cuadrante utilizado *in situ* durante proceso de evaluación de la densidad de individuos por transectos.

Para marcar los transectos se clavaron dos estacas con ayuda de un mazo y se ató un hilo blanco marcado cada metro. A lo largo del hilo blanco, se colocó al azar la cuadrícula de PVC de 1 m², procurando alternar a derecha e izquierda del transecto.

Determinación de la densidad poblacional

La forma de recuento se llevó a cabo teniendo en cuenta la observación de 25 cuadrantes por estación de estudio. Para la estimación de la densidad de individuos, se cuantificó el número de cuadrículas ocupadas por ejemplares con relación a un total de nueve cuadrículas presentes en cada cuadrante.

De igual manera, la asignación del rango de individuos se realizó atendiendo a 5 niveles numéricos de densidad de población (0, 1, 2, 3, 4), establecidos según del número de individuos por metro cuadrado y porcentaje de densidad (Tabla 1) según Daza *et al.*, (2002).

Con el fin de estimar la frecuencia de individuos en función del tipo de fondo, se anotó la cota de profundidad y el tipo de sustrato presente en cada medida por cuadrante. Se estimaron aquellos cuadrantes que presentaban individuos para cada tipo de sustrato.

Tabla 1. Rango de valor asignado atendiendo a la densidad y número de individuos por metro cuadrado (Danza *et al.*, 2002).

Valor	Grado	Densidad (%)	Individuos/m ²
0	Ausencia	0	0
1	Presencia aislada	10-25	1-5
2	Poco abundante	26-50	6-15
3	Abundante	51-75	16-30
4	Muy abundante	>75	>30

Caracterización del fondo marino

Mediante captación de imágenes fotográficas en cada una de las zonas de estudio, se realizó una evaluación del tipo de fondo atendiendo a las características geológicas y morfoestructurales del mismo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estación 1: Calahonda

Esta área se caracterizó por la presencia de fondos someros en los primeros 15-20 m de distancia lineal perpendicular a la costa, cuyo sustrato dominante es la alternancia de grava y fragmentos de roca caliza procedentes del acantilado colindante y que sirve de protección y resguardo de los vientos de

levante. El rango de profundidad en esta distancia osciló entre los 2,5 y 5 metros, aspecto que resultó ser clave ya que proporciona una buena iluminación al fondo. Todo el área mostró que se trataba de una zona propicia para la colonización de anémonas.

El estudio de densidad poblacional de *Anemonia sulcata* (Fig. 2), puso de manifiesto una mayor abundancia de individuos en zonas de piedra (60,3%), con un rango algo mayor de 15 individuos/m² y valores algo inferiores en zonas de roca (41,7%).

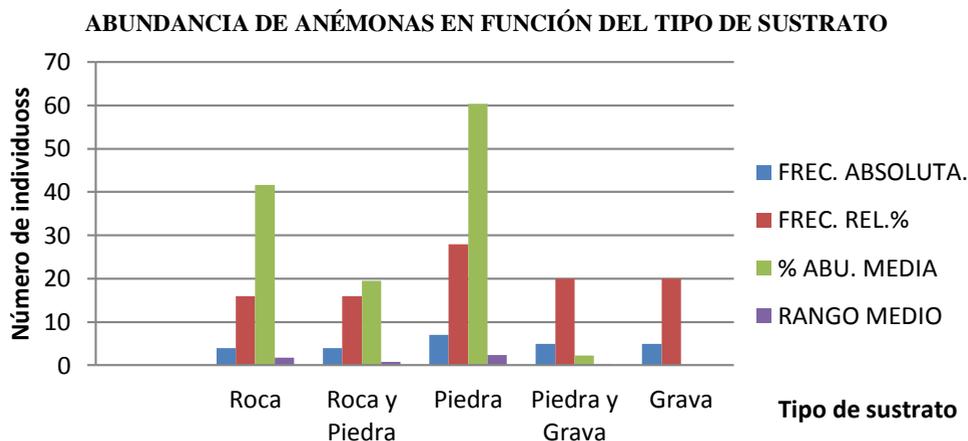


Figura 2. Abundancia de *Anemonia sulcata* en función del tipo de sustrato en Calahonda.

Frecuencia absoluta = nº cuadrantes con individuos en un tipo de sustrato/total de cuadrantes analizados en ese sustrato; Frecuencia relativa (%) = (nº cuadrantes con individuos en un tipo sustrato/total de cuadrantes analizados por estación) x 100; Densidad media = (número de cuadrículas ocupadas/9 cuadrículas totales que tiene cada cuadrante) x 100; Rango promedio = suma del rango numérico asignados a cada cuadrante /total de cuadros analizados en ese sustrato.

Los resultados mostraron que en esta zona se observó una relativa abundancia de anémonas. Esto, unido al hecho de que conforme se avanzaba en dirección este existía un predominio de fragmentos rocosos y piedra a cotas de profundidad inferiores a los 5 metros, propició la localización de una zona idónea para reintroducir anémonas cultivadas en cautividad con el fin de favorecer la colonización de aquellas áreas menos pobladas.

Estación 2: Salobreña

Los fondos submarinos que rodean la zona denominada Peñón de Salobreña se caracterizaron por

la presencia de pared vertical en continuidad con el peñón emergido, pero que no alcanzó una profundidad superior a 7 metros. En la base del peñón se observó una alternancia de un sustrato de roca y arena para dar paso posteriormente a un fondo arenoso con suave pendiente conforme se avanzó en dirección este.

El primer transecto se realizó en la pared vertical, a una cota media de profundidad de 2,5 m. Los siguientes 4 transectos se fueron realizando avanzando de este a oeste, desde la transición pared-fondo hasta llegar al fondo arenoso más alejado del Peñón.

Las paredes que rodean el peñón, tanto en su flanco este como oeste se caracterizaron por su relativa abundancia de anémonas, al tratarse de fondos someros y bien iluminados. Por otro lado, las aguas bajo el peñón, a pesar de quedar al abrigo de los vientos de levante y poniente en sus flancos oeste y este respectivamente, mostraron una acusada hidrodinámica al tratarse de una playa extensa y muy abierta. Esto puso de manifiesto un lugar donde las condiciones ambientales eran buenas para el establecimiento de *Anemonia sulcata*.

Del área estudiada, el sustrato dominante fue arena, mostrando con una frecuencia relativa de individuos del 36%, es decir, 9 cuadrantes de los 25 cuadrantes totales muestreados (5 cuadrantes x 5 transectos). En ellos, la presencia de anémonas fue prácticamente nula. Por otro lado, en las zonas donde predominaba roca en alternancia con pequeñas áreas de arena, el porcentaje de abundancia alcanzó niveles superiores al 60%, con un rango por encima de 3, es decir, con más de 15 individuos/m² (Fig. 3).

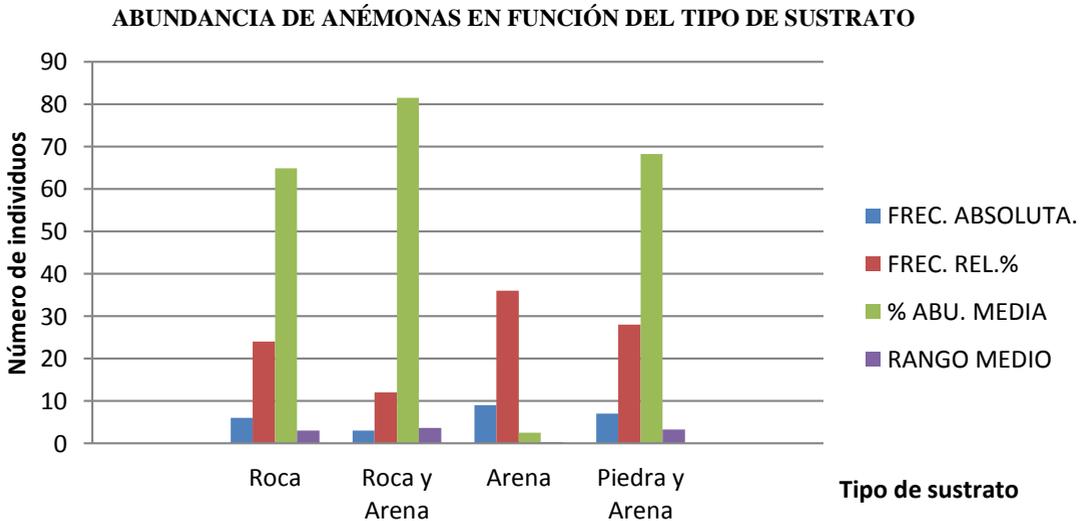


Figura 3. Abundancia de *Anemonia sulcata* en función del tipo de sustrato en Salobreña.

Frecuencia absoluta = nº cuadrantes con individuos en un tipo de sustrato/total de cuadrantes analizados en ese sustrato; Frecuencia relativa (%) = (nº cuadrantes con individuos en un tipo sustrato/total de cuadrantes analizados por estación) x 100; Densidad media = (número de cuadrículas ocupadas/9 cuadrículas totales que tiene cada cuadrante) x 100; Rango promedio = suma del rango numérico asignados a cada cuadrante /total de cuadros analizados en ese sustrato.

El hecho de que fuera del área de estudio se observara llanura de arena a cotas en torno a 5 metros de profundidad, aún idóneas para la fijación de anémonas, y en las que aparecen montículos de piedra aislados, podría suponer la presencia de un hábitat adecuado para la reintroducción de ejemplares cultivados en cautividad.

Estación 3: Almuñécar

La zona del Tesorillo se caracterizó por la predominancia de rocas sumergidas y sustratos de origen biogénico en aguas someras, formando arrecifes que podrían quedar emergidos durante la bajamar. Estos arrecifes presentaban diversos tipos de sedimentos y sustratos, arena, bloques y rocas, que en consecuencia favorecieron una zonificación de especies muy bien desarrollada. Por un lado se observaron amplias extensiones de algas rojas *Corallina mediterranea*, *Asparagopsis armata* y algas pardas *Cystoseira tamarascifolia*, en rocas colonizadas por anémonas y otros invertebrados.

Al igual que en las dos áreas de estudio anteriores, los transectos se realizaron de este a oeste, perpendiculares a la línea de costa. En este caso, se observó una alternancia de grandes bloques de roca formando arrecifes, muchos de ellos cubiertos por algas y arenales.

Los resultados mostraron que a pesar de que el sustrato dominante fue de grandes bloques de roca (60%), el lugar donde mayor abundancia de anémonas se puso de manifiesto fue en las zonas de alternancia de arena y roca (Figura 4). En este sentido, se dio la circunstancia de una zonificación bien diferenciada entre comunidades algales y otras comunidades formadas por erizos, anémonas y otros invertebrados. Allí donde las algas tapizaban casi el 100% de la superficie, no se observaron anémonas, salvo algún caso de presencia aislada. Sin embargo, en las zonas de arena con algún bloque rocoso, (28%), disminuye la superficie tapizada por algas, para dejar hueco a anémonas y otras especies. No obstante, el rango medio de abundancia para estos sustratos no llegó al valor 3, en general, poco abundante, con una densidad entre 6-15 individuos/m². En los espacios de arena existentes entre bloques rocosos (3%), la presencia de anémonas fue nula, pero al ser espacios relativamente pequeños sí podrían ser ideales para la reintroducción de anémonas, enterrando las estructuras calcáreas de fijación de anémonas, diseñadas para tal fin.

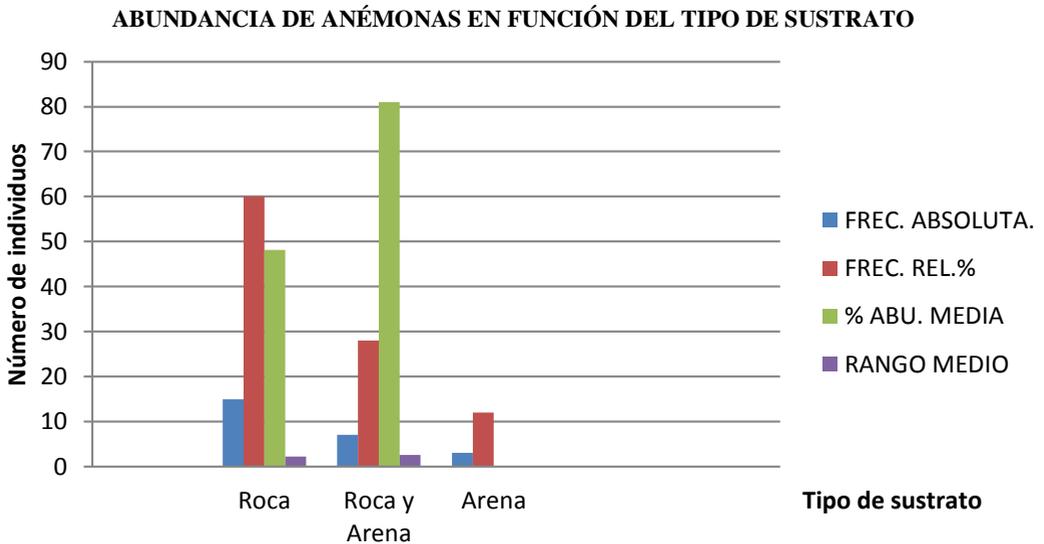


Figura 4. Abundancia de *Anemonia sulcata* en función del tipo de sustrato en Almuñécar.

Frecuencia absoluta = nº cuadrantes con individuos en un tipo de sustrato/total de cuadrantes analizados en ese sustrato; Frecuencia relativa (%) = (nº cuadrantes con individuos en un tipo sustrato/total de cuadrantes analizados por estación) x 100; Densidad media = (número de cuadrículas ocupadas/9 cuadrículas totales que tiene cada cuadrante) x 100; Rango promedio = suma del rango numérico asignados a cada cuadrante /total de cuadros analizados en ese sustrato.

CONCLUSIONES

En general *Anemonia sulcata* se encontró distribuida en el rango batimétrico entre 2-5 metros de profundidad, con un grado de abundancia aceptable de 10-15 individuos/m². Para todas las estaciones de muestreo coincide una disminución considerable de abundancia a una profundidad superior a 5 metros.

El sustrato más adecuado para el asentamiento de esta especie fue, para los tres casos, el constituido por sustrato duro a base de roca y piedra, y en menor medida, por piedra y arena.

Del estudio *in situ* se concluyó que las tres áreas seleccionadas pueden ser zonas idóneas para la repoblación de anémonas reproducidas en cautividad, para la colonización de las áreas menos pobladas debidas a una sobreexplotación marisquera. Las tres áreas seleccionadas presentaron muy buenas

condiciones ambientales, por sus características hidrodinámicas, tipo de sustrato, batimetría e incidencia de luz.

Los lugares idóneos para la reintroducción de ejemplares serían en las inmediaciones de cada una de las tres estaciones, en zonas bien iluminadas que aún presenten sustrato duro de piedra y roca y donde ya la presencia de anémonas fuera muy reducida o nula, con el fin de ampliar la superficie de colonización.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP) de la Unión Europea, dentro de la convocatoria de proyectos PLEAMAR 2019 de la Fundación Biodiversidad perteneciente al Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico a través del proyecto ORTIMAR (Ref. FB2019-1).

REFERENCIAS

- Breitenstein, A. (1983). Multiplying division (reproduction by scissiparity) in anemones. *Aquarist and Pond Keeper*, 48: 35-37.
- Cazurro, M. (1982). *Anemonia sulcata* (Pennant). Estudio anatómico-histológico de una actinia. *Anales de la Sociedad española de Historia Natural*, 4 (1): 307-379.
- Daza, J.L., Del Castillo, F., Márquez, I. (2002). *La Pesquería del Erizo y la Anémona de Mar en el litoral de Cádiz y Málaga*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Ser. Recursos Pesqueros.
- Fautin, D. (2015). *Anemonia viridis*. En: Fautin, Daphne G. (2013). Hexacorallians (Actiniaria) of the World. Accessed through: World Register of Marine Species. 10 marzo 2021: (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=100808> on 2018-01-17).
- Francis, L. (1973). Intraspecific aggression and its effect on the distribution of *Anthopleura elegantissima* and some related sea anemones. *Biological Bulletin*, 144:73-92.
- Honma, T., Shiomi, K. (2006). Peptide toxins in sea anemones: structural and functional aspects. *Marine Biotechnology*, 8:1-10.

- Manuel, R. L. (1988). *British Anthozoa. Synopses of the British Fauna (new series)*. Leiden: D. M. Kermack & R. S. K. Barnes.
- Ocaña, A., Sánchez, L., López, S., Viciano, J.F. (2000). *Guía Submarina de Invertebrados no Artrópodos*. Ed. Comares. Granada. 471 pp.
- Ottoway, J.R., Thomas, I.M. (1971). Movement and zonation of the intertidal anemone *Actinia tenebrosa* Farque. (Cnidaria: Anthozoa) under experimental conditions. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 22:63-78.
- Pearse, V.B. (1974). Modification of sea anemone behavior by symbiotic zooxanthellae: photo-taxis. *Biological Bulletin*, 147:630-640.
- Pérez, J.M., Moreno, E. (1991). *Invertebrados marinos de Canarias*. Ed. Cabildo Insular de Gran Canaria. 335 pp.
- Schweitz, H., Bruhn, T., Guillemare, E., Moinier, D., Lancelin, J.M., Bèress, L., Lazdunski, M. (1995). Kalicludines and Kaliseptine. Two different classes of sea anemone toxins for voltage sensitive K channels. *Journal of Biological Chemistry*, 270: 25121-25126.



Macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana en playa “La Caracola”, estado Nueva Esparta, Venezuela

Macroalgae arriving on the shore with applications for the human feeding in “La Caracola” beach, Nueva Esparta state, Venezuela

Yormarys Fernández-Fuentes, Yuraima García-González

Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Estado Nueva Esparta, Venezuela

 **Yormarys Fernández-Fuentes** () E-mail: esparta22_yor94@hotmail.com

RESUMEN | Las macroalgas marinas de arribazón pueden ser consumidas como alimento (fresco o seco), pero se deben tomar y procesar apenas son depositadas en la orilla, debido a que desde ese momento comienza su decaimiento y descomposición. En Venezuela, la explotación de las macroalgas de arribazón en la industria es escasa, pero podrían ser una fuente de materia prima y de productos innovadores. Por tal motivo, se planteó como objetivo de estudio identificar las macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana recogidas en playa La Caracola. La recolección de los organismos se realizó a lo largo de toda la costa de la playa, depositando el material en bolsas plásticas para su traslado al laboratorio. Para la identificación de las macroalgas se realizaron cortes a mano alzada, empleando claves taxonómicas y referencias bibliográficas especializadas para cada caso. Una vez clasificadas, se ficharon las algas que tenían aplicación en la alimentación humana por medio de bibliografías especializadas. Se identificaron un total de 30 especies de macroalgas marinas de arribazón con potencial para ser aplicadas como un recurso en la alimentación humana. De ellas, el 47% correspondió al phylum Rhodophyta, 36% al Chlorophyta y 17% al Ochrophyta. Por lo tanto, es importante señalar que todas las especies identificadas en este estudio pueden ser incluidas en la dieta humana como un alimento nutritivo y funcional, debido a que son una fuente de proteínas, vitaminas, minerales, fibra dietética y compuestos bioactivos. Igualmente, se reportaron importantes géneros de macroalgas marinas para la extracción de ficoloides tales como alginatos (*Dictyota* y *Sargassum*), agar (*Gracilaria* y *Gelidium*) y carragenina (*Hypnea*), los cuales tienen un amplio uso en la industria alimentaria. Por tal razón, se debe ampliar el estudio de las potencialidades de las algas de arribazón a nivel local.

Palabras clave: Macroalga, ficoloides, alimento, nutritivo

ABSTRACT | Macroalgae can be consumed as food (fresh or dry), but they should be taken and process as soon as they arrive on the shore, because at the moment they arrive, starts to rotten. In Venezuela, the exploitation of macroalgae arriving to the coast in the industry is scarce, but they could be a source of raw materials and innovative products. For this reason, the objective of the study was to identify the macroalgae arriving on the shore with applications in human feeding in “La Caracola” beach. The organisms were collected along the entire coast of the beach, depositing the material in plastic bags for transfer to the laboratory. To identify the macroalgae, freehand cuts were made, using taxonomic keys and specialized bibliographic references for each case. Then, the algae that had application in human food were classified by specialized bibliographies. A total of 30 species of macroalgae were identified with potential to be included as a food in human nutrition. Of

these, 47% corresponded to the phylum Rhodophyta, 36% to the Chlorophyta and 17% to the Ochrophyta. Therefore, it is important to note that all the species identified in this study can be included in the human diet as a nutritious and functional food, because they are a source of protein, vitamins, minerals, dietary fiber, and bioactive compounds. Likewise, important genus of marine macroalgae were reported for the extraction of phycocolloids such as alginates (*Dictyota* and *Sargassum*), agar (*Gracilaria* and *Gelidium*) and carrageenan (*Hypnea*), which are widely used in the food industry. For this reason, the study of the potentialities of macroalgae arriving on the shore at the local level should be expanded.

Keywords: Macroalgae, phycocolloid, food, nutritious

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas son organismos macroscópicos fotosintetizadores, que exhiben variaciones morfológicas y reproductivas. Estas tienen clorofila a, pigmentos accesorios como β -carotenos, producen proteínas, así como carbohidratos y lípidos. Estos organismos se clasifican en: algas pardas (Ochrophyta), algas verdes (Chlorophyta) y en algas rojas (Rhodophyta). Se estima que se encuentran 2.071 especies de algas pardas, 6.733 de algas verdes y 7.327 de algas rojas (Guiry y Guiry, 2021).

La obtención de estos vegetales desde tiempos remotos, para ser aprovechados como alimento (frescos o secos), se ha realizado mediante colectas in situ (al bajar la marea o buceando) o en arribazones (material depositado en la playa después de ocurrir un fuerte oleaje o por acción de las corrientes marinas) (Hernández *et al.*, 2018). Lo importante es tomar y procesar las macroalgas apenas son depositadas en la arena, debido a que desde ese momento comienza su decaimiento y descomposición (Radulovich *et al.*, 2013).

Además, algunas especies como, *Undaria pinnatifida*, *Porphyra* spp. y *Caulerpa* spp., cultivadas en Asia oriental y sudoriental, se destinan casi exclusivamente al consumo humano (FAO, 2020). Debido a que en los países asiáticos existe la tradición de utilizar las algas directamente para usos culinarios (Rajapakse y Kim, 2011). Sin embargo, la mayor producción en el trópico es destinada para la extracción de ficocoloides (agar, carragenina y alginatos) (Radulovich *et al.*, 2013).

En Venezuela, la explotación de las macroalgas de arribazón en la industria es escasa, pero podrían ser una fuente de materia prima y de productos innovadores. Por tal motivo, se planteó como objetivo de estudio identificar las macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana en playa La Caracola, estado Nueva Esparta, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en playa La Caracola, ubicada en la zona sureste de la Isla de Margarita, municipio Mariño, Estado Nueva Esparta, Venezuela, entre las coordenadas, Norte: $10^{\circ} 57' 47.17''$ y Oeste: $63^{\circ} 49' 07.90''$ (Fig. 1).



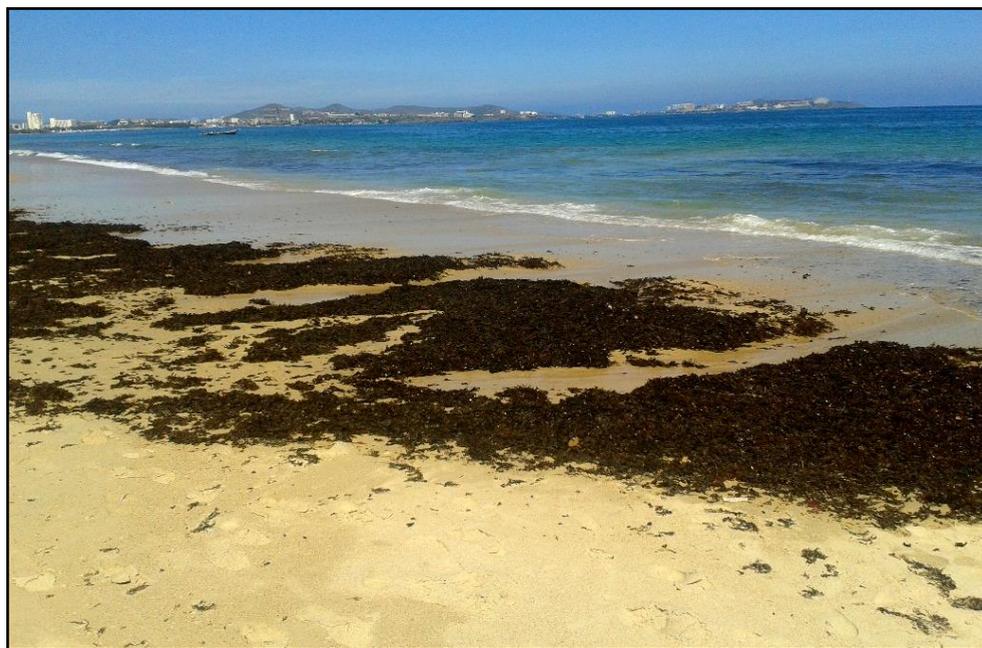


Figura 2. Arribazón de macroalgas marinas en playa La Caracola, Isla de Margarita, Venezuela.

Trabajo de laboratorio

Una vez en el laboratorio las macroalgas marinas recolectadas fueron colocadas en frascos de vidrio, con una solución de alcohol al 70% en agua de mar para su preservación. Para el estudio morfoanatómico (ramificación del talo, rizoides, filoides y estructuras de fijación) de los ejemplares se utilizó una lupa estereoscópica binocular y se efectuaron cortes histológicos transversales a mano alzada en el talo de cada espécimen, empleando hojillas de metal de doble filo, para luego ser examinados en un microscopio compuesto, para observar la forma y distribución celular, siendo esta la característica primordial para la identificación de géneros y especies de los organismos pertenecientes a los diferentes phyla de macroalgas marinas (Rhodophyta, Ochrophyta y Chlorophyta).

Para la identificación de las macroalgas se utilizaron las claves de: Dawes y Mathieson (2007) y Gómez *et al.* (2017). Adicionalmente al estudio taxonómico, se ficharon las algas que tenían aplicación en la alimentación humana por medio de bibliografías especializadas como Radulovich *et al.*, (2013); Plaza del Moral (2010); Quitral *et al.*, (2012); Montoya *et al.*, (2017); Subba *et al.*, (2018) y Dumilag (2019).

RESULTADOS

Se identificaron un total de 46 especies de macroalgas marinas distribuidas en los tres phyla; 25 especies Rhodophyta (54%), 14 especies Chlorophyta (31%) y siete Ochrophyta (15%). Del total de algas de arribazón registradas 30 especies (65%), presentan potencial para ser aplicadas como un recurso en la alimentación humana. De ellas, el 47% correspondió al phylum Rhodophyta, 36% al Chlorophyta y 17% al Ochrophyta (Fig. 3).

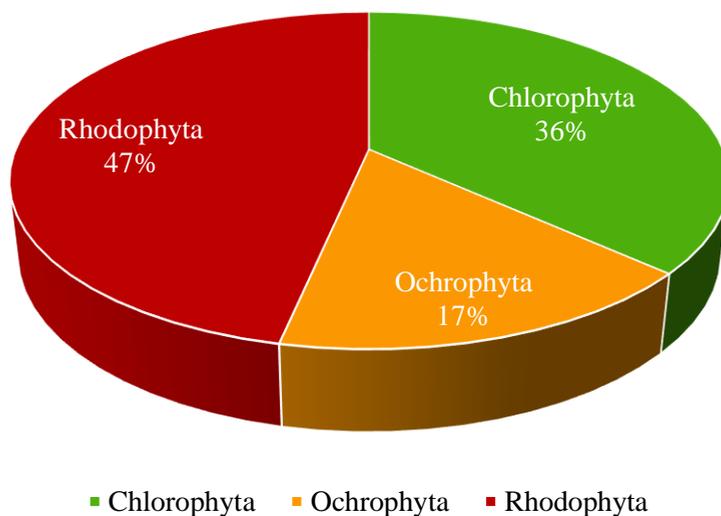


Figura 3. Distribución porcentual por phylum de las macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana de playa “La Caracola”, estado Nueva Esparta, Venezuela.

Se identificó un total 14 géneros de macroalgas de arribazones con aplicaciones en la alimentación humana distribuidas en los tres phyla (Tabla1). Para el phylum Rhodophyta se registraron siete géneros, de los cuales todos pueden ser utilizados como recurso alimenticio humano y tres géneros pueden ser empleados para extraer ficocoloides de importancia para la industria alimentaria como carragenina (*Hypnea*) y agar (*Gracilaria* y *Gelidium*). En el caso del phylum Chlorophyta se hallaron cinco géneros y en su totalidad pueden ser incluidas en la alimentación humana. Para el phylum Ochrophyta se encontraron dos géneros (*Dictyota* y *Sargassum*), de los cuales todos pueden ser utilizados para extraer alginatos y consumo directo humano.

Tabla 1. Macroalgas de arribazón con aplicaciones en la alimentación humana de playa “La Caracola”, estado Nueva Esparta, Venezuela.

Macroalgas de Arribazón	Aplicación en la alimentación humana
PHYLUM CHLOROPHYTA	
<i>Bryopsis</i> J.V.Lamouroux <i>Bryopsis hypnoides</i> JV Lamouroux 1809 <i>Bryopsis pennata</i> J. V. Lamouroux	Consumidas frescas y cocidas en sopas.
<i>Caulerpa</i> J.V.Lamouroux <i>Caulerpa cupressoides</i> (Vahl) C.Agardh 1817 <i>Caulerpa mexicana</i> Sonder ex Kützing 1849 <i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskål) J.Agardh <i>Caulerpa sertularioides</i> (SGGmelin) M. Howe	Consumidas frescas en ensaladas (<i>Caulerpa racemosa</i>) y cocidas frescas en sopa.
<i>Codium</i> Stackhouse <i>Codium isthmocladum</i> Vickers 1905	Cocidas frescas en sopas; fritas en aceite (empanizadas).
<i>Ulva</i> Linnaeus <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus <i>Ulva reticulata</i> Forsskål 1775	Cocidas frescas en sopas; consumidas frescas en ensaladas; cocinada fresca, seca o rehidratada; deshidratada y pulverizada para harina o condimento.
<i>Chaetomorpha</i> Kützing <i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory) Kützing <i>Chaetomorpha linum</i> (O.F.Müller) Kützing	Cocidas frescas en sopa; hervidas frescas y servidas como espinacas.
PHYLUM OCHROPHYTA	
<i>Dictyota</i> J.V.Lamouroux <i>Dictyota mertensii</i> (C. Martius) Kützing <i>Dictyota pulchella</i> Hörnig y Schnetter	- Cocidas frescas en sopa; cocinadas frescas, secas o rehidratadas. -Extracción de alginatos.
<i>Sargassum</i> C.Agardh <i>Sargassum buxifolium</i> (Chauvin) MJ Wynne 2011 <i>Sargassum filipendula</i> C. Agardh 1824 <i>Sargassum vulgare</i> C.Agardh, nom. illeg. 1820	- Cocidas frescas en sopa; cocinadas frescas, secas, rehidratadas, o en guisos; deshidratadas para harina o condimento; horneadas; fritas. -Extracción de alginatos.
PHYLUM RHODOPHYTA	
<i>Laurencia</i> J.V.Lamouroux <i>Laurencia obtusa</i> (Hudson) J. V. Lamouroux	Cocinadas frescas, secas o rehidratadas.
<i>Hypnea</i> J.V.Lamouroux <i>Hypnea cervicornis</i> J. Agardh 1851 <i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) JVLamouroux <i>Hypnea valentiae</i> (Turner) Montagne	-Cocidas frescas en sopa; cocinadas frescas, secas o rehidratadas. -Extracción de carragenina.
<i>Gracilaria</i> Greville <i>Gracilaria blodgettii</i> Harvey 1853 <i>Gracilaria dominguensis</i> (Kützing) Sonder ex Dickie 1874 <i>Gracilaria flabelliformis</i> (P. Crouan y H. Crouan) Fredericq y Gurge <i>Gracilaria mammillaris</i> (Montagne) M. Howe	- Consumidas frescas en ensaladas; deshidratadas y pulverizadas como condimento; se añaden como ingrediente para espesar sopas y bebidas. -Extracción de agar.
<i>Cryptonemia</i> J. Agardh , 1842 <i>Cryptonemia crenulata</i> (J. Agardh) J. Agardh 1851	Cocinadas frescas, secas o rehidratadas.
<i>Grateloupia</i> C.Agardh <i>Grateloupia filicina</i> (JV Lamouroux) C. Agardh 1822 <i>Grateloupia turuturu</i> Yamada 1941	Cocidas frescas en sopas.
<i>Halymenia</i> C.Agardh <i>Halymenia floresii</i> (Clemente) C.Agardh 1817 <i>Halymenia floridana</i> J. Agardh 1892	Cocidas frescas en sopa; cocinadas frescas, secas o rehidratadas.
<i>Gelidium</i> J.V.Lamouroux <i>Gelidium americanum</i> (W.R.Taylor) Santelices 1976	Cocida fresca en sopa; cocinada frescas, secas o rehidratadas. -Extracción de agar.

DISCUSIÓN

Las macroalgas de arribazón identificadas en este estudio con potencial para ser aplicadas en la alimentación humana, coincide por lo reportado por Radulovich *et al.* (2013); Plaza del Moral (2010); Quitral *et al.* (2012) y Dumilag (2019), quienes indican que pueden ser incluidas en la dieta humana como un alimento nutritivo debido a que son una fuente de proteínas, vitaminas, minerales y fibra dietética; y como un alimento funcional debido a que contienen compuestos bioactivos de alta capacidad antioxidante, como carotenoides y polifenoles. Además, el uso de diferentes macroalgas marinas como fuentes de compuestos bioactivos tiene la ventaja de explotar un recurso natural renovable infrautilizado, lo cual demuestra que esta biomasa produce un amplio espectro de nutrientes y metabolitos secundarios bioactivos (Biris-Dorhoi *et al.*, 2020).

Además, las macroalgas poseen un contenido de proteínas que puede oscilar entre un 7-31% del peso seco y un contenido de lípidos que oscila entre un 2-13% del peso seco. También se puede encontrar una cantidad considerable de carbohidratos en las macroalgas hasta un 32-60% del peso seco (Kazir *et al.*, 2019). En cuanto al contenido de micronutrientes, son una buena fuente de vitaminas, especialmente de los representantes del grupo B (es decir, B1, B12), así como de las vitaminas A y E (Holdt y Kraan, 2011). Dentro de la composición mineral, los microelementos más significativos presentes en las algas marinas suelen ser potasio, sodio, magnesio y calcio, que representan más del 97% del contenido mineral total (Rodrigues *et al.*, 2015). Aunque los beneficios nutricionales de las algas están bien establecidos, su inclusión como un componente de la dieta diaria en los países tropicales es bajo, debido a que no se posee una amplia tradición de consumir este tipo de vegetal.

Igualmente, se reportaron importantes géneros de macroalgas marinas para la extracción de ficocoloides como alginatos, agar y carragenina, los cuales tienen un amplio uso en la industria alimentaria. En el caso del agar se emplea como espesante en la preparación de yogur, pudines, cremas, gelatinas, quesos, mayonesas, como conservante en la industria de alimentos enlatados y cárnicos y en la industria de los licores para aumentar la viscosidad. La carragenina se utiliza como estabilizante en los lácteos, pastelería y productos de condimentos, para elaborar productos cremosos o gelatinosos como merengues y pudines. Los alginatos como emulsionantes y estabilizadores en cremas, jarabes, pudines, frutas artificiales, entre otros (Subba *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

En playa La Caracola se identificaron 30 especies de macroalgas de arribazón que constituyen un recurso potencial para ser aprovechadas para consumo humano y en la industria alimentaria. Además, representan una fuente de materia prima para la extracción de ficocoloides. Por tal razón, se debe ampliar el estudio de las potencialidades de las algas de arribazón a nivel local.

Agradecimientos

Se le agradece a Alexmar Cabrera, Víctor Sánchez y Adrián González, por su colaboración intelectual y traducción parcial del manuscrito.

REFERENCIAS

- Biris-Dorhoi E., Michiu D., Pop C, Rotar A., Tofana M., Pop O., Socaci S., Farcas A. (2020). Macroalgae-A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities. *Nutrients*, 12 (10):1-23
- Dawes C., Mathieson A. (2008). The seaweeds of Florida. Florida Universidad Press, USA, 591 pp.
- Dumilad R. (2019). Edible Seaweeds Sold in the Local Public Markets in TawiTawi, Philippines. *Philippine Journal of Science*, 148 (4):803-811.
- FAO. 2020. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. [En línea]. Enero 2021: (<http://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf>).
- Gómez S., García M., Carballo Y., Gil N. (2017). Macroalgas bénticas del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. Guía ilustrada. Ediciencias-UCV. Caracas, Venezuela. 213 pp.
- Guiry M., Guiry G. (2021). AlgaeBase. World-Wide Electronic Publication. Universidad Nacional de Irlanda, Galway. [En línea]. Enero 2021: ([https:// www.algaebase.org/](https://www.algaebase.org/)).
- Hernández M, Rodríguez C, Peraza L. (2018). Arribazones de macroalgas marinas: un tesoro del mar. *Ciencia*, 69(4):38-43.
- Holdt S., Kraan S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23: 543–597.
- Kazir M., Abuhassira Y., Robin A., Nahor O., Luo J., Israel A., Golberg A., Livney Y. (2019). Extraction of proteins from two marine macroalgae, *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocol*, 87:197–203.

Montoya E., García Y, Lira C. (2017). Usos y aplicaciones de las macroalgas marinas: una revisión. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 56(2):89-101.

Plaza del Moral M. (2010). Búsqueda de nuevos ingredientes funcionales naturales procedentes de algas (Tesis doctoral), Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, 345 pp.

Quitral V., Morales C., Sepúlveda M., Schwartz M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(4):196-202.

Radulovich R., Umanzor S., Cabrera R. (2013). Algas Tropicales: Cultivo y uso como alimento. Ed. Universidad de Costa Rica, San José. 52 pp.

Rajapakse N., Kim S. (2011). Nutritional and digestive health benefits of seaweeds. *Advances in Food and Nutrition Research*, 64:17-28.

Rodrigues, D., Freitas A., Pereira L., Rocha-Santos TA., Vasconcelos M., Roriz M., Rodriguez-Alcala L., GomesA., Duarte A. (2015). Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. *Food Chemistry*, 183:197–207.

Subba P., Periyasamy C., Suresh K., Srinivasa A., Anantharaman P. (2018). Seaweeds: distribution, production and uses, capitulo 6. In: Noor, S.K. Bhatnagar & Shashi K. Sinha. Bioprospecting of Algae. *Society for Plant Research India*, 59-78 pp.



Contribución al estudio de la distribución del ictioplancton en el mediterráneo marroquí

Contribution to the study of ichthyoplankton distribution in the Moroccan Mediterranean Sea

Diouri Lamia^{1,2}, Abdelouahab Hinde², Soukri Abdelaziz³, Malki Mohamed¹, Baibai Tarik²

¹Laboratorio de Salud y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Aïn Chock, Universidad Hassan II de Casablanca, Marruecos.

²Instituto Nacional de Investigación Marina, Casablanca, Marruecos.

³Laboratorio de Fisiopatología, Genética molecular y Biotecnología, Facultad de Ciencias Aïn Chock, Universidad Hassan II de Casablanca, Marruecos.

 Diouri Lamia () E-mail: lamiaa.diouri@gmail.com

RESUMEN | En el ecosistema marino, el plancton desempeña un papel importante en el funcionamiento del medio ambiente marino. El propósito de este estudio es evaluar la composición, distribución y diversidad de primavera y otoño de la asamblea de ictioplancton a lo largo de la costa mediterránea marroquí. Dos campañas se han llevado a cabo a bordo del buque N/R Al Amir Moulay Abdallah. Un total de 342 y 247 huevos de peces, con 204 y 370 taxones de larvas, fueron identificados, respectivamente, en la primavera y el otoño de 2019. El objetivo del presente trabajo es estudiar la distribución espacio-temporal de los huevos y las larvas de peces mediante técnicas clásicas de identificación bajo lupa binocular. Los resultados muestran que la mayoría de las larvas registradas en la zona de estudio en primavera pertenecen a la familia Myctophydes (54%), con la presencia de huevos de la familia Gonostomatidae (47%) y de la familia Centracanthidae (32%). En otoño la familia más dominante de estadios larvarios es la de Myctophydes (77%), con (44%) y (30%) respectivamente de huevos de Gonostomatidae y Centracanthidae. El análisis de los datos hidrológicos y biológicos ha demostrado que la relación entre la distribución y la abundancia del ictioplancton y los parámetros ambientales es evidente y permitirá, en estudios más profundos, caracterizar mejor las diferentes asociaciones.

Palabras clave: Ictioplancton, distribución espacio-temporal, parámetros ambientales, identificación clásica.

ABSTRACT | In marine ecosystem, plankton plays an important role in the functioning of marine environment. The purpose of this study is to assess the spring and autumn composition, distribution and diversity of ichthyoplankton assemblage along the Moroccan Mediterranean coast. Two surveys have been conducted on board the N/R vessel Al Amir Moulay Abdallah, A total of 342 and 247 fish eggs with 204 and 370 larvae taxa were identified respectively in spring and autumn 2019. The aim of the present work is to study the spatio-temporal distribution of fish eggs and larvae using classical identification techniques under binocular magnifying glass. The results show that the majority of larvae recorded in the study area in spring belong to the family Myctophydes (54%), with the presence of eggs of the family Gonostomatidae (47%) and of the family Centracanthidae

(32%). In autumn the most dominant family of larval stages is the Myctophydes (77%), with (44%) and (30%) respectively of Gonostomatidae and Centracanthidae eggs. The analysis of the hydrological and biological data has shown that the relationship between the distribution and abundance of ichthyoplankton and the environmental parameters is obvious and will allow, in more in-depth studies to better characterize the different associations.

Keywords: Ichthyoplankton, spatio-temporal distribution, environmental parameters, classic identification.

INTRODUCCIÓN

Marruecos es uno de los más importantes países productores de productos del mar, dado su privilegiada situación geográfica, así como la biodiversidad y riqueza que caracterizan a estos recursos pesqueros. Los pequeños peces pelágicos constituyen el 75% de las capturas pesqueras con un predominio de *S. pilchardus*. En el medio marino, los componentes planctónicos (fitoplancton, zooplancton e ictioplancton) desempeñan un papel muy importante en el funcionamiento de los ecosistemas marinos. En Marruecos, varios estudios se han centrado tanto en el fitoplancton como en el zooplancton, pero rara vez en el ictioplancton, especialmente en la costa mediterránea (Diouri *et al.*, 2020). Dada la importancia socioeconómica de este recurso, se hace imprescindible establecer una estrategia adecuada para su explotación racional y sostenible. Así pues, la identificación de las poblaciones y la evaluación de los recursos pesqueros, a lo largo del Mar Mediterráneo, es la clave principal en el proceso de gestión de la pesca. El objetivo del presente trabajo es estudiar la distribución espacio-temporal de los huevos y las larvas de peces mediante las técnicas clásicas de identificación bajo lupa binocular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio y muestreo

Las muestras de ictioplancton objeto de nuestro estudio se encuentran en la costa mediterránea desde Tánger hasta Saadia, durante marzo y octubre de 2019 en 48 estaciones (Fig. 1), recogidas a bordo del buque de investigación AL Amir Moulay Abdallah (Fig. 2).

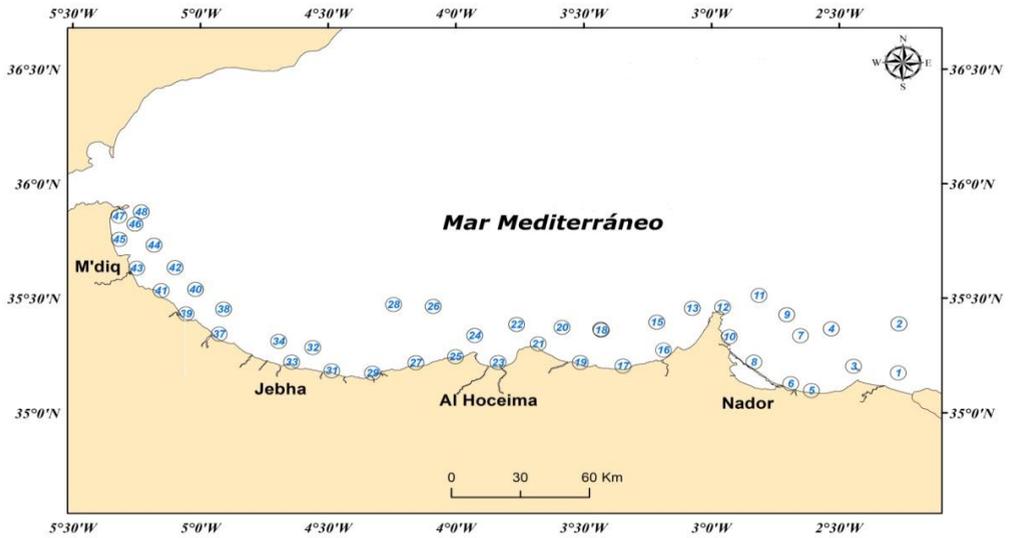


Figura. 1 Mapa de la red de muestreo en la zona de estudio en marzo y octubre de 2019.



Figura 2. Buque de investigación Al Amir Moulay Abdallah (INRH).

La distribución del ictioplancton en el Mar Mediterráneo marroquí

El ictioplancton y el mesozooplancton se recogieron con una red horizontal tipo bongo de 180 μm de tamaño de malla (Fig. 3). Los parámetros ambientales se midieron con una pequeña red TDC (Fig. 4). Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente en formol al 5%.



Figura 3. Red horizontal tipo bongo utilizada.

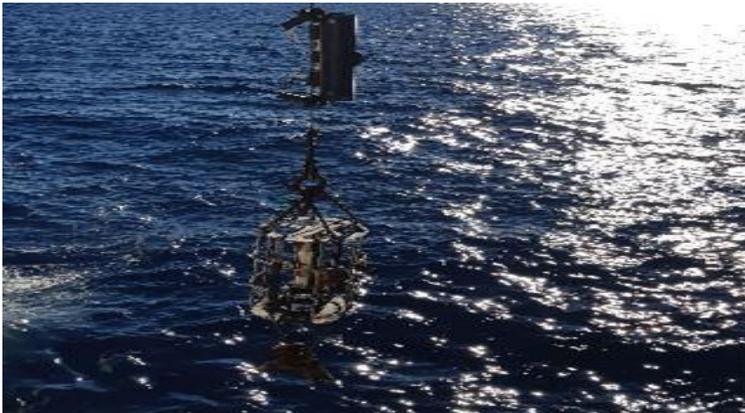


Figura 4. Sonda CTD utilizada para medida de parámetros ambientales.

La identificación de los huevos y las larvas de los peces se realizó en el laboratorio de oceanografía biológica del Instituto Nacional de Investigación Pesquera de Casablanca (INRH) (Fig. 5), bajo una lupa binocular (Fig. 6 y 7).



Figura 5. Instituto Nacional de Investigación Pesquera de Casablanca (INRH).

Método clásico de identificación

Método basado en la morfología (morfometría) para la identificación de los huevos y las larvas de los peces, realizado principalmente de forma visual bajo una lupa binocular (Lelièvre *et al.*, 2012) (Fig. 6).



Figura 6. Lupa binocular (INRH).



Figura 7. Huevos y larvas de peces (Rodríguez *et al.*).

RESULTADOS

La evaluación y gestión de las poblaciones de peces es un paso crucial en la evaluación y gestión de las poblaciones (Pomaredé *et al.*, 2010), de ahí la necesidad de conocer la naturaleza y la calidad de todos los hábitats esenciales. En el presente estudio hemos participado en la identificación de algunas poblaciones de peces en la región de la costa mediterránea marroquí, más concretamente en la región entre Tánger y Saadia.

De hecho, en las 48 muestras recogidas pudimos aislar en primavera un total de 21.268,10 huevos/10² y 14.083,52 larvas/10². Sin embargo, no pudieron identificarse 1.301,52 huevos/10² y 1.542,87 larvas/10². En otoño, un total de 10.094,42 huevos /10² y 14.297,99 larvas/10², de los cuales 612,68 huevos/10² y 84,43 larvas/10² no pudieron ser identificados.

En este estudio pudimos detectar la presencia de 16 familias en marzo y 20 familias en octubre, entre nuestras muestras, con diferentes porcentajes (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Familias de ictioplancton recogidas en marzo de 2019 en la zona de estudio.

Primavera	Famille
	Clupeidae
	Engraulidae
	Gonostomatidae
	Sparidae
	Centranchidae
	Solleidae
	Myctophidae
	Bothidae
	Scombridae
	Parallepididae
	Gobiidae
	Carangidae
	Callonimidae
	Stomidae
Lotidae	

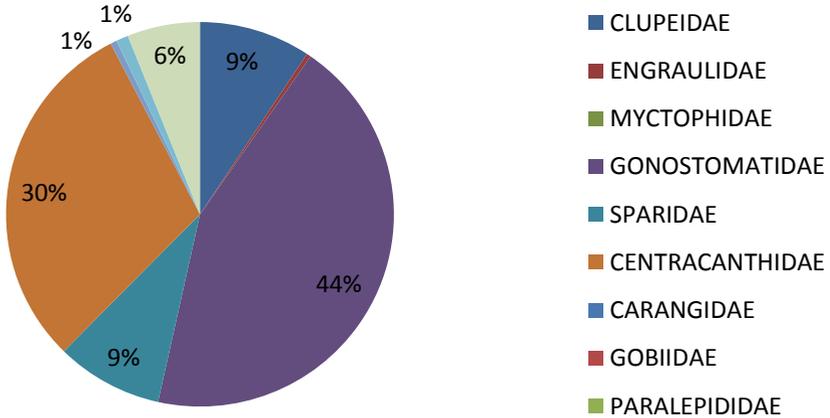
Tabla 2. Familias de ictioplancton recogidas en octubre de 2019 en la zona de estudio.

Otoño	Famille
	Clupeidae
	Engraulidae
	Myctophidae
	Gonostomidae
	Sparidae
	Centranchidae
	Carangidae
	Gobidae
	Parallepididae
	Gadidae
	Stomidae
	Scophthalmidae
	Bothidae
	Triglidae
	Labridae
	Cynoglossidae
	Solleidae
	Muranidae
	Cepolidae
Caproidae	

Los resultados muestran que la mayoría de las larvas registradas en la zona de estudio en primavera pertenecen a la familia Myctophidae (54%), con la presencia de (47%) huevos de la familia

largo del área de estudio en marzo de 2019.

Huevos



Larvas

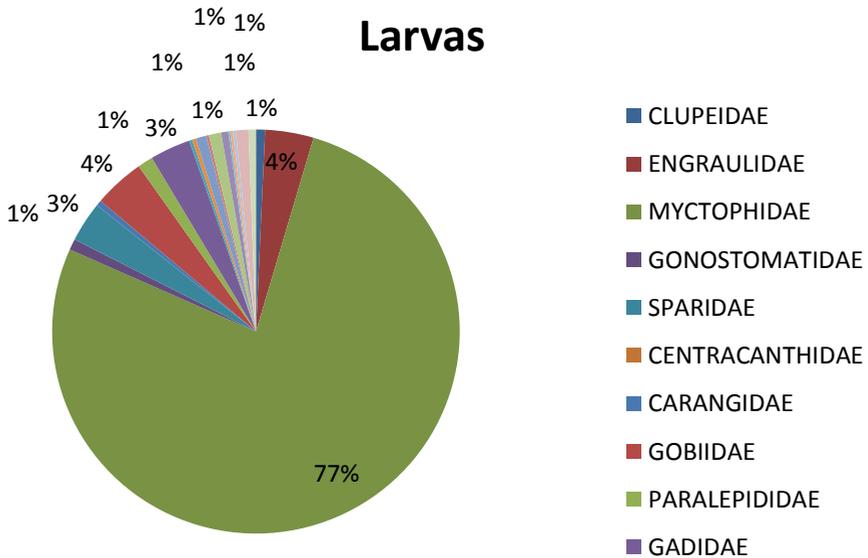


Figura 11. Distribución de la densidad porcentual de las principales familias de ictioplancton recogidas a lo largo de la zona de estudio en octubre de 2019.

DISCUSIÓN

En el presente estudio, se identificaron varios taxones de huevos y larvas de peces por el método clásico durante las campañas realizadas en el Mediterráneo marroquí en la primavera y otoño del año 2019. La composición específica de los huevos que presenta una alta abundancia para ambas estaciones es la de la familia Centracanthidae y Gonostomatida, principalmente en marzo.

En cuanto a las larvas, la familia más abundante es la de los Myctophidae, que representa una alta abundancia con gran diversidad en la zona de estudio para ambas estaciones, especialmente en octubre. Estos resultados son coherentes con los trabajos realizados en las Islas Canarias, donde las larvas de Myctophidae representan casi la mitad del total de larvas recogidas (Brochier *et al.*, 2011).

La familia Engraulidae está presente en porcentajes muy bajos en nuestra zona de estudio lo que probablemente esté relacionado con los bajos valores de temperatura de las aguas registrados en esta época (Fig. 12). La ausencia de anchoas en las muestras también es coherente con el trabajo de Furnestin & Furnestin (1959), que han constatado que el periodo de puesta de huevos de esta especie se produce principalmente en verano y a altas temperaturas.

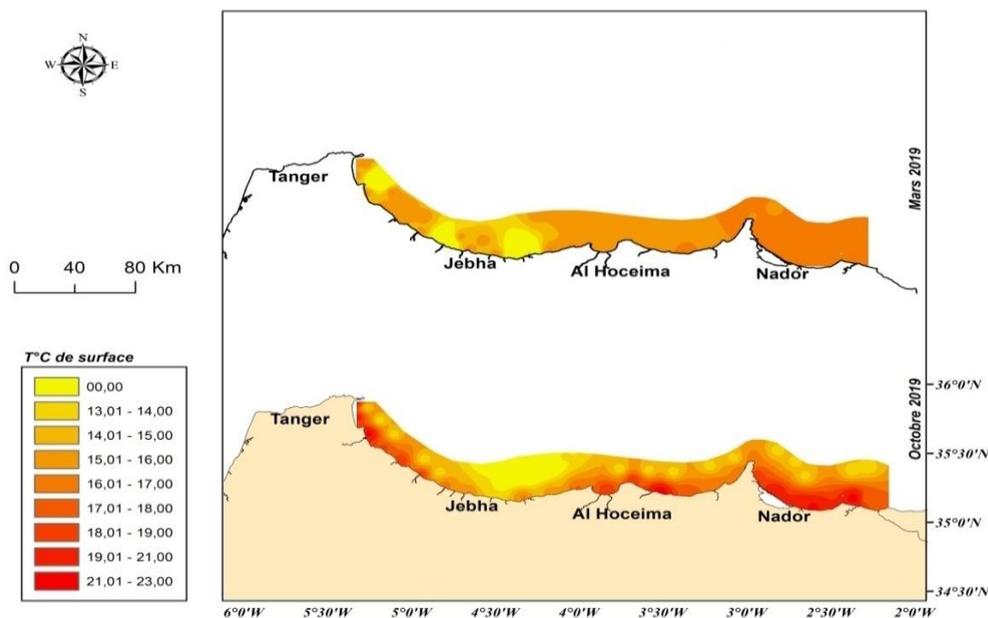


Figura 12. Distribución de la temperatura superficial en el Mediterráneo marroquí en marzo y octubre de 2019.

La sardina es la especie pelágica más abundante en Marruecos (Abdelouahab *et al.*, 2016), especialmente en las estaciones frías (otoño-invierno), que son su principal período de puesta de huevos. En nuestra zona de estudio se ha registrado un bajo porcentaje de huevos de sardina, esto puede explicarse bien por el hecho de que el periodo en el que se recogieron las muestras no se corresponde con el periodo de su puesta, bien porque esta especie se encuentra en una situación de sobreexplotación, o simplemente porque no es una especie muy frecuente en el Mediterráneo, como ocurre en el Atlántico.

CONCLUSIONES

El estudio del ictioplancton es necesario para comprender las fluctuaciones de la pesquería para una mejor gestión de la misma. El problema sigue siendo determinar la herramienta más adecuada para una perfecta identificación ya que la herramienta molecular podría resolver las incertidumbres de identificación de la herramienta clásica, en particular con respecto a las muestras no identificadas (Mateos-Rivera *et al.*, 2020). A través de este estudio, observamos diferencias en la distribución entre las dos estaciones, probablemente relacionadas con los parámetros hidrológicos. Sería interesante realizar un estudio comparativo de varios años para la misma temporada, con el fin de determinar si existe una influencia del cambio climático en la población. Este trabajo está en curso.

Agradecimientos

Agradecemos a toda la tripulación del buque Al Amir Moulay Abdallah su activa participación en las campañas de muestreo.

REFERENCIAS

- Abdelouahab, H., Berraho, A., Ramzi, A., Ettahiri, O., Errhif, A., and Tojo, N. (2016). Mortality of early life stages of European pilchard *Sardina pilchardus* along the Atlantic Coast of Northwest Africa (22°30'N-26°N). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51:483–492.
- Brochier, T., Mason, E., Moyano, M., Berraho, A., Colas, F., Sangrà, P., Hernández-León, S., Ettahiri, O., and Lett, C. (2011). Ichthyoplankton transport from the African coast to the Canary Islands. *Journal of Marine Systems* 87:109–122.
- Diouri, L., Soukri, A., Abdelouahab, H., Malki, M., and Baibai, T. (2020). The Moroccan Ichthyoplankton - A General Overview. *ARRB* 89–94.
- Furnestin, J., and Furnestin, M.-L. (1959). La reproduction de la sardine et de l'anchois des cotes atlantiques du Maroc (saisons et aires de ponte). *Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes*, 23 (1):79-104.

- Lelièvre, S., Antajan, E., and Vaz, S. (2012). Comparison of traditional microscopy and digitized image analysis to identify and delineate pelagic fish egg spatial distribution. *Journal of Plankton Research* 34:470–483.
- Mateos Rivera, A., Skern Mauritzen, R., Dahle, G., Sundby, S., Mozfar, B., Thorsen, A., Wehde, H., and Krafft, B.A. (2020). Comparison of visual and molecular taxonomic methods to identify ichthyoplankton in the North Sea. *Limnology and Oceanography: Methods*, 18:599–605.
- Rodríguez, J.M., Alemany, F., and García, A. (2017). A guide to the eggs and larvae of 100 common western Mediterranean Sea bony fish species. FAO, Rome, Italy, 256pp.



Identificación del fitoplancton presente en laguna costera Boca de Caño, Península de Paraguaná - Estado Falcón

Identification of the phytoplankton present in the Boca de Caño coastal lagoon, Paraguaná Peninsula - Falcón State

Jesús Mendez¹, María Gaunipa¹, Ronald Moreno¹, Luis Gonzalez¹, Roberta Mora²

¹Campo Experimental Las Piedras. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Punto Fijo Edo. Falcón.

²Facultad Experimental de Ciencias. Departamento de Biología, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

✉ Jesús Mendez E-mail: jemendez@inia.go.ve; ing.pesq.jamm@hotmail.com

RESUMEN | La caracterización del fitoplancton es un estudio de gran importancia para evaluación de las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos. Con el objetivo de identificar el fitoplancton del Refugio de Fauna y Reserva de Pesca Laguna Boca de Caño en el estado Falcón (Venezuela), se realizó un muestreo durante el mes de junio del 2017 para la recolección del plancton en cuatro estaciones de muestreo. Las muestras en la superficie de la columna de agua fueron recolectadas a una profundidad (0 - 0,5 m), usando un recipiente plástico, siendo filtrado a través de una de la red de plancton de 45 µm. Adicionalmente se tomaron muestras de raíces de mangles (*Rizophora mangle*) seleccionadas al azar en la E1 y E3 respectivamente, las cuales fueron lavadas y raspadas, siendo fijadas todas las muestras con solución de formol al 10%. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos del agua, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y pH, utilizando una sonda multiparamétrica YSI 556 mps, la transparencia del agua fue medida con un disco de Secchi (20 cm de diámetro). Se identificaron en total 13 familias, las cuales estuvieron representadas en 13 especies, siendo el grupo de las Bacillariophyceae el de mayor número de especies (7) presentes, seguido por el grupo de las Chlorophyta con un total de (3) especies, y de último encontramos el grupo de las Cyanobacteria registrándose (3) especies. La distribución de los grupos del fitoplancton en las estaciones de muestreo puede estar favorecida por las condiciones ambientales, debido a que el grupo de Bacillariophyceae presentó el mayor número de taxones, similares a los asociados a las raíces de *R. mangle*, que constituyen un sustrato adecuado para el establecimiento de diversos organismos.

Palabras clave: Fitoplancton, *Rizophora mangle*, laguna costera, Falcón.

ABSTRACT | The characterization of phytoplankton is a study of great importance for evaluating the environmental conditions of aquatic ecosystems. In order to identify the phytoplankton of the Laguna Boca de Caño Wildlife Refuge and Fishing Reserve in the state of Falcón (Venezuela), a sampling was carried out during the month of June 2017, for the collection of plankton in four sampling stations. The samples on the surface of the water column were collected at a depth (0 - 0.5 m), using a plastic container, being filtered through one of the 45 µm plankton network. Additionally, samples of mangrove roots (*Rizophora mangle*) selected at random were taken at E1 and E3 respectively, which were washed and scraped, all the samples being fixed with a 10% formaldehyde solution. The

physicochemical parameters of the water, salinity, dissolved oxygen, temperature and pH, were determined using a YSI 556 mps multiparametric probe, the transparency of the water was measured with a Secchi disk (20 cm in diameter). A total of 13 families were identified, which were represented in 13 species, with the Bacillariophyceae group having the highest number of species (7) present, followed by the Chlorophyta group with a total of (3) species, and last we found the group of Cyanobacteria registering (3) species. The distribution of the phytoplankton groups in the sampling stations may be favored by environmental conditions, because the Bacillariophyceae group presented the highest number of taxa, similar to those associated with the roots of *R. mangle*, that constitute an adequate substrate for the establishment of various agencies.

Keywords: Phytoplankton, *Rhizophora mangle*, coastal lagoon, Falcón.

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton está conformado principalmente por algas y algunas bacterias fotosintetizadoras; constituye el componente principal en la productividad primaria, su metabolismo controla enormemente el flujo de energía y el ciclo de nutrientes en los ecosistemas, por sus niveles poblacionales y la variedad de tipos metabólicos. En los ecosistemas acuáticos, la mayoría de sus organismos son utilizados como indicadores de la calidad de agua (Roldan, 1992).

El conjunto de microalgas que la constituyen ofrece una peculiaridad que debe tenerse en cuenta en su estudio. Los grandes grupos se pueden distinguir por características bioquímicas, o de otro tipo, que se refieren a la organización en una escala microscópica; pero dentro de cada uno de estos grandes grupos se repiten una serie de tipos de organización: células sueltas; células unidas en agregados irregulares dentro de una masa mucilaginoso, células dispuestas según dos dimensiones, formando un filamento simple; filamento ramificado; formando agregados falsamente parenquimáticos y, en muchos casos, estructuras más complejas que se aproximan. En un gran número de grupos se encuentran, además, formas que son permanentemente flagelíferas, formas ameboides, y en unos y otros casos, células que han perdido los pigmentos y a veces los plastos, y que conducen una vida heterotrófica y, en ocasiones, francamente animal (Fundación la Salle, 1972).

La laguna costera Boca de Caño, es un ecosistema que presenta una gran riqueza y diversidad de especies (MPPEA, 2017). Este ecosistema fue creado como refugio según Decreto No 273 de fecha 7 de junio de 1.989, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No 4.106 Extraordinario, de fecha 9 de junio de 1.989 (Gaceta Oficial, 1989). Las actividades antropogénicas, pueden influir en la calidad del agua en muy diversas formas, ya que ésta, es también receptora de los desperdicios de las actividades que se desarrollan en las comunidades más cercanas al refugio (Tiraya y El Supí), y una población flotante muy numerosa que utiliza la zona en temporadas vacacionales. Las microalgas pueden ser utilizadas como indicadores importantes en ambientes acuáticos por su tolerancia

y sensibilidad a los cambios ambientales, y por sus ciclos biológicos reducidos (Meybeck *et al.*, 1992).

Por tanto, estudios de esta naturaleza son importantes, dado que sientan antecedentes sobre las condiciones de los ecosistemas. El presente trabajo servirá de base para futuras investigaciones sobre las características del componente fitoplanctónico como bioindicador del estado del ecosistema, expresando las alteraciones de las condiciones físicas, químicas y biológicas, principales indicadores de calidad del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio está situada dentro del Refugio de Fauna Silvestre y Reserva de Pesca Laguna Boca de Caño, ubicada geográficamente entre $12^{\circ}00'$ y $12^{\circ}02'$ de Latitud Norte y los $69^{\circ}49'$ y $69^{\circ}50'$ y Longitud Oeste; región costera oriental de la Península de Paraguaná, entre las poblaciones del Supí y Tiraya, en jurisdicción de la parroquia Adícora del Municipio Falcón, Estado Falcón (Venezuela) (Fig. 1).



Figura 1. Zona de estudio y estaciones de muestreo de la Laguna Costera Boca de Caño.

Métodos de obtención de las variables estudiadas

Muestras de fitoplancton

Se realizó una salida de campo el día 21 de junio del año 2017 para la recolección de plancton, en 4 estaciones de muestreo, seleccionadas tomando en cuenta la conformación de la laguna (Fig. 1) para lograr una cobertura de las distintas condiciones del sistema: Zona Sur de la Laguna (E1), Zona Media de la Laguna (E2), Caño de la Laguna (E3), y Zona Externa de la Laguna (E4).

Cuerpo de agua

Las muestras fueron recolectadas en la superficie de la columna de agua a una profundidad de 0 - 0,5 m, usando un recipiente plástico de volumen conocido (20 litros), mediante el cual se procedió a la recolección de la muestra de un volumen total de (100 litros), filtrados a través de una red de plancton de 45 µm. Las muestras fueron envasadas en frascos de boca ancha de 200 mL, fijadas con solución de formol al 4%, para su preservación y traslado al laboratorio (Briceño *et al.*, 2009).

Asociados a las raíces de mangle

El material biológico asociado a las raíces de *Rizophora mangle* fue recolectado en las estaciones E1 y E3, seleccionando en cada estación dos raíces al azar siendo introducidas en bolsas de polietileno y refrigeradas. Posteriormente las muestras fueron trasladadas al laboratorio donde se procedió al raspado con un cuchillo y lavado de la superficie de la raíces (Márquez & Jiménez, 2002), luego el material biológico fue fijado en formalina al 10%.

Variables fisicoquímicas

Se midieron in situ en cada una de las 4 estaciones de muestreo los parámetros fisicoquímicos del agua (salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, pH), utilizando una sonda multiparamétrica YSI 556 mps. La transparencia del agua fue medida con un disco de Secchi (20 cm).

Análisis de laboratorio

Fitoplancton

En la fase del análisis cualitativo se tomaron 3 alícuotas por muestra, vertidas en un portaobjeto (20x20 mm), mediante el cual se aplicó la técnica de observación a través de un microscopio (LEICA DME), para la identificación taxonómica y de grupos presentes a través de los criterios de Yacobson

(1969, 1972, 1974), Infante (1980) y Reid (1985).

RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos registrados en el área de estudio se presentan en la Tabla 1. La temperatura promedio del agua fue de 29,43°C (intervalo 27,80 - 30,86°C), registrándose la máxima en la E1, y la mínima en la E4. El intervalo de las temperaturas observadas se encuentra dentro de las reportadas para sistemas similares de lagunas marino-costeras de Venezuela, tales como la laguna de Las Maritas y la Laguna de la Restinga, ambas ubicadas hacia la región oriental del país (FAO, 1994). Según Wetzel (2001), los valores registrados se encuentran dentro de los límites de desarrollo de las comunidades planctónicas, en las zonas tropicales, donde los sistemas de aguas someras presentan temperaturas con una mínima variación espacial y no exhibe obstáculo alguno para la dispersión de los organismos.

El oxígeno disuelto promedio fue de 7,33 mg/L (intervalo 5,58 - 11,58 mg/L), registrándose la máxima concentración en la E2 y la mínima para E4. En efecto, el oxígeno disuelto evidentemente es esencial para comprender la distribución, el comportamiento y el crecimiento fisiológico de los organismos acuáticos (Briceño *et al.*, 2009). La disolución del oxígeno en los ambientes acuáticos depende fundamentalmente de dos factores: temperatura y salinidad, sin embargo, la actividad metabólica diaria de los organismos (fotosíntesis y respiración) hace variar ostensiblemente la concentración de este gas en el medio (Lanza y Gómez, 1999).

Los valores de pH presentaron un promedio de 8,16 (intervalo 7,50-8,40), en donde la E1 fue la que presentó el valor máximo y la mínima correspondió a la E4. El pH del agua osciló generalmente entre los 6,5 – 8,7, y los valores por encima se deben a la presencia respectiva de ácidos o carbonatos (Briceño *et al.*, 2009). Los valores registrados en este estudio indican una tendencia de aguas ligeramente alcalinas (pH mayor de 7,5), lo cual no representa un límite para el establecimiento y reproducción de comunidades planctónicas.

Respecto a la transparencia en las estaciones de muestreo con el disco de Secchi, el promedio fue de 56,25 cm (intervalo 20 – 100 cm), obteniéndose la máxima en la E3, la cual pudiera estar asociada con la profundidad de la estación, debido a que corresponde a la zona de mayor profundidad de la laguna (2 m). La transparencia mínima se registró en la E1, igualmente pudiéndose relacionar con la profundidad por ser la zona más somera de la laguna (0,20 m).

Los sólidos totales disueltos (TDS) presentaron un promedio de 38,14 gr/L (intervalo 41,79 – 35,55 gr/L), obteniéndose el valor máximo en la E1 y la mínima en la E4.

La salinidad presentó un promedio de 39,09‰ (intervalo 36,14 – 43,29‰), observándose la mayor salinidad en la E1 y la mínima en la E4. La heterogeneidad de los valores entre las distintas estaciones de muestreo puede corresponder a la estacionalidad, al intercambio marino (régimen de mareas) y a la evaporación, fundamentalmente (Lanza y Gómez, 1999). No obstante, las características morfométricas de cada laguna, modifican en menor o mayor grado la hidrología, dándoles condiciones específicas a cada una de ellas (Hutchison 1967; Herman de Bautistas 1997; Rodríguez 2000 y Briceño *et al.*, 2009).

La conductividad registrada en la zona de estudio osciló entre los 54,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 64,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$, presentando su valor máximo en la E1, al igual que se obtuvo el valor de la salinidad. Este parámetro y la salinidad aportan información sobre la concentración de sales solubles en el agua, por lo que influye en el equilibrio osmótico de los organismos y limita la presencia de aquellos organismos no tolerantes (Ibáñez *et al.*, 2009).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos por estación, en la Laguna Costera Boca de Caño (junio – 2017).

Est/Par	Hora	T (°C)	O ₂ (mg/L)	pH	Secchi (cm)	TDS (g/L)	Salinidad (‰)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Prof. (m)
Est. 1	12:00	30,86	6,20	8,40	20	41,79	43,29	64,90	0,25
Est. 2	12:55	29,90	11,58	8,39	60	38,19	39,11	58,70	0,65
Est. 3	14:00	29,17	5,96	8,36	100	37,02	37,80	56,95	2
Est. 4	10:50	27,80	5,58	7,50	45	35,55	36,14	54,70	0,60
	Prom.	29,43	7,33	8,16	56,25	38,14	39,09	58,81	0,875
	Max.	30,86	11,58	8,40	100	41,79	43,29	64,90	2
	Min.	27,80	5,58	7,50	20	35,55	36,14	54,70	0,25

Divisiones algales y especies fitoplanctónicas presentes en el refugio de fauna y reserva de pesca laguna Boca de Caño

División Bacillariophyceae.

Organismos unicelulares y uninucleados, autótrofos, con cromatóforos amarillo pardo y reserva fundamentalmente grasa. Membrana formada por una matriz orgánica, de proteína y pectina, incrustada de sílice, y descomponible de dos piezas más o menos rígidas que encajan por sus bordes una dentro de la otra y que presentan relieves y poros. Solo se presentan flagelos en los microgametos de las especies

oógamas. Viven en el mar, en las aguas salobres y dulces, así como en el suelo; en realidad en todos los ambientes con suficiente humedad y luz. Sus dimensiones oscilan entre 2 μ y 4 mm; la mayoría quedan entre 10 y 300 μ . (Fundación la Salle, 1972).

Especies Presentes/ Estación

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Fragilariaceae	<i>Synedra</i>	<i>Synedra</i> sp.	Cuerpo de agua	x	x	-	x
			Raíces de Mangle	x		x	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Synedra (Fig. 2) tiene valvas alargadas, lineales, isopa-lares. Hay un estrecho pseudorapfe y finas estrías transversales. Colonias de cadenas estrelladas o de cadena corta de *Synedra*, pero también pueden estar presentes como células individuales o como epífitas unidas. Distribución generalizada y puede ser abundante. Puede producir problemas de sabor y olor no deseados en las aguas potables y, cuando está en grandes cantidades, obstruye los filtros (Palmer, 1962).

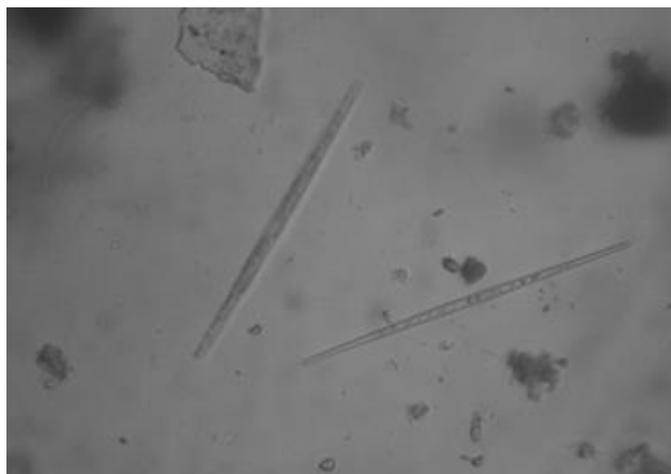


Figura 2. *Synedra* sp.

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis</i> sp.	Cuerpo de agua	x	x	-	x
			Raíces de Mangle	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Área central de la valva más ancha con las estrías que faltan y que alcanzan casi completamente de un lado a otro, formando un área clara o stauros. Células romboidales a linear lanceolado.

Las valvas de *Stauroneis* (Fig. 3) son lanceoladas a elípticas con extremos redondeados o rastrados. La superficie de la válvula tiene estrías paralelas a ligeramente radiales con un área clara marcada o stauros en la región central que se extiende hasta el margen de la valva. Hay dos cloroplastos, uno de cada lado del eje apical, con uno a muchos pirenoides. Células de 8-160 μm de largo y 3-20 μm de ancho. Este es un género generalizado y es común en rocas húmedas, entre musgos, con muchas especies que ocurren en aguas más oligotróficas.



Figura 3. *Stauroneis* sp.

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Tabellariaceae	<i>Meridion</i>	<i>Meridion sp.</i>	<i>Cuerpo de agua</i>	x	-	-	-
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Característica

Células cuneiformes en forma por lo que cuando se unen forman una colonia en forma de abanico. Las células, o frústulos, de *Meridion* (Fig. 4) son heteropolares en vista de la cintura e isobilateral en vista de la válvula. En el frústulo son espesas las costuras transparentes y en la superficie las estrías paralelas finas. Un pseudorafe está presente en ambas valvas. Las células individuales suelen unirse para formar colonias en forma de abanico. Si el crecimiento de la colonia es vigoroso entonces se desarrolla una colonia en forma de espiral plana. Células de 24-45 µm de largo. Se adhiere a superficies en aguas poco profundas.



Figura 4. *Meridion sp.*

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Gomphonemataceae	<i>Encyonema</i>	<i>Encyonema sp.</i>	<i>Cuerpo de agua</i>	x	x	-	x
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Característica

Células con superficie dorsal fuertemente curvada y una superficie ventral ligeramente convexa, recta o ligeramente inflada (Fig. 5). Extremos centrales del rafe doblados hacia arriba (hacia la superficie dorsal) y extremos polares doblados hacia abajo (hacia la superficie ventral).

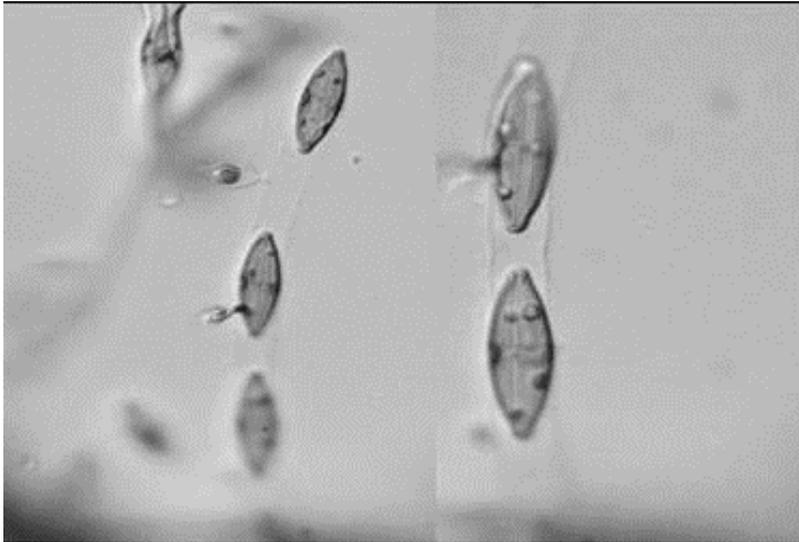


Figura 5. *Encyonema* sp.

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Pleurosigmataceae	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma</i> sp.	Cuerpo de agua	x	x	x	x
			Raíces de Mangle	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Células solitarias, siempre se observa en vista valvar (Fig. 6). Valvas sigmoidales. Presentan estrías oblicuas (Round *et al.*, 1990). Se caracterizan por poseer rafe sobre ambas valvas (Brunel, 1962). Son principalmente epipelágicas, viven en hábitats salobres extendiéndose a hábitats marinos (Round *et al.*, 1990).

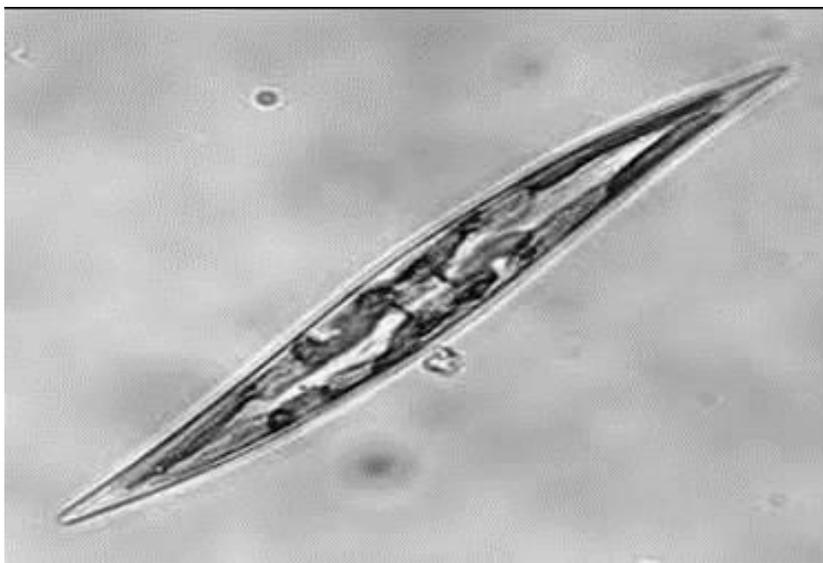


Figura 6. *Gyrosigma* sp.

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia</i> sp.	<i>Cuerpo de agua</i>	x	x	-	-
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		x	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Se desarrollan encerradas en un estuche de cuarzo transparente, labrado primorosamente en dos partes que encajan haciendo de las piezas una sola (Fig. 7). En el interior de *Pinnularia*, el núcleo situado en la parte central, un cloroplasto en forma de lámina verde que se acerca a la pared para captar la energía que necesita del sol y dos pequeñas burbujas de aceite que ayudan a flotar a esta diatomea navegante. (Guillen, 2010).



Figura 7. *Pinnularia* sp.

BACILLARIOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp.	<i>Cuerpo de agua</i>	x	-	x	-
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Es un grupo de algas unicelulares que constituye uno de los tipos más comunes de fitoplancton. *Navicula* es del latín para el "pequeño barco", y también un término en inglés para un incienso-sostenedor en forma de barco (Fig. 8).

Navicula desempeña un papel importante en la ecología global, produciendo alrededor de una cuarta parte de todo el oxígeno dentro de la biosfera de la Tierra y sirviendo como especie clave en la cadena alimentaria de muchos entornos donde proporcionan un alimento básico para las dietas de muchas especies acuáticas

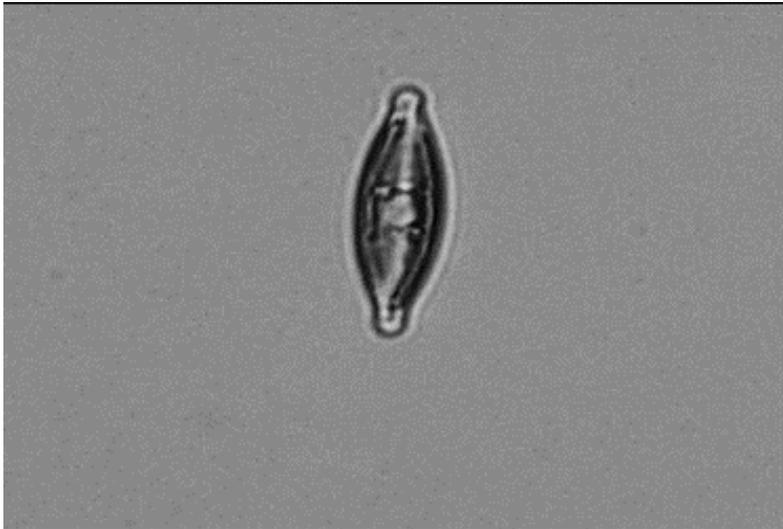


Figura 8. *Navicula* sp.

División Chlorophyta.

Constituyen uno de los mayores grupos de algas, si se tiene en cuenta su abundancia en géneros y especies, al igual que su frecuencia y ocurrencia. Crecen en aguas de amplio rango de salinidad; pueden ser planctónicos o bentónicos, o pueden presentarse en hábitat subaéreos. Es común que posean talos unicelulares, coloniales cenóbicos o no cenóbicos, filamentosos ramificados o no, membranosos, de forma laminar o tubular (Ramírez, 2000).

Especies Presente/Estación

CHLOROPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Oocystaceae	<i>Oocystis</i>	<i>Oocystis</i> sp.	<i>Cuerpo de agua</i>	x	x	x	x
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		x	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Las células pueden ser elipsoidales, ovoides o esféricas. Pueden ser solitarias o formar colonias de 2 o 16 células envueltas en restos de pared de las células madre que pueden persistir por 2 o hasta 3 generaciones. La pared celular es lisa más o menos fina, a veces con engrosamientos polares. Pueden

tener de uno a varios cloroplastos, de posición parietal y formas variadas (discoide, laminar, lobado). Los pirenoides pueden o no estar presentes (Nuñez, 2008; M:d. Guiry. 2014)

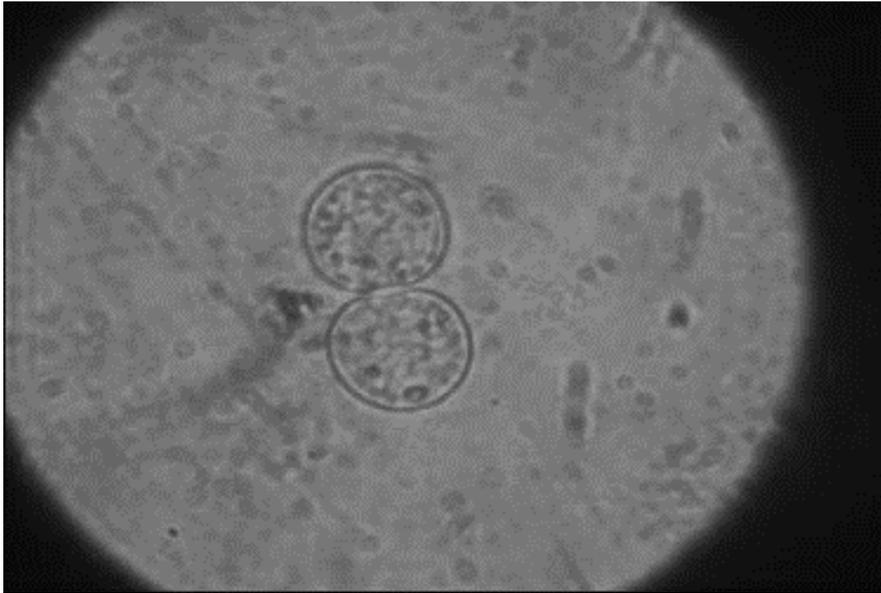


Figura 9. *Oocystis sp*

CHLOROPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Volvocaceae	<i>Volvox</i>	<i>Volvox sp.</i>	<i>Cuerpo de agua</i>	x	x	x	x
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Se encuentran presentes dos tipos de células: células somáticas, que son la composición básica del organismo; y reproductivas, que están en mejor cantidad y que están diferenciadas en gónadas. Las células asexuales responsables de reproducir nuevos individuos sin fertilización, o células sexuales capaces de convertirse en el huevo o cigote, o para formar paquetes de células espermáticas.

Se puede encontrar con “facilidad” en aguas cálidas, preferentemente en verano. Regularmente es fácil su recolección ya que la mayoría de veces se encuentra en la superficie del agua. Pero necesita

altos niveles de fósforo por lo que llega a migrar hasta 20 m. de profundidad, y vuelve a la superficie durante el día

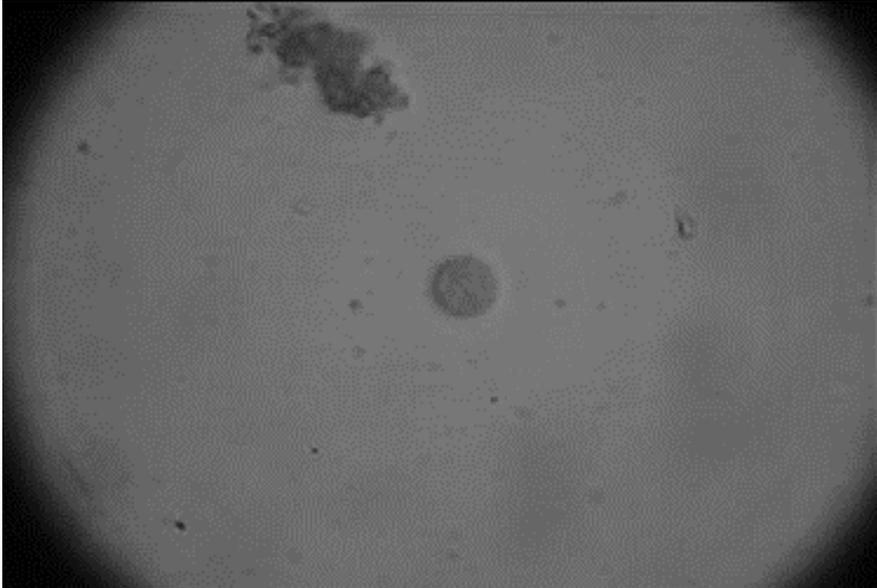


Figura 10. *Volvox sp*

CHLOROPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Ulotrichaceae	<i>Ulothrix</i>	<i>Ulothrix sp.</i>	<i>Cuerpo de agua</i>	x	x	x	x
			<i>Raíces de Mangle</i>	x		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Es un alga filamentosa y no ramificada, intensamente verde a la que le gustan los cursos de aguas lentas y bien oxigenadas. Las células que forman los filamentos de *Ulothrix* suelen ser cilíndricos, aunque en ocasiones se hinchan como barrilitos verdes. Cada célula, protegida por una gruesa pared transparente, encierra en su interior a un llamativo cloroplasto en forma de anillo, más o menos abierto y que se dispone pegado a la pared, salpicado de vez en cuando por lunares oscuros que son pirenoides y guardan reservas de proteínas.

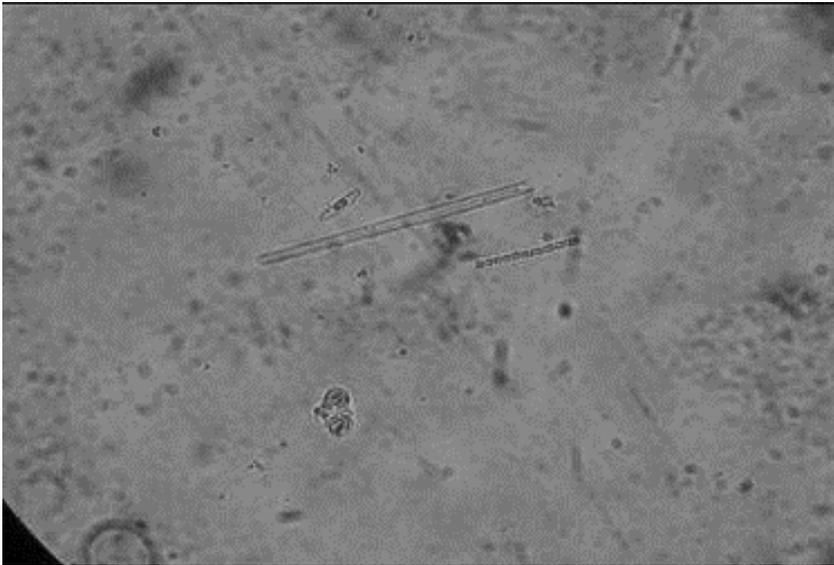


Figura 11. *Ulothrix* sp

División Cyanophyta

Las algas verdeazules se han denominado también Myxophyta, Schizophyta y en fechas más recientes, Cyanobacteria, dada su afinidad con las bacterias respecto a la organización procariota, sin embargo el tamaño es su diferencia fundamental, pues las algas verdeazules son de mayor tamaño que aquellas (Ramírez, 2000). La forma más común de reproducción de las algas es la asexual, bien sea mediante hormogonios, acinetos, endosporas, exosporas o heterocistos. Los hormogonios son pequeños pedazos de tricoma que contienen entre tres y diez células, y que se originan por muerte de células llamadas necridios o discos de separación en medio del tricoma. Después de liberados, los hormogonios pueden crecer y originar nuevas plantas (Ramírez, 2000).

Especies Presente/Estación:

CYANOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>	<i>Gomphosphaeria</i> sp.	Cuerpo de agua	x	x	-	-
			Raíces de Mangle	-		-	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Característica

Es una cianobacteria con células en forma de pera a subsféricas, a veces con una vaina mucilaginosa. Células dispuestos en los extremos de los hilos mucilaginosos ramificados separados entre sí y que irradian desde el centro de la colonia. Es común en lagos y estanques y zanjas y puede convertirse en el alga planctónica dominante. Células de 1,5-12 µm de ancho y 2-16 µm de largo. Las células tienen sobres gelatinizados distintos y se disponen a menudo en racimos dentro de la colonia. Reportado como productor de sabor y olor en aguas usadas para beber (Palmer, 1962).



Figura 12. *Gpmphosphaeria* sp

CYANOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Oscillatoraceae	<i>Oscillatoria</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Cuerpo de agua</i>	x	x	x	x
			<i>Raíces de Mangle</i>	-		x	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Talos de coloraciones verde oscura, libres o sésiles. Filamentos rectos, no estrangulados en las paredes laterales, finamente granuladas. Las células son anchas, de forma discoidal. (Gómez, 1970). Raramente solitarias o en pequeños grupos, sin envoltura. Los tricomas presentan tamaños entre los 2-

10 µm. No presentan heterocistos (Guiry y Guiry, 2017). Ha reportado floraciones tóxicas en el agua, además de producir coloraciones verde azulado (DIMAR-CIOH, 2009).



Figura 13. *Oscillatoria* sp

CYANOPHYTA							
Familia	Genero	Especies	Muestra	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)
Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena</i> sp.	Cuerpo de agua	-	-	-	-
			Raíces de Mangle	-		x	

(x)= Presente, (-)= Ausente

Características

Es un género de cianobacterias del orden Nostocales de reproducción asexual y que es autótrofa por tener una clorofila dispersa, común en agua dulce (también se encuentran en aguas saladas y en hábitats terrestres). Son conocidos por sus capacidades de fijación de nitrógeno, y forman relaciones simbióticas con ciertas plantas, como el helecho mosquito. Son uno de los cuatro géneros de cianobacterias que producen neurotoxinas, que son perjudiciales para la fauna local, así como animales de granja y mascotas. Se supone que la producción de estas neurotoxinas es un insumo en sus relaciones simbióticas, protegiendo la planta de la presión de pastoreo.

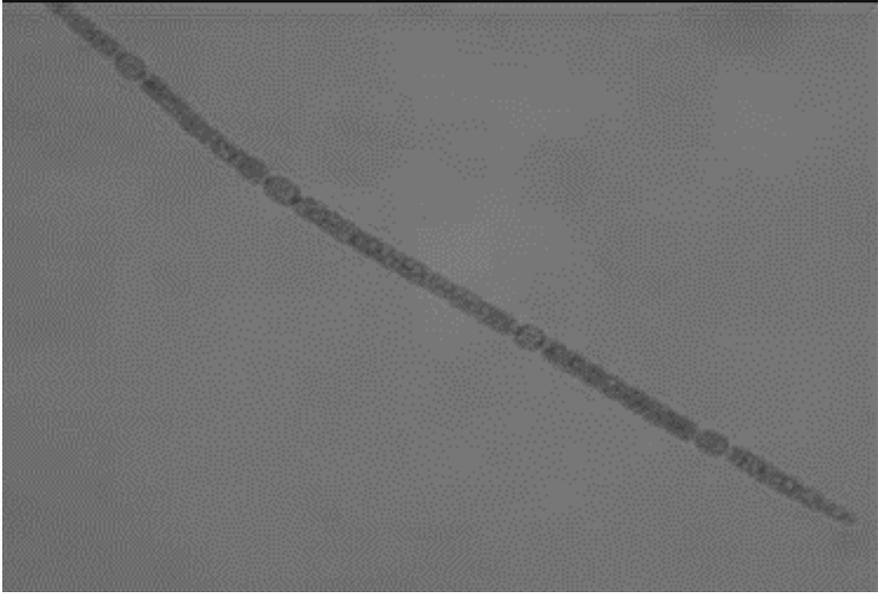


Figura 13. *Anabaena sp*

CONCLUSIONES

En la caracterización cualitativa del fitoplancton en cuerpo de agua de la laguna Boca de Caño y asociado a las raíces de *Rizophora mangle* se identificaron en total 13 Familias, las cuales estuvieron representadas en 13 especies, siendo el grupo de las Bacillariophyceae con el de mayor número de especies (7) presentes, seguido por el grupo de las Chlorophyta con un total de (3) especies, y de último encontramos el grupo de las Cyanobacteria registrándose (3) especies.

Las Bacillariophyceae constituyen el grupo más importante del fitoplancton de los sistemas acuáticos, son favorecidas por las áreas ricas en nutrientes, lo cual podría ser un indicativo que la estación 1 de muestreo es una zona de concentración de nutrientes debido a la identificación de las 7 especies presente en la laguna costera Boca de Caño.

Con respecto a la distribución general de las especies de fitoplancton tenemos: *Oocystis sp.*, *Volvox sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Ulothrix sp.*, *Gyrosigma sp.*, fueron identificadas en las 4 estaciones de muestreo, caso contrario para el restantes de las especies, donde tenemos a la *Synedra sp.*, *Stauroneis sp.*, *Encyonema sp.*, reportadas en la E1, E2 y E3, seguidamente tenemos a la *Gomphosphaeria sp.*, y *Pinnularia sp.*, consiguiéndose registros para la E1 y E2; la especie *Meridion sp.*, reportada solo para la E1. Finalmente las especies *Navicula sp.*, *Anabaena sp.*, estando presentes asociadas a raíces de

mangle en E3 y E1, E3, respectivamente. Las raíces de *R. mangle* constituyen un sustrato adecuado para el establecimiento de diferentes organismos. Debido al creciente deterioro de las condiciones ambientales en los ecosistemas acuáticos, principalmente por actividades humanas, el conocimiento de la biota de las comunidades marinas es de gran importancia, por lo que este estudio representa una información base del fitoplancton en la laguna y puede asociarse a las condiciones abióticas presentes.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del esfuerzo interinstitucional del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y La Universidad del Zulia. Se agradece la colaboración del Equipo de Trabajo del Campo Experimental Las Piedras, El departamento de Biología de la Universidad del Zulia, especialmente al programa del postgrado de Ciencias Biológicas Mención “Ecología Acuática” y Pescadores de la Comunidad de Titaraya del Municipio Falcón del Estado Falcón.

REFERENCIAS

- Briceño, H., Buonocore, R., Sangronis, C., Garcia, L., Rojas, J., Chirinos, J., Lopez, C. (2009). Composición y abundancia del plancton de la Costa Noreste de la Bahía el Tablazo, Sistema de Maracaibo, Venezuela. *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas.*, 43(4), 463 - 483.
- Brunel, Le (1962). Phytoplancton de la Baie des Chaleurs. Contributions du Ministère de la Chasse et des Pêcheries No 91. Pp 358.
- Decreto N° 273 (Creación de Refugio de Fauna Silvestre y reserva de pesca "Laguna de Boca de caño"). (1989, Junio 7). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 4106, Junio 9, 1989. (s.f.).
- DIMAR-CIOH. Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia. Dirección General Marítima Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Ed. DIMAR. Serie de Publicaciones Especiales CIOH Vol. 1, Cartagena de Indias XXPP. 2009
- FAO. (1994). Manejo y Aprovechamiento Acuícola De Lagunas Costeras En América Latina y El Caribe. Trabajos Presentados Por Brasil, Colombia, Cuba, México Y Venezuela En El I Taller Regional Sobre Lagunas Costeras México. México: Fao.
- Fundación La Salle de Ciencias Marina, (1972). Ecología Marina. Editorial Dossata. S.A. 711 pp.
- Gómez L. 1970. Cianofíceas de Costa Rica (I) PDF. Pp 5-45.

- Guille, A. (2010). Biodiversidad Virtual Mundo Microscópico. <http://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Pinnularia-img27.html>
- Guiry, M.D. & G.M. Guiry. 2014. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>
- Guiry, M., & Guiry, G. (2017). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://www.algaebase.org>
- Hernandez, S., Zarate, A., Pacheco, G., Reyes, A., & Acevez, G. (2007). Pastoreo del mesozooplankton sobre el fitoplancton en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. *Hidrobiologia*, 17(3), 225-231.
- Hutchinson, E. (1967). Introducción a la ecología de poblaciones (1era ed). Barcelona, España: Blume.
- Ibañez, C., Caiola, N., Nebra, A., & Wessels, M. (2009). Estuarios. En: V.V. A.A, Bases Ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat comunitario en España. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 75 p.
- Infante, A. (1980). Los cladoceros en el Lago de Valencia. *Acta Científica Venezolana*, 31: 593-603.
- Infante, A. (1988). El plancton de las aguas continentales. Secretaria de la Organización de los Estados Americanos. D.C, USA: Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Lanza, G., & Gómez, S. (1999). Físicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *Ciencias Naturales*, 6(2):147-153.
- Lee, Robert E. (2008). Phycology. Cambridge University Press 2008, 4 edición. 547 pp.
- Márquez, B. & M. Jiménez. 2002. Moluscos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo *Rhizophora mangle*, en el golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 50: 1101-1112.
- Meybeck M., Friedrich G., Thomas R. & Chapman D. 1992. Rivers. En D. Chapman (ed.). Water Quality Assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring (pp. 239-316). Londres: Chapman & Hall.
- MPPEA. (2017). Ministerio Del Poder Popular Ecosocialismo y Agua. Recuperado el 19 de 07 de 2017, de <http://diversidadbiologica.minamb.gob.ve/areas/ficha/63/>

- Núñez-Avellaneda, M. (ed.). 2008. Microalgas acuáticas. La otra escala de la biodiversidad en la Amazonia colombiana. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones científicas-Sinchi- 222 p.
- Palmer, C.M. (1962) Algae in Water Supplies. US Department of Health, Education, and Welfare, Washington DC
- Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Edit. Universidad de Antioquia, Medellín. 529 p.
- Sánchez, S., (2000). Variación estacional e interanual de la biomasa fitoplanctónica y concentraciones de clorofila A, frente a la costa peruana durante 1976 – 2000. *Boletín IMARPE* 19(1-2): 29-43.
- Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Primera edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 191 pp. 958-655-384-1 ISBN.
- Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Edit. Universidad de Antioquia, Medellín. 529 pp.
- Reit, J. 1985. Clave de Identificacao e lista de referencias bibliográficas par las especies continentais sulamericanas de vida livre de orden ciclopoida (crustácea copépoda). *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografía*, 9: 17-43.
- Round F.E., R.M. Crawford y D.M. Mann. (1990). The Diatoms: biology y morfology of the genera. Pp 747.
- Tomas C. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic Press. New York. 858 p.
- Wetzel, R. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems. Academic Press, San Diego, USA. pp. 259-319.
- Yacubson, S. (1969). Algas de ambientes acuaticos continentales, nuevas para Venezuela. *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas*, 3: 1-87.
- Yacubson, S. (1972). Catalogo e iconografia de las cyanofitas de Venezuela. *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas*, 5:1-78.

Yacubson, S. (1974). Catalogo e Iconografia de la chlorofitas de Venezuela. *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas*, 11: 1-130.



Evidencias de mal manejo en la pesquería del cangrejo azul (*Callinectes sapidus*, Rathbun, 1896) en el Lago de Maracaibo y un dispositivo para mitigar la mortalidad por descarte

Evidences of bad management on the Lake Maracaibo blue crab (*Callinectes sapidus*) fishery and a fishing device for mitigate fish mortality

David Mejias¹, Misael Molina²

Grupo de Investigaciones en Acuicultura y Zoología Aplicada. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Santa Bárbara de Zulia -Venezuela

 David Mejias () E-mail: mejiasd@unesur.edu.ve

RESUMEN | El buen manejo de las pesquerías es clave para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos pesqueros. Hay suficientes evidencias que indican que la pesquería del cangrejo azul en el Lago de Maracaibo está siendo mal manejada. Uno de los problemas que enfrenta es el alto nivel de muertes por descarte. El objetivo del presente trabajo fue proponer un dispositivo de pesca para separar *in situ* los cangrejos capturados e impulsar la adopción de medidas efectivas de manejo. La metodología consistió en revisar la bibliografía pertinente y medir en campo la eficiencia de un dispositivo separador. El dispositivo permitió disminuir en 75% la cantidad de individuos con talla ilegal reduciendo también la mortalidad por pesca. La importancia del trabajo radica en que si se adopta de manera generalizada, una medida sencilla y de bajo costo como la propuesta aquí puede tener un impacto muy significativo en favor de la conservación del recurso.

Palabras clave: Cangrejo azul, Lago de Maracaibo, manejo, pesquería.

ABSTRACT | Good management of fisheries is key to guarantee the sustainable use of fishery resources. There is sufficient evidence to indicate that the blue crab fishery in Lake Maracaibo is being poorly managed. One of the problems it faces is the high level of discard deaths. The objective of this work is to propose a fishing device to separate *in situ* the captured crabs and promote the adoption of effective management measures. The methodology consisted of reviewing the relevant literature and measuring in the field the efficiency of a separating device. The device made it possible to reduce the number of individuals with illegal size by 75%, also reducing fishing mortality. The importance of the work lies in the fact that if it is adopted in a generalized way, a simple and low-cost measure such as the one proposed here can have a very significant impact in favor of the resource conservation.

Keywords: Blue crab, fishery, Lake Maracaibo, management.

INTRODUCCIÓN

El término manejo de pesquerías tiene una connotación amplia y describe procesos mediante el cual se administra y controla el funcionamiento del stock de pesca que se explota comercialmente en diferentes ecosistemas acuáticos (Dankel *et al.*, 2007). Abarca varios aspectos, tanto de la especie que se quiere regular (estado de conservación), los pescadores (satisfacción económica por empleo), el Estado (políticas relacionadas con las vedas y otras regulaciones), entre otros (Hilborn, 2007). El manejo efectivo de una pesquería requiere de la participación activa y transparente de todos los actores involucrados (Baelde, 2005).

En buena medida, el éxito de los programas de manejo de pesquerías en el mundo depende de las políticas nacionales y regionales relacionadas con la regulación de la pesca. Lamentablemente, hay grandes diferencias en la aplicación efectiva de las regulaciones en las pesquerías de Estados Unidos y la Unión Europea con respecto a aquellas de Centro y Suramérica, así como de otras partes del mundo (Caddy, 1999).

Las pesquerías que permiten la sobrepesca, que tienen objetivos poco claros y toleran actividades ilegales enfrentan indudablemente serios problemas de manejo (Dankel *et al.*, 2007).

En el Lago de Maracaibo (LM) la pesquería del cangrejo azul *Callinectes sapidus* tiene el mayor impacto económico del occidente de Venezuela (Casler *et al.* 2011; Molina y Mejías, 2018); hasta hace un poco más de una década, allí operaban casi dos decenas de plantas procesadoras que generaban centenares de empleos directos. En la actualidad, ese número se ha reducido producto de la situación económica del país. Sin embargo, decenas de estos pescadores dependen casi exclusivamente de esta especie para su subsistencia (Casler & García Pinto, 2011; Perdomo *et al.* 2010).

La pesquería del cangrejo azul declina cuando los pescadores dejaron de usar nasas y comenzaron a usar palangres como artes de pesca (Andrade de Pasquier *et al.* 2009; Molina & Mejías, 2018). Hoy es objeto de regulaciones sobre artes de pesca, áreas, épocas, talla, e incluso sobre precios de venta. Sin embargo, esas medidas no han evitado la sobreexplotación del recurso (Molina y Mejías, 2018) lo que ha generado preocupación al sector pesquero artesanal y a las autoridades tomadoras de decisión.

Una de las causas de la sobrepesca es la muerte por descarte (Mendes Ruas *et al.* 2017; FAO, 2020). Según la FAO (2020) el descarte es la proporción en las capturas de material orgánico total de origen animal, vivo o muerto, que es lanzado al mar por cualquier razón. Afecta a los individuos con talla ilegal que no son devueltos al agua oportunamente, y se suma a la mortalidad natural y a la mortalidad por pesca. La muerte por descarte tiene implicaciones sobre los ecosistemas marinos (Bellido *et al.* 2011; Mendes Ruas *et al.* 2017), económicas, sociales y especialmente sobre la efectividad del manejo

de las pesquerías (FAO, 2020), por lo que es necesario desarrollar soluciones para reducir su impacto (NOAA, 2016).

En el Lago de Maracaibo muchos pescadores argumentan que es poco práctico separar los cangrejos cuya talla es inferior a la permitida, y devolverlos al agua en el lugar donde fueron capturados; por lo que hacen la separación en el muelle. Pero ello no ocurre siempre debido, en parte, a que la inspección gubernamental no es frecuente. En consecuencia, esta práctica está reduciendo la efectividad de la providencia administrativa (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 2007) que fija la talla mínima de captura en 8 cm (Molina & Mejias, 2018).

El objetivo del presente trabajo fue puntualizar las evidencias de mal manejo de la pesquería del cangrejo azul en el LM y proponer un dispositivo de pesca sencillo para separar *in situ* los cangrejos capturados e impulsar la adopción de medidas efectivas de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de las publicaciones científicas relacionadas con el manejo de la pesquería de este cangrejo en el Lago de Maracaibo delimitándolos a algunos aspectos biológicos, pesqueros, ecológicos, ambientales y legales.

Adicionalmente se puso a prueba un dispositivo de pesca con la finalidad de evaluar la posibilidad de mitigar la mortalidad por descarte. El dispositivo fue construido usando una cesta plástica de 50 x 30 x 33 cm (largo x ancho x alto) cuya pared de fondo fue eliminada y reemplazada por malla galvanizada del mismo tipo de aquella con la que se fabricaban las nasas para la pesca de este cangrejo en el lago (Andrade de Pasquier *et al.* 2009). El orificio de la malla es de forma hexagonal y mide 6.5 cm de alto máximo por 5.5 cm de ancho (Fig. 1A).

Los autores acudieron al sitio de desembarco de Agropecuaria Concha, C. A., al final de cada una de 4 jornadas de pesca, entre mayo y julio de 2016. Una muestra de 200 cangrejos de ambos sexos fueron seleccionados al azar y se colocaron dentro del dispositivo separador que se encontraba sumergido en una tina con agua (Fig. 1B). Seguidamente se determinó el sexo y se midieron, usando un ernier de 1 mm de precisión, tanto los cangrejos retenidos en la caja como los que atravesaban la malla y quedaban en la tina. El tamaño de la muestra fue el número máximo autorizado por los pescadores quienes procuraban tener el menor retraso posible con su trabajo en puerto.



Figura 1. A. Detalles del dispositivo de pesca construido. B. Cangrejos separados dentro una tina con agua.

Para comprobar si las diferencias en el número de cangrejos con tallas ≤ 8 cm, antes y después de usar el dispositivo separador fueron estadísticamente significativas se corrió la prueba de Wilcoxon Mann-Witney ($P < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evidencias de mal manejo

Talla no permitida

Mora & Semprum en 2008 reportaron que para machos y hembras, el porcentaje de individuos con tallas no permitidas alcanzó valores de 9,86 y a 12,45, respectivamente. Andrade de Pasquier *et al.* (2012) determinaron que un (16.80%) de los cangrejos tenían AC, menor al establecido por la norma. Este incremento significativo es, sin duda, una señal de mal manejo.

Crecimiento y mortalidad

Investigadores de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt reportaron valores de L_{∞} de 168.0 mm inferior a lo observado para las otras áreas donde se pesca esta especie (Molina & Mejías, 2018). Contrariamente, el valor de K, fue más alto, comparado con el reportados en otros trabajos ($K = 0.51-0.75$). La mortalidad total resultó 7.53, la natural fue 1.87, y la debida a pesca fue 5.66. La tasa de explotación calculada con esos datos arrojó un valor de 0.75, significativamente alto, que indica que hay cierto nivel de sobrexplotación del recurso que amenaza la pesquería.

Artes de pesca y capturas

Al principio, con el palangre se duplicó las capturas, es decir, entre 1998 y 2002 las capturas pasaron de 7.000 tm, a 14.300 tm entre 2003 a 2009 (Andrade de Pasquier *et al.*, 2009). Para el año 2016 la pesca en Puerto Concha se había reducido a un tercio con respecto al año 2008, (Mejías., D, datos no publicados). Definitivamente la selectividad del palangre es menor que la de la nasa. El hecho de que, a pesar de las advertencias hechas por los investigadores en diferentes estudios (ver por ejemplo Molina y Mejias, 2018), se continué usando el palangre como método de pesca y ni siquiera se haya convocado a todos los involucrados a una reunión para discutir el problema refleja desinterés de parte del sector oficial sobre el que recae la responsabilidad de la gestión de este recurso.

Aspectos ecológicos y ambientales

La introducción de pavones (*Cichla orinocensis* y *C. temensis*), peces carnívoros y de alto éxito reproductivo al LM, desde 1965, (Lasso-Alcalá *et al.* 2014) y su contaminación por hidrocarburos estaría provocando la evasión de los cangrejos, reducción del forrajeo (Culberston *et al.* 2007). Molina (2009), dio cuenta de otras fuentes de contaminación al sur del LM como los insecticidas, fungicidas, la descarga de fertilizantes químicos y excretas humanas y de animales a los cauces tributarios, sin pasar por ningún sistema de tratamiento.

Aspectos legales

Mora & Semprum (2008) señalan que los pescadores de Puerto Concha, por lo general no son revisados in situ por los inspectores de pesca. Muchas veces la longitud de los palangres supera la longitud permitida. Ni la Ley de Gestión de la Diversidad Biológica, la Ley de Pesca y Acuicultura, ni La Ley de Zonas Especiales de Desarrollo Sustentable se cumplen a cabalidad (Molina *et al.*, 2013).

Efectividad del dispositivo de pesca para reducir la mortalidad por descarte

El dispositivo separador permitió reducir la cantidad de individuos con talla ilegal desde 12.88% hasta 4.25%, es decir, el porcentaje promedio fue 3 veces menor cuando se usó el dispositivo. La diferencia en el nivel de descarte antes y después del uso del dispositivo resultó estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

El análisis de los aspectos biológicos, pesqueros, legales, ecológicos, y ambientales permite evidenciar que la pesquería del cangrejo azul en el LM está mal manejada. En buena medida, ese mal

manejo está fundamentado en el uso de artes y métodos de pesca poco selectivos que determinan la ocurrencia de una mortalidad por pesca alta.

Si se pone en práctica el dispositivo separador presentado aquí se logra disminuir en aproximadamente 75% la cantidad de especímenes con talla ilegal presentes en las capturas.

El trabajo es importante debido a que deja en evidencia el hecho de que la pesquería más importante del occidente de Venezuela, de la que han dependido para su subsistencia muchas familias de pescadores del LM y que históricamente ha aportado alimentos al nivel nacional y para la exportación, está enfrentando una declinación dramática y que medidas sencillas y de bajo costo como la propuesta aquí pueden tener un impacto muy significativo en favor de la conservación del recurso.

REFERENCIAS

- Andrade de Pasquier, G., Ramírez, S., García, P. L., Buonocore, R., Delgado, J. (2009). Impacto del palangre para la captura del cangrejo azul *Callinectes sapidus* en la composición por tallas de los desembarques en el Lago de Maracaibo, Venezuela. *Proceedings of the 62nd Gulf and Caribbean Fisheries*. Venezuela (Julio, 2009).
- Baelde, P. (2005) Interactions between the implementation of marine protected areas and right-based fisheries management in Australia. *Fisheries Management and Ecology*, 12: 9–18.
- Caddy, J. F. (1999). Fisheries management in the twenty-first century: will new paradigms apply?. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9: 1–43
- Bellido, J. M., Begoña Santos, M., Grazia Pennino, M., Valeiras, X., Pierce, G. (2011). Fishery discards and bycatch: solutions for an ecosystem approach to fisheries management? *Hydrobiologia*, 670, 317-333. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0721-5>.
- Casler, C., García Pinto, L. (2011). Ecología. En C. Casler, L. García-Pinto & C. Sangronis, (eds.), El cangrejo azul en el sistema del lago de Maracaibo. Ecología, pesquería y aspectos socioeconómicos. Venezuela: Ediciones Astro Data S. A. (pp. 83-100).
- Casler, C., García Pinto, L., Sangronis, C. (2011). Identificación de los portúnidos. En C. Casler, L. García-Pinto & C. Sangronis, (eds.), El cangrejo azul en el sistema del lago de Maracaibo. Ecología, pesquería y aspectos socioeconómicos. Venezuela: Ediciones Astro Data S. A. (pp. 231-262).

- Dankel, D. J., Skagen, D. W., Ultang, Ø. (2007). Fisheries management in practice: review of 13 commercially important field stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18: 201-233.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2020). La pérdida y el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor del pescado. <https://www.fao.org/flw-in-fish-value-chains/flw-in-fish-value-chainsvalue-chain/flw-in-fish-value-chainsvalue-chaincapture-fisheries/discards-and-bycatch/es/>
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. (2007). Providencia administrativa No. 06-2007. Venezuela, Servicio Autónomo Imprenta Nacional y Gaceta Oficial.
- Hilborn, R. (2007). Defining success in fisheries and conflicts in objectives. *Marine Policy* 31:153–158.
- Lasso-Alcalá, O., Andrade de Pasquier, G., Hoyos, C., Bottini, B., Hernández, M. (2014). Sobre la introducción de los pavones *Cichla orinocensis* y *C. temesis* (Perciformes, Cichlidae), en la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Anartia*, 26: 31-50.
- Mendes Ruas, V., Becker, C., D’Incao, F. (2017). Evaluation of the Blue Crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 Bycatch in Artisanal Fisheries in Southern Brazil. *Brazilian Archives Biology & Technology*, 60, 1-14. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160335>.
- Molina, M. (2009). Fundamentos de factores naturales y producción agropecuaria. Santa Bárbara de Zulia, Venezuela: Consejo Editorial de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago.
- Molina, M., Mejias, D., Torres, L., Arvelo, F., Yarumare, C. (2013). Aspectos soioeconómicos, administrativos, técnicos y legales de la pesquería del cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) en Puerto Concha, sur del lago de Maracaibo. *Agroalimentaria*, 19(37): 109-125.
- Molina, M., Mejias, D. (2018). Evidencias de sobrepesca y mal manejo del *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) en el Lago de Maracaibo, Venezuela. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 11(1): 81-100. <https://doi.org/10.15359/revmar.11-1.6>.
- Mora, A., Semprum, E. (2008). Evaluación de algunos aspectos pesqueros y socioeconómicos del Municipio Colón, Estado Zulia. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Santa Bárbara de Zulia, Venezuela.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2016). National bycatch reduction strategy. www.fisheries.noaa.gov/sta/bycatch

Perdomo, D., García, D., González-Estopiñán, M., Santos, O., Moratinos, P., Cova, L., Medina, M. (2010). Evaluación de la pesca artesanal con palangre del cangrejo azul (*Callinectes* spp.), en el Puerto de La Ceiba, estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 28(2): 221-237.



Pesquería de tajali (*Trichiurus lepturus*) en Venezuela. Caso Golfo de Venezuela

The fishery of Largehead hairtail fishery (*Trichiurus lepturus*) in Venezuela. Case of Gulf of Venezuela

Luis del V. González Rodríguez¹, Jesús A. Méndez¹, María V. Guanipa¹, José R. Rengel²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Campo Experimental Las Piedras., Muelle las Piedras, Las Piedras, Punto Fijo, estado Falcón, Venezuela

²Universidad Católica del Norte, Dpto. de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar Centro de Innovación Acuícola, AquaPacífico, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

✉ Luis del V. González Rodríguez () E-mail: luisdelgonza2311@gmail.com; lvgonzalez@inia.gov.ve.

RESUMEN | El Tajali (*Trichiurus lepturus*) es un pez capturado principalmente con cordel en la zona oriental del Golfo de Venezuela. Sus exportaciones a países asiáticos ocasionaron un alza en su precio pagado en dólares, fomentando aumentos considerables de las pesquerías de esta especie, que motivan este estudio. Los datos fueron recabados en la fábrica procesadora de pescado (VPAS), en Punto Fijo, Falcón desde septiembre 2018 a noviembre 2019. Se determinó la estructura de tallas, relación longitud peso, proporción de sexos, así como los periodos de reproducción. Se analizaron 4247 individuos y a 2967 individuos se les determinó el sexo y estado de madurez a nivel macroscópico. Se encontraron 533 machos y 2420 hembras (1 M: 4,1 H; $p < 0,01$). Los periodos del año con mayor número de individuos maduros fueron a finales del año 2018 y julio, agosto y octubre 2019, los cuales deberían ser considerados para medidas de ordenamiento de esta especie.

Palabras clave: Trichiuridae, pesca artesanal, proporción de sexo, exportaciones de peces.

ABSTRACT | The Largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*) is a species captured mainly with hand line in eastern Gulf of Venezuela. Exports of this species to Asian countries produced a price hike, encouraging an increase in the fishing effort aimed at its capture, which motivated this study. The study was carried out at the fish-processing factory (VPAS) between September 2018 and November 2019. The size structure, length-weight relationship, sex ratio and the reproduction periods were determined. A total of 4247 specimens were analyzed and to 2967 of them were determined the sex and maturity stage at the macroscopic level. There were 533 males and 2420 females in the sample, with a sex ratio 1 M;4.1 H ($p < 0,01$). The period of the year with the highest number of mature individuals was the final months of 2018 and July, August and October 2019. This information should be considered to establish fisheries management measures for this species.

Keywords: Cutlass fish, Trichiuridae, Artisanal fishery, Sex Ratio, Fish exports.

INTRODUCCIÓN

El tajalí, *Trichiurus lepturus* (Pisces: Scombriformes: Trichiuridae), también conocido como machete o pez sable (Fig.1), es una especie distribuida alrededor del mundo y en el Atlántico americano estando presente desde el noreste de los Estados Unidos de América hasta Argentina, incluyendo el Golfo de México y Mar Caribe. Esta especie habita en aguas de fondos someros de substratos blandos hasta una profundidad de 350 m., y logra formar cardúmenes cerca de la superficie. Según FAO (2020), esta especie ocupa el 13avo lugar entre los peces con mayores desembarques del mundo, con niveles de 1,15 a 1,33 millones t anuales (2% del desembarque mundial de peces). En el oriente de Venezuela se la captura con artes de pesca como las redes de cerco, enmalle, arrastre y líneas como en el palangre y cordeles (Guevara *et al.* 2014). En el Golfo de Venezuela se captura con redes, palangre y cordeles. El Tajalí en Venezuela ha tenido un bajo valor comercial y representaba parte de lo llamado pacotilla de la eliminada flota industrial de arrastre. Desde hace unos 6 años ha aumentado el interés por la captura del tajalí, debido a la oportunidad de ser exportado hacia los países asiáticos y el pago en divisas que reciben los pescadores. A pesar de ello, hay pocos trabajos que evalúen la biología y los parámetros pesqueros de la especie. Chávez (2006) realiza una evaluación biológica del Tajalí, mientras que González *et al.* (2020), hacen una evaluación de los beneficios y consecuencias de las pesquerías de Tajalí en el Golfo de Venezuela. En vista de lo expuesto anteriormente, este artículo pretende dar a conocer avances sobre los resultados recientes obtenidos sobre la biología del Tajalí, específicamente en el Golfo de Venezuela.



Figura 1. Fotografía de un Ejemplar de Tajalí (*Trichiurus lepturus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

Los ejemplares de tajalí estudiados provinieron de la pesquería artesanal en los municipios

Carirubana y Los Taques, Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela, en particular en las comunidades pesqueras de Carirubana, Las Piedras, Punta Cardón y Amuay (Fig. 2).

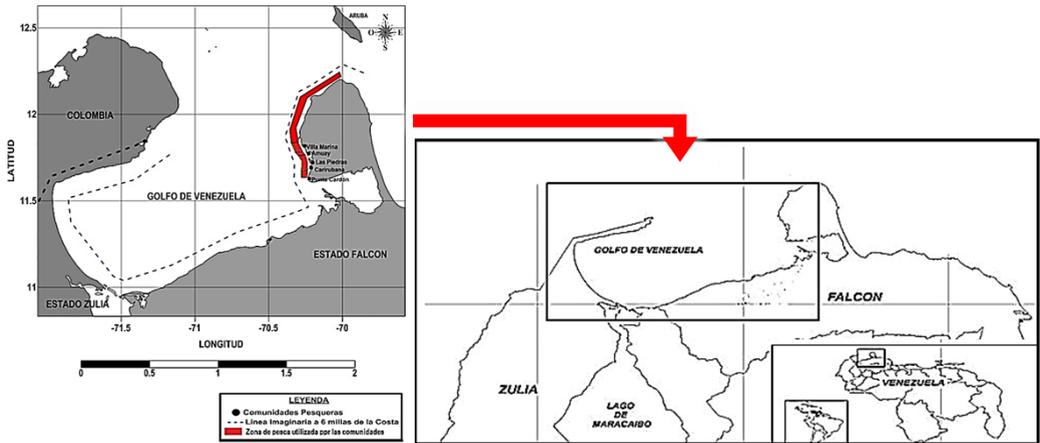


Figura 2. Ubicación de la zona de pesca de Tajalí, utilizada por los pescadores de las comunidades pesqueras en la zona centro oriental del Golfo de Venezuela

Los pescadores utilizan cordeles con dispositivos con luces sumergidas para atraer más al tajalí (Fig. 3), por el efecto de fototropismo positivo (atracción del pez por efecto de la luz).

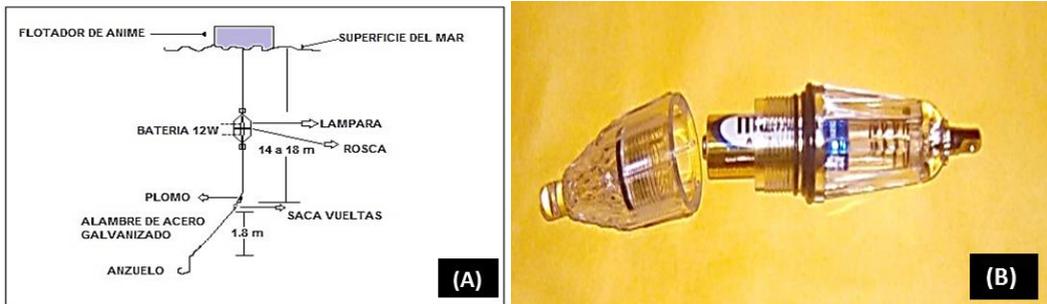


Figura 3. (A) Esquema del sistema de pesca con cordel y dispositivo eléctrico que emite luz. (B) Fotografía del dispositivo eléctrico que emite luz y atrae los peces (Tajalí).

Aspectos Biológicos Pesqueros

Los muestreos se realizaron dos (2) veces por semana, entre septiembre 2018 y noviembre 2019. La ejemplares se obtuvieron aleatoriamente en la zona de recepción de la Planta procesadora de Tajalí

(VPAS), ubicada en Punto Fijo, municipio Carirubana, Paraguaná del estado Falcón. La identificación del Tajalí se realizó siguiendo la clave de Cervigón *et al.* (1992). Se le determinó a cada espécimen su longitud total (LT, cm), mediante el uso de un ictiómetro con 1 mm de precisión, peso total (PT, g) se estimó con una balanza electrónica con precisión de 0,1 g. La determinación del sexo se hizo, usando la escala modificada de Le (1951), Luo *et al.*, (1983) y Ni y Templeman (1985). (Fig.4).

La estructura de talla: Se realizó tomando las frecuencias mensuales agrupadas en intervalos de clases (7 cm), para cada sexo y sexos combinados.



Figura 4. Determinación de aspecto biológicos pesqueros de Tajalí (*Trichiurus lepturus*)

Proporción de sexo: El análisis se restringió a la fracción de la población que es explotada comercialmente durante cada mes, con la finalidad de interpretar la composición del stock explotado y las variaciones de su abundancia y establecer la existencia o no de una segregación sexual o posibles cambios de los mismos en el tiempo. Se utilizó la prueba de Chi² ($p < 0,05$), para verificar si la proporción de sexos observada difería significativamente de la esperada (1M:1H) durante el período de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron 4247 individuos y se estimó la estructura de tallas en base a la longitud total. De esta muestra, se seleccionaron aleatoriamente 2967 ejemplares a los que se les determinó el sexo y el estado de madurez. Se encontraron 533 machos y 2420 hembras. El intervalo de tallas para sexos combinados

osciló entre 64 y 133 cm (LT). El mayor número de individuos se encontró en el intervalo de clase 85 a 91 cm (Fig.5). Al respecto, Chávez (2006) reporta igualmente que la talla promedio de las hembras es superior (114 cm LT) a la de los machos (105 cm LT), mientras que Gómez-Rodríguez, 2009 encuentra en la bahía de Santa Marta, Colombia, tallas entre 41,6 cm y 110 cm, con un promedio de longitud total de fue de 71,7 cm.

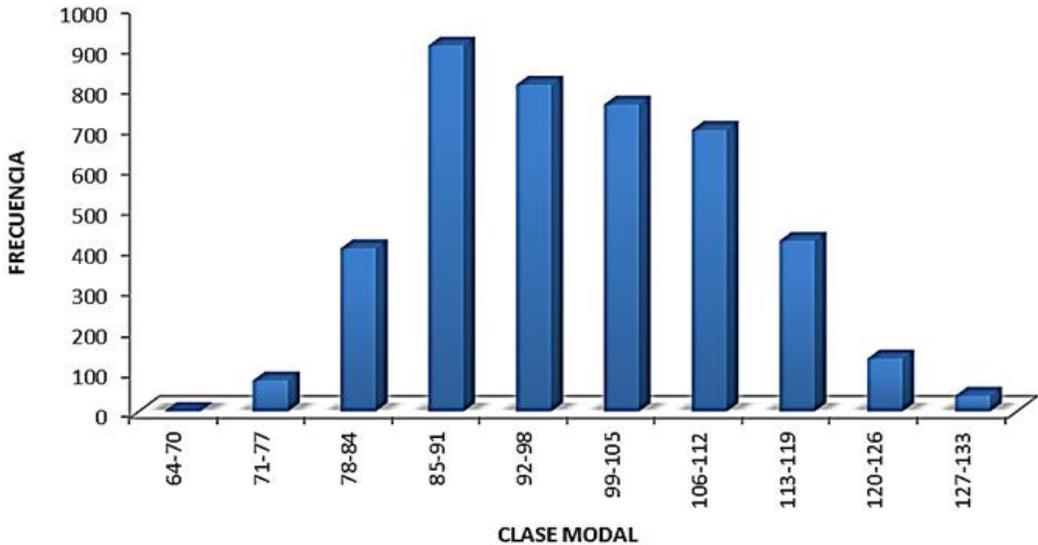


Figura 5. Estructura de tallas (LT) de Tajali (*Trichiurus lepturus*) en el Golfo de Venezuela

La longitud total de las hembras osciló entre 64 y 143 cm y la de los machos entre 78 y 126 cm, con promedios de $101,9 \pm 12,36$ cm (LT) y $92,41 \pm 9,13$ cm (LT), respectivamente (Fig.6 A y B). Al-Nahdi et al., (2009), en estudios de tajalí capturados con cordel por pescadores artesanales en las costas de Omán, reporta que la talla promedio de hembras, 102,7 cm LT, fue significativamente mayor que la de los machos (con promedio 96,2 cm LT). Este autor también afirma que las capturas con cordel son más selectivas en talla que las provenientes de redes de arrastre (que capturan individuos de tallas menores).

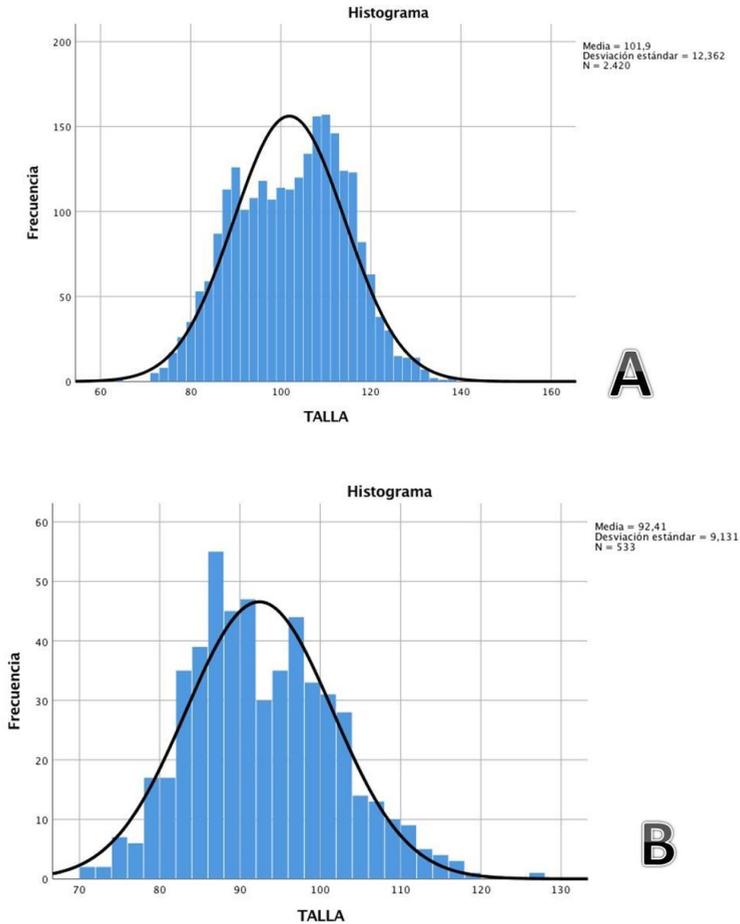


Figura 5. Estructura de tallas de hembras (A), machos (B) del tajali (*Trichiurus lepturus*) en el Golfo de Venezuela, durante septiembre 2018 a noviembre 2019.

Proporción de sexo

Se evaluaron 2953 especímenes de tajalí, de los cuales el 81,6% fueron hembras (2420) y 18% fueron machos (533), resultando una proporción sexual de 1M:4,1 H, la cual favorece a las hembras y difiere significativamente de la relación esperada 1M:1H ($X^2=17$; $p= 0,01$). La proporción de sexos evaluada durante octubre 2018 y noviembre 2019 fue significativamente dominada por hembras en los desembarques (Fig.7); entre abril y junio 2019 los desembarques de tajalí fueron escasos y no se observaron machos en las muestras. Chávez (2006) encuentra en el Golfo de Venezuela, que entre agosto y noviembre se presenta una mayor proporción de hembras.

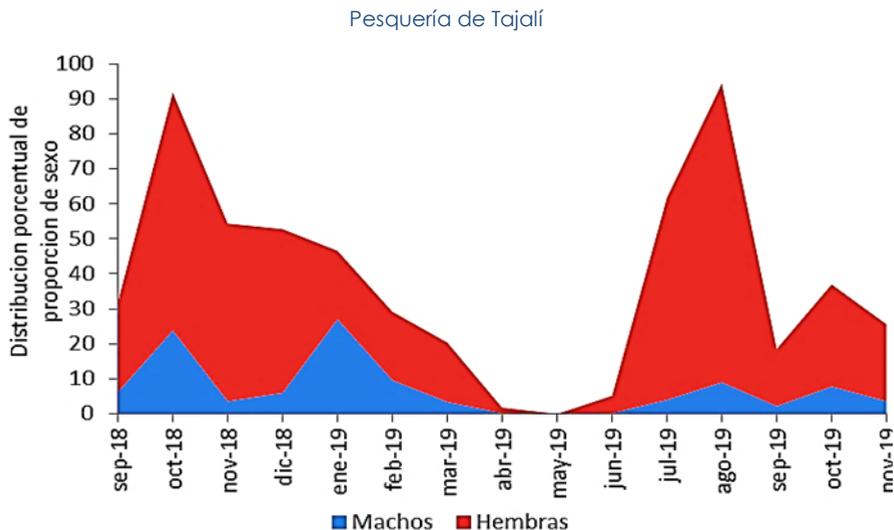


Figura 7. Proporción mensual de sexos en la población de Tajalí (*Trichiurus lepturus*) desembarcadas en el Golfo de Venezuela durante septiembre 2018 a noviembre 2019.

El predominio significativo de un sexo sobre otro, como es el caso de las hembras en esta investigación, puede tener varias explicaciones. Según AL-Nahdi *et al.* (2009), que la muestra que se sexó, provenía de la pesquería tradicional de líneas (en esta investigación provenían de pescadores artesanales con cordel), en la que capturaron individuos más grandes (mayoría hembras). Por su parte Kwok y Ni, (1999), encuentran que las hembras superaron en número a los machos en la mayoría de las clases de tamaño y edad en el Mar de China Meridional, soportando lo registrado en esta investigación.

CONCLUSIONES

El intervalo de tallas para los sexos combinados, en la población de tajalí evaluada en la costa centro oriental del Golfo de Venezuela, osciló entre 64 y 133 cm (LT).

El mayor número de individuos se encontró entre 85 a 91 cm LT.

Las hembras presentaron tallas superiores que los machos, con una media de $101,9 \pm 12,36$ cm (LT) y $92,41 \pm 9,13$ cm (LT), respectivamente.

La muestra de tajalí estudiada arrojó que la proporción de sexo fue 1M:4,1 H, la cual representó el 81,6% (2420) y 18% machos (533). Lo que difiere significativamente de la relación esperada 1:1. De

igual manera, el intervalo de tallas para las hembras (76-140 cm LT) fue más grande que el de los machos (70-120 cm LT).

Julio-agosto y noviembre-diciembre durante el 2018 y 2019, son meses de concentración para desove y sería recomendable utilizarlo para el establecimiento de vedas de Tajalí.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a la Sra. Eunice Alastre quien en momentos difíciles siempre fue colaboradora en ayudar en los muestreos y a la empresa VPAS en especial atención al Ing. Pesquero Randy Molina, quien como gerente logró el financiamiento de esta investigación y permitió el muestreo en esa empresa. De igual forma agradecer la colaboración prestada por los Ing. Pesqueros José Chirinos y Helen Trompis responsable del área de recepción de Tajalí en dicha empresa.

REFERENCIAS

- AL-Nahdi A.; AL-Marzouqi, A.; AL-Rasadi E; Groeneveld C. 2009. The size composition, reproductive biology, age and growth of largehead cutlassfish *Trichiurus lepturus* Linnaeus from the Arabian Sea coast of Oman. *Indian Journal of Fisheries* 56(2):73-79.
- Cervigón, F.; Cipriani, R.; Fischer, W.; Garibaldi L.; Hendrickx, M.; Lemus, AJ.; Márquez, R.; Pourtiers, JM; Robaina, G.; Rodríguez, B.1992. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional del Sur América. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de pesca. Roma, FAO. 513 p.
- Chávez, D. 2006. Evaluación Biológica y pesquería del Tajali, *Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758), capturada por la pesca industrial de arrastre en el Golfo de Venezuela. Trabajo especial de pregrado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM) 107 pp.
- FAO 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO, Roma, 250 p.
- Gómez-Rodríguez, S. 2009. Biología reproductiva, captura por unidad de esfuerzo y estacionalidad de *Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758) (Trichiuridae: Teleostei) en la bahía de Gaira, Caribe de Colombia. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales, Programa Biología Marina, Santa Marta, Colombia
- González LDV; Méndez, J.; y Guanipa, M. 2020. Pesquería de tajali (*Trichiurus lepturus*), en el Golfo de Venezuela: Beneficios y consecuencias. *Acuipisca Magazine*. Available in:

<http://acuipisca.com/2020/10/pesqueria-del-tajali-trichiurus-lepturus-en-el-golfo-de-venezuela-beneficios-y-consecuencias-2/>

- Guevara, F.; Eslava, N.; González, LW.; Troccoli L. 2014. La pesca artesanal del tahalí (*Trichiurus lepturus*) en Boca del Río, Isla de Margarita, Venezuela. *TECNOCENCIA*. Chihuahua. 8(3): 175-182, Available in: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/613>.
- Kwok, YK.; Ni, IH. 1999. Reproduction of cutlassfishes *Trichiurus* spp. from the South China Sea. *Marine Ecology Progress Series* 176:39-47.
- Luo B.; Lu J; Huang S. 1983. Maturation of the hairtails, *Trichiurus haunela* (Pisces, Trichiuridae) I. The process of maturation and peculiarities of the female. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 14(1):54-63.
- Ni, IH; Templeman, W. (1985). Reproductive cycles of redfishes (*Sebastes*) in southern Newfoundland waters. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 6:57-63.



48 Años de evaluación (CPUE) de la eliminada flota industrial de arrastre en el golfo de Venezuela (1956-2004)

48 Years of evaluation (CPUE) of the banned industrial trawl fishing fleet in the Gulf of Venezuela (1956-2004)

Luis González Rodríguez¹, (✉) Rodolfo Álvarez Castillo¹, Orlando Pomares Ferraz²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Campo Experimental Las Piedras. Punto Fijo. Estado Falcón.

²Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda". Departamento de Ingeniería Pesquera. Campo El Sabino. Punto Fijo. Estado Falcón.

✉ Luis González Rodríguez () E-mail: luisdelgonza2311@gmail.com

RESUMEN | La pesca de arrastre industrial de fondo, consiste en hacer que una o dos redes se arrastren sobre un fondo que sea generalmente llano y blando, con el fin de capturar las especies que viven en y cerca de esa parte del lecho marino. La flota que operaba en el Golfo de Venezuela, al igual que la del resto del país, utilizaba el sistema de doble red tipo Florida en cada banda del barco, simultáneamente por medio de largas plumas o tangones (por lo que se conoció a este tipo de pesca como "Tangonera") que por lo regular tenían 24 pies de largo, con lo cual se conseguía que las redes no se enredaran una con la otra. Los datos procesados fueron recolectados en bitácoras durante los años 1956 al 2004 provenientes de las operaciones de la flota industrial de arrastre con base en el muelle Las Piedras, municipio Carirubana, Punto Fijo estado Falcón, Venezuela. La zona de pesca fue el Golfo de Venezuela, desde la costa Occidental de la Península de Paraguaná hasta la Península de la Guajira, entre 70° 00' y 71° 51' W y 12° N. Se establecieron cinco (5) periodos para el estudio de la evolución de la explotación pesquera, y se comparan simultáneamente la captura, la CPUE y el esfuerzo.

Palabras clave: Evaluación pesquera, CPUE, producción.

ABSTRACT | Industrial bottom trawling consists of making one or two trawl nets to be dragged on a generally flat and soft bottom, in order to capture the species that live on or near the seabed. The fleet that operated in the Gulf of Venezuela, like that of the rest of the country, used the Florida-type double rigged system, with one net in each side of the ship, by means of long poles (for which this fleet was also known as "Tangonera") that were usually 24 feet long, which ensured that the nets did not get tangled with each other. The processed data were collected from logbooks during the years 1956 to 2004, from the industrial trawl fleet based on the Las Piedras, Carirubana municipality, Punto Fijo, Falcón State, Venezuela. The fishing area was the Gulf of Venezuela, from the western coast of the Paraguaná Peninsula to the Guajira Peninsula, between 70° 00' and 71° 51' W and 12° N. Five (5) periods were established for the study of the evolution of the fishing exploitation and the catch, CPUE and effort were simultaneously compared.

Keywords: Fishery assessment, CPUE, production.

INTRODUCCIÓN

La pesca de arrastre de fondo consiste en hacer que una o dos redes se arrastren sobre un fondo que sea generalmente llano y blando, con el fin de capturar las especies que viven en y cerca de esa parte del lecho marino. La flota que operó en el Golfo de Venezuela, al igual que la del resto del país, utilizó el sistema tipo Florida de doble red, el cual arrastraba simultáneamente una en cada banda del barco. Las redes estaban sostenidas desde largas plumas o tangones (por lo que se conoce a este tipo de pesca como Tangonera) que por lo regular tenían 7,3 m (24') de largo, con lo cual se consigue que las redes no se enreden una con la otra. Adicionalmente, las redes se mantenían abiertas por medio del uso combinado de portales o puertas y de boyas (abertura vertical y horizontal respectivamente). La relinga o cabo inferior de la boca de la red tenía adosada una cadena o cuerda con plomos, que al entrar en contacto con el fondo marino, estimula a las especies bentónicas a entrar en la red (Fig. 1).

La historia de las pesquerías industriales de arrastre en el Golfo de Venezuela se remonta al año 1948, con la incursión en forma exploratoria del barco “San Giorgio”, aun cuando realmente es en 1953 cuando se inicia la explotación comercial al constituirse la primera flota con la incorporación de 19 embarcaciones de tipo Italiano que arrastraban una sola red desde la popa, con sede en Punto Fijo (Giménez et al., 1993).

En 1962 comenzó a constituirse la flota de arrastre con base en Maracaibo con 5 embarcaciones tipo Florida, de arrastre doble por los costados, traídas desde México. Esta flota con base en Maracaibo operó hasta 1978, cuando los pocos barcos que quedaban se trasladaron a Punto Fijo y en el período 1974-1977 se vendieron varios barcos que se trasladaron a Colombia. En cuanto a la flota de Punto Fijo, a partir del año 1962 se inicia la conversión de los barcos tipo Italiano al tipo Florida, lo cual da lugar a la creación de una embarcación híbrida que combina características de diseño de ambos tipos de embarcaciones (Lundberg et al, 1970; Lundberg, 1970; Nascimento y Rojas, 1971).

En el presente trabajo se presenta el análisis de los datos recolectados durante el periodo 1956 – 2004, cuyo objetivo es mostrar como una información de bitácoras y producción (kg) recolectada durante cuarenta y ocho (48) años, permite entender el comportamiento de la flota pesquera, las políticas pesqueras aplicadas y sus efectos, así como las estrategias utilizadas por la flota pesquera, como autorregulación para poder seguir en la actividad económica.



Figura 1. Embarcación de arrastre tipo Florida preparándose para calar el arte.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La zona de pesca estuvo comprendida en el Golfo de Venezuela, entre la costa Occidental de la Península de Paraguaná y la Península de la Guajira (desde 70° 00' a 71° 51' W) y en sentido norte-sur por la línea de la costa y los 12° N. La superficie de pesca se estimó en 14.704 Km² (Fig. 2) (Álvarez, 1997).



Figura 2. Foto satélite del área de pesca en la zona del Golfo de Venezuela, utilizada por la eliminada flota Industrial de arrastre con base en las Piedras, Punto Fijo.

Procesamiento de los datos

Los datos procesados provienen de las bitácoras de cada una de las embarcaciones de la flota de arrastre, mientras que los valores de producción fueron recolectados de los registros de las planillas de desembarque de las especies de peces y crustáceos (camarones). Los datos fueron digitalizados y procesados para su representación y análisis mediante regresiones. El esfuerzo de pesca fue estimado en base a los días de ausencia del puerto base, lo cual es muy cercano al tiempo efectivo de pesca por la cercanía del puerto base a la zona de pesca. El análisis se hizo mediante representación en una gráfica histórica y para un mejor resultado, los periodos que resultaron, fueron separados en gráficas individuales para cada período histórico en las cuales se comparaban simultáneamente la captura, la CPUE y el esfuerzo de cada ciclo o etapa y sus respectivas regresiones.

RESULTADOS

Se aprecia una sincronización en el comportamiento histórico de las curvas de esfuerzo pesquero expresadas en número de buques y días de ausencia del puerto, lo cual refleja que el tiempo efectivo de pesca guarda una estrecha relación (directamente proporcional) con el número de buques que se encontraban operando en un momento determinado (Fig. 3). Se observa un desarrollo considerado explosivo de la flota entre finales de los sesenta y comienzos de los setenta, que luego se vio seguido de contracciones y nuevas expansiones, conformando un comportamiento heterogéneo que será discutido más adelante en asociación con otras variables como la captura y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE).

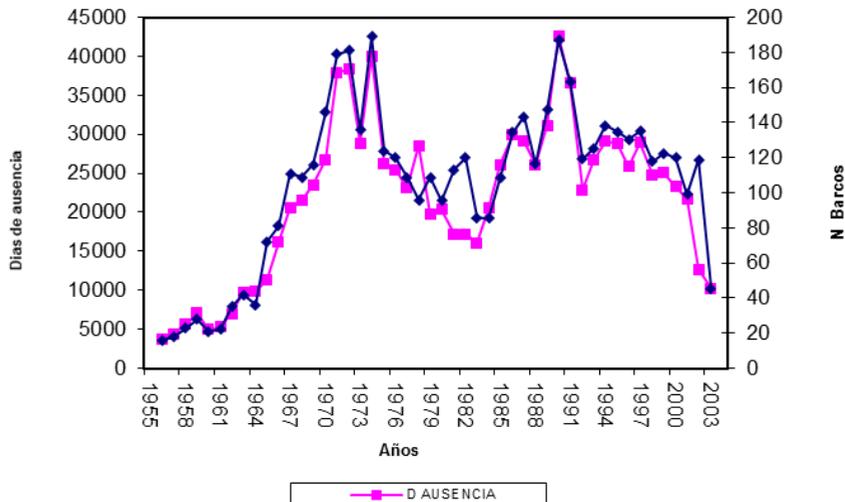


Figura 3. Evolución histórica de la flota de arrastre del Occidente de Venezuela y del Esfuerzo (Días de ausencia)

Evolución de la Pesquería

En la evolución del esfuerzo pesquero y de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en el período considerado (1956-2004), se pueden apreciar cinco períodos secuenciales de desarrollo de esta pesquería: estabilidad, expansión, contracción, expansión y contracción de la flota arrastrera (tomando como base para dicha clasificación el esfuerzo pesquero en días de ausencia del puerto) (Fig. 4). No obstante, la respuesta del recurso pesquero en términos de la captura y de CPUE, fue heterogénea durante dichos períodos.

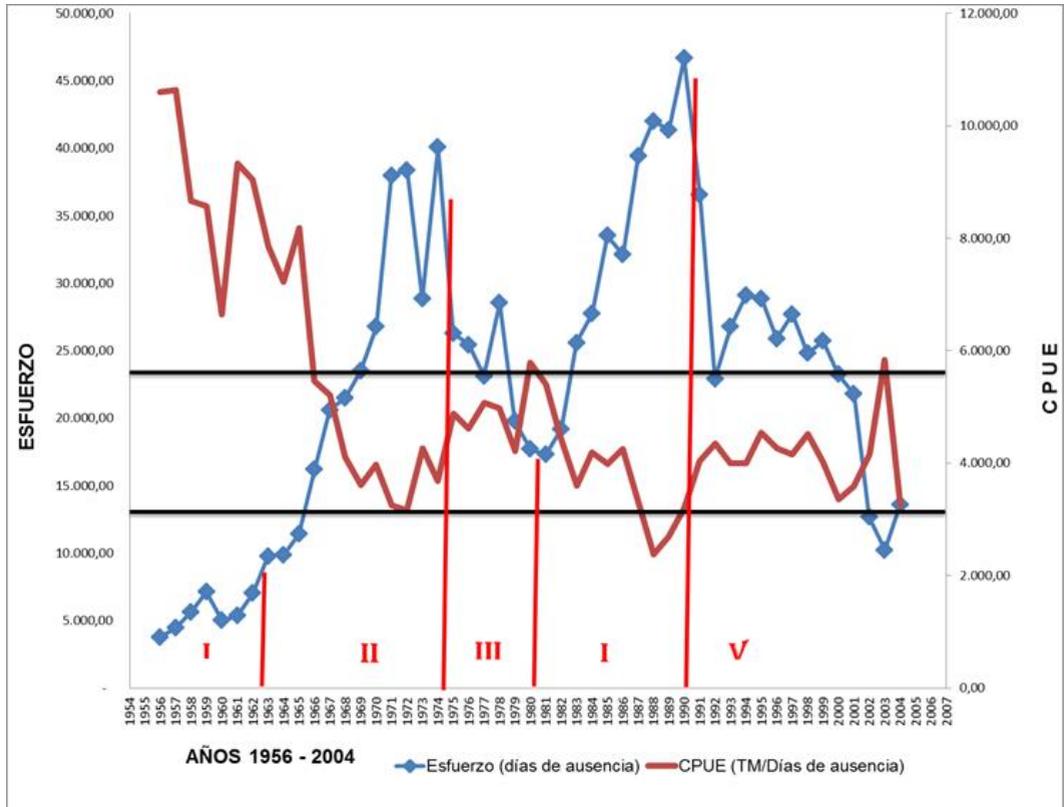


Figura 4. Evolución histórica del esfuerzo y los rendimientos (CPUE) pesqueros de la flota de arrastre del Golfo de Venezuela (1956-2004).

A fin de visualizar de manera más clara estos cambios se construyeron gráficas (Ver Figuras 5, 6, 7, 8 y 9). Antecedentes de esta descripción pueden encontrarse en Novoa *et al.* (1993) y Barreto (2002).

El primer período de expansión de la flota (1956-1962) (Fig. 5), se corresponde con el “período de

subdesarrollo” tipificado por Gulland (1969) y que se caracteriza por el desarrollo incipiente de la pesquería en la medida que los pescadores requieren un tiempo para familiarizarse con las operaciones pesqueras, con los caladeros y zonas de pesca. A esto hay que sumarle el tiempo requerido por los empresarios para conseguir los financiamientos y los astilleros para construir las embarcaciones. Es así que se aprecia un comportamiento irregular en el esfuerzo de pesca con una leve tendencia al incremento del mismo y la respuesta de las capturas guarda una buena correspondencia con este. La CPUE no exhibe una tendencia manifiesta permaneciendo más bien estable. Durante esta etapa los recursos se encuentran sometidos a una baja tasa de explotación.

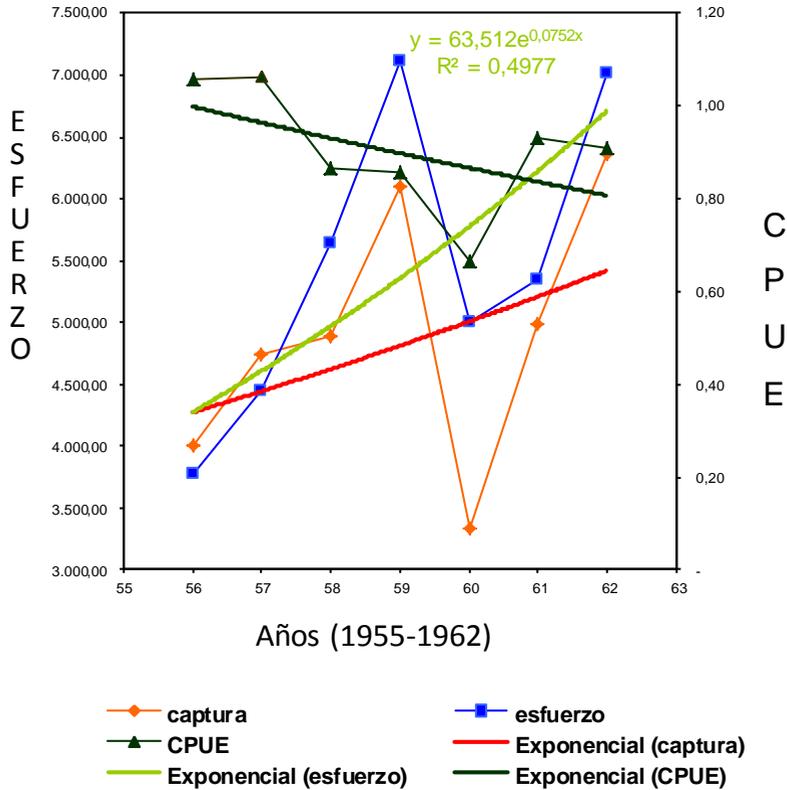


Figura 5. Evolución de la captura, el esfuerzo y la CPUE durante el periodo 1956-1962.

El segundo período (1963-1974) (Fig. 6), se corresponde con la primera expansión de la flota, evidenciándose un incremento exponencial altamente significativo del esfuerzo ($r^2 = 0,908$) a la par de las capturas ($r^2 = 0,794$). Sin embargo, la CPUE tuvo una caída significativa ($r^2 = 0,748$) en el mismo lapso. Estas tendencias exhibidas no hacen sino reflejar el impacto del crecimiento sobredimensionado

de la pesquería sobre el recurso pesquero a tan temprana edad de la pesquería. Es por ello que la CPUE es un mejor indicador de la condición en que se encuentra el mismo, ya que si bien, las capturas vinieron incrementando, lo hicieron a expensas de esfuerzos muy elevados. En esta etapa se muestran evidencias de sobrepesca. La caída de la CPUE fue tan dramática que llevó a una parte de la flota a migrar a la zona oriental de Venezuela en el año 73, evento que puede ser catalogado apropiadamente en la terminología al uso, como el primer colapso de la pesquería.

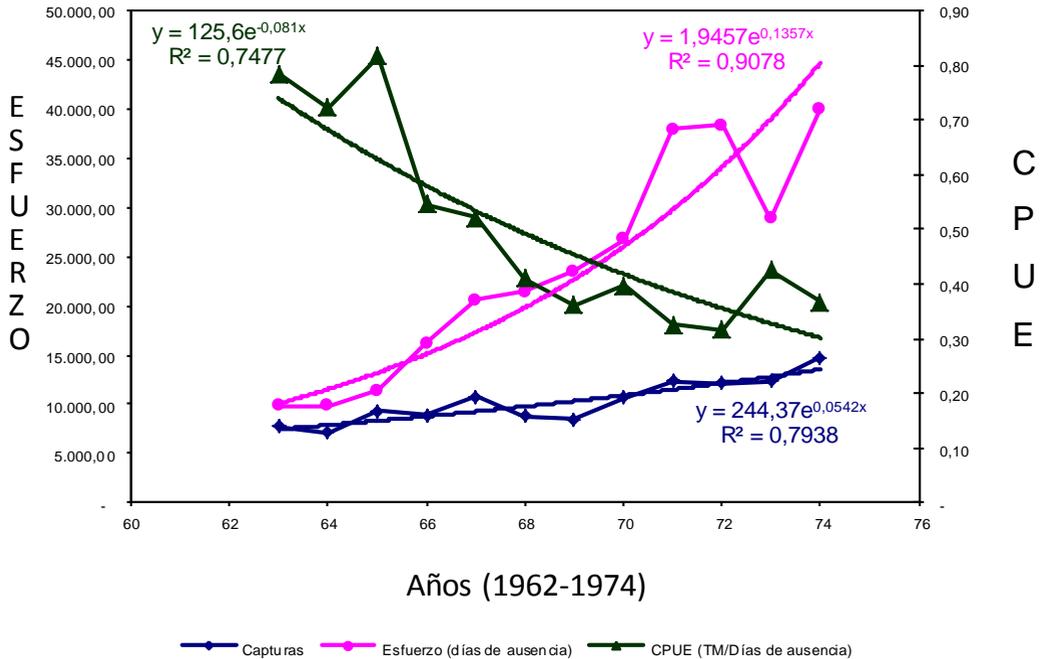


Figura 6. Evolución de la captura, el esfuerzo y la CPUE durante el periodo 1963-1974

En el tercer período (1975-1980) (Fig. 7), la flota experimenta su primera contracción manifestándose la misma en una tendencia a la disminución del esfuerzo aun cuando no fue sostenida (el ajuste es poco significativo). La captura responde de manera previsible a los cambios del esfuerzo (son directamente proporcionales), mientras la CPUE no muestra una tendencia definida o en todo caso cierta estabilidad, lo cual puede interpretarse como una respuesta positiva del recurso en cuanto a que deja de disminuir la CPUE, si bien, la misma no incrementa por la reducción del esfuerzo de pesca (y por ende de la mortalidad por pesca). Esto puede deberse a que la magnitud de reducción del esfuerzo no es lo suficientemente grande y/o constante, y/o que no ha habido suficiente tiempo para que las especies se recuperen de los impactos de la sobrepesca. Es bien sabido, que las respuestas de los stocks a la disminución de la presión pesquera, puede exhibir importantes retratos de manera análoga a lo que

ocurre en la relación depredador-presa, cuando el primero disminuye su población e impacto sobre la segunda.

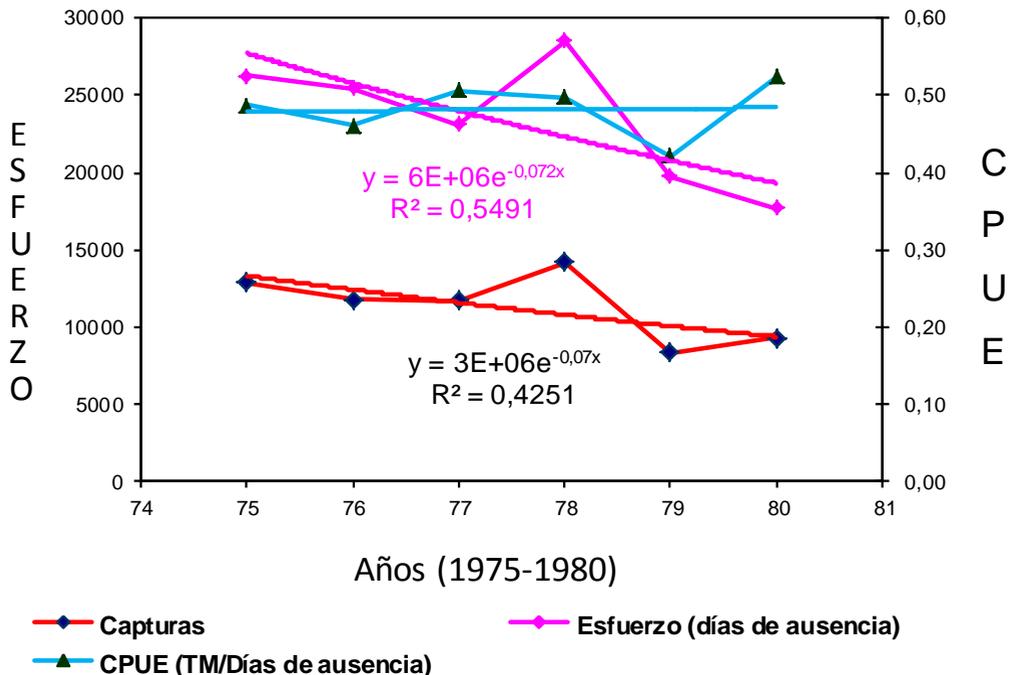


Figura 6. Evolución de la captura, el esfuerzo y la CPUE durante el periodo 1975-1980

Al cuarto período (1981-1990) (Fig. 8), corresponde una nueva expansión, y es considerado un reflejo de la primera etapa de la pesquería, caracterizándose por un incremento sostenido del esfuerzo y en menor proporción de las capturas ($r^2=0,934$ y $r^2=0,648$, respectivamente). La CPUE vuelve a experimentar una tendencia negativa, pero no sostenida y no significativa ($r =0,217$). La explicación del comportamiento de estas curvas puede considerarse análogo al del segundo período.

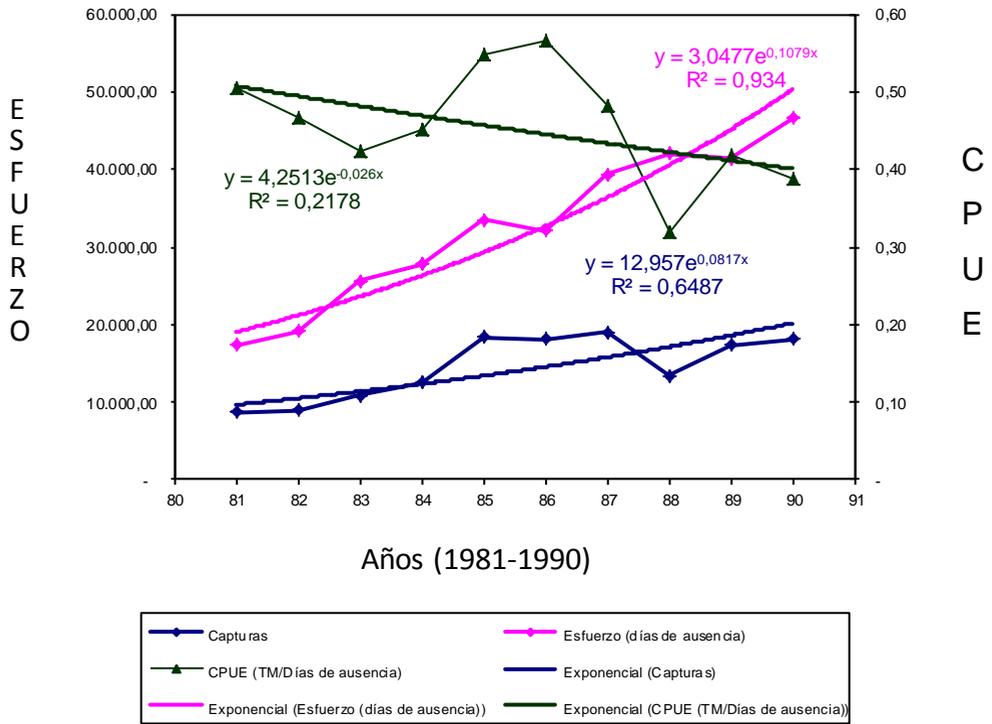


Figura 7. Evolución de la captura, el esfuerzo y la CPUE durante el periodo 1981-1990

En el quinto período (1991-2004) (Fig. 9), se produce una nueva contracción, tanto en el esfuerzo como en la captura, los cuales sufren un descenso significativo ($r^2= 0,759$ y $0,8209$, respectivamente), evidenciándose nuevamente la estrecha correspondencia entre ambas variables. No obstante, la CPUE no muestra una tendencia definida, manteniendo una estabilidad relativa hasta el año 2001, a partir del cual se da un incremento repentino que parece responder a una caída brusca del esfuerzo. Se podría sugerir que al final de esta etapa los recursos estarían respondiendo favorablemente a la disminución de la presión pesquera, a niveles similares a los del comienzo de la pesquería.

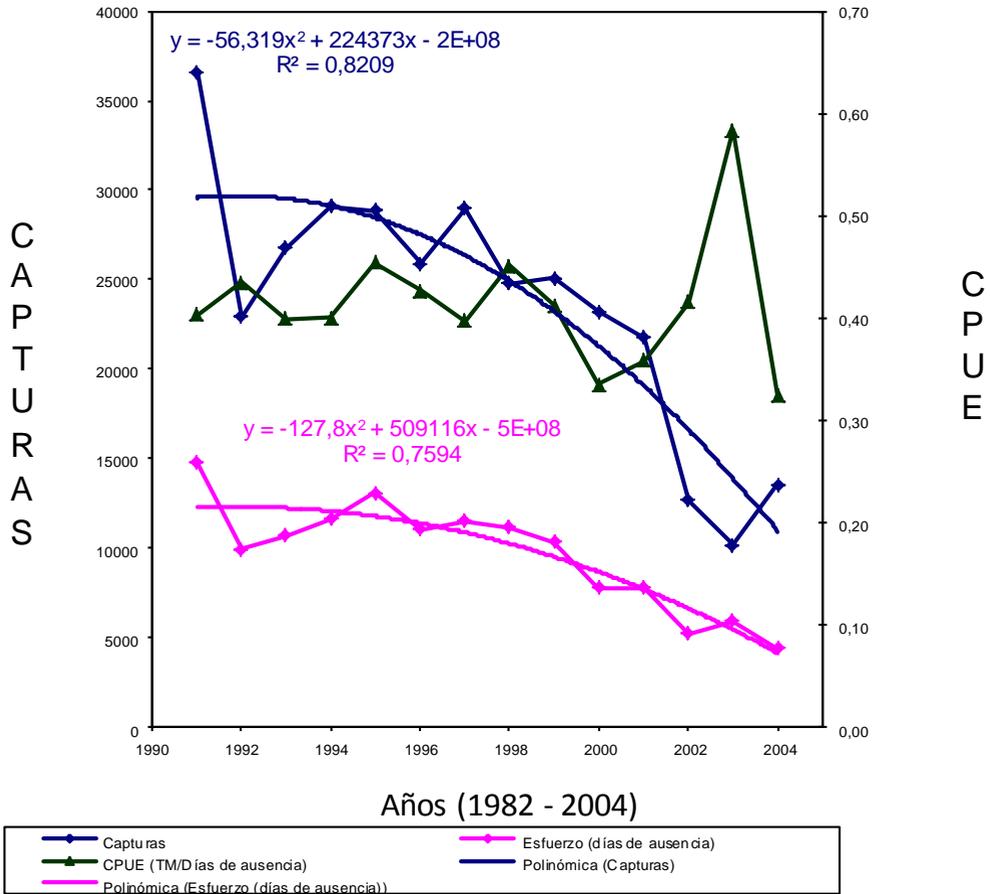


Figura 8. Evolución de la captura, el esfuerzo y la CPUE durante el periodo 1991-2004. Periodo de contracción de la flota.

DISCUSIÓN

Al margen del análisis basado en períodos, si consideramos la totalidad de la serie histórica, lo más importante a resaltar para los efectos de esta descripción, es que cada vez que se ha incrementado “desproporcionadamente” el esfuerzo de pesca, los rendimientos correspondientes han disminuido sensiblemente, lo cual indica que desde finales de los años 60, la CPUE es un buen indicador de la abundancia real del recurso y también es un signo evidente de que la sobrepesca se alcanzó a una temprana fecha del desarrollo de esta pesquería. Adicionalmente, se aprecia que una CPUE que podría calificarse de “óptima”, se mueve dentro de una “banda de esfuerzo” que bien podría oscilar entre los

14.000 y 24.000 días de ausencia (ver Fig. 2), por debajo de los cuales se estaría sub-pescando y por encima sobre-pescando los recursos.

Llegados a este punto, es importante destacar el hecho que la utilización de medidas de esfuerzo sin estandarizar (como las empleadas en el presente análisis preliminar), como el número de embarcaciones y los días de ausencia del puerto, pueden generar inconsistencias cuando son comparadas con las capturas y la CPUE. Esto es debido a que las flotas pueden sufrir transformaciones estructurales y operaciones al modificarse las embarcaciones existentes o construirse nuevas, para, por ejemplo, aumentar su poder de pesca, lo cual en última instancia es considerado un aumento del esfuerzo que no puede ser detectado empleando como indicador los días de ausencia. Se ha evidenciado en la flota de arrastre del Golfo de Venezuela, una tendencia al incremento en el tiempo del poder de pesca de las embarcaciones.

CONCLUSIONES

Al aumentar desproporcionadamente el esfuerzo de pesca, los rendimientos correspondientes se vieron disminuidos sensiblemente, lo cual indica que desde finales de los años 60, la CPUE es un buen indicador de la abundancia real del recurso y también es un signo evidente de que la sobrepesca se alcanzó a una temprana fecha del desarrollo de esta pesquería.

Una CPUE que se podría calificar de “óptima”, se mueve dentro de una “banda de esfuerzo” que bien podría oscilar entre los 14.000 y 24.000 días de ausencia, por debajo de los cuales se estaría SUBPESCANDO y por encima SOBREPESCANDO el recurso (Fig. 4)

La utilización de medidas de esfuerzo sin estandarizar (como las empleadas en este análisis preliminar), como el número de embarcaciones y los días de ausencia del puerto, pueden generar inconsistencias cuando son comparadas con las capturas y la CPUE. Esto es debido a que las flotas pueden sufrir transformaciones estructurales y operaciones al modificarse las embarcaciones existentes o construirse nuevas, con mayor poder de pesca, que no puede ser detectado empleando como indicador los días de ausencia

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a los Técnicos Jesús Mavo, Alexis Naranjo y Amilcar Guariguato quienes participaron en mucho de las faenas de pesca así como la toma de datos durante todos esos años, como personal del Campo Experimental Las Piedras, adscrito al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Falcón. De igual forma a la eliminada Flota Industrial de Arrastre por sus colaboraciones en el suministro de información en su momento.

REFERENCIAS

- Álvarez, R., 1997. Explotación mediante el sistema de arrastre y algunos aspectos biológicos del Roncador *Micropogonias furnieri*, (Desmarest, 1923) (Piscis: Scianidae) en el golfo de Venezuela. Tesis de Maestría. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná. 118 p.
- Barreto, T., 2002. Análisis histórico y tendencias actuales del ordenamiento de la Pesquería de arrastre de fondo en el Golfo de Venezuela. Trabajo de grado. Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”. 124 p.
- Giménez, C., Molinet, R., Salaya, J.J. 1993. La Pesca Industrial de Arrastre. Carirubana. Caracas, Venezuela.
- Gulland, J. A. 1969. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. F.A.O. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- Lundberg H., Brandhorst W., Racca E. 1970. La flota de arrastreros de Venezuela en 1968. Proyecto de investigación y desarrollo pesquero MAC-PNUD-FAO. Informe Técnico N.10. 18p.
- Lundberg, H. 1970. La construcción de barcos pesqueros en Venezuela, 1968/69. Proyecto de investigación y desarrollo pesquero MAC-PNUD-FAO. Informe Técnico N.13. 34p.
- Nacimiento, U., Rojas Cardona, B., 1971. Aspectos económicos de la flota pesquera de Venezuela Proyecto de investigación y desarrollo pesquero MAC-PNUD-FAO. Informe Técnico N.36. 43p.
- Novoa, D. 1990. Resultados de los talleres sobre la pesca en Venezuela. Análisis de la situación de la industria pesquera del atún en Venezuela durante el período 1988 – 1989. Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas, Venezuela. pp. 9-23.



Influencia de las actividades antrópicas en el manejo de la pesquería de langosta en la zona norcentral de Cuba

Influence of anthropic activities on the management of the lobster fishery in the north-central zone of Cuba

Susana Cobas, Rafael Puga

Centro de investigaciones Pesqueras (CIP), La Habana, Cuba.

 **Susana Cobas E-mail: susana@cip.alinef.cu**

RESUMEN | La langosta constituye el principal recurso pesquero de Cuba, una de las áreas de pesca de éste es la zona norcentral. El objetivo de este trabajo consistió en estudiar las interrelaciones existentes entre las principales actividades humanas y el manejo de la pesquería de langosta en la zona. Se empleó la información de las actividades socio-económicas que tienen incidencia en la zona costera, mediante los indicadores de la producción mercantil en miles de pesos y el número de trabajadores por sectores de la economía, además fue útil la técnica de observación participante. Se obtuvo un índice de la pesca de la especie en la zona, para lo que se dispusieron de las series de captura y de captura por unidad de esfuerzo de la Empresa Pesquera Industrial de Caibarién y la información de la langosta decomisada. Los factores antrópicos analizados fueron la capacidad de represamiento y la actividad turística, esta última a partir de la extensión de los viaductos en km y de la capacidad hotelera en cantidad de habitaciones. Las principales actividades socio-económicas identificadas fueron en primer lugar la agricultura, ganadería, pesca y silvicultura, en segundo lugar, la industria manufacturera y en tercer lugar el turismo, estas impactan directamente sobre la zona costera mediante la degradación de los ecosistemas costeros, la fragmentación de los hábitats y paisajes, así como la pérdida o disminución local de especies. La pesca ilegal de la langosta, una nueva variable antrópica, constituye una alarma para el manejo del recurso, la cual debe tener consecuencias al aplicar los planes de captura de las empresas que se dedican a esta pesquería.

Palabras clave: Actividades antrópicas, langosta, pesquería, manejo.

ABSTRACT | The lobster constitutes the main fishing resource of Cuba, one of the fishing areas of this one is the north-central zone. The objective of this work was to study the interrelationships between the main human or anthropic activities and the management of the lobster fishery in the area. The information on the socio-economic activities that have an impact on the coastal zone was used, through the indicators of commercial production in miles of pesos and the number of workers by sectors of the economy, in addition to the participant observation technique was useful. An index of the fishing of the species in the area was obtained, for which the series of catch and catch per unit of effort were available from the Caibarien Industrial Fishing Company and the information on the seized lobster from the National State Inspection Office. The anthropic factors analyzed were the damming capacity and the tourist activity, the latter based on the extension of the viaducts in km and the hotel capacity in number of rooms. The main socio-economic activities identified were firstly agriculture, livestock, fishing and forestry, secondly the manufacturing industry and thirdly tourism, these directly impact the coastal zone through

the degradation of coastal ecosystems, the fragmentation of habitats and landscapes, as well as the local loss or decline of species. The illegal fishing of lobster, a new anthropic variable, constitutes an alarm for the management of the resource, which should have consequences when applying the capture plans of the companies that are dedicated to this fishery.

Keywords: Anthropic activities, lobster, fishery, management.

INTRODUCCIÓN

La langosta constituye el principal recurso pesquero del país, siendo la zona norcentral de Cuba, una de sus áreas de pesca. Dicha zona adolece de un estudio integral de las pesquerías de langosta y de cada una de las actividades que se relacionan con esta. A partir de 1987 esta zona ha experimentado un descenso paulatino en los volúmenes de captura.

Puga *et al.* (2009 y 2015) analizan el estado de la población de langosta en la zona norcentral de Cuba, donde las capturas del recurso han descendido sostenidamente pasando de 11.565 t en los años 1980's como promedio hasta la actualidad que oscila alrededor de las 4.800 t a nivel nacional, en estos estudios se han incorporado factores climáticos y antrópicos, concluyendo que en el ASC, los factores antrópicos que han contribuido a la reducción de los volúmenes de pesca, tanto de langosta como de otras especies son: la sobrepesca, el represamiento, el desarrollo turístico y la pesca ilegal.

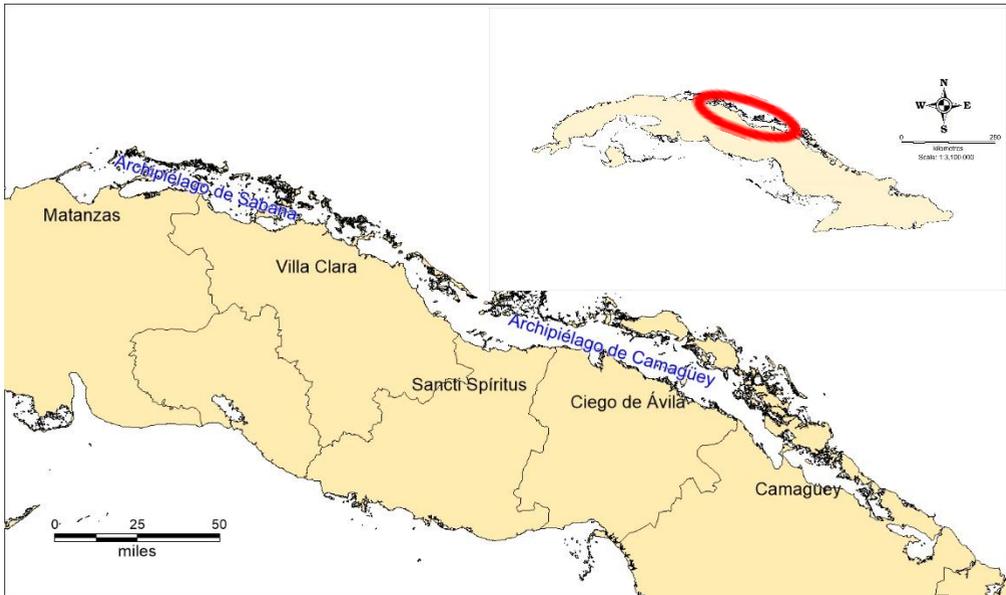
Por tanto, se determinó explorar los factores que muestran cómo las actividades antrópicas impactan, de forma negativa, en la calidad del hábitat donde transcurren las fases juvenil y adulta de *Panulirus argus*. Para realizar un correcto manejo de la pesquería del recurso en esta área, deben concebirse otras actividades económicas que allí se desarrollan: como los viaductos del Ecosistema Sabana Camagüey, la capacidad hotelera, los principales embalses, o sea, se debe analizar la pesquería de langosta y cualquier acción antrópica que se relacione con la misma, tal como la pesca ilegal, de la cual no existe un estudio de su comportamiento en la zona ni en el país en general.

El objetivo general de la presente investigación fue estudiar las interrelaciones existentes entre las principales actividades humanas y el manejo de la pesquería de langosta en la zona norcentral de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende la zona norcentral de Cuba, la misma abarca la vertiente o cuenca hidrográfica norte de cinco provincias, estas son: Matanzas, Villa Clara, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey, además del Ecosistema Sabana Camagüey (ESC) (Fig. 1), el cual ocupa el archipiélago con el mismo nombre y su plataforma submarina, la Zona Económica Exclusiva del océano adyacente

y las cuencas hidrográficas asociadas (Claro, 2007; Alcolado y García, 2007).



 Zona Norcentral de Cuba

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio.

Se utilizó la información de las actividades socio-económicas, obtenida de anuarios estadísticos de Cuba. Los indicadores que se emplearon fueron la producción mercantil en miles de pesos y el número de trabajadores por sectores de la economía, para el período 2007- 2014 en ambos casos.

La información utilizada referente a las series de captura (t) y de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) (kg/día pesca) de la pesquería de langosta, fue la correspondiente a la Empresa Pesquera Industrial de Caibarién (EPICAI), la cual corresponde a la zona de estudio y las proporcionó el Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA), quien organiza y controla la producción de las empresas pesqueras de Cuba. Los datos comprendieron el período 1972 - 2014.

Se estimó la captura ilegal (C_I) asumiéndose que existe una proporcionalidad con la captura decomisada (C_D), cifra que se obtuvo a partir de la Oficina Nacional de Inspección Pesqueras (ONIE), donde la C_D representa el 10% de la C_I (Pedro Linares Kindelán, comunicación personal). Entonces la relación entre ambas variables sería:

$$C_I = (100/10) * C_D$$

La extracción ilegal de langosta del periodo 1996 – 2014 se estimó a partir de las cantidades en toneladas (t) de la especie, decomisadas por la Oficina de Inspección Estatal (ONIE) del MINAL.

Para obtener estimados de la captura total de la zona, se tuvo en cuenta la siguiente expresión:

$$C_T = C_O + C_I$$

Dónde: C_T es la captura total estimada, C_O es la captura oficial reportada y C_I es la captura ilegal calculada, expresada en toneladas.

Luego, la CPUE oficial es:

$$CPUE_O = C_O / f_O$$

Dónde: $CPUE_O$ es la captura por unidad de esfuerzo oficial (kg/día pesca) y f_O es el esfuerzo oficial (días pesca).

Los valores de capacidad de represamiento (hm^3) históricos para el período 1972-2014, fueron provistos por el Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEAH) del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

Para cuantificar la actividad turística se determinó seleccionar dos variables relacionadas con esta actividad:

(1) Los valores históricos de la extensión de los viaductos en km, desde su inicio de construcción en 1986 hasta 2014, para lo cual se tomó como base el Atlas Oceanográfico (Fernández-Vila y Chirino-Núñez, 1993) y luego se completó la serie.

(2) La capacidad hotelera cuantificada a partir de la cantidad de habitaciones existentes en los hoteles, para el periodo desde 1992 hasta 2014. Dicha información está disponible en sitio oficial de internet Hotelopia, en la sesión de jardines del rey.

RESULTADOS

El análisis de estos municipios en el Anuario estadístico 2014 y 2015, permitió conocer las principales actividades económicas que se desarrollan en la zona de distribución de la langosta en el territorio que abarca la zona de estudio. Como se muestra en esta, existen tres grupos principales de actividades de la zona, los cuales son:

1. agricultura, silvicultura, caza, pesca, este grupo en ocasiones en vez de pesca aparece como ganadería.
2. industria manufacturera.
3. como otras actividades de la zona aparecen el comercio, hoteles y restaurantes, que en el caso de Esmeralda en Camagüey es deporte y turismo.

El panorama de la pesquería oficial de la zona muestra que la captura alcanzó su máximo valor en 1987, con 2.538 t, luego ocurre un período prolongado de anomalías negativas como muestra de una disminución de la abundancia del recurso y de su reposición, a pesar de que se han tomado medidas de manejo, al irse reduciendo paulatinamente el esfuerzo pesquero, el cual se encontraba en el año 2000 en 11.749 días y actualmente se encuentra en 3.774 días, de manera tal que actualmente representa sólo el 41% del que se aplicaba en la década de 1970, hasta la captura llegar hasta un valor de 255 t en el 2014. Para el caso de la CPUE se aprecia que sus máximos valores ocurrieron en la década de 1980, cuando estos se encontraron en los 237 kg/día pesca y que actualmente se encuentra en los 112 kg/día pesca (Fig. 2).

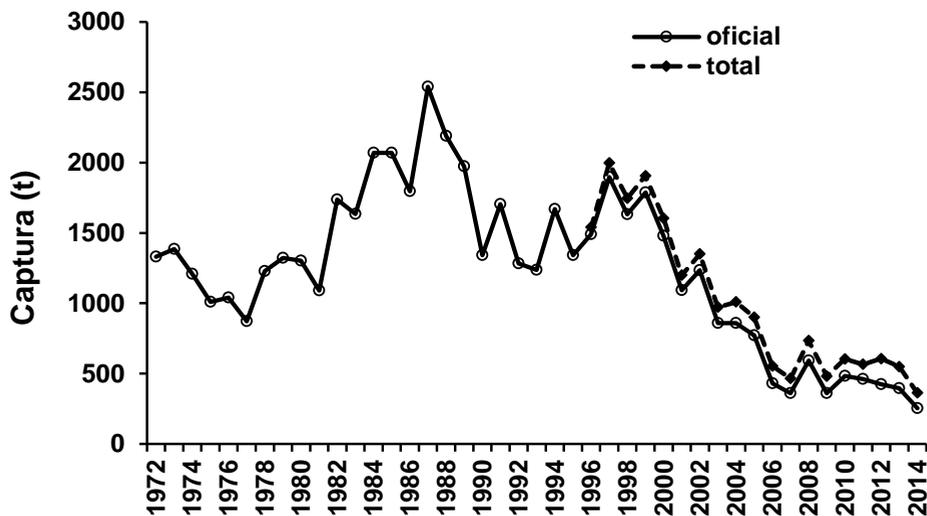


Figura 2. Anomalías estandarizadas de las capturas, esfuerzo y CPUE de la pesquería de langosta desde 1972-2014 en la zona norcentral de Cuba.

A través de la serie de captura oficial y la captura total del área se observa que la captura total no cambia el comportamiento de la captura en la zona, pasando de 1.540 t en 1996 a 362 t en 2014 (Fig. 3).

Influencia de actividades antrópicas en el manejo de la langosta

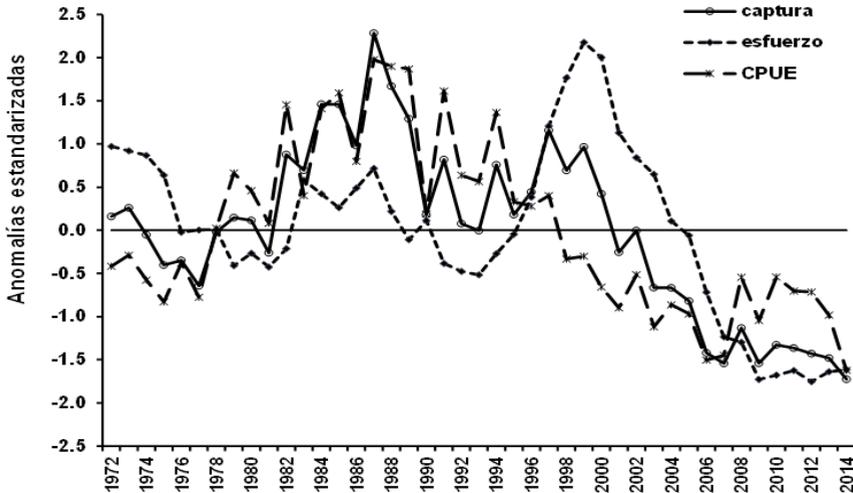


Figura 3. Captura oficial y total de la langosta desde 1972 – 2014 en la zona norcentral de Cuba.

El esfuerzo pesquero total para la langosta continúa siendo mínimo en relación con los reportados en los records históricos de la zona, siendo en el 2014 el esfuerzo oficial 3.774 días pesca y el esfuerzo estandarizado 5.356 días pesca, después de haber estado como promedio por los 12.000 días pesca en 1998 (Fig. 4).

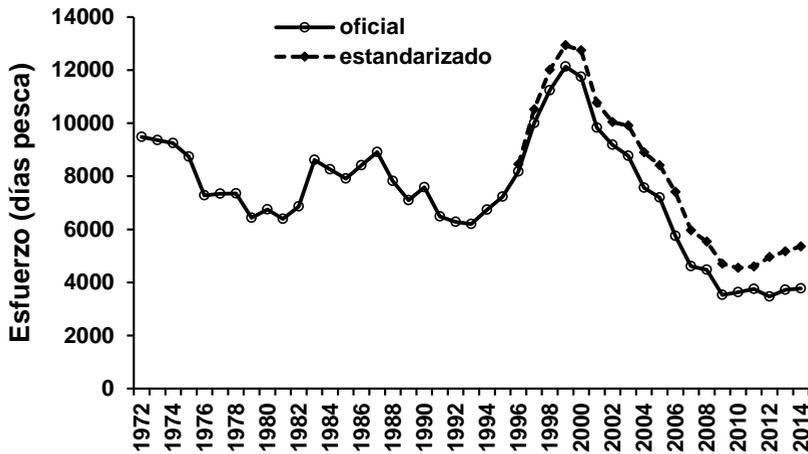


Figura 4. Esfuerzo oficial y estandarizado de la pesquería de langosta desde 1972 – 2014 en la zona.

En el caso de la CPUE estandarizada (143 kg/día pesca), aunque resulta superior a la CPUE oficial (120 kg/día pesca) como promedio para todo el período, no se acerca al nivel de la CPUE oficial en los años 1980's, cuando oscilaba alrededor de los 260 kg/día pesca. O sea, en este caso la abundancia del

recurso langosta, aun cuando se estime a partir de los datos de captura total, continúa siendo notablemente baja en comparación con la CPUE oficial de un largo y continuado período entre 1978 y 1995. Solamente durante un corto período entre 2008 y 2013, la CPUE estandarizada (157 kg/día pesca) sería superior a la oficial obtenida antes de 1977 (133 kg/día pesca) (Fig. 5).

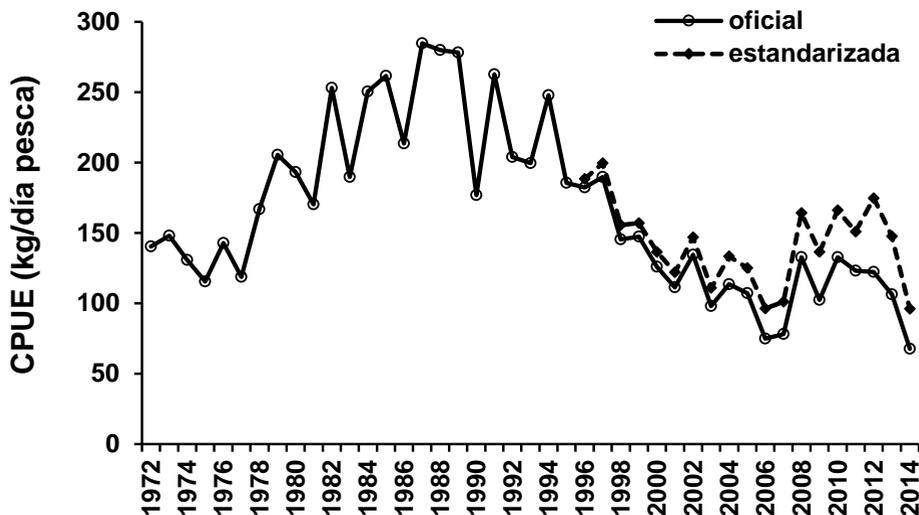


Figura 5. CPUE oficial y estandarizada de la pesquería de desde 1972 – 2014 en la zona norcentral

Para concluir el análisis de la captura, se compararon la captura oficial, la captura total y la captura total estandarizada, confirmándose que, con las dos variantes empleadas en este trabajo, para estimar la cantidad de langostas que se extraen, se ha producido una considerable disminución de la captura, que no se explica solamente por el efecto de la pesca ilegal, ya sea teniendo en cuenta diferentes niveles posibles de esfuerzo, de abundancia, o de ambos factores combinados.

Como se señaló anteriormente, el año en que más se pescó langosta en el área fue en 1987 con alrededor de 2.500 t de captura oficial, en el 2014 esta fue de 255 t, mientras que la captura total dio un valor de 362 y la captura total estandarizada resultó 514 t, que, a pesar de estar por encima de la oficial, ni siquiera se aproxima a la época de máximos valores de captura de langosta. Durante los últimos cinco años (2010-2014) la captura total estandarizada ha tenido como promedio el valor de 719 t (Fig. 6).

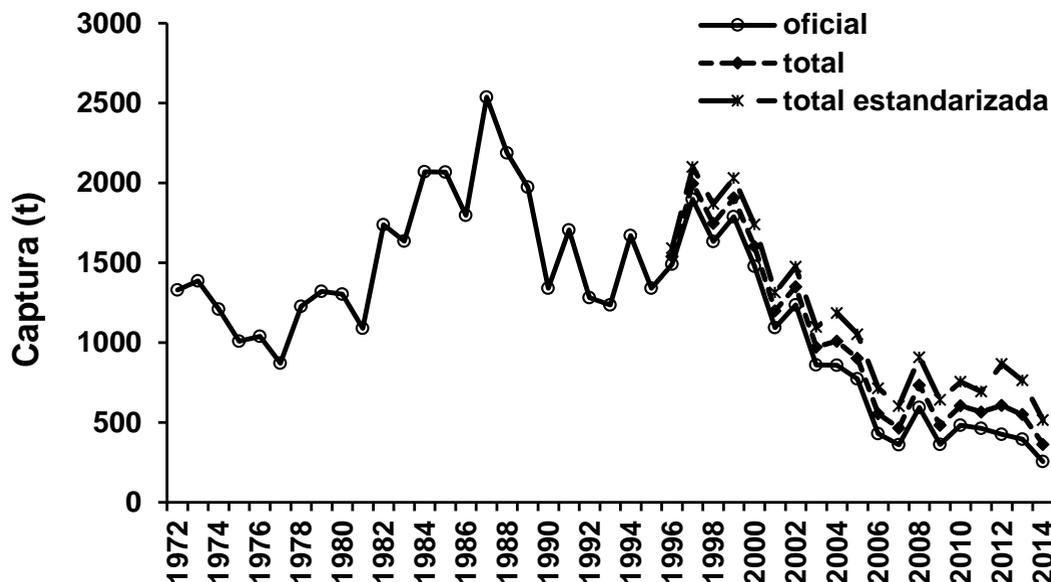


Figura 6. Captura oficial, total y total estandarizada de la langosta desde 1972 – 2014 en la zona norcentral de Cuba.

Cuando se analiza el comportamiento de las anomalías de otros factores antrópicos independientes de la pesquería: la evolución en el área del represamiento (capacidad de agua embalsada), el desarrollo sostenido de la construcción de viaductos hasta 1991 y el aumento progresivo de la capacidad hotelera; se observa, todas las variables se encuentran en aumento, en el caso de los viaductos y los embalses crecen hasta el 1991, pero después continúan actuando hasta la actualidad. En el caso del número de habitaciones como medida de la actividad turística ha ido en aumento. La suma de todas estas variables, actúan sobre un medio que se encuentra susceptible y sobre los recursos que existen en ella, el reclutamiento de la langosta, que es un recurso más dentro de esta área, tiende a tener anomalías negativas a partir de 1996, lo que da una alarma de que las acciones que se realizan y han tenido lugar allí, han incidido en este (Fig. 7).

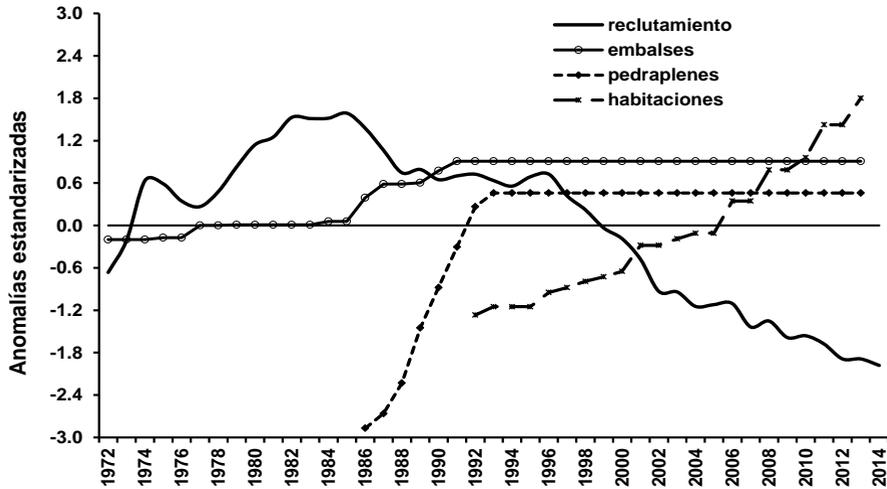


Figura 7. Anomalías de los factores antropogénicos analizados desde 1972 – 2014 en la zona norcentral.

DISCUSIÓN

El sector agropecuario forestal interviene de forma directa en la zona costera del ASC por la cercanía que tienen sus acciones al mar, como plantean, lo que influye en la contaminación del área a través de la deposición de sedimentos, disminución de la transparencia por la cantidad de materia orgánica que genera, así como desarrollo de procesos de eutrofización, destrucción de las formas de vida bentónicas por el uso de plaguicidas e incorporación de gérmenes patógenos, todo lo cual afecta la integridad de los pastos marinos y su biota asociada, lo cual disminuye su productividad biológica y pesquera (Ramírez-Baffi *et al.*, 2007 y Montalvo *et al.*, 2008).

Alcolado *et al.* (1999 y 2007a) y Fernández y Pérez (2009) señalan que las actividades industriales del ASC se realizan en ciudades y pueblos costeros (tenerías, fábricas de muebles metálicos, acumuladores, fertilizantes y materiales de construcción, entre otros). La influencia negativa de las industrias en la zona costera radica en la deposición de las aguas residuales, ya que como apuntan González-Díaz (2015) y Montalvo *et al.* (2008), los residuales de las aguas industriales y domésticas constituyen en Cuba la causa principal de contaminación orgánica de las costas.

El turismo, como otra actividad antrópica ha ocasionado cambios en la zona y en el hábitat y los ecosistemas marinos. Alcolado y García (2007), Martínez-Daranas (2015), Menéndez *et al.* (2015), apuntan que estos han ocasionado en los cayos del ASC: construcción de las infraestructuras para el desarrollo del turismo de sol y playa en algunos cayos los cuales son territorios de alta sensibilidad ecológica y por ende muy frágiles y vulnerables, modificaciones y fragmentaciones de hábitats y

paisajes, pérdida o disminución local de especies, introducción de fauna y flora exótica, deforestación, además, retroceso de la línea de costa, daño que también ha originado la limpieza mecanizada de las playas.

La pesca es como ya se planteó, otra actividad importante de la zona, la cual, según un conjunto de autores (González *et al.*, 2007; Martínez-Daranas *et al.*, 2007; Obregón *et al.*, 2007; Alcolado *et al.*, 2015), ocasiona perjuicios con artes de pesca nocivos, disminución de la biomasa foliar y la densidad de haces (racimos de hojas) de los pastos marinos con el respectivo deterioro del hábitat de muchas especies de interés económico, pesca fantasma de algunos peces como loros y barberos en detrimento de los arrecifes coralinos, entre otros. La eliminación de los tranques (Res. MINAL No. 30/2008) y de los chinchorros de arrastre de fondo (Res. MINAL No. 503/2012) han constituido medidas que se han tomado muy eficaces en la protección de estos ecosistemas costeros en Cuba.

La langosta en la zona de estudio estuvo bajo efectos de sobrepesca durante siete años entre 1997 y 2003, actualmente se encuentra en estado de plena explotación con un nivel precautorio acorde al escenario actual de condiciones desfavorables (Morales, 2014; Morales *et al.*, 2015).

Las cifras de captura ilegal, aunque no arrojan resultados que expliquen la disminución actual de la captura en comparación con años anteriores, sí produce una alarma en cuanto al manejo del recurso langosta en Cuba. En reuniones sostenidas con los tomadores de decisiones pesquería de langosta del país, estos concuerdan con que esta actividad ilegal está ocasionando daños a la economía y que deben trabajar de conjunto todas las entidades implicadas para erradicarla.

Según las evaluaciones de la pesquería realizadas hasta ahora sin tener en cuenta la pesca ilegal (Morales *et al.*, 2015; Puga *et al.*, 2015), la situación actual no se caracteriza por estado de sobrepesca, gracias al sistema de manejo de la pesquería estatal, pero debido al efecto que produce la pesquería ilegal, se debe aumentar el nivel de precaución y se deben tener en cuenta estas capturas ilegales para que el recurso no caiga en estado de sobrepesca, ya que pudiera estarse sobrepasando en realidad la captura máxima permisible.

Los resultados obtenidos muestran que se deberá incorporar en los modelos de evaluación la pesca ilegal de langosta, ya que el no tenerla en cuenta podría implicar que el grado de explotación estimado resulte menor al real.

El valor obtenido de la captura total estandarizada, 719 t como promedio, significa que como caso extremo, la captura total no reportada de la zona pudiera representar hasta el 44% de la captura total real, valor que se encuentra muy por encima del 23%, que constituye un estimado de pesca ilegal a nivel

mundial como promedio (Agnew *et al.*, 2009). Las cifras de captura ilegal, produce una ALARMA en cuanto al manejo del recurso langosta en Cuba.

CONCLUSIONES

Las principales actividades socio-económicas de la zona norcentral de Cuba identificadas fueron en primer lugar la agricultura, la ganadería, la pesca y la silvicultura, en segundo lugar la industria manufacturera y en tercer lugar el turismo. Estas impactan directamente sobre la zona costera mediante la degradación de los ecosistemas costeros, la fragmentación de los hábitats y paisajes y la pérdida o disminución local de especies.

La pesca ilegal de la langosta, como nueva variable antrópica incluida en el análisis del estado de la pesquería, constituye una alarma en cuanto al manejo del recurso en Cuba, principalmente en esta zona donde su incidencia es considerable. El represamiento y la disminución de las precipitaciones, han afectado los valores de salinidad y nutrientes de la zona costera, todo lo que ha incidido negativamente sobre los pastos marinos y la población de langosta en esta zona.

La actividad turística ha ocasionado incidencias negativas en el recurso langosta, fundamentalmente a través de los viaductos, provocando cambios físicos en las aguas y la vegetación y constituyen barreras físicas al desarrollo del ciclo de vida de la especie.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto “Manejo y Conservación de los Recursos Pesqueros de Cuba” y se requiere su ejecución, por la necesidad de garantizar el uso sostenible y la conservación del más importante recurso pesquero cubano. Se agradece a la subdirección de pesquerías, por su infinito apoyo y todas las orientaciones de las personas que me orientaron, aconsejaron y enseñaron, entre ellos a Fabián Pina Amargós, a Roberto Piñeiro Soto y a María Estela de León.

REFERENCIAS

- Agnew D.J., Pearce J., Pramod G., Peatman T., Watson R., Beddington J.R., and Pitcher T.J. (2009). Estimating the worldwide extent of illegal fishing. *PLoS One* 4(2): e4570. DOI: [10.1371/journal.pone.0004570](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004570)
- Alcolado P.M. y García E.E. (2007). Ecosistema Sabana Camagüey. En: Alcolado P.M., García E.E. y Arellano-Acosta M.E. Editores. Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad, Academia, La Habana: 3-6.

- Alcolado P.M., García E.E. y Espinosa N. Editores. (1999). Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el Ecosistema Sabana-Camagüey. Proyecto GEF/PNUD Sabana-Camagüey CUB/92/G31, Instituto de Oceanología, La Habana, Cuba.
- Alcolado P.M., García E.E. y Arellano-Acosta M.E. Editores. (2007a). Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad, Academia, La Habana.
- Alcolado P.M., Claro R y Valle S. (2015). Arrecifes coralinos: por la pesca, el turismo y la protección de las costas. En: Menéndez Carrera, L., Arellano Acosta, M., Alcolado, P.M. Editores. ¿Tendremos desarrollo sin conservación de la biodiversidad? Experiencias del Proyecto Sabana Camagüey en paisajes productivos. La Habana: Editorial AMA: 154-163.
- Claro, R. Editor. (2007). La Biodiversidad marina de Cuba (CD-ROM), Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-298-001-3.
- Fernández A. y Pérez R. Editores. (2009). Evaluación del medio ambiente cubano GEO Cuba 2008. CITMA/PNUMA. ISBN: 978-959-300-002-4. Disponible en: <http://www.ama.cu>. La Habana, Cuba.
- González S., Cantelar K., Pina F, Alcolado P.M., Jiménez A, Espinosa J., Hernández J.L. (2007). Estado de los ecosistemas marinos y costeros, y algunas características ambientales y tendencias. En: Alcolado P.M., García E.E y Arellano-Acosta M.E. (Eds). Ecosistema Sabana-Camagüey, estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad. Academia: La Habana: 38-50.
- Martínez-Daranas B., Cano-Mallo M., Perdomo M.E., Clero-Alonso L., Díaz-Larrea J., Guimaraes M., *et al.* (2007). Estado de los pastos marinos. En: Alcolado P.M., García E.E. y Arellano-Acosta M.E. (Eds). Ecosistema Sabana-Camagüey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad, Academia, La Habana: 51-56.
- Martínez-Daranas B. (2015). Protección y aprovechamiento sostenible de los pastos marinos. En: Menéndez Carrera, L., Arellano Acosta, M., Alcolado, P.M. Editores. ¿Tendremos desarrollo sin conservación de la biodiversidad? Experiencias del Proyecto Sabana Camagüey en paisajes productivos. La Habana: Editorial AMA: 146-153.

- Menéndez L., Álvarez A.M. y Guzmán J.M. (2015). Biodiversidad y turismo: mucho más sol que playa. En: Menéndez Carrera, L., Arellano Acosta, M., Alcolado, P.M. Editores. ¿Tendremos desarrollo sin conservación de la biodiversidad? Experiencias del Proyecto Sabana Camagüey en paisajes productivos. La Habana: Editorial AMA: 186-195.
- Montalvo J.F., Martínez-Canals, M.; Perigó, E.; Puentes, O. y García-García, N. (2008): “Fuentes de contaminación de la zona costera de la provincia de Villa Clara, Cuba”, *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 8:154-161.
- Morales O. (2014). Estrategia para la explotación sostenible de la langosta *Panulirus argus* en el Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. [Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Biología Marina con Mención en Ecología Marina]. Universidad de La Habana. Centro de Investigaciones Marinas.
- Morales O., Puga R. y Cobas S. (2015). Estrategia para la explotación sostenible de la langosta *Panulirus argus* en el archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. X Congreso de Ciencias del Mar MARCUBA 2015. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba 16-20 de noviembre de 2015.
- Obregón M.H., Pérez I., Valle S. y Alcolado P.M. (2007). El sector de la pesca. En: Alcolado P.M., García EE y Arellano-Acosta M. Ecosistema Sabana Camagüey. Estado Actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad. Proyecto PNUD/GEF Sabana – Camagüey CUB/98/G 32; CUB/ 99/G 81, La Habana, Cuba: 124-129.
- Puga R., Piñeiro R., Capetillo N., de León M.E. y Cobas S. (2009). Caso de estudio 2: Estado de la pesquería de la langosta espinosa (*P. argus*) y su relación con factores ambientales y antrópicos en Cuba. En: Hernández A., Alcolado P.M., Puga R., Martínez-Daranas B., Fernández-Vila L, Piñeiro R., *et al.* Evaluación de las posibles afectaciones del cambio climático a la biodiversidad marina y costera de Cuba. Archivo del Instituto de Oceanología; 62-89. ISBN: 978-959-298-017-4. <http://www.reduccion.cu/>: 25 pp.
- Puga R., Alzugaray R., de León M.E., Morales O., Cobas L.S. y Piñeiro R. (2015). Evaluación y manejo de la pesquería de langosta en Cuba. Perspectivas para la temporada 2015-2016. Informe técnico de la Subdirección de Pesquerías del CIP. 32pp.
- Ramírez-Baffi A., García E.E., Arellano-Acosta M., Verde M., Galgueras M. y Ramírez A. (2007). Los sectores agrícola, pecuario y forestal. En: Alcolado P.M., García E.E. y Arellano-Acosta M. Editores. Ecosistema Sabana Camagüey. Estado Actual, avances y desafíos en la protección y uso

Influencia de actividades antrópicas en el manejo de la langosta

sostenible de la biodiversidad. Proyecto PNUD/GEF Sabana – Camagüey CUB/98/G 32; CUB/99/G 81, La Habana: 130-133.



Consumo efectivo per cápita de pescado en Ecuador durante el año de la pandemia 2020

Effective per capita fish consumption in Ecuador during the 2020 pandemic year

Ormaza-González Franklin I.^{1,2}, Bobadilla-Córdova Nayiva D.¹, Casa-Pérez Ángeles V.¹, Chuya-Zhangallimba Darwin B.¹, Enderica-Posligua César A.¹, García-Coloma María J.¹, Intriago-Basurto Analía¹, Mendoza-Camino Kelly D.¹, Palate Cagua Jessica A.¹

¹ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL); Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (FIMCM), Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

²Cámara Nacional de Pesquería (CNP)

 Franklin I. Ormaza-González () E-mail: formaza@espol.edu.ec.

RESUMEN | De acuerdo con la FAO, América Latina y el Caribe tienen el menor consumo de pescado per cápita anual del mundo: 9,8 kg por año. SOFIA (FAO) en el estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018, sugiere que para el 2030 existirá un considerable aumento en el consumo total del pescado, alrededor del 33%, incrementando el valor per cápita de 20,3kg en el 2016 a 21,5kg. Esto se pronostica con base en el crecimiento del 24,2% en la producción de pescado por pesca y acuicultura en la región. Ecuador, captura alrededor de 0,715 millones de toneladas de recursos pesqueros. Durante el último trimestre del año de la pandemia 2020, se estudió el consumo efectivo de pescado per cápita anual en 3 de las cuatro regiones del Ecuador, en las ciudades de Ecuador incluidas las dos más pobladas de Ecuador: Guayaquil, y Quito. Se realizaron una serie de entrevistas vía “Microsoft Forms” a través de las redes sociales: Facebook y WhatsApp que son muy populares en estas ciudades; las encuestas estuvieron abiertas hasta 5 días máximo. El nivel de confianza logrado superó el 95% (Galápagos > 90%) con un total de 821 entrevistas. Aparte de consultar el consumo (gramos), se les requirió establecer qué tipo de pescado consumen en preferencia, lugar de adquisición y la forma como se prepara. El consumo promedio (kg/persona/año) por localidad fue: Puerto Baquerizo Moreno (17,72), Portoviejo (11,02), Laurel-Daule (10,14), Balao (24,12), Durán (11,60), Guayaquil (8,98), Quito (10,83) en su orden, con un rango de 10,14 a 24,12 y promedio de 13,48 ± 5,46. La mayoría de las localidades registran un consumo mayor al promedio Latinoamericano, pero siendo Ecuador uno de los mayores exportadores de atún a nivel mundial, y teniendo importantes volúmenes de pesca de otras especies, el consumo per cápita de pescado de los encuestados está por debajo de la media mundial (20,4kg por año). Las especies de mayor consumo fueron: atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) y aleta amarilla (*Thunnus albacares*), seis tipos corvinas (*Sciaenidae* spp.), picudo (*Xiphias gladius*), dorado (*Coryphaena hippurus*) y 4 tipos bagre (entre ellos *Bagre panamensis*), etc. También existe mucho consumo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y otros mariscos. Otro grupo denominado “varias especies” fueron reportadas con menor representación, pero de gran importancia para localidades más pequeñas que pescan en ríos o que consumen especies endémicas, como es el caso de la dica (*Pseudocurimata boulengeri*) en El Laurel (región costa) y el pez brujo (*Pontinus clemensi*) o el ojón blanco (*Xenichthys agassizii*) en Galápagos. A pesar de la enorme variedad de especies pesqueras de Ecuador y enormes volúmenes de captura el

consumo per cápita es menor de lo esperado, probablemente a los hábitos alimenticios, sobre todo de las grandes ciudades donde la comida rápida ha tomado terreno.

Palabras claves: Peces, consumo, per cápita, Ecuador, Guayaquil, Quito, Galápagos.

ABSTRACT | According to the FAO, Latin America and the Caribbean have the lowest annual per capita fish consumption in the world: 9.8 kg per year. SOFIA (FAO) in the State of World Fisheries and Aquaculture 2018, suggests by 2030 there will be a considerable increase in total fish consumption, around 33%, increasing the per capita value from 20.3kg in 2016 to 21.5kg. This is forecast based on the 24.2% growth in fish production for fisheries and aquaculture in the region. Ecuador captures around 0.715 million tons of fishery resources. During the last quarter of the year of the 2020 pandemic, the annual per capita fish consumption was studied in 3 of the four regions of Ecuador in the cities of Ecuador, including the two most populated in Ecuador: Guayaquil, and Quito. A series of interviews were conducted via “Microsoft Forms” through social networks: Facebook and WhatsApp, which are very popular in these cities; the surveys were open up to 5 days. The level of confidence achieved exceeded 95% (Galapagos > 90%) with a total of 821 interviews. Apart from consulting the consumption (grams), they were required to establish what type of fish they consume in preference, place of purchase and the way it is prepared. The average of effective consumption (kg / person / year) by locality was: Puerto Baquerizo Moreno (17.72), Portoviejo (11.02), Laurel-Daule (10.14), Balao (24.12), Durán (11.60), Guayaquil (8.98), and Quito (10.83) in order, with a range from 10.14 to 24.12 and average of 13.48 ± 5.46 . Most of the localities register a consumption higher than the Latin American average, but being Ecuador one of the largest exporters of tuna in the world, and having important volumes of fishing for other species, the per capita consumption of fish of the respondents is far below of the world average (20.4kg per year). The species with the highest consumption were: skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin (*Thunnus albacares*), six types of croaker (*Sciaenidae spp*), sword fish (*Xiphias gladius*), dorado (*Coryphaena hippurus*) and 4 types of catfish (including *Bagre panamensis*), etc. There is also a high consumption of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and other shellfish. Another group of several species were reported with less representation, but of great importance for smaller localities that fish in rivers or that consume endemic species, such as the dica (*Pseudocurimata boulengeri*) in El Laurel and the witch fish –pez brujo (*Pontinus clemensi*) or the white eye (*Xenichthys agassizii*) in Galapagos. Despite the enormous variety of fish species in Ecuador and huge volumes of catch, per capita consumption is lower than expected, probably due to eating habits, especially in large cities where fast food has taken ground.

Keywords: Fish, consumption, per capita, Ecuador, Guayaquil, Quito, Galápagos.

INTRODUCCIÓN

La provisión de proteína animal (recursos pesqueros) en la dieta de las personas es fundamental y básica, ya que contienen componentes proteicos que no están presentes en las especies terrestres como ácidos grasos poli-insaturados como el ácido eicosapentaenoico (Hosom *et al.*, 2012). Recientemente Bennett *et al.* (2021) hacen hincapié en que el pescado, como parte de la alimentación, debe ser una

política de desarrollo social al que se debe dar mucha atención, ya que reduciría significativamente la desnutrición, además de ser un incentivo de desarrollo en el largo plazo y ser una de las metas de la FAO (2020) establecidas en los SDGs (*Sustainable Development Goals*). La FAO (2020) predice que durante la pandemia COVID-19, la malnutrición ha podido llevar 83-132 millones a la malnutrición aparte de los ya existentes 678 millones registrados en el 2018 (FAO et al. 2020). Además, debe tenerse en cuenta que durante el encierro y el confinamiento los hábitos dietéticos habrían cambiado, como informó Knuppel (2021).

Durante la década de los noventa, el crecimiento anual de la oferta de pescado para consumo humano superó el millón de toneladas/año. La contribución de la pesca fue aproximadamente cero, y la acuicultura por sí sola proporcionó cerca de dos millones de toneladas adicionales de pescado comestible cada año (Wijkstrom, 2001). De acuerdo con la FAO, América Latina y el Caribe tienen el menor consumo per cápita del mundo; esto es, 9,8 kg por año (ONU, 2018). Este consumo de acuerdo a la FAO (2020) se refiere a peso vivo nominal de recursos pesqueros. De acuerdo con el estado mundial de la pesca y la acuicultura SOFIA (FAO 2020) por sus siglas en inglés (*The State of World Fisheries and Aquaculture*), para el 2030 existirá un considerable aumento en el consumo total del pescado, alrededor del 33%, incrementando el valor per cápita de 20,3kg en el 2016 a 21,5kg. Esto se pronostica con base en el crecimiento del 24,2% en la producción de pescado por pesca y acuicultura en la región (ONU, 2018).

En este trabajo se analiza el consumo efectivo per cápita de pescado en varias localidades del país, que representan una muestra representativa de Guayas, Manabí, Galápagos, y Quito, durante el año de la pandemia Covid-2019, que se caracterizó por medidas de restricción social, confinamiento y toques de queda, lo que afectó la producción normal de productos pesqueros (pesca y procesos industriales) y facilidades de distribución y adquisición de los productos pesqueros.

METODOLOGÍA

Encuesta digital

El consumo efectivo per cápita en este trabajo es el que se sirve en el plato. La primera fase de esta investigación se centra en la recolección de información, se realizaron encuestas dirigidas a distintos sectores del país que representan 3 de las 4 regiones: Costa, Sierra e Insular (Fig. 1). Como consecuencia del brote mundial del nuevo coronavirus, el distanciamiento social prima; por tanto, la encuesta se realizó vía online mediante la plataforma *Microsoft Forms*® y se difundió a través de las redes sociales como *Facebook*® y *WhatsApp*®.

En la Tabla 1 se resumen las localidades que fueron encuestadas, el número de participantes, el nivel de confianza y el margen de error de los datos obtenidos con base en el tamaño de la muestra poblacional correspondiente. Se encuestaron en total 821 personas, en las ciudades de Guayaquil, Durán, Quito, Portoviejo, en el cantón Balao, en la parroquia rural El Laurel (Guayas) y en las ciudades de San Cristóbal y Santa Cruz, pertenecientes a la provincia de Galápagos.

De acuerdo con la población de cada localidad tomada de la población proyectada para el 2020 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y el número de encuestados, se calculó los niveles de confianza de los resultados obtenidos en las encuestas (*SurveyMonkey*, 2020), los cuales se encuentran entre 90-95%, los resultados detallados con los márgenes de error se detallan en la Tabla 1.



Figura. 1. Ubicación de las localidades donde se realizaron las entrevistas. Fuente: *Google Earth*®

Tabla 1. Localidades y número de entrevistas realizadas, su nivel de confianza y margen de error.

Localidad	Encuestados	Nivel de confianza	Margen de error
Guayaquil	219	95%	6.65%
Durán	34	95%	17%
Quito	360	95%	5.17%
Balao	62	95%	12.50%
Galápagos	18	90%	20%
Laurel	50	95%	13.83%
Portoviejo	78	95%	11.10%
Total	821		

Se formularon preguntas con respuestas escritas y de opción múltiple referentes a:

- características demográficas de los participantes,
- frecuencia de consumo de marisco fresco y enlatado,
- la preferencia en la elección de especies de peces,
- la preferencia en la preparación; y,
- el lugar donde los adquieren.

Estimación de consumo per cápita

Para determinar el consumo anual de pescado por persona se debe traducir la información cualitativa de las encuestas a números significativos reflejantes de la realidad. La frecuencia de consumo semanal y la cantidad de marisco por porción fue información de los participantes que se homogenizó a una frecuencia cuantitativa anual y peso en gramos respectivamente.

Finalmente, el consumo anual de un individuo es el producto de la homogenización de la frecuencia anual y la cantidad de gramos por servicio de marisco, este proceso se repite por cada participante y el resultado total es el promedio de consumo; se hizo uso del programa de cálculo matemático Excel®.

$$CAPC = \frac{\sum_1^n F * C}{n}$$

Donde

CAPC: Consumo per cápita anual

F: Homogenización de la frecuencia anual [-]

C: Cantidad de gramos por porción [g]

n: Números de participantes

Para conocer el consumo en gramos de los consumidores se utilizaron varias estrategias, preguntar directamente a los encuestados que cantidad en gramos consideran que consumen y también se planteó la equivalencia de un filete de 100g con el tamaño de la palma promedio de una mujer, y se preguntó si las porciones de esta proteína consumida son mayores, iguales o menores al tamaño de la palma de la mano. El valor de 100 por filete del tamaño de una palma de mano, puede ser superior, pero se escoge 100 g, debido a que es el peso recomendado.

RESULTADOS

Por localidad

Guayaquil: en Guayaquil se encuestaron 219 personas, las cuales expresaron su preferencia por el

consumo de especies como la albacora, corvina, picudo, dorado y atún, que son los pescados que se encuentran con más frecuencia en los mercados locales y supermercados, que de acuerdo con la encuesta son los lugares donde los guayaquileños prefieren comprar pescado. Se consume con menor frecuencia (menor al 20%), en Guayaquil, otras especies de nombres vernáculos como tilapia (*Oreochromis niloticus*), trompeta (*Aulostomus maculatus*), carita (*Selene peruviana* o sp.), lenguado (*Solea solea*), robalo (*Dicentrarchus labrax*) y otros. El camarón (*Litopenaeus vannamei*) y el cangrejo (*Ucides occidentalis*) son otros mariscos muy populares y consumidos por los guayaquileños. Se calculó que el consumo efectivo per cápita de pescado en Guayaquil es de 8,98 kg/año.

Durán: para el sector de Durán se realizó una encuesta que estuvo 5 días abierta al público y llegó a un total de 34 personas, su resultado fue que se consumen 11,6 kg anuales por persona de mariscos frescos y enlatados. Se encontró que más del 20% de los encuestados comen con más frecuencia corvina y albacora, seguido del dorado y el picudo. Los lugares donde principalmente adquirieron los mariscos los duraneños son tiendas y mercados, en menor medida los supermercados, debido a la cercanía y rápida movilidad. La forma en que más se consume el pescado es frito y apanado, especialmente la mayoría de los jóvenes mencionó su inclinación hacia esta forma de preparación y en menor medida las personas adultas, mayores de 30 años.

Quito: el pescado consumido con más frecuencia en la población encuestada es el atún que tiene un 72,5% de acogida. Un gran porcentaje de los quiteños realiza su compra de pescados y mariscos en mercados y ferias libres existentes en la ciudad, principalmente en el mercado de San Roque que está ubicado en el centro de la ciudad. Otras especies con alto porcentaje de consumo en Quito son la corvina, la tilapia y el picudo, aunque se encontró que no todos los quiteños conocen la especie de pescado que consumen; otras especies de mariscos no enlatados como pulpo (*Octopus vulgaris*), almeja (Familia Mytilidae), albacora (*Thunnus albacares*), camarón, concha (*Anadara tuberculosa*) y cangrejo también se consumen. De la información recolectada se calculó que el consumo per cápita en Quito es de 10,83 kg/año.

El Laurel: en el sector del recinto El Laurel, se realizó la encuesta a 50 personas, en el cual los peces más consumidos en la zona son el barbudo (Familia Tricomycetidae), tilapia, dama (*Brycon alburnus*), dica (*Pseudocurimata boulengeri*), albacora, bocachico (*Ichthyoelephas humeralis*), vieja azul (*Andinoacara rivulatus*), langostinos, rocadador (Familia Haemulidae), guanchiche (*Hoplias* spp.), bagre (Familia Ariidae), raspabalsa (*Plecostomus spinosissimus*). La mayoría consume tilapia, teniendo un porcentaje del 78% de personas que consumen este pez, le sigue la dica y la vieja azul que son muy populares en la zona por su exquisitez. Pocos son los que consumen el bagre y el raspabalsa debido a que casi ya no se encuentran en el mercado. Por otro lado, el 82% consumen sardinas (*Opisthonema* spp.) o atún enlatado (*Thunnus albacares* o *Katsuwonus pelamis*) una vez por semana. La mayoría de las personas consumen alrededor de 100 g de pescado en cada plato. Pero como se consumen dos veces

por semana, se consume aproximadamente 200 g por semana que equivale a 0.2 kg y al año (52 semanas), se calculó entonces que los habitantes del recinto El Laurel tiene un consumo per cápita de 10,4 kg por año.

Balao: según las respuestas obtenidas, el 30,6 % de los ciudadanos de este lugar consumen 3 veces a la semana organismos marinos. También se determinó que el 95,2 % de los encuestados consumen peces, mientras que el 74,2% indicaron que también adquieren crustáceos para su dieta, como el camarón, el cangrejo y la langosta. De acuerdo con los resultados obtenidos en la encuesta, misma que tuvo un alcance de 62 personas pertenecientes a la cabecera cantonal de Balao, se logró determinar que el consumo per cápita de este lugar es de 24,12 kg/año, teniendo en cuenta que a la semana cada encuestado consume un promedio de 0,463 kg de organismos marinos.

Portoviejo: al encuestar a los pobladores de Portoviejo sobre el pescado que más consumen se encontró que el de mayor preferencia es el picudo o pez espada, seguido de la albacora y el dorado (*Coryphaena hippurus*). En esta pregunta la población encuestada tuvo la oportunidad de escoger más de una opción. El lugar de mayor adquisición del recurso pesquero son las tiendas cerca de casa, seguido del lugar de desembarque, mercado y por último supermercados o grandes cadenas de tiendas. Las formas de preparación, que predominaron fueron el pescado frito o apanado, seguido del alimento asado o a la plancha, en tercer lugar, crudo o curtido y finalmente el pescado cocido o al vapor y finalmente, el 97% de la población consume atún o sardina en lata 1 a 2 veces a la semana, mientras la menor parte de 3 a 4 veces. Toda esta información permitió estimar mediante homogenización de frecuencia y el respectivo promedio de la muestra, que el consumo per cápita en esta ciudad es de 11,02 kg/año.

Galápagos: en Galápagos se encuestaron a ciudadanos de varias ciudades del archipiélago, con un total de 18 encuestados. Se encontró que los peces más consumidos en la región son: la albacora, el pez brujo y el guajo (*wahoo*, *Acanthocybium solandri*), y que el consumo per cápita calculado para los galapagueños es de 17,72 kg/año.

Generales

En la fig. 2 se resumen los consumos per cápita que se calcularon para las localidades encuestadas. El valor obtenido en la cabecera cantonal de Balao supera al consumo per cápita mundial (20 kg/año), este valor se ve influenciado debido a que la gran mayoría de las familias balaoences tienen familiares que se dedica a la acuicultura o la captura de organismos marinos, además estos resultados permiten concluir que en este lugar del país el consumo de proteína, vitaminas y minerales, proveniente de los organismos marinos se encuentra superior a las otras zonas estudiadas.

La segunda localidad con más consumo de pescado basa también parte de su economía en la pesca, Galápagos. Le sigue Durán, Portoviejo, Quito y El Laurel, de mayor a menor consumo respectivamente, todos superan el valor promedio mencionado para la región de América Latina (9,8 kg/año), sin embargo, está por debajo del consumo per cápita mundial. Guayaquil, pese a ser una de las ciudades más importantes del país, presentó un consumo por debajo de la media regional.

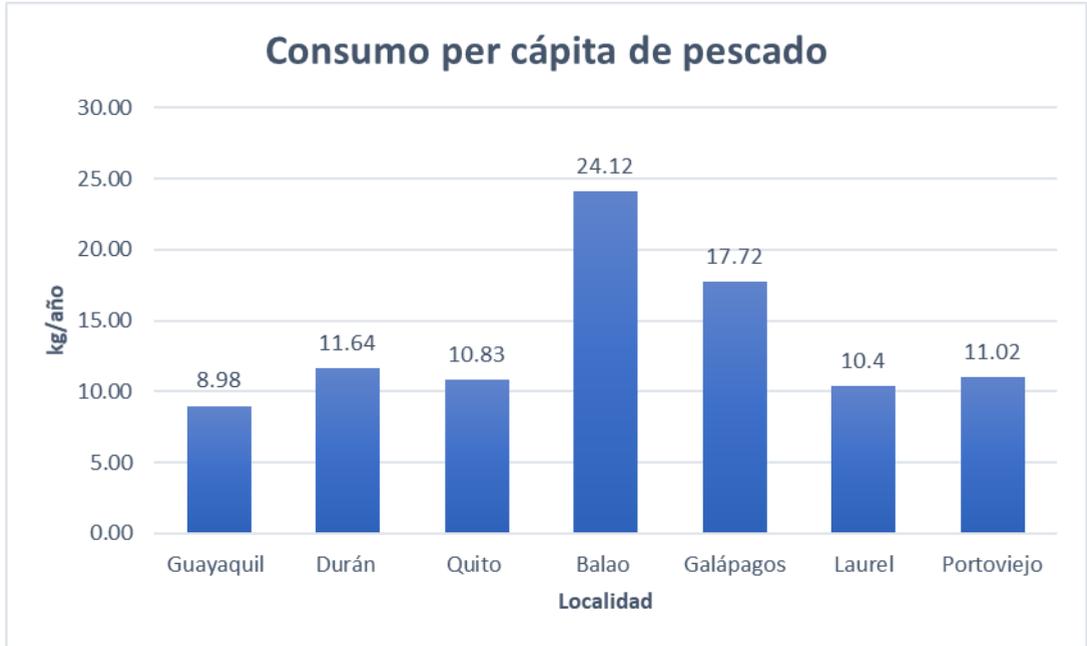


Figura 2. Distribución de consumo per cápita anual por localidad.

Para la fig. 3 se tomaron en cuenta las especies de peces que representaron un consumo mayor al 10% entre los encuestados por localidad; la albacora, corvina, picudo, dorado y bagre fueron las especies más consumidas, seguidas por el atún, la tilapia y la carita. Fueron muchas las especies que encontramos se consumen, con menor representación, pero de gran importancia para localidades más pequeñas que pescan en ríos o que consumen especies endémicas, como es el caso de la dicha en El Laurel y el pez brujo en Galápagos.

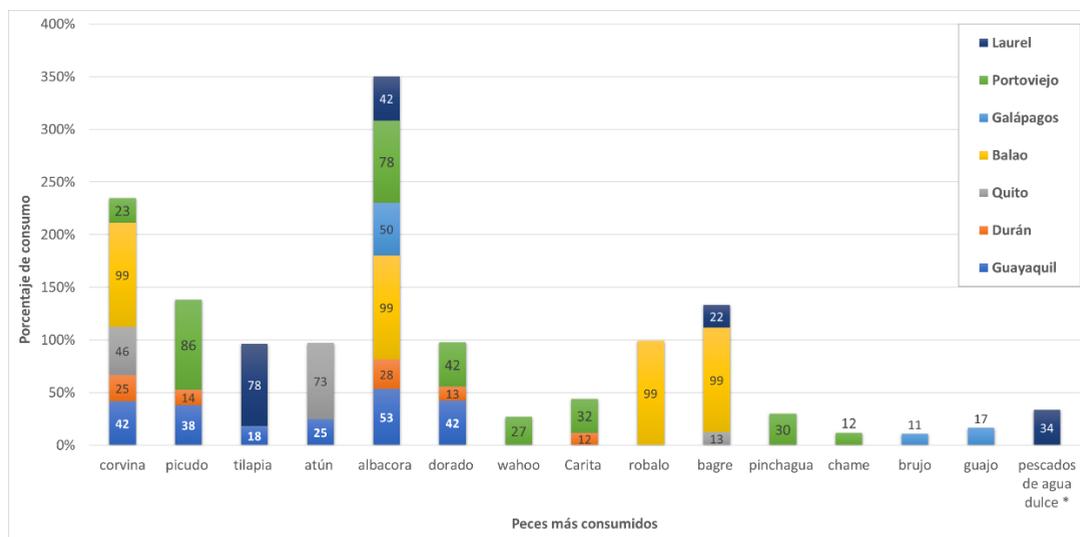


Figura 3. Especies preferidos para consumo.

CONCLUSIONES

En El Laurel, con el transcurso del tiempo en la época de lluvia, la cantidad de peces del río va disminuyendo, en especial los peces raspabalsa, ratón (*Saccodon terminalis* o *Saccodon Wagner*) que también son especies que habitan en el río Pula. Los encuestados concuerdan que el consumo de pescado, sea de agua dulce o salada, es de vital importancia para nuestro cuerpo debido a que es rico en proteínas.

Para Portoviejo, las especies que se encuentran disponibles la mayor parte del tiempo son la albacora, picudo y dorado, a excepción de la pinchagua la cual tiene periodos de veda establecidos. Sin embargo, la forma preferida de consumo no es la más adecuada ya que resta valor nutricional al pescado y adiciona grasas por la forma de preparación.

En la mayoría de las localidades se encontró que el consumo per cápita de pescado estaba por encima de la media Latinoamericana, pero siendo Ecuador uno de los mayores exportadores de atún a nivel mundial, y teniendo importantes volúmenes de pesca de otras especies, el consumo per cápita de pescado de los encuestados está por debajo de la media mundial (20,4 kg por año). Se debe anotar que el consumo efectivo reportado aquí es el servido en el plato. El rendimiento (filete) de las diferentes especies es variable (50-70%), dependiendo de la especie y el tamaño. Igualmente, se debe anotar, que la cabeza (generalmente 30% o más) se usa para cocinar sopas. Es decir las especies pueden ser utilizadas hasta el 90%.

La ONU proyecta un crecimiento del 33% en el consumo total de pescado en la región latinoamericana, lo que concuerda con el sentir de los encuestados, que desean aumentar su consumo de pescado. Si los ecuatorianos desean comer más pescado y tenemos la disponibilidad de la proteína en el país, es esencial que encontremos estrategias o campañas para promover el consumo de pescado en los ciudadanos, esto beneficiaría tanto al sector productor como a la nutrición de los consumidores, de manera particular los niños y jóvenes que sufren una conspicua desnutrición.

Agradecimientos

A las 821 personas entrevistadas que pusieron su tiempo y esfuerzo para responder lo mejor posible las encuestas. A las autoridades de la ESPOL por el apoyo que brindaron. Igualmente a la Cámara Nacional de Pesquerías.

REFERENCIAS

- Bennett, A., Basurto, X., Virdin, J., Lin, X., Betances, S., Smith, M., Allison, E., Best, B., Brownell, K., Campbell, L., Golden, C., Havice, E., Hicks, C., Jacques, P., Kleisner, K., Lindquist, N., Lobo, R., Murray, G., Nowlin, M., Patil, P., Rader, D., Roady, S., Thilsted, S., Zoubek, S. Recognize fish as food in policy discourse and development funding. *Ambio* (2021). <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01451-4>.
- El Diario.ec. (04 de febrero de 2011). El consumo de pescado aún es bajo en el país. Manta, Manabí. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/180730-el-consumo-de-pescado-aun-es-bajo-en-el-pais/>
- FAO. 2020. State of the world fisheries and aquaculture: Sustainability in action. Rome: FAO.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, y WHO. (2020). The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable and healthy diets. Rome: FAO.
- Hosomi R., M. Yoshida y K. Fukunaga. (2012). Seafood Consumption and Components for Health. *Global Journal of Health Science*. 4 (3): 72-86. *Doi:10.5539/gjhs.v4n3p72*
- INEC. (n.d.). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Retrieved from Proyecciones Poblacionales. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Knuppel A. (2020). Diet, lifestyle, and livelihoods during coronavirus disease 2019 (COVID-19) related lockdowns and the value of web-based nutrition studies. *The American Journal of Critical Nutrition*. 2021:1–2. *Doi:https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa408*.

SurveyMonkey. (2020). *SurveyMonkey*. Retrieved from Calculadora del tamaño de muestra.
<https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>

ONU. (2018, julio 9). Noticias ONU. Retrieved from Los latinoamericanos comerán cada vez más pescado- <https://news.un.org/es/story/2018/07/1437452>

Unidas, O. d. (9 de Julio de 2018). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Obtenido de El consumo de pescado en América Latina y el Caribe crecerá un 33% para 2030: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1144411/>.

Wijkstrom U.N. (2003) Fisheries Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Viale delle Terme di Caracalla.



Ciclo reproductivo del gasterópodo *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1825), de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Reproductive cycle of the gastropod *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1815) from the artisanal fishery at Puerto Ángel, Oaxaca, Mexico

Verónica Mitsui Saito-Quezada¹, Isaías Hazarmabeth Salgado-Ugarte¹, Esther Uría-Galicia²

¹Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera, FES Zaragoza, Cd. de México.

²Laboratorio de Histología, Departamento de Morfología, ENCB, IPN, Santo Tomás, Cd. de México.

 Verónica Mitsui Saito-Quezada () E-mail: mitsuisaito@gmail.com

RESUMEN | Se estudió el ciclo reproductivo de 1604 individuos de *Opeatostoma pseudodon* de la pesquería artesanal de Puerto Ángel, Oaxaca, México mediante histología gonadal durante dos años. La proporción de sexos estuvo ligeramente sesgada hacia los machos, que fueron más abundantes de junio a agosto hasta febrero y mayo, cuando las hembras los superaron en número. Los estadios gonádicos fueron: ovogénesis inicial, madurez vitelogénica, madurez, desove y reposo; espermatogénesis, madurez, desove y reposo. El análisis de correlación cruzada mostró retrasos significativos entre el pico de desove y las frecuencias de la etapa de reposo, lo que sugiere que las hembras tardan más en alcanzar la madurez, pero después del desove descansan un mes menos que los machos. Las altas concentraciones de clorofila-a resultantes de los afloramientos de los vientos invernales se correlacionaron de manera significativa y sincrónica con un gran número de organismos maduros. Además, la correlación cruzada mostró que estas altas frecuencias de individuos maduros ocurrieron seis meses después de las temperaturas mensuales más altas (mayo a agosto) durante las más frías (octubre a marzo). Lo contrario fue cierto para la frecuencia de organismos en reposo (alta durante los meses cálidos, baja durante los meses fríos). Debido al estrecho rango de temperatura de los sitios estudiados, la disponibilidad de alimentos parece ser el principal desencadenante del inicio de la reproducción. Esperamos que este estudio proporcione información de reproducción (etapas y tiempos) útil para las propuestas de estrategias de manejo y la evaluación del potencial de la acuicultura.

Palabras clave: Ciclo reproductivo, validación cruzada, temperatura, clorofila, sostenibilidad.

ABSTRACT | We studied the reproductive cycle of 1604 *Opeatostoma pseudodon* individuals from the artisanal fishery at Puerto Ángel, Oaxaca, Mexico through gonadal histology during two years. Sex proportion was slightly biased towards males which were more abundant from June to August until February to May when female outnumbered them. Gonadic stages were: initial oogenesis, vitellogenic maturity, maturity, spawning and resting; spermatogenesis, maturity, spawning and resting. Cross correlation analysis showed significant delays between spawning peak and resting stage frequencies, suggesting that females take longer to achieve maturity but after spawning rest for a month

shorter than males. High chlorophyll-a concentrations resulting from winter winds upwelling, were cross-correlated significantly and synchronically with high number of mature organisms. Besides, cross correlation showed that these high frequencies of mature individuals occurred six months after the highest monthly temperatures (May to August) during the coolest (October to March). The opposite was true for the frequency of resting organisms (high during warm, low during cool months). Due to the narrow temperature range of the studied sites, food availability seems to be the main trigger for the reproduction onset. We hope this study provides reproduction (stages and timing) information useful for management strategies proposals and aquaculture potential assessment.

Keywords: Reproductive cycle, cross validation, temperature, chlorophy, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El análisis del ciclo de reproducción de los organismos es un tópico fundamental dentro de las pesquerías ya que brinda el conocimiento cual es momento adecuado para ser capturadas sin afectar la población y para el caso de *O. pseudodon* no existe estudio alguno sobre este aspecto. Debido a que no hay conocimiento biológico pesquero de *O. pseudodon*, es importante dar a conocer a conocer el ciclo reproductivo de este y así su conocimiento permitiría proponer medidas específicas de ordenación pesquera y promover la explotación sostenible a largo plazo del recurso (Elhasni K. *et al.*, 2013).

MÉTODO

Se obtuvieron muestras de la venta comercial con periodicidad mensual durante aproximadamente dos ciclos anuales de enero del 2014 a septiembre del 2015. La captura fue artesanal, y realizada en varias localidades de litoral rocoso aledaño a Puerto Ángel, de Oaxaca, México (Fig.1).

De la muestra se utilizaron de 10 a 15 individuos adultos, a los cuales se les extrajo la parte blanda rompiendo la concha para después fijarlos en formol al 10% con agua de mar de acuerdo con Ortíz-Ordóñez *et al.* (2009). Una vez fijados fueron trasladados al laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM donde después de 48 horas fueron lavados y conservados en alcohol al 70%. Al no haber caracteres externos para distinguir al sexo, los especímenes fueron disectados para observar la existencia o carencia de un pene (órgano copulativo masculino). Los datos de temperatura y clorofila para Puerto Ángel Oaxaca, fueron consultados de la base de datos (GES DISC - NASA), 2016.

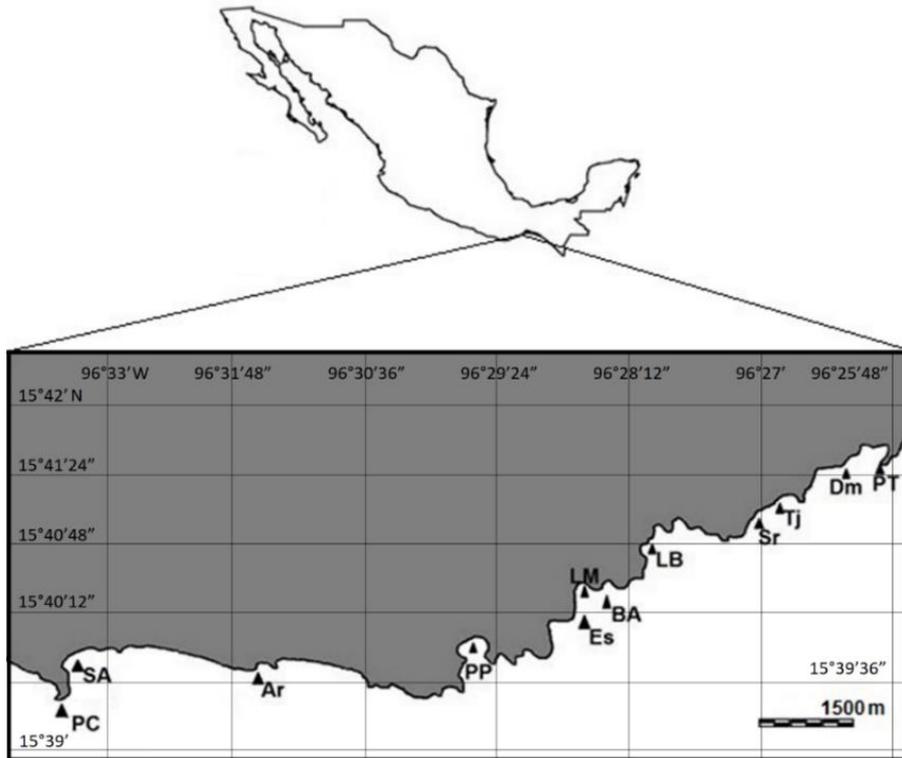


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio, Puerto Ángel, Oaxaca, México. Se indican los sitios de colecta: PC: Punta Cometa, SA: San Agustínillo, Ar: Aragón, PP: Playa Panteón, Es: Estacahuite, LM: La Mina, BA: Bajos de Aceite, LB: La Boquilla, Sr: Secretario, Tj: Tijera, Dm: Dominguillo, PT: Playita Tembo.

RESULTADOS

Se obtuvieron muestras con periodicidad mensual durante aproximadamente dos ciclos anuales de enero del 2014 a noviembre del 2015, faltando en 2014 el mes de febrero y diciembre, en 2015 faltaron febrero, marzo y diciembre, por la presencia de mar de fondo y porque no hubo captura.

Ciclo Reproductivo

De los 768 individuos capturados, 300 fueron analizados para el reconocimiento y caracterización de las fases del desarrollo gonádico. Para la definición de estas fases se tomaron en cuenta el grado de desarrollo, la presencia y la abundancia de los gametos. Las diferentes fases de desarrollo gonádico que

se clasificaron fueron las siguientes: para hembras cinco fases (Tabla 1; Fig. 2); Ovogénesis (fase 1), Madurez vitelogénica (fase 2), Madurez (fase 3), Desove (fase 4) y por último Reposo (fase 5). En el caso de los machos; se clasificaron cuatro fases; Fase 1 (Gametogénesis inicial), Fase 2 (Madurez), Fase 3 (Expulsión) y Fase 4 (Reposo) (Tabla 2; Fig. 3).

Tabla 1. Caracterización de las fases del desarrollo gonádico para *Opeatostoma pseudodon* en hembras.

Fase 1 (Ovogénesis)	Se encuentran folículos con ovogonias y ovocitos con núcleo adheridos a la pared del folículo, se observan escasos gránulos de vitelo.
Phase 2 (Madurez vitelogénica)	Se observa los folículos maduros se encuentran completamente llenos, se distinguen ovocitos con núcleo, nucléolo, los cuales se encuentran adheridos a pared folicular. Se observa los gránulos de vitelo y escasas plaqueta de vitelo.
Phase 3 (Madurez)	Se distinguen ovocitos con núcleo, nucléolo, los cuales se encuentran adheridos a pared folicular. Se observa mayor número de gránulos de vitelo, se observan plaquetas de vitelo.
Phase 4 (Desove)	Se observan plaquetas de vitelo en los folículos, los cuales encuentran se encuentran escasos ovocitos, las paredes de los folículos delgadas, también quedan ovocitos remanentes en los cuales se observan el núcleo y nucléolo y en otros únicamente el núcleo.
Phase 5 (Reposo)	Los folículos de encuentran vacíos con escasos adheridos a la pared, se observan células cafés o fagocitos.

Tabla 2. Caracterización de los estadios del desarrollo gonádico para *Opeatostoma pseudodon* en machos.

Phase 1 (Espermatogénesis)	Folículos con mayor número espermatogonias, espermatidas y escasos espermatozoides.
Phase 2 (Madurez)	Los folículos se encuentran mayor cantidad de espermatozoides y se encuentran orientados hacia el lumen, se observa menor cantidad de espermatogonia, espermatocitos, espermatidas.
Phase 3 (Expulsión)	Folículos con abundantes espermatozoides en expulsión, orientados hacia el lumen.
Phase 4 (Reposo)	Con espermatozoides en expulsión, epitelio cilíndrico ciliado con pliegues, los folículos se encuentran parcialmente y se observan túbulos en reposo.

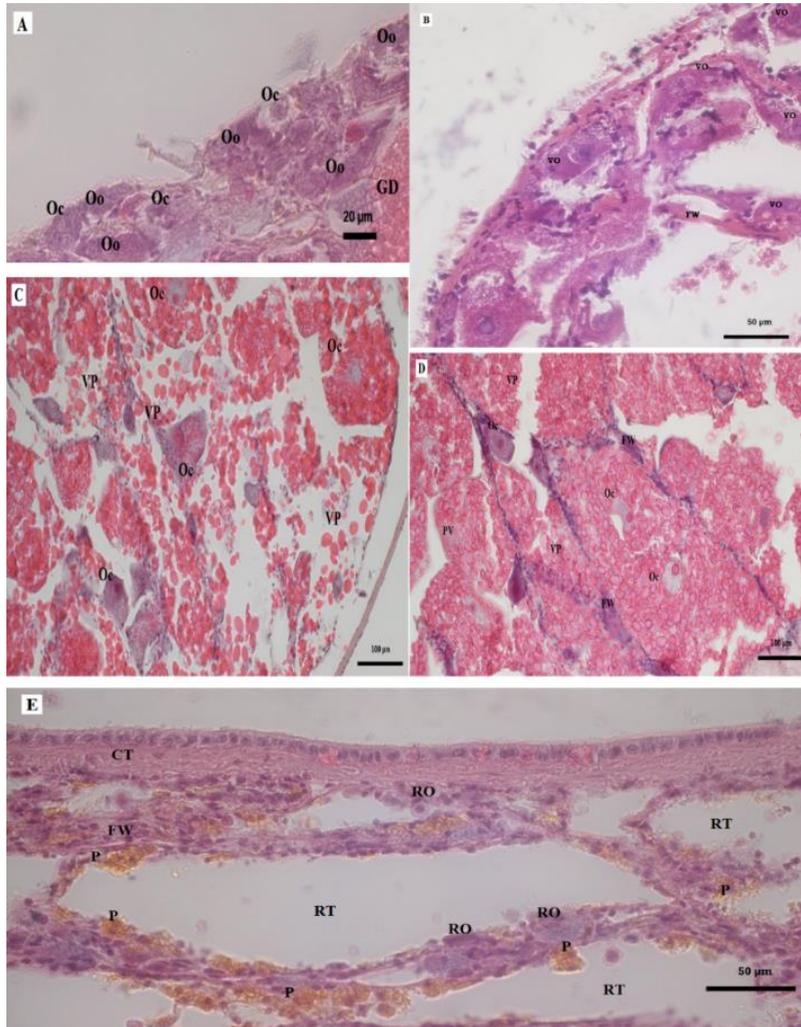


Figura 2. Cortes histológicas de tejido gonadal *Opeatostoma pseudodon*; Fases en las hembras: A. Ovogénesis, B. Madurez vitelogénica, C. Madurez, D. Desova, E. Reposo. Abreviaturas: (Oo) Oogonias, (Oc) ovocitos, (GD) Glándula digestiva, (TC) Tejido conectivo, (PV) Plaquetas vitelinas, (OPv) Ovocitos Previtelogénicos, (OV) Ovocitos vitelogénicos, (FW) Pared folicular, (RO) Ovocitos residuales, (P) Fagocitos, (RT) Túbulos en Reposo.

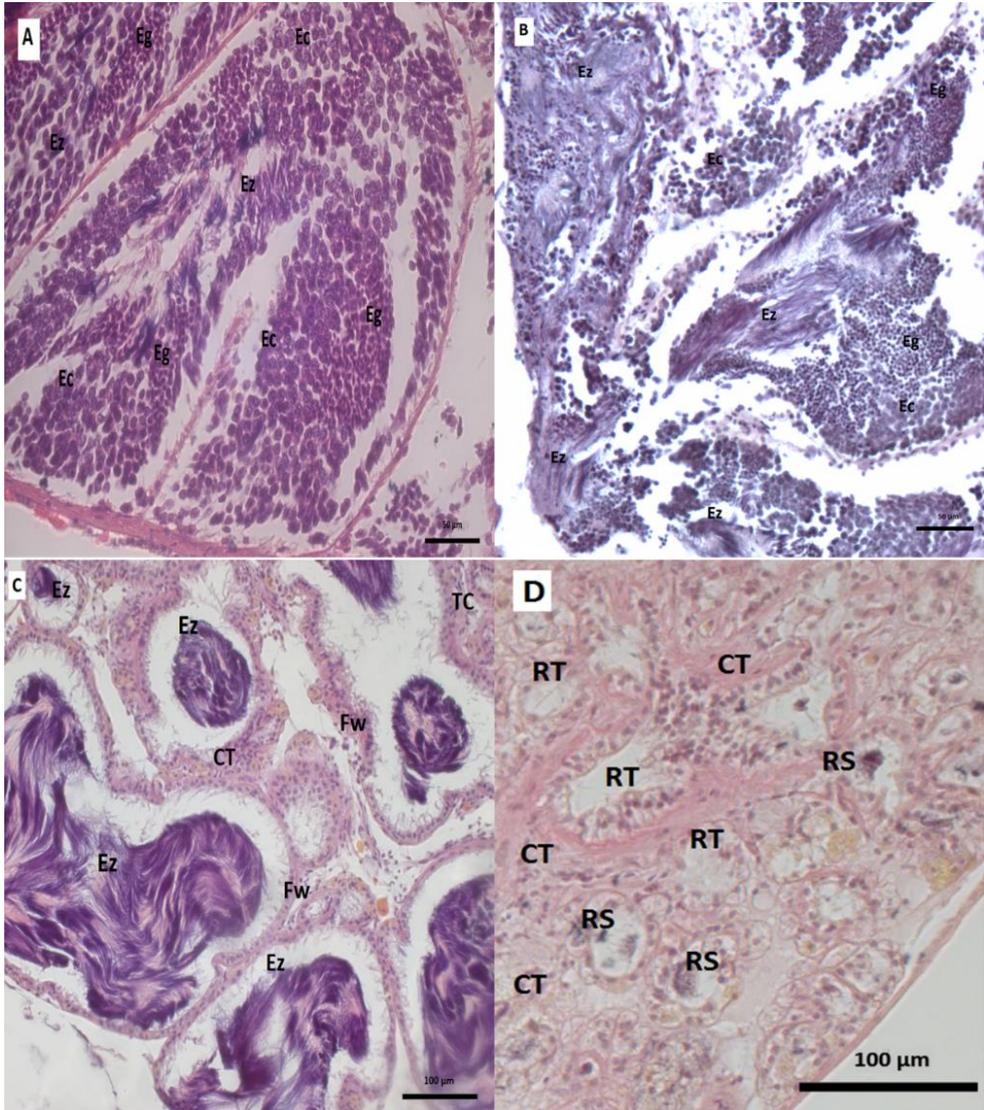


Figura 3. Cortes histológicas de tejido gonádico de *Opeatostoma pseudodon*; Fases en machos: A. Espermatogénesis, B. Madurez, C. Expulsión, D. Reposo. Abreviaturas: (Eg) Espermatogonias, (Ec) Espermatocitos, (Ez) Espermatozoides, (RS) Espermatozoides residuales, (DG) Glándula digestiva, (CT) Tejido conectivo, (FW) Pared folicular (P) Fagocitos, (RT) Túbulos en Reposo.

De acuerdo con las frecuencias de las fases en el caso de las hembras de *O. pseudodon* se observó en 2014 que mantienen una reproducción casi todo el año a excepción de julio y los meses de mayor frecuencia de desove fueron, enero con el 60%, mayo con el 70%, noviembre 80% y diciembre 80%.

Así mismo la fase de reposo se presentó de enero a octubre y los meses mayor frecuencia fueron: abril con el 70%, y julio 100%. En 2015 se observó que mantuvieron la reproducción casi todo a excepción de agosto y los meses con mayor frecuencia fueron enero con 70%, febrero 70% y noviembre 70%. En 2015 la fase de reposo fue más amplia de enero a noviembre, pero a diferencia de 2014 se observaron frecuencias bajas aun así los meses mayores fueron abril 50% y julio 70% (Fig. 4).

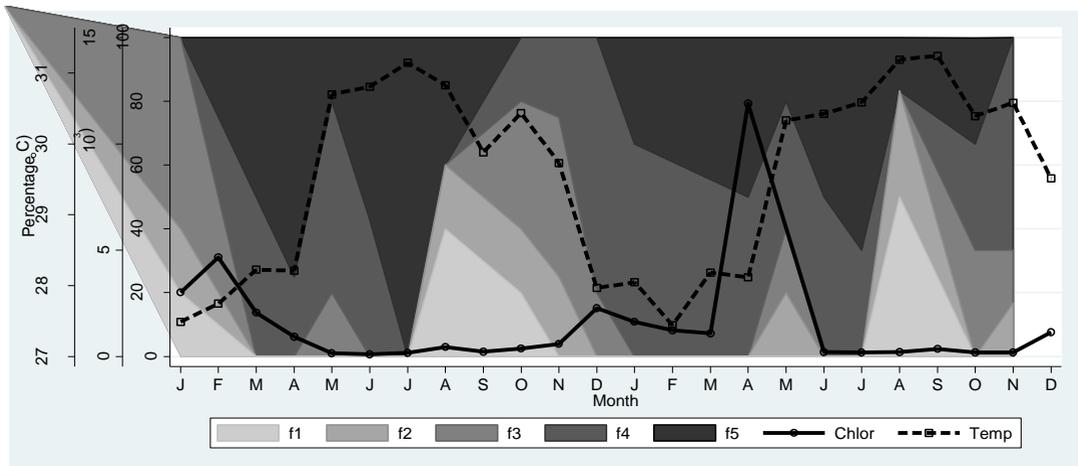


Figura 4. Frecuencia de fases gonádica 2014-2015 para *Opeatostoma pseudodon* en hembras por fecha de colecta. Se muestran los valores de concentración de Clorofila a (mg m^{-3}) y temperatura superficial del agua ($^{\circ}\text{C}$).

Para el caso de los machos de *O. pseudodon*, en 2014 se observó que mantienen una reproducción casi todo el año a excepción del mes de julio, sin embargo, los meses con mayor frecuencia de expulsión fueron: enero 60%, mayo 70%, noviembre 80% y diciembre 70%; en 2015 mantuvieron casi todo el año la reproducción a excepción de abril. Los meses de mayor frecuencia fueron de Expulsión (Fase 3), enero 60%, mayo 80% y octubre 80% noviembre 80%. En 2014 la fase de reposo (Fase 4) se presentó de enero a octubre y los meses de mayor frecuencia se observaron en abril 40% y julio 100%; en 2015 la fase de reposo se presentó de enero a agosto y los meses de mayor frecuencia fueron abril 30% y julio 70% (Fig. VI.5).

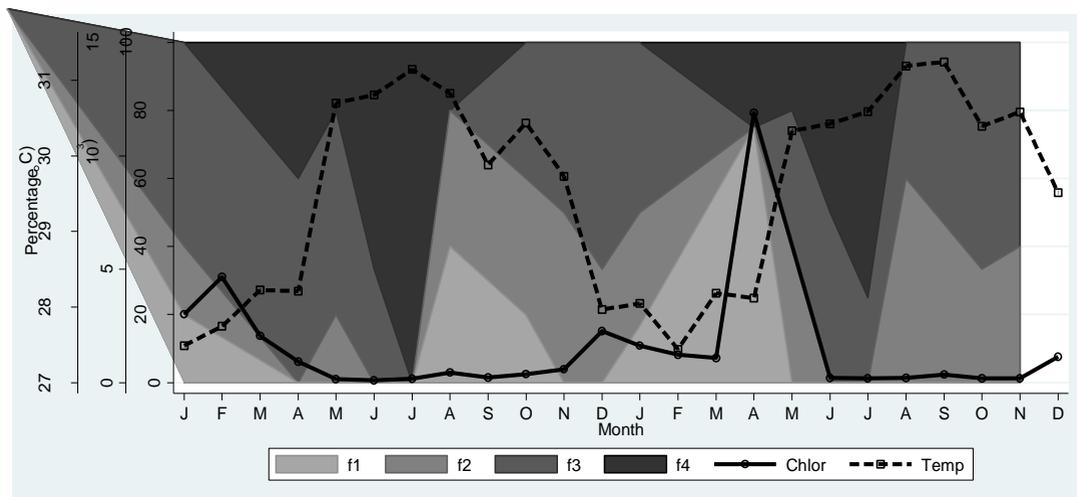


Figura 5. Frecuencia de fases gonádica 2014-2015 para *Opeatostoma pseudodon* en machos. Se muestran los valores de concentración de Clorofila a (mg m^{-3}) y temperatura superficial del agua ($^{\circ}\text{C}$).

Concentración de clorofila y ciclo gonádico

Hembras

En 2014 que las concentraciones más altas de clorofila ocurrieron en los meses de enero (3.0095 mg m^{-3}), febrero (4.0012 mg m^{-3}), marzo (2.0537 mg m^{-3}), diciembre (2.2707 mg m^{-3}). De acuerdo con esto, los picos de mayor frecuencia en el desove (Fase 4) se dieron en enero (60%) y diciembre (80%). Asimismo, las concentraciones más bajas de clorofila se observaron en junio (0.1554 mg m^{-3}) y julio (1.1057 mg m^{-3}). De acuerdo con esto, la fase gonádica de reposo (Fase 5) se registró en julio con una frecuencia del 100% (Fig. 4).

En 2015 las concentraciones altas de clorofila se observaron en enero (1.6228 mg m^{-3}), febrero (1.2329 mg m^{-3}) y abril ($11.8915 \text{ mg m}^{-3}$). En algunos de estos meses se presentó con mayor frecuencia la fase gonádica de desove (Fase 4) (Fig. 4): en enero (80%) y febrero (60%). Las concentraciones más bajas de clorofila en 2015 se dieron en julio (0.1894 mg m^{-3}), octubre (0.1871 mg m^{-3}), noviembre (0.1913 mg m^{-3}). Se observó en hembras que el mes de julio está relacionado con la fase gonádica de reposo (Fase 5) con frecuencia de 70% (Fig. 4). Cabe mencionar que en abril se observó el máximo de concentración de clorofila y se presentaron las fases gonádicas de reposo y desove ambas con 50% de frecuencia.

Machos

En 2014 las concentraciones más altas de clorofila se presentaron en los meses de enero (3.0095 mg m^{-3}), febrero (4.0012 mg m^{-3}), marzo (2.0537 mg m^{-3}), diciembre (2.2707 mg m^{-3}). De acuerdo con estos valores los picos de mayor frecuencia de expulsión (Fase 3) concuerdan con los meses de enero (60%), febrero (55%) y diciembre (70%). Las concentraciones más bajas de clorofila en este mismo año se observaron en junio (0.1554 mg m^{-3}) y julio (1.1057 mg m^{-3}) y se observó que la fase gonádica de reposo (Fase 4) en julio fue del 100% (Fig. 5).

En 2015 las concentraciones altas de clorofila se observaron en enero (1.6228 mg m^{-3}), febrero (1.2329 mg m^{-3}) y abril ($11.8915 \text{ mg m}^{-3}$) y diciembre (2.2707 mg m^{-3}). En algunos de estos meses se observó que la fase de expulsión (Fase 3) (Fig. 5) fue la de mayor frecuencia como en el caso de enero con 80%, febrero con 55% y diciembre con el 70% (Fig. 5). Las concentraciones de clorofila más bajas se dieron en julio (0.1894 mg m^{-3}), octubre (0.1871 mg m^{-3}) y noviembre (0.1913 mg m^{-3}). Se observó que el mes de julio con el 70% está relacionado con la fase gonádica de reposo (Fase 4) (Fig. 5). Cabe mencionar que en abril se registró el máximo de concentración de clorofila y se observó el segundo pico en 30% de reposo y 70% de espermatogénesis inicial.

Temperatura y ciclo gonádico

Hembras

Los meses de mayor temperatura en 2014 se registraron en mayo ($30.70 \text{ }^{\circ}\text{C}$), junio ($30.81 \text{ }^{\circ}\text{C}$), julio ($31.14 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y agosto ($30.83 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Estas temperaturas están relacionadas con los meses de mayor frecuencia gonádica de reposo (Fase 5) (Fig. 4) en especial en julio que fue de 100%. Las temperaturas más bajas registradas se dieron en enero ($27.48 \text{ }^{\circ}\text{C}$), febrero ($27.74 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y diciembre ($27.96 \text{ }^{\circ}\text{C}$). En los casos de enero con 60% y diciembre con 80% se observó que la mayor frecuencia de la fase gonádica de desove (Fase 4). Se debe mencionar que se observó también que en abril la temperatura registrada fue de $28.20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y en este mes se dio un pico en la frecuencia gonádica de reposo (Fase 5) con el 70% y en mayo cuando la temperatura sube a $30.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ la fase de desove (fase 4) manifestó un pico de frecuencia del 60%.

En 2015 los meses de mayor temperatura se registraron en julio ($30.58 \text{ }^{\circ}\text{C}$), agosto ($31.19 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y septiembre ($31.24 \text{ }^{\circ}\text{C}$). En el caso del mes de julio se observó el máximo de reposo (Fase 5) con 70%. Las temperaturas más bajas se registraron en enero ($28.04 \text{ }^{\circ}\text{C}$), febrero ($27.44 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y marzo ($28.11 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y se observó que los máximos de frecuencia gonádica de desove (Fase 4) fueron en enero con 70%, febrero 60% y marzo 55%. Cabe mencionar que la temperatura de abril fue de $28.11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y se presentaron la fase de desove (Fase 4) y la fase de reposo (Fase 5) con la misma frecuencia del 50%.

Machos

Los meses de mayor temperatura en 2014 se registraron en mayo (30.70 °C), junio (31.14 °C), julio (31.14 °C) y agosto (30.83 °C). En el caso de julio se presentó la mayor frecuencia gonádica de reposo (Fase 4) (Fig. 5) en 100%. Las temperaturas más bajas registradas se dieron en enero (27.48 °C), febrero (27.74 °C) y diciembre (27.96 °C). En algunos de estos meses se observó frecuencias altas de expulsión (Fase 3) (Fig. 5) y estos fueron enero con 60%, febrero 55% y diciembre con 80%. Por otro lado, la temperatura en abril fue de 28.11°C con frecuencia de expulsión del 70% y así mismo en abril se presentó el segundo pico de reposo con 30% de frecuencia.

En 2015 los meses de mayor temperatura fueron julio (30.58 °C), agosto (31.19 °C) y septiembre (31.24 °C); en julio se observó la mayor frecuencia de reposo (Fase 4) con 70% (Fig. 5), sin embargo, las frecuencias mayores resultaron, en el caso de la expulsión (Fase 3), en agosto (40%), septiembre (50%). La madurez (Fase 2) se presentó con mayor frecuencia en agosto (60%) y septiembre (50%). Las temperaturas más bajas se registraron en enero (28.04 °C), febrero (27.44 °C) y marzo (28.11 °C) que correspondieron a los meses con mayor frecuencia de gonádica de expulsión (Fase 3, Fig. 5).

DISCUSIÓN

En la caracterización del ciclo gonádico de *Opeatostoma pseudodon* en Puerto Ángel Oaxaca, en las hembras se obtuvieron 5 fases, los cuales fueron Ovogénesis inicial, madura vitologénética, madura, desove y reposo. Para los machos las fases fueron 5; espermatogénesis, maduro, expulsión, y reposo.

Comparando entre ambos sexos en el 2014 en se observó que mantienen una reproducción casi todo el año a excepción de julio, así los meses de mayor frecuencia de desove y expulsión coincidieron en todos los meses y estos fueron; enero, mayo, y noviembre y diciembre. Para 2015 se observó que los dos sexos mantenían reproducción casi todo a excepción de agosto en las hembras y abril en los machos. Para la fase de desove y expulsión la mayor frecuencia resultó los mismos meses; enero, mayo, octubre y noviembre.

Para la fase de reposo en ambos sexos en 2014 coincidieron en los mismos meses de enero a octubre y el mes de mayor frecuencia de reposo se observó con 100% en julio para ambos sexos. Para 2015 la fase de reposo difirió por los meses septiembre, octubre y noviembre en los machos. Y el mes con mayor frecuencia coincidió en julio.

Las concentraciones de clorofilas tienen relación con el desarrollo de la gónada ya que implica una gran demanda de energía, la cual procede del alimento ingerido extraído del medio ambiente, o de productos de reserva acumulada en el organismo en épocas de abundancia (Mackie, 1984). O.

pseudodon es un gasterópodo depredador y depende de que los organismos que tengan una alta acumulación de reserva energética de los que están vinculados con la alimentación directa del medio, y esto se vio reflejado en la relación directa con las concentraciones de clorofilas en los meses de mayor concentraciones en 2014 en el caso de ambos sexos se observó que cuando las concentraciones se registraron altas, las fases de madurez, desove y expulsión y cuando las concentraciones fueron bajas, las fase con mayor frecuencia fue de reposo. Sin embargo en 2015 las concentraciones de clorofila de observaron de manera impredecibles ya se presentaron altas concentraciones de enero a marzo y un aumento en noviembre las cuales coinciden con el desove y la expulsión en hembras y machos respectivamente siendo la fase de gonádica de mayor frecuencia, en ese mismo año se registró un pico en abril lo que a diferencia de 2014 ocasiono que en caso de las hembras la frecuencia de reposo resultara menor y se presentara con mayor frecuencia la fase de desove con una diferencia del 20%, por otro lado en los machos ocasiono que la frecuencia en la fase de reposo resultara menor y se presentara la fase de espermatogénesis inicial (fase 1) 70%. Debido a esta observación se puede decir que la concentración de clorofila afecta de manera directa al ciclo reproductivo a *O. pseudodon*. Por lo tanto, los periodos de mayor disponibilidad de clorofilas coinciden con el desarrollo de la gónada. *O. pseudodon* tiende a reproducirse cuando la disponibilidad de fitoplancton es alta, brindando a su progenie mayor probabilidad de alimentarse de los organismos que dependen de alimentarse de fitoplancton.

La temperatura es uno de los factores ambientales externos más importantes que influyen en el ciclo reproductivo (Mackie, 1984) de los moluscos y esto se vio reflejado en *O. pseudodon*, dado que en 2014 se observó sincronía en ambos sexos en la época de desove y expulsión se dio cuando se registran temperaturas frías y la época de reposo se da cuanto las temperaturas son más cálidas. Sin embargo, en 2015 en los machos se observó que durante las temperaturas más altas que fueron en agosto y septiembre las fases que se presentaron fueron la madurez y expulsión a diferencia de 2014 en ambos sexos fue la fase de reposo. Se sabe que la temperatura no es el único factor importante en la regulación del ciclo reproductivo, pues existen otros: como el estado fisiológico de los individuos, la abundancia, calidad y disponibilidad de alimento (Sastry 1968). Por lo que en *O. pseudodon*, se observó que las temperaturas más altas en 2014 en ambos sexos influyeran de manera sincrónica para la fase de reposo. Asimismo, en 2014 en hembras se observó también la influencia de las temperaturas altas en la fase de reposo. Pero resultado evidente que en los machos en 2015 las temperaturas altas no fueron un factor determinante para la fase de reposos.

CONCLUSIONES

Con este estudio se pudo determinar que en el estudio del desarrollo gonádico por medio de histología, se observaron 5 fases: ovogénesis, madura vitelogenética, madura, desove y reposo. Así mismo la descripción histológica del desarrollo gonádico en los machos mostró 4 fases:

espermatogenesis, maduro, expulsión y reposo. También se determinó que el desove en ambos sexos se presenta cuando las temperaturas son bajas y cuando la cantidad de clorofila es alta y la fase de reposo se manifestó más corto en machos pero en general se presentó cuando las temperaturas eran altas y la cantidad de clorofila era baja.

REFERENCIAS

- Avaca, M.S., P. Martín, S. van der Molen & M. Narvarte. 2015. Comparative study of the female gametogenic cycle in three populations of *Buccinanops globulosus* (Caenogastropoda: Nassariidae) from Patagonia. *Helgoland Marine Research*, 69: 87-99.
- Bakus, G. J. 1968. Zonation in Marine Gastropods of Costa Rica and Species Diversity. *The Veliger*. 10(3)207-211.
- Bautista-Moreno, L.M. & A. Lechuga-Medina. 2007. Colecciones biológicas de moluscos de los archipiélagos de Revillagigedo, Colima e Islas Marías, Nayarit, México: 105-107. In: Ríos-Jara, E., M.C. Esqueda-González & C.M. Galván-Villa (eds.) Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México, Universidad de Guadalajara, México: 299 p.
- Beckett, 2013. *Introduction to time series using Stata*. Stata Press, College Station, 443 pp.
- Biasca, C. 1983. Cabo San Lucas, Baja California. *Texas Conchologist* 19(3): 68-69.
- Caicedo-Rivas, R.E., R. León-Pinto, V. Ortega-Chávez, J.S. Hernández-Zepeda & S.J. Serrano-Guzmán, 2007. Estudio comparativo de tres comunidades malacológicas en las costas del estado de Oaxaca: 26-28. In: Ríos-Jara, E., M.C. Esqueda-González & C.M. Galván-Villa (eds.) Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México, Universidad de Guadalajara, México: 299 p.
- Dance, S.P. 2002. *Shells*. 2nd ed. Dorling Kindersley, New York, USA: 150.
- De León-Herrera, M.G. 2000. Listado taxonómico de las especies de moluscos en la zona central del litoral oaxaqueño. *Ciencia y Mar* 4(12): 49-51.
- Elhasni, K., P. Vasconcelos, M. Ghorbel & O. Jarbout, 2013. Reproductive cycle of *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) in the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *Mediterranean Marine Science*, 14(1): 24-35.

- Esqueda M.C., E. Ríos-Jara, J.E. Michel-Morfin & V. Landa-Jaime, 2000. The vertical distribution and abundance of gastropods and bivalves from rocky beaches of Cuastecomate Bay, Jalisco. México, *Revista Biología Tropical*, 48(4): 765-775.
- FAO, 2016. The estate of world fisheries and aquaculture (SOFIA). United Nations Food and Agricultural Organization, Roma, <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>.
- Flores-Garza R., García-Ibáñez S., Flores-Rodríguez P., Torreblanca-Ramírez C., Galeana-Rebolledo L., Valdés-González A., Suástegui-Zárate A., Violante-González J. 2012. Commercially Important Marine Mollusks for Human Consumption in Acapulco, México. *Scientific Research on Natural Resources*, 3:11-17
- Flores-Rodríguez P., Flores-Garza R., García-Ibáñez S., Torreblanca-Ramírez C., Galeana-Rebolledo L., Santiago-Cortes E., 2014. Mollusks of the rocky intertidal, zone at three sites in Oaxaca, Mexico. *Open Journal of Marine Science* 4(4): 326-337. <http://www.scirp.org/journal/ojmshttp://dx.doi.org/10.4236/ojms.2014.44029>.
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen, 5th. Ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, National Aeronautics and Space Administration (GES DISC – NASA) 2016a. Monthly average of the sea surface temperature at daylight, expressed in Celsius degrees. Raster digital data available at [<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>]. Published at [<http://www.icmyl.unam.mx/uninmar/>]. Reviewed: 1 June 2016.
- Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, National Aeronautics and Space Administration (GES DISC – NASA) 2016a. Monthly average of the sea surface concentration of chlorophyll-a, expressed in milligrams per cubic meter. Raster digital data available at [<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>]. Published at [<http://www.icmyl.unam.mx/uninmar/>]. Consulted on 2016/06/02.
- González-Tejadilla, E.M. 2018. Análisis de la variabilidad espacial del gradiente térmico ocasionada por el fenómeno climatológico “Tehuano” utilizando imágenes de temperatura superficial del mar (1996-2013). Bachelor Thesis, Facultad de Ingeniería, UNAM, México: 47 p.

- González-Villareal L.M., 2005, Guía ilustrada de los gasterópodos marinos de la Bahía de Tenacatita, Jalisco, México, Centro Universitario de ciencias Biológicas y Agropecuarias, *Scientia CUCBA*, 7(1):1-84.
- Goodall, C. 1990. A survey of smoothing techniques. In: *Modern Methods of Data Analysis*, eds. J. Fox & J.S. Long, 58-125. Newbury Park, CA: Sage publications.
- Guzmán Urieta E.O., 2015. Edad y Crecimiento del Caracol Marino *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1815) del litoral rocoso aledaño a Puerto Ángel, Oaxaca, México. Bachelor Thesis Universidad Nacional Autónoma de México. México: 97 p.
- Harasewych M. G., Moretzsohn. 2010. The Book of Shells a Life-Size Guide to identifyng and Classifyng Six Hundred Seashells. The University of Chicago Press. 655 Pp.
- Keen, A.M., 1971. *Sea Shells of Tropical West America (Marine Mollusks from Baja California to Peru)*, 2a, ed., Stanford University Press, Stanford California.
- Kosyan A.R., M.V. Modica & M. Oliverio. 2009. The anatomy and relationships of Trachelia (Neogastropoda: Buccinidae): New evidence for a closer fasciolariid-buccinid relationship? *The Nautilus*, 123(3): 95-105.
- Landa-Jaime V., E. De La Cruz-Erzua, J. Mchel-Morfiín, Arciniega-Flores J., Flóres-Vargas R. Amescua C., 2007, Guia Ilustrada para la identificación de moluscos intermareales y de arrecife en la Bahía de Tenacatita, Jalisco: 62-64. En: Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México. Ríos-Jara E., M.C. Esqueda-González y C.M. Galván-Villa (eds) Universidad de Guadalajara, México. 299 p.
- Leiva G.E., Castilla JC (2002) A review of the world marine gastropod fishery: evolution of the catches, management and the Chilean experience. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11: 283–300.
- López-Uriarte E., I. Enciso-Padilla, M. Pérez-Peña, E.G. Robles-Jarero, E. Juárez-Carrillo, C.M. Galván-Villa & E. Ríos-Jara. 2007. Moluscos del Submareal Somero de la localidad “La Rosada”, Bahía Chamela, Jalisco, pp 196-198 En: Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México. Ríos-Jara E., M.C. Esqueda-González y C.M. Galván-Villa (eds) Universidad de Guadalajara, México. 299 p.
- Mackie G.L., 1984, Bivalves. En: Tompa AS, NH Verdonk & J Van Der Biggelaar (eds), *The Mollusca: Reproduction*, Academic Press, London, Vol. 7 351-418

- Marques Dos Santos, M.J. 2004. Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas. 2nd. Ed. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México: 303-336.
- Ortíz Ordoñez E., Mendoza-Santana E. L., Belmar-Pérez J., Padilla-Benavides T., 2009, Histological description of the Males and Female Gonads in *Tegula eiseni*, *T. funebris*, *T. aureotincta*, *T. gallina* and *T. Regina*, from bahía Totugas BCS., México. *International Journal of Morphology*, 27(3):691-697.
- Paine R.T., 1966, Function of labial spines, composition of diet, and size of certain marine Gastropods. *The Veliger*. 9(1): 17-24.
- Pérez-Peña, M., E. López-Uriarte, E.G. Robles-Jarero, C.M. Galván-Villa, I. Enciso-Padilla, V.T. Muñoz-Fernández & E. Ríos-Jara, 2007. Estudio prospectivo de los moluscos gastrópodos de cinco localidades intermareales del Parque Nacional Isla Isabel, México: 60-62. In: Ríos-Jara, E., M.C. Esqueda-González & C.M. Galván-Villa (eds.) Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México, Universidad de Guadalajara, México: 299 p.
- Price, R.M. 2003. Columellar muscle of neogastropods: muscle attachment and the function of columellar folds. *Biological Bulletin*. 205: 351-366.
- Ramírez-González, A y Barrientos-Lujan, N.A., 2007, Moluscos de la Zona Intermareal de Cacaluta, Bahía de Huatulco, Oaxaca, México: 294-296. En: Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México. Ríos-Jara E., M.C. Esqueda-González y C.M. Galván-Villa (eds). Universidad de Guadalajara, México. 299 p
- Ríos-Jara E., M. Pérez-Peña, E. López-Uriarte, I. Enciso-Padilla y E. Juárez-Carrillo, 2006. *Biodiversidad de los moluscos marinos de la costa de Jalisco y Colima, con anotaciones sobre su aprovechamiento en la región, Recursos Pesqueros y Acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*. Instituto Nacional de la Pesca: 102-120.
- Roe, C. 1988. Shelling in Costa Rica. *Texas Conchologist* 24(4): 126-128.
- Saito-Quezada, V.M., E. Uría-Galicia, J.L. Gómez-Márquez, A.B. Villaseñor-Martínez, M.L. Jiménez-Badillo & I.H. Salgado-Ugarte, 2018. Reproductive cycle of *Hexaplex princeps* (Broderip, 1833) from one artisanal fishery at the southern coast of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(1): 91-103.
- SAGARPA, 2017. Anuario estadístico de Acuicultura y Pesca 2013 de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. México.

- Salcedo–Martínez, S., G. Green, A. Gamboa–Contreras y P. Gómez. 1988. Inventario de macroalgas y macroinvertebrados bénticos presentes en áreas rocosas de la región de Zihuatanejo, Guerrero, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 15:73–95.
- Salgado-Ugarte, I.H., 1992. *El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones*. Libro de texto, E.N.E.P. Zaragoza U.N.A.M.y Ediciones Marc, 250 p. (14 capítulos, 2 apéndices). I.S.B.N. 968-36-2439-1.
- Salgado-Ugarte, I.H. 2017. *Métodos estadísticos exploratorios y confirmatorios para análisis de datos. Un enfoque biométrico*. FES Zaragoza y DGAPA, UNAM, México. Open Access: www.libros.unam.mx.
- Salgado-Ugarte, I.H. & J. Curts-García, 1992. Resistant smoothing using Stata. *Stata Technical Bulletin* 7: 8 - 11.
- Salgado-Ugarte, I.H. & J. Curts-García, 1993. Twice reroughing procedure for resistant nonlinear smoothing. *Stata Technical Bulletin* 11: 14 - 16.
- Sastry A. N., 1968. Relationship among food, temperature and gonad development of the bay scallop *Aequipecten irradians* Lamarck. *Physical Biology*, 41: 44-53.
- Shasky D.R. 1984. A preliminary checklist of marine mollusks from Manabi province, Ecuador. *Annual Reports of the Western Society of Malacology* 16: 25-32.
- Spight, T.M. 1979. Environment and life history: the case of two marine snails. B.W. Baruch Libr. *Scientia Marina*, 9: 135-143.
- Steenburgh W.J., D.M. Schultz & B.A. Coll. 1998. The structure and evolution of gap outflow over the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Monthly Weather review*, 126: 2673–2691.
- Torreblanca-Ramírez, C., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, S. García-Ibáñez & L. Galeana-Rebolledo, 2012. Riqueza, composición y diversidad de la comunidad demoluscos asociada al sustrato rocoso intermareal de playa Parque de la Reina, Acapulco, México; Community structure, richness, and diversity of mollusks associated on the intertidal rocky substrate at Parque de la Reina Beach, Acapulco, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(2): 283-294.

- Uría-Galicia, E. & Mora-Vázquez C. 1996, *Apuntes para el curso teórico práctico de histología animal*, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Valdés-González A., P. Flores-Rodríguez, R. Flores-Garza & S. García-Ibáñez, 2004. Molluscan communities of the rocky intertidal zone at two sites with different wave action on Isla La Roqueta, Acapulco, Guerrero, Mexico, *Journal of Shellfish Research*, (23):3, 875-880.
- Varpe, O., C. Jorgensen, G.A. Tarling & O. Fiksen. 2007. Early is better: seasonal egg fitness and timing of reproduction in a zooplankton life-history model. *Oikos*, 116: 1331-1342.
- Velázquez-Muñoz, F.A., J.A. Martínez, C. Chavenne, R. Durazo & P. Flament, 2011. Wind-driven coastal circulation in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Ciencias Marinas*, 37(4A): 443-456.
- Velleman, P.F., 1980. Definition and comparison of robust nonlinear data smoothing algorithms. *Journal of the American Statistical Association*, 75: 609-615.
- Velleman P.F. y D.C. Hoaglin, 1981. *Applications, Basics, and Computing of Exploratory Data Analysis*, Duxbury Press, p. 41-63.
- Villegas-Maldonado, S., E. Neri-García, R. Flores-Garza, S. García-Ibáñez, P. Flores-Rodríguez, y D.G. Arana Salvador, 2007. Datos preliminares de la diversidad de moluscos para el consumo humano que se expenden en Acapulco, Guerrero. *Estudios sobre la malacología y conchiliología en México*. Rios-Jara, E.M.C., Esqueda González y CM. Galván Villa. Universidad de Guadalajara, México. 299 p.
- Willis, S. & J. Cortés. 2001. Mollusks of Manuel Antonio National Park, Pacific Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 49 (Supl. 2): 25-36.



Multivariate and likelihood tests for aquatic organisms' growth expression comparison

Pruebas multivariantes y de verosimilitud para comparación de expresiones de crecimiento de organismos acuáticos

Salgado-Ugarte, Isaías Hazarmabeth¹, Verónica Mitsui Saito-Quezada¹, García-Martínez Alan², Chacón-Ramírez Leonardo²

¹Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera, FES Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

²Matemáticas Aplicadas y Computación, FES Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

 Salgado-Ugarte, Isaías Hazarmabeth () E-mail: isalgado@unam.mx

ABSTRACT | The growth of aquatic organisms can be mathematically represented by several asymptotic functions as the logistic, Gompertz or von Bertalanffy. Once appropriate functions have been chosen usually it is necessary to compare them among several groups (defined by age, or sample site, sex). In this article we present a series of routines to test for differences in the parameters of two growth functions of the von Bertalanffy type. The test procedures are: a) Hotelling's T^2 which is a statistic based on vector of parameter values and their variance-covariance matrixes assuming a gaussian multivariate joint probability distribution; b) likelihood ratio tests and c) maximum likelihood tests which set up the outcome of the hypothesis of two or more independent curves as a base case, against which to compare all alternative hypothesis. The likelihood tests are performed by calculating a series of ratios of the total sum of squared residual derived from the base case and the others of interest. These test procedures are applied to the data from the original papers. The routines presented here take advantage of statistical languages (Stata, R, and Phyton) capabilities for dealing with matrix algebra and nonlinear model programming. The nonlinear programs can be easily modified to treat with other asymptotic growth functions.

Keywords: Aquatic organisms' growth, nonlinear regression, likelihood tests, multivariate tests.

RESUMEN | El crecimiento de organismos acuáticos puede representarse matemáticamente por varias funciones asintóticas como la Logística, Gompertz o von Bertalanffy. Una vez que se han escogido funciones apropiadas usualmente es necesario compararlas entre varios grupos (definidos por edad, localidad, sexo). En este trabajo presentamos una serie de rutinas para probar diferencias en los parámetros de dos funciones de crecimiento del tipo von Bertalanffy. Los procedimientos de prueba son: a) T^2 de Hotelling, estadístico basado en los vectores de parámetros y sus matrices de varianza-covarianza suponiendo una distribución de probabilidad conjunta gaussiana; b) pruebas de razón de verosimilitud y c) pruebas de máxima verosimilitud las cuales establecen el resultado de las hipótesis de dos o más curvas independientes como caso base contra el cual se comparan hipótesis alternativas. Las pruebas de verosimilitud se hacen calculando una serie de cocientes de la suma residual cuadrada total derivada del caso base y los otros de interés. Estos procedimientos de prueba se aplican a los datos de los artículos originales. Las rutinas presentadas aquí toman ventaja de las capacidades de los lenguajes estadísticos (Stata, R y Python) para el álgebra lineal y programación de modelos no lineales. Los

programas no lineales pueden modificarse de manera sencilla para el ajuste de otras funciones asintóticas de crecimiento.

Palabras clave: Crecimiento de organismos acuáticos, regresión no lineal, pruebas de verosimilitud, pruebas multivariantes.

INTRODUCTION

The assessment of fish (and other aquatic organisms) growth is an important requirement to fulfil if appropriate management is desired (Salgado-Ugarte, *et al.* 2000).

Fish grow continuously during their lifespan. The growth is fast when young, and then it slow down at old ages. This pattern may be described by several asymptotic common functions like the logistic (symmetric sigmoid shape), or other more sophisticated like Gompertz or von Bertalanffy (asymmetric sigmoid shapes).

The logistic function provides a mathematical representation for the autocatalytic law of physiology and chemistry. The integral form of its equation may be written as:

$$W_t = W_{\infty} / (1 + \exp(-g(t - t_0)))$$

This sigmoid curve has an inflection point where W is equal to $W_{\infty}/2$ and delimits two antisymmetrical halves. The instantaneous growth rate when $W = 0$ is the parameter g and t_0 is the time at which the growth rate is maximum; it is also the abscissa of the inflection point of the curve for which $W = W_{\infty}/2$.

According to Moreau (1987), the logistic curve has rarely been used to describe individual fish growth and cites the work of Miura *et al.* (1976) who described the yearly seasonal growth pattern of four age groups of resdpot salmon *Onchorhynchus rhodurus*. Recently, and mainly by the availability of nonlinear fitting programs, the logistic function its being increasingly used. An example is the study of Chale-Matsau, *et al.* (2001) who fitted a logistic growth curve to historical age-length data for *Polysteganus undulosus* caught in the KwaZulu-Natal Hook and line fishery from 1962 to 1963.

Another S-shaped curve with both a lower and a upper asymptote, an inflection point but not antisymmetrical halves is the Gompertz function. This curve expresses the decreasing growth rate throughout the adult stages of fish life and may be regarded as the expression of the activity of two different and opposing types of regulatory factors during growth (Ricker, 1979). An integrated expression for the Gompertz function is:

$$W_t = W_\infty \exp(-\exp(-g(t - t_0)))$$

Where t_0 is the abscissa of the inflection point and g is the instantaneous growth rate when $t = t_0$ (Fletcher 1973, in Moreau, 1987).

As an example of the use of this function, Moreau (1987) cites the paper of Zweifel and Lasker (1976) who used two successive Gompertz cycles to describe the growth of Anchovy larvae *Engraulis mordax*. Although some reports on its suitability using computers (Silliman, 1967), in fishery problems this function is not commonly used as in general the von Bertalanffy models are inserted in yield computations.

Moreau (1987) finds that the Gompertz function closely describes weight-at-age, following in general the increasing increments during early years and length-at age data with an inflection point. This is the pattern usually presented by anadromous fishes with slow initial growth at freshwater followed by a faster growth during the marine life stages (Moore and Moore 1974). Gompertz function is well suited for short-lived tropical species with significant food changes from juvenile to adult stages. This author notes the necessity to investigate further the use of this function because the yield calculation can be achieved with any growth equation with the aid of computers.

Which function is better? One approach to objectively choose among functions would be to compare the corresponding adjusted r^2 or information criteria values, but other reasons may guide the selection (availability of software or biological meaning of parameters).

Once convenient growth functions have been chosen, the necessity to compare them among several groups of fish (by sex, by sampling site, etc.) rises. Usually, males and females show differences in growth or the growth differs depending on the region where the fish were caught. There have been proposed several statistical procedures to compare the parameters of growth functions.

In what follows, we present a series of routines to test for differences in the parameters of two growth functions of the von Bertalanffy type as an example.

METHODS

Hotelling's T^2 test

In fisheries biology, the von Bertalanffy growth function (VBGF) is the main model used to describe quantitatively the growth of fish and other aquatic (or even terrestrial) organisms. In investigating fish

populations (for example), one may finish with several growth expressions, one for males and other for females. An interesting question is if the observed differences in the expression parameters are significant or not.

As stated by Bernard (1981) to answer this, we must consider the following:

The parameters L_∞ (asymptotic length), K (coefficient of growth), and t_0 (time at which length is zero) of the VBGF are often correlated and should not be estimated independently. When comparing two groups of fish, univariate statistical tests would be inappropriate due to the parameter covariances when such parameters are significantly correlated. When correlations among parameter values are significant, the multivariate Hotelling's T^2 procedure can be used to test differences between two groups. In this method, all differences in parameter values are tested simultaneously considering the covariances among parameters.

This multivariate test is performed by calculating the expressions included below (Bernard's original paper has several misprints, so we present the correct equations here).

Hotelling's T^2 is a statistic based on vectors of parameter values and their variance-covariance matrices assuming a multivariate joint probability distribution. The VBGF parameters, L_∞ , K , t_0 , and differences in values of like parameters from the two groups of fish are expressed as column vectors.

$$(1) \quad \bar{\mathbf{P}}_1 = \begin{bmatrix} L_{\infty(1)} \\ K_{(1)} \\ t_{0(1)} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{P}}_2 = \begin{bmatrix} L_{\infty(2)} \\ K_{(2)} \\ t_{0(2)} \end{bmatrix}, \quad \text{and} \quad [\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2] = \begin{bmatrix} L_{\infty(1)} - L_{\infty(2)} \\ K_{(1)} - K_{(2)} \\ t_{0(1)} - t_{0(2)} \end{bmatrix}$$

or equivalently, for the Logistic function, asymptotic length (L_∞), instantaneous growth rate (g) and time when growth rate is maximum (t_0), and for Gompertz function, asymptotic length (L_∞), instantaneous growth rate (g) and time of the inflection point (t_0):

$$(1a) \quad \bar{\mathbf{P}}_1 = \begin{bmatrix} L_{\infty(1)} \\ g_{(1)} \\ t_{0(1)} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{P}}_2 = \begin{bmatrix} L_{\infty(2)} \\ g_{(2)} \\ t_{0(2)} \end{bmatrix}, \quad \text{and} \quad [\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2] = \begin{bmatrix} L_{\infty(1)} - L_{\infty(2)} \\ g_{(1)} - g_{(2)} \\ t_{0(1)} - t_{0(2)} \end{bmatrix}$$

$\bar{\mathbf{P}}_1$ and $\bar{\mathbf{P}}_2$ are column vectors of parameter values estimated from age and length measurements

from two groups of fish, and

$[\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2]$ is a column vector of differences between estimates of the same parameters.

The T^2 statistic is calculated as the product of the differences in parameters $[\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2]$ squared and the inverse of the pooled variance-covariance matrix

$$(2) \quad T^2 = \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} [\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2]' \mathbf{S}^{-1} [\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2]$$

Where N_1 and N_2 are the number of fish in the two groups,

$[\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2]'$ is the transpose (row vector) of $[\bar{\mathbf{P}}_1 - \bar{\mathbf{P}}_2]$, and

\mathbf{S}^{-1} is the inverse of the pooled variance-covariance matrix,

$$(3) \quad \mathbf{S} = \frac{(N_1 - 1)\mathbf{S}_1 + (N_2 - 1)\mathbf{S}_2}{N_1 + N_2 - 2}$$

Where

\mathbf{S}_1 and \mathbf{S}_2 are the estimated variance-covariance matrices of L_∞ , K (or g), and t_0 from the two groups of fish.

\mathbf{S}_i and $\bar{\mathbf{P}}_i$ can be estimated together when data on length at age is fitted to the von Bertalanffy growth equation using numerical procedures.

A calculated T^2 statistic is used to test the hypothesis

$H_0: \bar{\mathbf{P}}_1 = \bar{\mathbf{P}}_2$ versus the alternative hypothesis

$H_A: \bar{\mathbf{P}}_1 \neq \bar{\mathbf{P}}_2$

Because T^2 is the multivariate generalization of univariate t -Student, the tabulated F statistic (with some modification) is used to test T^2 for significance:

$$(4) \quad T_0^2 = \frac{3(N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2 - 4} F_{\alpha; 3, N_1 + N_2 - 4}$$

Where F is obtained from a standard table (or calculated with the corresponding formulae included in statistical or spreadsheets programs) and has 3 and $N_1 + N_2 - 4$ degrees of freedom.

When the T^2 statistic is significant (H_0 is rejected), it is possible to calculate Roy-Bose simultaneous confidence intervals around differences between parameter values to find which parameters contribute most to statistical significance. The interval is symmetrical about each difference (Morrison, 1978).

$$(5) \quad (p_{1j} - p_{2j}) \pm \sqrt{\frac{N_1 + N_2}{N_1 N_2} s_{jj}^2 T_0^2}$$

To assess the relative significance among parameters, values of the F statistic necessary to cause the simultaneous confidence intervals to bracket zero are obtained by rearranging eq. 5 and eq. 4:

$$(6) \quad F_0 = \frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 4) (p_{1j} - p_{2j})^2}{3(N_1 + N_2)(N_1 + N_2 - 2) s_{jj}^2}$$

Where F_0 is the critical value of F . Changes in values of F_0 are due to changes in α as degrees of freedom are constant. The differences in growth between the two groups of fish are indicated by high values of F_0 for each parameter; the higher, the more significant in difference explanation.

Assumptions

To apply the multivariate test on growth functions comparison, von Bertalanffy (L_∞ , K and t_0), Logistic or Gompertz (L_∞ , g , t_0), we assume that both sets of estimates are drawn from two, trivariate, normal, joint probability distributions with a common variance structure. In this way, it is allowed the pooling of variance estimates (S_1 and S_2) as the actual variance-covariance matrix is unknown. With unequal variance-covariance matrices, the probability of a Type I error (alpha) and the power of the T^2

test deviate from tabulated values with the same degrees of freedom. However, when samples sizes are equal, different variance-covariance matrices do not affect error level or the power of the test.

The normality of the multivariate distribution can be indirectly tested by the corresponding univariate marginal distributions (as normal marginal distributions often indicate a normal multivariate joint distribution). If standard goodness of fit tests indicate not normal marginal distributions, it is possible to re-express the data to achieve more symmetrical distributions. In certain instances, even with normal univariate marginal distributions, the multivariate joint distribution may departure from normality. In such cases, the bias in Hotelling's T^2 , can be lessened by using large numbers in the analysis. As parameters estimates are means in the trivariate, normal distribution, their distributions approximate normality, and the approximation is better as N increases. Optimistically, this robustness means that Hotelling's T^2 test can be used to evaluate differences in growth over a range of data distributions (Bernard, 1981). However, see Cerrato (1990) for a critical review of this procedure.

Likelihood ratio tests

Another approach to analyze growth differences is the use of likelihood ratio tests (LRT). These procedures set up the outcome of the hypothesis of two or more independent curves as a base case against which to compare all alternatives hypotheses. For growth functions (VBGF, Gompertz or Logistic) the alternative hypothesis would be: a) all curves coincident, b) equal L_∞ values, c) equal K or g values, d) equal t_0 values, e) equal L_∞ and K or g values, f) equal L_∞ and t_0 values, and g) equal K or g and t_0 values. If hypothesis 1 (curves coincidence) is not rejected, it is not necessary to proceed with 2 to 7 alternative hypothesis. If 1) is rejected, then it would be necessary to make pair wise comparisons to find out which curve parameters differ (Haddon, 2001).

The parameters of growth models can best be estimated using the method of maximum likelihood (ML). These estimates are desirable because they are consistent, asymptotically normal, and asymptotically attain the smallest possible variance. For the von Bertalanffy curve (and other nonlinear models) proper ML estimates can only be found using iterative algorithms. There are several specialized algorithms, but the easiest way to calculate them is by using any of the general purpose nonlinear least squares (LS) computer programs available. It should be remembered that LS solutions obtained iteratively may be local rather than global minimizations of $S(L_\infty, K, t_0)$. So it would be necessary to provide several initial values and preferably obtained from the best available information (Kimura, 1980).

To compare two growth curves, the method of likelihood ratio (Kimura, 1980) is simple. In the first place, find the best fitting separate curves for each data set. Then, in sequence compare the total residual sum of squares from this base case with that obtained by considering one single equation fitted to the

data groups. If a significant difference exists, various constraints, as for example, two equations with the same L_{∞} , would require testing.

The test calculates a statistic that is compared with the χ^2 distribution with degrees of freedom equal to the number of constraints, i.e. the number of parameters assumed equal) according to the following equation:

$$7) \quad \chi_k^2 = -N \times \text{Ln} \left(\frac{RSS_{\Omega}}{RSS_{\omega}} \right)$$

Where k is the degrees of freedom, N is the total number of observations from both curves combined, RSS_{Ω} is the total sum of squared residuals derived from fitting both curves separately and RSS_{ω} is the total sum of squared residuals derived from fitting the curves with one of the hypothesized constraints (e.g. equal K 's, or equal L_{∞} 's, the hypothesis 1 to 7 above). The smallest residual sum of squares will always be provided by the base case (RSS_{Ω}) as it has the largest number of (assumed) independent parameters.

Maximum likelihood tests

By means of maximum likelihood it is possible to carry on several hypothesis tests of statistical models by using the F statistic resulting from:

$$8) \quad \frac{(RSS_R - RSS_F)/(F-R)}{RSS_F/(n-F)} \sim F_{F-R, n-F}$$

Where RSS_F is the residual sum of squares of the Full model with F parameters, RSS_R is the residual sum of squares of the reduced model with R parameters ($F > R$) and n is the sample size. It may exist difference in the three parameters or only in one. The general test is done by fitting separately the curves for each group and later with the joined data. The comparison of each parameter it is performed with a posteriori specific tests. These comparisons may be realized with dummy variables.

In this paper we present several programs to perform LS fittings for the VBGF comparison. These programs can be easily employed as a guide to implement the required adjustments with the corresponding constrains to the Logistic and Gompertz growth functions. The programs calculate parameter estimates and residual sums of squares for each model: the base case and the ones with equals L_{∞} , K 's (or g 's) and t_0 as presented in Kimura (1980), Haddon (2001), and Roff (2006).

Programs

The program to perform the T^2 test based on Bernard (1981) uses the matrix language of Stata and it is very simple. The programs to carry out the likelihood ratio tests use the nonlinear tool available in Stata for the Logistic and Gompertz functions and the program of Salgado-Ugarte, *et al.* (2000) for the von Bertalanffy growth function (VBGF). In this paper, only the programs with the modified (constrained) VBGF's were included.

Syntax

```
hotegfun S1 S2 P1 P2 N1 N2 CL
```

To perform likelihood ratio tests we have implemented a set of programs to perform the several cases required:

```
nlvbgfno sizevar agevar groupvar [weight] [if exp] [in range] [, nl_options]
```

```
nlvbgfel sizevar agevar groupvar [weight] [if exp] [in range] [, nl_options]
```

```
nlvbgfek sizevar agevar groupvar [weight] [if exp] [in range] [, nl_options]
```

```
nlvbgfet sizevar agevar groupvar [weight] [if exp] [in range] [, nl_options]
```

Description

The program hotegfun performs the multivariate test for comparing growth functions (von Bertalanffy, Gompertz, or Logistic), considering Hotelling's T^2 statistic (based on Bernard, 1981). It displays a table with the results.

nlvbgfno uses Stata's nl program to fit two von Bertalanffy Growth Functions (VBGF) to the dependent variable which is size or mean size by least squares grouped *groupvar* (with values 1 and 2). This is the base case with no constraints.

nlvbgfel uses Stata's nl program to fit two von Bertalanffy Growth Functions (VBGF) constrained to have both the same L_∞ estimates.

nlvbgfek uses Stata's nl program to fit two von Bertalanffy Growth Functions (VBGF) constrained to have both the same K estimates.

nlybgfet uses Stata's nl program to fit two von Bertalanffy Growth Functions (VBGF) constrained to have both the same t_0 estimates.

All the above programs, as applications of the nl procedure included in Stata, program share all the options for nl (see help nl).

vblrtest uses all the former programs to construct a table with the comparison results of the likelihood ratio tests

vblrtest uses all the former programs to construct a table with the comparison results of the maximum likelihood tests

Stata's nl program to fit two von Bertalanffy Growth Functions (VBGF) constrained to have both the same t_0 estimates.

Arguments

S1 and S2 are the variance-covariance matrices for (three parameter) growth function (von Bertalanffy, Gompertz or Logistic) for each fish population.

P1 and P2 are the (three) parameter column vectors for each fish population.

N1 and N2 are the corresponding sample sizes.

CL is the desired confidence level (i.e. 99).

Remarks

All the programs use a grouping variable with values 1 and 2 which distinguish the samples from the two populations to be compared. If your grouping variable uses different coding, you must generate a new one with the 1 and 2 numbers.

RESULTS

Using the information from Table 1 of Bernard (1981) with age at length of male and female Pacific ocean perch captured in 1977 in Stata we write:

```
. matrix Sm = (294.7427,-0.6018,-32.5704\-.6018,.0013,.073\ -32.5704,.073,4.2296)
. matrix Sf = (1596.1804,-1.1895,-91.0468\ -1.1895,.0009,.0713\ -91.0468,.0713,5.7613)
. matrix Pm=(441.16,.13,-3.36)
. matrix Pf=(505.97,.09,-4.57)
. hotegfun Sm Sf Pm Pf 78 78 99
```

```
=====
Multivariate test for von Bertalanffy Growth Function
comparison from two populations (based on Bernard, 1981)
=====
```

Matrix S			Matrix S inverse			
945.46155	-.89565	-61.8086	.00553845	.2810506	.06446791	
	.0011	.07215		17277.305	-246.06116	
		4.99545			4.5517389	

-64.8100	0.0400	1.2100	= [P1 - P2]'			

T^2 =	865.1831	T^2_0.01: 3,152	=	11.8937	F_0.01: 3,152	= 3.9131

Confidence intervals of 99 %			Critical F			
-81.7904	<= L_inf1 - L_inf2	<= -47.8296			57.0041	
0.0217	<= K1 - K2	<= 0.0583			18.6635	
-0.0243	<= t_o1 - t_o2	<= 2.4443			3.7606	

The results obtained by our program differ from the published for what we think due to rounding in the matrix operations and misprints (which are present in several parts of the original paper text). The conclusion is that males and females grew differently (calculated $T^2 = 865.18 \gg$ tabulated $T^2 = 11.89$). Both, L_∞ and K are different (confidence intervals do not include zero) indicating that females are larger and grow slower than males and only t_0 could be the same (C.I. includes zero) in both sexes. The critical F values indicate that the most significant parameter contributing to the difference is L_∞ followed by K .

To exemplify the likelihood ratio test we use the data from Table 1 of Kimura (1980) with average length at various ages for male and female Pacific hake taken off California, Oregon, and Washington:

Growth expressions comparisons

```
. use kimudat
```

```
. list
```

age	size	ml	sex	
1.	1	385	15.4	2
2.	2	36	28.03	2
3.	3.3	17	41.18	2
4.	4.3	135	46.2	2
5.	5.3	750	48.23	2
6.	6.3	1073	50.26	2
7.	7.3	1459	51.82	2
8.	8.3	626	54.27	2
9.	9.3	199	56.98	2
10.	10.3	97	58.93	2
11.	11.3	44	59	2
12.	12.3	11	60.91	2
13.	13.3	6	61.83	2
14.	1	385	15.4	1
15.	2	28	26.93	1
16.	3.3	13	42.23	1
17.	4.3	83	44.59	1
18.	5.3	628	47.63	1
19.	6.3	1134	49.67	1
20.	7.3	1761	50.87	1
21.	8.3	432	52.3	1
22.	9.3	93	54.77	1
23.	10.3	21	56.43	1
24.	11.3	8	55.88	1

We estimate the no constrained, base case, (separated sexes):

```
. nl vbgfno ml age sex  
(obs = 24)
```

```
Iteration 0: residual SS = 4427965  
(output omitted)  
Iteration 9: residual SS = 48.2238
```

(Rest of regression table omitted)

Then, we use one sole equation to describe the data (ignoring sex):

```
. nl vbgf ml age  
(obs = 24)
```

```
Iteration 0: residual SS = 4427965  
(output omitted)  
Iteration 10: residual SS = 79.76455
```

(Rest of regression table omitted)

We calculate the χ^2 value corresponding to the likelihood ratio test and its significance:

```
. di -24*log(48.2238/79.7645)
12.077421
```

```
. di chi2tail(3,12.077)
.00712399
```

As the above test indicates sex differences, we proceed to estimate the differences by parameter. First, estimate growth functions with equal L_∞ 's and the corresponding χ^2 value:

```
. nl vbgfel ml age sex
(obs = 24)
```

```
Iteration 0: residual SS = 4427965
(output omitted)
Iteration 10: residual SS = 71.60215
```

(Rest of regression table omitted)

```
. di -24*log(48.2238/71.60215)
9.4865382
```

```
. di chi2tail(1,9.4865)
.00206989
```

- Estimate growth with equal K 's (and χ^2 value)

```
. nl vbgfek ml age sex
(obs = 24)
```

```
Iteration 0: residual SS = 4427965
(output omitted)
Iteration 9: residual SS = 56.33682
```

(Rest of regression table omitted)

```
. di -24*log(48.2238/56.33682)
3.7318954
```

```
. di chi2tail(1,3.73189)
.05338296
```

- Estimates with equal t_0 's (and χ^2 value)

```
. nl vbgfet ml age sex
(obs = 24)
```

Growth expressions comparisons

```
Iteration 0: residual SS = 4427965
(output omitted)
Iteration 8: residual SS = 50.75778
```

(Rest of regression table omitted)

```
. di -24*log(48.2238/50.75778)
1.2290936
```

```
. di chi2tail(1,1.2291)
.26758214
```

The former results are summarized in Table 1. As in Kimura (1980), the results of *LR* tests indicate that there is a significant difference ($P = 0.007$) in models by sex, a significant difference ($P = 0.002$) in L_{∞} between sexes, a borderline significant difference ($P = 0.05$) in K , but no significant difference in t_0 ($P = 0.267$).

Table 1. Likelihood ratio tests for VBGF from males (1) and females (2) data used by Kimura (1980).

Linear constraints	Equivalent models	RSS	LRT	df	P
None	$l_{1j} = 55.98 [1 - \exp\{-0.386(t_{1j} - 0.171)\}]$ $l_{2j} = 61.23 [1 - \exp\{-0.296(t_{2j} + 0.057)\}]$	48.22			
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$	$l_{1j} = 59.40 [1 - \exp\{-0.297(t_{1j} + 0.111)\}]$ $l_{2j} = 59.40 [1 - \exp\{-0.337(t_{2j} - 0.087)\}]$	71.60	9.49	1	0.002
$K_1 = K_2$	$l_{1j} = 57.43 [1 - \exp\{-0.330(t_{1j} + 0.021)\}]$ $l_{2j} = 60.14 [1 - \exp\{-0.330(t_{2j} - 0.095)\}]$	56.34	3.74	1	0.053
$t_{01} = t_{02}$	$l_{1j} = 56.45 [1 - \exp\{-0.361(t_{1j} - 0.057)\}]$ $l_{2j} = 60.77 [1 - \exp\{-0.313(t_{2j} - 0.057)\}]$	50.76	1.23	1	0.267
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	$l_j = 59.29 [1 - \exp\{-0.320(t_j - 0.010)\}]$	79.76	12.08	3	0.007

The program “vblrtest.ado” present the results in a more logical order as in first place the general comparison is presented followed by the comparisons of each parameter. In the case of no difference in this test, the procedure stops and gives a “no difference” message.

```
. vblrtest ml age sex
```

Likelihood ratio test for two von Bertalanffy Growth Functions						
Linear constraints	Models	RSS	PLR	DF	P	
none	l_t1= 55.98[1-exp{- 0.386(t-0.171)}] l_t2= 61.23[1-exp{- 0.296(t+0.057)}]	48.22				
Li1 = Li2 K1 = K2 t01 = t02	l_tt= 59.29[1-exp{- 0.320(t-0.010)}]	79.76	12.08	3	0.007	
Li1 = Li2	l_t1= 59.40[1-exp{- 0.297(t+0.111)}] l_t2= 59.40[1-exp{- 0.337(t-0.087)}]	71.60	9.49	1	0.002	
K1 = K2	l_t1= 57.43[1-exp{- 0.330(t+0.021)}] l_t2= 60.14[1-exp{- 0.330(t-0.095)}]	56.34	3.73	1	0.053	
t01 = t02	l_t1= 56.45[1-exp{- 0.361(t-0.057)}] l_t2= 60.77[1-exp{- 0.313(t-0.057)}]	50.76	1.23	1	0.268	

It is possible to apply the Hotelling test to this data set:

```
. nl vbgf ml age if sex==1
(obs = 11)
(output omitted)

. matrix Sm = e(V)

. matrix Pm = e(b)

. nl vbgf ml age if sex==2
(obs = 13)
(output omitted)

. matrix Sf = e(V)

. matrix Pf = e(b)

. hotegfun Sm Sf Pm Pf 11 13 99
```

```
=====
Multivariate test for Growth Function comparison
from two populations (based on Bernard, 1981)
```

Growth expressions comparisons

Matrix S			Matrix S inverse			
1.337492	-.03171492	-.09877242	2.41400933	85.961766	-5.03736138	
	.00114213	.00429182		5380.7458	-563.687213	
		.02590539			112.783151	
-----			-----			
-5.2553	0.0893	0.2286	= [P1 - P2]'			

T^2 = 142.2401 T^2_0.01: 3,20 = 16.2960 F_0.01: 3,20 = 4.9382

Confidence intervals of 99 %			Critical F
-7.1679	<= L_inf1 - L_inf2	<= -3.3427	37.2832
0.0334	<= K1 - K2	<= 0.1452	12.6154
-0.0376	<= t_o1 - t_o2	<= 0.4948	3.6424

=====

The results are very similar to those from the LRT's: there is a significant difference between sexes caused mainly by L_{∞} , followed by the curvature parameter K and no difference between t_0 estimates.

The maximum likelihood test (vbmltest.ado) produces results similar with the likelihood ratio and multivariate tests:

```
. vbmltest ml age sex
```

Maximum likelihood F tests for two von Bertalanffy Growth Functions					
Linear constraints	Models	RSS	F	DF	P
none	l_t1= 55.98[1-exp{- 0.386(t-0.171)}]	48.22			
	l_t2= 61.23[1-exp{- 0.296(t+0.057)}]				
Li1 = Li2	l_tt= 59.29[1-exp{- 0.320(t-0.010)}]	79.76	3.92	3	0.0256
K1 = K2				18	
t01 = t02					
Li1 = Li2	l_t1= 59.40[1-exp{- 0.297(t+0.111)}]	71.60	8.73	1	0.0085
	l_t2= 59.40[1-exp{- 0.337(t-0.087)}]			18	
K1 = K2	l_t1= 57.43[1-exp{- 0.330(t+0.021)}]	56.34	3.03	1	0.099
	l_t2= 60.14[1-exp{- 0.330(t-0.095)}]			18	
t01 = t02	l_t1= 56.45[1-exp{- 0.361(t-0.057)}]	50.76	0.95	1	0.344
	l_t2= 60.77[1-exp{- 0.313(t-0.057)}]			18	

The corresponding routines in R are hotel.R, vblrttest.R, vbmltest.R presented in Salgado-Ugarte and Saito-Quezada (2020).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

When derived from length-at-age data, estimates of L_{∞} , K (or g), and t_0 form a multivariate probability distribution. By selecting a multivariate test, such as the Hotelling's T^2 , covariances among parameter estimates are incorporated into the test and are no longer a problem; no other treatment of covariances is necessary.

The bias in T^2 resulting from pooling variance-covariance matrices estimated from different variance structures (heterogeneous variances) is eliminated by selecting $N_1 = N_2$.

It is more difficult to meet the normality assumption. Transformations are complex and often do not produce normal, joint distributions. Still, the F statistic used in the Hotelling's T^2 is little affected by use of moderately non-normal data, especially at high N values.

Comparing critical values of F among parameters results in a ranking of parameters by importance and eliminates any confusion caused by many degrees of freedom.

This procedure has been employed to compare growth functions. However, Cerrato (1990) have made some annotations in relation with Bernard's (1981) formulation. Based on an empirical comparison among likelihood ratio, t -, univariate χ^2 and T^2 tests, Cerrato (1990) concluded that the likelihood ratio test is the most accurate of these procedures and it should be the approach of choice.

The maximum likelihood tests based on the F statistics (Roff, 2006) besides the global comparison of the growth functions of two groups, permit to compare each one of the parameters of both equations (as the likelihood ratio tests). More parameter similarity tests combinations are presented by Ogle (2016).

We have written the programs to test Logistic and Gompertz equations. The applications of these routines to growth equations for marine gastropods (*Hexaplex princeps* and *Opeatostoma pseudodon*) are presented in Saito-Quezada (2018).

Acknowledgements

A preliminary version of this report was written during the “Dr. Ramón Riba y Nava Esparza”

professorship at U.A.M. Iztapalapa granted to the first author. We express our gratefulness to Ana L. Ibañez-Aguirre, Xavier Chiappa-Carrara and the later Manuel Gallardo-Cabello† for their assistance in program revisions and to Alicia Cruz-Martínez and Virgilio Arenas-Fuentes for sharing their experience in Bernard's multivariate test procedure. The first author is indebted to his daughter Mayumi Ninfa who inspired the writing of the programs with linear constraints in the parameters. The routines in R and Stata programming languages are available at <https://blogceta.zaragoza.unam.mx/biombiolpesca/> and by request from the authors.

REFERENCES

- Bernard, D.R. 1981. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 233-236.
- Cerrato, R.M. 1990. Interpretable statistical tests for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47: 1416–1426.
- Chale-Matsau, J.R., A. Govender and L.E. Beckley, 2001. Age growth and retrospective stock assessment of an economically extinct sparid fish, *Polysteganus undulosus*, from South Africa. *Fisheries Research*, 51(2001): 87-92.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 404 p.
- Kimura, D.K. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin*, 77(4): 765-776.
- Miura, T., N. Suzudi, M. Hagoshi, and K. Yamanura, 1976. The rate of production of food consumption of the biwamasu *Onchorhynchus rhodurus* population in Lake Biwa. *Research Population Ecology* (Tokyo) 17: 135-154.
- Moore, J.W. and I.A. Moore, 1974. Food and growth of arctic char *Salvelinus alpinus* in the Cumberland sound area of Baffin Island. *Journal of Fish Biology* 6: 79-92.
- Morrison, D.F., 1978. *Multivariate Statistical Methods*. 2nd ed. McGraw-Hill International Book Co. Singapore: 128-169.
- Moreau, J. 1987. Mathematical and biological expression of growth in fishes: Recent trends and further

- developments. In: R.C. Summerfelt and G. E. Hall (Eds.), *The Age and Growth of Fish*: 81-113. Iowa State University Press, Ames.
- Ogle, D.H., 2016. *Introductory Fisheries Analyses with R*. CRC Press, Boca Raton, EUA: 317 p.
- Ricker, W.E., 1979. Growth rates and models. In: W.S. Hoar, D.J. Randall, and J.R. Brett (Eds.) 677-743. *Fish Physiology*, volume VIII. Bioenergetics and growth. Academic Press, New York.
- Saito-Quezada, V.M. 2018. *Aspectos biológico-pesqueros de los gasterópodos Hexaplex princeps (Broderip, 1833) y Opeastostoma pseudodon (Burrow, 1815) de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca, México*. PhD Thesis, Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México: 280 p.
- Salgado-Ugarte, I.H. 1995. Nonparametric methods for fisheries data analysis and their application in conjunction with other statistical techniques to study biological data of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* in Tokyo Bay. Aquatic Bioscience PhD Thesis dissertation, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Japan: 389 p.
- Salgado-Ugarte, I.H. & V.M. Saito-Quezada, 2020. *Métodos Cuantitativos Computarizados para Análisis de Datos Biológico-Pesqueros*. PAPIME 207417, DGAPA y FES Zaragoza, UNAM, México. 489 p.
- Salgado-Ugarte, I.H., J. Martínez-Ramírez, J.L. Gómez-Márquez, & B. Peña-Mendoza, 2000. Some programs for growth estimation in fisheries biology. *Stata Technical Bulletin*, 53: 35-47.
- Silliman, R.P., 1967. Analog computer models of fish populations. *Fishery Bulletin*, 66: 31-46.
- Zweifel, J.R. and L. Lasker, 1976. Prehatch and posthatch growth of fishes. A general model. *Fishery Bulletin*, 74: 609-621.



La conectividad entre poblaciones del cangrejo marino *Liocarcinus depurator* en la transición Atlántico-mediterránea

The connectivity between populations of the marine crab *Liocarcinus depurator* in the Atlantic-Mediterranean transition

Francisco Mestres¹, María Sellés M¹, Eva Rojo¹, Clàudia Lagares¹, Bruna Serra¹, Víctor Ojeda¹, Pere Abelló²

¹Dept. de Genètica, Microbiologia i Estadística, Universitat de Barcelona, Barcelona.

²Institut de Ciències del Mar (CSIC), Barcelona.

 Francisco Mestres Naval () E-mail: fmestres@ub.edu

RESUMEN | *Liocarcinus depurator* es una especie de cangrejo de interés comercial que habita los fondos fangosos de la plataforma continental de las costas peninsulares ibéricas. Se analizó la conectividad entre siete poblaciones de la transición atlántico-mediterránea: Cádiz, Oeste del mar de Alborán, Este del mar de Alborán, Alacant, València, Delta del Ebro y Norte de Catalunya) en el periodo 2014-2019. Para ello se secuenció un fragmento de 527 pb del gen mitocondrial *COI* (*Citocromo Oxidasa subunidad I*). Se obtuvieron un total de 966 secuencias. En general la variabilidad molecular fue más elevada para las poblaciones del Mar de Alborán que para el resto de poblaciones. La red de haplotipos y el árbol filogenético de las secuencias mostró dos haplogrupos bien definidos: ATL, dominante en aguas de influencia atlántica, y MED, en las de influencia mediterránea. La distribución de la frecuencia de ambos presentó un gradiente, pero con una serie de escalones debidos a la presencia de barreras oceanográficas. En la zona de estudio fueron: el Estrecho de Gibraltar (GS), el Frente Almería-Orán (AOF) y el Canal de Ibiza (IC). Los dos primeros se mostraron muy importantes en la reducción del flujo génico interpoblacional, siendo el segundo una barrera que puede variar a lo largo del tiempo en intensidad y localización. En 2016 también se detectó un efecto significativo del IC. Todos estos resultados definieron tres áreas de interés respecto a las Áreas Marinas Protegidas y las políticas de conservación y gestión de los recursos pesqueros: el Golfo de Cádiz, el Mar de Alborán y la región valenciana/catalana.

Palabras clave: Cangrejo, conectividad, *COI*, corrientes, frentes oceanográficos.

ABSTRACT | *Liocarcinus depurator* is a crab species of commercial interest that inhabits the muddy bottoms of the continental shelf of the Iberian Peninsula. The connectivity between seven populations of the Atlantic-Mediterranean transition was analyzed: Cádiz, Western Alboran Sea, Eastern Alboran Sea, Alicante, Valencia, Ebro Delta and North of Catalonia) in the period 2014-2019. To this aim, a 527 bp fragment of the *COI* (*Cytochrome Oxidase subunit I*) mitochondrial gene was sequenced. A total of 966 sequences were obtained. In general, the molecular variability was higher for the populations of the Alboran Sea than for the remaining populations. The haplotype network and the phylogenetic tree of the sequences showed two well-defined haplogroups: ATL (predominant in waters of Atlantic influence) and MED (predominant in those of Mediterranean influence). The frequency distribution of both haplotypes presented a gradient, but with a series of steps due to the presence of oceanographic barriers. In the study area these were: the Strait of Gibraltar (GS), the Almería-Oran Front (AOF) and the Ibiza Channel (IC). The first two

were very important in reducing interpopulation gene flow, the second being a barrier that can vary over time in intensity and location. In 2016, a significant effect of the IC was also detected. All these results defined three areas of interest concerning Marine Protected Areas and policies for the conservation and management of fishery resources: the Gulf of Cádiz, the Alboran Sea and the Valencian/Catalan region.

Palabras clave: Crab, connectivity, *COI*, currents, oceanographic fronts.

INTRODUCCIÓN

La pesca de cangrejos es un elemento clave dentro del sector pesquero español. Por ejemplo, en 2017 se capturó un total de 1.193 toneladas de peso vivo por un valor de unos 7,9 millones de euros (I.N.E., 2019). Entre los cangrejos de valor comercial se encuentra el cangrejo de sopa o falsa nécora (*Liocarcinus depurator*), habitual de nuestras costas, y que recibe diferentes nombres comunes en función de la localidad. Por su buen sabor su principal utilización culinaria es la elaboración de diferentes platos de arroz, caldo de pescado y salsa de marisco.

Este cangrejo pertenece a la familia de los Portúnidos. Su caparazón, finamente granulado y de color marrón rojizo, presenta cinco dientes anterolaterales puntiagudos y cortos. En la zona frontal se encuentran tres dientes agudos y separados entre sí (Abelló, 2008). El dactilo del quinto par de patas, de coloración morada, es aplanado, lo que le confiere una cierta capacidad natatoria y le permite excavar el fondo arenoso o fangoso para enterrarse. Por esta razón también se le denomina cangrejo nadador o volador. Es una especie heteroquéllica, siendo mayoritariamente la pinza derecha la robusta. Esta es capaz de romper las conchas resistentes de bivalvos y gasterópodos, mientras que la otra quela está especializada en cortar los tejidos blandos de las presas. Además de moluscos puede alimentarse también de pequeños peces, crustáceos y foraminíferos, desempeñando un papel importante en las interrelaciones tróficas del ecosistema bentónico (Abelló y Cartes, 1987).

Su distribución se extiende por la costa del Atlántico oriental desde Mauritania y las islas Canarias hasta Noruega, aunque no está presente en el Báltico. Ocupa toda la cuenca mediterránea y el mar Negro, en esta última zona en baja frecuencia. En el Mediterráneo es el crustáceo decápodo dominante en los fondos fangosos de la plataforma continental, encontrándose habitualmente a una profundidad entre menos de 50 a 200 m., y en menor densidad en el talud continental superior, hasta unos 400-500 m. (Abelló *et al.*, 2002). En dicho mar puede alcanzar densidades muy elevadas capturándose como especie acompañante en las pescas de arrastre de la plataforma continental dirigidas a la captura de la merluza (*Merluccius merluccius*), salmónete (*Mullus barbatus*) y pulpo (*Octopus vulgaris*). En el Atlántico ibérico es también muy abundante en la plataforma continental y en especial en las rías gallegas puesto que se encuentra en densidades elevadas en las áreas de cultivos de mejillones (Abelló, 2008).

Existe dimorfismo sexual y en general los machos son más grandes que las hembras, siendo la anchura máxima del cefalotórax de los primeros de hasta unos 61 mm, mientras que la de las hembras alcanza solamente 55 mm (aunque por lo general no acostumbran a superar los 50 mm). Se considera que es una especie adaptada a aguas frías, por tanto su periodo más activo de reproducción en nuestras latitudes es durante otoño-inverno, mientras que en las Islas Británicas tiene lugar en primavera-verano (Abelló *et al.*, 1990). En nuestras aguas el desarrollo larvario tiene una duración de unas cuatro semanas y consta de cinco fases como zoea y una como megalopa. En estos estadios es cuando la especie, al formar parte del plancton, puede dispersarse a grandes distancias al estar a merced de las corrientes marinas. En cambio los adultos, que viven en los fondos marinos, apenas se desplazan. Este cangrejo no es una especie longeva y normalmente vive entre un año y medio y dos (Abelló *et al.*, 2008).

L. depurator se considera una especie que no precisa requerimientos ecológicos demasiado estrictos, lo que le permite un gran potencial colonizador. Los organismos necesitan la variabilidad genética existente en las poblaciones para poder adaptarse a nuevas condiciones ambientales. Esta variabilidad puede incrementarse si existe conectividad entre poblaciones permitiendo el flujo génico entre ellas. En muchos organismos marinos dicha conectividad depende de la movilidad de las fases larvarias. En el caso de *L. depurator*, como ya se ha comentado, las larvas se localizan en el plancton y sus desplazamientos son dependientes del patrón de corrientes y de los frentes oceanográficos. Para estudiar la conectividad en dicha especie se dispone de un marcador molecular excelente, el gen *Citocromo Oxidasa subunidad I (COI)* localizado en el cromosoma mitocondrial. Utilizar genes del DNA mitocondrial se considera adecuado ya que son buenos marcadores para obtener información respecto a sucesos evolutivos pasados y también proporcionan una información general del nivel de flujo genético entre las poblaciones (Avise, 2000, Reece *et al.*, 2010). Estudios previos en *L. depurator* (García-Merchán *et al.*, 2012) pusieron de manifiesto que todos los haplotipos obtenidos para un fragmento de 527 pb del gen *COI* se clasificaban en dos haplogrupos muy bien definidos, uno predominante en aguas atlánticas (ATL) y otro que lo era en mediterráneas (MED). Con dichos haplotipos era posible estimar la conectividad genética entre poblaciones de la transición atlanto-mediterránea de dicho cangrejo (Pascual *et al.*, 2016).

Para comprender el flujo génico entre las poblaciones, es necesario conocer el patrón general de corrientes y frentes oceanográficos en dicha zona (Pascual *et al.*, 2017). El Mediterráneo forma una cuenca semicerrada y está conectado con el Océano Atlántico a través del Estrecho de Gibraltar. Este mar recibe una gran insolación que genera un calentamiento y evaporación del agua, los ríos que desembocan en él aportan poco flujo y el patrón de vientos invernales fuertes y mayoritariamente secos (como el mistral o la tramontana) también favorece la evaporación. Como consecuencia se produce en el Mediterráneo un incremento en la salinidad pero también, y muy importante, una ligera disminución del nivel de agua respecto al Atlántico. Este fenómeno favorecerá la entrada de corrientes marinas en superficie desde dicho océano, que aportarán aguas más frías y menos densas que las propias del

Mediterráneo. A estas grandes masas acuosas les costará mucho mezclarse. Como se ha comentado el agua atlántica penetra por el Estrecho de Gibraltar, circula cerca de la costa andaluza donde genera un par de giros anticiclónicos, para cambiar de dirección y pasar a dirigirse al interior del Mediterráneo por las proximidades de la costa norteafricana. A este nivel pueden desplazarse masas de agua hacia las Baleares, generando otros giros. La corriente principal llega hasta Italia de donde una de sus ramas asciende por la costa de dicho país y de Francia para llegar a las costas catalanas (donde recibe el nombre de Corriente del Norte), descendiendo por la costa levantina. Al llegar a la altura aproximada del Cabo de La Nao puede seguir hacia el Sur o girar de nuevo pasando por el norte de las Baleares. Según las condiciones atmosféricas de algunos años la corriente principal no desciende hacia el sur sino que realiza el giro. Estos movimientos de las corrientes definen los siguientes frentes oceanográficos. El primero es el Estrecho de Gibraltar (GS) que es un paso relativamente estrecho y que comunica (o dificulta la comunicación; según como se vea) el océano Atlántico con el Mediterráneo. Una vez en el Mar de Alborán los dos giros anticiclónicos serían los responsables del Frente Almería-Orán (AOF). El retorno de la corriente principal por la costa catalana y levantina, puede producir la discontinuidad denominada Canal de Ibiza (IC). Finalmente remarcar que la intensidad de las corrientes y de los frentes es variable a lo largo del tiempo y por tanto repercutirá sobre los patrones de conectividad genética entre las poblaciones, en función de su intensidad y temporalidad.

Por todas las razones expuestas las poblaciones de *L. depurator* localizadas en la transición atlanto-mediterránea son un modelo ideal para estudiar la conectividad poblacional y como ésta puede oscilar a lo largo del tiempo. Además, los resultados obtenidos para *L. depurator* no solamente son interesantes para dicho cangrejo, sino que son extrapolables a otras especies de crustáceos con características biológicas similares. De manera que los objetivos planteados en esta investigación fueron los siguientes: (I) Estudiar anualmente la composición genética para el fragmento de 527 pb del gen *COI* de *L. depurator* en las poblaciones muestreadas en la transición atlanto-mediterránea (Cádiz, Oeste del Mar de Alborán, Este del Mar de Alborán, Alacant, València, Delta del Ebro y Norte de Catalunya) en el periodo 2014-2019. (II) Analizar cada año los efectos de las principales discontinuidades oceanográficas en dicha zona (Estrecho de Gibraltar, Frente Almería-Orán y Canal de Ibiza) sobre la conectividad genética y registrar sus fluctuaciones a lo largo del tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y obtención de las muestras

Las muestras se obtuvieron mediante pesca demersal durante las campañas MEDITS (poblaciones mediterráneas) y ARSA (población de Cádiz) auspiciadas por el Instituto Español de Oceanografía, desarrolladas anualmente en el periodo 2014-2019. Las áreas de muestreo (Fig. 1), que denominaremos poblaciones, fueron las siguientes: Cádiz (CADI) localizada en el golfo de Cádiz al oeste del GS; Oeste

del mar de Alborán (WALB) desde el este GS hasta el cabo Sacratif; Este del mar de Alborán (EALB) desde este último cabo hasta el de Gata, por tanto al oeste del AOF; Alacant (ALAC) desde el cabo de Palos hasta el de La Nao, al este del AOF y sur del IC. València (VALE) desde el mencionado cabo de La Nao hasta Castelló-Columbretes, al norte del IC; Delta del Ebro (DELTA) desde Castelló-Columbretes hasta Tarragona; Norte de Catalunya (NCAT) desde Tarragona hasta el cabo de Roses; finalmente en el último año de estudio (2019) se pudo coleccionar una pequeña muestra de la isla de Alborán (IALB).

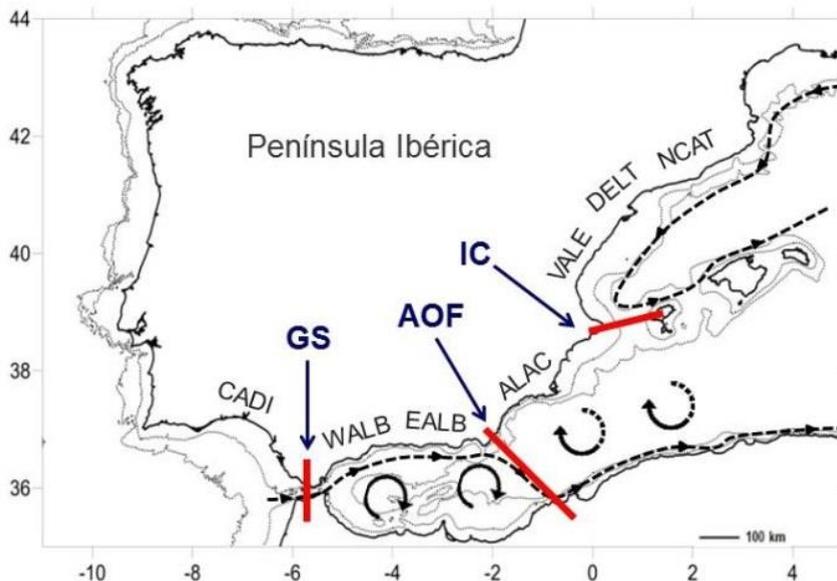


Figura 1. Corrientes marinas y giros (en negro), frentes oceanográficos (en rojo) y poblaciones muestreadas (en gris). Abreviaciones: GS (Estrecho de Gibraltar), AOF (Frente Almería-Orán), IC (Canal de Ibiza), CADI (Cádiz), WALB (Oeste del mar de Alborán), EALB (Este del mar de Alborán), ALAC (Alacant), VALE (València), DELT (Delta del Ebro), NCAT (Norte de Catalunya).

Clasificación de los individuos, extracción del DNA, amplificación y secuenciación

Como en la naturaleza coexisten cangrejos de diferentes edades y para evitar usar individuos de distintas cohortes dentro de un mismo año, los individuos de *L. depurator* recolectados eran clasificados y medidos a bordo del barco. Sólo aquellos con un caparazón de 41 ± 6 mm eran seleccionados ya que correspondería a individuos adultos de un año. Por tanto, la fase principal de dispersión (en estado de larva planctónica) de dichos cangrejos tuvo lugar durante el invierno anterior.

Seguidamente un pata del tercer o cuarto par era extraída, deshidratada y conservada en alcohol de 96° en un vial etiquetado y almacenado a 4°C. En el laboratorio se tomaba una pequeña fracción de tejido muscular para extraer el DNA mediante el uso de resina Chelex al 10% (Estoup *et al.*, 1996) (muestras de 2014 a 2017) o columnas QIAmp® DNA Mini Kit (Qiagen Inc.) siguiendo las instrucciones del fabricante (colecciones de 2018 y 2019). Nuestro fragmento del gen *Citocromo Oxidasa subunidad I (COI)* se amplificó mediante una reacción de PCR utilizando los *primers* universales de Folmer y colaboradores (1994). Los detalles de la reacción de PCR y limpieza de los productos se encuentran descritos en detalle en Pascual *et al.* (2016). Finalmente la secuenciación se llevó a cabo en los Serveis Científics i Tècnics de la Universitat de Barcelona.

Análisis de las secuencias y cálculos estadísticos

Todas las secuencias se inspeccionaron visualmente, se alinearon y cortaron utilizando BioEdit v7.2.6.1 (Hall, 1999) para obtener los fragmentos finales de 527 pb del gen *COI*. Los parámetros poblacionales que definen la diversidad molecular, las distancias genéticas Γ_{ST} y los valores para el estadístico *Snn* se obtuvieron mediante el *software* DnaSP v5.10.1 (Librado y Rozas, 2009). Para identificar los haplotipos se ha seguido la misma nomenclatura que la utilizada en trabajos previos (García-Merchán *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2016). Se construyeron redes de haplotipos para los diferentes años por medio del algoritmo *Median Joining* (Bandelt *et al.*, 1999) implementado en el *software* NETWORK v5 de Fluxus Technology y también árboles filogenéticos utilizando el procedimiento *Neighbour Joining* del paquete informático MEGA X (Kumar *et al.*, 2018). En los casos de comparaciones múltiples se realizó la corrección FDR (*False Discovery Rate*) según Benjamini y Hochberg (1995), considerando en todos los casos la significación como $P < 0,05$. Por último, para analizar si existía relación entre las distancias genéticas y geográficas se calcularon para cada año un test de Mantel y un Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) usando las funciones *mantel* y *cmdscale* del paquete *vegan* en lenguaje R (Oksanen *et al.*, 2016).

RESULTADOS

Variabilidad molecular

Se obtuvieron un total de 966 secuencias. En general la variabilidad molecular era más elevada para las poblaciones del mar de Alborán que para el resto, seguramente porque al tener mezcla de masas de agua atlántica y mediterránea incorporaba secuencias del gen *COI* de diferentes orígenes. Para cada año de estudio, mediante las redes de haplotipos y los árboles filogenéticos, se corroboró que había dos grupos de secuencias (haplogrupos) claramente diferenciados, uno especialmente frecuente en aguas de origen atlántico (denominado ATL) y otro predominante en aguas mediterráneas (MED). El mismo resultado se repitió cada año, mostrándose como ejemplo en las Fig. s 2 (red de haplotipos) y 3 (árbol

filogenético) los obtenidos en 2019. En la red de haplotipos, para cada haplogrupo se distingue un haplotipo principal (Ldep_03 para el atlántico y Ldep_02 para el mediterráneo) mientras que los demás se distribuyen en forma de estrella en función de los cambios en la secuencia.

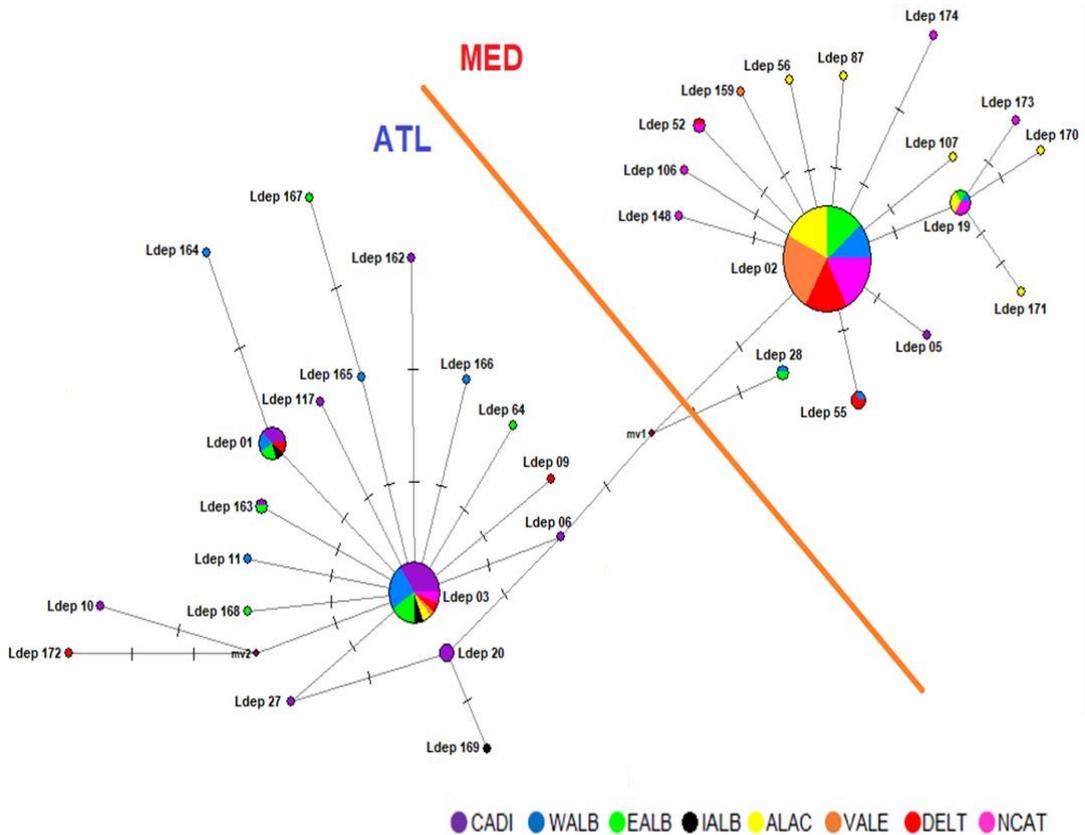


Figura 2. Red de haplotipos correspondiente a 2019. Los nodos indican los haplotipos y las ramas conectan nodos similares. Las líneas transversales en las ramas indican cambios de nucleótidos. Los colores indican el origen poblacional de los haplotipos como indica la leyenda. La línea de color separa el haplogrupo atlántico (ATL) del mediterráneo (MED).

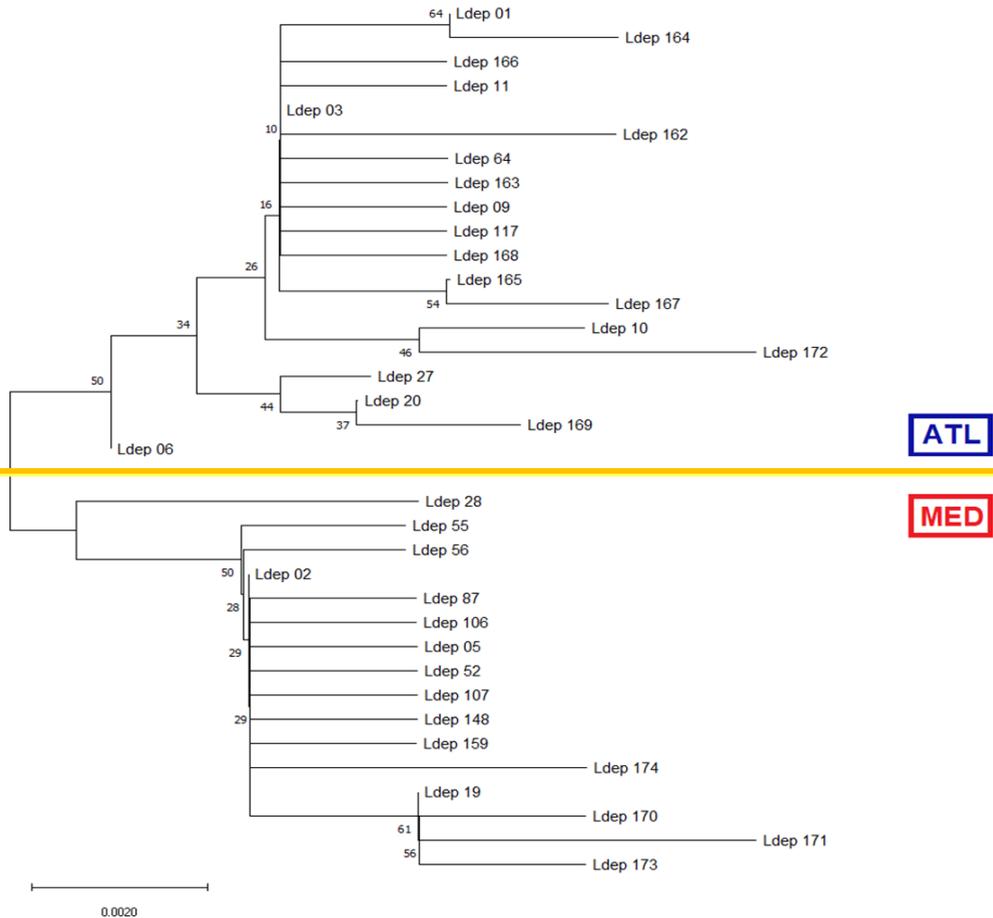


Figura 3. Árbol filogenético elaborado con las secuencias de 2019. La franja de color indica la primera partición que separa el haplogrupo atlántico (ATL) del mediterráneo (MED).

Las muestras de NCAT, con pocos individuos estudiados, siempre presentaron haplotipos de tipo mediterráneo, mientras que los de IALB del año 2019 fueron todos atlánticos.

Efecto de los frentes oceanográficos en la diferenciación genética

Con el fin de estudiar el efecto de las principales barreras oceanográficas en la diferenciación genética de las poblaciones de *L. depurator*, se calcularon los valores de Γ_{ST} entre pares de

poblaciones situadas a ambos lados de las principales frentes para cada año durante el periodo 2014-2019. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Efecto de los frentes oceanográficos mediante el estudio de las distancias genéticas entre las poblaciones localizadas a ambos lados de cada uno de ellos. Se presentan los resultados para cada año. Se muestran los valores de Gammast, de su estadístico adjunto (*Snn*) y la significación (*P*), junto a los valores corregidos mediante FDR.

Frente oceanográfico	Comparaciones entre poblaciones según el año	Gammast	<i>Snn</i>	<i>P</i>	<i>P</i> ajustado
Estrecho de Gibraltar (GS)	CADI_2014 - WALB_2014	0,023	0,556	0,085	0,102
	CADI_2015 - WALB_2015	0,085	0,572	0,016	0,032
	CADI_2016 - WALB_2016	0,020	0,498	0,781	0,781
	CADI_2017 - WALB_2017	0,034	0,619	0,021	0,032
	CADI_2018 - WALB_2018	0,108	0,619	<0,001	<0,001
	CADI_2019 - WALB_2019	0,100	0,607	<0,001	<0,001
Frente Almería-Oran (AOF)	WALB_2014 - ALAC_2014	0,294	0,699	0	0
	WALB_2015 - ALAC_2015	0,181	0,648	0,002	0,007
	WALB_2016 - ALAC_2016	0,192	0,672	0	0
	WALB_2016 - EALB_2016	0,216	0,622	0,004	0,011
	EALB_2016 - ALAC_2016	0,010	0,500	0,370	0,398
	WALB_2017 - ALAC_2017	0,091	0,573	0,026	0,052
	WALB_2017 - EALB_2017	0,055	0,628	0,047	0,073
	EALB_2017 - ALAC_2017	0,294	0,713	0	0
	WALB_2018 - ALAC_2018	0,119	0,546	0,032	0,056
	WALB_2018 - EALB_2018	0,026	0,531	0,075	0,095
	EALB_2018 - ALAC_2018	0,054	0,529	0,105	0,122
	WALB_2019 - ALAC_2019	0,165	0,583	0,008	0,019
WALB_2019 - EALB_2019	0,007	0,433	0,960	0,960	
EALB_2019 - ALAC_2019	0,118	0,541	0,069	0,095	
Canal de Ibiza (IC)	ALAC_2014 - VALE_2014	0,021	0,515	0,162	0,314
	ALAC_2015 - VALE_2015	0,012	0,503	0,543	0,652
	ALAC_2016 - VALE_2016	0,050	0,603	0,006	0,036
	ALAC_2017 - VALE_2017	0,023	0,510	0,209	0,314
	ALAC_2018 - VALE_2018	0,008	0,719	0,717	0,717
ALAC_2019 - VALE_2019	0,025	0,526	0,084	0,252	

	VALE_2014 - DELT_2014	0,014	0,473	0,872	0,872
	VALE_2015 - DELT_2015	0,008	0,499	0,381	0,508
Sin	VALE_2016 - DELT_2016	0,043	0,581	0,006	0,048
discontinuidades	VALE_2017 - DELT_2017	0,021	0,531	0,089	0,254
	VALE_2018 - DELT_2018	0,016	0,475	0,690	0,789
	VALE_2019 - DELT_2019	0,059	0,529	0,119	0,254

Es de destacar que para el Estrecho de Gibraltar, de los seis años analizados se observaron efectos significativos en cuatro de ellos. Por tanto, esta barrera parece importante para la conectividad de las poblaciones de *L. depurator*. Respecto al Frente Almería-Orán en los años 2014 y 2015 se analizó a nivel general mediante la comparación entre las poblaciones de WALB y ALAC, puesto que no se pudieron obtener muestras en EALB. En ambos años se observaron diferencias significativas. En 2016 se detectó significación entre WALB y ALAC y para WALB y EALB, pero no entre EALB y ALAC, indicando que el dicho frente restringía la conectividad poblacional, pero no se situaba en su posición típica, sino que aparecía desplazado situándose hacia el centro del mar de Alborán. Este fenómeno podría explicarse por una menor potencia del segundo giro anticiclónico de dicho mar (Fig. 1). Para el año 2017 todas las comparaciones son en principio significativas, persistiendo tan sólo la última después de la corrección por FDR. Ello indicaría un efecto potente del Frente Almería-Orán en su posición típicamente descrita. Para 2018 la única significación se encuentra entre WALB y ALAC, que se pierde al realizar el ajuste estadístico. La interpretación de este resultado es que dicho frente tiene un efecto aunque no especialmente potente. En el último año estudiado (2019) se obtuvo significación también entre WALB y ALAC, aunque en este caso no se pierde al realizar la corrección. Por tanto el Frente Almería-Orán tendría un efecto y se situaría en su localización habitual. Para el Canal de Ibiza sólo se detectó efecto significativo en 2016, lo que indicaría que para el resto de los años no tiene efecto importante en la conectividad de las poblaciones de *L. depurator*. Entre las poblaciones no afectadas por las discontinuidades solamente se encontró diferencias significativas para 2016 entre VALE y DELTA, que podría deberse a condiciones marinas particulares, esporádicas, que confluyeron en aquel año.

Otra aproximación interesante fue agrupar los haplotipos en los dos haplogrupos para observar su distribución en las poblaciones y para los diferentes años. Estos resultados se presentan gráficamente en la Fig. 4 para los años en que fue posible estudiar EALB, es decir, 2016 (Fig. 4a), 2017 (Fig. 4b), 2018 (Fig. 4c) y 2019 (Fig. 4d). Se observaron los mismos efectos para los frentes oceanográficos en cuanto a limitar el flujo génico de las poblaciones. Se demostró la relevancia del Estrecho de Gibraltar y del Frente Almería-Orán, aunque este podía cambiar de intensidad y localización en función de los años.

Conectividad entre poblaciones del cangrejo *Liocarcinus depurator*

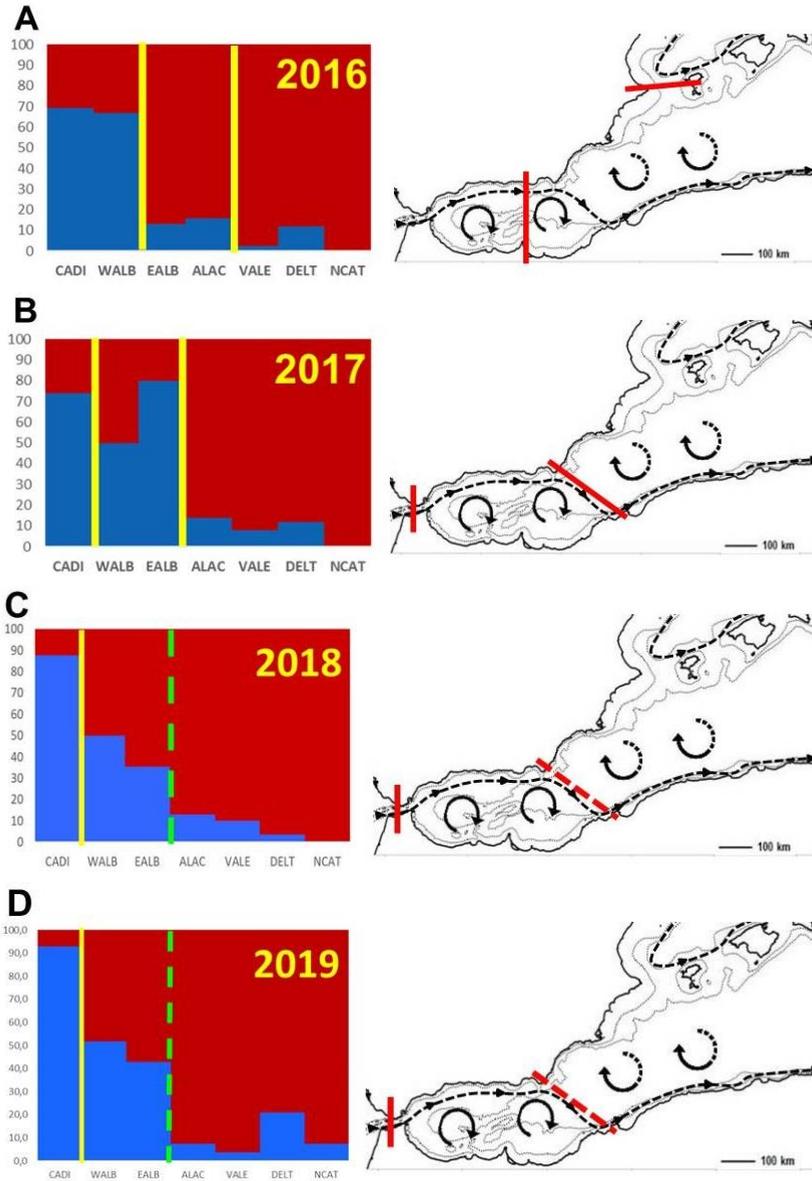


Figura 4. Porcentajes del haplogrupo atlántico (azul) y mediterráneo (rojo) para las poblaciones estudiadas para los cuatro últimos años. A) 2016, B) 2017, C) 2018 y D) 2019. La línea amarilla indica diferencias significativas y la verde tan solo una tendencia.

Los resultados respecto al *test* de Mantel mostraron en general una buena correlación entre las distancias genéticas y geográficas. Por tanto existiría predominantemente un aislamiento por distancia a pesar de la presencia de barreras geográficas. Los análisis de coordenadas principales pusieron de manifiesto que el primer eje explicaba más del 99% de la variabilidad y se correspondía con la localización geográfica de las poblaciones. Aparecían tres grupos diferenciados a lo largo de dicho eje: (1) la población de Cádiz, (2) las dos del mar de Alborán y (3) las valencianas y catalanas.

DISCUSIÓN

La conectividad hace posible el flujo génico entre las poblaciones permitiendo un aumento de la variabilidad genética que puede promover nuevas adaptaciones a las especies. Los ecosistemas no son sistemas estáticos, sino que constantemente pueden ser alterados por factores físicos y biológicos. Por ejemplo, el calentamiento global también afecta a los ambientes marinos (Belkin, 2009; Lejeusne *et al.*, 2010; Frölicher *et al.*, 2018; Voosen, 2021). Por esta razón el estudiar la conectividad tiene un interés evolutivo destacado, pero con claras connotaciones respecto a la conservación de las especies y a su explotación pesquera. En el caso concreto de las poblaciones de *L. depurator* en la transición atlántico-mediterránea se observó que dicho flujo génico se encuentra muy influenciado por dos barreras oceanográficas importantes, el Estrecho de Gibraltar (GS) y el Frente Almería Orán (AOF). El primero es crucial teniendo un efecto estadísticamente significativo (en cuatro de los seis años), mientras que el segundo también lo es aunque puede variar en intensidad y localización exacta dependiendo de la potencia del segundo giro anticiclónico (Tabla 1 y Fig. 4). Estas dos discontinuidades definen tres grandes regiones: (1) el Golfo de Cádiz, predominantemente compuesto por aguas de constitución atlántica donde el haplogrupo predominante es el ATL, (2) el Mar de Alborán, con mezcla de aguas de composición atlántica y mediterránea, siendo variable en función de los años, lo que explicaría unas cantidades variables de los dos haplogrupos (ATL y MED) y (3) las poblaciones valencianas y catalanas compuestas principalmente por aguas de naturaleza mediterránea donde el haplogrupo mayoritario es el MED. En general existe un gradiente en abundancia de los dos haplogrupos, pero con escalones debidos a estos dos frentes. La zona del mar de Alborán, con su mezcla de aguas, fue la que presentó mayor variabilidad genética. Es realmente interesante observar como fluctuaron los efectos de estas dos barreras sobre la conectividad en función de los años. El GS se había identificado como una posible discontinuidad para *L. depurator* (Pascual *et al.*, 2016). Sin embargo lo es para un gran número de especies marinas (por ejemplo Palero *et al.*, 2008; García-Merchán *et al.*, 2012; Marie *et al.*, 2016; Pascual *et al.*, 2017). También AOF se ha observado que es una barrera fundamental en la disminución del flujo génico en muchas especies incluyendo *L. depurator* (Galarza *et al.*, 2009; Schunter *et al.*, 2011; Marie *et al.*, 2016; Pascual *et al.*, 2016, 2017), siendo considerado por algunos autores como la discontinuidad principal (Patarnello *et al.*, 2007). Algunos de estos estudios también indicaron que el efecto de dicho frente puede variar en función de los años.

Es de destacar que en 2016 se detectó un efecto significativo del Canal de Ibiza (IC). Habitualmente la Corriente del Norte circula hacia el sur a través del Canal de Ibiza (zona entre el Cabo de La Nao e Ibiza) hacia las costas de Alicante y Almería. No obstante, en inviernos fríos, coincidiendo con la época de reproducción y desarrollo larvario en el plancton de *L. depurator* (Abelló, 1989; Abelló y Guerao, 1999), la circulación vira hacia el norte por el oeste de las Islas Baleares, bloqueando la circulación y provocando recirculación en el Mediterráneo noroccidental (Balbín *et al.*, 2014). Por tanto en nuestro estudio no se detectó efecto del IC sobre la conectividad de *L. depurator* en ningún año, con la excepción del 2016. En alguna especie, como *Serranus cabrilla*, IC puede tener un efecto destacado (Schunter *et al.*, 2011). También se obtuvo una diferencia significativa en la composición genética entre VALE y DELT para 2016. València es un área particular donde puede quedar agua con poca circulación y restringir el flujo génico, mientras que DELT puede recibir larvas ATL a través de giros anticiclónicos despegados de la corriente principal de entrada que fluye a lo largo de las costas del norte de África (Font *et al.*, 1998; Millot, 2005), así como por los aportes de aguas fluviales del río Ebro, la cual crea condiciones de menor salinidad más semejantes a las aguas atlánticas, condiciones que podrían favorecer al haplogrupo atlántico, presumiblemente más adaptado a condiciones atlánticas.

Este último comentario lleva a un análisis global sobre la posible adaptación de los haplogrupos para el gen *COI* de *L. depurator*. Seguramente ambos tienen su origen en el aislamiento del Atlántico respecto al Mediterráneo durante las últimas glaciaciones (García-Merchán *et al.*, 2012; Palero *et al.*, 2008). Las condiciones ambientales diferentes (fundamentalmente temperatura y salinidad) fueron un factor selectivo en la adaptación de los dos grupos de *L. depurator* que habrían estado aislados durante períodos interglaciales. Al reabrirse la comunicación entre ambas masas de agua esta diferenciación persistió por su valor adaptativo. De manera que en la actualidad existiría un balance entre migración y selección que afecta las frecuencias de los dos haplogrupos. El estudio de las posibles adaptaciones de los dos grupos merece futuros trabajos.

Como consideración final comentar que para *L. depurator*, en la transición atlanto-mediterránea, existen tres grandes áreas con características genéticas propias: el golfo de Cádiz, el mar de Alborán y las costas valencianas/mediterráneas. Estas tres zonas deben tenerse en cuenta para definir las AMP (Áreas Marinas Protegidas) y las políticas tanto de conservación como de gestión de los recursos pesqueros (Abelló *et al.*, 2002). Los resultados obtenidos pueden ser extrapolables a otros cangrejos, y crustáceos en general, con una biología y desarrollo larvario parecidos a *L. depurator*.

CONCLUSIONES

1. Para el gen *COI* se han obtenido 966 secuencias de 527 pb en las poblaciones del cangrejo *L. depurator* analizadas en el periodo 2014-2019. Todas ellas se clasificaron en dos haplogrupos principales bien definidos, el Atlántico (ATL) y el Mediterráneo (MED).

2. En el mismo periodo se detectó que las principales barreras que condicionan el flujo génico entre dichas poblaciones son el Estrecho de Gibraltar y el Frente Almería-Orán. Estas discontinuidades oceanográficas no son estables a lo largo del tiempo, sino que existe un dinamismo de las corrientes y de los frentes que tienen una gran influencia sobre la conectividad de las poblaciones de *L. depurator*.

3. Estos resultados tienen una gran relevancia para la gestión de los recursos pesqueros de *L. depurator* y otros crustáceos. También son importantes para definir adecuadamente las AMP (Áreas Marinas Protegidas) del Ministerio de Transición Ecológica.

Agradecimientos

Queremos dar las gracias a todas las personas que nos ayudaron en la recolección de las muestras durante las campañas MEDITS y ARSA. Este estudio fue financiado por los proyectos CTM2017-88080 AEI/FEDER, UE del Ministerio de Economía y Competitividad (España) y 2017SGR 1120 de la Generalitat de Catalunya. Se agradece financiación parcial por parte del proyecto CLIFISH (CTM2015-66400-C3-3-R, MINECO/FEDER), Ministerio de Economía y Competitividad y por el European Regional Development Fund (ERDF).

REFERENCIAS

- Abelló P. (1989). Reproduction and moulting in *Liocarcinus depurator* (Linnaeus, 1758) (Brachyura: Portunidae) in the northwestern Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 53: 127-134.
- Abelló P. (2008). Crustáceos. Los Decápodos. Los Portúnidos. En: La riqueza de nuestros mares: especies de interés del sector pesquero español. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. pp: 599-622.
- Abelló P., Carbonell A., Torres P. (2002). Biogeography of epibenthic crustaceans on the shelf and upper slope off the Iberian Peninsula Mediterranean coasts: implications for the establishment of natural management areas. *Scientia Marina*, 66S2: 183-198.
- Abelló P., Cartes J. (1987). Observaciones sobre la alimentación de *Liocarcinus depurator* (L.) (Brachyura: Portunidae) en el Mar Catalán. *Investigaciones Pesqueras*, 51 (Supl. 1): 413-419.
- Abelló P., Carbonell A., Torres P. (2002). Biogeography of epibenthic crustaceans on the shelf and upper slope off the Iberian Peninsula Mediterranean coasts: implications for the establishment of natural management areas. *Scientia Marina*, 66 (Suppl. 2): 183-198.

- Abelló P., Guerao G. (1999). Temporal variability in the vertical and mesoscale spatial distribution of crab megalopae (Crustacea: Decapoda) in the northwestern Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49: 129-139.
- Abelló P., Pertierra J.P., Reid D.G. (1990). Sexual size dimorphism, relative growth and handedness in *Liocarcinus depurator* and *Macropipus tuberculatus* (Brachyura: Portunidae). *Scientia Marina*, 54: 195-202.
- Avise J.C. (2000). *Phylogeography: The history and formation of species*. Harvard University Press, Cambridge (MA). 646 pp.
- Balbín R., López-Jurado J.L., Flexas M.M., Reglero P., Vélez-Velchi P., González-Pola C., Rodríguez J.M., Alemany F. (2014). Interannual variability of the early summer circulation around the Balearic Islands: Driving factors and potential effects on the marine ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 138: 70-81
- Bandelt H.J., Forster P., Röhl A. (1999). Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 16: 37-48.
- Belkin I.M. (2009). Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 81: 207-213.
- Benjamini Y., Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society B (Statistical Methodology)*, 57: 289-300.
- Estoup A., Largiadèr C.R., Perrot E., Chourrout D. (1996). Rapid one-tube DNA extraction for reliable PCR detection of fish polymorphic markers and transgenes. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 5: 295-298.
- Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome *c* oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3, 294-299.
- Font J., Millot C., Salas J., Julià A., Chic O. (1998). The drift of Modified Atlantic Water from the Alboran Sea to the eastern Mediterranean. *Scientia Marina*, 62: 211-216.

- Frölicher T.L., Fischer E.M., Gruber N. (2018). Marine heatwaves under global warming. *Nature*, 560: 360-364.
- Galarza J.A., Carreras-Carbonell J., Macpherson E., Pascual M., Roques S., Turner G.F., Rico C. (2009). The influence of oceanographic fronts and early-life-history traits on connectivity among littoral fish species. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 106: 1473-1478.
- García-Merchán V.H., Robainas-Barcia A., Abelló P., Macpherson E., Palero F., García-Rodríguez M., Gil de Sola L., Pascual M. (2012). Phylogeographic patterns of decapod crustaceans at the Atlantic–Mediterranean transition. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62: 664-672.
- Hall T. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41: 95–98 (1999).
- I.N.E. (2019). Anuario estadístico de España 2019: 12. Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca. Madrid, España. 365 pp.
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura, K. (2018). MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35: 1547-1549.
- Lejeusne C., Chevaldonne P., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 250-260.
- Librado P., Rozas J. (2009). DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*, 25: 1451-1452.
- Marie A.D., Lejeusne C., Karapatsiou E., Cuesta J.A., Drakes P., Macpherson E. Bernatchez L., Rico C. (2016). Implications for management and conservation of the population genetic structure of the wedge clam *Donax trunculus* across two biogeographic boundaries. *Scientific Reports*, 6: 39152.
- Millot C. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea: evidences, debates and unanswered questions. *Scientia Marina* 69, 5–21.

- Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P.R., O'Hara R. B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens M.H.H., Szoecs, E., Wagner H. (2016). Vegan: community ecology package. R package vegan, v. 2.4-0.
- Palero F., Abelló P., Macpherson E., Gristina M., Pascual M. (2008). Phylogeography of the European spiny lobster (*Palinurus elephas*): Influence of current oceanographical features and historical processes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48: 708-717.
- Pascual M., Rives B., Schunter C., Macpherson E. (2017). Impact of life history traits on gene flow: A multispecies systematic review across oceanographic barriers in the Mediterranean Sea. *PLoS One*, 12: e0176419.
- Pascual M., Palero F., García-Merchán V.H., Macpherson E., Robainas-Barcía A., Mestres F., Roda T., Abelló P. (2016). Temporal and spatial differentiation in the crab *Liocarcinus depurator* across the Atlantic-Mediterranean transition. *Scientific Reports*, 6: 29892.
- Patarnello T., Volckaert F.A.M.J., Castilho R. (2007). Pillars of Hercules: is the Atlantic–Mediterranean transition a phylogeographical break? *Molecular Ecology*, 16: 4426-4444.
- Reece J.C., Bowen B.W., Joshi K., Goz V., Larsson A. (2010). Phylogeography of two moray eels indicates high dispersal throughout the Indo-Pacific. *Journal of Heredity*, 101: 391-402.
- Schunter C., Carreras-Carbonell J., Macpherson E., Tintoré J., Vidal-Vijade E., Pascual A., Guidelli P., Pascual M. (2011). Matching genetics with oceanography: directional gene flow in a Mediterranean fish species. *Molecular Ecology*, 20: 5167-5181.
- Voosen, P. (2021). Global temperatures in 2020 tied record highs. *Science*, 371: 334-335.



Tissue-expression pattern of *elovl4* genes in *Sparus aurata* and *Solea senegalensis*: from larvae to adult

Patrón de expresión tisular de los genes *elovl4* en la dorada y el lenguado senegalés: de larva a adulto

M. Torres, F. Hontoria, Ó. Monroig, I. Varó and J.C. Navarro

Instituto de Acuicultura Torre de la Sal (IATS-CSIC), 12595 Ribera de Cabanes (Castellón), SPAIN.

 Miguel Torres () E-mail: miguel.torres.rodriquez@csic.es;
migueltorres307@hotmail.com

RESUMEN | Los ácidos grasos de cadena muy larga (> C24) (VLC-FA) juegan un papel crítico durante el desarrollo temprano de los vertebrados, ya que estos compuestos se acumulan en los tejidos neurales que se forman rápidamente, asegurando su función normal. La funcionalidad de estos compuestos ha despertado interés, centrándose en el estudio de elongasa 4 de alargamiento de ácidos grasos de cadena muy larga (Elov14), que son responsables de su biosíntesis a partir de ácidos grasos más cortos (precursores). Para comprender mejor el metabolismo y los requisitos potenciales específicos de tejido de VLC-FA en teleosteos marinos, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el patrón de expresión tisular de los genes que codifican las isoformas de Elov14, es decir, *elov14a* y *elov14b*, en diferentes ventanas de desarrollo (estadios larvario y adulto) de *Sparus aurata* y *Solea senegalensis*. Los resultados indicaron que en las larvas de *S. aurata*, *elov14a* se expresa ampliamente en la cabeza, mientras que *elov14b* está fuertemente enfocado en los ojos. Curiosamente, en las larvas de *S. senegalensis* se observó un patrón de expresión tisular opuesto para ambas isoformas de *elov14*. En adultos de ambos peces, aunque se detectaron transcripciones de *elov14* en la mayoría de los tejidos analizados, los genes *elov14a* y *elov14b* se expresaron fuertemente en el cerebro y los ojos, respectivamente. Es importante destacar que el patrón de expresión tisular diferencial de ambas isoformas de *elov14* asociadas a la etapa pre y post-metamórfica de *S. senegalensis* podría ser indicativo de las necesidades particulares de VLC-FA vinculadas a la funcionalidad de los tejidos neurales en cada etapa de desarrollo. Estos hallazgos pueden contribuir a una mejor comprensión del metabolismo de VLC-FA específico de la especie en los teleosteos marinos.

Palabras clave: Elov14, ácidos grasos de cadena muy larga, *Sparus aurata*; *Solea senegalensis*, expresión de genes.

ABSTRACT | Very long-chain (> C24) fatty acids (VLC-FA) play critical roles during early development of vertebrates, since these compounds are accumulated in the rapidly forming neural tissues, ensuring their normal function. The functionality of these compounds has aroused interest, focusing in the study of elongation of very long chain fatty acid elongase 4 (Elov14), which are responsible of their biosynthesis from shorter fatty acids (precursors). For a better understanding of the metabolism and the potential tissue-specific requirements of VLC-FA in marine teleosts, the present study aimed to determine

the tissue-expression pattern of the genes that encode for Elov14 isoforms, i.e. *elovl4a* and *elovl4b*, in different windows of development (larval and adult stages) of *Sparus aurata* and *Solea senegalensis*. The results indicated that in *S. aurata* larvae, *elovl4a* is widely expressed in the head, while *elovl4b* is strongly focused in the eyes. Interestingly, in *S. senegalensis* larvae an opposite tissue-expression pattern was observed for both *elovl4* isoforms. In adults of both fish, although *elovl4* transcripts were detected in most tissues analyzed, *elovl4a* and *elovl4b* genes were strongly expressed in brain and eyes, respectively. Importantly, the differential tissue-expression pattern of both *elovl4* isoforms associated to the pre- and post-metamorphic stage of *S. senegalensis* could be indicative to the VLC-FA particular needs linked to neural tissues functionality in each development stage. These findings can contribute to a better understanding of the species-specific VLC-FA metabolism in marine teleosts.

Keywords: *Elov14*; Very long-chain fatty acids; *Sparus aurata*; *Solea senegalensis*; gene expression.

INTRODUCTION

En Very long-chain ($> C_{24}$) fatty acids (VLC-FA) play critical roles during early development of vertebrates, since these compounds are accumulated in the rapidly forming neural tissues, ensuring their normal function. However, despite their putative importance, the study of VLC-FA in fish is scarce. Their biosynthesis is carried out by the so-called elongation of very long-chain fatty acid 4 (Elov14) proteins through the successive elongation reactions from pre-existing long-chain fatty acids (LC-FA) (Monroig *et al.*, 2018). Consequently, the complement and function of these enzymes determine the capacity that a given species has for satisfying the physiological demands for VLC-FA, especially during its early development (Deák *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2020a, b).

Virtually, all teleost fish possess at least two Elov14 isoforms termed as Elov14a and Elov14b (Castro *et al.*, 2016; Monroig *et al.*, 2010). Both Elov14 are associated to VLC-FA biosynthesis (Monroig *et al.*, 2018; Morais *et al.*, 2020). However, the capability of each isoform to efficiently participate in the VLC-FA production can differ in function of the fish species studied (Betancor *et al.*, 2020; Jin *et al.*, 2017; Monroig *et al.*, 2010; Morais *et al.*, 2020; Oboh *et al.*, 2017). Thus, Elov14a is mostly involved in the very long-chain saturated fatty acids (VLC-SFA) biosynthesis, while Elov14b mainly participates in the very long-chain polyunsaturated fatty acids (VLC-PUFA) production (Deák *et al.*, 2019; Monroig *et al.*, 2010).

VLC-SFA and VLC-PUFA, are strongly connected with correct development and functionality of nervous system (Deák *et al.*, 2019; Morais *et al.*, 2020), being synthesized and incorporated into more complex lipids in a tissue-specific manner (Cameron *et al.*, 2007; Deák *et al.*, 2019). Generally, VLC-PUFA are incorporated into phosphatidylcholine in the photoreceptor cells that make up the retina (Agbaga *et al.*, 2010) participating in the photoreceptor protection (Bazan, 2018; Deák *et al.*, 2019).

VLC-SFA are mainly incorporated into sphingolipids in the brain (Deák *et al.*, 2019) taking part in the membrane fusion of synaptic vesicles carried out during neurotransmission process (Hopiavuori *et al.*, 2018, 2019). Moreover, *Elovl4* seem to play also a significant role in the LC-PUFA biosynthesis pathway, elongating actively C₁₈₋₂₀ PUFA up to DHA (Morais *et al.*, 2020; Xie *et al.*, 2016; Yan *et al.*, 2018), which is the most abundant fatty acid in brain and retinal cells (Mourete, 2003).

Resulting from the essential neurophysiological role and the tissue-specific generation/incorporation of their biosynthesis products (Agbaga *et al.*, 2010; Aldahmesh *et al.*, 2011; Dyllal, 2015), *elovl4* is considered a crucial gene strongly connected to neuronal function of vertebrates (Agbaga *et al.*, 2010; Deák *et al.*, 2019; Monroig *et al.*, 2011; Morais *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2020a). Thus, the knowledge of the *elovl4* tissue-specific expression along fish development can be essential to understand the metabolism and the potential role that VLC-FA play in fish. With this in mind, the present study aimed to determine the tissue-expression pattern of genes that encode for both *Elovl4* isoforms, *elovl4a* and *elovl4b*, in different windows of development (larvae and adults) of *S. aurata* and *S. senegalensis*. Both species display different LC-PUFA biosynthesis strategies, since *S. aurata* possesses one sole *Fads2* enzyme with $\Delta 6$ activity (Seiliez *et al.*, 2003; Zheng *et al.*, 2004), while *S. senegalensis* possess a *Fads2* with $\Delta 4$ activity (Morais *et al.*, 2012). These enzymatic differences in LC-PUFA biosynthesis, along to other characteristics, like their specific larval development, and the different post-larval feeding habits, i.e. pelagic or benthonic, are of special interest to assess the tissue-expression pattern of *elovl4* genes from a comparative point of view.

MATERIALS AND METHODS

Spatial expression of *elovl4* genes in *S. aurata* and *S. senegalensis* early larvae

Larvae: sample preparation

In order to study the spatial expression of *elovl4* genes (*elovl4a* and *elovl4b*) during the early larvae development of *S. aurata* and *S. senegalensis* by whole mount *in situ* hybridization (WISH) analyses, triplicate pools of 24 hours post hatching (hph) larvae were collected (~50 individuals per sample). Larvae were fixed overnight at 4 °C in 4 % paraformaldehyde (PAF) in 1x phosphate buffered saline (PBS), washed in PBS, and dehydrated by immersion in methanol series to subsequently be frozen at -20 °C in pure methanol.

Cloning and spatial expression of elovl4 genes by whole-mount in situ hybridization (WISH)

To determine the spatial expression of *S. aurata* and *S. senegalensis* *elovl4a* and *elovl4b*, WISH was performed on 24 hph larvae using Digoxigenin (DIG)-labelled antisense riboprobes as described

in Rotllant *et al.* (2008) and Thisse and Thisse (2008). Antisense riboprobes were made from linearized partial length *S. aurata* and *S. senegalensis elovl4a* and *elovl4b* plasmids, using pGEM®- T Easy Vector Systems I (Promega Biotech Ibérica S.L., Madrid, Spain). To prepare in vitro mRNA synthesis, a Riboprobe® Combination System - SP6/T7 RNA polymerase was used (Promega Biotech Ibérica S.L.). Finally digoxigenin-tagged RNA probes were isolated using mini Quick Spin RNA Columns (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany) and stored to -80 °C until required. Primers used for RNA probe synthesis in spatial expression of *S. aurata* and *S. senegalensis elovl4* genes by WISH are shown in Table 1.

Table 1. Sequences of the primer pairs used, size of the fragment produced and accession number of the sequences utilized for RNA probe synthesis employed in spatial expression of *S. aurata* and *S. senegalensis elovl4* genes by whole-mount *in situ* hybridization.

<i>Sparus aurata</i>				
Transcript	Primer	Primer sequence	Fragment	Accession No
<i>elovl4a</i>	F	5'-GCCCAAGTACATGAAGAACAGAG-3'	563 bp	MK610320
	R	3'-GGTGACCTACGTGATGAGGG-5'		
<i>elovl4b</i>	F	5'-GTCAAGTACTCCAACGATGTCAA-3'	394 bp	MK610321
	R	3'-TGTGTCCGACGGGTAAGG-5'		
<i>Solea senegalensis</i>				
Transcript	Primer	Primer sequence	Fragment	Accession No
<i>elovl4a</i>	F	5'-CTTTCCAGCTCCGCAAACC-3'	645 bp	MN164537
	R	3'-GAGGAGGAGGTTTCGTTCGT-5'		
<i>elovl4b</i>	F	5'-GATCGCCAGGCCTACACA-3'	559 bp	MN164625
	R	3'-TCACCCGAGACTAACCAATGC-5'		

Gene expression analysis by reverse transcription PCR (RT-PCR) and quantitative real-time PCR (qPCR) in adult fish

The expression of *elovl4* isoforms in each tissue from one specimen of gilthead seabream and Senegalese sole was analyzed by reverse transcription PCR (RT-PCR) using GoTag Polymerase (Promega Biotech Ibérica S.L.). *18s ribosomal RNA (18s)* was used a reference gene. A random set of RT-PCR samples were purified and sequenced to confirm the identity of the amplicons.

The expression of *elovl4a* and *elovl4b* was analyzed by qPCR in tissues that showed a strong signal in RT-PCR analyses (brain, eye, and gonad) in three fish. Table 2 shows the primers used in PCR analyses. The efficiency of the primer pairs was assessed through a standard curve that was obtained by serial dilutions of standard solutions of the studied genes with known copy numbers, which also allowed for the conversion of threshold cycle (Ct) values to copy numbers. The amplification was

carried out, as previously described in (Torres et al., 2020a) using β -actin as gene for expression normalization.

Table 2. Primers used for reverse transcription PCR (RT-PCR) and real-time quantitative PCR (qPCR) of *Sparus aurata* and *Solea senegalensis* genes. Sequences of primer pairs used (Forward: F; Reverse: R), annealing temperatures (Ta) of primer pairs, size of fragments produced, and accession number of the sequences used for primer design are shown.

<i>Sparus aurata</i>						
Aim	Transcript	Primer	Primer Sequence (5'–3')	Ta	Fragment	Accession No
RT-PCR	<i>elovl4a</i>	F	GCCCAAGTACATGAAGAACAGAG	60 °C	563 bp	MK610320
		R	GGGAGTAGTGCATCCAGTGG			
	<i>elovl4b</i>	F	GTCAAGTACTCCAACGATGTCAA	60 °C	394 bp	MK610321
		R	GGAATGGGCAGCCTGTGT			
	<i>18s</i>	F	TCCTTTGATCGCTCTACCGT	60 °C	460 bp	AY993930.1
		R	TGCCCTCCAATTGATCCTCG			
qPCR	<i>elovl4a</i>	F	GCCCAAGTACATGAAGAACAGAG	60 °C	169 bp	MK610320
		R	ACCTGATGAGTCTGCTGGGG			
	<i>elovl4b</i>	F	GTCAAGTACTCCAACGATGTCAA	60 °C	247 bp	MK610321
		R	GAGAAGGTAGGTACACGAGT			
	<i>Actb</i>	F	TGCGTGACATCAAGGAGAAG	60 °C	190 bp	X89920
		R	AAGGAGCCATACCTCAGGAC			
<i>Solea senegalensis</i>						
Aim	Transcript	Primer	Primer Sequence (5'–3')	Ta	Fragment	Accession No
RT-PCR	<i>elovl4a</i>	F	TGCACTACTCCCTCATCTGC	60 °C	497 bp	MN164537
		R	TGAAAACAGCCACCTTAGGC			
	<i>elovl4b</i>	F	CCTCTGCCTTGTCAGTTTC	60 °C	175 bp	MN164625
		R	TCCTTGACCCGTAGTTTAAC			
	<i>18s</i>	F	TCAGACCCAAAACCCATGCG	60 °C	464 bp	EF126042.1
		R	CCCGAGATCCAACCTACGAGC			
qPCR	<i>elovl4a</i>	F	AGGTGAGGTAGGGCCTTGTT	60 °C	220 bp	MN164537
		R	CGGATTCCACCGACAAAAGT			
	<i>elovl4b</i>	F	CCTCTGCCTTGTCAGTTTC	60 °C	175 bp	MN164625
		R	TCCTTGACCCGTAGTTTAAC			
	<i>Actb</i>	F	ACAATGAGCTGAGAGTCGCC	60 °C	132 bp	DQ485686
		R	ATGGGGGCGGTACATACAAC			

Statistical analysis

The homogeneity of variances of the data associated to gene expression values determined by qPCR was checked using Levene's test. Statistical differences were analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA) ($p \leq 0.05$), followed by Tukey HSD *post-hoc* tests using the statistical software SPSS 26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTS

Spatial expression of *elovl4* genes in 24 hph larvae

S. aurata

WISH results for 24 hph *S. aurata* larvae revealed that *elovl4a* was widely distributed in the head region (**Fig. 1B**). Moreover, *elovl4b* was specifically expressed in the eyes (**Fig. 2C**), showing a strong signal in the retinal epithelium (**Fig. 2D**). No signal was detected for sense control probes of *elovl4a* (**Fig. 1A**) and *elovl4b* (**Fig. 2A, B**) genes.



Figure 1. WISH showing the tissue-expression pattern of *S. aurata elovl4a* in 24 hph larvae. Larvae were hybridized with either sense (**A**) or antisense (**B**) probes.



Figure 2. WISH showing the tissue-expression pattern of *S. aurata elovl4b* in 24 hph larvae. Larvae were hybridized with either sense (**A, B**) or antisense (**C, D**) probes.

S. senegalensis

WISH results for 24 hph *S. senegalensis* larvae denoted that, curiously, *elovl4a* expression signal was located in the eyes (Fig. 3C, D). Contrary to the tissue-expression pattern shown by *S. aurata* larvae, *elovl4b* expression signal was widely distributed in the cephalic region (Fig. 4B). As expected, no signal was detected for sense control probes of *elovl4a* (Fig. 3A, B) and *elovl4b* (Fig. 4A) genes.

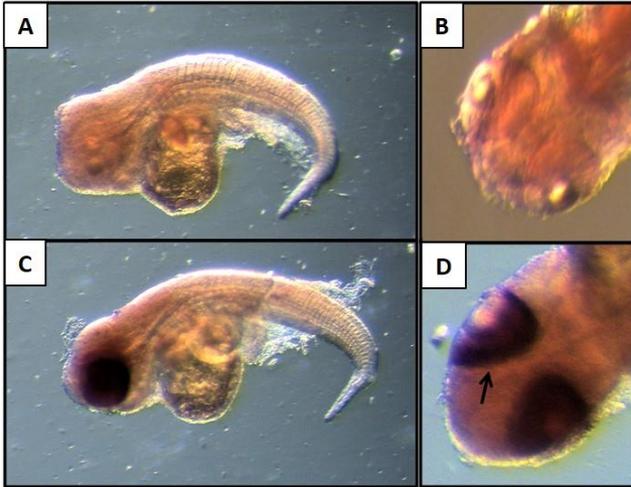


Figure 3. WISH showing the tissue-expression pattern of *S. senegalensis elovl4a* in 24 hph larvae. Larvae were hybridized with either sense (A, B) or antisense (C, D) probes. Black arrow denotes a strong expression signal in retinal epithelium.

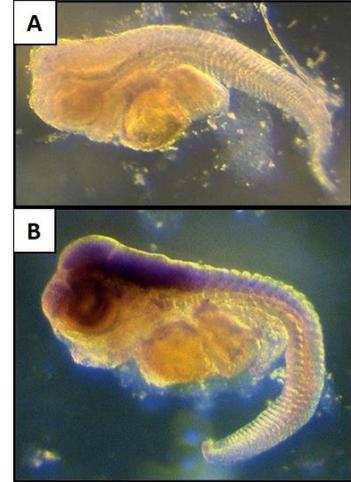


Figure 4. WISH showing the tissue-expression pattern of *S. senegalensis elovl4b* in 24 hph larvae. Larvae were hybridized with either sense (A) or antisense (B) probes.

Tissue expression of *elovl4* genes in adults fish

In adults of both fish, RT-PCR results denoted a differential *elovl4a* and *elovl4b* tissue-specific expression pattern (Fig. 5A, B). As expected, qPCR results confirmed a similar *elovl4* expression pattern between *S. aurata* larvae and adults, with *elovl4a* being mostly expressed in brain (Fig. 5C), and *elovl4b* in eye (Fig. 5E). For *S. senegalensis*, in contrast with what was found in 24 hph larvae, *elovl4a* was highly expressed in brain (Fig. 5D), and *elovl4b* in eye (Fig. 5F).

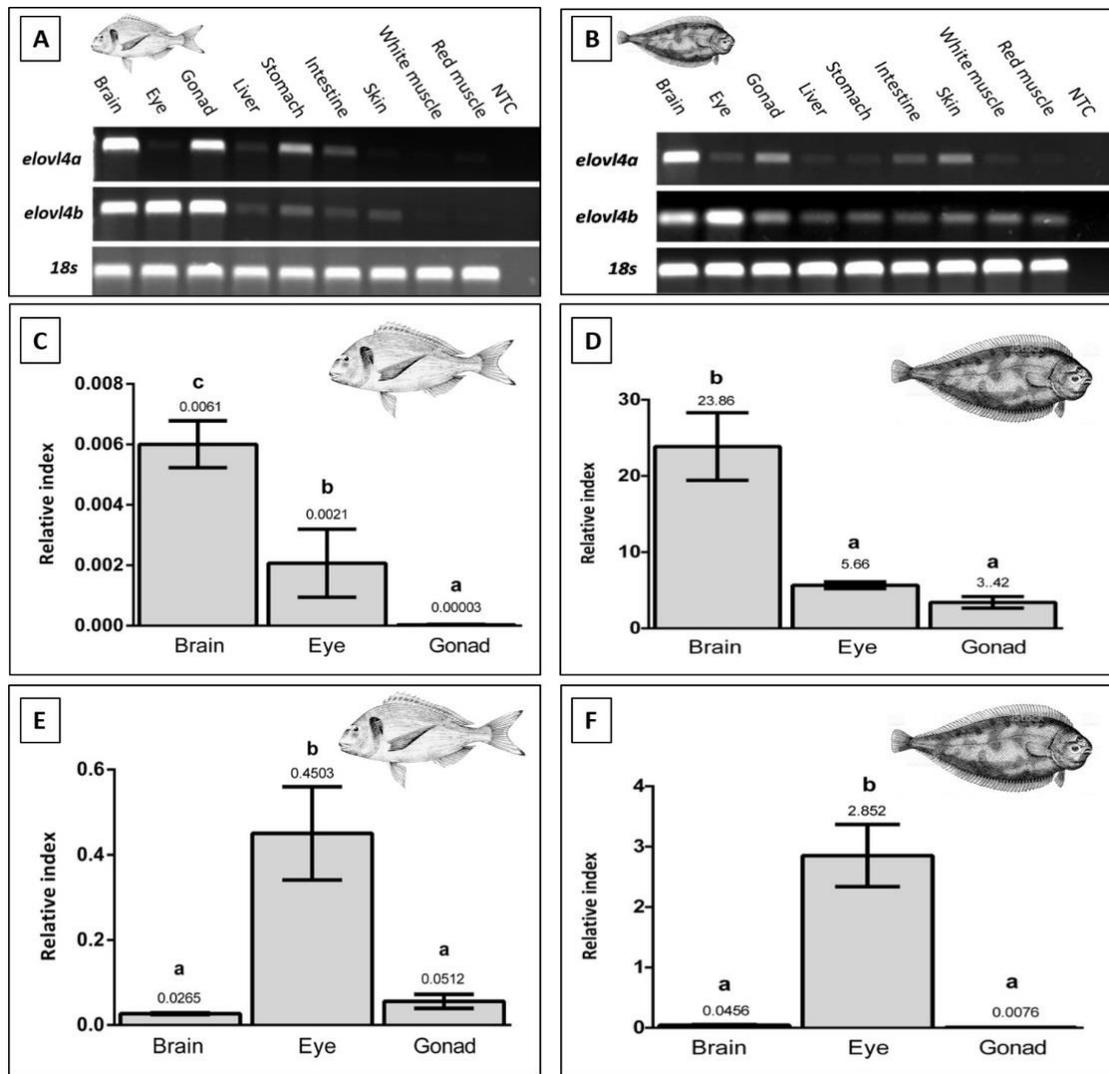


Figure 5. Tissue distribution of *elovl4a* and *elovl4b* transcripts in adults of *S. aurata* (A) and *S. senegalensis* (B) determined by RT-PCR (n=1 fish). Expression of housekeeping gene *18s* is also shown. Expression of *S. aurata* *elovl4a* (C) *S. senegalensis* *elovl4a* (D), *S. aurata* *elovl4b* (E) and *S. senegalensis* *elovl4b* (F) transcripts in selected tissues determined by qPCR. The results, shown as relative index, are β -actin normalized values (gene copy number/ β -actin copy number). Bars represent means and standard deviations (n=3 fish). Different letters (a, b, c) denote significant differences (ANOVA and Tukey HSD test, $P \leq 0.05$) among tissues.

DISCUSSION

WISH results denoted the existence of a differential *elovl4a* and *elovl4b* tissue-expression pattern between *S. aurata* and *S. senegalensis* 24 hph larvae. Remarkably, an opposite tissue-expression pattern was observed between these 24 hph marine fish larvae for *elovl4* genes. Thus, *elovl4* spatial expression results found in *S. aurata* larvae are in agreement with those observed in zebrafish larvae (Monroig *et al.*, 2010), which denoted that *elovl4a* expression signal was extensively distributed in the head region, while *elovl4b* was specifically detected in the eye. These results agree with the *elovl4a* and *elovl4b* expression values detected in adults of both species (Fig. 5), and with the results described in adults of other fish (Betancor *et al.*, 2020; Carmona-Antoñanzas *et al.*, 2011; Monroig *et al.*, 2010), whose *elovl4a* and *elovl4b* results showed a strong signal expression in brain and eye, respectively. Curiously, for *S. senegalensis*, an opposite *elovl4* tissue-expression pattern was observed between the pre- (Fig. 3, 4) and post-metamorphic stages (Fig. 5). Why in *S. senegalensis* larvae both *elovl4a* and *elovl4b*, unlike to what it was observed in *S. aurata*, presented an opposite tissue-expression pattern with respect to those found in adult fish, is a question that requires further exploration. It is tempting to hypothesize linking these specific-tissue expression patterns, associated to developmental events, with the important neural tissue remodeling carried out during the metamorphosis process, after which, the cognitive system and feeding habits of *S. senegalensis* are consequently adapted to the strong nocturnal activity developed in the post-metamorphic stage (Sarasquete *et al.*, 2019). These neurophysiological changes could modify the VLC-FA requirements associated to neural tissues and, consequently, remodel the *elovl4* expression pattern to be adapted to the new conditions.

Different assays, carried out in larval and post-larval stages of both species (Torres *et al.*, 2020a; 2020b), suggest that *elovl4* isoforms show a specific-expression pattern in function of the different VLC-FA requirements associated to each species, developmental stage and precursors availability, highlighting the independent expression pattern and regulation of both *elovl4* isoforms. So, our results are in agreement with those obtained in recent studies carried out in late larvae (40 days after hatching) and post-larvae of both fish (Torres *et al.*; 2020a; 2020b), where both *elovl4* isoforms were strongly and preferentially expressed in the head. Independently to the species-specific expression differences observed, these results suggest a role of *Elovl4a/b* enzymes in the local biosynthesis and incorporation of VLC-FA in fish neural tissues, especially during their early development (Morais *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2020a).

Thus, due to the cell-specific incorporation of VLC-FA in vertebrates (Agbaga *et al.*, 2010; Deák *et al.*, 2019; Hopiavuori *et al.*, 2018, 2019), their focused tissue functionality, and the specific *elovl4a* and *elovl4b* tissue-expression pattern detected in fish, we can conclude that, similarly to what it has been described in mammals, neural tissues are the major site of *elovl4* expression in marine teleosts. Moreover, in contrast to what is found for *S. aurata*, the *elovl4a* and *elovl4b* tissue-expression pattern

seems to be stage-specific in *S. senegalensis*. These results suggest that the investigation of *elov4* genes, and consequently that of their encoded Elovl4 proteins in teleosts, requires a species-specific approach.

Acknowledgements

Study funded by grants AGL2013-40986-R, AGL2011-23502 (MINECO) and PROMETEO II / 2014/085 (*Generalitat Valenciana*). Miguel Torres has been supported by a PhD program from *Diputación de Castellón*.

REFERENCES

- Agbaga, M.P., Mandal, M.N.A., Anderson, R.E. (2010). Retinal very long-chain PUFAs: new insights from studies on ELOVL4 protein. *Journal of Lipid Research* 51(7): 1624-1642.
- Aldahmesh, M.A., Mohamed, J.Y., Alkuraya, H.S., Verma, I.C., Puri, R.D., Alaiya, A.A., Rizzo, W.B., Alkuraya, F.S. (2011). Recessive mutations in ELOVL4 cause ichthyosis, intellectual disability, and spastic quadriplegia. *The American Journal of Human Genetics* 89(6): 745-750.
- Bazan, N.G. (2018). Docosanoids and elovanoids from omega-3 fatty acids are pro-homeostatic modulators of inflammatory responses, cell damage and neuroprotection. *Molecular Aspects of Medicine* 64: 18-33.
- Betancor, M.B., Oboh, A., Ortega, A., Mourente, G., Navarro, J.C., de la Gandara, F., Tocher D.R., Monroig, O. (2020). Molecular and functional characterisation of a putative *elov4* gene and its expression in response to dietary fatty acid profile in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemical and Molecular Biology* 240, 110372.
- Cameron, D.J., Tong, Z., Yang, Z., Kaminoh, J., Kamiyah, S., Chen, H., Zeng, J., Chen, Y., Luo, L., Zhang, K. (2007). Essential role of Elovl4 in very long chain fatty acid synthesis, skin permeability barrier function, and neonatal survival. *International Journal of Biological Sciences* 3(2): 111-119.
- Carmona-Antoñanzas, G., Monroig, Ó., Dick, J.R., Davie, A., Tocher, D.R. (2011). Biosynthesis of very long-chain fatty acids (C>24) in Atlantic salmon: Cloning, functional characterisation, and tissue distribution of an Elovl4 elongase. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemical and Molecular Biology* 159(2): 122-129.
- Castro, L.F.C., Tocher, D.R., Monroig, Ó. (2016). Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis

- in chordates: insights into the evolution of Fads and Elovl gene repertoire. *Progress in Lipid Research* 62: 25-40.
- Deák, F.; Anderson, R.E.; Fessler, J.L.; Sherry, D.M. (2019). Novel cellular functions of very long chain-fatty acids: Insight from ELOVL4 mutations. *Frontiers in Cellular Neuroscience* 13, 428.
- Dyall, S.C. (2015). Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: A review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA. *Frontiers in Aging Neuroscience* 7: 1-15.
- Hopiavuori, B.R., Deak, F., Wilkerson, J.L., Brush, R.S., Rocha-Hopiavuori, N.A., Hopiavuori, A.R., Ozan, K.G., Sullivan, M.T., Wren, J.D., Georgescu, C., Szweda, L., Awasthi, V., Towner, R., Sherry, D.M., Anderson, R.E., Agbaga, M.P. (2018). Homozygous expression of mutant ELOVL4 leads to seizures and death in a novel animal model of very long-chain fatty acid deficiency. *Molecular Neurobiology* 55 (2): 1795-1813.
- Hopiavuori, B.R., Anderson, R.E., Agbaga, M.P. (2019). ELOVL4: very long chain fatty acids serve an eclectic role in mammalian health and function. *Progress in Retinal and Eye Research* 69: 137-158.
- Jin, M., Monroig, Ó., Navarro, J.C., Tocher, D.R., Zhou, Q.C. (2017). Molecular and functional characterisation of two elovl4 elongases involved in the biosynthesis of very long-chain (>C24) polyunsaturated fatty acids in black seabream *Acanthopagrus schlegelii*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemical and Molecular Biology* 212: 41-50.
- Monroig, Ó., Rotllant, J., Cerdá-Reverter, J.M., Dick, J.R., Figueras, A., Tocher, D.R. (2010). Expression and role of Elovl4 elongases in biosynthesis of very long-chain fatty acids during zebrafish *Danio rerio* early embryonic development. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids* 1801(10): 1145-1154.
- Monroig, Ó., Webb, K., Ibarra-Castro, L., Holt, G.J., Tocher, D.R. (2011). Biosynthesis of long-chain polyunsaturated fatty acids in marine fish: Characterization of an Elovl4-like elongase from cobia *Rachycentron canadum* and activation of the pathway during early life stages. *Aquaculture* 312(1-4): 145-153.
- Monroig, Ó., Tocher, D.R., Castro, L.F.C. (2018). Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis and Metabolism in Fish, in: Burdge G. C. (Ed.), Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism. Elsevier, Amsterdam, pp. 31-60.

- Morais, S., Castanheira, F., Martinez-Rubio, L., Conceição, L.E.C., Tocher, D.R. (2012). Long-chain polyunsaturated fatty acid synthesis in a marine vertebrate: Ontogenetic and nutritional regulation of a fatty acyl desaturase with $\Delta 4$ activity. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids* 1821 (4): 660-671.
- Morais, S., Torres, M., Hontoria, F., Monroig, Ó., Varó, I., Agulleiro, M. J., Navarro, J. C. (2020). Molecular and Functional Characterization of *elovl4* Genes in *Sparus aurata* and *Solea senegalensis* Pointing to a Critical Role in Very Long-Chain (> C₂₄) Fatty Acid Synthesis during Early Neural Development of Fish. *International Journal of Molecular Science* 21(10): 3514.
- Mourente, G. (2003). Accumulation of DHA (docosahexaenoic acid; 22:6n-3) in larval and juvenile fish brain, in: Howard I. B. (Ed), *The Big Fish Bang*. Norwegian Institute of Marine Research, Bergen, pp. 239-248.
- Oboh, A., Navarro, J.C., Tocher, D.R., Monroig, Ó. (2017). Elongation of very long-chain (>C₂₄) fatty acids in *Clarias gariepinus*: cloning, functional characterization and tissue expression of *elovl4* elongases. *Lipids* 52(10): 837-848.
- Rotllant, J., Liu, D., Yan, Y.L., Postlethwait, J.H., Westerfield, M., Du, S.J. (2008). Sparc (Osteonectin) functions in morphogenesis of the pharyngeal skeleton and inner ear. *Matrix Biology* 27(6): 561-572.
- Sarasquete, C., Gisbert, E., Ortiz-Delgado, J.B. (2019). Embryonic and larval ontogeny of the Senegalese sole, *Solea senegalensis*, in: Muñoz-Cueto, J.A., Mañanos, E., Sánchez, F.J. (Eds.), *The Biology of Sole*. CRC Press, Boca Ratón, pp 216-252.
- Seiliez, I., Panserat, S., Corraze, G., Kaushik, S., Bergot, P. (2003). Cloning and nutritional regulation of a $\Delta 6$ -desaturase-like enzyme in the marine teleost gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemical and Molecular Biology* 135 (3): 449-460.
- Thisse, C., Thisse, B. (2008). High-resolution *in situ* hybridization to whole-mount zebrafish embryos. *Nature Protocols* 3: 59-69.
- Torres, M.; Navarro, J.C.; Varó, I.; Agulleiro, M.J.; Morais, S.; Monroig, Ó.; Hontoria, F. (2020a). Expression of genes related to long-chain (C₁₈₋₂₂) and very long-chain (>C₂₄) fatty acid biosynthesis in gilthead seabream (*Sparus aurata*) and Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae: Investigating early ontogeny and nutritional regulation. *Aquaculture* 520: 734949.

- Torres, M.; Navarro, J.C.; Varó, I.; Monroig, Ó.; Hontoria, F. (2020b). Nutritional regulation of genes responsible for long-chain (C₂₀₋₂₄) and very long-chain (>C₂₄) polyunsaturated fatty acid biosynthesis in post-larvae of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture* 525: 735314.
- Xie, D., Chen, F., Lin, S., You, C., Wang, S., Zhang, Q., Monroig, Ó., Tocher, D.R., Li, Y. (2016). Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in the euryhaline herbivorous teleost *Scatophagus argus*: Functional characterization, tissue expression and nutritional regulation of two fatty acyl elongases. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemical and Molecular Biology* 198: 37-45.
- Yan, J., Liang, X., Cui, Y., Cao, X., Gao, J. (2018). Elovl4 can effectively elongate C₁₈ polyunsaturated fatty acids in loach *Misgurnus anguillicaudatus*. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 495(4): 2637-2642.
- Zheng, X., Seiliez, I., Hastings, N., Tocher, D.R., Panserat, S., Dickson, C.A., Bergot, P., Teale, A.J. (2004). Characterization and comparison of fatty acyl Δ 6 desaturase cDNAs from freshwater and marine teleost fish species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B Biochemical and Molecular Biology* 139 (2): 269-279.



Estudio preliminar de la diversidad genética y la filogenia molecular de *Girella laevisfrons* de la costa central del Perú

Preliminary study of the genetic diversity and molecular phylogeny of *Girella laevisfrons* from the central coast of Peru

César Abram Cruz-Castellón^{1,2}, David Cordero¹, Carlos Saavedra¹

¹Instituto de Acuicultura Torre de la Sal, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 12595 Ribera de Cabanes (Castellón), España.

²Departamento de Acuicultura e Industrias Pesqueras, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n – La Molina, Lima – Perú.

 César Abram Cruz-Castellón () E-mail: cacruzcastellon@hotmail.com

RESUMEN | *Girella laevisfrons* es un pez marino candidato para la acuicultura en Perú debido a que ha mostrado una enorme resistencia al cultivo y hábitos de alimentación herbívoros. A pesar de esto, las relaciones filogenéticas de la especie y la genética poblacional han sido poco estudiadas. Las secuencias de un fragmento de 599 pares de bases de largo del gen mitocondrial COI se obtuvieron de 16 especímenes juveniles de *G. laevisfrons* muestreados en el centro de Perú. Se descargaron secuencias COI adicionales de otras 6 especies de *Girella* disponibles en bases de datos públicas. Se determinaron los parámetros de diversidad genética y se construyó un árbol filogenético. Los resultados indican que la diversidad de haplotipos y nucleótidos de *G. laevisfrons* fue intermedia entre *G. punctata* y *G. tricuspidata*. En tanto la filogenia molecular colocó a *G. laevisfrons* dentro de un clado bien apoyado que incluía especies de América del Norte, Nueva Zelanda y Australia, pero las ramas dentro de este grupo tenían un bajo apoyo estadístico. Conclusión: La variabilidad genética de *G. laevisfrons*, determinada por COI, es comparable a las otras especies del género. *G. laevisfrons* está relacionado filogenéticamente con especies de Australia, Nueva Zelanda y América del Norte, pero es necesario secuenciar más genes para determinar las relaciones filogenéticas dentro de ese grupo.

Palabras clave: Baunco, variabilidad genética, filogenia molecular, COI.

ABSTRACT | *Girella laevisfrons* is a candidate marine fish for aquaculture in Peru because it has shown enormous resistance to cultivation and herbivorous feeding habits. Despite this, the phylogenetic relationships of the species and population genetics have been little studied. The sequences of a 599 base pair long fragment of the COI mitochondrial gene were obtained from 16 juvenile specimens of *G. laevisfrons* sampled in central Peru. Additional COI sequences from 6 other *Girella* species available from public databases were downloaded. The genetic diversity parameters were determined and a phylogenetic tree was built. The results indicate that the haplotype and nucleotide diversity of *G. laevisfrons* was intermediate between *G. punctata* and *G. tricuspidata*. While molecular phylogeny placed *G. laevisfrons* within a well-supported clade that included species from North America, New Zealand, and Australia, but the branches within this group had low statistical support. Conclusion:

The genetic variability of *G. laevisfrons*, determined by COI, is comparable to the other species of the genus. *G. laevisfrons* is phylogenetically related to species from Australia, New Zealand, and North America, but more genes need to be sequenced to determine phylogenetic relationships within that group.

Keywords: Sea chub, genetic variability, molecular phylogeny, COI.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día uno de los grandes problemas de la acuicultura es la sostenibilidad de la harina y aceite de pescado. En ese sentido una de las estrategias que se viene realizando en los últimos años es la de incluir en la formulación de las dietas acuícolas insumos de origen vegetal. Asimismo, las nuevas tendencias para el desarrollo de la acuicultura es trabajar con especies de bajo nivel trófico puesto que estas requieren menos harina y aceite de pescado (FOESA, 2013). Un grupo importante de especies con bajo nivel trófico es la familia de los Kifósidos que son peces marinos que se alimentan casi exclusivamente de algas (<https://biogeodb.stri.si.edu/sfstep/es/thefishes/taxon/1562>). Y dentro de esta familia se encuentra la subfamilia Girellinae que se caracterizan por ser peces de cuerpo profundo con dientes tricúspides especializados para el consumo de macroalgas (Yagishita y Nakabo, 2000). Esta subfamilia a su vez está representada por dos géneros *Graus* y *Girella*. De estos dos géneros las especies del género *Girella* se consideran especies interesantes para la acuicultura puesto que son peces de consumo habitual y que manifiestan hábitos herbívoros y/o omnívoros (Varas y Ojeda, 1990; Muñoz y Ojeda, 1997; Cruz, 2019). Las especies del género *Girella* habitan aguas cálidas y templadas de todo el mundo (Figura 1). Una especie importante e interesante dentro de la subfamilia Girellinae es *Girella laevisfrons* que habita en las zonas intermareales y submareales someras, y que se distribuye en Perú desde las Islas de Guañape (8°S) hasta la ciudad de Tacna y en Chile en la costa centro norte (Varas y Ojeda, 1990; Pequeño y Sáez, 2008). Se considera importante e interesante para la acuicultura del Perú, porque en pruebas realizadas de adaptación al cultivo, ha mostrado una rusticidad extraordinaria, atributo que podría permitir el desarrollo de una piscicultura marina en donde se requiera de una baja inversión, en donde podrán incursionar los pescadores artesanales (Lujan, 2010) (Fig. 1).

Por otro lado, dentro de los temas de investigación en cualquier especie con indicio de ser un buen candidato para la acuicultura se encuentran los estudios de variabilidad genética, genética de poblaciones y filogenia molecular. La variabilidad genética permite una buena adaptación al medio de cultivo, y permite detectar la existencia de subespecies, razas o poblaciones con características genéticas distintas. El análisis filogenético permite determinar la historia evolutiva y el contexto ambiental de la diversificación de las especies, que tiene importancia para entender su biología actual.

La filogenia molecular en especies del género *Girella* fue estudiada inicialmente por Yagishita y Nakabo (2003) con la finalidad de determinar las tendencias evolutivas en los hábitos alimentarios de

los Girellidae. Estos autores secuenciaron parcialmente el gen mitocondrial de la subunidad 2 de la deshidrogenasa (NADH) de seis especies del género *Girella* del Océano Pacífico (*G. elevata*, *G. leonina*, *G. mezinga*, *G. nigricans*, *G. punctata*, y *G. tricuspídata*) y seis especies de cuatro familias relacionadas al género *Girella* (Kyphosidae, Microcanthidae, Kuhliidae, y Oplegnathidae). Los resultados de esta investigación indicaron que las especies de las costas asiáticas (*G. leonina*, *G. mezinga* y *G. punctata*) formaban un grupo separado de las especies de Oceanía y América (Fig. 2A). Por su parte Itoi *et al.* (2007) secuenciaron un fragmento del ADN mitocondrial (ADNm) que incluía parte de la región de control (*D-loop*), genes de ARN ribosómico 12S y 16S (ARNr) y ARN de transferencia (ARNt: ARNtPhe, ARNtVal y ARNtLeu) en *G. leonina*, *G. mezinga* y *G. punctata*. Los resultados coincidieron con los de Yagishita y Nakabo (2003) en que *G. leonina* y *G. punctata* son más próximas filogenéticamente entre sí que *G. mezinga* (Fig. 2B). Finalmente, Knudsen *et al.* (2016, 2019) secuenciaron un total de 5 kb del ADNm y tres genes nucleares en ocho especies de *Girella* y en *Graus nigra* (Fig. 2C). Este estudio indicó que las especies más antiguas son las pertenecientes a dos archipiélagos oceánicos, *G. nebulosa* de la isla de Pascua y *G. fimbriata* de las islas Kermadec. Por otra parte, las dos especies norteamericanas (*G. nigricans* y *G. simplicidens*) tienen como grupo hermano a tres especies de Oceanía. En ninguno de estos trabajos se han incluido alguna de las tres especies sudamericanas: *G. freminvillei*, de las islas Galápagos, *G. albostríata*, de la islas Desventuradas y de Juan Fernández, y *G. laevifrons*, de las costas continentales de Sudamérica se ha incluido a *G. laevifrons*.

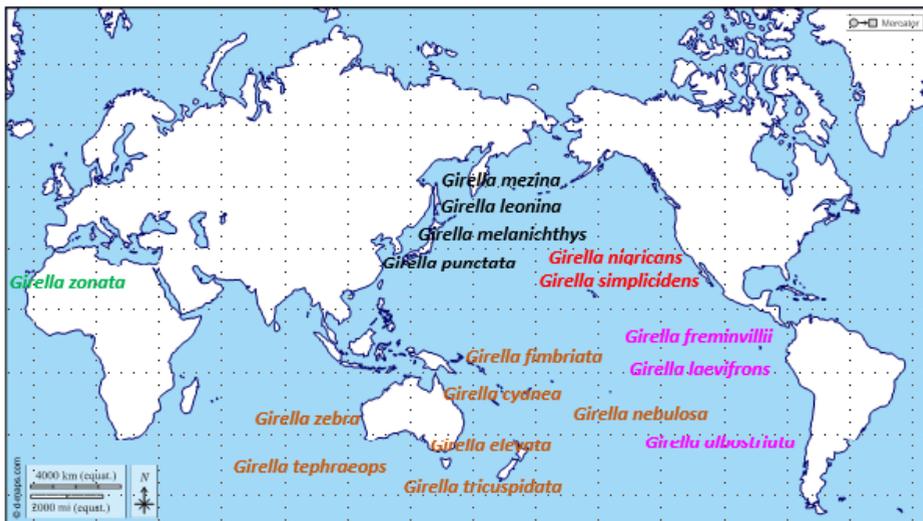


Figura 1. Distribución geográfica de especies del género *Girella*. El color indica los grupos de especies por distribución en los continentes. Ejemplo: el color verde indica la especie africana, el color negro agrupa a las especies asiáticas, el color marrón indica a las especies del continente australiano, Nueva Zelanda e islas del Pacífico, el color rojo indica a las especies norteamericanas y el color lila a las especies sudamericanas.

Cruz-Castellón

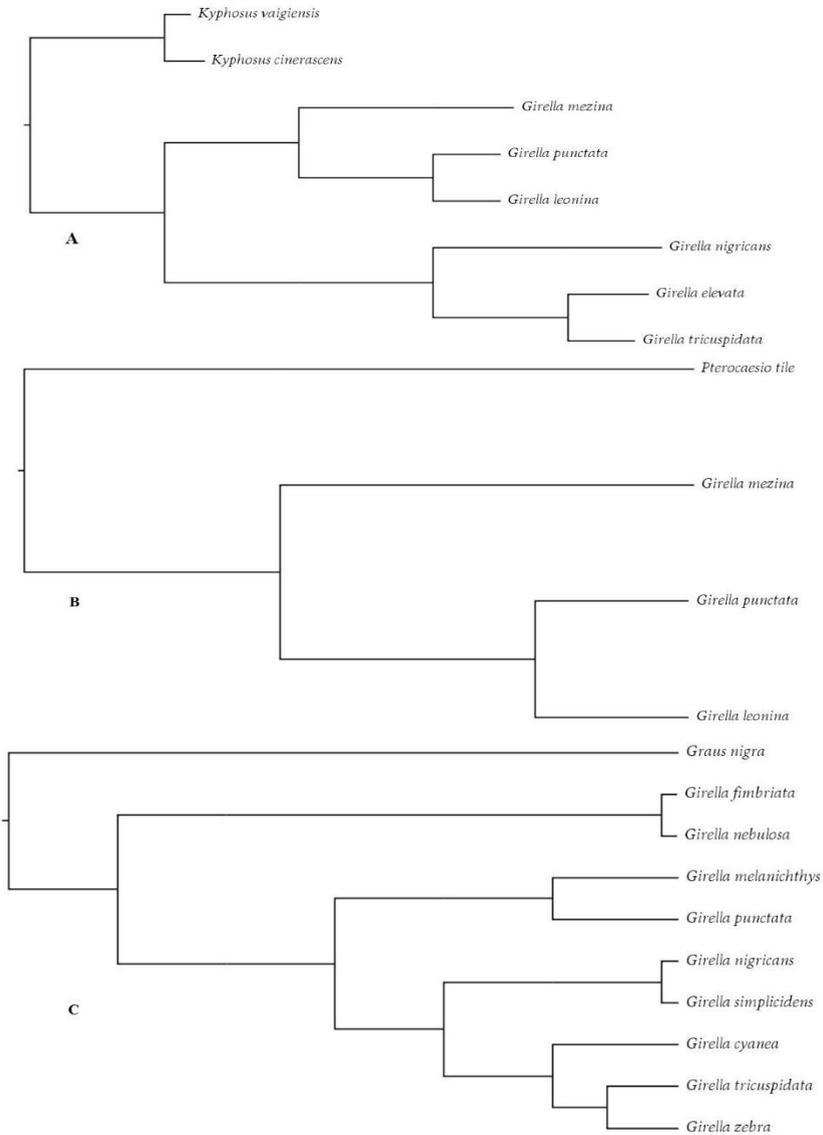


Figura 2. Árboles filogenéticos de especies del género *Girella* obtenidos en diferentes estudios previos. A: Yagishita y Nakabo (2003) – fragmento del gen ND2 (1027 pb); B: Itoi *et al.* (2007) – gen 16S (1700 pb); C: Knudsen *et al.* (2019) – fragmentos de genes mitocondriales 12S, 16S, cytB, tRNA, y de genes nucleares *rag1*, *rag2* y *mo4c4* (5456 pb).

En lo que respecta a la genética de poblaciones, diversas especies han sido objeto de estudio utilizando marcadores genéticos como la región de control o D-loop del ADNmt (Terry *et al.*, 2000;

Saito *et al.*, 2008; Umino *et al.*, 2009) o microsatélites (Ohara y Taniguchi, 2003; Umino *et al.*, 2009). *G. laeivifrons* ha sido objeto de estudio mediante microsatélites pero solamente se muestrearon 4 poblaciones de su distribución en Chile (Cerdeira *et al.*, 2019).

En esta comunicación se presentan los primeros resultados del estudio de variabilidad genética y filogenia molecular de *G. laeivifrons* utilizando secuencias parciales del gen mitocondrial de la citocromo oxidasa I (COI). Dicha secuencia ha sido seleccionada debido a que su uso es generalizado en estudios de genética de poblaciones y filogenia molecular de especies animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material examinado

Se trabajó con muestras de 16 individuos juveniles de *G. laeivifrons* capturados en la Playa San Bernardino del distrito Comandante de Noel de Casma (9° 25' S y 78° 24' 30" E), Región Ancash – Perú. Las muestras correspondieron a trozos pequeños de la aleta caudal (10 mm²), las cuales fueron conservadas en alcohol de 96°.

Extracción de ADN, amplificación por PCR y secuenciación

La extracción de ADN se realizó por el método de precipitación salina (Miller *et al.*, 1988). Se amplificó un fragmento de 600 pares de bases (pb) del gen COI mediante PCR con los primers universales HCO 2198 y LCO 1490 (Folmer *et al.*, 1994). La PCR se realizó en un volumen de 20 µl conteniendo: 11,5 µl de agua ultrapura, 2 µl 10 × tampón de PCR, 0,8 µl MgCl₂ (50 mM), 1,6 µl de cada cebador (10 µM), 0,4 dNTP (10 mM), 0,1 µl de Taq Polimerasa (5u/µl) y 2,0 µl de plantilla de ADN. Las condiciones de amplificación fueron las siguientes: 2 min a 95°C; 35 ciclos de 20 s a 94°C, 30 s a 45°C y 45 s a 72°C; 3 min a 72°C; y se mantuvo a 4°C. Los amplicones de PCR se visualizaron en un gel de agarosa al 1% en tampón Tris-borato-EDTA, y los tamaños de los fragmentos se determinaron utilizando el marcador de tamaños 1Kb Ladder (Invitrogen). Las muestras fueron secuenciadas por el método de Sanger en un secuenciador automático ABI 370 en ambos sentidos utilizando los mismos primers que en la PCR.

Procesamiento de las secuencias y análisis de genética poblacional

Las secuencias obtenidas se examinaron mediante el programa BioEdit versión 7.2.6 (Hall, 1999), y los extremos de baja calidad se eliminaron del análisis. El alineamiento de las secuencias se realizó mediante el programa CLUSTALX en BioEdit.

Se determinaron los siguientes parámetros de variabilidad genética: el número de sitios polimórficos (S), el número de haplotipos (K), diversidad de haplotipos (Hd), diversidad de nucleótidos (p) y el número promedio de diferencias por pares entre secuencias (Pi) y para ello se empleó el programa DnaSP versión 6.12 (Rozas *et al.*, 2017).

Para realizar un estudio comparativo, se buscaron en la base de datos Nucleotide del NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) secuencias del gen COI de otras especies de *Girella*. Solamente dos especies (*G. punctata* y *G. tricuspidata*) estaban representadas por 3 o más secuencias, resultantes de los trabajos de Zhang y Hanner (2011) y Ward *et al.* (2005) (GenBank número de accesos: JF952742.1, MK560639.1, MG835686.1, KU944192.1, KU944179.1, DQ107783.1, DQ107786.1, DQ107785.1 y DQ107784.1). Esas secuencias posteriormente se alinearon con CLUSTALX, dentro del programa BioEdit versión 7.2.6. Los parámetros de variabilidad genética se calcularon como se ha indicado para *G. laevisfrons*.

Análisis filogenético

Se descargaron de la base de datos Nucleotide del NCBI las secuencias de COI disponibles para el género *Girella*, que corresponden a las especies *G. zebra*, *G. punctata*, *G. tricuspidata*, *G. nigricans*, *G. mezina* y *G. leonina*, y también de *Microcanthus strigatus*, que fue utilizado como grupo externo en el análisis filogenético (Hastings y Burton, 2010 sin publicar; Chang *et al.*, 2016; Ward *et al.*, 2005) (GenBank número de accesos: DQ107787.1, GU440329.1, KU944190.1, KU944180.1 y GU673278.1, KX494865.1). Las secuencias de estas especies y de *G. laevisfrons* se alinearon con CLUSTAL X. Se eliminaron los extremos no alineados. El alineamiento se utilizó para obtener una matriz de distancias basadas en el modelo de sustitución de bases de Nei y Tajima (Tajima, 1989). La matriz de distancias se introdujo en el programa MEGA 10.1. (Kumar *et al.*, 2018), para construir un árbol filogenético mediante el método Neighbor-Joining (NJ) (Saitou y Nei, 1987).

RESULTADOS

En la fig. 3 se muestra los resultados de los sitios variables de la secuencia del gen COI de *G. laevisfrons* de 599 pb. La secuencia presentó 3 sitios variables en las posiciones 56, 449 y 596, respectivamente.

En cuanto a los resultados de variabilidad genética en especies de *Girella*, estos se muestran en la Tabla 1. Como se puede observar en la tabla, nuestros resultados indican para *G. laevisfrons* la presencia de 4 haplotipos, una diversidad haplotípica del 35% y 0,00063 de diversidad nucleotídica. Comparando estos resultados con *G. punctata*, podemos decir que la diversidad haplotípica es el doble respecto de

G. laeivifrons y en el caso de la diversidad nucleotídica es casi la cuarta parte. Finalmente para el caso de *G. tricuspidata*, la diversidad haplotípica y nucleotídica fue cero.

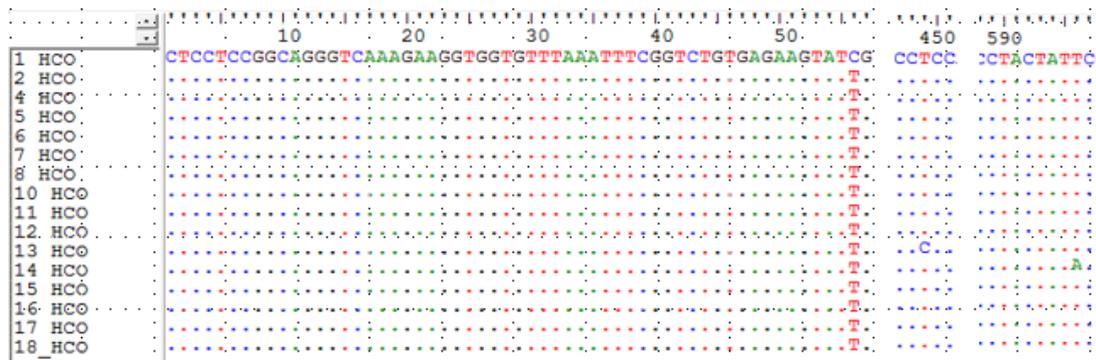


Figura 3. Sitios variables en la secuencia del gen COI de *G. laeivifrons* (599 pb). Los sitios variables están en la posiciones 56, 449 y 596.

Tabla 1. Variabilidad genética en especies de Girella.

Especies	N	S	K	H	π	Referencias de las secuencias
<i>G. laeivifrons</i>	16	3	4	0,350 ± 0,148	0,00063	Este estudio
<i>G. punctata</i>	5	3	3	0,7 ± 0,218	0,00225	Zhang & Hanner (2011)
<i>G. tricuspidata</i>	4	0	1	0	0	Ward <i>et al</i> (2005)

Número de secuencias analizadas (N), números de sitios variables (S), número de haplotipos (k), diversidad haplotípica (H), diversidad nucleotídica (π).

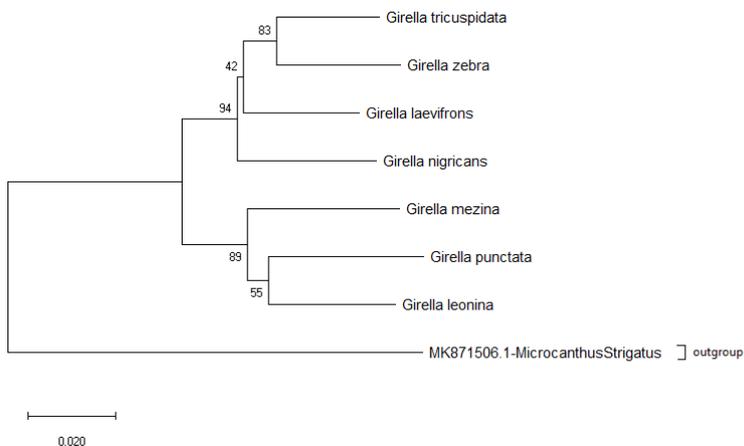


Figura 4. Relaciones filogenéticas de siete especies de Girella (Girellidae), inferidas a partir del secuenciamiento del gen Citocromo oxidasa I (552 pb). El árbol se construyó con el método Neighbor-Joining (NJ) a partir de distancias obtenidas con el método de Nei y Tajima (1989).

En la fig. 4 se observa el árbol filogenético elaborado a partir de las secuencias del gen COI del género *Girella* obtenidas de las bases de datos públicas y de las secuencias obtenidas en este estudio para *G. laeivfrons*. Para enraizar el árbol se ha utilizado como grupo externo la especie *Microcantus strigatus*, que es una de las más próximas a *Girella* desde el punto de vista filogenético (Knudsen *et al.*, 2019). Los resultados indican dos grupos: 1) Un grupo de especies de Asia y 2) Un grupo amplio de especies de Australia, Nueva Zelanda y las especies de América (Norteamérica y Sudamérica). Ambos grupos tienen un soporte estadístico elevado (valores de bootstrap de 94% y 89%, respectivamente). Dentro del grupo de las especies americanas, australianas y de Nueva Zelanda, las especies americanas aparecen como las más antiguas. Sin embargo, el soporte estadístico para los agrupamientos dentro de este grupo es relativamente bajo (42%-83%).

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio donde se ha determinado la diversidad genética de especies de Giréllidos. Asimismo, es el primer trabajo donde se ha secuenciado el gen COI de *G. laeivfrons* y que con dicha información y con las secuencias de este mismo gen de otras especies de *Girella*, se ha podido construir un árbol filogenético que permita dar el conocimiento sobre el origen y/o establecimiento de *G. laeivfrons*.

Nuestros resultados de diversidad genética nos indicaron que la población de *G. laeivfrons* evidenció 4 haplotipos, frente a *G. punctata* (3 haplotipos) y *G. tricuspidata* (1 haplotipo). En el caso de la diversidad haplotípica (H) nuestros resultados nos indicaron que *G. laeivfrons* posee la mitad de este parámetro en comparación con *G. punctata* (Tabla 1). Pero, la H de la población de *G. laeivfrons* fue altamente superior en comparación a *G. tricuspidata*. Finalmente en lo que respecta a la diversidad nucleotídica (Π), nuestros resultados nos indicaron que la población de *G. laeivfrons* la tiene baja Π (0,00063) en comparación con la población de *G. punctata* (0,00225), pero superior a la población de *G. tricuspidata* (0). Estos resultados de diversidad haplotípica y nucleotídica en *G. laeivfrons* sugieren que el tamaño efectivo de la población de hembras en esta especie es más bajo que en *G. punctata*, pero mayor que en *G. tricuspidata*. Sin embargo, estas diferencias entre especies de *Girella* deben tomarse con precaución, ya que se basan en tamaños de muestra muy pequeños en los casos de *G. punctata* y *G. tricuspidata*.

En cualquier caso, los resultados en nuestra población de *G. laeivfrons* son comparables a otras especies de peces perciformes. Por ejemplo, Abbas *et al.* (2018) reportan valores de diversidad nucleotídica desde 0,00055 – 0,00179 para *Diplodus sargus* y 0,00082 – 0,00348 en *Diplodus vulgaris*.

Los resultados de la filogenia molecular separaron las especies de *Girella* analizadas en dos grupos (Figura 4), uno formado por las especies del Pacífico noroccidental (*G. mežina*, *G. leonina*, y *G.*

punctata), y el otro por especies del Pacífico nororiental (Norteamérica) y del Pacífico Sur (Oceanía y Sudamérica). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Yagishita y Nakabo (2003), Itoi *et al.* (2007) y Knudsen *et al.* (2019). En concreto, Yagishita y Nakabo (2003) obtienen el mismo clado formado por *G. mezina*, *G. leonina* y *G. punctata*, y en otro clado agrupan *G. nigricans* y *G. tricuspidata* (Fig. 2A). El clado de *G. punctata*, *G. mezina* y *G. leonina* también es confirmado por Itoi *et al.* (2007) (Fig. 2 B). Finalmente el estudio de Knudsen *et al.* (2019) coincide con el nuestro en que incluye *G. nigricans*, *G. zebra* y *G. tricuspidata* en el mismo clado (Fig. 2C).

Los resultados de este y los demás estudios permiten discernir un posible modelo evolutivo de diversificación del género *Girella*. Nuestros análisis indican que las dos especies americana (*G. nigricans* y *G. laevisfrons*) son relativamente próximas filogenéticamente entre sí, y que son más antiguas que las dos especies australianas que se agrupan con ellas (*G. mezina* y *G. tricuspidata*). Esta hipótesis también es apoyada por los resultados de Knudsen *et al.* (2019), que encuentran una mayor antigüedad de las especies asiáticas del Pacífico noroccidental, seguidas de las americanas y algunas australianas. Todo ello sugiere que un proceso circular, en que el género *Girella* tiene un origen en el Pacífico sur, un antecesor común hizo una migración transecuatorial hacia Asia, otro antecesor común asiático migró hacia Norteamérica, dando lugar al antecesor común de las *Girella* norteamericanas y sudamericanas, y que algunas de las especies australianas podrían haberse formado a partir de un antepasado común americano que migró a Australia más recientemente. Sin embargo, los soportes estadísticos de los árboles filogenéticos obtenidos hasta ahora no permiten determinar la veracidad de esta hipótesis. Será necesario obtener una mayor cantidad de secuencias mitocondriales y/o nucleares para comprobarla.

CONCLUSIONES

La variabilidad genética del gen COI de *G. laevisfrons* es intermedia en comparación con otras especies del género, aunque este gen presenta globalmente un bajo nivel de polimorfismo en los peces. Por lo tanto sería deseable obtener secuencias de regiones genómicas más polimórficas para llevar a cabo un estudio de genética de poblaciones adecuado. En lo que respecta a la filogenia, *G. laevisfrons* se posiciona filogenéticamente junto a un grupo de las especies de Australia, Nueva Zelanda y Norteamérica, Sin embargo, con las secuencias de COI no es posible distinguir las relaciones filogenéticas dentro de ese grupo. En consecuencia será necesario realizar la secuenciación de un número mayor de genes para determinar los procesos de diversificación de *Girella* con exactitud.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de los estudiantes del curso de Cultivos Marinos (años 2018 y 2019) de la Escuela de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima – Perú por el

apoyo en el mantenimiento, cultivo y toma de muestras de los ejemplares de *Girella laevis*. Asimismo, se agradece a la dirección del IATS-CSIC por las facilidades concedidas para la estancia de César Abram Cruz Castellón en el centro en enero-febrero de 2020.

REFERENCIAS

- Abbas, E.M., Megahed, E.T., Hemeda, S.A., ElNahas, A.F. (2018). DNA barcoding and molecular population structure of two species from genus *Diplodus* based on COI gene in the Egyptian Mediterranean Sea. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(1):01-08. <https://biogeodb.stri.si.edu/sfstep/es/thefishes/taxon/1562>
- Cerda, J.M., López, F., Palacios-Fuentes, P., Ojeda, F.P. (2019). Genetic structure analysis of *Girella laevis* populations in central Chile. *Journal of Applied Ichthyology*, 35:1147– 1153. <https://doi.org/10.1111/jai.13952>
- Chang, C.H., Shao, K.T., Lin, H.Y., Chiu, Y.C., Lee, M.Y., Liu, S.H., Lin, P.L. (2017). DNA barcodes of the native ray-finned fishes in Taiwan. *Molecular Ecology Resources*, 17(4):796-805. doi: 10.1111/1755-0998.12601. Epub 2016 Nov 2. PMID: 27717215.
- Cruz, C.A. (2019). Una dieta a base de harina de *Ulva lactuca* mejora el crecimiento de alevines de baucos *Girella laevis* (Pisces: Kyphosidae). *Scientia Agropecuaria* 10(2): 191 – 197.
- FOESA (2013). Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura española. FOESA, Madrid, España. 88pp.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., Vrijenhoek, R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3(5): 294-299.
- Hall, T.A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41:95-98.
- Itoi, S., Saito, T., Washio, S., Shimojo, M., Takai, N., Yoshihara, K., Sugita, H. (2007). Speciation of two sympatric coastal fish species, *Girella punctata* and *Girella leonina* (Perciformes, Kyphosidae). *Organisms, Diversity & Evolution*, 7: 12–19.
- Knudsen, S. W., Clements, K. D. (2016). World-wide species distributions in the family Kyphosidae (Teleostei: Perciformes). *Molecular Phylogenetics & Evolution*, 101:252–266. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.04.037>

- Knudsen, S.W., Choat, J.H., Clements, K.D. (2019). The herbivorous fish family Kyphosidae (Teleostei: Perciformes) represents a recent radiation from higher latitudes. *Journal of Biogeography*, 46(9): 2067-2080.
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., Tamura, K. (2018) MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35:1547-1549.
- Miller, S. A., Dykes, D. D., & Polesky, H. F. (1988). A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids Research*, 16(3): 1215. <https://doi.org/10.1093/nar/16.3.1215>.
- Muñoz, A. A., Ojeda, F. P. (1997). Feeding guild structure of a rocky intertidal fish assemblage in central Chile. *Environmental Biology of Fishes*, 49(4): 471–479. <https://doi.org/10.1023/A:1007305426073>.
- Ohara, K., Taniguchi, N. (2003). Preliminary study on genetic diversity evaluated by 11 microsatellite markers in Kuromejina *Girella leonina* and Mejina *Girella punctata*. *Fisheries Science*, 69(4): 861-863.
- Pequeño, G., Sáez, S. (2008). El estatus taxonómico de *Doydixodon laevifrons* (Tschudi, 1846) (Osteichthyes: Kyphosidae). *Revista Peruana de Biología*, 15(1): 101-104.
- Rozas, J., Ferrer-Mata, A., Sánchez-DelBarrio, J.C., Guirao-Rico, S., Librado, P., Ramos-Onsins, S.E., Sánchez-Gracia, A. (2017). DnaSP v6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 34: 3299-3302.
- Saito, T., Washio, S., Dairiki, K., Shimojo, M., Itoi, S., Sugita, H. (2008). High gene flow in *Girella punctata* (Perciformes, Kyphosidae) among the Japanese Islands inferred from partial sequence of the control region in mitochondrial DNA. *Journal of Fish Biology*, 73(8): 1937-1945.
- Saitou N., Nei M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4: 406-425.
- Tajima, F. (1989). Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics*, 123: 585–595.
- Terry, A., Bucciarelli, G., Bernardi, G. (2000). Restricted gene flow and incipient speciation in disjunct Pacific Ocean and Sea of Cortez populations of a reef fish species, *Girella nigricans* (2000)

Evolution, 54(2): 652-659.

The National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Umino, T., Kajihara, T., Shiozaki, H., Ohkawa, T., Jeong, D.-S., Ohara, K. (2009). Wild stock structure of *Girella punctata* in Japan revealed shallow genetic differentiation but subtle substructure in subsidiary distributions. *Fisheries Science*, 75(4): 909-919.

Varas, E., Ojeda, F.P. (1990). Intertidal fish assemblages of the central Chilean coast: diversity, abundance and trophic patterns. *Revista de Biología Marina* 25: 59–70.

Viret A., Tsaparis D., Tsigenopoulos. CS., Berrebi, P., Sabatini, A., Arculeo M., Fassatoui, C., Magoulas, A., Marengo, M., Morales-Nin, B., CaiII-Milly, N., Durieux EDH. (2018). Absence of spatial genetic structure in common dentex (*Dentex dentex* Linnaeus, 1758) in the Mediterranean Sea as evidenced by nuclear and mitochondrial molecular markers. *PLoS ONE* 13(9): e0203866. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203866>.

Ward, R.D., Zemplak, T.S., Innes, B.H., Last, P.R., Hebert, P.D. (2005). DNA barcoding Australia's fish species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360: 1847-1857. doi: 10.1098/rstb.2005.1716. PMID: 16214743; PMCID: PMC1609232.

Yagishita, N., Kobayashi, T., Nakabo, T. (2002). Review of monophyly of the Kyphosidae (sensu Nelson, 1994), inferred from the mitochondrial ND2 gene. *Ichthyological Research*, 49: 103–108.

Yagishita, N., Nakabo, T. (2000). Revision of the genus *Girella* (Girellidae) from East Asia. *Ichthyological Research*, 47(2): 119-135.

Yagishita, N., Nakabo, T., (2003). Evolutionary trend in feeding habits of *Girella* (Perciformes: Girellidae). *Ichthyological Research*, 50: 358–366.

Zhang, JB., Hanner, R. (2011). DNA barcoding is a useful tool for the identification of marine fishes from Japan. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39: 31–42.



Subsídios para a exploração comercial de ovas de *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) no sul do Brasil

Support for the commercial exploitation of roe of *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) in southern Brazil

Yara Aparecida Garcia Tavares, Natalie Petrovna Semanovschi

Universidade Estadual do Paraná campus Paranaguá. Centro de Ciências Humanas, Biológicas e da Educação. Colegiado de Ciências Biológicas. 83203-560. Paranaguá-PR.

 Yara Aparecida Garcia Tavares () E-mail: yara.tavares@unespar.edu.br

RESUMO | Nos últimos 30 anos a popularidade das ovas de equinoides como iguaria gastronômica aumentou significativamente as capturas comerciais, tendo grande relevância os aspectos macroscópicos como cor, textura e consistência, que refletem o estágio reprodutivo dos indivíduos. Nesta investigação aspectos macroscópicos das gônadas de *Echinometra lucunter* foram relacionados aos estágios reprodutivos e demais características biológicas como o intuito de gerar subsídios para uma possível exploração comercial. Um total de 186 exemplares foram capturados e analisados entre agosto/2000 e agosto/2001 oriundos de uma população habitante no litoral do estado do Paraná (48°19'W;25°35'S). Uma das cinco gônadas de cada animal foi retirada, pesada (balança 0,001g) e seu volume foi medido por deslocamento. Os estágios reprodutivos foram obtidos por histotécnica de rotina após fixação em formalina (10%). Padrões de coloração foram diagnosticados a partir da literatura e a relação entre peso úmido (PU) e o volume gonadal (VG) foi analisada por regressões simples. A análise PCA foi utilizada para verificar possíveis relações entre variáveis macroscópicas, biométricas e estações do ano. Quatro cores foram registradas: “laranja forte”, “laranja”, “amarelo” e “amarelo claro”, sendo mais representativos o laranja (35%) nas ovas femininas e o amarelo (66%) nas masculinas. Correlações significativas entre PU e VG foram observadas tanto nas fêmeas ($r^2 = 0,84$; $p=0,000001$) quanto nos machos ($r^2 = 0,68$; $p=0,000001$). Os estágios mais frequentes foram: “reserva”, “proliferação” e “em maturação” sendo evidente a relação entre tonalidades mais “claras” e a ausência/diminuição do tecido de estocagem nas gônadas. Nos distintos trechos da costa brasileira, as populações de *E. lucunter* apresentam singularidade no padrão de coloração das ovas sugerindo que as condições reprodutivas e as estratégias de alocação de energia são moduladas pelos habitats ocupados. Recomenda-se que além das características morfofisiológicas, aspectos bioquímicos e demográficos devam ser avaliados para convalidar a espécie como um potencial recurso exploratório *in situ*.

Palavras-Chave: equinoide, gônadas, diagnose macroscópica, estágios reprodutivos, recurso pesqueiro.

ABSTRACT | In the last 30 years, echinoids roe popularity as seafood has increased leading to a significant increment in the fishery of these organisms. Macroscopic features, such as color, texture and consistency can reflect the reproductive stage of echinoids. In this study, macroscopic features of the gonads of *Echinometra lucunter* were related to the gametogenic stage and other biological characteristics, aiming to the generation of

subsidies for the commercial exploitation of this species. A total of 186 specimens were collected, between august 2000 and august 2001, from a population at the coast of Paraná state, Brazil (48°19'W;25°35'S). One of the five gonads of each specimen was selected, weighted (0.001g) and the volume was measured using a graduated cylinder. The gametogenic stages were obtained through common histological techniques after fixation in saline formalin (10%). The color patterns were diagnosed according to the available literature and relations between wet weigh (PU) and gonadal volume (VG) were analyzed through simple regression. A PCA analysis was used to test relations between macroscopic and biometrics features categorized by season. Four color patterns were found: “dark orange”, “orange”, “yellow” and “light yellow”. Orange was the most representative color (35%) for females and yellow (66%) for males. Significant correlations between PU and VG were observed in females ($r^2 = 0.84$; $p=0.000001$) and males ($r^2 = 0.68$; $p=0.000001$). The most frequent gametogenic stages were “resting”, “proliferation” and “early maturation”. Light color patters were related to the low presence of reserve tissue in the gonads. In the different locations of the Brazilian coast, the populations of *E. lucunter* presented distinct color pattern of the roes, suggesting that resource allocation and reproductive strategies are modulated by the occupied habitats. Additional studies focusing on morphology, physiology, biochemistry and populational density are needed to validate this species as a potential fishery resource.

Keywords: echinoid, gonads, fishing resources, macroscopic features, reproductive stages.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população humana a demanda sobre demais fontes de proteína animal, como as fornecidas pelos recursos vivos aquáticos, dita novos rumos para o mercado global. Estima-se que a capacidade de suporte mundial já foi ultrapassada e os estoques pesqueiros são consumidos numa velocidade duas vezes maior do que sua capacidade de renovação (Seidl e Tisdell, 1999; Lima e Berryman, 2011; Hanscon *et al.*, 2018). Nos ecossistemas marinhos tal panorama não seria distinto, culminando com o drástico declínio das populações naturais de muitos invertebrados pescados. As atividades extrativistas e o comércio das gônadas (“ovas”) de equinoides regulares (“ouriços-do-mar”) representam um mercado mundial promissor devido popularidade destas como iguaria, ainda que com sérias problemáticas no que tange o uso racional e a gestão integrada destes recursos (Blackburn *et al.*, 2014).

Nos últimos 30 anos a pesca e a comercialização de “ouriços-do-mar” aumentaram significativamente. Países asiáticos e europeus, EUA e Chile intensificaram o cultivo e a comercialização (Lawrence *et al.*, 1997; Unuma, 2009; Phillips *et al.*, 2010; Walker *et al.*, 2015), bem como o interesse científico, sobre espécies já tradicionalmente exploradas como *Strongylocentrotus intermedius*, *S. nudus* e *Loxechinus albus* em áreas como a ecologia de populações (Onitsuka *et al.*, 2013), o desenvolvimento de técnicas de cultivo (Johnson *et al.*, 2012; Brown e Eddy, 2015) e a pesca sustentável (Marenzi *et al.*, 2006; Furesi *et al.*, 2016; Mac Monagail *et al.*, 2017).

No Brasil, estudos versando sobre a biologia e ecologia de *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) começaram a ser conduzidos no final de 1900 (Giordano, 1986; Tavares *et al.*, 2004; Carneiro e Cerqueira, 2006; Lima *et al.*, 2009; Boaventura, 2018), bem como, aqueles focando nos aspectos reprodutivos e a qualidade de suas ovas (Oliveira, 1991; Ventura *et al.*, 2003; Tavares *et al.*, 2004; Tavares *et al.*, 2005; Tavares, 2004; Cuevas, 2005; Carneiro, 2006; Marenzi *et al.*, 2006; Mariante *et al.*, 2009; Tavares, 2018). Entretanto, somente a partir dos anos 2000, estudos etnobiológicos reportaram o consumo desses organismos em comunidades pesqueiras (atividade ainda eminentemente extrativista e associada a grupos familiares com vistas à subsistência), ponderando-os como um recurso pesqueiro em potencial (Serra e Xavier, 2003; Cuevas, 2005; Carneiro e Cerqueira, 2008; Machado *et al.*, 2017).

As características associadas às histórias de vida destes organismos, podem ser utilizadas na avaliação de uma espécie visando sua exploração sustentável. Uma vez que o preço das ovas está intimamente relacionado aos aspectos macroscópicos destas (como cor, textura e consistência). O estado nutricional e o investimento energético sobre o ciclo reprodutivo são informações relevantes e refletem notadamente o *fitness* dos indivíduos (Lawrence, 2001; Cuevas, 2005). Nesta investigação os aspectos macroscópicos das gônadas de *Echinometra lucunter*, o estado reprodutivo e demais características biológicas foram avaliadas em indivíduos adultos de uma população habitante num trecho da costa sul brasileira, com o intuito de gerar subsídios para uma possível exploração comercial desta espécie.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem

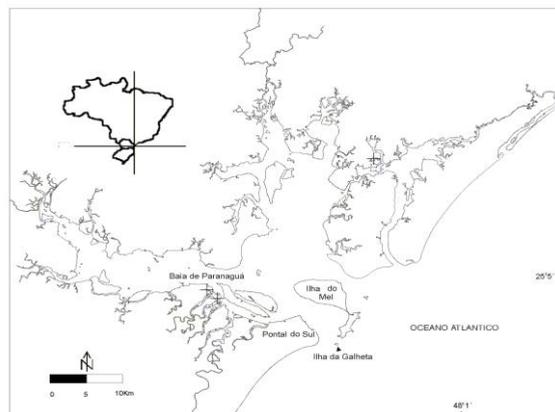


Figura 1. Mapa da área de estudo. A seta indica o local de coleta: Ilha da Galheta, Paraná, Brasil.

A amostragem foi realizada por busca ativa em baixa-mar (sizígia), mensalmente, num trecho de costão rochoso no litoral do estado do Paraná, sul do Brasil (48°19'W; 25°35'S) durante o período de agosto 2000 a agosto 2001 (Fig. 1).

Procedimentos

A cada mês cerca de 15 exemplares, com as maiores dimensões observadas em campo, foram coletados e devidamente transportados ao laboratório onde foram mensurados (paquímetro manual, com precisão 0,02 mm) quanto ao diâmetro maior da carapaça (distância máxima na porção mediana do corpo do animal desconsiderando se os espinhos), eviscerados, a fresco, e uma das 5 gônadas foi retirada. A seguir foram realizadas observações para a diagnose macroscópica, obtenção do peso úmido (balança com precisão 0,001 g) e posterior fixação em solução de formalina 10%. O volume da gônada em água destilada foi obtido por deslocamento em proveta graduada (1:100ml).

Frações do tecido gonadal (5 mm) de cada animal foram processados por histotécnica de rotina (HE) para microscopia óptica (Tavares e Borzone, 2015). Os estágios de maturidade gonadal de machos e fêmeas foram categorizados para a descrição dos eventos gametogênicos (detalhes em Tavares, 2004). Uma escala de padrão de coloração foi utilizada a partir das adaptações propostas por Cuevas (2005), sendo estabelecidas visualmente quatro tonalidades: laranja escuro, laranja, amarelo e amarelo claro. Histogramas das frequências relativas dos padrões de coloração e estágios de maturidade gonadal foram confeccionados por sexo e mês.

A relação entre peso úmido e o volume gonadal foi analisada por regressões simples. As possíveis relações entre variáveis macroscópicas (padrões de cor, os estágios de maturidade gonadal) e biométricas (peso, volume e diâmetro da carapaça) e as estações do ano foram averiguadas pela análise multidimensional de Componentes Principais (PCA).

RESULTADOS

Um total de 186 indivíduos de *E. lucunter* foram sexados e cinco estágios de desenvolvimento gonadal foram identificados: reserva, proliferação, em maturação, maturação e emissão. Nas gônadas femininas o estágio de reserva foi mais frequente (39%) enquanto nos machos, os estágios de reserva, em maturação e maturação totalizaram cerca de 80% das observações (Fig. 2).

Exploração comercial de ovas de *Echinometra lucunter*

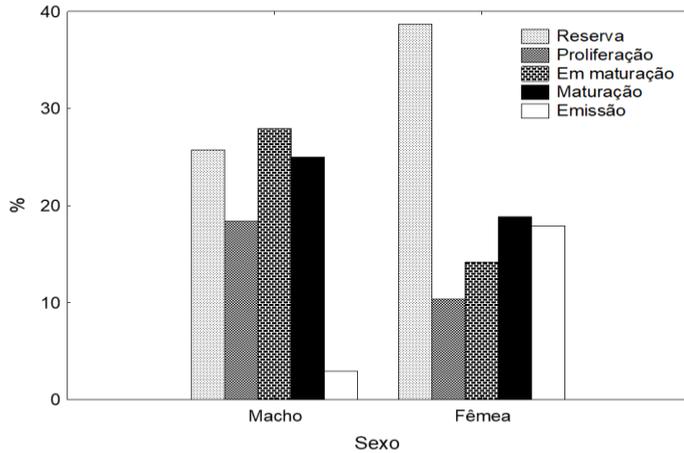


Figura 2. Histograma da frequência relativa dos estágios de maturação gonadal por sexo em *Echinometra lucunter* da Ilha da Galheta, Paraná, Brasil.

Das quatro tonalidades descritas nas gônadas femininas e masculinas as mais representativas foram o laranja (35% em fêmeas) e o amarelo escuro (66% em machos) (Fig. 3). Os padrões de coloração laranja forte e amarelo claro, embora com menor representatividade, ocorreram de modo distinto entre os sexos. O primeiro ocorreu apenas nas fêmeas (28%), enquanto o segundo apresentou maior frequência nos machos (15%).

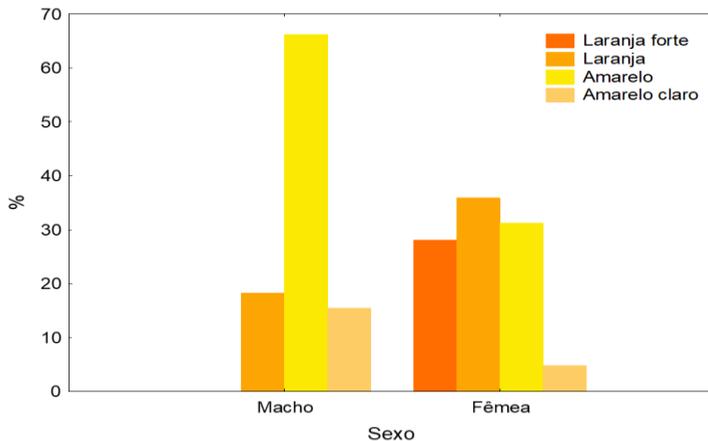


Figura 3. Histograma da frequência relativa dos padrões de coloração das gônadas de *Echinometra lucunter* da Ilha da Galheta, Paraná, Brasil, para cada sexo.

O peso úmido e o volume das gônadas apresentaram correlações positivas e significativas em ambos os sexos com destaque para fêmeas ($r^2 = 0,84$; $p < 0,01$) (Fig. 4 a-b).

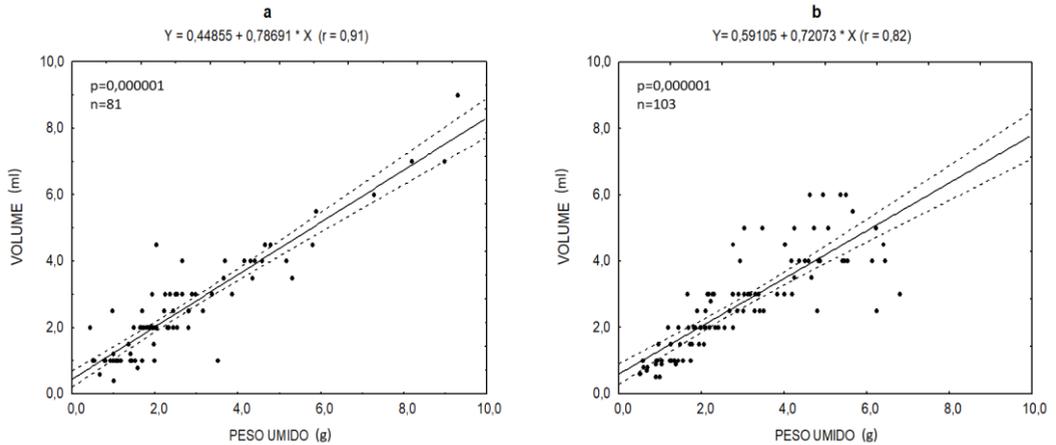


Figura 4. Correlação entre peso úmido e volume gonadal para a população de *Echinometra lucunter* da Ilha da Galheta, Paraná, Brasil. a: fêmeas; b: machos.

A projeção das variáveis no multi-espço (PCA) representou 57% das relações verificadas para os dois primeiros eixos da ordenação sendo identificados a formação de dois grupos: peso e volume da gônada + diâmetro da carapaça (I) em forte oposição aos estágio reserva e a cor laranja (II) e ainda um terceiro grupo formado pelos estágios de maturação e emissão + as cores amarelo claro e amarelo (III) (Fig. 5).

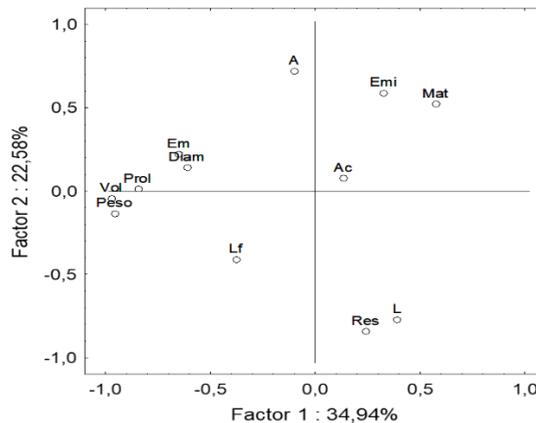


Figura 5. Avaliação sazonal das características das ovas de *Echinometra lucunter*. Dados biométricos: Peso (Peso), Volume (Vol), Diâmetro da carapaça (Diam). Padrões de coloração: Amarelo claro (Ac), Amarelo (A), Laranja (L), Laranja forte (Lf). Estágios de desenvolvimento gonadal: Reserva (Res), Proliferação (Pro), Em maturação (Em), Maturação (Mat), Emissão (Emi).

DISCUSSÃO

A alta correlação entre o peso úmido e volume das gônadas femininas e masculinas de *E. lucunter* denotam a grande expressividade do órgão, com destaque para as fêmeas, nos estágios proliferação e em maturação onde os percentuais de reserva nutritiva ainda superam a quantidade de gametas presentes. Deste modo, gônadas femininas nesses estágios de desenvolvimento da gametogênese contribuem para as maiores dimensões das ovas e, portanto, maior ocupação de todo o espaço interno disponível da cavidade corporal.

Por outro lado, organismos inativos sexualmente ou descritos como no estágio reserva (gônadas com grande quantidade de substâncias de estocagem energética e ausência ou rara presença de gametas ainda em crescimento) apresentaram gônadas com tonalidade laranja; as cores amarelo e amarelo claro foram associadas aos estágios de maturação e emissão. Tais resultados indicam uma relação diretamente proporcional entre tonalidades mais "claras" e a ausência/diminuição do tecido de estocagem nas gônadas desta espécie.

A gônada dos equinoides é reconhecida como o principal órgão de armazenamento de nutrientes durante o período de repouso sexual e as flutuações sazonais de seus conteúdos calóricos estão comumente relacionadas às demandas energéticas da atividade reprodutiva (Tavares, 2004; Tavares, 2018). Os fagócitos nutritivos (ou células nutritivas), pertencem a linhagem somática e são conhecidas como responsáveis pelo armazenamento de nutrientes sob a forma de biomoléculas (proteínas, lipídios e carboidratos) e disponibilização para o desenvolvimento dos gametas (Walker, 1982; Pearse e Cameron, 1991) durante o processo de gametogênese (Walker *et al.*, 2006; Unuma, 2009; Tavares e Borzone, 2015). Quando as condições ambientais são favoráveis essa energia é transferida para a atividade gametogênica mantendo a produção de gametas ao longo do ano (Bronstein e Loya, 2015; Semanovschi, 2019; Semanovschi e Tavares, 2020). Adicionalmente, o modo de utilização da energia armazenada pode variar entre as espécies e mesmo entre populações e indivíduos (Tavares, 2004; Tavares e Borzone, 2006; Tavares e Borzone, 2015; Tavares, 2018).

Estudos (McBride *et al.*, 2004; Tavares *et al.*, 2005; Phillips *et al.*, 2010; Walker *et al.*, 2015) relacionam a palatabilidade das ovas, o ápice de armazenamento de nutrientes e a presença de gametas maduros e apontam como o melhor momento do ano para a captura desses organismos quando estes se encontram no período de repouso do ciclo reprodutivo. No processo de transferência de reservas nutritivas para a maturação sexual, os compostos bioquímicos nas ovas diminuem, enquanto o número de gametas aumenta (Walker *et al.*, 2006) modificando assim a palatabilidade das ovas a depender do tipo e qualidade do alimento ingerido pelos equinoides.

Ademais, a qualidade da dieta tem sido apontada como fator relevante nas mudanças de aspectos macroscópicas das ovas (como a cor) e natureza bioquímica (Vadas *et al.*, 2000; Tavares, 2004) em geral, determinados pela quantidade e qualidade do alimento ingerido ao longo do ano (Beddingfield e

McClintock, 1998; Unuma, 2009; Tavares e Borzone, 2015) e geralmente referidas como responsáveis pela palatabilidade das ovas com reflexos na preferência dos consumidores (Liyana-Pathirana *et al.*, 2002; Robinson *et al.*, 2004; Marenzi *et al.*, 2006; Kaneko *et al.*, 2009, 2012; Machado *et al.*, 2017).

Pigmentos conhecidos como equinona e o β -caroteno são usualmente descritos nas gônadas dos equinoides, este último o mais utilizado nas dietas para melhoramento da coloração, uma vez que, as cores laranja e amarelo intenso são aquelas de maior aceitação comercial (Liyana-Pathirana *et al.*, 2002). *Echinometra lucunter* utiliza de modo eficaz as gônadas como órgão de reserva agindo de modo sinérgico ao desenvolvimento de novos gametas (Lawrence, 2001; Tavares, 2004). Estudos realizados no Brasil (Oliveira, 1991; Tavares, 2004; Mendes e Tavares, 2006; Tavares *et al.*, 2020) diagnosticaram esta espécie como reconhecidamente herbívora, com especial preferência por feófitas. De acordo com Liyana-Pathirana *et al.* (2002) tais recursos alimentares são abundantes fontes de carotenoides e justificaria a coloração desejável encontrada nas populações naturais.

Para a costa sul da Bahia, o padrão de coloração das gônadas e os estágios de desenvolvimento gonadal em populações de *E. lucunter* foram avaliados por Cuevas (2005), que associou genericamente uma coloração mais clara aos estágios iniciais da histogênese gonadal, embora nenhuma observação microscópica tenha sido realizada em seu estudo. No presente estudo, a cor amarelo clara ocorreu em maior porcentagem nos machos em períodos de eliminação dos gametas, enquanto o amarelo escuro e o laranja estiveram relacionados respectivamente aos estágios de maturação e reserva em ambos os sexos.

A grande proporcionalidade das cores laranja claro e amarelo escuro nas fêmeas pode estar relacionada às diferenças na quantidade de substâncias de reserva, uma vez que as gônadas femininas apresentam maior estocagem energética (Tavares, 2004). As populações de *E. lucunter* avaliadas nos distintos trechos da costa brasileira apresentam singularidade no padrão de coloração das gônadas (Cuevas, 2005). No sul do país, não foram encontrados uma frequência mais representativa de gônadas laranja escuro, como observado para a região nordeste; tal fato poderia estar associado a qualidade da dieta destas populações, extremamente modulado pelos habitats ocupados pela espécie (Mendes e Tavares 2006; Lawrence *et al.*, 2013; Reyes-Luján *et al.*, 2015; Rodriguez-Barreiras *et al.*, 2016; Tavares *et al.*, 2020).

Assim, espécies de ampla distribuição geográfica como *E. lucunter* apresentam grande plasticidade quanto sua dieta, condições reprodutivas e estratégias de alocação de energia. Deste modo, as características morfofisiológicas avaliadas no presente estudo outorgam à espécie um potencial excelente para sua exploração *in situ*. Salienta-se, contudo, a necessidade de estudos complementares sobre os aspectos reprodutivos e bioquímicos das gônadas nas populações de *E. lucunter* ao longo da

costa brasileira, bem como avaliações sobre o hábito alimentar e aspectos demográficos, como a densidade populacional, para melhor subsidiar futuras ações de manejo e exploração do recurso.

CONCLUSÕES

O peso úmido gonadal foi um bom indicativo do volume ocupado na cavidade corporal na população de *E. lucunter* no sul do Brasil. O estágio de reserva foi associado à presença de gônadas de cor laranja e os estágios de maturação e emissão de gametas aos tons de amarelo, indicando uma direta relação aos momentos do ciclo reprodutivo em que há menor presença de tecido somático. Na costa brasileira os padrões de coloração entre sexos e populações refletem diferentes estratégias energéticas com possível inferência à qualidade das dietas nos habitats ocupados. Os padrões de coloração verificados e as estratégias reprodutivas outorgam à espécie um excelente potencial exploratório. As características avaliadas bem como informações adicionais sobre aspectos morfofuncionais, bioquímicos e demográficos são essenciais na complementação de futuras ações de manejo e gestão deste recurso.

REFERENCIAS

- Beddingfield S., McClintock J. (1998). Differential survivorship, reproduction, growth and nutrient allocation in the regular echinoid *Lytechinus variegatus* (Lam.) fed natural diets. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 226:195-215.
- Blackburn M., Mazzacano C.A. S., Fallon C., Black S.H. (2014). Oil in our oceans: a review of the impacts of oil spills on marine invertebrates. The Xerces Society for Invertebrate Conservation, Portland. 160pp.
- Boaventura G.C. (2018), Aspectos morfofuncionais de *Echinometra lucunter* Linnaeus, 1758 (Echinodermata: Echinoidea) em diferentes trechos da costa brasileira, Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Ciências Biológicas, Colegiado de Ciências Biológicas, Universidade Estadual do Paraná campus de Paranaguá, Paranaguá, Brasil. 18pp.
- Bronstein O., Loya Y. (2015). Photoperiod, temperature, and food availability as drivers of the annual reproductive cycle of the sea urchin *Echinometra* sp. from the Gulf of Aqaba (Red Sea). *Coral Reefs*, 34(1):275-289.
- Brown N.P., Eddy S.D. (2015). Echinoderm aquaculture. Hoboken, Wiley Blackwell. 368pp.

- Carneiro L.S., Cerqueira, W.R.P. (2005). Análise do conteúdo intestinal do ouriço *Echinometra lucunter*, na praia de Mont Serrat, Baía de Todos os Santos, Salvador, Bahia. Simpósio de Biologia da Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil.
- Carneiro L.V., Cerqueira W.R.P. (2008). Informações sobre o ouriço-do-mar *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata:Echinoidea) para o litoral de Salvador e adjacências. *Sitientibus Série Ciências Biológicas*, 8:168-171.
- Carneiro, L.S. (2006). Aspectos morfométricos e biologia reprodutiva do ouriço *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata: Echinometridae) na praia de Mont Serrat, Salvador, Baía de Todos os Santos, BA – Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Ciências Biológicas, Laboratório de Biologia Pesqueira, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil. 37pp.
- CUEVAS J.M. (2005). O ouriço do mar *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) como potencial recurso pesqueiro na costa sul da Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Brasil. 56 pp.
- Furesi R., Madau F.A., Pulina P., Sai R., Pinna M.G., Pais A. (2016). Profitability and sustainability of edible sea urchin fishery in Sardinia (Italy). *Journal of coastal conservation*, 20(4): 299-306.
- Giordano, F. (1986). Ouriços do sublitoral rochoso da região de São Sebastião, São Paulo. Uma abordagem ecológica. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 128pp.
- Hanscon L., Galli A., Wackernagel M. (2018). The threats and pressures wiping out our world: Runaway Consumption. In: Grooten M., Almond R.E.A. (ed). *Living planet report-2018: aiming higher*. WWF. pp: 30-33.
- Johnson T., Wilson J., Cleaver C., Vadas R. (2012). Social-ecological scale mismatches and the collapse of the sea urchin fishery in Maine, USA. *Ecology and Society*, 17(2):15.
- Kaneko K., Matsumoto H., Shirai T., Kamei M., Okazaki E., Osako K. (2012). Seasonal variations in free amino acid composition and taste aspects of black sea urchin, *Diadema setosum*, Gonad. *Food Science and Technology Research*, 18(6):835-842.
- Kaneko K., Shirai T., Tanaka M., Kamei M., Matsumoto H., Osako K. (2009). Taste characteristics of the gonad of longspine black urchin *Diadema setosum*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 7(4):689-694.

- Lawrence J.M. (2001). Edible sea urchins: biology and ecology. Elsevier Science. Amsterdam. 419 pp.
- Lawrence J.M., Lawrence A.L., Watts S. (2013). Feeding, digestion and digestibility of sea urchins. *Developments in aquaculture and fisheries science*, 38:135-154.
- Lawrence J.M., Olave S., Otaiza R., Lawrence A.L., Bustos E. (1997). Enhancement of gonad production in the sea urchin *Loxechinus albus* in Chile fed extruded feeds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 28(1):91-96.
- Lima E., Gomes P., Souza J. (2009). Reproductive biology of *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) in a northeast Brazilian sandstone reef. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1):51-59.
- Lima M., Berryman A.A. (2011). Positive and negative feedbacks in human population dynamics: future equilibrium or collapse?. *Oikos*, 120(9):1301-1310.
- Liyana-Pathirana C., Shahidi F., Whittick A. (2002). The effect of an artificial diet on the biochemical composition of the gonads of the sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Food Chemistry*, 79: 461-472.
- Mac Monagail M., Cornish L., Morrison L., Araújo R., Critchley A.T. (2017). Sustainable harvesting of wild seaweed resources. *European Journal of Phycology*, 52(4):371-390.
- Machado T.M., Alves Costa J., De Sousa Motta N., Casarini L.M. (2017). Rock-boring urchin roe from Brazilian subtropical coastal zone for human consumption. *Acta Scientiarum: Technology*, 39(4):495-502.
- Marenzi A.W.C., Tamaki N.T., Manzoni, G.C. (2006). Biological and Economic Subsidies for Rational Exploration of the Sea-urchin *Echinometra locunter* (L., 1758). *Journal of Coastal Research*, 39:1299-1301.
- Mariante F.L., Lemos G.B., Eutrópico F.J., Gomes L.C. (2009). Biologia reprodutiva de *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) na Praia da Costa, Vila Velha (ES). *Zoologia*, 26(4):641-46.
- Mcbride S.C., Price R.J., Tom P.D., Lawrence J.M., Lawrence A.L. (2004). Comparison of gonad quality factors: color, hardness and resilience, of *Strongylocentrotus franciscanus* between sea urchins fed prepared feed or algal diets and sea urchins harvested from the Northern California fishery. *Aquaculture*, 233(1-4):405-422.

- Mendes C., Tavares C. (2006). The relation of algal availability and food preferences in the field diet of the Equinoid *Echinometra lucunter* on a rocky shore in southeast. *Brazilian Journal of Coastal Research*, 1197-1201.
- Oliveira M.C. (1991). Survival of seaweeds ingested by three species of tropical sea urchins from Brazil. *Hydrobiologia*, 222 (1):13-17.
- Onitsuka T., Unuma T., Kawamura T. (2013). Effects of diet and temperature on post-settlement growth and survival of the short-spined sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Aquaculture Research*, 45(1):1-15.
- Pearse J.S., Cameron R.A. (1991). Echinodermata: Echinoidea. In: Giese A.C., Pearse J.S., Pearse V.B. (ed). *Reproduction of marine invertebrates: Echinoderms and Lophophorates*. Boxwood Press. California: pp: 513-662.
- Phillips K., Hamid N., Silcock P., Delahunty C., Barker M., Bremer P. (2010). Effect of season on the sensory quality of sea urchin (*Evechinus chloroticus*) roe. *Journal of Food Science*, 75(1):20-30.
- Reyes-Luján J., Barrios J., Arrieche D., Zapata-Vívenes E., Salgado W., Lodeiros C. (2015). Dieta del erizo negro *Echinometra lucunter* (Echinoidea) en el Nororiente de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*. 63:233-242.
- Robinson S.M., Lawrence J.M., Burridge L., Haya K., Martin J., Castell J. (2004) Effectiveness of different pigment sources in colouring the gonads of the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). In: Lawrence J.M., Guzmán O. (ed). *Sea Urchin Fisheries and Ecology – Proceedings of the International Conference on Fisheries and Aquaculture*, DEStech Publications. pp: 215-221.
- Rodríguez-Barreras R., Cuevas E., Cabanillas-Terán N., Branoff B. (2016). Understanding trophic relationships among Caribbean sea urchins. *Revista de Biología Tropical*, 64:837-848.
- Seidl I., Tisdell C.A. (1999). Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological economics*, 31(3):395-408.
- Semanovschi N.P. (2019). Aspectos reprodutivos de *Eucidaris tribuloides* Lamarck (1816) Echinodermata: Echinoidea: Cidaroidea) em um trecho do litoral de Salvador (BA). Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Bahia, Ciências biológicas, Graduação em Ciências biológicas, Brasil. 68 pp.

- Semanovschi N.P., Tavares Y.A.G. (2020). Aspectos reprodutivos de *Euclidaris tribuloides* Lamarck (1816) (Echinodermata: Echinoidea: Cidaroidea) em um trecho do litoral de Salvador (BA). XXXIII Congresso Brasileiro de Zoologia, Águas de Lindóia, São Paulo, Brasil (março 2020).
- Serra J.J., Xavier F.L.A.A. (2003). Produção do vídeo “Cerca Viva–Um Olhar sobre o Recife das Pinaúnas–Ilha de Itaparica (BA)”. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Comunicação, Universidade Federal da Bahia, Brasil. 58 pp.
- Tavares Y.A.G, Kawall H.G., Borzone C.A. (2004) Biochemical changes in the gonad in relation to the reproductive cycle of *Echinometra lucunter* and *Arbacia lixula* in southern Brazil. In: Lawrence J.M., Guzmán O. (ed). Sea Urchin Fisheries and Ecology – Proceedings of the International Conference on Fisheries and Aquaculture, DEStech Publications. pp: 147-155.
- Tavares Y.A.G. (2004). Biologia reprodutiva dos equinóides *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) e *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) na Ilha da Galheta, litoral Paranaense, Brasil. Tese, Universidade Federal do paraná, Curitiba, Brasil. 196 pp.
- Tavares Y.A.G. (2018). Padrões Reprodutivos de *Echinometra lucunter* Linnaeus, 1758 (Echinodermata:Euechinoidea) em Diferentes Habitats da Costa Brasileira. *Multi-Science Journal*, 1(13):354.
- Tavares Y.A.G., Borzone C.A. (2006). Reproductive cycle of *Mellita quinquiesperforata* (Leske) (Echinodermata, Echinoidea) in two contrasting beach environments. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23(2):573-580.
- Tavares Y.A.G., Borzone C.A. (2015). The reproductive cycle of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea) in southern Brazil. *Revista de Biologia Tropical*, 63 (2):243-250.
- Tavares Y.A.G., Braz B.L., Borzone C.A. (2005). Análise da condi o gonadal de *Echinometra lucunter* no sul do brasil: Subsídios para sua explora o comercial. II Congresso Brasileiro de Oceanografia, Vitória, Espírito Santo, Brasil (outubro 2005).
- Tavares Y.A.G., Semanovschi N.P., Camargo J.C.M., Pellizzari, F. (2020). Feeding habits of the sea urchin *Echinometra lucunter* L. (Echinoidea) in a remote Southwestern Atlantic island, Trindade, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 15(4):303-319.

Unuma T. (2009). Science of gonad proportion. In: Honkawa T. (ed). Echinus-logy. Tokai-dai Shuppansha, Kana-gawa. pp: 181-204.

Vadas Sr R.L., Beal B., Dowling T., Fegley J.C. (2000). Experimental field tests of natural algal diets on gonad index and quality in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*: a case for rapid summer production in post-spawned animals. *Aquaculture*, 182:115-135.

Ventura C.R.R., Varotto R.S., Carvalho A.L.P.S., Pereira A.D., Alves S.L.S., MacCord F.S. (2003). Interpopulation comparison of the reproductive and morphological traits of *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) from two different habitats on Brazilian coast. VI European Conference on Echinoderms. Lisse, Holanda.

Walker C.W. Nutrition of gametes. (1982). In: Jangoux; J.M. Lawrence (ed). Echinoderm nutrition. Balkema, Rot-terdam. pp: 449-468.

Walker C.W., Böttger S.A., Unuma T., Watts S.A., Harris L.G., Lawrence A.L., Eddy S.D. (2015). Enhancing the commercial quality of edible sea urchin gonads—technologies emphasizing nutritive phagocytes. In: Brown N.P., Eddy S.D. (ed). Echinoderm aquaculture, Hoboken, Wiley Blackwell. pp: 263-286.

Walker C.W., Unuma T., Lesser M.P. (2006). Gametogenesis and reproduction of sea urchins. In: Lawrence J.M. (ed). Edible sea urchins, biology and ecology, Elsevier, Amsterdam. pp: 11-33.



Living together, feeding apart: trophic ecology of three demersal sharks in the North-east Atlantic

Viviendo juntos, alimentándose separados: ecología trófica de tres tiburones demersales en el Atlántico nororiental

Lola Riesgo Torres¹, Francisco Baldó¹, José Luis Varela²

¹Instituto Español de Oceanografía (IEO). Cádiz, Spain

²Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, Spain

 Lola Riesgo Torres () E-mail: lola.riesgo@hotmail.es

RESUMEN | En este estudio, se examinaron los hábitos de alimentación, la dieta, y las relaciones tróficas entre tres especies de tiburones demersales (*Galeus melastomus* Rafinesque, 1810, *Etmopterus spinax* (Linnaeus, 1758) y *Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758)) del Banco de Porcupine, situado al noreste del Atlántico. Los análisis estomacales revelaron diferencias en la dieta de las tres especies, con una clara preferencia por presas bentónicas en el caso de *S. canicula*, y presas bentopelágicas en el caso de *E. spinax* y *G. melastomus*. Los resultados de este estudio proporcionan nuevos conocimientos sobre el papel ecológico de estas especies en el Banco de Porcupine que serán de crucial importancia para la gestión y conservación de estas especies.

Palabras clave: Tiburones, contenido estomacal, noreste del Atlántico.

ABSTRACT | Feeding habits, diets and trophic relationships among three demersal sharks (*Galeus melastomus* Rafinesque, 1810; *Etmopterus spinax* (Linnaeus, 1758); and *Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758)) from the Porcupine Bank, Northeast Atlantic were studied. The stomach content analysis revealed differences between the diet of the three species, with a clear preference for benthonic preys in the case of *S. canicula*, and benthopelagic preys in the case of *E. spinax* and *G. melastomus*. The results of this study provide new knowledge about the ecological role of these species in the Porcupine Bank and will be of vital importance for their management and conservation of these species.

Palabras clave: Sharks, stomach content, Northeast Atlantic.

INTRODUCTION

Understanding the trophic ecology of keystone species is essential to determine their role in marine ecosystems (Ferretti, Worm, Britten, Heithaus, & Lotze, 2010; Dulvy *et al.*, 2014). Deep-sea sharks are considered important predators on marine food webs playing an important role in top-down controls on the dynamics of many ecosystems (Wetherbee, Cortés, & Bizzarro, 2012). During the last decades, elasmobranchs have become the focus of ecological studies (Ferretti, *et al.*, 2010; Dulvy, *et al.*, 2014; Navia, Mejia-Falla, Lopez-Garcia, Giraldo, & Cruz-Escalona, 2017). Nevertheless, only a few studies have focused on the interactions among sympatric elasmobranchs species, which is essential to understand how elasmobranchs coexist in the same habits (Albo-Puigserver *et al.*, 2015; Barria, Navarro, & Coll, 2018; Yemiskan, Navarro, Forero, Megalofonou, & Eryilmaz, 2019).

The small-spotted catshark, also known as the sandy dogfish, lesser-spotted dogfish, *Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758), and the blackmouth catshark, *Galeus melastomus* (Rafinesque, 1810, are the most caught shark species by Spain's commercial trawl fleet in the Northeast Atlantic, with reported commercial catches of 816 and 108 ton, respectively (FAO, 2020). The velvet belly lantern shark, *Etmopterus spinax* (Linnaeus, 1758), was one of the most discarded species; however, the reported annual commercial catches decreased from 75 ton in 2005 to 5 ton in 2018 (FAO, 2020). Therefore, this species is considered near threatened by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) (Guallart *et al.*, 2021). Although some aspects of the diet of these species have been reported in previous studies, their feeding habits on the Porcupine Bank has not yet been described.

In this study, we investigated the diet, feeding habits and trophic relationships of three species of demersal sharks (*Galeus melastomus*, *Scyliorhinus canicula* and *Etmopterus spinax*) coexisting in the Porcupine Bank (Northeast Atlantic) using stomach contents.

MATERIAL AND METHODS

The Porcupine Bank located is located 200 km off the west coast of Ireland, within the Irish exclusive economic zone. Oceanographic conditions, such as anticyclonic flows and a partly closed circulation pattern, made this area suitable for species settlement.

In September and October 2020, a total of 78 velvet belly lantern sharks, 161 of the blackmouth catsharks and 67 of the lesser spotted dogfish were caught during the fishery-independent Spanish Bottom Trawl Survey on the Porcupine Bank (SP-PORC-Q3), which extends from 12°W to 15°W and

from 51°N to 54°N, at depths ranging from 200 to 800 m. Elasmobranchs were measured (to the nearest cm) and weighted (to the nearest g).

All stomachs were dissected and analysed at sea. Prey items were separated, counted, and identified to the lowest possible taxonomic level. The volume of each prey in each stomach was measured using a trophometer, a calibrated instrument that consists of several different-sized cylinders built into a tray, as used in previous studies (Olaso, Velasco, & Pérez, 1998; Olaso *et al.*, 2005; Valls, Quetglas, Moranta, & Ordines, 2011). Fully and partially digested fishes and cephalopods were identified by their otoliths and beaks, respectively, using identification guides (Clarke *et al.*, 1986). Digested crustaceans were identified from exoskeleton fragments (e.g. rostra, mandibles and telson). Stomachs containing only hard parts such as otoliths, eyes and fish bones were considered empty.

The relative importance of each prey in the diet was assessed by the following indices: (a) frequency of occurrence (%O_i = number of stomachs with the prey *i* / total number of non-empty stomachs); (b) numerical (%N) and volumetric (%V) composition, expressed as the percentage contribution (in number or volume) of each prey to the whole content, ; (c) index of relative importance (IRI = %F(%N+%V), which was standardized following %IRI=(IRI/∑IRI)100 (Cortés, 1997). The vacuity index (*v*; the percentage of empty stomachs) was also calculated. Trophic diversity was assessed with the Shannon-Wiener diversity index (*H_i*): $H_i = - \sum(p_i) (\ln p_i)$; where *p_i* is the numeric proportion of prey *i* in the diet.

To standardize our data and facilitate diet comparisons among species, the following five major prey categories were considered: SHRIMP (shrimp-like crustaceans including shrimps, euphausiids and mysid); OCRUS (other crustaceans including *Brachyura* crabs, ostracods, amphipods, isopods, and unidentified crustaceans), CEPH (cephalopods), FISH (teleost) and OTHERS (including polychaeta, tunicate, cnidaria and other unidentified preys).

Differences in diet based on %V among species were tested using multivariate techniques (PERMANOVA test). PERMANOVA analysis was based on Canberra resemblance matrix after a fourth-root transformation. A multivariate test for homogeneity of variance (PERMDISP) was performed to analyse the multivariate dispersion among size classes and depths strata. All multivariate analyses were performed with R software (R Development Core Team, 2020). The significance level used for all tests was $p < 0.05$.

Feeding strategy was represented graphically by a two-dimensional representation of the prey-specific abundance (%P_i) and the frequency of occurrence (%F) (Amundsen, Gabler, & Staldvik,

1996). This graphical method is a modification to the Costello (1990) method and provides information on prey importance, feeding strategy, and the inter- and intra-individual components of the niche width to be explored together. The prey-specific abundance ($\%P_i$) was calculated as follows: $\%P_i = (\sum S_i / \sum S_t) 100$, where $\sum S_i$ is the sum of the volume of prey i , and $\sum S_t$ is the sum of stomach content of those predators with the prey i in their stomachs. Diet breadth was calculated using the Levins' standardized index (Krebs, 1999) according to the next formula: $B_i = [1/(n-1)][1/\sum p_{ij}^2 - 1]$ where p_{ij} is the proportion of diet of predator i that is made up of prey j and n is the number of prey categories. Values of this index ranges between 0-1, where low values indicate diets dominated by few prey items (specialist behaviour) and higher values indicates generalist behaviour.

RESULTS

A total of 63 prey taxa were identified, namely 14 teleost, 11 cephalopods and 28 crustaceans (Table 1). The vacuity index (v) was clearly higher in velvet belly lantern shark (43.59%) than in the blackmouth catshark (13.66%) and the lesser spotted dogfish (4.48%). The highest dietary diversity was found in velvet belly lantern shark ($H_i = 2.18$), while the lowest diversity index was found in the blackmouth catshark ($H_i = 1.92$) (Table 2).

The diet composition of each species is summarized in this paragraph, taking into account the main prey groups and the lowest taxonomic level identified. In the blackmouth catshark, diet was mainly composed by shrimp-like crustaceans (79.86 %O, 69.75%N, 15.09%V, 64% IRI), with *Meganyctiphane norvegica* being the most frequent prey (37.41% O). However, amphipods also play an important role (42.43%O, 19.04%N and 18.91%IRI). Shrimp-like crustaceans were the most important prey group in the velvet belly lantern shark (38.64 %O, 66.15 %N, 6.55%V and 78.33%IRI), led by the euphausiids *Eusergestes arcticus* (15.26% IRI). In the lesser spotted dogfish diet, shrimp-like crustaceans were again the most representative prey group (73.44 %O, 76,30 %N, 16.13%V and 55.92% IRI), followed by teleost, being the mesopelagic species *Micromisistius potassou* an important prey (41.39%V and 18.40%IRI). In the diets of all three species, cephalopods were poorly represented.

PERMANOVA analysis indicated significant differences among the three species ($p < 0.005$). Further PERMANOVA pairwise comparisons indicated that stomach contents differed between the three species ($p < 0.005$). The PERMDISP analysis showed no significant differences ($p > 0.005$), therefore, differences in diet obtained with PERMANOVA were not due to multivariate dispersion.

Prey importance and feeding strategy of the three species are shown in Figure 2. The blackmouth catshark showed a specialist feeding behaviour. Preys such as cephalopods and teleost have a high prey-specific abundance, but they appeared at low frequencies, suggesting that they were consumed by few individuals. The velvet belly lantern shark showed a moderate specialist feeding behaviour, with teleost being the dominant prey for the whole population, while crustaceans are rarely consumed. The lesser spotted dogfish showed a mixed feeding strategy, at individual level they seem to be specialized in teleost, while shrimp-like crustaceans are mainly consumed by the entire population. Nevertheless, Levin's index showed lower values, which indicates a specialist behaviour in the three species (Table 2).

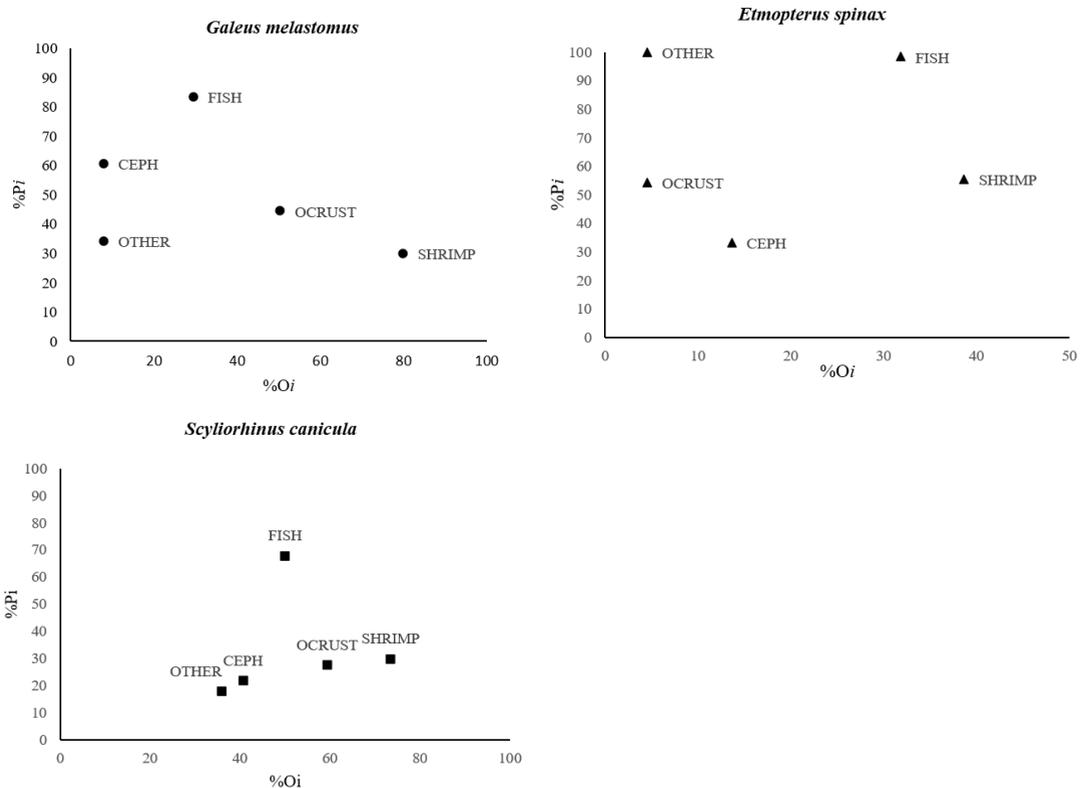


Figure 1. Graphic representation of feeding strategy for *G. melastomus* (a), *E. spinax* (b) and *S. canicula* (c) based on plots of prey-specific abundance in volume (%Pi) against frequency of occurrence of prey species (%Oi) (Amundsen, *et al.*, 1996)

Table 1. Diet composition of *Galeus melastomus*, *Etmopterus Spinax* and *Scyliorhinus canicula* off the Porcupine Bank. Occurrence (%O), numeric (%N), volumetric (%V), and standardized relative importance index (%IRI).

Prey taxa	<i>Galeus melastomus</i>				<i>Etmopterus spinax</i>				<i>Scyliorhinus canicula</i>			
	%O	%N	%V	%IRI	%O	%N	%V	%IRI	%O	%N	%V	%IRI
Fish	29.50	4.43	53.72	16.23	31.82	16.92	0.87	15.79	50.00	4.57	52.13	23.36
<i>Micromesistius poutassou</i>	8.57	1.35	31.27	6.16	2.94	1.39	8.42	2.20	25.00	2.20	41.40	18.41
<i>Lepidorhombus whiffiagonis</i>	0.71	0.10	0.09	0.01								
Myctophidae	2.14	0.67	0.49	0.06	2.94	1.39	0.17	0.35	3.13	0.24	0.22	0.02
<i>Myctophum punctatum</i>	0.71	0.10	0.08	0.01								
<i>Nezumia aequalis</i>	0.71	0.10	2.05	0.03								
<i>Stomias boa</i>	0.71	0.10	0.46	0.01								
<i>Trachurus trachurus</i>	0.71	0.10	0.17	0.01								
<i>Notoscopelus elongatus</i>	0.71	0.10	0.33	0.01								
<i>Artozenus risso</i>					2.94	1.39	4.47	1.31				
<i>Argentina</i> sp.									3.13	0.24	0.50	0.04
<i>Maurolicus muelleri</i>					5.88	5.56	0.50	2.71				
<i>Gadiculus argenteus</i>	1.43	0.38	6.05	0.20	5.88	9.72	67.44	34.59				
Other teleost	25.71	1.83	12.65	8.20	2.94	5.56	6.40	2.68	25.00	1.96	9.33	4.76
Crustaceans	79.86	69.75	15.09	64.11	38.64	66.15	6.55	78.33	73.44	76.30	16.13	55.92
<i>Meganyctiphanes norvegica</i>	37.41	17.98	4.38	18.43	5.88	8.33	1.16	4.25	7.81	6.11	1.09	0.95
<i>Eusergestes articus</i>	24.29	12.69	3.57	8.70	8.82	20.83	1.87	15.27	6.25	7.82	0.93	0.92
Euphausiacea	37.86	37.50	4.03	34.64	11.76	30.56	3.52	30.56	57.81	55.13	6.03	59.71
Mysidacea	2.14	0.19	0.16	0.02								
<i>Sergia robusta</i>	2.14	0.19	0.19	0.02								.
<i>Dichelopandalus bonierii</i>	5.00	0.58	1.84	0.27					10.94	1.71	3.60	0.98
<i>Polycheles typhlops</i>	1.43	0.19	0.01	0.01								
<i>Pasiphaea</i> sp.	0.71	0.10	0.19	0.01								
<i>Pasiphaea sivado</i>	1.43	0.29	0.69	0.03								
<i>Pleisionika</i> sp.									6.25	0.12	0.12	0.03
<i>Processa</i> sp.									3.13	0.49	0.19	0.04

Cont. Table 1

Prey taxa	<i>Galeus melastomus</i>				<i>Etmopterus spinax</i>				<i>Scyliorhinus canicula</i>			
	%O	%N	%V	%IRI	%O	%N	%V	%IRI	%O	%N	%V	%IRI
<i>Processa caniculata</i>									3.13	0.37	0.33	0.04
<i>Pontophilus</i> sp.									3.13	0.24	0.29	0.03
<i>Ponthophilus norvegicus</i>									7.81	2.32	0.76	0.41
<i>Lophogaster typicus</i>									1.56	0.12	0.03	0.00
<i>Solenocera membranecea</i>									12.50	1.10	3.04	0.87
Decapods remains	10.00	1.92	1.44	0.74	5.88	4.17	1.63	2.60	37.50	5.38	4.06	5.97
Other crustaceans	50.36	22.83	15.46	18.25	4.55	4.62	1.63	0.79	59.38	10.00	16.55	12.99
Amphipoda hyperiidae	41.43	19.04	1.67	18.91					7.81	2.08	0.44	0.33
<i>N. norvegicus</i>	6.43	0.77	6.12	0.98								
<i>Gerion trispinosus</i>	3.57	0.38	5.71	0.48								
<i>Pagurus alatus</i>									1.56	0.12	0.04	0.01
<i>Pagurus prideaux</i>									6.25	0.49	5.60	0.64
<i>Pagurus</i> sp.	1.43	0.10	0.08	0.01					9.38	0.98	0.83	0.29
<i>Munida sarsi</i>	1.43	0.10	0.02	0.01					6.25	0.49	4.93	0.57
<i>Munida</i> sp.	2.86	0.29	0.37	0.04					3.13	0.24	0.52	0.04
<i>Gonaplex romboides</i>	0.71	0.10	0.01	0.01								
Brachyura	0.71	0.10	0.02	0.01								
Cephalopods	7.91	1.06	13.97	1.13	13.64	9.23	2.49	4.46	40.63	3.58	9.73	4.46
<i>Histioteuthis reversa</i>	5.71	0.67	12.17	1.62	2.94	4.17	2.15	1.42				
Teuthida					2.94	1.39	0.21	0.36				
Optopodidae									4.69	0.37	0.31	0.05
Sepiolidae									3.13	0.37	0.87	0.07
Omastrephidae	1.43	0.10	0.01	0.01	2.94	1.39	0.09	0.33				
<i>Bathipolipus sponsalis</i>	0.71	0.10	0.10	0.01	2.94	1.39	0.04	0.32	3.13	0.24	0.29	0.03
<i>Todarodes sagitatus</i>	0.71	0.10	1.01	0.02								
<i>Todaropsis eblanae</i>									6.25	0.49	3.55	0.43

Cont. Table 1

Prey taxa	<i>Galeus melastomus</i>				<i>Etmopterus spinax</i>				<i>Scyliorhinus canicula</i>			
	%O	%N	%V	%IRI	%O	%N	%V	%IRI	%O	%N	%V	%IRI
<i>Eledone cirrosa</i>									3.13	0.24	0.17	0.02
<i>Illex condietii</i>	0.71	0.10	0.67	0.01					1.56	0.12	0.81	0.02
Cephalopoda unidentified									20.31	1.71	3.70	1.86
Others	7.91	1.93	1.80	0.28	4.55	3.08	1.93	0.64	35.94	5.56	5.51	3.28
Polychaeta	2.14	0.58	0.07	0.03					14.06	1.22	0.58	0.43
Lumbrineridae									3.13	0.12	0.24	0.02
Afroditidae									1.56	0.24	0.13	0.01
Hipolitidae									1.56	0.12	0.00	0.00
<i>Pontobdella</i> sp.									4.69	0.37	0.37	0.06
<i>Ophiura ophiura</i>	1.43	0.10	0.01	0.01					1.56	0.12	0.01	0.01
<i>Actinauge richardii</i>									1.56	0.12	0.70	0.02
Salpidae	5.71	0.87	1.34	0.28	2.94	1.39	1.72	0.70	17.19	2.93	3.32	1.82
Unidentified remains	2.14	1.44	0.38	0.09	2.94	1.39	0.21	0.36	3.13	0.73	0.14	0.05

Table 2. Data summary of the three species used in this study including number of individuals sampled, total length range, percentage of stomachs containing prey (%Vi), Shanon-Wiener diversity (Hi) and Levin´s niche breadth.

Species	N° sampled	Total length (cm)	Non-empty stomachs (Vi%)	Shanon-Wiener index (Hi)	Levin´s index
<i>G. melastomus</i>	161	21-78	13.66	1.91	0.09
<i>E. spinax</i>	78	17-69	43.59	2.18	0.33
<i>S. canicula</i>	67	23-85	4.48	1.99	0.05

DISCUSSION

In the present study, the feeding habits and trophic ecology of three demersal sharks that inhabit the Porcupine Bank were studied. Based on the results of the stomach content analysis, differences in diet were found among the three species. The vacuity index was clearly higher in *E. spinax*, which had almost half of its stomachs empty. Cephalopods are known to have high nutritional values and few non-

edible remains (Boyle & Rodhouse, 2005), this fact could explain their high vacuity index and the large presence of beaks in several stomachs.

Stomach contents revealed that the diet of *G. melastomus* was mainly composed by euphausiids and teleost remains, in agreement with other previous studies conducted in the Mediterranean Sea (Fanelli, Rey, Torres, & de Sola, 2009; Valls, *et al.*, 2011; Anastasopoulou *et al.*, 2013; Barria, *et al.*, 2018) and Atlantic waters (Santos & Borges, 2001; Olaso, *et al.*, 2005; Neiva, Coelho, & Erzini, 2006; Neves, Figueiredo, Moura, Assis, & Gordo, 2007). Although *S. canicula* also included teleost in its diet, crustaceans were important prey for this species, contributing in large proportions to its diet. *Micromessistius poutassou* is an important species of the demersal catches landed and discarded by the trawler fleet in the Northeast Atlantic (Pérez *et al.*, 1996). Its high occurrence in the stomachs of both selachian sharks suggest that both are consumers of fishery discards (Olaso, *et al.*, 1998). The absence of benthic preys such as polychaetes and reptantid decapods in the diet of *E. spinax* suggest that do not forage in the benthic macrofauna, as reported by other authors (Neiva, *et al.*, 2006; Aranha, Menezes, & Pinho, 2009).

Significant components of the three diets were species with pelagic affinities, including benthopelagic organisms and vertically migrating species usually associated with the Benthic Boundary Layer (BBL) such as *Meganyctiphanes norvegica* and *Eusergestes articus*. The BBL is considered an important pathway in the exchange of matter and energy between the pelagic and benthic ecosystem. The presence of pelagic species at bottom depths makes them available to predators foraging in the BBL (Mauchline & Gordon, 1991; Cartes, 1998), connecting demersal sharks with the pelagic environment.

The existence of interspecific differences in their sensory adaptations to a deep-water environment could explain differences in the dietary composition (Olaso, *et al.*, 2005; Preciado *et al.*, 2009; Barria, *et al.*, 2018). The well-developed olfactory lobe and a high sense of electroreception in *S. canicula* probably offers a greater capacity to locate preys near the sea floor such as crustaceans and polychaetes. In contrast, *G. melastomus* and *E. spinax* have larger eyes, adapted to great depths, that enhance hunting mesopelagic preys found in mid-water depths. Furthermore, most of the benthopelagic assemblage consumed by *E. spinax* and *G. melastomus* were bioluminescent such as *M. norvegica*, *Pasiphaea* sp. or myctophids. Bozzano *et al.* (2001), suggest that the visual pigments of *G. melastomus* have absorption peaks coinciding with the wave lengths emitted by them. *E. spinax* is thought to have the same visual adaptations to capture these bioluminescent preys (Neiva, *et al.*, 2006).

The three sharks are considered generalist feeders (Olaso, *et al.*, 2005; Neiva, *et al.*, 2006; Neves, *et al.*, 2007; Preciado, *et al.*, 2009; Anastasopoulou, *et al.*, 2013; Barria, *et al.*, 2018; Bengil *et al.*, 2019). Yet, the low niche breadth, measured by the standardised Levin's index, suggested a specialist feeding behaviour in the three of them. However, these results should be taken with skepticism, the specialization could reflect the predominance of a few species in the Porcupine food web rather than to feeding on specific resources. Additionally, results in the feeding strategy of *G. melastomus* and *S. canicula* suggested that the populations' broad niches were composed by certain individuals that have narrower niches. An environment with patchy resources could be the main reason of this high level of individuals' specialization in both populations. This fact is agreement with the idea proposed by Bolnick *et al.* (2002), who reported that many apparently generalized populations are in fact composed of individuals specialist using different sub-set of the population resources.

In conclusion, this study presents information on the feeding ecology of three highly exploited demersal sharks (*G. melastomus*, *E. spinax* and *S. canicula*) in the Porcupine Bank, Northeast Atlantic. The results indicate differences in the diet among species. Although the three of them are generalist feeders, the specialist behaviour showed by them could be related to patchy resources. These results can be used by managers to conduct effective conservation strategies and management plans in the Porcupine Bank.

Acknowledgements

We would like to thank the crew of the R/V Vizconde de Eza and the scientific team of the Spanish Institute of Oceanography (IEO) that made the research survey possible. Special thanks are also due to Carlos Farias, Eduardo López, and Miguel Angel Cortés for their invaluable assistance in prey identification. The Spanish Bottom Trawl Survey on the Porcupine Bank (SP PORC-Q3) was funded in part by the EU through the European Maritime and Fisheries Fund (EMFF) within the Spanish National Program of collection, management and use of data in the fisheries sector and support for scientific advice regarding the Common Fisheries Policy.

REFERENCES

Albo-Puigserver, M., Navarro, J., Coll, M., Aguzzi, J., Cardona, L., & Saez-Liante, R. (2015). Feeding ecology and trophic position of three sympatric demersal chondrichthyans in the Northwestern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 524, 255-268. doi: 10.3354/meps11188

- Amundsen, P. A., Gabler, H. M., & Staldvik, F. J. (1996). A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*, 48(4), 607-614. doi: 10.1111/j.1095-8649.1996.tb01455.x
- Anastasopoulou, A., Mytilineou, C., Lefkaditou, E., Dokos, J., Smith, C. J., Siapatis, A., . . . Papadopoulou, K. N. (2013). Diet and feeding strategy of blackmouth catshark *Galeus melastomus*. *Journal of Fish Biology*, 83(6), 1637-1655. doi: 10.1111/jfb.12269
- Aranha, A., Menezes, G., & Pinho, M. R. (2009). Biological aspects of the velvet belly lantern shark, *Etmopterus spinax* (Linnaeus, 1758) off the Azores, North East Atlantic. *Marine Biology Research*, 5(3), 257-267. doi: 10.1080/17451000802433175
- Barria, C., Navarro, J., & Coll, M. (2018). Feeding habits of four sympatric sharks in two deep-water fishery areas of the western Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 142, 34-43. doi: 10.1016/j.dsr.2018.09.010
- Bengil, F., Bengil, E. G. T., Mavruk, S., Heral, O., Karaman, O. D., & Ozaydin, O. (2019). Feeding Ecology of Four Demersal Shark Species (*Etmopterus spinax*, *Galeus melastomus*, *Scyliorhinus canicula* and *Squalus blainville*) from the Eastern Aegean Sea. [Article]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(6), 475-484. doi: 10.4194/1303-2712-v19_6_03
- Bolnick, D., Yang, L., Fordyce, J., Davis, J., & Ck, R. (2002). Measuring Individual-Level Resource Specialization. *Notes 2936 Ecology*, 83, 2936-2941. doi: 10.2307/3072028
- Boyle, P., & Rodhouse, P. (2005). *Cephalopods: Ecology and Fisheries*. Oxford, UK.
- Bozzano, A., Murgia, R., Vallerga, S., Hirano, J., & Archer, S. (2001). The photoreceptor system in the retinae of two dogfishes, *Scyliorhinus canicula* and *Galeus melastomus*: possible relationship with depth distribution and predatory lifestyle. [Article]. *Journal of Fish Biology*, 59(5), 1258-1278. doi: 10.1006/jfbi.2001.1737
- Cartes, J. E. (1998). Dynamics of the bathyal Benthic Boundary Layer in the northwestern Mediterranean: depth and temporal variations in macrofaunal–megafaunal communities and their possible connections within deep-sea trophic webs. *Progress in Oceanography*, 41, 111-139. doi: 10.1016/S0079-6611(98)00018-4

- Cortés, E. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 726-738. doi: 10.1139/cjfas-54-3-726
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L. R., . . . White, W. T. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*, 3. doi: 10.7554/eLife.00590
- Fanelli, E., Rey, J., Torres, P., & de Sola, L. G. (2009). Feeding habits of blackmouth catshark *Galeus melastomus* Rafinesque, 1810 and velvet belly lantern shark *Etmopterus spinax* (Linnaeus, 1758) in the western Mediterranean. *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 83-93. doi: 10.1111/j.1439-0426.2008.01112.x
- FAO. (2020). FIGIS Data Collection, from <http://www.fao.org/figis>.
- Ferretti, F., Worm, B., Britten, G. L., Heithaus, M. R., & Lotze, H. K. (2010). Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology Letters*, 13(8), 1055-1071. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01489.x
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology*. New York: Harper Collins Publishers.
- Mauchline, J., & Gordon, J. (1991). Oceanic prey of benthopelagic fish in the benthic boundary layer of a marginal oceanic region. *Marine Ecology-progress Series*, 74, 109-115. doi: 10.3354/meps074109
- Navia, A. F., Mejia-Falla, P. A., Lopez-Garcia, J., Giraldo, A., & Cruz-Escalona, V. H. (2017). How many trophic roles can elasmobranchs play in a marine tropical network? [Article]. *Marine and Freshwater Research*, 68(7), 1342-1353. doi: 10.1071/mf16161
- Neiva, J., Coelho, R., & Erzini, K. (2006). Feeding habits of the velvet belly lanternshark *Etmopterus spinax* (Chondrichthyes: Etmopteridae) off the Algarve, southern Portugal. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86(4), 835-841. doi: 10.1017/s0025315406013762
- Neves, A., Figueiredo, I., Moura, T., Assis, C., & Gordo, L. (2007). Diet and feeding strategy of *Galeus melastomus* in the continental slope off southern Portugal. *Vie et Milieu*, 57, 165-170.

- Olaso, I., Velasco, F., & Pérez, N. (1998). Importance of discarded blue whiting (*Micromesistius poutassou*) in the diet of lesser spotted dogfish (*Scyliorhinus canicula*) in the Cantabrian Sea. *Ices Journal of Marine Science*, 55(3), 331-341. doi: 10.1006/jmsc.1997.0263
- Olaso, I., Velasco, F., Sánchez, F., Serrano, A., Rodríguez-Cabello, C., & Cendrero, O. (2005). Trophic relations of lesser-spotted catshark (*Scyliorhinus canicula*) and blackmouth catshark (*Galeus melastomus*) in the Cantabrian Sea. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35, 481-494. doi: 10.2960/J.v35.m494
- Preciado, I., Cartes, J. E., Serrano, A., Velasco, F., Olaso, I., Sánchez, F., & Frutos, I. (2009). Resource utilization by deep-sea sharks at the Le Danois Bank, Cantabrian Sea, north-east Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 75, 1331-1355. doi: 10.1111/j.1095-8649.2009.02367.x
- Santos, J., & Borges, T. (2001). Trophic relationships in deep-water fish communities off Algarve, Portugal. *Fisheries Research*, 51, 337-341. doi: 10.1016/s0165-7836(01)00257-0
- Valls, M., Quetglas, A., Moranta, J., & Ordines, F. (2011). Feeding ecology of demersal elasmobranchs from the shelf and slope off the Balearic Sea (western Mediterranean). *Scientia Marina*, 75, 633-639. doi: 10.3989/scimar.2011.75n4633
- Wetherbee, B., Cortés, E., & Bizzarro, J. (2012). Food Consumption and Feeding Habits. In J. Carrier, J. A. Musick & M. R. Heithaus (Eds.), *Biology of Sharks and Their Relatives II* (pp. 239-264). Boca Raton: CRC Press.
- Yemiskan, E., Navarro, J., Forero, M., Megalofonou, P., & Eryilmaz, L. (2019). Trophic partitioning between abundant demersal sharks coexisting in the North Aegean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99(5), 1213-1219. doi: 10.1017/s0025315419000110.



Infeción por *Klebsiella variicola* en calamar gigante *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835)

Klebsiella variicola infection in giant squid *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835)

Leonela Griselda Muñoz-Chumo, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Ramón Isea-León, Yanis Cruz-Quintana

Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad y Salud Ambiental. Escuela en Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Ciudadela Universitaria, Leónidas Plaza, Bahía de Caráquez, Ecuador. Teléfono 00593-5-2399300 ext. 1003.

 Leonela Griselda Muñoz-Chumo () E-mail: leitogris@gmail.com

RESUMEN | A pesar de la importancia sanitaria y comercial de *Klebsiella variicola*, en Ecuador se conoce muy poco sobre esta bacteria y sobre el efecto negativo que produce en la biota acuática. Con el objetivo de determinar la presencia de *K. variicola* y sus parámetros de infección en *Dosidicus gigas*, un importante recurso pesquero en el Pacífico ecuatoriano, se realizaron muestreos entre mayo y agosto del 2017. Se analizaron un total de 153 calamares, a los cuales se les determinó la prevalencia (P), intensidad media (IM) y abundancia media (AM) de nódulos bacterianos por sitio de infección. Muestras de tejido con nódulos bacterianos fueron procesadas por la técnica histológica de inclusión en parafina en el Centro de Sanidad Acuicola de la EAP-UTM. Adicionalmente, se procedió al aislamiento bacteriológico e identificación molecular mediante la secuenciación del ARNr 16S. El 90% de los ejemplares presentaron nódulos de color amarillento o beige en el manto y ciego espiralado, cuyo agente etiológico fue identificado como *Klebsiella variicola*. Los valores más altos en los parámetros de infección (P = 78%; IM = 9,34; AM = 7,4) se presentaron en la musculatura. Esta bacteria es reconocida como un patógeno en salud pública, por lo que el consumo de *D. gigas* podría constituir un riesgo a la salud de los consumidores.

Palabras clave: *Klebsiella variicola*, *Dosidicus gigas*, pesquerías, histología, biología molecular.

ABSTRACT | Despite the health and commercial importance of *Klebsiella variicola*, very little is known in Ecuador about this bacterium and about the negative effects that it's produces on aquatic biota. In order to determine the presence of *K. variicola* and its infection parameters in *Dosidicus gigas*, an important fishing resource in the Ecuadorian Pacific, samplings were carried out between May and August 2017. A total of 153 squid were analyzed, from which the prevalence (P), mean intensity (MI) and mean abundance (AM) of bacterial nodules by site of infection were calculated. Tissue samples with bacterial nodules were processed by the paraffin embedding technique at the Aquaculture Health Center of the EAP-UTM. Additionally, bacteriological isolation and molecular identification were carried out by 16S rRNA sequencing. 90% of the specimens presented yellowish or beige nodules on the mantle and spiral cecum, whose etiological agent was identified as *K. variicola*. The highest infection parameters (P = 78%; MI = 9.34; MA = 7.4) occurred in the musculature. This bacterium is

recognized as a pathogen in public health, so the consumption of *D. gigas* could constitute a risk to the health of consumers.

Keywords: *Klebsiella variicola*, *Dosidicus gigas*, fisheries, histology, molecular biology.

INTRODUCCIÓN

Klebsiella variicola es un bacilo Gram negativo, anaeróbico facultativo, inmóvil, conocido por formar colonias circulares, convexas y mucoides, que se encuentra en diferentes nichos ecológicos y es usada en diversos procesos industriales a nivel mundial como agronomía y biorremediación de suelos (Rodríguez-Medina *et al.*, 2019). Hasta la fecha, se han reportado varias infecciones en plantas (banano, caña de azúcar y arroz) y animales por esta bacteria, e incluso es considerado un patógeno para el ser humano (Barrios-Camacho *et al.*, 2019). A pesar de la importancia de *K. variicola* para la salud pública y el comercio, en Ecuador se conoce muy poco sobre esta bacteria y sobre sus efectos negativos en la biota acuática.

El calamar gigante *Dosidicus gigas* constituye un recurso pesquero importante y abundante en el Pacífico, soportando pesquerías (artesanal y deportivas), en todo su rango de distribución (Morales-Bojorquez y Pacheco-Bedoya, 2016). Particularmente en Ecuador, esta especie se destinaba principalmente para carnada de especies pelágicas mayores y desde 2018 se destina para consumo humano. La información biológica acerca de *D. gigas* en el Pacífico ecuatoriano es escasa, limitándose a estudios sobre aspectos biológicos pesqueros (Morales-Bojorquez y Pacheco-Bedoya, 2016) y parasitológicos (Shukhgalter y Nigmatullin, 2001). Sin embargo, a pesar de destinarse para consumo humano, otros aspectos biológicos como el caso de los patógenos bacterianos que afectan a *D. gigas*, y que pueden constituir un riesgo a la salud pública, aún se desconocen. Por tal razón, el presente estudio pretende determinar la presencia de *K. variicola* y sus parámetros de infección en *D. gigas* en el Pacífico ecuatoriano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En diferentes puntos del Pacífico ecuatoriano (Fig. 1), se colectaron ejemplares de *Dosidicus gigas* entre mayo y agosto del 2017, utilizando una metodología estandarizada que consiste en líneas de mano con pulperos (Boyle y Rodhouse, 2007). Los individuos capturados fueron colocados individualmente en bolsas plásticas debidamente etiquetadas. Una parte de las muestras fue preservada en refrigeración para estudios bacteriológicos, mientras que la otra parte fue preservada en formalina neutra al 10% para

estudios histológicos. Todas las muestras colectadas fueron trasladadas al Centro de Sanidad Acuícola (CSA) en la Escuela de Acuicultura y Pesquería de la UTM, para su procesamiento.

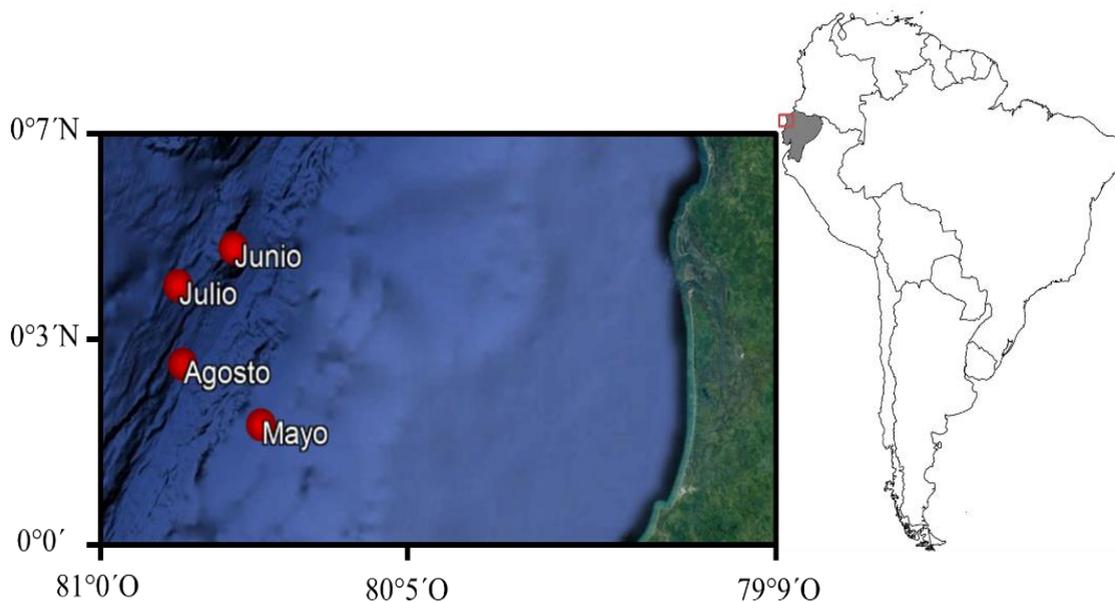


Figura 1. Área de estudio y sitios muestreados (puntos rojos) en el Pacífico ecuatorial durante el 2017.

Procedimiento del laboratorio

A cada ejemplar se le registró la longitud dorsal del manto (LDM) (cm) con una cinta métrica y el peso (g) con una balanza gramera Ohaus®. Todos los ejemplares fueron revisados externa e internamente con ayuda de un estereomicroscopio, en busca de nódulos bacterianos. Los nódulos observados fueron cuantificados y extraídos para la identificación del agente etiológico. Los parámetros de infección: prevalencia, intensidad media y abundancia media, fueron calculados de acuerdo con Bush *et al.* (1997), para el total de la muestra y por sitio de infección.

Para el aislamiento bacteriológico, los nódulos bacterianos, una vez extraídos con tijeras y fórceps, fueron desinfectados externamente con etanol al 70%, enjuagado con solución salina estéril y posteriormente, fueron macerados. Muestras del macerado fueron extraídas con agujas enmangadas estériles y sembradas en 10 mL de caldo agar nutriente durante 24 horas a 37°C. La identificación molecular se la realizó mediante la extracción de ADN de las colonias bacterianas, utilizando el kit

QIAamp DNA Mini Kit, Qiagen, USA. Para la amplificación de los genes se usaron los iniciadores y condiciones de amplificación para la región 16S de ADNr. Los productos de PCR fueron visualizados mediante electroforesis en gel de agarosa al 1,5%. Los insertos obtenidos de los plásmidos fueron secuenciados en ambas direcciones (5' - 3' y 3' - 5') usando *ABI PRISM Big Dye Terminator Cycle Sequencing Ready Reaction Kit* y un analizador genético *ABI PRISM 3130 Genetic Analyser*®. Las secuencias de ADN se compararon directamente con las bases de datos del *Gen Bank* mediante el uso del programa *Blast* para la identificación de procariontes, *RDP Ribosomal database Project* como la base de datos de ribosomas y *BiBi database* para identificar el género y especie bacterianos en base a la identidad de la secuencia y el valor de e (e -value) y el origen filogenético (Mignard y Flandrois, 2006).

Fragmentos de tejidos con nódulos bacterianos de los organismos fijados en formalina neutra al 10%, fueron extraídos y procesados por la técnica histológica de inclusión en parafina, cortados en secciones finas (5 μ m) y teñidos con los colorantes de rutina hematoxilina y eosina (Humason, 1979). Las laminillas obtenidas fueron analizadas en un microscopio *Olympus*® BX53 y las imágenes fueron tomadas con una cámara *AmScope*® de 9.1 MP acoplada al microscopio.

El LDM y peso de los calamares fue comparado entre meses mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), previa determinación de la normalidad de los datos mediante un análisis de Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rohlf, 1998). La abundancia e intensidad de nódulos de *K. variicola* se comparó mediante un análisis de *Kruskal-Wallis* dado que los datos no cumplieron con los preceptos de normalidad y homocedasticidad. Los análisis se realizaron con el programa estadístico *Statistic v. 8.0* y un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Se revisaron un total de 153 ejemplares de *D. gigas* con una talla promedio del LDM de $22,93 \pm 4,84$ cm y un peso promedio de $374,66 \pm 264,66$ g. El LDM ($H_{(2,153)} = 32,05$; $p < 0,05$) y el peso ($H_{(2,153)} = 31,45$; $p < 0,05$) mostraron diferencias significativas entre meses.

El 90% (139) de los ejemplares presentó nódulos de color amarillento o beige en el manto y ciego espiralado (Fig. 2), obteniéndose un total de 1332 nódulos. La intensidad media de los nódulos en *D. gigas* fue de $9,6 \pm 7,8$, mientras que la abundancia media fue de $8,7 \pm 7,9$. Ambos parámetros de infección no mostraron diferencias entre meses ($H_{(2,138)} = 7,22$; $p > 0,05$; $H_{(2,153)} = 9,75$; $p > 0,05$).

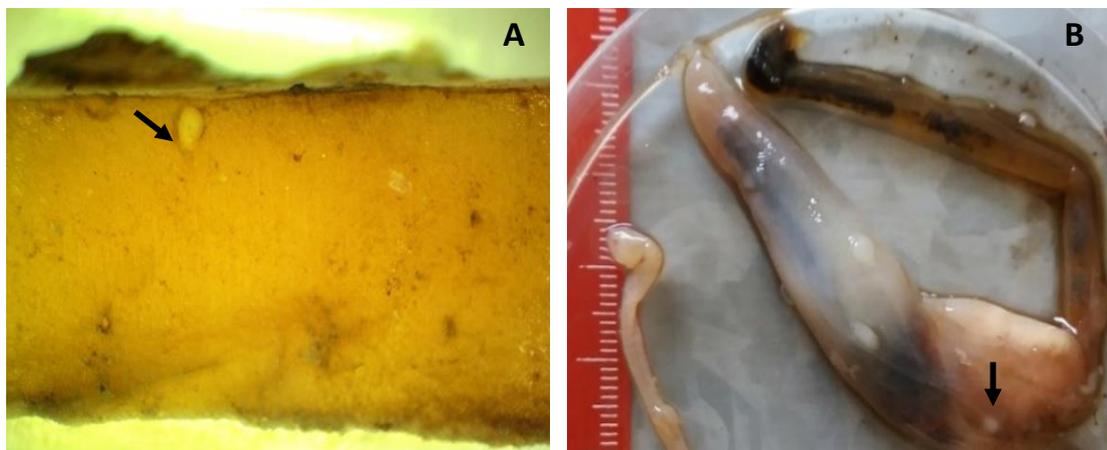


Figura 2. Nódulos de *Klebsiella variicola* en la musculatura (A) y ciego espiralado (B) de *Dosidicus gigas* (flechas).

El manto mostró los parámetros de infección más elevados durante el estudio, con prevalencias de 78%, intensidad media de 9,3 y abundancia media de 7,3 (Tabla 1). El mes de agosto para ambos de sitio de infección, presentó los mayores registros de los parámetros de infección, mostrando diferencias significativas en relación entre la abundancia media y el ciego espiralado ($H_{(3;153)} = 67,85; p < 0,05$) y la intensidad media con el manto ($H_{(3;131)} = 13,2712; p < 0,05$).

Tabla 1. Parámetros de infección de *Klebsiella variicola* en *Dosidicus gigas*.

Parámetros de infección	Sitio de infección	
	Manto	Ciego espiralado
Prevalencia (%)	78	35
Intensidad media	9,3 ± 7,4	1,0 ± 0,0
Abundancia media	7,3 ± 7,4	0,4 ± 0,0

La bacteria causante de los nódulos fue identificada molecularmente como *Klebsiella variicola* F2R9 (Fig. 3).

Infección por *Klebsiella variicola* en calamar

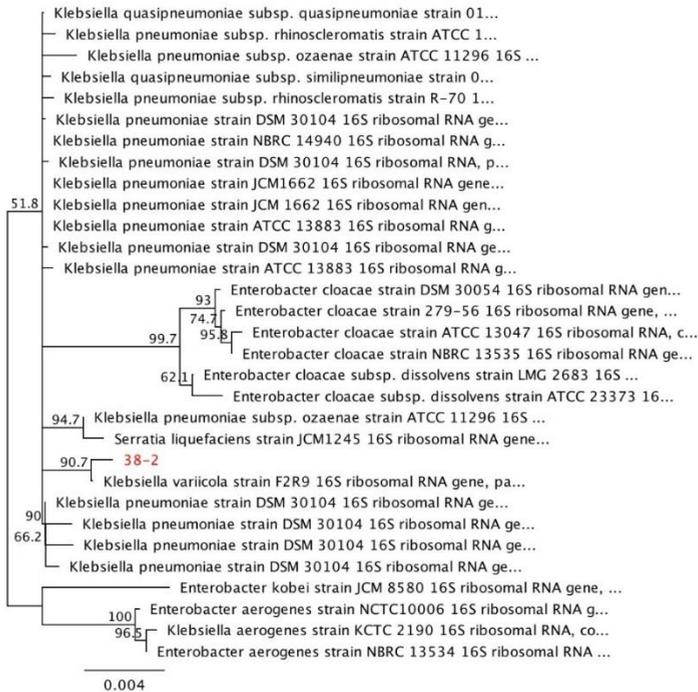


Figura 3. Árbol de máxima verosimilitud, basado en secuencias de ADNr 16S.

En *Dosidicus gigas*, esta bacteria causa nódulos en la musculatura del manto (Fig. 4) y ciego espiralado, generando necrosis focal con infiltración hemocítica. Estos nódulos contienen material hialino homogéneo con muy pocas células en su interior y su tamaño depende del tiempo de infección.

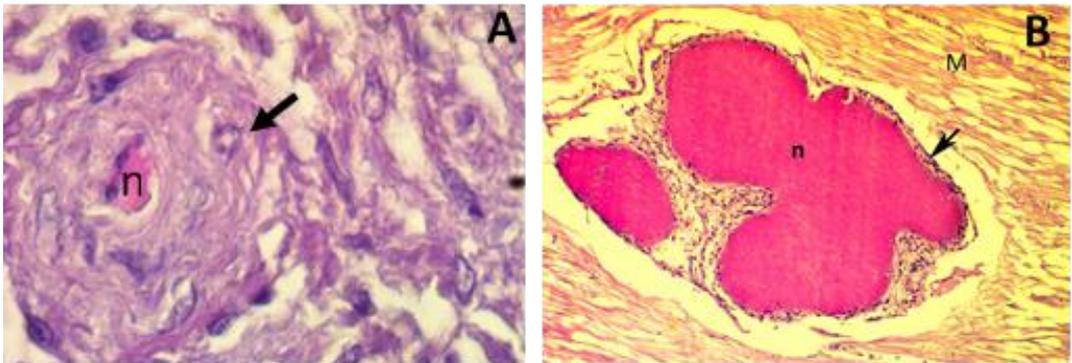


Figura 4. Nódulos de *Klebsiella variicola* (n) en la musculatura del manto (M) de *Dosidicus gigas*. Nótese la infiltración hemocítica alrededor del nódulo (flecha). A. Estadio inicial. B. Nódulo avanzado.

DISCUSIÓN

El agente etiológico causante de nódulos en *D. gigas* fue identificado como *Klebsiella variicola*. Esta especie bacteriana se ha convertido en un patógeno oportunista responsable de infecciones en plantas, animales, insectos y humanos (Barrios-Camacho *et al.*, 2019). En organismos acuáticos *Klebsiella* spp. se ha reportado en varias especies de peces como *Clarias gariepinus* (Takyi *et al.*, 2012), *Nemipterus japonicus* (Diana y Manjulatha, 2012), *Cyprinus carpio* (Oliveira *et al.*, 2014) y *Amphiprion nigripes* (Gopi *et al.*, 2016); sin embargo, no existen reportes en calamares, por lo que este hallazgo constituye un nuevo registro de patógeno bacteriano para *D. gigas*.

La prevalencia (90%) de nódulos generados por esta bacteria en *D. gigas* del Pacífico ecuatoriano es superior a lo reportado en estudios de peces (Diana y Manjulatha, 2012; Takyi *et al.*, 2012), lo que podría estar asociado a la contaminación de origen antropogénico a causa de las producciones de plátano en Ecuador. La cepa identificada ha sido aislada en cultivos de plátano (Tinto-Tomas *et al.*, 2009) y dado que la producción y exportación de plátano es el primer recurso no petrolero en Ecuador, esta bacteria podría estar llegando a la franja costera y al océano a través de escorrentías, donde afecta a los calamares.

Los nódulos producidos por *K. variicola* en *D. gigas* causan reacciones locales en el manto y ciego espiralado, generando desde una infiltración hemocítica hasta focos de necrosis. Estas alteraciones tisulares concuerdan con las infecciones de esta bacteria en estudios realizados en peces (Gopi *et al.*, 2016). Estas lesiones, por su carácter focal, no causan un gran daño en *D. gigas* y probablemente no comprometan la vida del organismo; pero podría tener un impacto negativo en la comercialización de este importante recurso pesquero en nuestro país, debido a que el manto de *D. gigas* presentó los mayores parámetros de infección de *K. variicola* (78 %). Esto es sumamente importante dado que el manto es la parte comestible del calamar y, por tanto, representa un alto riesgo sanitario para los consumidores, quienes podrían infectarse con *K. variicola*. Esta bacteria causa infecciones respiratorias y urinarias en los humanos. En muchos países es considerada un riesgo emergente para la salud (Rodríguez- Medina *et al.*, 2019), cuyo contagio puede darse mediante el contacto directo con la piel, las mucosas del infectado, superficies contaminadas, entre otros. En ese sentido, el hallazgo de *K. variicola*, en este estudio, podría constituir un riesgo a la salud pública y debería ser un tema de preocupación para estudios futuros ahora que la producción pesquera de *D. gigas* en Ecuador se destina para consumo humano (Morales-Bojórquez y Pacheco-Bedoya, 2016).

CONCLUSIONES

El agente etiológico causante de nódulos en *Dosidicus gigas* fue identificado como *Klebsiella variicola*.

La musculatura, parte comestible del calamar, presentó los mayores parámetros de infección (P = 78%; IM = 9,34; AM = 7,4).

La prevalencia total observada fue elevada (90%), lo que podría constituir un riesgo para la salud de los consumidores.

Agradecimientos

Al Centro de Sanidad Acuícola y la Escuela de Acuicultura y Pesquería de la Universidad Técnica de Manabí por el apoyo logístico y la beca de titulación otorgada a LGMC. Al proyecto “Variación espacial de la comunidad de parásitos del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Pacífico ecuatoriano”, financiado por la UTM. Al INOCAR y los pescadores artesanales del sector El Matal (Jama) por la colaboración en la realización de los muestreos.

REFERENCIAS

- Barrios-Camacho H., Aguilar-Vera A., Beltrán-Rojel M., Aguilar-Vera E., Duran-Bedolla J., Rodríguez-Medina N., Garza-Ramos U. (2019). Molecular epidemiology of *Klebsiella variicola* obtained from different sources. *Scientific Reports*, 9: 10610.
- Boyle P., Rodhouse P. (2007). Cephalopods: ecology and fisheries, Blackwell Science, India.
- Bush A., Lafferty K., Lotz J., Shostak A. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis revisited. *Journal of Parasitology*, 83:575 – 583.
- Diana T., Manjulatha C. (2012). Incidence and Identification of *Klebsiella pneumoniae* in Mucosal Buccal Polyp of *Nemipterus japonicus* of Visakhapatnam Coast, India. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 7: 454-460.
- Gopi M., Thankappanpillai T., Kumar A., Prakash S. (2019). Opportunistic pathogen *Klebsiella pneumoniae* isolated from Maldivé’s clown fish *Amphiprion nigripes* with hemorrhages at Agatti Island, Lakshadweep archipelago. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(3): 464-467.
- Humason G. (1979). Animal tissue techniques, 4th ed. William H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- Mignard S., Flandrois J. (2006). 16S rRNA sequencing in routine bacterial identification: A 30-month experiment. *Journal of Microbiological Methods*, 67: 574-581.

- Morales-Bojórquez E., Pacheco-Bedoya J. (2016). Population dynamics of jumbo squid *Dosidicus gigas* in Pacific Ecuadorian waters. *Journal of Shellfish Research*, 35: 1–14.
- Oliveira R., Peixoto P., Ribeiro D., Araujo M., Santos C., Hayashi C., Pedreira M., Pelli A. (2014). *Klebsiella pneumoniae* as a Main Cause of Infection in Nishikigoi *Cyprinus carpio* (Carp) by Inadequate Handling. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*, 7(2): 86 – 88.
- Pardo-Gandarillas M., Lohrmann K., Valdivia A., Ibañez C. 2009. First record of parasites of *Dosidicus gigas* (d'Orbigny, 1835) (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Humboldt Current system off Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44: 397-408.
- Rodríguez-Medina N., Barrios-Camacho H., Duran-Bedolla J., Garza-Ramos U. (2019). *Klebsiella variicola*: an emerging pathogen in humans. *Emerging Microbes & Infections*, 8: 975 – 988.
- Shukhgalter O., Nigmatullin C. 2001. Parasitic helminths of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in open waters of the central east Pacific. *Fisheries Research*, 54: 95-110.
- Sokal R., Rohlf F. (1998). *Biometry*, 2ed. William H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- Takyi R., Nunoo F., Ziddah P., Oddoye J. (2012). Aparición de infección bacteriana en dos especies de peces comúnmente cultivadas en dos piscifactorías en el sur de Ghana. *Revista mundial de biología Investigación*, 81-92.



Variación espacio temporal metales pesados en organismos bentónicos de la ensenada de carenero, estado Sucre, Venezuela

Space-time variation of heavy metals in benthic organisms of the Carenero Cove, Sucre state, Venezuela

Romero Patricia¹, Acosta Vanessa², Márquez Aristide³, Deudedith Hernandez³

¹Ciencias Marinas, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

²Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología de Ecosistemas Acuáticos, Departamento de Acuicultura, Pesca y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Manabí, EC 131450, Ecuador

³Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

 Patricia Romero () E-mail: patricia2075@gmail.com

RESUMEN | La macrofauna bentónica representa un espejo del estado ecológico del ecosistema marino. En función de la variabilidad ambiental del golfo de Cariaco y su influencia en las zonas litorales, se determinó la variación espacio-temporal de las concentraciones de metales pesados en los organismos bentónicos. Los muestreos se realizaron en abril y en noviembre de 2014 (sequía y lluvia respectivamente). Se colectaron las muestras biológicas en las estaciones que bordean la ensenada (1, 2, 3, 4, 7 y 8) empleando un nucleador de un área de 0,018 m². Los metales pesados como Fe, Zn, Pb, Mn, Cd y Cu fueron determinados en los organismos de la fauna bentónica. En el análisis se seleccionaron las especies más abundante y frecuentes entre las estaciones durante los dos períodos de estudio: lluvia y sequía. Para relacionar la concentración del metal obtenida en los organismos de las distintas especies con la obtenida en el sedimento, se empleó el factor de bioacumulación (BCF). Las especies de la macrofauna bentónica más abundantes y frecuentes en las estaciones de estudio durante lluvia y sequía fueron: *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *Phrontis albus* y *Lampanella minima*. El Factor de Bioacumulación (BCF) posee valores inferiores a 1, exceptuándose en *Lytechinus variegatus* y *Nassarius albus* para el plomo, lo cual refleja un riesgo potencial de bioacumulación por este metal. El grado de bioacumulación de metales depende de la cantidad total, la biodisponibilidad de cada metal en el medio ambiente y la ruta de mecanismos de captación, almacenamiento y excreción. Las concentraciones de metales determinadas en *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *P. albus* y *L. minima* sobrepasan los rangos permisibles en ambos períodos de estudios, reflejándose un estado de contaminación ecológica por la bioacumulación y la posible biomagnificación a redes tróficas superiores.

Palabras clave: Bentos, metales pesados, ecotoxicología, Golfo de Cariaco.

ABSTRACT | The benthic macrofauna represents a mirror of the ecological state of the marine ecosystem. Based on the environmental variability of the Gulf of Cariaco and its

influence on the coastal areas, the spatio-temporal variation of heavy metal concentrations in benthic organisms was determined. The samplings were carried out in April and November 2014 (drought and rain respectively). Biological samples were collected at the stations bordering the cove (1, 2, 3, 4, 7 and 8) using a nucleator with an area of 0.018 m². Heavy metals such as Fe, Zn, Pb, Mn, Cd and Cu were determined in the organisms of the benthic fauna. In the analysis, the most abundant and frequent species were selected between the stations during the two study periods: rain and drought. To relate the concentration of the metal obtained in the organisms of the different species with that obtained in the sediment, the bioaccumulation factor (BCF) was used. The most abundant and frequent species of the benthic macrofauna in the study stations during rain and drought were: *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *Phrontis albus* and *Lampanella minima*. The Bioaccumulation Factor (BCF) has values below 1, with the exception of *Lytechinus variegatus* and *Nassarius albus* for lead, which reflects a potential risk of bioaccumulation from this metal. The degree of bioaccumulation of metals depends on the total amount, the bioavailability of each metal in the environment and the pathway of uptake, storage and excretion mechanisms. The metal concentrations determined in *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *P. albus* and *L. minima* exceed the permissible ranges in both study periods, reflecting a state of ecological contamination due to bioaccumulation and the possible biomagnification to higher trophic networks.

Keywords: Benthos, heavy metals, ecotoxicology, Golfo de Cariaco.

INTRODUCCIÓN

Para evaluar la condición de un ambiente marino es necesario realizar estudios un monitoreo ambiental, con el fin de conocer los cambios de los elementos bióticos y abióticos y la interrelación entre ellos a nivel temporal y espacial; lo que permite establecer políticas o normas de recuperación ambiental y control de la contaminación que ayuden a mitigar un ecosistema impactado y/o contaminado. Algunas características fisicoquímicas de los sedimentos marinos pueden ayudar a comprender la naturaleza del ambiente bentónico, el estado de la condición de óxido-reducción imperante en el fondo, los cambios en la densidad, abundancia y diversidad de población de la fauna bentónica, así como la actividad de los microorganismos (BONILLA *et al.* 2003). Por tanto, el biomonitoreo ambiental es una herramienta importante que permite comprender los vínculos entre exposiciones químicas y sus posibles ampliaciones sobre la salud de un sistema bentónico (RIERA *et al.* 2012).

Es importante resaltar que la columna de agua del golfo de Cariaco está influenciada por los períodos ambientales: surgencia y estratificación, asociados a las épocas de sequía y lluvia respectivamente, relacionados con eventos de afloramiento de las aguas sub-superficiales (OKUDA *et al.*, 1978 a y b; FERRAZ-REYES *et al.* 1987; QUINTERO *et al.* 2009). Estos cambios ambientales generan un aporte de partículas biogénicas y de nutrientes hacia la capa superficial de la columna de agua (FERRAZ-REYES

& FERNÁNDEZ 1990; HURTADO 2015), originando cambios en la composición geoquímica del sedimento, no solamente con los nutrientes presentes, si no con los contaminantes adheridos a ellos como los metales pesados, los cuales experimentan cambios en la deposición y reposición de sus partículas, por la variabilidad de componentes como la materia orgánica (con el flujo de partículas biogénicas que aporta la columna con la surgencia) por el aumento de una mayor superficie de adhesión con otros iones y partículas orgánicas presentes en el sedimento, originando un aumento proporcional de la concentración de los metales pesado.

De acuerdo a la variabilidad ambiental que presenta el golfo de Cariaco y su influencia en las zonas litorales, se plantea como hipótesis que las concentraciones de metales pesados de la fauna bentónica de la ensenada de Carenero muestran cambios temporales. Para responder a esta hipótesis se propuso como objetivo general evaluar la variación espacio temporal de la fauna bentónica y las concentraciones de metales pesados superficiales en la ensenada de Carenero, golfo de Cariaco, estado Sucre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ensenada de Carenero está ubicada (10° 26' 34" N y 64° 02' 26" O) en la costa oriental de Venezuela y constituye una de las dos ensenadas que se encuentran en la costa sur del golfo de Cariaco (Figura 1). El área de estudio representa un tipo de paisaje costero caracterizado por su heterogeneidad constituida, por la sinuosidad de la línea de costa vinculada a los procesos erosivos, sedimentarios y de transporte y está sujeta a los agentes geodinámicos externos

Recolección y almacenamiento de las muestras: Los muestreos se realizaron en abril y en noviembre de 2014. Se colectaron las muestras biológicas en las estaciones que bordean la ensenada (1, 2, 3, 4, 7 y 8) empleando un nucleador de un área de 0,018 m², dicho núcleo fue introducido 5 veces en cada estación. En el laboratorio, antes de proceder a la identificación de los organismos, se limpiaron de epífitos y posteriormente se identificaron hasta la categoría de especie con la ayuda de un microscopio estereoscópico y el uso de claves taxonómicas propias para cada grupo encontrado.

Se determinaron los metales pesados Fe, Zn, Pb, Mn, Cd y Cu fueron determinados en los organismos de la fauna bentónica. En el análisis se seleccionaron las especies más abundante y frecuentes entre las estaciones durante los dos períodos de estudio, lluvia y sequía. Estas especies fueron: *Lytechinus variegatus* la cual estuvo presente en las estaciones 1, 2, 4 y 8; *Echinometra lucunter* y *Chione cancellata* en las estaciones 1 y 4; *Phrontis albus* y *Lampanella minima* en las estaciones 3 y 7. Previamente a cada organismo fue registrado el peso y su talla. Para el tratamiento analítico se siguió

la metodología descrita por CASTRO & VALDÉS (2011). Para la cuantificación de metales, se escogió metodología pautada por Rojas *et al.* (2005).

Procesamiento y análisis de datos: Para relacionar la concentración del metal obtenida en los organismos de las distintas especies con la obtenida en el sedimento, se empleó el factor de bioacumulación (BCF). El cual, se calculó mediante ecuación, teniendo en cuenta que la toxicidad de estos metales para los organismos bentónicos depende de la disponibilidad de ellos en el medio y de la capacidad de los organismos para asimilar metales directamente de la ingesta de partículas de sedimento (CASTRO & VALDÉS (2011):

$$BCF = C_{biota} / C_{Sedimento} \cdot$$

La concentración (C) en la biota correspondió al promedio de cada metal en todos los organismos de cada especie analizados las estaciones de estudio.

RESULTADOS

Las especies de la macrofauna bentónica más abundantes y frecuentes en las estaciones de estudio durante los dos períodos (lluvia y sequía) fueron: *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *Phrontis albus* y *Lampanella minima*. Estas especies fueron por tanto, seleccionadas para determinar las concentraciones de metales pesado presente en sus organismos. *L. variegatus* estuvo presente en las estaciones 1, 2, 4 y 8; *Chione cancellata* se colectó en las estaciones 1 y 4; *Phrontis albus* y *Lampanella minima* fueron identificadas en las estaciones 3 y 7. En la tabla 1, se muestran las tallas y pesos promedios registrados en los organismos de las especies seleccionadas y los metales evaluados fueron: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Cadmio (Cd) y Cobre (Cu).

Tabla 1. Especies de la macrofauna bentónica colectadas en la ensenada de Carenero para la determinación de metales pesados. Se incluye talla promedio de los ejemplares utilizados en los análisis para este estudio.

Especie	Talla Promedio ± Ds (mm)	Peso Promedio ± Ds (g)
<i>Lytechinus variegatus</i>	49,23 ± 5,75	28,05 ± 9,35
<i>Echinometra lucunter</i>	32,01 ± 6,84	13,33 ± 7,20
<i>Chione cancellata</i>	24,50 ± 0,34	5,37 ± 2,09
<i>Phrontis albus</i>	1,97 ± 0,39	0,78 ± 0,16
<i>Lampanella minima</i>	1,81 ± 0,42	0,55 ± 0,11

Echinometra lucunter y *Lytechinus variegatus*, talla=diámetro

De los metales determinados (Fe, Zn, Pb, Mn, Cd y Cu) en los organismos de *Lytechinus variegatus* durante la época de sequía sólo se apreciaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en Cd y

Cu, tal como se muestra en la Tabla 2. Las concentraciones de cadmio en dicha época sólo fueron detectadas en los organismos de colectados en la estación 1 ($12,57 \pm 2,02 \text{ mg.kg}^{-1}$). Durante el período de lluvia (Tabla 2), sólo se detectaron diferencias significativas estadísticas en el Cd, específicamente en las estaciones 1 y 8; los mayores niveles se registraron en los organismos presentes en la estación 8 ($18,54 \text{ mg kg}^{-1}$). Por otro lado, con el Cu, para la época de sequía, los organismos de *L. variegatus* que presentaron mayor concentración de este metal estuvieron presentes en la estación 8 ($8,36 \pm 0,54 \text{ mg.kg}^{-1}$), en orden decreciente, seguido por las estaciones 2 ($6,15 \pm 1,35 \text{ mg.kg}^{-1}$), 4 ($4,66 \pm 0,11 \text{ mg.kg}^{-1}$) y 1, siendo esta última la que presentó menor acumulación del metal.

Las concentraciones de Fe, Cd, Cu y Mn en los organismos de *Chione cancellata*, presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$), en la época de sequía. Estos organismos fueron colectados en las estaciones 1 y 4 en los dos períodos de estudio. En el período de sequía, no se detectó la presencia de Pb en dichos organismos (Tabla 3). Los organismos de *C. cancellata* colectados en la estación 4 fueron los que presentaron mayores concentraciones de Fe ($66,38 \text{ mg kg}^{-1}$), Zn ($11,53 \text{ mg kg}^{-1}$) y Cd ($15,36 \text{ mg kg}^{-1}$), mientras que, para Cu y Mn, las mayores concentraciones se detectaron en los organismos colectados en la estación 1 ($5,99 \text{ mg kg}^{-1}$ y $5,24 \text{ mg kg}^{-1}$). Por otro lado, en el período de lluvia (Tabla 3), se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en las concentraciones de todos los metales determinados en esta especie, a excepción del Zn, el cual presentó valores homogéneos ($P > 0,05$). Las mayores concentraciones de Fe, Zn y Cd registradas en los organismos de *C. cancellata* se detectaron en los individuos presentes en la estación 4 y las mayores concentraciones de Pb, Cu y Mn en los individuos presentes en la estación 1.

Tabla 2. Concentración (mg.kg^{-1}) de los metales pesados en *Lytechinus variegatus* en la ensenada de Carenero, durante la época de sequía (s) y lluvia (ll).

Metal		Estación				Referencia
		1	2	4	8	
Fe	s	$64,55 \pm 4,36$	$54,42 \pm 10,26$	$37,21 \pm 15,67$	$44,41 \pm 9,91$	* >
	ll	$49,96 \pm 8,12$	$49,18 \pm 11,13$	$41,97 \pm 19,82$	$56,88 \pm 15,58$	* >
Zn	s	$10,24 \pm 1,68$	$15,08 \pm 4,42$	$13,89 \pm 2,16$	$17,60 \pm 8,83$	* >
	ll	$16,13 \pm 9,18$	$21,98 \pm 12,70$	$23,49 \pm 10,95$	$9,66 \pm 1,77$	* >
Pb	s	$7,82 \pm 1,79$	$5,63 \pm 1,67$	$3,49 \pm 0,83$	$4,78 \pm 3,74$	* >
	ll	$7,002 \pm 2,60$	$5,81 \pm 1,03$	$5,72 \pm 0,42$	$6,52 \pm 1,37$	* >
Cd	s	$12,57 \pm 2,02$	Nd	Nd	Nd	* >
	ll	$13,85 \pm 1,90$	Nd	Nd	$18,54 \pm 0,98$	* >
Cu	s	$3,33 \pm 0,42$	$6,15 \pm 1,35$	$4,66 \pm 0,11$	$8,36 \pm 0,54$	* >
	ll	$3,53 \pm 2,12$	$7,89 \pm 0,32$	$2,71 \pm 0,45$	$1,28 \pm 0,21$	* >
Mn	s	$5,10 \pm 0,58$	$5,70 \pm 0,75$	$5,43 \pm 0,10$	$5,03 \pm 0,5$	* >
	ll	$4,73 \pm 0,59$	$2,86 \pm 0,34$	$5,88 \pm 0,32$	$5,89 \pm 0,23$	* >

Referencia con rangos permisibles de acuerdo a FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (1983); FDA: Food and Drugs Administration (1997); BFL: Brazilian Federal Legislation (1975). *: Las concentraciones, son mayores a los rangos permitidos (>).

En *Echinometra lucunter*, (Tabla 4) durante la época de sequía, las concentraciones de metales pesados presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en Fe, Pb, Cd, Cu y Mn (Tabla 4). Las mayores concentraciones de Pb (2,58 mg kg⁻¹), Cd (15,53 mg kg⁻¹), Cu (1,92 mg kg⁻¹) y Mn (15,62 mg kg⁻¹) se registraron en los individuos presentes en la estación 1. Solamente en Hierro, las mayores concentraciones (37,41 mg kg⁻¹) se registraron en los organismos de *E. lucunter* en la estación 4. En el período de lluvia, se detectaron diferencias estadísticas en Zn, Pb, Cd y Mn. Las mayores concentraciones de Cd (10,63 mg kg⁻¹) y Cu (1,74 mg kg⁻¹) fueron registradas en los individuos presentes en la estación 1. Las mayores concentraciones de Zn (7,46 mg kg⁻¹), Pb (2,23 mg kg⁻¹) y Mn (4,09 mg kg⁻¹), fueron detectadas en la estación 1.

Tabla 3. Concentración (mg.kg⁻¹) de los metales pesados en *Chione cancellata* en la ensenada de Carenero, durante la época de sequía (s) y lluvia (ll).

Metal		1	4	Referencia
Fe	s	46,13 ± 1,03	66,38 ± 5,57	* >
	ll	57,08 ± 1,45	69,05 ± 0,18	* >
Zn	s	11,57 ± 1,56	11,53 ± 1,93	* >
	ll	10,17 ± 1,47	10,43 ± 2,56	* >
Pb	s	Nd	Nd	* >
	ll	4,36 ± 0,54	0,97 ± 0,07	* >
Cd	s	Nd	15,36 ± 0,30	* >
	ll	Nd	13,21 ± 0,88	* >
Cu	s	5,99 ± 0,02	1,56 ± 0,12	* >
	ll	5,39 ± 0,40	1,78 ± 0,24	* >
Mn	s	5,24 ± 0,07	3,96 ± 0,25	* >
	ll	5,24 ± 0,09	3,18 ± 0,05	

Referencia con rangos permisibles de acuerdo a FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (1983); FDA: Food and Drugs Administration (1997); BFL: Brazilian Federal Legislation (1975). *: las concentraciones, son mayores a los rangos permitidos (>).

Tabla 4. Concentración (mg.kg⁻¹) de los metales pesados en *Echinoemtra lucunter* en la ensenada de Carenero, durante la época de sequía (s) y lluvia (ll).

Metal		1	4	Referencia
Fe	s	4,26 ± 2,06	37,41 ± 2,08	* >
	ll	63,71 ± 5,43	59,27 ± 0,97	* >
Zn	s	7,85 ± 0,70	6,78 ± 0,71	* >
	ll	4,59 ± 0,32	7,46 ± 0,37	* >
Pb	s	2,58 ± 0,40	Nd	* >
	ll	2,23 ± 0,26	Nd	* >
Cd	s	15,53 ± 0,47	6,13 ± 0,11	* >
	ll	10,63 ± 0,31	7,76 ± 0,20	* >
Cu	s	1,92 ± 0,03	1,69 ± 0,02	* >
	ll	1,74 ± 0,13	1,65 ± 0,14	* >
Mn	s	15,52 ± 0,47	6,13 ± 0,11	* >
	ll	4,09 ± 0,18	5,76 ± 0,14	

Referencia con rangos permisibles de acuerdo a FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (1983); FDA: Food and Drugs Administration (1997); BFL: Brazilian Federal Legislation (1975). *: Las concentraciones, son mayores a los rangos permitidos (>).

Los organismos de *Phrontis albus* colectados en las estaciones 3 y 7 presentaron una distribución diferente en la concentración de metales entre el período de sequía y lluvia. Durante el período de lluvia, todos los metales entre los organismos de las dos estaciones, presentaron diferencias significativas ($P<0,05$). Durante sequía se mantuvo el mismo patrón, excepto para Zn y Mn. Los mayores valores de Fe ($50,67 \text{ mg kg}^{-1}$), Pb ($3,71 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($4,46 \text{ mg kg}^{-1}$) y Mn ($8,63 \text{ mg kg}^{-1}$) se detectaron en el período de sequía, en cambio, los mayores valores en los individuos de *P. albus* de Zn ($15,10 \text{ mg kg}^{-1}$) y Cd ($6,14 \text{ mg kg}^{-1}$) se registraron en el período de lluvia.

Para *Lampanella mínima* se apreciaron diferencias significativas ($P<0,05$) en las concentraciones de todos los metales presentes durante las épocas de sequía y lluvia. El Cd no fue detectado en esta especie. En el período de sequía los mayores valores de Cu se observaron en los individuos de la estación 3 ($3,21 \text{ mg kg}^{-1}$), y durante el período de lluvia la concentración más alta fue detectada en los individuos de la estación 7 ($4,67 \text{ mg kg}^{-1}$). En la estación 3 los organismos de *L. minima* presentaron mayores concentraciones en los metales de Fe, Zn, Pb, Cu y Mn en sequía y lluvia, a excepción en esta última época, que la mayor concentración de Cu se detectó en la estación 7.

Por otra parte, los valores del factor de bioacumulación en los organismos de *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *Phrontis albus* y *Lampanella minima* de los siete metales analizados (Figura 1), oscilaron entre 0 a 1,27. De acuerdo al estudio, los promedios más altos de los índices obtenidos se registran con el plomo y el zinc, Como se observa, la mayoría de los valores oscilaron por debajo de los 0,50 en la mayoría de los casos sólo en *Lytechinus variegatus* y *Phrontis albus* sobrepasan este valor específicamente para el plomo.

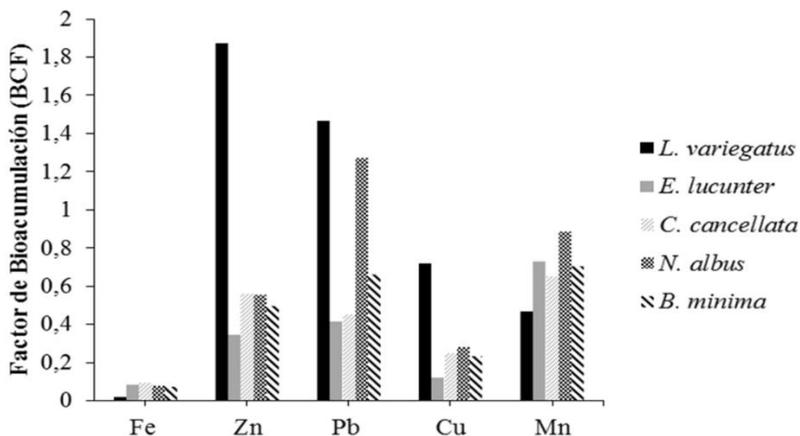


Figura 1. Factor de bioacumulación (FBC) para los organismos bentónicos: *Lytechinus variegatus* (a), *Echinometra lucunter* (b), *Chione cancellata* (c), *Phrontis albus* (d) y *Lampanella minima* (e) de la ensenada de Carenero, golfo de Cariaco.

El Factor de Bioacumulación (BCF) el cual fue variable para cada organismo reflejó que con la concentración de metales determinados en los organismos de las especies de la macrofauna bentónica analizadas (*Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *Phrontis albus* y *Lampanela minima*) los valores fueron inferiores a 1, exceptuándose en *Lytechinus variegatus* y *Phrontis albus* para plomo (BCF= 2,13 y 1,30 respectivamente), lo cual refleja un riesgo potencial de bioacumulación con este metal.

DISCUSIÓN

En Venezuela, existen dos normativas legales estrechamente vinculadas para el monitoreo de los ecosistemas marino – costeros y de los recursos naturales existentes las cuales han sido denominadas: Ley Orgánica del Ambiente y las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de las descargas al medio costero. Ambas leyes, coinciden que los metales pesados no esenciales (Pb, Hg, Cd y Cr) no deben ser detectables principalmente en organismos marinos de interés comerciales, mientras que los esenciales como el Fe, Zn, Ni y Cu constituye metales importantes para procesos metabólicos. Cabe destacar, como lo indicado por SEPÚLVEDA (2009) que las altas exposiciones de dichos metales pueden causar contaminación de especies marinas.

Las concentraciones de metales determinadas en *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Phrontis albus*, *Chione cancellata* y *Lampanela minima*, de acuerdo a las normativas como: FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1983, FDA: Food and Drugs Administration, 1997, BFL: Brazilian Federal Legislation, 1975 (United States Environmental Protection Agency, EPA, 1996), lo cual indica que hay un riesgo potencial de contaminación y por ende bioacumulación de contaminantes en este importante ecosistema del golfo de Cariaco. Es importante resaltar que el grado de toxicidad potencial y biodisponibilidad de un metal pesado presente en un ambiente dado depende de factores ecológicos abióticos y/o bióticos. Las especies analizadas el presente estudio, por lo general en su mayoría durante su proceso de alimentación ingieren el sedimento por lo cual tienden a acumular proporcionalmente los metales adsorbidos a éste. IKEM (2003) señalan que los alimentadores de suspensión de los bentos, dependen de la cantidad de alimento de la columna de agua, siendo importante indicadores del ecosistema del ambiente marino. La toxicidad de estos metales puede ser proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los organismos, por lo que es preocupante la presencia de estas especies con una contaminación moderada (SEPÚLVEDA 2009). En general, los niveles de metales pesados en las distintas especies en estudio pueden tener correspondencia al contenido de xenobióticos metálicos en sedimentos marinos de nuestra región oriental; en los mismos se han observado incrementos considerables en los últimos años, como lo demuestran los trabajos de calidad ambiental llevados a cabo por MARTÍNEZ (2006), MÁRQUEZ *et al.* (2005), MARCANO (2015) y MARTÍNEZ (2016 y 2019). Estos autores revelan concentraciones de algunos metales que superan los valores permisibles.

Las diferentes especies de metales tienen un comportamiento distinto con respecto a su removilización y su biodisponibilidad. De acuerdo a MÁRQUEZ *et al.* (2008), la fracción de metal más móvil es la adsorbida como ion intercambiable, lo que representa un riesgo de contaminación debido a la liberación de metales a las aguas bajo condiciones naturales. El plomo que se encuentra adsorbido en las partículas de sedimento puede ser transferido a la columna de agua por procesos físicos y químicos tales como resuspensión debido a las mareas y corrientes y por cambios en los potenciales de oxidación-reducción debido a la oxidación de la materia orgánica y diagénesis de los sedimentos.

Las concentraciones de metales pesados registradas en el presente estudio reflejan la capacidad bioacumulativa de los organismos de las especies evaluadas: *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Phrontis albus*, *Chione cancellata*, *Lampanella minima*. A pesar de que la mayoría de los metales determinados en el sedimento no presentaron valores por encima a los permisibles, a excepción del Cadmio y el Cobre (fracción biodisponible), los organismos bioacumularon cantidades de metales que sobrepasaban los límites máximos permisibles de acuerdo a la FAO, FDA, y EPA. Es de resaltar que a pesar de sobrepasar estos rangos establecidos, los valores de estos organismos no presentan concentraciones características de zonas altamente contaminadas. En los resultados, se observó también, diferente capacidad de bioacumulación entre cada metal. En este proceso se cumple un patrón diferencial de la acumulación del metal en los organismos: la biodisponibilidad de los metales es diferente, los elementos esenciales poseen un patrón de acumulación distinto que los otros metales y la concentración de metales pueden ser baja en el sedimento para ser incluida en el compartimento biológico.

El grado de bioacumulación de metales depende de la cantidad total, la biodisponibilidad de cada metal en el medio ambiente y la ruta de mecanismos de captación, almacenamiento y excreción. Los organismos vivos expuestos naturalmente a altas concentraciones de metales siguen varios mecanismos para contrarrestar la potencial toxicidad. Para desintoxicar los metales, reducen su consumo alimenticio, aumentan su excreción; además, los metales pesados pueden ser secuestrados a través de proteínas con unión a metales, como metalotioneínas, en vesículas celulares y gránulos. Organismos pertenecientes a la clase Echinoidea, poseen la capacidad de bioacumular y sobrevivir a altas concentraciones de metales pesados presentes en el hábitat donde se desarrollan, como por ejemplo *Paracentrotus lividus*, *Lytechinus variegatus*, *Echinometra mathaei* dichos autores reportan la capacidad y las estrategias fisiológicas para sobrevivir en zonas con presencia de concentraciones de metales pesados originados por aportes antropogénicos.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de metales determinadas en *Lytechinus variegatus*, *Echinometra lucunter*, *Chione cancellata*, *P. albus* y *L. minima* sobrepasan los rangos permisibles en ambos períodos de

estudios, reflejándose un estado de contaminación ecológica por la bioacumulación y la posible biomagnificación a redes tróficas superiores.

El Factor de Bioacumulación (BCF) posee valores inferiores a 1, exceptuándose en *Lytechinus variegatus* y *Nassarius albus* para el plomo, lo cual refleja un riesgo potencial de bioacumulación por este metal.

REFERENCIAS

- BONILLA, J., S. ARANDA, C. RAMÍREZ, J. MOYA & L. ESPINOSA. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la ensenada Grande del Obispo, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 42: 3-27.
- CASTRO, G. & J. VALDÉS. 2012. Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(2): 267-281.
- FERRAZ-REYES E, & FERNÁNDEZ, E. 1990. Ciclo anual de las bacterias heterótrofas planctónicas y del fitoplancton del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, Oriente 29 (1&2): 43-56.
- FERRAZ-REYES E. 1987. Productividad primaria del Golfo de Cariaco Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 26: 97-110.
- HURTADO, R. 2015. Geoquímica de los sedimentos superficiales del golfo de Cariaco. Tesis de Magister Scientiarium en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. 110 pp.
- IKEM, A., O. EGIEBOR & K. NYAVOR. (2003). Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA. *Water Air Soil Pollution*, 149: 51-75.
- MARCANO, L. 2015. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la Ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela. Tesis de Grado. Departamento de Química. Universidad de Oriente. 42 pp.
- MÁRQUEZ, A., J. BONILLA, G. MARTÍNEZ, W. SENIOR. D. AGUILERA & Á. GONZÁLEZ. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 44 (2): 89-103.

- MARTÍNEZ, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 41 (1&2): 83-96.
- MARTÍNEZ, G. 2016. Estudio geoquímico y ambiental de los sedimentos del golfo de Cariaco, Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Ciencias de la Tierra. Postgrado en Geoquímica. 41 pp.
- MARTÍNEZ, G. 2019. *Calidad ambiental de los sedimentos recientes del Golfo de Cariaco. Estudio geoquímico ambiental*. Editorial Académica Española. Mauricius. 209 pp.
- MARTÍNEZ, G., W. SENIOR & A. MÁRQUEZ. 2005. Distribución y especiación de metales pesados en el material en suspensión de las aguas superficiales de la pluma del Río Manzanares, edo. Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 44 (2): 75-87.
- OKUDA, T. & R. GÓMEZ. 1964. Distribución del carbono y nitrógeno orgánico de los sedimentos en la región nororiental de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 3: 91-105.
- OKUDA, T., J. BENITEZ-ALVAREZ, J. BONILLA & G. CEDEÑO. 1978. Características hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 17: 69-88.
- QUINTERO, A., G. TEREJOVA, & J. BONILLA. 2005. Morfología costera del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 44: 133-143.
- RIERA R., J. NUÑEZ, M. BRITO & F. TUYA. 2012. Differences in diversity, structure, and variability between intertidal and subtidal meiofaunal assemblages. *Ciencias Marinas*, 38: 677- 693.
- SEPÚLVEDA, G. 2009. Estudio biogeoquímico del embalse suata de acuerdo al contenido de metales pesados en sus sedimentos, aguas y peces. Trabajo de Grado. Licenciatura en Química. Universidad Central de Venezuela. 36 pp.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1996. Method 3052, Microwave Assisted Acid Digestion of silicious and organically based matrices. *Aquatic Biosystem* 2013; 9: 15. Published online 2013 Aug 11.



Marcadores de estrés oxidativo e índices moleculares (ARN: ADN y Proteína: ADN) en *Donax denticulatus* (Linné, 1758) colectado en zonas impactadas post-derrame petrolero

Markers of oxidative stress and molecular indices (ARN: ADN y Protein: ADN) in *Donax denticulatus* (Linné, 1758) collected in impacted areas post-oil spill

Edgar Zapata-Vívenes, Nataly Ruiz-Brito

Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela.

 Edgar Zapata-Vívenes () E-mail: ezapatavivenes@gmail.com

RESUMEN | Se evaluó el estado de salud ambiental de localidades costeras impactadas por un derrame de Fuel Oil N°6, a través del sistema de defensa antioxidante, usando como organismo sensor a la coquina del caribe *Donax denticulatus*. Los organismos fueron colectados en costas del nororiente de Venezuela (Chacopata, Rfo Caribe) y Cumaná (como localidad control) después de un mes (mayo 2017) y un año (abril-2018) del episodio. Adicionalmente, se usaron como referencia de toxicidad sedimentos contaminados con una fracción acuosa de lubricante usado de motores de vehículos-FALUMV (8 g/Kg) y otro mezclado con cadmio (1 µg/g) durante 7 días. Tanto los organismos colectados *in situ* como los expuestos a sustancias de referencia tóxica se les determinaron las actividades de las enzimas catalasa (CAT) y glutatión-S-transferasa (GST), lipoperoxidación (TBARS) y niveles de grupos sulfhidrilos (-SH) totales como marcadores de estrés oxidativo. Las actividades de CAT y GST no mostraron diferencias entre localidades, pero sí existieron diferencias en contraste a los organismos expuestos a las referencias. Los niveles de TBARS muestran los mayores promedios en los organismos colectados en Chacopata-2017, aunque no se presentaron variaciones significativas con respecto a la zona control. Los índices ARN:ADN y PT:ADN se observaron incrementados en mayo 2018. Los resultados no mostraron cambios en la fisiología oxidativa en *D. denticulatus* como se demostró en los ensayos de toxicidad subletal, sin embargo, en los promedios de coeficientes moleculares de condición revelaron ajustes bioquímicos en el crecimiento de los organismos colectados en todas las localidades. Los biomarcadores de estrés oxidativo e índices moleculares no mostraron señales de alerta post-derrame petrolero, ubicándose las zonas evaluadas en la categoría de “recuperadas”.

Palabras clave: Antioxidante, bivalvos, chipi-chipi, enzimas, hidrocarburos, tioles.

ABSTRACT | The assessment of environmental health status in coastal ecosystems affected by a Fuel Oil No. 6 spill, was realized through of antioxidant defense system using Caribbean coquina *Donax denticulatus* as centinela organism. The organisms were collected to one month and year post-petroleum spill. Additionally, we carried out a toxicity bioassay which water soluble fraction of vehicle used crankcase oils (8 g/Kg) and cadmium (1 µg/g) used as referential substances. Catalasa (CAT) and glutathione-S-transferase (GST), lipoperoxidation (TBARS) and total thiols (-SH) both organisms collected *in situ* and

exposed to referential substances were estimated. CAT and GST activities not showed differences among localities, but there is with toxicological referential compounds. TBARS concentrations was major in Chacopata-2017 organisms, without differences in comparison to control. RNA: DNA and PT: DNA indices were observed increased in May-2018. These results did not show changes in the oxidative physiology in *D. denticulatus* as demonstrated in the sublethal toxicity tests, however, in the averages of molecular coefficients of condition, they revealed biochemical adjustments in the growth of the organisms collected in all collect sites. Oxidative stress biomarkers and molecular indices did not show warning signs after the oil spill, placing to the evaluated areas in the “recovered category”.

Key words: Antioxidant, bivalve, chipi-chipi, enzymes, hydrocarbons, thiols.

INTRODUCCIÓN

Las costas del nororiente venezolano fueron tocadas por un derrame de más de 700 mil barriles de petróleo pesado tipo Fuel Oil No. 6, en abril de 2017, el cual tuvo como origen el bunker # 70 de la refinería de “Pointe a Pierre” (PETROTRIN, Trinidad y Tobago). Los parches de hidrocarburos fueron transportados por las corrientes marinas hasta las penínsulas de Paria y Araya, Islas de Margarita y Coche, y el archipiélago de Los Roques en Venezuela (Gutiérrez, 2017).

Los contaminantes provenientes de Fuel Oil N°6 pueden ser absorbidos por los organismos marinos, y su posterior biotransformación vía ciclo redox, puede sobrellevar a una producción exacerbada de especies reactivas del oxígeno (ERO) (Nusetti *et al.*, 2004), cuya naturaleza provoca daños a macromoléculas de importancia biológica. Frente a esto, el sistema de defensa antioxidante, tales como glutatión, proteínas ricas en cisteína y enzimas tales como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx) y glutatión reductasa (GR), protege a las células de la acción perjudicial de ERO (Hermes-Lima, 2001). Además, existe un particular interés en la determinación de la actividad de la enzima glutatión-S-transferasa (GST), la cual que cataliza reacciones de conjugación con glutatión en la fase II de la transformación de xenobióticos (Manduzio *et al.*, 2004).

Las respuestas moleculares (biomarcadores) permiten revelar cambios significativos sobre la salud de los organismos, y por ende inferir algunos cambios en el ecosistema (Valavanidis *et al.*, 2006; Sureda *et al.*, 2011). En Venezuela, las evaluaciones de zonas costeras aplicando biomarcadores en organismos colectados *in situ* son de reciente data (Zapata-Vívenes *et al.* 2012). En investigaciones anteriores muestran a *Donax denticulatus* como una especie sensor de contaminación para ensayos de exposición a metales pesados (Antón *et al.*, 2008), formulaciones de petróleos pesados (De Mahieu *et al.*, 1980) y en su hábitat natural (Verdelamar y Olivero, 2018).

En tal contexto, esta investigación utilizó a *D. denticulatus* para evaluar la calidad ambiental de distintas zonas costeras del estado Sucre (Chacopata y Río Caribe), en contraste a un área referencial

(Cumaná) y organismos expuestos a contaminantes, a través de la estimación de biomarcadores de estrés oxidativo, en zonas potencialmente impactadas por un puntual derrame de petróleo.

MATERIALES Y METODOS

Organismos y sitios de colectas

Fueron colectados de 100 a 150 ejemplares de *D. denticulatus* (1,5 a 3 cm), por socavación del sedimento, en *Playa Brava* (Península de Araya) y *Playa de pescadores* de Río Caribe (Península de Paria); ambas zonas implicadas en el arribamiento de parches de petróleo. Del mismo modo se colectaron ejemplares en la *playa de San Luis*-sector Los Uveros, ubicada en la costa occidental de Cumaná. Esta última localidad fue considerada como “no impactada”. Las colectas de los organismos fueron realizadas durante mayo 2017, a un mes post-derrame, y Abril 2018, a un año post-derrame. Adicionalmente, un grupo de aproximadamente 100 organismos colectados en la localidad de Cumaná fueron aclimatados bajo condiciones controladas de laboratorio (1:5 L de agua de mar filtrada, aireación, $22 \pm 2^\circ\text{C}$, pH 8,1 y salinidad de 35, en como sustrato arena de playa), durante 2 semanas. Estos organismos fueron usados para realizar los ensayos de exposición subletal.

Bioensayo de exposición

Se realizaron dos bioensayos de toxicidad referencial durante 7 días de exposición, usando como modelo organismos anteriormente aclimatados. En el primero se utilizó una mezcla de sedimentos contaminados con una mezcla de fracciones acuosa de lubricantes usados de motores de vehículos (FALUMV 8g/Kg), partiendo de una solución madre de 40 g/l, para comparar las variables: actividad enzimática de la catalasa, glutatión-S- transferasa y lipoperoxidación. El segundo estuvo compuesto por una mezcla de cadmio y sedimento (1 mg Cd/Kg), para contrastar los niveles de grupos tioles totales (-SH).

Enzimas Antioxidantes. Se utilizó el protocolo propuesto por Nusetti *et al.* (2004), con ciertos ajustes en las concentraciones de los sustratos enzimáticos. La actividad de CAT se determinó por el descenso de la concentración del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a una longitud de onda de 240 nm. La enzima GST (EC 2.5.1.18) se determinó siguiendo el ascenso en la concentración del complejo formado por el glutatión reducido (GSH) y 1-cloro-2,4-dinitrobenzenu (CDNB), a una longitud de onda de 340 nm (Coeficiente de Extinción= 9,6 l/mmol.cm). Las actividades enzimáticas de CAT y GST fueron estimadas en un espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS Lambda 2S, bajo condiciones de temperatura controlada a $26^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Peroxidación lipídica. Fue estimada mediante el protocolo propuesto por Ohkawa *et al.* (1979). Las absorbancias de las muestras fueron leídas a una longitud de onda de 535 nm. La concentración de las sustancias que reaccionan al ácido tiobarbitúrico (TBARS) se contrastaron con una curva de calibración donde se usó como estándar al compuesto 1,1,3,3-tetraetoxipropano.

Tioles totales (-SH). Los niveles de grupos sulfhidrilos fueron evaluados por el reactivo de (Ellman, 1958) Tris-HCl pH 8,9 y ácido 5,5'-ditiobis-2-nitrobenzoico (DTNB) utilizado para cuantificar la cantidad o concentración de grupos tiol en una muestra. Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro UV-VIS a 412 nm. Se usó glutatión reducido (GSH) 3mmol/L como sustancia de referencia.

Análisis Estadísticos

Las distintas respuestas bioquímicas fueron comparadas con un análisis de varianza de una vía (Sokal y Rohlf, 1981), de manera independiente, sin tomar como factor los periodos de colecta. Se realizaron previamente pruebas de normalidad de los datos y homogeneidad de las varianzas.

RESULTADOS

Las actividades de CAT resultaron similares en organismos colectados en las distintas localidades durante mayo 2017 y mayo 2018. Los promedios de CAT oscilaron en Cumaná (8,47-9,50 U/g), Chacopata (5,12-6,66 U CAT/g) y Río Caribe (10,35-11,08 U CAT/g) (Figura 1a). Todos los grupos de organismos colectados en las distintas localidades mostraron diferencias significativas con respecto al ensayo referencial (FALUMV) ($F_s=14,01$; $p<0,001$). Los promedios en la actividad de GST no presentaron diferencias en los distintos grupos de organismos colectados durante mayo 2017 y mayo 2018 (Figura 1b), oscilando entre 95,00-109,43 mU/g para Cumaná, 87,11-111,54 mU/g para Chacopata y 101,38-117,62 mU/g m.h para Río Caribe. Sin embargo, mostraron diferencias significativas con respecto al ensayo referencial con FALUMV ($F_s=8,06$; $p<0,001$).

Los niveles de TBARS en *D. denticulatus* colectados en distintas localidades costeras del estado Sucre durante mayo 2017 y mayo 2018 con respecto a los organismos expuestos a FALUMV mostraron variaciones significativas ($F_s=5,43$; $p<0,001$). Los mayores promedios, con respecto a la zona control, fueron encontrados en los organismos colectados en playa Brava-2017 (153,90 nmoles TBARS/g), en relación a los organismos expuestos a la referencia tóxica (205,45 nmoles TBARS/g). No obstante, para los organismos colectados en esta misma zona en 2018, se observaron promedios similares con los colectados en la zona control (Figura 1c). Los niveles de -SH no mostraron variaciones estadísticas entre los organismos colectados entre localidades, pero sí en contraste a los organismos expuestos a la referencia tóxica ($F_s=10,35$; $p<0,001$). Los promedios de -SH oscilaron entre 10,07-10,40 mmol/g para la localidad de Cumaná, 9,40-10,58 mmol/g para Chacopata y 8,04-9,40 para Río Caribe (Figura 1d).

El incremento de tioles fue evidente en presencia de cadmio (referencia). El contenido de ADN y ARN mostraron variaciones entre grupos de colecta. Las concentraciones de ADN fueron mayores en los organismos colectados en Chacopata-2017 y Río Caribe-2017. Los niveles de ARN se mostraron mayor a 4 $\mu\text{g/g}$ en los organismos colectados en los distintos ecosistemas, contrariamente a la referencia tóxica ($<3 \mu\text{g/g}$). Los niveles de proteínas totales no presentaron diferencias significativas en los organismos.

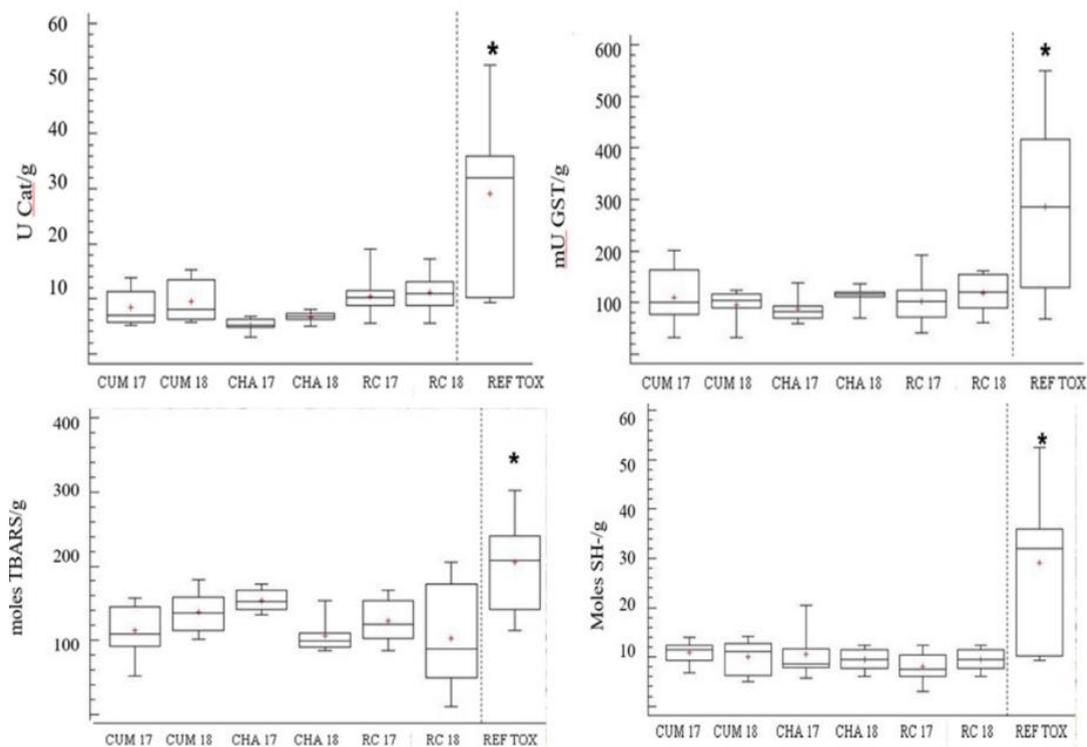


Figura 1. Actividad específica de CAT (a), GST (b), niveles de TBARS (c) y -SH (d) en el tejido blando de *D. denticulatus* colectada en distintas localidades costeras del estado Sucre durante mayo 2017 y mayo 2018. El asterisco (*) muestra diferencias significativas $<0,05$. Leyenda: CUM=Cumaná; CHA=Chacopata; RC=Río Caribe; REF TOX= Referencia Tóxica.

Los cocientes PT: ADN mostraron sus menores valores en los organismos colectados Chacopata-2017 y -2018, y Cumaná 2017. La mayoría de los promedios superaron al de la referencia toxica. Los contrastes entre la concentración de PT/ADN entre localidades se muestran en la tabla 5. Los ejemplares

colectados oscilaron sus promedios en las localidades de Cumaná 2017-2018 (304,93-663,33; respectivamente), Chacopata 2017-2018 (93,88-580,12 respectivamente) y Río Caribe 2017-2018 (111,18-419,69; respectivamente)

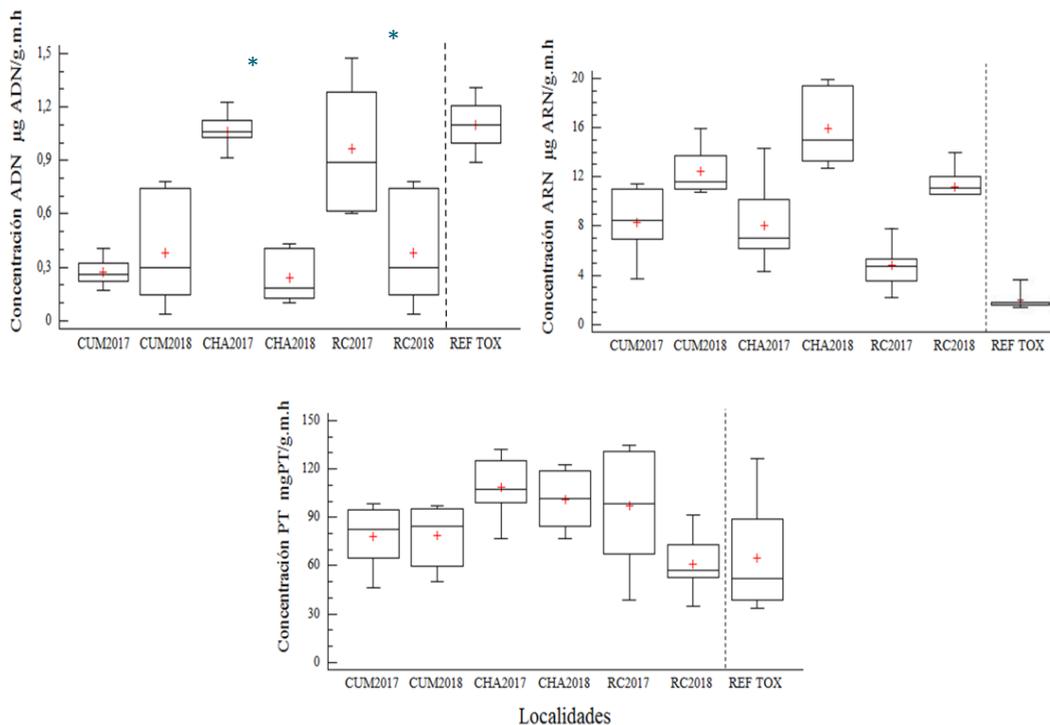


Figura 2. Concentración de ARN, ADN y PT en el tejido blando de *D. denticulatus* colectada en distintas localidades costeras del estado Sucre durante mayo 2017 y Mayo 2018. El asterisco (*) muestra diferencias significativas <0,05. Leyenda: CUM=Cumaná; CHA=Chacopata; RC=Río Caribe; REF TOX= Referencia Tóxica (Cd).

Los coeficiente ARN:ADN mostraron variaciones entre los organismos colectados en las distintas localidades ($F_s=8,43$; $p<0,001$), observándose los mayores promedios en los organismos colectados en mayo 2018 con respecto a mayo 2017, inclusive en relación a los expuestos a la referencia tóxica (Figura. 3). Los contrastes entre la concentración de ARN:ADN entre localidades se muestran en la tabla 4. Los ejemplares colectados oscilaron sus promedios en las localidades de Cumaná 2017-2018 (3,89-5,20, respectivamente), Chacopata 2017-2018 (0,86-10,83 respectivamente) y Río Caribe 2017-2018 (0,62-4,13, respectivamente).

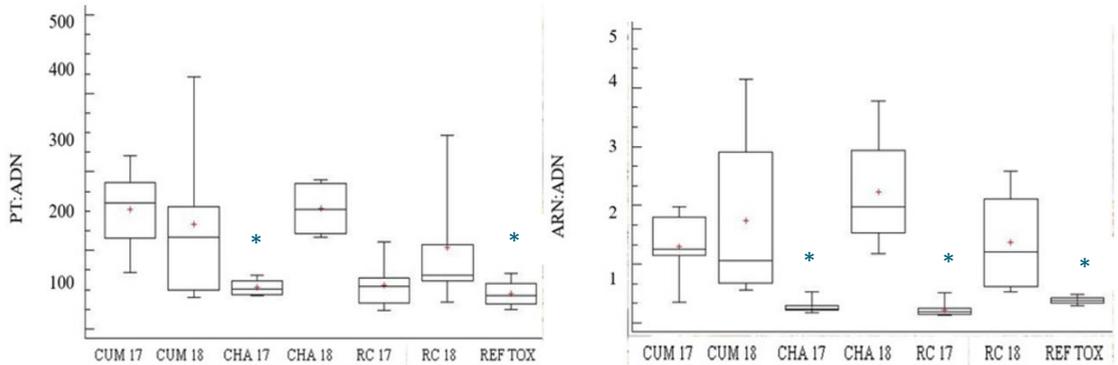


Figura 3. Concentración de PT:ADN y ARN:ADN en el tejido blando de *D. denticulatus* colectada en distintas localidades costeras del estado Sucre durante mayo 2017 y Mayo 2018. El asterisco (*) muestra diferencias significativas $<0,05$. Leyenda: CUM=Cumaná; CHA=Chacopata; RC=Río Caribe; REF TOX= Referencia Tóxica (Cd).

DISCUSIÓN

El estado de la salud ambiental de las localidades de Chacopata y Río Caribe, después del arribamiento de petróleo a sus costas, fue evaluado en términos de parámetros bioquímicos usando a *D. denticulatus* como organismo centinela. Los resultados de esta investigación no evidenciaron cambios en el estatus antioxidante en los organismos colectados y una recuperación de la condición de los animales posterior a un año del episodio de derrame. Las actividades de CAT y GST demuestran que posiblemente los organismos no fueron afectados por la mezcla de xenobióticos hidrosolubles del petróleo. Es bien conocido que estas dos enzimas forman parte de las respuestas bioquímicas de ajustes que controlan de la toxicidad de radicales libres producidos por metabolismo de hidrocarburos y metales pesados, y desintoxicación de los mismos (Zenteno-Savinet *et al.*, 2018). El incremento de GST ha sido un biomarcador constante en organismos expuestos a fuel oil #6 (Nusetti *et al.* 2004). Similares resultados han sido obtenidos en *P. viridis* y *C. scaber* expuestos a lubricantes usados de motores de vehículos (Martínez, 2011; Zapata-Vívenes *et al.*, 2020), *Chlamys farreri* a una fracción acuosa de petróleo (Jian *et al.*, 2015; Pan *et al.*, 2017) y *Anomalocardia flexuosa* expuesto a diesel (Sardi *et al.*, 2016; 2017). Se supone que después de un derrame petrolero, dependiendo su magnitud, muchos de sus componentes pueden quedar biodisponibles en los sedimentos superficiales, la columna de agua o contenida en el fitoplancton; siendo tales xenobióticos fácilmente ingresados a los tejidos blandos de los organismos circundantes (Moganti *et al.*, 2008; Soltani *et al.*, 2012), en especial en los organismos filtradores. Posiblemente la poca solubilidad de fuel oil #6 permitió que el petróleo arribara en porciones compactadas, quedando poco disponible a la biota circundante.

Los niveles de TBARS revelan que no existió daño oxidativo en los organismos, indicando que su metabolismo oxidativo no ha sido alterado por los parches de petróleo. No obstante, la referencia tóxica marca la activación de la producción de ERO y daño oxidativo en organismos expuestos a FALUMV. La mayoría de los xenobióticos, en especial HAP y metales pesados, contenidos en el petróleo poseen capacidad de inducir producción ERO, tales como anión superóxido y radical hidroxilo pueden perturbar la eficiencia antioxidante, lo cual ofrece un preámbulo para alteraciones oxidativas (peroxidación) de las membranas biológicas. Se ha demostrado la inducción del citocromo P₄₅₀ y el contenido de lipoperoxidación (LPO) en los *M. edulis* y *Tapes demidecussata* colectados seis meses después de ocurrido un derrame petrolero de más de 79. 000 toneladas de crudo liviano, en las costas de Galicia (España) (Albaigès *et al.*, 2000). Jena *et al.* (2009) reportaron incrementos en la LPO y actividad de GST en branquias y glándula digestiva en *P. viridis* colectados en áreas de la costa centro-occidental de India con distintos niveles de polución. Resultados similares han sido reportados en *Mytella guyanensis* colectados en zonas contaminadas de la Isla de Santa Catarina (Brasil) (Torres *et al.*, 2002).

Dentro de las respuestas no enzimáticas determinadas se observó que los niveles de -SH no revelaron cambios en los organismos colectados en las tres localidades, pero si en los ensayos de exposición al Cd. Tales resultados demuestran que no hubo activación del sistema de defensa de moléculas ricas en -SH, tales como metalotioneínas y glutatión reducido (GSH), asociados con la captación de los metales pesados contentivos en el petróleo pesado. Se conoce que los metales pesados pueden contribuir al daño oxidativo por aumento de la concentración de ERO y decrece la capacidad antioxidante total (Prakash *et al.*, 2009), donde las moléculas que poseen grupos -SH juegan un papel importante en la captación y desintoxicación de los mismo. Los tioles, contentivos tanto en proteínas como en GSH, son sustancias con potencialidades antioxidantes, las cuales actúan como amortiguadores redox (Kovářová y Svobodová, 2009). GSH es la principal protagonista en la destrucción de intermediarios de ERO, cumpliendo una serie de funciones como mantener el balance redox en las células, protegiéndola del estrés oxidativo (Jaramillo, y Valdivia, 2016). Contrariamente, Jena *et al.* (2009) reportaron disminución de GSH en *P. viridis* colectados en India relacionado con su utilización como cofactor en enzimas relacionadas tales como GST y GPx. Dafre *et al.* (2004) reportaron decrecimiento en el cociente GSH/GSSG en el mejillón marrón *P. perna* como indicador del descenso del estatus antioxidante en presencia de contaminantes.

Los cocientes PT: ADN y ARN: ADN demuestran una recuperación en el orden de su condición fisiológica, cuando se compara los dos periodos de colecta. La capacidad de detener su crecimiento y producción reproductiva puede verse afectada por la presencia de contaminantes en el medio. La implementación de marcadores bioquímicos de estrés oxidativo son herramientas ideales para la detección de posibles áreas afectadas por la polución, demostrando la aplicabilidad de tales biomarcadores en los estudios de impacto ambiental. En esta evaluación ambiental en zonas puntuales

de línea de costa del estado Sucre una recuperación en el estatus fisiológico de *D. denticulatus*, demuestra la salud de los ecosistemas previamente impactos donde esta especie habita.

CONCLUSIONES

La combinación de multiplicidad de marcadores bioquímicos (enzimáticos y no enzimáticos) son herramientas ideales para la detección de posibles áreas afectadas por la polución, demostrando su aplicabilidad en los estudios de impacto ambiental. La similitud en las actividades de CAT y GST, y los niveles de TBARS y grupos –SH, en los *D. denticulatus* colectados en las zonas de arribamiento de petróleo (Chacopata y Río Caribe) no mostraron alteración en el estatus antioxidante, pero si en los índices de condición fisiológica, ubicándose a las zonas evaluadas post-derrame en la categoría de “saludables”.

REFERENCIAS

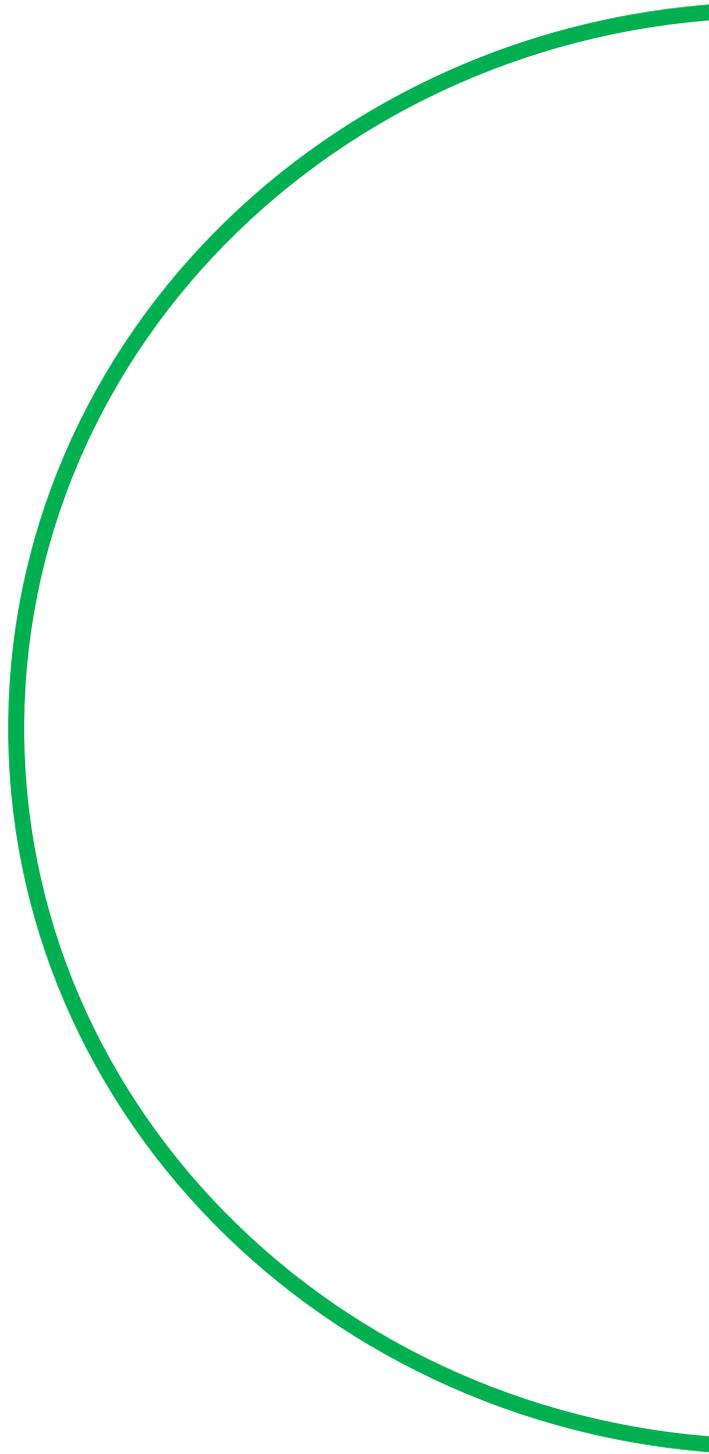
- Albaiges, J.; Porte, C.; Pastor, D.; Biosca, X. & Sole, M. 2000. The integrated use of chemical and biochemical markers for assessing the effects of the Aegean Sea oil spill in the Galicia coast (NW Spain). *Oil and Hydrocarbon Spills II: Modelling, Analysis and Control Oil and Hydrocarbon Spills II*, C.A. Brebbia & G.R. Rodriguez (Editors) © 2000 WIT Press, www.witpress.com, ISBN 1-85312-828-7
- Antón, Y.; Lemus, M. & Chun, K. 2008. Índice ARN: ADN como indicador de la condición fisiológica en ejemplares de *Donax denticulatus* expuestos a dosis subletales de cadmio. *Saber*, 20: 149-154.
- Dafre, A.; Medeiros, I.; Müller, I.C.; Ventura, E.; Bainy, A. 2004. Antioxidant enzymes and thiol/disul.de status in the digestive gland of the brown mussel *Perna perna* exposed to lead and paraquat. *Chemico-Biological Interactions*, 149: 97–105.
- De Mahieu, A.; Mascitti, G. y Jaffe, K. Efecto del petróleo crudo sobre los moluscos comerciales litorales *Donax denticulatus* y *Crassostrea rhizophorae* en Venezuela. 125-139pp.
- Ellman, G. 1958. Colorimetric method for determining low concentrations of mercaptans. *Archives Biochemistry and Biophysics*, 74: 443-450.
- Gutiérrez, J. 2017. “Venezuela: el derrame de petróleo ocurrido en Trinidad y Tobago afecta la Península de Paria”. *Mongabay Latam*. p. 2.
- Hermes-Lima, M.; Storey, J. y Storey, K. 2001. Antioxidant defenses and animal adaptation to oxygen

- availability during environmental stress. En: Storey K.B. y Storey J.M. Protein Adaptations and Signal Transduction. Elsevier Press, Amsterdam. Págs: 263-291.
- Jaramillo, J. y Valdivia, A. 2016. Fundamento de estrés oxidativo. Universidad Autónoma de Aguas Calientes. Primera Edición, México. 142 pp.
- Jena K.; Verlecar X. y Chainy, N. 2009. Application of oxidative stress indices in natural populations of *Perna viridis* as biomarker of environmental pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 107–113.
- Jiang, F.; Zhang L.; Yang B.; Zheng L. y Sun C. 2015. Biomarker responses in the bivalve *Chlamys farreri* to the water-soluble fraction of crude oil. Chinese. *Journal of Oceanology and Limnology*, 33 (4): 853-861.
- Kovářová, J. y Svobodová, Z. 2009. Can thiol compounds be used as biomarkers of aquatic ecosystem contamination by cadmium? *Interdisciplinary Toxicology*, 2 (3): 177–183.
- Manduzio, H.; Monsinjon, T.; Galap, C., Labouleger, F. y Rocher, B. 2004. Seasonal variations in antioxidant defenses in blue mussels *Mytilus edulis* collected from polluted area: major contributions in gill of an inducible isoform of Cu/Zn-superoxide dismutase and glutathione S-transferase. *Aquatic Toxicology*, 70: 83-93.
- Martinez, I. 2011. Estrés oxidativo, metabolismo aeróbico y anaeróbico en *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) pre-expuestos a concentraciones subletales de la fracción hidrosoluble de aceite usados de motores de vehículos. Tesis de postgrado de Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, 76 pp.
- Moganti, S.; Richardson, B.; McClellan, K.; Martin, M.; Lam, P. y Zheng, G. 2008. Use of the clam *Asaphis deflorata* as a potential indicator of organochlorine bioaccumulation in Hong Kong coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 57: 672–680.
- Nusetti, O.; Marcano, L.; Zapata, E.; Escalpés, M.; Nusetti, S. y Lodeiros C. 2004. Respuestas inmunológicas y de enzimas antioxidantes en la ostra perla *Pinctada imbricata* (Mollusca: Pteridae) expuesta a niveles subletales de Fuel Oil N° 6. *Interencias*, 29: 324-328.
- Ohkawa, H.; Ohishi, N. y Yagi K. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95: 351-358.
- Pan, L.; Zhang, M.; Jin Q. y Ji, R. (Eds.).(2017). Multi-biomarker approach in the scallop *Chlamys farreri* to assess PAHs pollution in Qingdao coastal areas of China. *Environmental Science Processes & Impacts*. DOI: 10.1039/c7em00186j

- Prakash, M.; Shetty MS, Tilak P, Anwar N. 2009. Total thiols: biomedical importance and their alteration in various disorders (Review). *The Online Journal of Health and Allied Sciences*, 8 (2): 1-9
- Sardi, A.; Sandrini-Neto, L.; Da S. Pereira, L.; Silva de Assis, H.; Martins, C.; Lana, P. y Camus, L. 2016. Oxidative stress in two tropical species after exposure to diesel oil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 1-10.
- Sardi, A.; Renaud, P.; Morais G.; Martins C.; da Cunha-Lana P. y Camus, L. 2017. Effects of an *in situ* diesel oil spill on oxidative stress in the clam *Anomalocardia flexuosa*. *Environmental Pollution*, 230: 891-901.
- Soltani, N.; Amira, A.; Sifi, K. y Beldi, H. 2012. Environmental monitoring of the Annaba gulf (Algeria): measure of biomarkers in *Donax trunculus* and metallic pollution. *Bulletin of the Society Zoological of France*, 137: 47-56
- Sokal, R. y Rohlf, J. 1981. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. Segunda edición. WH Freeman, New York. 915 pp.
- Sureda, A.; Box, A.; Tejada, S.; Blanco, A.; Caixach, J. y Deudero, S. 2011. Biochemical responses of *Mytilus galloprovincialis* as biomarkers of acute environmental pollution caused by the Don Pedro oil spill (Eivissa Island, Spain). *Aquatic Toxicology*, 101: 540-549.
- Torres MA, Testa CP, Gaspari C, Masutti MB, Panitz CMN, Curi-Pedrosa R, Almeida EA, Di Mascio P, Wilhelm-Filho D. (2002) Oxidative stress in the mussel *Mytella guyanensis* from polluted mangroves on Santa Catarina Island. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9): 923-932. DOI: 10.1016/s0025-326x(02)00142-x.
- Valavanidis, A. y Vlahogianni, T. 2010. Integrated biomarkers in aquatic organisms as a tool for biomonitoring environmental pollution and improved ecological risk assessment. *Science Advances on Environment, Toxicology and Ecotoxicology Issues*, 1: 1-13
- Valdelamar, J. y Olivero, J. 2018. Bioecological aspects and heavy metal contamination of the mollusk *Donax denticulatus* in the Colombian Caribbean coastline. *Bulletin Environmental of Contamination and Toxicology*, 100 (2): 234-239.

- Zapata-Vívenes, E.; Rojas-Astudillo, L.; Sánchez, G. y Barreto, M. 2012. Metales pesados y biomarcadores relacionados en *Perna viridis* (Bivalvia: Mytilidae) colectado en costas del estado Sucre, Venezuela. *Ciencias Marinas*, 38: 517-528.
- Zapata-Vívenes Edgar, Osmar Nusetti, Leida Marcano, Gabriela Sánchez and Helga Guderley. 2020. Antioxidant defenses of flame scallop *Ctenoides scaber* (Born, 1778) exposed to the water-soluble fraction of used vehicle crankcase oils. *Toxicology Reports* 7: 1597–1606
- Zenteno-Savín, T.; Labrada-Martagón, V. y Gaxiola-Robles, R. 2018. En: Bioacumulación y transferencia de metales y contaminantes emergentes a través de las cadenas tróficas marinas. Jaime. M. y Hernández-Almaraz. P. (eds) SANSARA editorial. Pág. 109.





ACUICULTURA

¿Qué tan biosegura es mi granja acuícola? Cómo puede un productor evaluar la bioseguridad en sus instalaciones de acuicultura

Arnaldo Figueredo **600-606**

Holotúrias do litoral de Santa Catarina (Brasil): captura ilegal e potencial para a aquicultura

Guilherme Sabino Rupp, Adriano Weidner Cacciatori Marenzi **607-618**

Algunas aplicaciones de las técnicas nucleares y de química analítica en la acuicultura

Sara Levy, Arnaldo Figueredo, Jean Marval, Andrés Quintero, Carlos Ibarra, José Villamizar **619-656**

Influência do sistema de cultivo nos índices fagocíticos de Jundiá (*Rhamdia quelen*, Quoy & Gaimard, 1824)

Renata Stecca Lunes, André Luiz Veiga Conrado, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva **657-666**

Uso del extracto del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), como anestésico para el manejo de juveniles de peces marinos

Jesús F. Marcano Moreno, Jesús F. León Rojas **667-675**

Evaluación de piensos de valor nutritivo mejorado sobre el rendimiento productivo y metabolismo de la lisa (*Mugil cephalus*)

Isabel Barranco-Ávila, Francisca Purificación Martínez-Antequera, Francisco Javier Moyano, Juan Miguel Mancera, Juan Antonio Martos-Sitcha **676-695**

Ganho de peso de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen* mantidos em diferentes sistemas de criação

André Luiz Veiga Conrado, Renata Stecca Lunes, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva **696-706**

Influencia de la temperatura sobre la tasa de consumo de vitelo y gota de aceite en las larvas de pargo flamenco *Lutjanus guttatus*

María Isabel Abdo-de la Parra, Gustavo Alejandro Rodríguez-Montes de Oca, Luz Estela Rodríguez-Ibarra, José Cristóbal Román-Reyes, Gabriela Velasco-Blanco **707-718**

Abundancia y biomasa de los recursos pesqueros del Golfo de Venezuela después de la eliminación de la pesca industrial de arrastre

Orlando Pomares, Ricardo Molinet, Jorge Jurado **719-739**

Valor nutricional de la harina de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis*) en la alimentación de peces

Fernando Ramón Isea-León, Víctor Hugo Zambrano-Andrade, Rodolfo Patricio Panta-Velez, Jesús Sismal-Gándara, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medrandá, Ana María Santana-Piñeros, Yanis Cruz-Quintana **740-747**

Respuesta fisiológica de la tenca (*Tinca tinca*) a cambios en la salinidad del medio

Amalia Pérez-Jiménez, Eva E. Rufino-Palomares, Milton Webster, Cristina Trenzado-Romero **748-759**

Presencia de *Trichodina* sp. (Ciliophora: Trichodinidae) en cultivos experimentales de pre-larvas y larvas de *Dormitator latifrons*

Byron Manuel Reyes-Mero, Ana María Santana-Piñeros, Yanis Cruz-Quintana, Fernando Isea León y Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda **760-766**

Efectos de la adición del péptido GHRP-6 en la dieta de la dorada (*Sparus aurata*): implicaciones en el rendimiento productivo y metabolismo intermediario

I. Martí, L. Rodríguez-Viera, R. Martínez, J.M. Mancera, J.A. Martos-Sitcha **767-791**

Efecto de la harina de soja en la actividad y expresión de la SOD de tenca

Trenzado, Cristina E., Pérez-Jiménez, Amalia, Guevara-Argueta, Lesly Y., Martínez-Rodríguez, Jonathan R., García-Mesa, Sergio, Pula, Héctor, Rufino-Palomares, Eva E. **792-804**

Infección por *Aeromonas caviae* en chames *Dormitator latifrons* cultivados en Ecuador

Yanis Cruz-Quintana, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Isea León, Leonela G. Muñoz-Chumo, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda, Byron Manuel Reyes-Mero **805-812**

Producción de semilla de almeja babosa (*Venerupis corrugata* Gmelin, 1791), almeja japonesa (*Ruditapes philippinarum* Adams & Reeve, 1850), almeja fina (*Ruditapes decussatus* Linnaeus, 1758) y ostra plana (*Ostrea edulis* Linnaeus, 1758) en una instalación tipo minicriadero con sistemas de preengorde de flujo pasivo en batea y de flujo forzado en tierra.

Lastres M., Andrés M.C., Novoa S., Ojea J., Martínez Patiño D., Barja J.L., Prado S., Montes J., Cid E., Marchena M., Buceta H., Castro Y., Dios L. y González M. **813-825**

Captación de semillas de moluscos bivalvos en sustratos artificiales en Punta de Piedras, Venezuela, entre septiembre 2017 y enero 2018

Jhonathan Emil Bermúdez-Salazar, Emilio Patricio Bermúdez Salazar, Carmen del Valle Cardona Brito, Gertrudis Margalit Mizrahi Fernández, Antonietta Salazar, Lisbeth del Valle Villarroel Butto, Andrea Marval **826-833**

Evaluación de diferentes modelos de cestas en el cultivo final de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador

Katty Maricela Cagua Alcívar, Ileana Pamela Lucas Lucas, Luis Manuel Treviño, Jorge Vélez-Falcones, Alan García Bermúdez, César Lodeiros **834-842**

Adaptación en jaulas de semillas de concha prieta (*Anadara tuberculosa*), producidas en laboratorio a zonas de ecosistema de manglar

Diego Cumbicos Ortega, Heydy González Rojas **843-850**

Distribución, producción y potencialidad del ostión *Crassostrea* spp (Bivalvia: Ostreidae) en Cuba

Abel Betanzos-Vega, José Manuel Mazón-Suástegui, Barbarito Jaime Ceballos, Gustavo Arencibia Carballo **901-908**

Estrategias de reproducción en cautividad de la ortiguilla de mar (*Anemonia sulcata*) para optimizar su reintroducción en el medio natural

Ana Esther Ortiz Maldonado, Amalia Pérez Jiménez, Pedro Antonio Álvarez Molina, Eva Encarnación Rufino Palomares, Carolina Alonso Pozas, Cristina Elena Trenzado Romero **909-919**

Cultivo, in situ, de fragmentos de coral *Mussismilia hartii* en dispositivos impresos en 3D

María Gabriela Moreno Ávila, Amanda Lucena dos Santos, Pedro Vitor Vasconcelos Silva, Ranilson de Souza Bezerra, Rudã Fernandes Brandão Santos **920-932**

Calidad del agua en el centro de acopio de langosta “El Mosquito”, Cuba

Teresita de Jesús Romero López, Gerardo Suárez Álvarez, Aylín Pérez Daniel **933-939**

Diseño y construcción de balsas flotantes para el cultivo de mejillones (*Perna perna* y *Perna viridis*), Estado Nueva Esparta – Venezuela

Jhonathan Emil Bermúdez-Salazar, Carmen del Valle Cardona Brito, Gertrudis Margalit Mizrachi Fernández, Lisbeth del Valle Villarroel Butto y Javier José Zabala Zabala **940-950**

Evaluación sensorial y estimación del rendimiento en carne del chame *Dormitator latifrons*

Bermúdez-Medranda, Alexandra E, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Isea- León, Yanis Cruz-Quintana **951-958**

Caracterización genómica de poblaciones: Impacto de la diversidad genética y la endogamia

Ricardo Pérez-Enríquez **959-967**

¿Qué tan biosegura es mi granja acuícola? Cómo puede un productor evaluar la bioseguridad en sus instalaciones de acuicultura

How biosecure is my aquaculture farm? How a producer can assess biosecurity in their aquaculture facilities

Arnaldo Figueredo

Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Departamento de Acuicultura. Boca del Río, Isla de Margarita, Venezuela.

 **Arnaldo Figueredo** () E-mail: arnaldo.jose.figueredo@gmail.com

RESUMEN | La constante aparición de enfermedades en los sistemas acuícolas ha vuelto popular el término bioseguridad, aunque no todos están conscientes de su relevancia. Se aborda la importancia de impedir las enfermedades desde la óptica del granjero, centrado en sus actividades y operaciones. Se hace énfasis en la intervención de las rutas que permiten la transmisión de enfermedades. Se formula una lista de cotejo que permite una aproximación a una valoración de los riesgos sanitarios de una instalación acuícola. El instrumento preparado indica 30 elementos que considerar, a ser evaluados a la luz de la matriz de riesgo de Novak. Se pretende ayudar al productor a definir que tan bien está su bioseguridad y que elementos debe atender prioritariamente, mejorando así su sanidad, productividad y rentabilidad.

Palabras clave: Acuicultura, análisis de riesgo, prevención de enfermedades

ABSTRACT | The constant appearance of diseases in aquaculture systems has made the term biosecurity popular, although not everyone is aware of its relevance. The importance of preventing disease is addressed from the farmer's perspective, focusing on his activities and operations. Emphasis is placed on the intervention of the routes that allow the transmission of diseases. A checklist is formulated that allows an approach to an assessment of the health risks of an aquaculture facility. The instrument prepared indicates 30 elements to consider, to be evaluated in the light of Novak's risk matrix. It is intended to help the producer to define how well his biosecurity is and what elements should be taken care of as a priority, thus improving his health, productivity and profitability.

Key words: Aquaculture, risk assessment, diseases prevention

INTRODUCCIÓN

La constante aparición de enfermedades amenazando todas las actividades acuícolas ha popularizado el término bioseguridad (Yoshinaga, 2019). Ciertamente es un concepto altamente relevante en acuicultura, tanto por las pérdidas económicas que implica, la diversidad de especies que afecta así como la dispersión geográfica de las enfermedades (Lee, 2003; Hine *et al.*, 2012; Palić y Scarfe, 2018).

A pesar de su preeminencia, hay discrepancias entre la importancia de la bioseguridad acuícola, evidenciada por la vasta literatura que aborda el tema, y la aplicación de sus principios en instalaciones de acuicultura, demostrada por la constante ocurrencia de brotes patológicos. Las causas de esta disparidad pudieran encontrarse en dos aspectos. En primer lugar, la visión que pudieran tener muchos granjeros sobre el carácter marginal de esas directrices. Hay quienes ven los protocolos de bioseguridad como excentricidades, caprichos de los asesores, más conectadas a las inquietudes de las universidades y centros de investigación que a las necesidades productivas de una instalación acuícola. En segundo término, el vocabulario que se usa en la amplísima bibliografía dedicada a la bibliografía puede ser muy denso para el lector no especializado. Todo lo que es referente a taxonomía, biología molecular, genética, virología, microbiología, aunque vital para el patólogo en su afán de controlar las enfermedades, constituye un obstáculo cuando lo mostramos a una audiencia sin entrenamiento en esos campos. Cualquiera sea el caso, el resultado es el mismo: por desmotivación, desinterés o desconocimiento, no se logra el compromiso del acuicultor con los programas de bioseguridad, conllevando a su fracaso.

En este trabajo se pretende plantear una visión cercana al productor acuícola sobre cómo abordar el tema de la bioseguridad en sus instalaciones. Hasta que no ha padecido un brote patológico, todo productor ve las enfermedades como algo ajeno. Subjetivamente se aísla de esa posibilidad. Más que pensar en las posibles enfermedades que pudieran afectar la actividad, muy numerosas, de nombres complicados y siempre crecientes, se plantea que los granjeros se centren en los factores de riesgo, elementos más o menos estables, cercanos y siempre manejables. La realización de una evaluación de riesgos aterrizaría ese punto de vista, redundando en efectos positivos para la granja. Se concibió como una necesidad del sector acuícola contar con un instrumento amigable de evaluación de riesgos, lo cual motivó este trabajo.

ANÁLISIS DE RIESGOS CONVENCIONALES

Se entiende por riesgo la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso para la salud de los animales acuáticos (Arthur *et al.*, 2004). Tradicionalmente, los análisis de riesgos son procesos complejos que se ejecutan en fases como se describe a continuación, siguiendo lo referido por Bondad-

Reantaso y Arthur (2008).

Identificación de amenazas

Consiste en la determinación de los patógenos que más probablemente podrían afectar la facilidad acuícola. Como resultado de esta etapa, ofrecen un listado de agentes infecciosos que podrían causar problemas sanitarios en la instalación evaluada.

Evaluación de riesgos

Atendiendo a los patógenos definidos en la sección anterior, se priorizan los patógenos en función de su probabilidad de ocurrencia y consecuencias de aparición. Esta etapa incluye evaluación de las rutas de exposición. Como resultado, se pondera la importancia de cada agente infeccioso, según una matriz diseñada a tal efecto.

Manejo de riesgos

Fase que identifica y propone medidas controlar, corregir y/o paliar los riesgos detectados. Propone manejar para cada elemento un nivel de riesgo aceptable (ALOR por Acceptable level of risk), el cual suele ser definido por una autoridad sanitaria nacional o internacional.

Comunicación de riesgos

Implica la difusión de la información generada en la evaluación precedente a las partes afectadas e interesadas.

Estos análisis, aunque muy valiosos sin duda, suelen ser abstractos para el granjero, dado que se centran principalmente en los patógenos. Es el criterio de este autor que todo productor se identificará más con un instrumento basado en elementos familiares para él.

ANÁLISIS DE RIESGOS PROPUESTO

De esta manera, en el presente trabajo se reformula el análisis de riesgos a una versión más cercana al operador de acuicultura. Primeramente, el productor debe entender las principales rutas que constituyen riesgos de transmisión de enfermedades (Fig. 1). Cada ruta definiría sus propios elementos de riesgo, correspondiendo al acuicultor, en primera medida, identificarlos en lo que respecta a su finca.

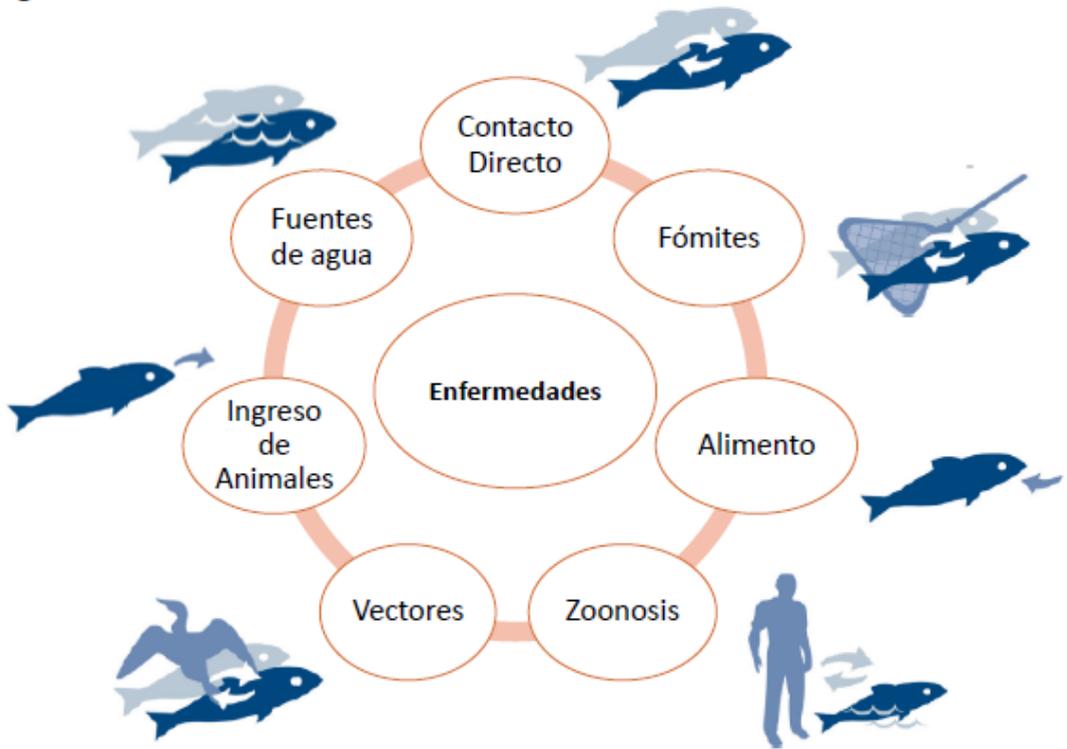


Figura 1. Principales rutas de propagación de enfermedades en instalaciones acuícolas. Modificado de Dvorak (2009)

Partiendo de referencias que estudian el problema de riesgo patológico en acuicultura y la bioseguridad con una óptica más activa (Palić y Scarfe, 2018), se preparó una herramienta de análisis de datos que incluyera los principales riesgos y pudiera aplicarse en centros de producción acuícola. La misma puede ser ampliada o adecuada a cada instalación. El instrumento desarrollado definió 30 elementos de riesgo conectados a las siete rutas originalmente establecidas. Tales *items* de riesgo son directamente aspectos prácticos del diseño y/o manejo, fácilmente comprensibles y susceptibles de ser respondidos por cualquier operador. Dada la posible interacción entre estos elementos y evitando caer en una estructuración muy rígida del instrumento que dificulte su aplicación, se presenta en forma de una lista de cotejo.

Se propone la matriz de estimación de riesgos de Nowak (2004), ilustrada en la tabla 1, por su sencillez y solidez, para evaluar el nivel de riesgo que presenta cada factor en el centro acuícola a evaluar. La propia lista de cotejo se concibe con cuatro columnas:

- 1) Identificación del elemento de riesgo,
- 2) Definición de la probabilidad de ocurrencia de un evento patológico,
- 3) Estimación de las consecuencias de ocurrencia de un evento patológico,
- 4) Resultado ponderado de la evaluación de riesgo

Tabla 1. Matriz de evaluación de riesgos. Tomada de Nowak (2004)

		Consecuencias					
		Insignific.	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Probabilidad	Extremo	Insignific.	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
	Alto	Insignific.	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
	Moderado	Insignific.	Insignific.	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto
	Bajo	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Muy bajo	Bajo	Moderado
	Muy bajo	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Muy bajo	Bajo
	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Insignific.	Muy bajo

En la tabla 2 se visualiza la herramienta de evaluación concebida. Partiendo de la matriz anterior, la probabilidad de riesgo de cada elemento se ubicaría en las filas horizontales, las consecuencias en las columnas y el resultado de la evaluación del mismo lo daría la celda donde ambas franjas se cruzan.

Tabla 2. Formato de la lista de cotejo concebida como instrumento de evaluación de riesgos en instalaciones acuícolas.

Elemento de riesgo	Probabilidad de ocurrencia	Consecuencias de ocurrencia	Resultado ponderado
Actividad acuícola adyacente			
Características del agua de ingreso			
Aves acuáticas			
Fauna incidental			
Pediluvios y rotaluvios en unidades			
Definición de plan de bioseguridad			
Difusión de plan de bioseguridad			
Definición de plan de contingencia			
Difusión de plan de contingencia			
Delimitación física de áreas productivas			
Aislamiento de todas las áreas sensibles			
Historial de cepa utilizada			
Monitoreo sanitario regular			
Uso de prebióticos/probióticos			

Aplicación de inmunostimulantes			
Empleo de bacteriostáticos			
Mantenimiento de buena calidad de agua			
Control de acceso a áreas sensibles			
Establecimiento de manual operativo			
Desinfección oportuna de animales			
Desinfección de rutina de instalaciones y equipos			
Desinfección diaria de indumentaria y accesorios			
Desinfección diaria de personal (entrada y salida)			
Reducción de alimentos frescos y congelados			
Distribución precisa de roles en personal			
Filtración efectiva del agua			
Secados entre ciclos productivos			
Descarte apropiado de muertos y residuos			
Fauna doméstica			

COMENTARIOS FINALES

Por supuesto, se considera que este instrumento es básico, como un boceto inicial que pudiera ser enriquecido a medida que se implemente en granjas de acuicultura. La aplicación de este instrumento en instalaciones acuícolas permitirá una valoración sencilla y objetiva de los niveles de riesgo presentes en la granja, superando los prejuicios que suelen construirse. Ello redundará en una toma de decisiones basada en mayor y mejor información, lo cual contribuirá a mejorar el estado sanitario de los animales cultivados y estimulará la productividad de la unidad acuícola. Aplicado por la autoridad sanitaria nacional, este formulario permitirá una administración más segura del sector, permitiendo establecer con base más sólida los compartimientos sanitarios y su gestión.

REFERENCIAS

- Arthur J.R., Bondad-Reantaso M.G., Baldock F.C., Rodgers C.J., Edgerton B.F. (2004). Manual on risk analysis for the safe movement of aquatic animals (FWG/01/2002). Network of Aquaculture Centres in Asia, Bangkok, Thailand. 59pp.
- Bondad-Reantaso M.G., Arthur J.R., (2008). Pathogen risk analysis for aquaculture production, in: Bondad-Reantaso, M.G., Arthur, J.R. (Eds.), Understanding and Applying Risk Analysis in Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper N° 519. Roma, Italia, pp: 27–46.
- Dvorak G. (2009). Biosecurity for aquaculture facilities in the North Central Region. North Central Regional Aquaculture Center, USDA. Fact Sheet Series # 115.

- Hine M., Adams S., Arthur J.R., Bartley D., Bondad-Reantaso M.G., Chávez C., Clausen J.H., Dalsgaard A., Flegel T.W., Gudding R., Hallerman E., Hewitt C., Karunasagar I., Madsen H., Mohan C.V., Murrell D., Perera R.P., Smith P., Subasinghe R.P., Phan P.T., Wardle R. (2012). Improving biosecurity: a necessity for aquaculture sustainability, in: Subasinghe R.P., Arthur J.R., Bartley D.M., De Silva S.S., Halwart M., Hishamunda N., Mohan C.V., Sorgeloos P. (Eds.), *Farming the Waters for People and Food. Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010*. Phuket, Tailandia (septiembre 2010). pp: 437–494.
- Lee C.-S. (2003). Application of biosecurity in aquaculture production systems, in: Symposium on “Aquaculture and Pathobiology of Crustacean and Other Species.” 32nd UJNR Aquaculture Panel Meeting, Santa Barbara, California U.S.A. (julio 2001). pp. 1–9.
- Palić D., Scarfe A.D. (2018). Biosecurity in aquaculture: Practical veterinary approaches for aquatic animal disease prevention, control, and potential eradication, in: Dewulf, J., Van Immerseel, F. (Eds.), *Biosecurity in Animal Production and Veterinary Medicine: From Principles to Practice*. ACCO Publishing House, Leuven, Belgium, pp: 497–523.
- Yoshinaga, T., 2019. The history of aquatic animal disease emergence and spread, in: OIE Global Conference on Aquatic Animal Health. World Organisation for Animal Health. Santiago, Chile (abril 2019).



Holotúrias do litoral de Santa Catarina (Brasil): captura ilegal e potencial para a aquicultura

Holothurians from Santa Catarina coast (Brazil): illegal capture and potential for aquaculture

Guilherme Sabino Rupp¹, Adriano Weidner Cacciatori Marenzi²

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri
Centro de Desenvolvimento em Aquicultura e Pesca – CEDAP, Florianópolis, SC, Brasil.

²Universidade do Vale do Itajaí – Itajaí, SC, Brasil.

 **Guilherme Sabino Rupp** () E-mail: rupp@epagri.sc.gov.br

RESUMO | As holotúrias, ou pepinos-do-mar, têm sido alvo de intensa captura ao redor do mundo e de crescente interesse da aquicultura, devido à grande demanda e alto valor comercial nos mercados asiáticos. Além da importante função como recicladores de nutrientes nos ecossistemas marinhos, os pepinos-do-mar apresentam alto valor nutricional e propriedades terapêuticas benéficas à saúde humana. Considerando que a captura ilegal de pepinos-do-mar foi recentemente relatada em outras regiões do Brasil, levantou-se a hipótese de que essa atividade poderia ocorrer também, no estado de Santa Catarina, na região sul. O presente estudo foi realizado verificar a ocorrência de captura e comercialização de pepinos-do-mar em Santa Catarina, identificar as espécies que ocorrem no litoral, e, com base em revisão bibliográfica e observações em campo, determinar as espécies que apresentam potencial para aquicultura. Foram realizadas amostragens, com uso de transectos, no mesolitoral de 10 localidades do estado, e, adicionalmente, foram realizados mergulhos em um ponto da costa. Em paralelo, foram contatados pescadores artesanais e agentes de extensão rural, em busca de informações sobre captura de holotúrias. Confirmou-se a captura de *H. grisea*, que ocorreu entre os municípios de Bombinhas e Penha no verão 2017-18. Cerca de duas toneladas do produto foram processadas por evisceração, cozimento em água com sal e secagem, sendo posteriormente exportadas para a Ásia. O levantamento indicou a ocorrência de 3 espécies: *Holothuria grisea* e *Parathyone sp.* no mesolitoral, e *Isostichopus badionotus* no infralitoral. Destas, duas apresentam interesse comercial, *I. badionotus* e *H. grisea*, as quais vem sendo objeto de recentes estudos com resultados promissores para aquicultura. Assim, em Santa Catarina encontram-se duas espécies de pepinos-do-mar com potencial para a aquicultura, mas já ameaçadas pela captura ilegal ao longo do litoral brasileiro. Recomenda-se urgentemente a realização de estudos para desenvolver a aquicultura dessas espécies e adotar medidas para evitar a captura desordenada desses importantes recursos marinhos.

Palabras clave: *Holothuria grisea*, *Isostichopus badionotus*, pepinos-do-mar, captura, aquicultura.

ABSTRACT | Holothurians, or sea cucumbers, have been the target of intense capture around the world and of growing interest for aquaculture development, due to the high demand and high commercial value in Asian markets. In addition to their important role as nutrient recyclers in marine ecosystems, they have high nutritional value and therapeutic properties beneficial to human health. Considering that illegal capture of sea cucumbers

was recently reported in other regions of Brazil, it was raised the hypothesis that this activity could also occur in the state of Santa Catarina, in the southern region. The present study was carried out to verify the occurrence of capture and commercialization of sea cucumbers in Santa Catarina, to identify the species that occur in the coast, and, based on literature review and field observations, to determine which species present potential for aquaculture. Surveys were carried out, using transects, in the mediolittoral zone of 10 locations in the state, and, in addition, dives were carried out at one point on the coast. In parallel, artisanal fishermen and local extension agents were contacted in search of information on capture of holothurians. The capture of *H. grisea*, which occurred between the municipalities of Bombinhas and Penha during summer 2017-18, was confirmed. Approximately two tons of the product were processed by evisceration, cooking in water with salt, and drying, and subsequently exported to Asia. The survey indicated the occurrence of 3 species: *Holothuria grisea* and *Parathyone sp.* in the mediolittoral and *Isostichopus badionotus* in the infralittoral. Two of them present commercial interest, *I. badionotus* and *H. grisea*, which have been the subject of recent aquaculture studies with promising results. Thus, in Santa Catarina there are two species of sea cucumbers with potential for aquaculture, but already threatened by illegal capture along the Brazilian coast. Studies are urgently recommended to develop aquaculture for these species and to take measures to prevent the disordered capture of these important marine resources.

Keywords: *Holothuria grisea*, *Isostichopus badionotus*, sea cucumbers, capture, aquaculture.

INTRODUÇÃO

As holotúrias, ou pepinos-do-mar, têm sido alvo de intensa captura ao redor do mundo, muitas vezes de maneira ilegal, não regulamentada ou não reportada, fomentada pela grande demanda e alto valor comercial que estes organismos apresentam nos mercados asiáticos (Purcell *et al.*, 2013). Estes organismos atingem altíssimos preços, com algumas espécies ultrapassando centenas de dólares/Kg (Purcell *et al.*, 2018), devido ao amplo uso na gastronomia e medicina orientais, e às propriedades nutracêuticas e bioativas (antivirais, antirreumáticas, antitumorais, entre outras) de interesse farmacêutico (Shi *et al.*, 2016). Atualmente, grande parte dos estoques de pepinos-do-mar já se encontra sobre-explotado, ou mesmo colapsado e a demanda supera a capacidade de oferta dos estoques naturais (Conand, 2017; Purcell *et al.*, 2013). Do ponto de vista ecológico, estes organismos apresentam fundamental importância no equilíbrio dos ecossistemas bentônicos, pois atuam na decomposição de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes e na oxigenação dos sedimentos (Purcell *et al.*, 2016; Sonnenholzner, 2003).

Para as águas rasas do litoral brasileiro estão descritas cerca de 32 espécies da classe Holothuroidea, divididas em 7 famílias (Martins, 2012). A maioria destas ocorrem na região nordeste sendo que apenas três têm ocorrências citadas para o litoral sul do Brasil: *Holothuria grisea*, *Isostichopus badionotus* e

Trachythyone crassipeda. A primeira tem ocorrência descrita para o estado de Santa Catarina, apresenta interesse comercial e é considerada a espécie mais abundante, sendo comum na região entremarés (Tommasi, 1969; Rocha, 2006). Essa espécie vem sendo alvo de recente captura ilícita e não quantificada na região nordeste do País (Souza Jr. *et al.*, 2017; Ponte e Feitosa, 2019). *Isostichopus badiionotus* apresenta algumas citações de ocorrência para o litoral catarinense baseadas em comunicação pessoal (Tiago e Ditadi, 2001; Ventura *et al.*, 2013), sendo que Xavier (2010) afirma que essa ocorrência no estado carece de comprovação de registro. Porém, Slivak (2013) confirma a observação de 2 exemplares na Ilha do Arvoredo, uma reserva biológica marinha localizada cerca de 10 km da costa. Esta espécie consta da lista de espécies ameaçadas de extinção no Brasil, porém com dados insuficientes para determinação do grau de risco (ICMBio/MMA, 2018), e existem evidências de que seja capturada na região sudeste e exportada para outros países (Amaral *et al.*, 2008).

Santa Catarina é o maior produtor nacional de moluscos cultivados, com o volume comercializado estimado em 14.215 toneladas em 2018 (Epagri, 2019). A atividade envolve participação direta de cerca de 2.200 pessoas e apresenta um importante papel econômico e social em comunidades litorâneas. O estado é responsável por cerca de 95% da produção nacional de moluscos cultivados, sendo produzidos comercialmente, em cerca de 600 concessões aquícolas, o mexilhão (*Perna perna*), a ostra do Pacífico (*Crassostrea gigas*) e a vieira *Nodipecten nodosus* (Suplicy *et al.*, 2015). Porém o potencial dos pepinos-do-mar como uma nova alternativa para a maricultura no sul do Brasil ainda não foi avaliado.

A aquicultura de pepinos-do-mar, estimulada pelo alto valor comercial e declínio das populações naturais, é uma atividade emergente em países do Indo-Pacífico, tais como China, Japão, Austrália, Índia, Madagascar, Filipinas, e Vietnã, entre outros (Toral-Granada *et al.*, 2008; Purcell *et al.*, 2012). Destes, destaca-se a China, onde a aquicultura comercial destes organismos encontra-se mais avançada, com uma produção estimada em 205.000 toneladas em 2016 (FAO FishStat). Na América Latina, o cultivo de pepinos-do-mar encontra-se em desenvolvimento no México e Equador (Mercier *et al.*, 2012), porém poucos estudos foram realizados no Brasil. Estes organismos oferecem um potencial excepcional para diversificação da maricultura em regiões tropicais (Purcell *et al.*, 2012), sendo também utilizados como elementos da aquicultura multitrófica integrada. Essa abordagem consiste em cultivar, em proximidade, espécies de distintos níveis tróficos, de modo que os resíduos e nutrientes liberados por uma espécie sejam aproveitados como alimento por outra, minimizando os impactos ao meio ambiente (Chopin *et al.*, 2012).

O presente trabalho teve por objetivo verificar a ocorrência de captura e comercialização de pepinos-do-mar em Santa Catarina, identificar as espécies que ocorrem no litoral, e prospectar seu potencial para uso em aquicultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta de informações sobre captura e comercialização

A obtenção de informações sobre a ocorrência de captura e comercialização de pepinos-do-mar em Santa Catarina foi realizada, entre 2019 e 2020, através de entrevistas junto a agentes de extensão do órgão estadual de pesquisa e extensão rural do estado de Santa Catarina (Epagri), que atuam na região costeira, bem como diretamente com maricultores e pescadores em comunidades litorâneas.

Amostragens e identificação das espécies

A determinação das espécies que ocorrem na zona intermareal do litoral de Santa Catarina foi realizada através de amostragens em 10 pontos, localizados em costões rochosos entre os municípios de São Francisco do Sul e Imbituba, entre agosto de 2019 e outubro de 2020 (Tabela 1). Foram realizados transectos, com comprimento entre 25 e 50 metros, paralelos e/ou perpendiculares à linha de costa, dispostos no mesolitoral, em períodos de baixa-mar de sizígia. As amostragens foram feitas através de inspeção visual e tátil, contando-se o número de organismos encontrados ao longo do transecto, à distância de um metro para cada um dos lados do seu eixo central. A busca por *I. badionotus* foi realizada no infralitoral, através de mergulhos em apneia, em uma localidade no município de Bombinhas. Os locais de amostragens foram georreferenciados com auxílio de GPS.

Tabela 1. Locais de amostragens e respectivas datas e coordenadas geográficas.

(*) Amostragem realizada através de mergulho.

Município	Localidade	Data	Latitude	Longitude
Penha	Armação do Itapocoroy	16/08/2019	26° 47' 18,38" S	48° 36' 18,41" W
Bombinhas	Praia de Bombinhas	25/11/2019	27° 08' 45,18" S	48° 29' 34,52" W
Bombinhas *	Sepultura	25/11/2019	27° 08' 22,04" S	48° 28' 47,18" W
Florianópolis	Armação do Pântano do Sul	09/12/2019	27° 44' 56,38" S	48° 30' 00,37" W
Imbituba	Itapirubá	12/12/2019	28° 20' 30,34" S	48° 42' 21,85" W
São Francisco do Sul	Capri	27/02/2020	26° 09' 48,31" S	48° 31' 58,34" W
Garopaba	Praia da Vigia	11/03/2020	28° 01' 07,67" S	48° 36' 35,44" W
Florianópolis	Caieira da Barra do Sul	24/07/2020	27° 47' 47,25" S	48° 33' 48,91" W
Porto Belo	Ponta das Vieiras	6/08/2020	27° 09' 18,63" S	48° 33' 20,07" W
Balneário Camboriú	Praia de Laranjeiras	03/09/2020	26° 59' 46,17" S	48° 35' 40,58" W
Palhoça	Enseada do Brito	30/10/2020	27° 47' 16,96" S	48° 37' 11,31" W

A identificação taxonômica dos holoturídeos foi feita de acordo com as chaves apresentadas por Tommasi (1969) e Martins (2012), considerando-se caracteres morfológicos externos e a morfologia dos ossículos calcários do endoesqueleto. As amostras de tecido foram dissolvidas com hipoclorito de

sódio a 3%, enxaguadas com água destilada, e os ossículos foram observados sob microscópio óptico e comparados com aqueles apresentados nas chaves de identificação.

O presente artigo apresenta resultados preliminares de pesquisa em andamento, visando ampliar o conhecimento sobre as espécies de pepinos-do-mar que ocorrem em Santa Catarina e prospectar seu potencial para a aquicultura, realizada sob licença para coleta de fauna nativa do Ministério do Meio Ambiente, MMA/SISBIO no. 68215-1 e cadastro de acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado da biodiversidade brasileira MMA/SISGEN no. A61927E.

RESULTADOS

Captura e comercialização

Constatou-se a ocorrência de captura e comercialização de holotúrias no litoral de Santa Catarina. Através de relatos de um dos entrevistados, verificou-se que essa atividade ocorreu entre dezembro de 2017 e fevereiro de 2018. Foi informado que a captura de exemplares da espécie *H. grisea* ocorreu entre os municípios de Bombinhas e Penha, por jovens de comunidades litorâneas, os quais coletavam os organismos na região entremarés e os levavam a um pescador que coordenava a atividade. Este realizava o processamento, que consistiu em evisceração, através de incisão na região ventral, cozimento em água com sal e posterior secagem, não sendo informado o tempo de cada uma das etapas. Após o processamento, o produto foi repassado para um intermediário que realizou a exportação para o mercado asiático. Nesse período, cerca de 2 toneladas de produto desidratado foram exportadas. O valor pago aos coletores correspondeu a US\$ 0,7/Kg (fresco). Já o produto processado foi comercializado pelo processador pelo valor equivalente a US\$ 4,5/Kg (seco).

Espécies encontradas

Nas amostragens realizadas na zona mesolitoral verificou-se a ocorrência de duas espécies de pepinos-do-mar: *Holothuria grisea* Selenka, 1867 e *Parathyone sp.* (Deichmann, 1957). Já no infralitoral registrou-se a ocorrência de *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867).

Holothuria grisea foi a espécie mais abundante, sendo encontrada em 8 dos 10 dos locais amostrados no mesolitoral (Figura 1), não sendo registrada sua ocorrência apenas nas localidades de Enseada do Brito e Itapirubá. Os exemplares foram encontrados geralmente na base das rochas e em gretas ou fendas, fixados através dos pés ambulacrais, geralmente em agrupamentos de vários exemplares, mas algumas vezes também encontrados isoladamente sobre o substrato. As maiores densidades foram encontradas na parte central do litoral catarinense, nas localidades de Porto Belo (3,66 ind/m²), Penha (2,66 ind/m²), Bombinhas (2,05 ind/m²) e Balneário Camboriú (1,74 ind/m²). Menores

densidades foram registradas em São Francisco do Sul (0,11 ind/m²), Caieira (0,22 ind/m²), Armação (0,40 ind/m²) e Garopaba (0,53 ind/m²).

Parathyone sp. foi encontrada apenas na localidade de Penha, apresentando-se bastante críptica, uma vez que os exemplares se encontravam soterrados e camuflados no sedimento, sendo somente visualizadas devido ao comportamento de emissão de esguichos de água durante a maré baixa. Em função dessa característica, foram avistados apenas poucos exemplares, não sendo possível quantificar suas densidades.

Isostichopus badionotus foi encontrado na profundidade de 6 m, sobre o fundo de areia, adjacente às rochas, na localidade da Sepultura, município de Bombinhas. Apenas um exemplar dessa espécie foi encontrado durante a amostragem realizada.

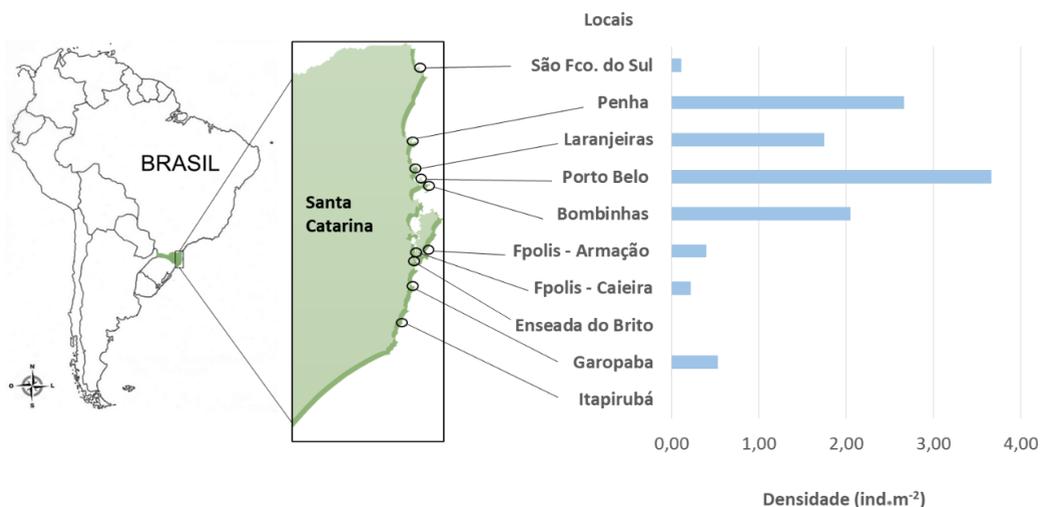


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem na região mesolitoral de Santa Catarina (Brasil) e respectivas densidades de *H. grisea* registradas ao longo dos transectos.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Captura e comercialização

Até o presente, não haviam sido encontradas informações sobre captura e comercialização de pepinos-do-mar na região sul do Brasil. Este trabalho constatou a ocorrência dessa atividade sobre a espécie *H. grisea* em Santa Catarina, entre 2017 e 2018, sendo provavelmente a primeira vez em que

isso ocorreu. Esta espécie vem sendo alvo de captura irregular e não quantificada no nordeste do País, onde essa atividade é considerada uma fonte de renda adicional em comunidades costeiras (Souza Jr. *et al.*, 2017; Ponte e Feitosa, 2019). Considerando que não existe consumo significativo de pepinos-do-mar no Brasil, Souza Jr. *et al.* (2017) supõe-se que estes organismos sejam exportados por rotas ainda desconhecidas. Segundo relatos obtidos com entrevistados no presente trabalho, o produto comercializado em Santa Catarina teve como destino o mercado asiático, sendo transportado, após processado, por via aérea, provavelmente, para Hong Kong. O processamento compreendeu a evisceração, cozimento com água e sal e secagem, etapas também relatadas por Pontes e Feitosa (2019) no Ceará. Em Angra dos Reis (RJ), na região sudeste, também existem registros captura ilegal e apreensão de pepinos-do-mar (Amaral *et al.*, 2008; Agência Brasil, 2018), portanto, a captura ilegal de holoturóides já se estende por grande parte do litoral brasileiro, desde o Ceará, até Santa Catarina. Segundo Amaral *et al.*, (2008) a coleta desses animais no ambiente é proibida por lei ambiental federal, e qualquer iniciativa dessa natureza depende de autorização dos órgãos ambientais competentes.

As densidades de *H. grisea* encontradas neste estudo na região entre Penha e Bombinhas (1,74 a 3,66 indivíduos/m²) apresentaram-se similares àquelas reportadas por Mendes *et al.* (2006) em 2003/04 na Penha (1,60 a 3,80 indivíduos/m²), portanto sem evidências de que a recente captura de holoturárias registrada no presente trabalho tenha significativamente afetado as populações locais. Entretanto, Souza Jr. *et al.* (2017) relatam indícios de significativo declínio em uma população de *H. grisea* no estado do Ceará devido à captura irregular. Isso torna imprescindível a adoção de medidas urgentes para prevenir a expansão da captura ilegal de pepinos-do-mar, visando evitar a sobre-exploração das populações, conforme já descrito para outras partes do mundo.

Espécies encontradas

No presente estudo, as duas espécies de Holothuroidea citadas para o litoral de Santa Catarina, *Holothuria grisea* e *Isostichopus badionotus* (Xavier, 2010) foram encontradas. A primeira é considerada a holotúria mais comum do litoral brasileiro (Tommasi, 1969; Rocha, 2006; Martins, 2012). Já *I. badionotus* apresenta ocorrência relatada para o estado apenas na Ilha do Arvoredo (Slivak 2013). Portanto este estudo amplia sua ocorrência para o litoral continental do estado de Santa Catarina, na localidade da Sepultura, município de Bombinhas. Esta parece ser uma espécie rara na região, uma vez que foi encontrado apenas um exemplar. Entretanto, a busca por esses organismos não foi exaustiva, e recomenda-se a ampliação das amostragens para outros pontos do litoral catarinense. A terceira espécie encontrada, *Parathyone sp.*, apresentava distribuição confirmada até a Baiha (Martins, 2012), portanto este estudo amplia seu registro de distribuição geográfica para a localidade de Armação do Itapocorói, Penha, Santa Catarina.

A linha de costa de Santa Catarina apresenta aproximadamente 531 Km de extensão. Neste estudo

os pontos de amostragem se distribuíram por uma distância aproximada de 300 km, compreendendo as partes norte e central da costa catarinense, onde foram encontrados exemplares de *H. grisea* em 8 dos 10 locais amostrados. Foi registrada maior abundância na região central do estado, entre Penha e Bombinhas com tendência a diminuição em direção ao sul. Até a presente data (janeiro/2021), o ponto mais ao sul em que foram encontrados exemplares dessa espécie foi Garopaba. Este pode ser considerado o limite sul de distribuição dessa espécie, ou próximo a este, uma vez que mais ao sul (Itapirubá), não foi registrada a ocorrência dessa holotúria e, a partir desse ponto, com exceção do Cabo de Santa Marta, a geomorfologia da costa se modifica, apresentando predomínio de praias arenosas, o que não favorece a ocorrências dessa espécie.

Potencial para aquicultura

Entre as espécies encontradas, *I. badionotus* apresenta maior tamanho e alto valor comercial, sendo intensamente explorada no México, onde tornou-se foco de pesquisas para desenvolvimento de tecnologia de cultivo (Zacarias-Soto *et al.*, 2013; Zacarias-Soto *et al.*, 2017; Felaco *et al.*, 2020). *H. grisea* tem sido alvo de estudos iniciais, na região nordeste do Brasil, sobre reprodução em laboratório e cultivo de larvas (Marques, 2016), e sobre preferências alimentares de adultos (Santos, 2016). Em Santa Catarina, Costa (2010) realizou um estudo de cultivo de fundo em uma lagoa salobra, com resultados interessantes do ponto de vista da aquicultura. Além do consumo humano *H. grisea* apresenta, também, interesse farmacológico para a extração de moléculas bioativas (Moura *et al.*, 2013; Melo *et al.*, 2014). Já *Parathyone sp.* apresenta menor tamanho e ausência informações sobre seu interesse comercial. Assim, Santa Catarina apresenta duas espécies de pepinos-do-mar comestíveis, de alto valor comercial e com potencial para a aquicultura, as quais já se encontram ameaçadas pela captura ilegal no Brasil. Esses organismos são muito cobiçados no mercado internacional, o qual apresenta-se ávido por novas fontes de suprimento desses equinodermas, sendo a aquicultura considerada a única maneira sustentável de suprir essa crescente demanda. Aquicultura de pepinos-do-mar apresenta grande potencial de desenvolvimento em regiões tropicais e se encontra em rápido crescimento em diversos países do Indo-Pacífico (Purcell *et al.*, 2012), sendo também considerado uma estratégia importante para a conservação de espécies ameaçadas (Amaral *et al.*, 2008). Adicionalmente, deve-se considerar que um dos potenciais problemas ambientais gerados pela maricultura é o acúmulo de biodepósitos eliminados pelos organismos cultivados abaixo das estruturas de cultivo. Para minimizar esse problema, vem sendo proposto o cultivo integrado de moluscos com pepinos-do-mar, (aquicultura multitrófica integrada), uma vez que estes organismos são detritívoros e podem aproveitar-se dos biodepósitos eliminados pelos animais cultivados. Isso poderia minimizar os potenciais impactos do excesso de matéria orgânica sobre sedimentos marinhos e evitar a formação de ambientes anóxicos (Chopin *et al.*, 2012). Uma vez desenvolvidas tecnologias de cultivo para as espécies locais de pepinos-do-mar, estes poderão ser integrados aos existentes cultivos de moluscos, de modo a proporcionar a diversificação de produtos, elevar a renda dos produtores e ampliar a sustentabilidade ambiental da maricultura no Brasil.

Entretanto, iniciativas de cultivos comerciais de pepinos-do-mar não devem ser iniciadas antes que estudos detalhados sobre sua viabilidade sejam realizados.

Recomenda-se a ampliação dos estudos para o desenvolvimento de tecnologia de produção de formas jovens de pepinos-do-mar em laboratório, envolvendo ciclo reprodutivo, indução à desova, larvicultura, assentamento e metamorfose, e cultivo de juvenis. Devem também, ser iniciados estudos visando desenvolver estratégias para o cultivo integrado de pepinos-do-mar com moluscos.

O exemplo da recente expansão do cultivo de holoturóides em várias partes do mundo, aliado a fatores como as condições ambientais que o litoral catarinense apresenta, a existência de cultivos marinhos consolidados e de espécies nativas de alto valor e potencial para aquicultura, criam um precedente adequado a que estes organismos se tornem uma nova alternativa para a maricultura catarinense. O desenvolvimento do cultivo de pepinos-do-mar poderá, também, se tornar uma ferramenta para a conservação dos estoques naturais desses importantes organismos que, devido captura ilegal, já se encontram ameaçados em todo o litoral brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Dra. Luciana Martins pela colaboração na identificação taxonômica.

REFERENCIAS

- Agência Brasil. (2018). PRF apreende 220 kg de iguaria destinada à culinária oriental. (<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-10/prf-apreende-220-kg-de-iguaria-destina-da-culinaria-oriental>). (acessado em 03/03/2021).
- Amaral A.C.Z., Volkmer-Ribeiro C., Mansur M.C.D., Santos S.B., Avelar W.E.P., Mattews-Cascon H., Leite F.P.P., Melo G.A.S., Coelho P.A., Buckup G.B., Buckup L. Ventura C.R.R., Tiago C.G. (2008). A situação de ameaça dos invertebrados aquáticos no Brasil. In: Machado A.B.M., Drummond G.M., Paglia A.P. (eds). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Biodiversidade 19. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. pp:156-351.
- Chopin T., Cooper J.A., Reid G., Cross S., Moore, C. (2012). Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification. *Reviews in Aquaculture*, 4:209-220.
- Conand C. (2017). Expansion of global sea cucumber fisheries buoys exports. *Revista de Biologia Tropical*, 61(1):S1-S10.

- EPAGRI. (2019). Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2018-2019. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Cepa, p. 168-170.
- FAO FishStat. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Stichopus_japonicus/en (acessado em 03/03/2021).
- Felaco L., Olvera-Novoa M.A., Robledo D. (2020). Multitrophic integration of the tropical red seaweed *Solieria filiformis* with sea cucumber and fish. *Aquaculture*, 527:1-9.
- ICMBio/MMA. (2018). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília, DF. Volume I, 492pp.
- Marques, D. F. (2016). Crescimento, sobrevivência e desenvolvimento larval do pepino do mar *Holothuria grisea*: Alimentação com diferentes microalgas. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Ceará. 70pp.
- Martins L.R. (2012). Estudo taxonômico dos Holothuroidea (Echinodermata) de águas rasas da costa Brasileira. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia. 120pp.
- Melo A.A., Carneiro F.R., Silva W.M., Moura R.M., Silva G.C., Sousa O.V., Saboya J.P.S., Nascimento K.S., Saker-Sampaio S., Nagano C.S., Cavada B.S., Sampaio A.H. (2014). HGA-2, a novel galactoside-binding lectin from the sea cucumber *Holothuria grisea* binds to bacterial cells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64:435-442.
- Mendes F.M., Marenzi A.W.C., Domenico M. Di. (2006). Population patterns and seasonal observations on density and distribution of *Holothuria grisea* (Holothuroidea: Aspidochirotida) on the Santa Catarina Coast, Brazil. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 23:5-10.
- Mercier A., Ycasa H.R., Espinoza R., Haro V.M., Hamel J.F. (2012). Hatchery experience and useful lessons from *Isostichopus fuscus* in Ecuador and Mexico. In: Hair C.A., Pickering T.D., Mills D.J. (eds). *Asia-Pacific tropical sea cucumber aquaculture*. Australian Centre for International Agricultural Research, ACIAR Proceedings, 136:79-90.
- Moura R.M., Aragão K., Melo A.A., Carneiro R.F., Osório C.B.H., Luz P.B., Queiroz A.F.S., Santos E.A., Alencar N.M.N., Cavada B.S. (2013). *Holothuria grisea* agglutinin (HGA): the first invertebrate lectin with anti-inflammatory effects. *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 27:656-668.

- Ponte I.A.R, Feitosa, CV. (2019). Evaluation of an unreported and unregulated sea cucumber fishery in eastern Brazil. *Ocean and Coastal Management*, 167:1-8.
- Purcell S.W., Conand, C., Uthicke S., Byrne, M. (2016). Ecological Roles of Exploited Sea Cucumbers. In: Hughes, R.N., Hughes, D.J., Smith I.P., Dale, A. C. (eds). *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 54:367-386.
- Purcell S.W., Mercier A., Conand C., Hamel J.-F., Toral-Granda M.V., Lovatelli A., Uthicke S. (2013). Sea cucumber fisheries: global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *Fish and Fisheries*, 14:34-59.
- Purcell S.W., Hair C.A., Mills D.J. (2012) Sea cucumber culture, farming and sea ranching in the tropics: Progress, problems and opportunities. *Aquaculture*, 368-369:68-8.
- Purcell S.W., Williamson D.H., Ngaluafé P. (2018). Chinese market prices of beche-de-mer: Implications for fisheries and aquaculture. *Marine Policy*, 91:58-65.
- Rocha R.M. (2006). Echinodermata. In: Ribeiro-Costa C.S., Rocha R.M. da. (org). *Invertebrados: Manual de Aulas Práticas*. Holos Editora. Ribeirão Preto. pp: 198-213.
- Santos F.L.B. (2016) Estudo do comportamento alimentar do pepino do mar (*Holothuria grisea*), submetido a diferentes dietas e fotoperíodos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Ceará. 50pp.
- Shi S., Feng W., Hu S., Liang S., An N., Mao Y. (2016). Bioactive compounds of sea cucumbers and their therapeutic effects. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 34:549–558. <https://doi.org/10.1007/s00343-016-4334-8>
- Slivak, N. N. (2013). Fauna Echinodermata de Santa Catarina, Brasil: Levantamento faunístico e características populacionais de *Echinaster (Othilia) brasiliensis* Müller & Troschel, 1842. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 50pp.
- Sonnenholzner J. (2003). Seasonal variation in the food composition of *Holothuria theeli* (Holothuroidea: Aspidochirotidae) with observations on density and distribution patterns at the Central Coast of Ecuador. *Bulletin of Marine Science*, 73(3):527-543.
- Souza Jr. J., Ponte I., Coe C.M., Farias W.R.L., Feitosa C.V., Hamel J.F., Mercier A. (2017). Sea cucumber fisheries in Northeast Brazil. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 37:43-47.

- Suplicy F.M., Vianna L.F.N., Rupp G.S., Novaes A.L.T., Garbossa L.H.P., Souza R.V., Guzenski J., Costa S.W., Silva F.M., Santos A.A. (2015). Planning and management for sustainable coastal aquaculture development in Santa Catarina State, south Brazil. *Reviews in Aquaculture*, 9:107-124. <https://doi.org/10.1111/raq.12107>
- Tiago C.G., Ditadi A.S.F. (2001). Holothurians from the Brazilian coast: a historical survey. In: Barker, M. (ed.) *Echinoderms 2000*. Swets & Zeitlinger. Lisse. pp: 379-384.
- Tommasi L.R. (1969). Lista do Holothuroidea recentes do Brasil. *Contribuições Avulsas do Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, série Oceanografia Biológica*. 15:1-29.
- Toral-Granda V., Lovatelli A., Vasconcellos M. (2008). Sea cucumbers. A global review on fishery and trade. *FAO Fisheries Technical Paper*, 516. 317pp.
- Ventura C.R.R., Borges M., Campos L.S., Costa-Lotufo L.V., Freire C.A., Hadel V.F., Manso C.L.C., Silva J.R.M.C., Tavares Y, Tiago C.G. (2013). Echinoderm from Brazil: Historical Research and the Current State of Biodiversity Knowledge. In: Alvarado, J.J., Solis-Martin F.A. (eds). *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*. Springer. pp: 301-344.
- Xavier L.A.R. (2010). Inventário dos equinodermos do estado de Santa Catarina, Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 14(2):73-78.
- Zacarías-Soto M., Olvera-Novoa M.A., Pensamiento-Villarauz S., Sanchez-Tapia I. (2013). Spawning and larval development of the four-sided sea cucumber, *Isostichopus badionotus* (Selenka 1867), under controlled conditions. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(5):694-705.
- Zacarías-Soto M., Tec-Tec P., Olvera-Novoa M. A. (2017). Effect of diet on growth and body biochemical composition of juvenile foursided sea cucumber *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867). *Aquaculture Research*, 00:1-8.



Algunas aplicaciones de las técnicas nucleares y de química analítica en la acuicultura

Some applications of nuclear and analytical chemistry techniques in aquaculture

Sara Levy¹, Arnaldo Figueredo¹, Jean Marval¹, Andrés Quintero², Carlos Ibarra³, José Villamizar³

¹Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Nueva Esparta, Venezuela.

²Ministerio del Poder Popular en Pesca y Acuicultura, Centro Nacional de Investigaciones Pesqueras y Acuícolas, Caracas, Venezuela.

³Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Centro de Estudios Especializados en Química Medicinal, Miranda, Venezuela.

 Sara Levy () E-mail: sara.levy71@gmail.com

RESUMEN | En la acuicultura existen grandes desafíos para lograr un crecimiento sostenido, optimización dietas, disminución de las emisiones de desechos, prevención de enfermedades, aseguramiento de la calidad, son algunos de ellos. En la permanente búsqueda de soluciones innovadoras se están aplicando tecnologías que han dado respuestas oportunas a otras áreas, dentro de éstas se encuentran: irradiación, técnicas que emplean isótopos estables y radiactivos, cromatografía y espectrometría. A través de las técnicas isotópicas es posible determinar el origen de contaminantes que pudieran afectar la bioseguridad de los recintos y la inocuidad de los productos, evaluar de una forma más eficiente la digestibilidad de dietas y nuevos ingredientes en distintas etapas de los ciclos de vida, mediante la cuantificación de la actividad específica (radioisótopos) y la firma isotópica (isótopos estables). La irradiación extiende el tiempo de vida útil de los recursos acuáticos y con ello las posibilidades de distribución en distintas presentaciones, genera productos sin carga biótica de agentes causantes de enfermedades de transmisión alimentaria, amplía el uso de algunos recursos considerados residuos, otorga nuevas propiedades a biopolímeros de origen acuático, pueden constituir una medida profiláctica para prevenir el ingreso de vectores vía alimentación. La cromatografía se puede emplear para la identificación, la purificación y la cuantificación de las especies separadas. Las técnicas espectroscópicas son áreas de rápido crecimiento debido al enriquecimiento y mejoras en la robustez, aumento de rendimiento, sensibilidad, precisión y selectividad para el análisis de casi cualquier producto; la espectrometría de masas se puede utilizar para la caracterización estructural, identificación y detección sensible de mezclas de biomoléculas o para evaluar la calidad de proteínas aisladas, carbohidratos, ácidos nucleicos, fármacos, metabolitos, contaminantes. La permanente evolución de las tecnologías caracterizadas, han acortado los tiempos de respuestas, en concordancia con las exigencias que el sector demanda y en atención a los requisitos de causar el menor efecto ambiental posible.

Palabras clave: Técnicas nucleares, química analítica, acuicultura, isótopos, irradiación.

ABSTRACT | In aquaculture there are great challenges to achieve sustained growth, optimization of diets, reduction of waste emissions, prevention of diseases, quality assurance, are some of them. In the permanent search for innovative solutions, technologies

are being applied that have given timely answers to other areas, among these are: irradiation, techniques that use stable and radioactive isotopes, chromatography and spectrometry. Through isotopic techniques it is possible to determine the origin of contaminants that could affect the biosafety of enclosures and the safety of products, and to evaluate more efficiently the digestibility of diets and new ingredients at different stages of life cycles, by quantifying the specific activity (radioisotopes) and the isotopic signature (stable isotopes). Irradiation extends the shelf life of aquatic resources and with it the possibilities of distribution in different presentations, generates products without biotic load of agents causing foodborne diseases, extends the use of some resources considered waste, gives new properties to biopolymers of aquatic origin, can be a prophylactic measure to prevent the entry of vectors via food. Chromatography can be used for the identification, purification and quantification of separated species. Spectroscopic techniques are rapidly growing areas due to enrichment and improvements in robustness, increased throughput, sensitivity, accuracy and selectivity for the analysis of almost any product; mass spectrometry can be used for structural characterization, identification and sensitive detection of mixtures of biomolecules or to assess the quality of isolated proteins, carbohydrates, nucleic acids, drugs, metabolites, contaminants. The permanent evolution of the characterized technologies has shortened the response times, in accordance with the demands of the sector and the requirements of causing the least possible environmental impact.

Keywords: nuclear techniques, analytical chemistry, aquaculture, isotopes, irradiation.

INTRODUCCIÓN

Aun cuando la acuicultura es una actividad milenaria, sus principales adelantos surgen de avances científicos conseguidos en los siglos XX y XXI, dando como resultado un crecimiento sin precedentes, al suministrar más de la mitad del pescado para consumo humano del mundo (Cai y Zhou, 2019). Es reconocida su capacidad para seguir en expansión y también los enormes desafíos ambientales que debe afrontar a medida que se intensifica la producción, lo que exige nuevas estrategias de desarrollo para una acuicultura sostenible (FAO, 2020).

Entre estos grandes desafíos se puede mencionar la optimización de dietas, para reducir las demandas de harina de pescado y también disminuir la cantidad de desechos nitrogenados que se liberan al ambiente (Badillo y Viana, 2015). Otras situaciones de permanente atención, son las referidas a prevención de enfermedades y el aseguramiento de la calidad de los productos acuícolas que se destinan para consumo humano (FAO, 2020).

Existen organizaciones multilaterales que hacen ingentes esfuerzos para contribuir con la solución de los problemas planteados. Son ampliamente conocidas las gestiones y fines del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) como agentes responsables de la formulación e implementación de planes y programas para procurar la seguridad alimentaria (LaChance *et al.*, 1990) que sigue sin

materializarse, pues no se ha logrado una situación en la que todas las personas tengan en todo momento acceso a alimentos seguros y nutritivos (Nuñez *et al.*, 2016). La FAO reconoce que ante el grave problema de la subalimentación o malnutrición se deben usar soluciones innovadoras para producir más alimentos, garantizar el acceso a ellos y mejorar la nutrición (FAO, 2020).

En consonancia con estas demandas, ha actuado sobre el particular el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación, que tienen décadas impulsando el uso pacífico de las tecnologías nucleares al servicio del ambiente, la agricultura y la alimentación. Una de las estrategias efectuada por esta organización es la aprobación y financiamiento de proyectos de investigación y de cooperación técnica entre los países miembros.

Dentro de ese marco referencial se encuentran varios proyectos que abordan a los recursos provenientes de la acuicultura y de pesquerías, entre ellos se pueden mencionar: “Desarrollo y fortalecimiento de técnicas radio-analíticas y complementarias para controlar los residuos de medicamentos veterinarios y productos químicos relacionados en los productos de la acuicultura” (proyecto coordinado de investigación D52039) (OIEA, 2020a), “Aplicación de técnicas radio-analíticas y complementarias para vigilar la presencia de contaminantes en la acuicultura” (proyecto de cooperación técnica regional RLA5079 bajo el Acuerdo Regional de Cooperación para la promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe), en ejecución por 16 países (Sepúlveda y García, 2020), “Control de los contaminantes de los alimentos y los piensos en la producción de peces” (proyecto de cooperación técnica nacional ZAI5028 República Democrática del Congo) (FAO/IAEA (2020).

En paralelo, varias instituciones de investigación a nivel mundial han aplicado las técnicas nucleares y de química analítica a nivel experimental, para buscar soluciones a algunos de los problemas mencionados en la acuicultura, teniendo como base los avances técnicos logrados en las actividades agropecuarias, en cuanto a piensos, selección genética, bioseguridad, control de contaminantes y enfermedades, entre otros. Por tal motivo, se revisan algunos conceptos y aplicaciones de técnicas como isotopía, irradiación, cromatografía de gas y líquida de alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas, espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, seleccionadas por su sensibilidad, rapidez, carácter multielemental y bajo impacto, para procurar en el futuro respuestas acertadas a todos los involucrados en este sector productivo.

Técnicas nucleares

Las técnicas nucleares incluyen una vasta gama de pruebas que inicialmente se usaron en áreas muy puntuales como datación y exploración en geología, diagnóstico y tratamiento de enfermedades, pero se ha ampliado su ámbito de acción en la medida en que se demuestra que con su aplicación se solventan

los problemas que las técnicas convencionales no logran superar. Dentro de dichas pruebas se encuentran: irradiación, radiotrazado, trazabilidad con isótopos estables, radioinmunoensayo, ensayos de radioreceptor, espectrometría α , β , γ , centelleo líquido, isotopía de radio/dilución, cromatografía de iones, herramientas moleculares, entre otros.

En la procura de esa información, se han planteado necesidades en las áreas de producción de recursos acuáticos como la pesquería y la acuicultura en las que se experimenta en la actualidad y/o lo harán en el corto plazo con algunas de las técnicas mencionadas (Tabla 1).

Tabla 1. Proyectos financiados por la Organización Internacional de la Energía Atómica para el fortalecimiento de las actividades de pesca y acuicultura.

TÍTULO	PAISES
Aplicación de técnicas radioanalíticas y complementarias para vigilar la presencia de contaminantes en la acuicultura	México (líder), Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia, Cuba, Ecuador, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, Venezuela
Desarrollo y fortalecimiento de técnicas radioanalíticas y complementarias para controlar los residuos de medicamentos veterinarios y productos químicos relacionados en los productos de la acuicultura	África: Camerún, Nigeria, Sudáfrica, Uganda. América: Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Ecuador. Asia: China, India, Líbano, República Democrática Popular Lao, Singapur. Europa: Bélgica, Países Bajos.
Disminución de la tasa de mortalidad de truchas arcoíris <i>Oncorhynchus mykiss</i> asociadas a IPNV y enfermedades emergentes	Perú (líder), en espera de adhesión de otros países de América Latina
Promoción del uso de la tecnología de la radiación en polímeros naturales para el desarrollo de nuevos productos, con énfasis en la recuperación de residuos	Argentina (líder), en espera de adhesión de otros países de América Latina
Fortalecimiento de la capacidad de los laboratorios para controlar los contaminantes de los productos pesqueros	Camerún
Control de los contaminantes de los alimentos y los piensos en la producción pesquera	República Democrática del Congo
Establecimiento de una norma nacional de control de calidad de los alimentos y los productos pesqueros	Barein
Desarrollo de las capacidades de los laboratorios para analizar los contaminantes en los productos animales y afines, incluido el pescado	Bahamas
Fortalecimiento de la capacidad de los laboratorios para controlar los contaminantes en los productos pesqueros	Belize

Técnicas isotópicas

Se pueden definir como la utilización de isótopos estables o radiactivos, sean éstos naturales o artificiales, existentes en el ambiente, también de trazadores radiactivos inyectados artificialmente y de instrumentación generadora de radiaciones ionizantes (González y Sánchez, 1992).

La cantidad de isótopos distribuidos por la litosfera, atmósfera y biosfera es importante. Casi todos los elementos de la tabla periódica los poseen y se usan tanto los estables como los radiactivos en distintas áreas de conocimiento y contextos. Entre los isótopos estables o no radiactivos más usados se encuentran: hidrógeno 2, oxígeno 18, carbono 13, nitrógeno 15. En cuanto a los radioisótopos naturales se pueden señalar a radón 222, plomo 210, argón 39, carbono 14, torio 230, protactinio 231, uranio 234, uranio 238, potasio 40, y de los antropogénicos hidrógeno 3, criptón 85, cesio 137, carbono 14 (Rozanski y Gonfianti, 1992). Estos últimos son producidos en forma deliberada y controlada en reactores nucleares y se utilizan como trazadores para resolver problemas a nivel de microescala o carácter local, espacial y temporalmente, que impliquen tiempos cortos de duración (días o meses) (González y Sánchez, 1992).

Sobre las determinaciones y equipos utilizados, se puede indicar que en el caso de los isótopos estables se cuantifica en las sustancias la relación isotópica (R) que es la proporción de determinadas formas variables de isótopos (firma isotópica), mediante espectrometría de masas de relación isotópica (IRMS) (Jardine *et al.*, 2003), equipo que distingue las diferencias de masa entre isótopos pesados y ligeros aunque sean minúsculas (Gamboa-Delgado, 2018). A partir de esta información se calculan las variaciones de la relación isotópica (δ), entendiéndose ésta como las desviaciones de los valores isotópicos establecidos comparados con estándares de referencia (Gamboa-Delgado, 2010), este valor puede ser positivo o negativo, dependiendo de si la muestra tiene mayor o menor relación isotópica que la referencia. Otro dato importante que se puede obtener es el fraccionamiento isotópico α , que expresa la relación isotópica en la fase o compuesto B relativo al del A, este coeficiente indica enriquecimiento o empobrecimiento del isótopo pesado en B con respecto a A (González y Sánchez, 1992).

El cálculo de R provee valiosa información, por ejemplo en hidrología isotópica se puede descifrar el origen y el movimiento del agua (Ortega y Gil, 2019); en estudios biológicos se ha encontrado que los isótopos más pesados tienden a acumularse en los tejidos de los animales consumidores, lo cual hace que las firmas isotópicas de sus tejidos sean diferentes a sus alimentos o a los de otros animales (Gamboa-Delgado, 2018). Esta información dietética ayuda a establecer interacciones en la red alimentaria y el flujo de energía en varios ecosistemas, entre ellos el acuático (Jardine *et al.*, 2003). Por otra parte, en estudios ecológicos se usa δ para calcular el factor de discriminación isotópica (Δ) a partir del δ tejido y de la δ dieta, que en el caso de nitrógeno refleja que tanto de este elemento presente en la dieta o en el ingrediente es integrado y de qué manera lo hace (Phillips y Eldridge, 2006). Dicho factor se produce porque los organismos tienen afinidad por incorporar isótopos pesados en lugar de los

isótopos más ligeros y comunes, debido a que los primeros se concentran en las moléculas donde la fuerza de los enlaces es mayor, amplificándose el efecto en cada transformación química y enzimática (Peterson y Fry, 1987). En los experimentos de alimentación, Δ puede determinarse esperando a que se alcance una diferencia constante entre la dieta y el animal, no obstante esto se dificulta en los estadios tempranos en peces y crustáceos, debido al rápido crecimiento y a que ciertos tipos de alimentos son adecuados sólo durante un corto periodo de tiempo (Gamboa-Delgado, 2009).

En lo referente a determinaciones y equipos que involucran a isótopos radiactivos, es necesario emplear instrumentación nuclear para identificarlos y cuantificarlos por la emisión de los distintos tipos de radiaciones, por espectrometría alfa, beta (contadores de centelleo líquido), gamma, de neutrones (Ibarra y Pabón, 2015). Aprovechándose datos como la energía de enlace, la velocidad de desintegración (v) y el periodo de desintegración o vida media ($t_{1/2}$), entre otros.

Para el caso de los radioisótopos, las variaciones en la composición isotópica de un elemento en concreto no se deben a fraccionamiento sino a la desintegración de un isótopo padre radioactivo para generar un isótopo hijo radiogénico. Debido a que los materiales naturales y los contaminantes presentan, en multitud de ocasiones, composiciones isotópicas muy distintas, los isótopos radiogénicos se pueden utilizar como trazadores; otra cualidad que también es aprovechada es el comportamiento de forma conservativa de los isótopos (Barbero, 2004).

Los espectrómetros utilizados en los estudios con radioisótopos, cuantifican su actividad (decaimiento) siguiendo la ley de desintegración radioactiva, visto como el número de desintegraciones radioactivas por segundo para la muestra completa. Otro aspecto que se determina es la actividad específica, definida ésta como el número de desintegraciones por unidad de peso o de volumen de la muestra (Mook, 2002).

Dependiendo de los objetivos de investigación, se puede determinar la desintegración de los radioisótopos naturales presentes en una muestra o la actividad de alguno de los radioisótopos hijos en la serie de desintegración de ese elemento. Por ejemplo, los isótopos inestables de la serie de decaimiento natural del ^{238}U son usados en geocronología, en ese sentido, Sánchez-Cabeza *et al.* (2012) documentan el uso de ^{210}Pb en la radiocronología de sedimentos costeros, determinando su actividad específica en cores sedimentarios mediante la cuantificación de su descendiente el ^{210}Po , a través de espectrometría α ; también reseñan la medición de ^{226}Ra por espectrometría α . En contraste, los radioisótopos artificiales se emplean en los estudios de aplicación biológica, pues se pueden introducir a través de inyecciones, infusiones constantes o mediante dietas marcadas y hacer el seguimiento de su actividad específica en diferentes compartimientos y matrices. El método más generalizado para analizar la radiactividad es el contador de centelleo líquido.

Aplicaciones de las técnicas isotópicas en acuicultura

Nutrición y alimentación

Las técnicas isotópicas han sido incorporadas como método en nutrición acuícola (Preston *et al.*, 1996; Gamboa-Delgado y Le Vay, 2009; Felip *et al.*, 2011), pues esos sistemas son altamente viables para realizar evaluaciones isotópicas debido a que en su mayoría representan cadenas alimenticias cortas y controladas (Gamboa-Delgado, 2010). Esto incluye a los hatchery, por su número limitado de fuentes de alimentos y cadenas tróficas planctónicas con bioacumulación rápida, en las que se pueden medir los isótopos estables de carbono y nitrógeno más pesados en cada paso trófico (Le Vay y Gamboa-Delgado, 2011).

Jardine *et al.* (2003) señalan que los tres principales elementos usados en investigaciones ecológicas son los isótopos estables del carbono, nitrógeno y azufre (carbono 12, carbono 13, nitrógeno 14, nitrógeno 15, azufre 32, azufre 33, azufre 34 y azufre 36), aunque también refiere el uso de isótopos del hidrógeno y oxígeno pero en menor proporción. El análisis de isótopos estables de carbono (C) y nitrógeno (N) se ha utilizado para determinar las fuentes de alimento y la selectividad de la alimentación, las posiciones tróficas y los patrones de movimiento de los organismos (Peterson y Fry, 1987; Hobson, 1999; Adin y Riera, 2003; Gao *et al.*, 2006; Boecklen *et al.*, 2011). También ha sido de gran ayuda para cuantificar la incorporación de nutrientes en animales muy pequeños en las cuales otras técnicas no se pueden aplicar (Gamboa-Delgado, 2018).

En el caso de la proporción de $\delta^{13}\text{C}$, este análisis es comúnmente usado para indagar las fuentes de alimentos y la selectividad de la alimentación de los animales en ambientes naturales (Fleming *et al.*, 1993, Sauriau y Kang, 2000). En ese sentido, Wen *et al.* (2016) determinaron la preferencia de alimentación del pepino de mar *Apostichopus japonicus* a partir de tres macroalgas suministradas y sus mezclas, para comprender el hábito alimentario y mejorar los protocolos de cultivo de esta especie. De igual modo, recientemente Valladares y Planas (2021) aplicaron el análisis de $\delta^{13}\text{C}$ con la finalidad de contribuir a reducir las mortalidades en las fases tempranas de organismos ornamentales como caballitos de mar *Hippocampus guttulatus* al estudiar la asimilación de *Artemia* y dos especies de copépodos. Además, ambos grupos de investigación refieren la metodología aplicada como una alternativa para el estudio de análisis del contenido estomacal por las limitaciones que tiene, al no proveer información de los tejidos digeridos ya que no son identificables ni cuantificables.

Los isótopos estables del nitrógeno se utilizan con frecuencia para determinar las posiciones tróficas de varias especies en las redes alimentarias (Post, 2002; McCutchan *et al.*, 2003). Por otra parte, Carleton y Martínez del Río (2010) señalan que la retención del nitrógeno se puede calcular a partir de las diferencias de los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ en el alimento y en el tejido, lo que se presenta como

una opción a los estudios de digestibilidad *in vitro* según refieren Badillo y Viana (2015) en su investigación de calidad de alimentos comerciales para lobina rayada (*Morone saxatilis*).

Mediciones de la radiactividad específica de aminoácidos libres y acoplados a proteína marcados, han sido muy útiles en la determinación de las tasas de recambio proteico en varias especies de peces. Garlick *et al.* (1980) y Houlihan *et al.* (1988) desarrollaron procedimientos para la incorporación y cuantificación de fenilalanina marcada con ³H mediante dosis inundante por inyección; Tonheim *et al.* (2004) produjeron una proteína modelo soluble radiactiva para estudiar la digestión de las proteínas, la absorción y el metabolismo de los aminoácidos en larvas, mediante la administración oral de aminoácidos marcados uniformemente con [U]-¹⁴C. El método de la infusión fue usado por Morais *et al.* (2004), quienes demostraron la viabilidad del radiomarcaje de nauplios de *Artemia* mediante la introducción de un hidrolizado de proteínas [U-¹⁴C] en los medios de eclosión y de enriquecimiento. De igual modo, también se ha usado las determinaciones de radiactividad específica para hacer seguimiento a la ingestión y absorción de otras moléculas como ácidos grasos (Koven *et al.*, 1998).

Además de los estudios mencionados, han sido usadas técnicas isotópicas en:

- Evaluación de nuevos ingredientes como sustitutos parciales del nitrógeno aportado por harina de pescado, levadura de torula (Gamboa-Delgado *et al.*, 2016), harina de biofloc (Gamboa-Delgado *et al.*, 2017), biomasa microalgal (Pacheco-Vega *et al.*, 2018) en *Litopenaeus vannamei*.
- Rastreo de rutas metabólicas de carbohidratos y proteínas en trucha *Oncorhynchus mykiss* (Felip *et al.*, 2011).
- Asimilación en camarones con dietas marcadas y sin marcar, como *Palaemonetes pugio* (D'Avanzo *et al.*, 1991), *Penaeus monodon* (Preston *et al.*, 1996), *Litopenaeus vannamei* (Gamboa-Delgado y Le Vay, 2009a).
- Análisis de la contribución de ingredientes tradicionales en el tejido de *Litopenaeus vannamei* (Gamboa-Delgado, 2009).
- Captación en *Perna viridis* de ácidos grasos provenientes de efluentes de un sistema de policultivo de peces (Gao *et al.*, 2006).
- Nutrición larval, estimación de tasa de ingestión y asimilación de *Brachionus calyciflorus* alimentado con *Scenedesmus obliquus* marcado con isótopos estable (Verschoor *et al.*, 2005).

- Contribución relativa del alimento vivo e inerte en larvicultura del pez *Solea senegalensis* (Gamboa-Delgado *et al.*, 2008) y de *Litopenaeus vannamei* (Gamboa-Delgado y Le Vay, 2009a; Gamboa-Delgado, 2010).
- Contribución del agua de la dieta en salmón atlántico *Salmo salar* y el salvelino ártico *Salvelinus alpinus* cultivado (Graham *et al.*, 2014).

Dinámica de los cuerpos de agua

Los organismos acuáticos objeto de cultivo requieren de condiciones físico-químicas particulares para un óptimo desarrollo. Por tanto, las alteraciones que se produzcan en el cuerpo de agua que abastece a los centros de cultivo o donde se practique el cultivo outdoor podrían ser contraproducentes.

Las investigaciones realizadas en hidrología isotópica permiten comprender las características generales de la circulación atmósfera-oceano y su interacción (Rozanski y Gonfiantini, 1990, también para determinar la edad, vulnerabilidad y sostenibilidad de los recursos hídricos. Para esos fines se utilizan isótopos estables como indicadores de la temperatura y radioisótopos como indicadores de la edad, por ejemplo, la datación del agua joven por tritio/helio-3 y el modelo de balance hídrico basado en isótopos puede ayudar a predecir los efectos del cambio climático (Ortega y Gil, 2019). El impacto de este último aspecto sobre las pesquerías y la acuicultura ha sido objeto de debates y de estudios mediante diversas metodologías (Mohanty *et al.*, 2010).

Calidad del agua

Los procesos geoquímicos naturales que tienen lugar en los acuíferos y diversas actividades antropogénicas aportan contaminantes de diferentes tipos a las aguas superficiales y subterráneas. La caracterización química e isotópica de éstos permite determinar su origen, siendo esto el primer paso para solucionar los problemas de calidad del agua, por parte de los responsables políticos y otros involucrados. La identificación de la fuente de contaminación puede hacerse mediante las diferencias de peso de los isótopos estables de un mismo elemento, por ejemplo, es posible determinar el origen del nitrato proveniente de residuos humanos y de fertilizantes (Ortega y Gil, 2019).

Otra forma de determinar contaminantes en el agua es mediante el uso de isótopos estables como trazadores, esta técnica isotópica se ha usado para determinar las dinámicas de nutrientes en suelos dedicados a la agricultura y ganadería, así como en los efluentes derivados de estanques de producción acuícola (Bombeo-Tuburan *et al.*, 1993; Epp *et al.*, 2002). Yokoyama *et al.* (2006) realizaron un trazado de nutrientes desde el alimento hasta el cuerpo de agua y sedimentos cercanos a una granja de cultivo de peces mediante el análisis isotópico de los componentes de la dieta suministrada. De igual modo, Gamboa-Delgado (2018) indica que se ha utilizado el isótopo estable del nitrógeno pesado para

enriquecer dietas con la finalidad de generar productos metabólicos trazables desde las granjas de producción de cultivo de camarón hacia los efluentes.

Trazabilidad de productos

Algunos mercados como el europeo poseen regulaciones sobre la información que debe estar presente en la etiqueta de los productos acuáticos, en las que se exige el nombre comercial y científico, el origen de los organismos y su método de producción (silvestre o cultivado). El aumento de prácticas fraudulentas en el etiquetado ha puesto de manifiesto la necesidad de desarrollar métodos analíticos de alta sensibilidad como la firma isotópica y el perfil de ácidos grasos en sustitución de los protocolos hasta ahora usados para determinar la trazabilidad (Moretti *et al.*, 2003).

En ese sentido, se han llevado a cabo algunas investigaciones sobre el particular, entre ellas: diferencias entre peces de agua dulce y de mar en base a las diferencias de ^{13}C (Doucett *et al.*, 1996, 1999; Power *et al.*, 2002), comparación entre salmón cultivado y silvestre basado en el aceite de pescado y extractos lípidos de músculo considerando los isótopos de H y ^{13}C (Aursand *et al.*, 2000), diferenciación isotópica de ^{13}C y ^{15}N entre camarones provenientes de pesquerías y de granjas de cultivo (Gamboa-Delgado *et al.*, 2014).

Ventajas y desventajas de las técnicas isotópicas

- Las técnicas ofrecen mayor sensibilidad que los métodos analíticos convencionales, lo que resulta especialmente ventajoso en estudios con micronutrientes, vitaminas, hormonas, fármacos.
- Son útiles en estudios de nutrición larval, pues se utilizan organismos completos para los análisis.
- El tamaño mínimo de muestras para analizar es pequeño.
- La disponibilidad comercial de aminoácidos, ácidos grasos, colesterol, vitaminas, entre otros marcados isotópicamente aumenta las posibilidades de aplicación en estudios nutricionales.
- Las inversiones necesarias para infraestructura, equipamiento, adquisición de reactivos, fuentes y estándares isotópicos de laboratorios son altas.
- Se precisa de personal especializado y en constante actualización.

Irradiación

La irradiación se puede definir como la exposición de una sustancia a radiación de varias frecuencias. A pesar del escaso conocimiento de la población sobre sus usos, el proceso se aplica ampliamente a escala comercial para esterilizar material de uso médico y mejorar polímeros, también se emplea para mantener la calidad de los alimentos, reducir pérdidas por deterioro, optimizar su seguridad microbiológica (OIEA, 2015) al inactivar a los organismos causantes de enfermedades de transmisión alimentaria (OMS, 1989). Según la base de datos de instalaciones de irradiación industriales de la OIEA, en la actualidad hay cerca de 300 centros de irradiación gamma y de aceleradores de electrones en el mundo, aunque reconocen que esta cifra pudiera ser mayor (OIEA, 2020b).

La aplicación de irradiación en alimentos ha sido objeto de décadas de evaluación científica, escrutinio público, debate político y atención de los medios de difusión. Los resultados de dichas evaluaciones han demostrado que puede ayudar a resolver los problemas de suministro de alimentos y su inocuidad, sin que ello suponga ningún riesgo para la salud humana o para el ambiente (Iturbe y López, 2004).

Dadas las particularidades de esa tecnología existen diversos documentos generados por la OIEA, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la FAO donde la señalan como un método inocuo (OMS, 1989), entre ellos se pueden mencionar los referidos al Codex Alimentarius: CODEX STAN 106-19831 “Norma general para los alimentos irradiados” (FAO/OMS, 2003a), CAC/RCP 19-1979 “Código de prácticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación” (FAO/OMS, 2003b), CODEX STAN 231-2001 “Métodos generales para la detección de alimentos irradiados” (FAO/OMS, 2001). De igual modo se han adoptado procedimientos para asegurar la calidad, existiendo las normas ISO 9001:2008 “Sistemas de manejo de la calidad: requerimientos”, ISO 11137-1:2006 “Esterilización de productos para el cuidado de la salud: radiación”, ISO 14470:2011 “Irradiación de alimentos: requerimientos para su desarrollo, validación y control rutinario del proceso de la radiación ionizante usada para el tratamiento de alimentos” (OIEA, 2015).

La norma CODEX STAN 106-19831 establece que las fuentes de radiación ionizante que se pueden utilizar son rayos gamma, rayos X y electrones acelerados (Tabla 2) en una dosis máxima absorbida no superior a los 10 kGy (kilograys), excepto cuando sea necesario para alcanzar un propósito tecnológico justificado. Usualmente, cada tipo de alimento requiere de dosis específicas para alcanzar un resultado determinado (OMS, 1989; OIEA, 2015). La dosis mínima es la porción efectiva necesaria para lograr dicho efecto y debe alcanzarse en cualquier posición dentro de una partida o lote, la dosis máxima es la dosis más alta que el producto puede tolerar sin ningún efecto perjudicial para la calidad, especialmente para las propiedades sensoriales (OIEA, 2000), en la Fig. 1 se representan esquemáticamente las desviaciones esperadas por exceso o por defecto a lo esperado (Fig. 1).

Tabla 2. Fuentes y características de las radiaciones ionizantes.

	RADIOISOTOPO (Co-60 o Cs-137)	EQUIPOS ELÉCTRICOS	
		(≤ 10 MeV*)	(≤ 5 MeV)
Tipo de radiación	Gamma	Electrones	Rayos X
Operación	No puede apagarse	Se puede apagar	
Orden de magnitud de la dosis	kGy/h	kGy/s	kGy/min
Emisión			
Composición	Fotones	Electrones	Fotones
Masa	Ninguna	Si	Ninguna
Carga eléctrica	Ninguna	Si	Ninguna
Penetración	Buena	Limitada	Muy buena

*MeV millones de electronvoltios.

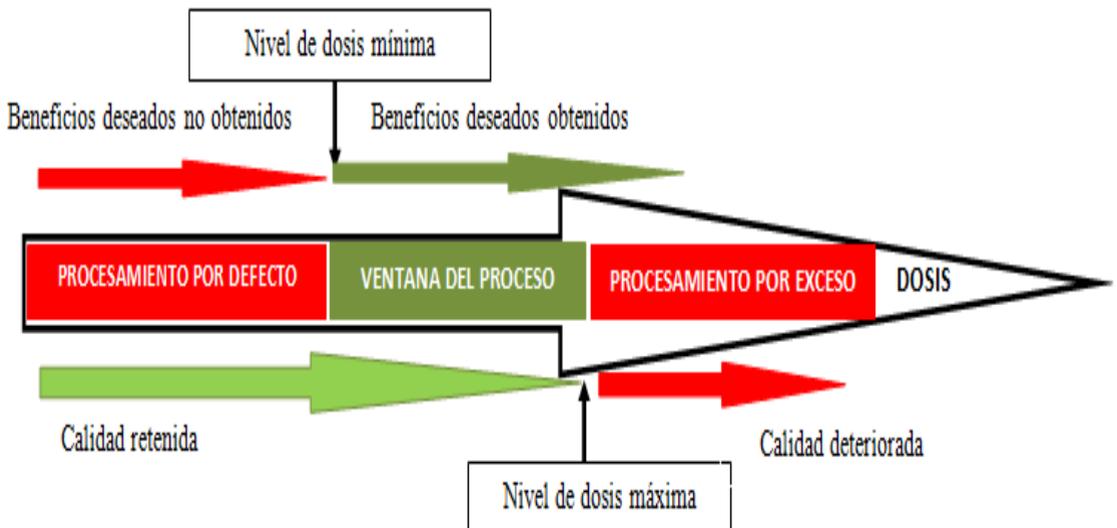


Figura 1. Cambios esperados en los niveles de dosis mínima y máxima (OIEA, 2015).

Dentro de los parámetros a definir sobre el proceso de irradiación como método de conservación se encuentran las condiciones ambientales antes y posteriores al proceso para mantener la integridad de los productos. Todos los insumos a ser irradiados deben manipularse conforme a los códigos de higiene, las normas alimentarias y los códigos de transporte que apliquen según el caso. Por tal razón, no deberá ser utilizada como sustituto de las prácticas adecuadas de higiene, de manufactura o de las buenas

prácticas de producción (FAO/OMS, 2003a), de hecho si los productos se encuentran en proceso de descomposición la radiación no será capaz de revertir su avance (OMS, 1989).

Iturbe y López (2004) señalan que en algunos casos puede reemplazar tratamientos químicos, por ejemplo sustancias prohibidas por afectar la salud del consumidor como el óxido de etileno y el óxido de propileno. En otras situaciones no sustituye a procesos como las bajas temperaturas, sino que la complementa. Al respecto, la OIEA (2015) indica que en alimentos frescos y congelados se debe mantener la cadena de frío durante la irradiación, pues se destruyen los microorganismos sin descongelarlo ya que el aumento de temperatura es leve. También consideran deseable que el tiempo de almacenaje pre-irradiación sea corto.

Efectos de la radiación ionizante en alimentos

Entre los principales aspectos que es necesario reseñar es el inherente a la transferencia de energía desde la fuente hacia el alimento, lo cual constituye una de las mayores preocupaciones de los consumidores, al respecto la bibliografía referente al tema destaca que los productos irradiados no adquieren radiactividad inducida. El efecto que ocasiona la energía irradiada en los alimentos es la expulsión de electrones al medio receptor produciendo iones (desestabilización); éstos y los radicales libres son inestables en la mayoría de los casos y pueden reaccionar entre sí o con los componentes del alimento, originando sustancias ajenas a la composición inicial del producto, que se conforman y desaparecen hasta lograr nuevas sustancias, en cantidades muy pequeñas, químicamente estables denominadas productos radiolíticos, con estructura idéntica o similar a los originados en los alimentos tratados con otras técnicas de conservación, de cocción y los no tratados (OMS, 1989; AESA, 2004; Iturbe y López, 2004; OIEA, 2015). En cuanto a las posibles secuelas de la radiación sobre los microorganismos acompañantes, se reseñan daños letales en el ADN y en sus células (OIEA, 2000).

De los cambios sensoriales, los organismos más propensos a desarrollar olores y sabores anómalos con más facilidad son las especies con mayor contenido graso. En muchos casos, estos cambios no deseables pueden minimizarse irradiando el producto manteniendo la cadena de frío o en ausencia de oxígeno (Mitchell, 1994).

Adicionalmente, la OMS (1989) y la OIEA (2015), entre numerosas fuentes bibliográficas, refieren otras consecuencias de la irradiación de alimentos:

- Inhibición de brotes y germinación: en recursos vegetales como tubérculos, bulbos y semillas dosis muy bajas inferiores a 0,5 kGy retrasan la formación de yemas y raíces.
- Retraso de la maduración y el envejecimiento: este efecto se logra irradiando dosis inferiores a 1,5 kGy a recursos vegetales como frutas y hortalizas.

- Desinsectación: en el caso de productos acuáticos, se aplica la radiación para eliminar insectos al pescado curado y desecado adecuadamente envasado a dosis de 0,5 kGy.
- Prolongación del tiempo de conservación: los microorganismos responsables del deterioro de los productos se destruyen con la radiación, su dosis dependerá de la radioresistencia de cada uno y de la carga inicial en el volumen del producto. En virtud de eso, el tiempo de conservación se extiende considerablemente, mucho más si se combina con otros métodos como la refrigeración o congelado. Cada grupo de alimentos se comporta de forma distinta, al respecto Andrews *et al.* (1998) generalizan indicando que en la mayoría de las especies de crustáceos, moluscos y pescados la vida útil puede incrementarse en al menos 7 días usando dosis iguales o inferiores a 2kGy bajo refrigeración, ya que los microorganismos responsables del deterioro se eliminan entre un 90 y 95% (Príncipe, 2009). No obstante, estudios específicos llevados a cabo en colas de *Penaeus vannamei* usando dosis de 2 kGy con almacenamiento a 2 °C lograron prolongar su vida útil de 9 días a 20 días (Torres *et al.*, 1999).
- Inactividad de microorganismos: la radiación afecta a bacterias, mohos y levaduras en carnes, aves, productos acuáticos y ancas de rana congeladas sin alterarlos de forma inaceptable, dosis de 2-7 kGy resultan suficientes para combatir los microorganismos patógenos no esporulados causantes de enfermedades de transmisión alimentaria. En cuanto a las bacterias para las cuales hay datos reportados de radioresistencia en productos acuáticos se tienen *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocystogenes*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella enteritidis*, *S. typhimurium*, *Shigella dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. sonnei*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus-O*, *V. vulnificus-T*, *Yersinia enterocolitica* (Príncipe, 2009; OIEA, 2000).
- Destrucción de parásitos: algunos protozoos, platelmintos y nematodos están presentes como ecto y endoparásitos, siendo los últimos de especial interés porque se alojan en el músculo, dejando de ser infecciosos si se les aplican bajas dosis de radiaciones. Entre los organismos probados, especies del género *Anisakis* y *Gnathostoma spinigerum* son las de mayor radioresistencia.

Sobre los tres últimos aspectos, AESA (2004) recopila y organiza la radioresistencia de los microorganismos de mayor a menor, así: virus >esporas bacterianas >bacterias gram positivas >bacterias gram negativas >mohos y levaduras >parásitos. También indican que a pesar de que cada uno de ellos posee radioresistencia intrínseca son muchos los agentes y factores que influyen en la letalidad de las radiaciones ionizantes, como la temperatura y actividad de agua del medio. Adicionalmente, es de considerar que las dosis de irradiación destruyen una población determinada de los microorganismos, por lo que si ésta es significativa antes del proceso mayor será la población que queda al término del mismo (OMS, 1989).

Aplicaciones de la irradiación en la acuicultura

El efecto conservador de las radiaciones ionizantes sobre los productos acuáticos está ampliamente documentado desde hace décadas por numerosos investigadores, por ejemplo Barna (1979) reportó 1223 estudios sobre la salubridad de 278 alimentos, piensos y productos pesqueros irradiados, basados en técnicas de evaluación biológica con animales terrestres (OIEA, 2000). La suma de estos esfuerzos llevó a la aprobación de algunos documentos ya mencionados y otros como la “Guía estándar para la irradiación de peces e invertebrados acuáticos utilizados como alimento para controlar patógenos y microorganismos de descomposición” (ASTM F1736–09), el “Código de buenas prácticas de irradiación para el control de la microflora en el pescado, las ancas de rana”, y autorizaciones a varios países para irradiar y comercializar industrialmente, que datan de la década de los años 80 (OIEA, 2000), como algunos instrumentos normativos de la FDA en el Código de Regulaciones Federales (21 CFR 179 y 21 CFR 179.26) (FDA, 2011). Estos estudios de inocuidad se han seguido desarrollando con la aplicación de metodologías más expeditas y logísticamente menos costosas, para mejorar la calidad de los productos que se ofrecen, incorporar otros con potencialidad de desarrollo y generar nuevas aplicaciones.

A continuación se señalan algunas aplicaciones industriales y experimentales de la irradiación que se están llevando a cabo con recursos acuáticos:

Irradiación de productos acabados

Cerca de 30 países poseen autorizaciones de irradiación a productos acuáticos para distintos propósitos (desinfectación, control microbiológico, extensión de vida útil, control de parásitos). En Asia se encuentran China, Corea, Filipinas, India, Indonesia, Pakistán, Siria, Tailandia, Turquía, Vietnam; en América lo pueden hacer Brasil, Chile, Costa Rica y Cuba, EEUU, México, Paraguay y Perú. Por otra parte, en Europa realizan irradiaciones con fines comerciales Bélgica, Croacia, Holanda, Inglaterra, República Checa, Francia y en África, Arabia Saudita, Argelia, Bangladesh, Ghana, Sudáfrica (OIEA, 2000; Príncipe, 2009).

Los productos acuáticos son comercializados en diversas presentaciones: enteros, fileteados, secos, ahumados, empacados al vacío, picados, pulverizados, alimentos sucedáneos como kamaboko, entre otros. En todos los casos deben estar debidamente empacados y con la identificación respectiva de que es un producto irradiado (OMS, 1989, OIEA, 2015). Las especies para las cuales se conoce el tiempo de vida útil, las dosis óptimas y máximas son:

- Peces: están definidas las dosis son: *Lophius americanus*, *Harpodon nehereus*, *Peprilus triacanthus*, *Gadusmorhua*, *G. macrocephalus*, *Squalus acanthias*, *Pseudopleuronectes americanus*, *Melanogrammus aeglefinus*, *Hippoglossus hippoglossus*, *Paralichthys*

californicus, *Clupea harengus*, *Argentina silus*, *Rastrelliger negelectus*, *R. kanagurta*, *Scomber scombrus*, *Sillago sihama*, *Sebastes marinus*, *Sebastes alutus*, *Pollachius virens*, *Stomateus cinereus*, *Parastomatus niger*, *Anopoploma fimbria*, *Sardinella melanura*, *Microstomus pacificus*, *Parophrys vetulus*, *Glyptocephalus cynoglossus*, *Microstomus kit*, *Eopsetta jordani*, *Thunnus obesus*, *Merluccius* spp., *Cyprinus carpio*, *Ictalurus punctatus*, *Coregonus* spp. *C. wartmanni*, *C. artedii*, *C. clupeaformis*, *Eleutheronema tetradactylum*, *Salmo gairdneri*, *Salvelinus namaycush*, *Perca flavescens* (OIEA, 2000).

- Crustáceos y moluscos: *Venerupis semidecus sata*, *Mya arenaria*, *Spisula solidissima*, *Cancer magister*, *Paralithodes camtschatica*, *Portunus pelagicus*, *Homarus americanus*, *H. gammarus*, *Nephrops norvegicus*, *Mytilus smaragsinus*, *Crassostrea virginica*, *C. pacificus*, *Placopecten magellanicus*, *Penaeus setiferus*, *P. aztecus*, *P. duarum*, *P. vannamei*, *Crangon crangon*, *Pandalus borealis*, *P. jordani*, *Macrobrachium rosenbergii*.

Modificación de polímeros

Otro importante rubro proveniente de la maricultura son las macroalgas marinas, cuyo volumen de producción aumentó de 13,5 millones TM en 1995 a algo más de 30 millones TM en 2016 (FAO, 2020). Esa materia prima se destina principalmente a la extracción de ficocoloides como agar, alginatos, carragenina para diversos sectores industriales. Aliste (1999) estudio el efecto de la irradiación gamma sobre dichos coloides para conocer los cambios en sus propiedades tecnológicas.

En investigaciones más recientes llevadas a cabo en Filipinas por Encinas (2015) se sintetizó un hidrogel de *Kappaphycus alvarezii* por radiación gamma y caracterizó para uso agrícola, obteniéndose que el polímero modificado tiene una alta capacidad de retención de agua y también favorece la germinación de la planta probada. De igual modo, Hamideldin y Hussein (2009) expusieron alginato de sodio a rayos gamma y lo aplicaron a plantas de trigo mejorando su crecimiento y el contenido de aminoácidos. Productos de ese tipo están siendo aplicados por comunidades agrícolas en Filipinas (Gil, 2018) y en Vietnam (Henriques (2015), con buenos resultados en rendimiento, resistencia a condiciones climáticas y a infecciones fúngicas y bacterianas. Tales avances podrían abrir nuevas puertas de comercialización de los cultivos de macroalgas, lo que constituye otras formas de agregarles valor.

Irradiación de piensos y subproductos para su manufactura

Los efectos de la irradiación sobre los piensos han sido estudiados desde los inicios de las investigaciones sobre esta tecnología nuclear en los alimentos. Obi (1978) documentó la capacidad inhibitoria sobre el crecimiento de los microorganismos que alteran a los piensos, Barna (1979) estimó diversas variables de desempeño biológico para determinar la calidad nutricional en los organismos a los cuales alimentó. Adicionalmente, en OIEA (1979) se recopila información sobre aspectos

microbiológicos, nutricionales, económicos y aplicaciones de la irradiación en dietas para animales de laboratorio y de granja, así como de ingredientes empleados en su manufactura, incluyendo la harina de pescado (Eggum, 1979), que es una de las principales fuentes de proteína de cualquier dieta animal y que suele presentar mayores niveles de contaminación que harinas de origen vegetal por el mal manejo que se hace luego de su fabricación (Mossel, 1979). En cuanto a los efectos de la radiación sobre la digestibilidad de la proteína, el valor biológico, la utilización neta proteica o la composición de los aminoácidos, Ley (1979) indica que no ningún resultado adverso en los animales empleados en sus diseños experimentales. Hasta la presente se siguen haciendo estudios para evaluar los cambios que pudieran llegar a ocurrir en ingredientes que se utilizan en la elaboración de alimentos para diversos grupos de animales (Maity *et al.*, 2009; Franco *et al.*, 2015), disminuyendo los niveles de irradiación ya probados y distinguiendo los efectos en la actividad intestinal, por ejemplo en la producción de gas y metano (Wahyono *et al.*, 2018).

Tacon *et al.* (1998), entre varios investigadores, alertan que los ingredientes y alimentos pueden actuar como vectores para la introducción y transmisión de patógenos a los recintos de cultivo de los organismos acuáticos. Por ello, consideran necesario la implementación de tratamientos térmicos e irradiación para mejorar las condiciones sanitarias de las distintas fuentes de alimentos que se suministran (Coelho, 1994; Said, 1996). Es común que las materias primas destinadas para la elaboración de piensos tengan una alta carga de microorganismos productores de toxinas que acarrearán consecuencias severas en la producción (Tacon, 1989).

Respecto a las dosis de irradiación de piensos, Guillén (2012) señala dosis de 2 a 25kGy para combatir *Salmonella* aprobado por la FDA. De manera similar, OMS (1989) indica que se pueden aplicar dosis de 3-10 kGy a concentrados de proteínas y preparaciones enzimáticas comerciales que se usan en la industria alimentaria, pues suelen estar contaminadas; en dicho proceso no se altera el sabor, la textura u otras propiedades, dejando los microorganismos sobrevivientes más sensibles a los procesos posteriores.

Irradiación de subproductos acuícolas

Las investigaciones conducentes a generar biomateriales o bioactivos a partir de desechos de productos pesqueros y acuícolas han aumentado debido a los múltiples beneficios que originan, como la producción *per se* de un nuevo material, agregación de valor a la pesquería del recurso o a su cultivo, disminución importante de los desperdicios que no se utilizan como subproductos en otras industrias.

Al respecto, se ha probado la radioesterilización de potenciales insumos para uso médico, pudiéndose citar las investigaciones de Saenz (2017) quien radioesterilizó un material colagenoso obtenido previamente a partir de escamas de carpa plateada (*Cyprinus carpio*) a distintas dosis (5, 10, 15, 20, 25, 30 kGy) de rayos gamma; Lima-Junior *et al.* (2017) irradiaron piel de tilapia cultivada

(*Oreochromis niloticus*) a dosis de 30 KGs de rayos gamma para ser usada como apósito biológico oclusivo en el tratamiento de quemaduras. Es de hacer mención que el Centro Nacional de Investigaciones Pesqueras y Acuícolas (CENIPA) junto con la Unidad Planta de Irradiación por Rayos Gamma (PEGAMMA) del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), recientemente ensayaron la radioesterilización gamma de pieles de tilapia procedentes de organismos cultivados en el estado Carabobo (Venezuela) y el producto obtenido se encuentra en investigaciones de prueba para verificar su calidad como insumo médico (Ruth Vásquez, CENIPA, Venezuela, enero 2021).

Otra línea de investigaciones con desperdicios de organismos acuáticos pero con la finalidad de generar un aditivo alimenticio antimicrobianos es la ejecutada por García *et al.* (2014), en la cual se irradió quitosano obtenido de la quitina del exoesqueleto de la langosta común (*Panulirus argus*) a dosis de 5, 10, 20 y 50 kGy con la finalidad de disminuir la masa molecular del polímero e incrementar su capacidad antimicrobiana. En ese mismo orden de ideas sobre la modificación del quitosano por irradiación, Henriques (2015) señala que los agricultores de Viet Nam utilizan oligoquitosano para proteger las plantas de infecciones fúngicas y bacterianas.

Ventajas y desventajas de la irradiación de alimentos:

- No produce residuos tóxicos en los alimentos, ni los hace radioactivos.
- Aumenta las oportunidades de distribución haciendo posible su transporte en regiones distantes.
- Puede evitar o reemplazar el uso de tratamientos químicos y ser combinada con otros métodos de conservación.
- Se obtienen alimentos con la apariencia de alimentos frescos.
- Se puede aplicar a los alimentos en varias presentaciones (envases pequeños, a granel, congelados, temperatura ambiente) y distintos materiales de empaque (plástico PE, PET, PVC, papel o cartón), lo que facilita el despacho de los productos pues sería la última etapa antes de la distribución.
- Aminoácidos, vitaminas y carbohidratos pueden resultar destruidos por la radiación. Aunque esto también ocurren con otras técnicas de conservación por desnaturalización o solubilidad.
- Las inversiones en infraestructura y equipos son muy altas. Para efectos de rentabilidad es imperante contar con la aprobación de la comercialización de los países desarrollados importadores.

- Precisa de personal adiestrado, equipo especializado y reglamentación que garantice que el proceso se lleva a cabo correctamente.
- Los costos de radionucleidos y las fuentes de irradiación son elevados.

Técnicas de química analítica

El primer paso antes de la elección de un método de análisis químico consiste en definir claramente el problema analítico, la naturaleza de la matriz, las propiedades físicas y químicas de la muestra, los componentes presentes en la muestra, el intervalo de concentraciones, el grado de exactitud requerido de la especie que se determinará, la cantidad y el número de muestras a analizar (Catalano, 2014). Entre las numerosas técnicas analíticas que se utilizan para caracterizar los productos de la acuicultura destacan las cromatográficas, las espectroscópicas y las resultantes de acoplamientos de las dos anteriores.

Técnicas cromatográficas

La cromatografía agrupa un conjunto importante de metodologías analíticas que permiten separar componentes estrechamente relacionados en matrices complejas. En todas las técnicas cromatográficas la muestra se desplaza con una fase móvil que puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico que se hace pasar a través de un soporte sólido con características y propiedades particulares llamado fase estacionaria y con el cual es inmisible. Las dos fases se seleccionan de tal forma que los componentes de la muestra se distribuyen de modo diferencial entre las fases, aquellos componentes que interactúan fuertemente con la fase estacionaria son retenidos y se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil mientras que aquellos componentes que interactúan débilmente son arrastrados con mayor facilidad. Como consecuencia de las distintas movilidades, los componentes de la muestra son separados en señales discretas y bien definidas conocidas como bandas o picos cromatográficos (Skoog, 2005). La cromatografía se puede emplear para la identificación (cromatografía cualitativa), la purificación (cromatografía preparativa) y la cuantificación de las especies separadas. Existen diferentes criterios para clasificar las técnicas cromatográficas, el primero se basa en la forma en cómo la fase móvil y la fase estacionaria se ponen en contacto, cromatografía en plano (papel, TLC) y cromatografía en columna. Desde el punto de vista general la cromatografía en columna se clasifica según el estado físico de la fase móvil, en cromatografía de gases, cromatografía líquida y cromatografía de fluidos supercríticos. La cromatografía líquida se utiliza ampliamente en el análisis de alimentos, productos y componentes naturales como azúcares, grasas, proteínas, aminoácidos, ácidos grasos, ácidos orgánicos, en el control de calidad de aditivos como conservantes, colorantes, saborizantes, edulcorantes, en el etiquetado nutricional como norma para evidenciar la calidad alimenticia, en pruebas residuales de contaminantes como pesticidas, herbicidas, entre otros.

Cromatografía de gases

En la cromatografía de gases (GC) por sus siglas en inglés el criterio de clasificación es el mecanismo de separación involucrado (adsorción y/o solubilidad). En el caso de cromatografía de adsorción sobre fases estacionarias sólidas, se le denomina cromatografía de gases sobre sólidos (GSC). Cuando un líquido es disuelto previamente sobre el soporte sólido para formar la fase estacionaria se llevan a cabo procesos de disolución de los componentes de la muestra en la fase estacionaria. Esta cromatografía de partición es llamada cromatografía de gas líquido (GLC) (Sparkman, 2011; Dettmer, 2014). GLC es la técnica GC más ampliamente usada. Sin embargo, los mecanismos de retención mixtos que involucran tanto la adsorción y la solución puede tener lugar. Para efectuar análisis por cromatografía de gases la muestra líquida al entrar al cromatógrafo debe pasar a la fase de vapor sin perder sus propiedades químicas, en consecuencia, la variedad de muestras a ser analizadas se ve limitada.

Cromatografía líquida

La cromatografía líquida se puede subclasificar según la naturaleza o tipo de interacción del analito con la fase estacionaria (Dong, 2006), dentro de las más conocidas están: la cromatografía en fase normal, fase inversa, fase normal acuosa, exclusión molecular, intercambio iónico y afinidad. La cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y de ultra alta eficiencia (UHPLC) por sus siglas en inglés, forman parte importante de las técnicas más versátiles y ampliamente usadas en el análisis de compuestos orgánicos en las áreas de medicamentos, alimentos, productos naturales, industria química y petroquímica, ambiental, forense, diagnóstico médico, entre otros.

Cromatografía de fluidos supercríticos

Un fluido supercrítico se forma siempre que una sustancia se calienta por encima de su temperatura crítica y ya no puede ser condensada en forma líquida por simple aplicación de presión, por ejemplo el dióxido de carbono es un fluido supercrítico a temperaturas mayores de 31 °C. En este estado, las moléculas de dióxido de carbono actúan de manera independiente como en un gas. La cromatografía de fluidos supercríticos (SFC) en la que la fase móvil es un fluido supercrítico, es un híbrido de la cromatografía líquida y de gases combinando algunas de las mejores características de cada una. Utiliza columnas empaquetadas de HPLC y una fase móvil de fluidos supercríticos presurizados (por ejemplo, dióxido de carbono modificado con un disolvente orgánico polar). Útil para analitos no polares y aplicaciones preparativas donde los materiales purificados se pueden recuperar fácilmente evaporando el dióxido de carbono. Se utilizan a menudo bombas para HPLC y detectores clásicos para GC.

Técnicas espectroscópicas

Los acoplamientos de la espectrometría de masas (MS) con otras técnicas (hyphenated) como la cromatografía (GC-MS, LC-MS), la resonancia magnética nuclear (NMR-MS) (Heise, 2013; Carbajo, 2013). y con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) entre otros, son áreas de rápido crecimiento debido al enriquecimiento y mejoras en la robustez, aumento de rendimiento, sensibilidad, precisión y selectividad para el análisis de casi cualquier producto (Reichenbacher, 2011).

Espectrometría de masas acoplada a la cromatografía

Desde finales del siglo pasado se ha hecho más frecuente el uso de la espectrometría de masas como sistema de detección acoplado a los cromatógrafos de gases y a los cromatógrafos líquidos, ampliando el abanico de opciones y capacidades de análisis en estas técnicas. La espectrometría de masas con su excelente sensibilidad y selectividad emerge como una de las más poderosas técnicas de análisis (Gross, 2011). Las dificultades solventadas en el acoplamiento de ambas técnicas fueron el desarrollo de la interfase, la ionización de los analitos y la desolvatación de los mismos para ser introducidos con alto vacío al selector de masas. En consecuencia, MS se puede utilizar para la caracterización estructural, identificación y detección sensible de mezclas de biomoléculas o para evaluar la calidad de proteínas aisladas (pureza, integridad o modificaciones postraduccionales, por ejemplo), carbohidratos, ácidos nucleicos, fármacos, metabolitos, contaminantes, etc).

Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

Es una técnica rutinaria de análisis inorgánico multielemental e isotópico capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica con una alta sensibilidad aportando resultados con elevada exactitud en la composición elemental de la muestra analizada (Nash, 2008). El ICP deshidrata la muestra, la atomiza, excita los átomos presentes y por último los ioniza; esto se logra gracias a las altas temperaturas, de 6000 a 8000 °K, que alcanza el plasma. El plasma es generado pasando argón a través de la antorcha que se encuentra envuelta por una bobina de radiofrecuencias en uno de sus extremos. Con el suministro de una corriente de RF a la bobina se genera una corriente oscilante dentro de la bobina, que ocasiona un campo magnético de gran intensidad en la salida de la antorcha; una chispa de alto voltaje es aplicada al gas, generando iones de argón los cuales son capturados por el campo magnético transformando el gas en plasma. El sistema de introducción de muestras está conformado por el nebulizador que genera un aerosol a partir de la muestra empleando un flujo de gas que dispersa el líquido en pequeñas gotas, el aerosol entra a la cámara de spray cuya función es permitir que pasen a la zona del plasma las gotas de tamaño adecuado. Como todo sistema acoplado posee una interfase cuya función es permitir el paso de los iones generados por el plasma a la región de las lentes. Esta es el área más crítica de todo el sistema de ICP-MS. El sistema de vacío se

encarga de eliminar las moléculas de gas presentes dentro del espacio que existe entre la interfase y el detector de masas del equipo.

Tratamiento y preparación de muestras en química analítica

La preparación de muestras se ha definido comúnmente como “el proceso de convertir una muestra representativa en una forma adecuada para el análisis químico” (Harris, 2002). El objetivo del tratamiento y preparación de muestras en sistemas biológicos es revelar la estructura molecular real de los analitos de un espécimen biológico mediante herramientas analíticas (Ivanov, 2011). Dado que la buena calidad de la muestra es la base del éxito analítico, la importancia en la preparación de muestras de manera minuciosa y altamente reproducible adquiere relevancia, tomando en cuenta que el resurgimiento de la atención a los problemas de preparación de muestras con respecto al análisis de espectrometría de masas está asociado con algunos de los últimos avances en tecnologías analíticas, principalmente, la amplia disponibilidad comercial de instrumentos de masas precisos, de alta resolución y nuevas formas de ionización y fragmentación de iones que permiten la cuantificación conlleva a la necesidad de mejorar la recuperación reproducible y cuantitativa de los analitos en las muestras. Además, las tendencias recientes para utilizar ensayos de monitorización de reacciones múltiples (MRM) en el análisis cuantitativo de biomarcadores proteicos conocidos han aumentado las exigencias en la recuperación cuantitativa de los analitos y la eficacia de la digestión proteolítica. El rápido progreso en el desarrollo de instrumentos de espectrometría de masas lleva a afirmar que el nivel de interés para la preparación de muestras sistemática, eficaz y reproducible seguirá creciendo en el futuro. Son reconocidos los esfuerzos que varios grupos, consorcios de laboratorios y múltiples organizaciones han dedicado a este objetivo. Es importante mencionar la actual HUPO (Organización del Proteoma Humano), CPTAC (Evaluación de la Tecnología Proteómica Clínica para el Cáncer), ABRF (Asociación de Instalaciones de Recursos Biomoleculares) y SPRG (Grupo de Investigación de Estándares de Proteómica) están tomando iniciativas de mejora y estandarización en la preparación de muestras. Numerosos grupos interlaboratorios de análisis biofarmacéutico e investigación del metabolismo de fármacos también dedican su tiempo y esfuerzo a estandarizar y validar métodos en el manejo de muestras. Sin embargo, con respecto a la estandarización, el mundo de la preparación de muestras biológica para análisis por espectrometría de masas está todavía lejos de ser perfecta. El problema con la variabilidad de resultados entre laboratorios se atribuye con frecuencia a las diferencias en las plataformas analíticas y de análisis de datos, ya no es un secreto que dicha variabilidad significativa también se origina en los métodos de manipulación de muestras. Entre las técnicas de uso frecuente para el tratamiento y preparación de muestras se encuentran las extracciones líquido-líquido, extracciones en fase sólida y la de mayor auge reciente denominada QuEChERS.

Extracciones Líquido-Líquido LLE

La extracción en fase líquida LLE por sus siglas en inglés, es una técnica de extracción basada en la separación de los componentes de una mezcla líquida mediante la transferencia de materia a otro disolvente inmiscible, o parcialmente inmiscible con ella y en el que son solubles los compuestos de interés.

Extracciones Sólido-Líquido SPE

La extracción en fase sólida SPE por sus siglas en inglés, es un método de preparación y tratamiento de muestra que purifica y concentra los analitos presentes en una disolución, por adsorción sobre una fase sólida, seguida por la elución de los analitos con un disolvente apropiado para el análisis instrumental. La purificación consiste en aislar el analito de los compuestos interferentes y de la matriz de la muestra y obtenerlo finalmente por concentración en un pequeño volumen de disolvente.

Tratamiento QuEChERS

Entre todos los procedimientos empleados para la extracción de sustancias orgánicas de alimentos, es importante destacar el método **QuEChERS** (acrónimo del inglés: rápido, fácil, barato, eficaz, robusto y seguro) (Salas, 2019). Este método fue desarrollado originalmente para la extracción de plaguicidas en frutas y verduras, pero ha sido empleado en muchas otras matrices para la extracción de diferentes compuestos. Este método consiste en una extracción con acetonitrilo acidificado con ácido acético, seguido de una partición inducida mediante la adición de una mezcla de sales de sulfato de magnesio anhidro ($MgSO_4$) y cloruro de sodio ($NaCl$). Seguidamente, una alícuota del extracto orgánico se somete a una etapa de limpieza mediante extracción en fase sólida dispersiva (d-SPE) sobre un cartucho con amina primaria secundaria (PSA), carbón grafitizado (GCB) y/o sílica con un ligando C18 (Brondi, 2011).

Aplicaciones de las técnicas de química analítica en acuicultura

Las técnicas revisadas han sido empleadas para dar respuestas a las problemáticas en el ámbito de la seguridad alimentaria y la salud animal, así como en la determinación de la calidad nutricional de organismos con potencialidad para ser incluidos como materias primas en la elaboración de dietas, alimento vivo o bien en su evaluación como nuevo producto para consumo humano. Algunos de los estudios que se pueden señalar son:

- Rayner *et al.* (2015) evaluaron el perfil de ácidos grasos por la técnica GC/MS y de aminoácidos usando HPLC con detector de fluorescencia del copépodo *Pseudodiaptomus annandalei* como insumo potencial para ser usado en la alimentación de larvas de peces.

- Garlito (2019) desarrolló métodos analíticos para la determinación de pesticidas, hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) y bifenilos policlorados (PCBs) en ingredientes, piensos y pescado. Para efectos de la determinación de pesticidas empleó LC-QTOF MS y GC-QTOF MS y en el caso de PAHs y PCBs empleó GCAPCI-MS/MS.
- Alfonso (2008) generó algunos métodos rápidos y accesibles para aislar y detectar toxinas producidas por fitoplancton marino (yessotoxinas), mediante la técnica espectroscopia polarización de fluorescencia. De igual modo analizó muestras de mejillones contaminados con algunas toxinas (lipofílicas, diarreicas y azaspirácidas) con el fin de optimizar un procedimiento para la purificación de éstas mediante LC/MS/MS.
- Choi *et al.* (2016) desarrollaron un método de análisis rápido por GC-MS para determinar pesticidas organoclorados en pescados con alto contenido de grasa, en atención a las exigencias de las industrias ambiental y alimentaria, como corto tiempo de preparación de muestras, uso de poco disolvente y automatización.
- Yoda *et al.* (2020) emplearon ICP-AES, previa descomposición por microondas de las muestras de tejido de ostras, para determinar minerales como zinc, calcio, potasio, sodio, magnesio, dado el interés creciente en el cultivo de ostras y también contribuir con un método de trazabilidad a través del contenido mineral que ayuda a precisar el origen de las ostras, dado que éstos varían con el lugar de cultivo y la estación del año.
- Xu *et al.* (2017) desarrollaron un método para determinar de forma rápida pesticidas endosulfan mediante DLLME acoplada GC-MS en muestras de agua provenientes de una granjas de cultivo de peces, la cual tiene el potencial de ser una herramienta poderosa para el análisis forenses.
- La combinación de algunas de las técnicas descritas permitirá en el proyecto RLA5079 la caracterización de contaminantes como pesticidas por GC-MS, metales pesados mediante ICP-MS, fármacos bioactivos y biotoxinas por HPLC-MS/MS y contaminantes nitrogenados por análisis isotópico, en diversos productos generados por granjas de cultivo, la evaluación del agua que abastece a dichas instalaciones y también cuantificar la entrada de contaminantes de otras actividades agropecuarias y antropogénicas a los sistemas con la evaluación de los piensos suministrados a los organismos cultivados.

Ventajas y desventajas de las técnicas de química analítica

- Análisis químico cualitativo y cuantitativo.
- Alta velocidad de análisis.

- Amplia versatilidad de muestras.
- Alta capacidad del número de análisis.
- Alta sensibilidad.
- Alta reproducibilidad.
- Capacidad de análisis a un amplio rango de concentraciones.
- Recuperación cuantitativa de muestras.
- Versatilidad en la naturaleza de la detección.
- Automatización en el proceso de análisis.
- Costos elevados de los equipos y de algunos componentes.
- Variabilidad entre los resultados de diferentes laboratorios.

CONCLUSIONES

La firma isotópica única de cada sustancia proporciona valiosa información útil en diversas áreas, como flujo de energía e incorporación de macro y micromoléculas que contribuyen al crecimiento y la reproducción, interpretar la fisiología digestiva, trazado de nutrientes y contaminantes en el ambiente, mejoramiento de dietas, detección de productos alimenticios adulterados.

Los alimentos irradiados no adquieren radiactividad. La extensión de su vida útil aumenta las oportunidades de distribución.

Los equipos usados en las técnicas de química analítica se pueden acondicionar para múltiples propósitos; la robustez, sensibilidad, recuperación de muestras, rapidez y su carácter multielemental genera respuestas rápidas y precisas.

El potencial de las técnicas instrumentales disponibles actualmente constituyen una poderosa herramienta en diversos ámbitos, para abordar y resolver problemas de seguridad alimentaria y medioambientales, entre otros.

Agradecimientos

Esta revisión bibliográfica y su difusión forma parte de las actividades de la República Bolivariana de Venezuela como integrante del proyecto ARCAL RLA5079 “Aplicación de técnicas radio-analíticas y complementarias en el seguimiento de contaminantes en la acuicultura”, financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Se agradece a Karla Molina y a James Sasanya por los aportes al manuscrito.

REFERENCIAS

- Adin R., Riera P. (2003). Preferential food source utilization among stranded macroalgae by *Talitrus saltator* (Amphipod, Talitridae): a stable isotopes study in the northern coast of Brittany (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56:91–98. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00124-5](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00124-5).
- AESA. (2004). Aplicación de radiaciones ionizantes a alimentos. Opinión del Comité Científico de la AESA sobre una cuestión presentada por la Presidencia de la AESA, en relación con la aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos. *Revista del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria AESA*, 2: 11-43.
- Anagnostopoulus C., Charalampous A., Balayiannis G. (2015). EI and NCI GC-MS and GC-MS/MS: Comparative Study of Performance Characteristics for the Determination of Pesticide Residue in Plant Matrix. *Chromatographia*. 78: 109 – 118.
- Alan Xu Q. (2012). LC-MS in Drugs Bioanalysis. Springer. Berlin. Germany. 476 pp.
- Aliste A. (1999). Efeito da radiação na viscosidade de carragenanas, agaranas e alginatos utilizados na indústria alimentícia. Tesis de postgrado, Instituto de Energía e Investigación Nuclear, Universidad de São Paulo, São Paulo. 117 pp.
- Alfonso M. (2008). Desarrollo de métodos para el aislamiento y la detección de toxinas marinas en productos de la pesca y la acuicultura. Tesis de postgrado, Facultad de Veterinaria, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo. 141 pp.
- Andrews L., Ahmedna M., Grodner R., Liuzzo J., Murano P., Murano W., Rao R., Shane S., Wilson P. (1998). Food preservation using ionization. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 154: 1-53.
- AOAC. (2007). Official Method 2007.01. Pesticide Residues in Food by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate. Gas Chromatography/Mass Spectrometry and Liquid

Chromatography/Tandem Mass Spectrometry. First Action. AOAC International. 9 pp.

- Aursand M., Mabon F., Martin G. 2000. Characterization of farmed and wild salmon (*Salmo salar*) by a combined use of compositional and isotopic analyses. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77(6): 659–666.
- Badillo D., Viana M. (2015). Isótopos estables ($\delta^{15}\text{N}$) como herramienta para medir la calidad de alimentos comerciales para lobina rayada (*Morone saxatilis*) en jaulas marinas. *Hidrobiológica*, 25 (2): 303-306.
- Barbero L. (2004): Geoquímica de isótopos estables: fundamentos, técnicas y aplicaciones. En: Barbero L., Mata M. (Eds.). Geoquímica isotópica aplicada al medioambiente, Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía, 1: 21-35.
- Barna J. (1979). Compilation of bioassay data on the wholesomeness of irradiated food items. *Acta Alimentaria*, 8: 205–315. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:11538058
- Battistini R., Listorti V., Squadrone S., Pederiva S., Abete M., Mua R., Ciccotelli V., Suffredini E., Maurella C., Baioni E., Orlandi M., Ercolini C., Serracca L. (2020). Occurrence and persistence of enteric viruses, arsenic and biotoxins in Pacific oysters farmed in an Italian production site. *Marine Pollution Bulletin*. 111843. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111843>.
- Boecklen W., Yarnes C., Cook B., James A. (2011). On the use of stable isotopes in trophic ecology. *Evolution and Systematics*, 42:411–440. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144726>.
- Bombero-Tuburan I., Guanzon N., Schroeder, G. (1993). Production of *Penaeus monodon* (Fabricius) using four natural food types in an extensive system. *Aquaculture*, 112: 57–65.
- Brondi S., Macedo A., Vicente G., Nogueira A. (2011). Evaluation of the QuEChERS Methods and Gas Chromatography-Mass Spectrometry for the Analysis Pesticide Residues in Water and Sediments. *Bulletin of Environmental, Contamination and Toxicology*, 86:18-22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0176-9>.
- Cai J., Zhou X. (2019). Contribution of aquaculture to total fishery production: the 50-percent mark. Boletín de acuicultura FAO N° 60: 43-45. (www.fao.org/3/ca5223en/ca5223en.pdf).
- Carbajo R. (2013). NMR for Chemists and Biologists. . Springer. Berlin. Germany. 125 pp.

- Carleton S., Martínez del Río C. (2010). Growth and catabolism in isotopic incorporation: a new formulation and experimental data. *Functional Ecology*, 24 (4):805-812. DOI: [https://doi:10.1111/j.1365-2435.2010.01700.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01700.x).
- Catalano T. (2014). Good Laboratory Practices for Forensic Chemistry. Springer. Berlin. Germany. 82 pp.
- Chemat F. (2014). Alternative Solvents for Natural Products Extraction. Springer. Berlin. Germany. 323 pp.
- Cheung P. (2015). Handbook of Food Chemistry. Springer. Berlin. Germany. 1175 pp.
- Choi, M., Lee, I-S., Jung, R-H., Rapid determination of organochlorine pesticides in fish using selective pressurized liquid extraction and gas chromatography-mass spectrometry, *Food Chemistry* (2016), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.156>.
- Coelho M. (1994). Ecological nutrition: a costly or smart move? *Feedstuffs*, 66(25):13.
- D'Avanzo C., Alber M., Valiela I. (1991). Nitrogen assimilation from amorphous detritus by two coastal consumers. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 33:203–209.
- Dettmer K. (2014). Practical Gas Chromatography. A comprehensive Reference. Springer. Berlin. Germany. 904 pp.
- Dong M. (2006). Modern HPLC for Practicing Scientists. Wiley-Interscience. New Jersey, USA. 306 pp.
- Doucett, R., Booth, R., Power G., McKinley, R. (1999). Effects of the spawning migration on the nutritional status of anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar*): insights from stable-isotope analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(11): 2172–2180.
- Doucett R., Power G., Barton D., Drimmie R., Cunjak R. (1996). Stable isotope analysis of nutrient pathways leading to Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(9): 2058–2066.
- Eggum B. (1979). Effect of radiation treatment on protein quality and vitamin content of animal feeds. In: OIEA (1979). Decontamination of animal feeds by irradiation. Proceedings of an advisory group meeting on radiation treatment of animal feeds (Bulgaria, 17-21 october 1977). Viena. 55-68 pp.

- Encinas A. (2015). Synthesis and characterization of *Kappaphycus* seaweed-poly (acrylic) acid superabsorbent hydrogel for agricultural use. Bibliographic information available from INIS: http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47035644; Available from PNRI library.
- EPA. (2007). Method 8081b. Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography. Second revision. USA. 57 pp.
- EPA. (2016). Method 608. Organochlorine Pesticides and Polichlorinated Biphenyls by GC/HSD. Washington, DC. USA. 61 pp.
- Epp M., Ziemann D., Schell D. (2002). Carbon and nitrogen dynamics in zero-water exchange shrimp culture as indicated by stable isotope tracers. *Aquaculture Research*, 33:839-846.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- FAO/IAEA (2020). Technical Cooperation Projects. Food & Environmental Protection Newsletter 23(1): 18-24.
- FAO/OMS. (2003a). General Standard for Irradiated Foods, CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003. Roma. 3 pp.
- FAO/OMS. (2003b). Código de prácticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación. CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003. Roma. 7 pp.
- FAO/OMS. (2001). Métodos generales para la detección de alimentos irradiados. CODEX STAN 231-2001. Roma. 2 pp.
- FDA. (2011). Fish and fishery products hazards and controls guidance. US Department of Health and Human Services Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition. 468 pp.
- Felip O., Ibarz A., Fernández-Borras J., Beltrán M., Martín-Pérez M., Planas J., Blasco J. (2011). Tracing metabolic routes of dietary carbohydrate and protein in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using stable isotopes [¹³C] and [¹⁵N] protein: effects of gelatinization of starches and sustained swimming. *British Journal of Nutrition* 107: 834-844.
- Fleming T., Nuñez R, Sternberg L. (1993). Seasonal changes in the diets of migrant and non-migrant nectarivorous bats as revealed by carbon stable isotope analysis. *Oecologia*, 94:72-75.

- Franco C., dos Santos V., Silva L., Arthur V., Silva R. (2015). Mutagenic potential of lettuce grown from irradiated seeds. *Sci. Hortic.*, 182:27-30.
- Gamboa-Delgado J. (2009). Application of natural stable isotopes in aquaculture nutrition. Tesis doctorado, Bangor University School of Ocean Sciences College of Natural Sciences, Wales. 170 p.
- Gamboa-Delgado J. (2010). Isótopos estables como trazadores nutricionales naturales en larvas y juveniles de *Litopenaeus vannamei* y *Solea senegalensis*. In: Cruz-Suarez L., Ricque-Marie D., Tapia-Salazar M., Nieto-López M., Villarreal-Cavazos D., Gamboa-Delgado J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. 620-667 pp.
- Gamboa-Delgado J. (2018). Las técnicas isotópicas y sus recientes aplicaciones en las ciencias biológicas. *Biología y Sociedad* 1(1): 99-105.
- Gamboa-Delgado J., Cañavate J., Zerolo, R., Le Vay, L. (2008). Natural carbon stable isotope ratios as indicators of the relative contribution of live and inert diets to growth in larval Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 280: 190-197. <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2008.04.036>
- Gamboa-Delgado J., Fernández-Díaz M., Nieto-López L, Cruz-Suárez L. (2016). Nutritional contribution of torula yeast and fish meal to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural nitrogen stable isotopes. *Aquaculture*, 453:116-121. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.026>.
- Gamboa-Delgado J., Le Vay L. (2009a). Nitrogen stable isotopes as indicators of the relative contribution of soy protein and fish meal to tissue growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed compound diets. *Aquaculture*, 291: 115-123.
- Gamboa-Delgado J., Le Vay L. (2009b). *Artemia* replacement in co-feeding regimes for mysis and postlarval stages of *Litopenaeus vannamei*: Nutritional contribution of inert diets to tissue growth as indicated by natural carbon stable isotopes. *Aquaculture*, 297: 128-135.
- Gamboa-Delgado, J., Molina-Poveda, C., Godínez-Siordia, D., Villarreal-Cavazos, D., Ricque-Marie, D., Cruz-Suárez, L. (2014). Application of stable isotope analysis to differentiate shrimp extracted by industrial fishing or produced through aquaculture practices. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(10):1520-1528. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2004-0005>.

- Gamboa-Delgado J., Rodríguez Montes de Oca G., Román-Reyes J., Villarreal-Cavazos D., Nieto-López M., Cruz-Suárez L. (2017). Assessment of the relative contribution of dietary nitrogen from fish meal and biofloc meal to the growth of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research*, 48: 2963-2972.
- García M., Cruz D., De la Paz N., Rapado M., Beldarraín T. 2014. Influencia de la irradiación gamma en la actividad antimicrobiana de disoluciones y películas de quitosan. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 24 (2): 50-56.
- Garlick P., McNurlan M., Preedy V. (1980) A rapid and convenient technique for measuring the rate of protein synthesis in tissues by injection of 3H-phenylalanine. *Biochemical Journal*, 192: 719–723. <https://doi.org/10.1042/bj1920719>
- Garlito B. (2019). Análisis de compuestos endógenos y exógenos en productos de acuicultura mediante técnicas analíticas avanzadas. Tesis de postgrado, Escuela de Doctorado de la Universitat Jaume I, Castelló de la Plana, España. 289 pp.
- Gao Q., Shin P., Lin G., Chen S., Cheung S. (2006). Stable isotope and fatty acid evidence for uptake of organic waste by green-lipped mussels *Perna viridis* in a poly culture fish farm system. *Mar Ecol Prog Ser*, 317: 273–289.
- Gil L. (2018). Filipinas: las algas tratadas por irradiación aumentan la resistencia del arroz frente a los tifones. *Boletín del OIEA*, septiembre:18-19.
- Guillén V. (2012). Nuevas metodologías cromatográficas para el análisis de compuestos de interés medioambiental y agroalimentario: desarrollos en cromatografía líquida capilar, quiral y bidimensional. Tesis postgrado, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 488 pp.
- González L., Sánchez L. (1992). Las técnicas isotópicas, una herramienta eficaz para el diagnóstico y evaluación de las aguas subterráneas. *Ingeniería Hidráulica*, abril: 64-85.
- Graham C., Harrison S., Harrod C. (2014). Differences in the contributions of dietary water to the hydrogen stable isotope ratios of cultured Atlantic salmon and Arctic charr tissues. *Hydrobiologia*, 721: 45–55.
- Gross J. (2011). *Mass Spectrometry. A Text Book*. Second edition. Springer. Berlin. Germany. 773 pp.
- Hamideldin N., Hussein O.(2009). Response of wheat plants treated with irradiated sodium

- alginate. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 2(1):185-196.
- Heise H. (2013). *Modern NMR Methodology*. Springer. Berlin. Germany. 210 pp.
- Henriques S. 2015. Supercultivos creados en Viet Nam a partir de biopolímeros irradiados. *Boletín del OIEA*, septiembre: 10-11.
- Hiraoka K. (2013). *Fundamentals of Mass Spectrometry*. Springer. Berlin. Germany. 241 pp.
- Hobson K. (1999). Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia*, 120: 314–326.
- Houlihan D., Hall S., Gray C., Noble B. (1988). Growth rates and protein turnover in Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45: 951-964. DOI: <https://doi.org/10.1139/f88-117>.
- Ibarra, C., Pabón, V. (2015). Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución. X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica Buenos Aires, 12 al 17 de abril, 2015 Sociedad Argentina de Radioprotección
- Iturbe J., López B. (2004). Irradiación de alimentos. *Ciencia*, abril-junio:53-62
- IUPAC. (1993). *Nomenclatura para Cromatografía*. Editores Grupo de Cromatografía y Técnicas Afines (R.S.E.Q.). Universidad de Yale. CT. USA. 84 pp.
- Ivanov A. (2011). *Sample Preparation in Biological Mass Spectrometry*. Springer. Berlin. Germany. 1081 pp.
- Jardine T., McGeachy S., Paton C., Savoie M., Cunjak R. 2003. Stable isotopes in aquatic systems: sample preparation, analysis, and interpretation. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, N° 2656. 39 pp.
- Koven W., Parra G., Kolkovski S., Tandler A. (1998). The effect of dietary phosphatidylcholine and its constituent fatty acids on microdiet ingestion and fatty acid absorption rate in gilthead sea bream, *Sparus auratus*, larvae. *Aquaculture Nutrition*, 4:39–45.
- Kuss H., Kromidas S. (2010). Quantification in LC and GC. A Practical Guide to Good Chromatographic Data. *Chromatographia*, 72: 1241 -1242.

- LaChance L., Aslam J., Langer C. (1990). Técnicas nucleares en la agricultura. *Boletín del OIEA*, 3:49-53.
- Langman L. (2012). LC-MS in Drugs Analysis. Methods and Protocols. Springer. Berlin. Germany. 227 pp.
- Lehotay S., Son K., Kwon H., Koesukwiwat U., Fu W. (2010). Comparison of QuEChERS Sample Preparation Methods for the Analysis of Pesticide Residues in Fruits and Vegetables. *Journal of Chromatography A*. 1217: 2548–2560.
- Lefrancq M., Jadas A., La Jeunesse I., Landry D., Payraudeau S. (2017). High Frequency Monitoring of Pesticides in Runoff Water to Improve Understanding of their Transport and Environmental Impacts. *Science of the Total Environment*: 587–588.
- Le Vay L., Gamboa-Delgado J. (2011). Naturally-occurring stable isotopes as direct measures of larval feeding efficiency, nutrient incorporation and turnover. *Aquaculture*, 315:95-103. <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2010.03.033>.
- Ley F. (1979). Application of gamma radiation for the treatment of laboratory animal diets. In: OIEA (1979). Decontamination of animal feeds by irradiation. Proceedings of an advisory group meeting on radiation treatment of animal feeds (Bulgaria, 17-21 october 1977). Viena. 3-11 pp.
- Lima G. (2013). Food Quality, Safety and Technology. Springer. Berlin. Germany. 196 pp.
- Lima-Junior E., Sarto N., Borges M., Correia W., Negreiros A., Ferreira G., Aguiar E., Moraes-Filho M. (2017). Uso da pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*), como curativo biológico oclusivo, no tratamento de queimaduras. *Rev Bras Queimaduras*, 16(1):10-17.
- Maity S., Chakraborty S., Kar S., Panja S., Jean J, Samal A., Chakraborty A., Santra S., Chakraborty N. 2009. Effects of gamma irradiation on edible seed protein, amino acids and genomic DNA during sterilization. *Food Chemistry*, 114: 1237-1244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.001>
- McCutchan J., Lewis W., Kendall C., McGrath C. (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, 102:378–390.
- Milman B. (2011). Chemical Identification and its Quality Assurance. Springer. Berlin. Germany. 294 pp.
- Mitchell, G. (1994). Irradiation preservation of meats. *Food Australia*, 46: 512-517.

- Mohanty B., Mohanty S., Sahoo J. Sharma A. 2010. Climate change: impacts on fisheries and aquaculture. In: Simard S. Climate change and variability. Intechopen Chapter 7. pp. 119-138.
- Mook W. (Ed.). (2002). Capítulo 6 Ecuaciones de desintegración y acumulación radioactiva. En: Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. *Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España IGME. Serie: Guías y Manuales N°1*: 61-66.
- Morais S., Conceição L., Dinis M., Rønnestad I. (2004). A method for radiolabeling *Artemia* with applications in studies of food intake, digestibility, protein and amino acid metabolism in larval fish. *Aquaculture*, 231:469-487. <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2003.09.005>.
- Moretti V., Turchini G., Bellagamba F., Caprino F. (2003). Traceability issues in fishery and aquaculture products. *Veterinary Research Communications*, 27 (1): 497–505.
- Mossel D. (1979). Rationale for the use of ionizing radiation in the elimination of enteropathogenic bacteria from feeds. In: OIEA (1979). Decontamination of animal feeds by irradiation. Proceedings of an advisory group meeting on radiation treatment of animal feeds (Bulgaria, 17-21 october 1977). Viena. 3-11 pp.
- Nash M. (2008). Speciation of Arsenic in Fish Tissues using HPLC Coupled with SERIES 2 ICP-MS. Thermo Scientific. Application Note: 40741. Bremen. Germany. 4 pp.
- Núñez M., Meireles A., Hernández M., Charbonet E. (2016). Las aplicaciones de las técnicas nucleares en la agronomía, como contribución a la formación integral del ingeniero agrónomo. *Nucleus*, (59): 1-4.
- Obi S. (1978). The effects of pelleting and gamma irradiation on the microbial population of animal diets. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe B*, 25: 178-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1978.tb01174.x>.
- OIEA. (1979). Decontamination of animal feeds by irradiation. Proceedings of an advisory group meeting on radiation treatment of animal feeds (Bulgaria, 17-21 october 1977). Viena. 157 pp.
- OIEA. (2000). Irradiation of fish, shellfish and frog legs: a compilation of technical data for authorization and control. IAEA-TECDOC-1158, Viena. 90 pp.
- OIEA. (2015). Manual of good practice in food irradiation: sanitary, phytosanitary and other applications. Technical Reports Series No. 481, Viena. 104 pp.
- OIEA. (2017). Manual de Procedimientos Operativos Normalizados para el Análisis de Residuos de

Medicamentos Veterinarios. Colección cursos de capacitación N°63, Viena. 82 pp.

OIEA (2020a). Proyectos Coordinados de Investigación. En: Alimentación y Agricultura IAEA [en línea]. Viena. Febrero 2021: (<https://www.iaea.org/es/projects/coordinated-research-projects?type=3720&status=5017&topics=3029&page=2>).

OIEA (2020b). Where can you find industrial irradiation facilities? Visit a new online database. In: News IAEA [en línea]. Viena. Febrero 2021: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/la-nueva-base-de-datos-del-oiea-permite-encontrar-centros-de-irradiacion>.

OMS. (1989). La irradiación de los alimentos. Técnica para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos. Ginebra. 92 pp.

Ortega L., Gil L. (2019). Isotope hydrology: an overview. *IAEA Bulletin*, april:4-5.

Pacheco-Vega J., Gamboa-Delgado J., Alvarado-Ibarra A., Nieto-López M., Tapia-Salazar M., Cruz-Suárez L. (2018). Nutritional contribution of fish meal and microbial biomass produced from two endemic microalgae to the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* as indicated by natural stable isotopes. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46: 53-62.

Peterson B., Fry B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 18: 93–320. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.18.110187.001453>.

Phillips D., Eldridge P. (2006). Estimating the timing of diet shifts using stable isotopes. *Oecologia*, 147:95-203.

Pisanello D. (2014). Chemistry of Food: EU Legal and Regulatory Approaches. Springer. Berlin. Germany. 85 pp.

Post D. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83: 703–718.

Power M., Power G., Caron F., Doucett, R., Guiguer, K. (2002). Growth and dietary niche in *Salvelinus alpinus* and *Salvelinus fontinalis* as revealed by stable isotope analysis. *Environmental Biology of Fishes*, 64: 75–85.

Preston N., Smith D., KellaWay D., Bunn S. (1996). The use of enriched¹⁵ N as an indicator of the assimilation of individual protein sources from compound diets for juvenile *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 147: 249-259.

- Príncipe, F. (2009). Efecto de la radiación gamma sobre algunos parámetros de calidad de la porción H&G de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*). Tesis de postgrado, Universidad de Nacional del Sur. 170pp. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/1945>.
- Rayner T., Jørgensen N., Blanda E., Wu C., Huang C., Mortensen J., Hwang J., Hansen B. (2015). Biochemical composition of the promising live feed tropical calanoid copepod *Pseudodiaptomus annandalei* (Sewell 1919) cultured in taiwanese outdoor aquaculture ponds. *Aquaculture*, <https://doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.01.034>.
- Reichenbacher M. (2011). Challenges in Analytical Quality Assurance. Springer. Berlin. Germany. 371 pp.
- Rozanski K., Gonfiantin R. (1990). Isótopos en estudios climatológicos. Boletín del OIEA, 4:9-15. Sáenz N. (2017). Obtención de material colagenoso de escamas de pescado y su esterilización con rayos gamma. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. 64 pp.
- Said N. (1996). Extrusion of alternative ingredients: an environmental and a nutritional solution. *Journal of Applied Poultry Research*, 5: 395-407.
- Salas J., Torrez B., Amaro R., Ibarra C., González I. (2019). Optimization of analytical Method for Simultaneous Determination of Organochlorine and Organophosphorus Pesticides in Quinoa Samples using GC/MS. *Revista Ingeniería UC*, 26(3): 297–305.
- Sánchez-Cabeza J., Díaz-Asencio M., Ruiz-Fernández A. (2012). Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ^{210}Pb : modelos, validación y aplicaciones. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena. 118 pp.
- Sauriau P., Kang C. (2000). Stable isotope evidence of benthic microalgae-based growth and secondary production in the suspension feeder *Cerastoderma edule* (Mollusca, Bivalvia) in the Marennes-Oléron Bay. *Hydrobiologia*, 440:317–329.
- Sepúlveda S., García D. (2020). Usos pacíficos de la energía nuclear en la acuicultura. Universitaria, mayo:26-27.
- Skoog D. (2005). Fundamentos de Química Analítica. Octava edición. International Thomson Editores S.A. D.F. México. 1253 pp.
- Skoog D. (2001). Principios de Análisis Instrumental. Quinta edición. McGraw Hill Interamericana.

Madrid, España. 1024 pp.

Sparkman O. (2011). Gas Chromatography and Mass Spectrometry. A Practical Guide. Second edition. Elsevier Inc. California, USA.

Tacon A. (1989). Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. FAO, Manual de Capacitación, Documento de Campo No4, Roma. 459 pp.

Tacon A., Dominy W., Pruder G. (1998). Tendencias y retos globales de los alimentos para el camarón. pp 1-27. En: Civera-Cerecedo R., Pérez-Estrada C., Ricque-Marie, D., Cruz-Suárez, L. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. México (noviembre 1998).

Tonheim S., Espe M., Raae A., Darias M., Rønnestad I. (2004). In vivo incorporation of [U]-¹⁴C-amino acids: an alternative protein labelling procedure for use in examining larval digestive physiology. *Aquaculture*, 235:553-567. <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2003.12.015>

Torres Z., Vivanco G., Bernuy K. (1999). Eliminación de *Vibrio cholerae*, El Tor, en colas de langostinos (*Penaeus vannamei*) empleando radiación ionizante. Instituto Peruano de Energía Nuclear. IPEN - TR – 070. 12 pp.

Uzcátegui J., Araujo Y., Mendoza L. (2011). Residuos de Plaguicidas Organoclorados y su Relación con Parámetros Físico-Químicos en Suelos del Municipio Pueblo Llano, Estado Mérida. *Bioagro* 23(2): 115-120.

Valladares S., Planas M. (2021). Nutrient incorporation in first feeding seahorses evidenced by stable carbon isotopes. *Aquaculture*, 11 (470): 1-12. <https://doi.org/10.3390/aqu11020470>.

Verschoor A., Boonstra H., Meijer T. (2005). Application of stable isotope tracers to studies of zooplankton feeding, using the rotifer *Brachionus calyciflorus* as an example. *Hydrobiologia*, 546: 535–549.

Waters Corp. (2008). Oasis Sample Preparation. Application Notebook. 720000609EN. Waters Corporation. TM.Mass. USA. 84 pp.

Wen B., Gao Q., Dong S., Hou Y., Yu H. (2016). Utilization of different macroalgae by sea cucumber *Apostichopus japonicus* revealed by carbon stable isotope analysis. *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 171–178.

- Wahyono T., Wahyu S., Sugoro I. (2018). Low irradiation dose for sorghum seed sterilization: hydroponic fodder system and in vitro study. *Buletin Peternakan* 42(3): 215-221. <http://doi:10.21059/buletinpeternak.v42i3.30888>.
- Xu F., Liu L., Wei W., Xu R. (2017). Determination of five endosulfan pesticides in the fish pond water by dispersive liquid–liquid microextraction combined with GC–MS. *Forensic Sciences Research*: 1-16. <http://dx.doi.org/10.1080/20961790.2016.1278111>.
- Yoda T., Ichinohe S., Yokosawa Y. (2020). Rapid analysis of minerals in oysters using microwave decomposition and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Aquaculture Reports* 19(2021): 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100585>.
- Yokoyama H., Abo K., Ishihi Y. (2006). Quantifying aquaculture-derived organic matter in the sediment in and around a coastal fish farm using stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Aquaculture*, 254: 411-425.



Influência do sistema de cultivo nos índices fagocíticos de Jundiá (*Rhamdia quelen*, Quoy & Gaimard, 1824)

Influence of the rearing system on phagocytic indexes of de Jundiá (*Rhamdia quelen*, Quoy & Gaimard, 1824)

Renata Stecca-lunes, André Luiz Veiga Conrado, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva.

Laboratório de Histofisiologia Evolutiva. Departamento de Biologia Celular e do Desenvolvimento. Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB/USP). São Paulo, Brasil.

 **Renata Stecca lunes** () E-mail: riunes@gmail.com

RESUMO | O consumo de peixes vem crescendo desde 1961. De fato, o setor pesqueiro é essencial para prevenir a fome e a desnutrição em todo o mundo, e emprega milhões de pessoas, ajudando no combate à pobreza. No entanto, este setor tem seus desafios. Os estoques de peixes estão sendo explorados além da sustentabilidade biológica, com doenças e riscos de biossegurança para a produção e danos ao meio ambiente e aos ecossistemas. Há uma necessidade clara de melhorar a piscicultura com o mínimo de impacto ambiental. Sistemas heterotróficos e aquapônicos estão sendo utilizados para atender a essas necessidades. No entanto, fatores ambientais podem afetar o sistema imunológico dos peixes criados nesses sistemas. É fundamental entender como esses sistemas afetam a função imunológica para evitar riscos potenciais e a quebra desses métodos de produção. Avaliamos os efeitos desses sistemas nos índices fagocíticos dos peixes. Os jundiás foram criados em sistema recirculados (controle), heterotrófico e aquapônico. Os índices fagocíticos dos monócitos foram avaliados no início e no final do cultivo. No final do experimento, o índice fagocítico foi menor apenas no sistema recirculado. Enquanto a capacidade fagocítica foi menor em todos os sistemas. Mostrando que os sistemas heterotróficos e aquapônico são uma tecnologia promissora para a produção de peixes para atender às necessidades nutricionais com um impacto ambiental mínimo.

Palavras-chave: Índices fagocíticos, *Rhamdia quelen*, aquapônico, heterotrófico.

ABSTRACT: Fish consumption has been growing since 1961. Indeed, fisheries sector is essential to prevent hunger and malnutrition around the world, and employs millions of people, helping against poverty. However, this sector has its challenges. Fish stocks are being depleted beyond biological sustainability, with diseases and biosecurity risks to production and harm to the environment and ecosystems. There is a clear need to improve fish farming with minimum environmental impact. Heterotrophic and aquaponics systems are being utilized and modified to address these needs. However, environmental factors can affect fish's immune systems raised in these systems. It is critical to understand how these systems affect immune function to prevent potential hazards and breakdown of these production methods. We evaluated effects of these systems on fish phagocytic indexes. Jundias were reared in a recirculating (control), heterotrophic and aquaponic systems. Phagocytic indexes of monocytes were evaluated at the beginning and end of the experiment. At the end of experiment the phagocytic index were lower only at the recirculating system. While the phagocytic capacity was lower in all systems. Showing that

heterotrophic and aquaponic systems are a promising technology for fish production to meet nutritional needs with a minimal environmental impact.

Keywords: phagocytic indexes, *Rhamdia quelen*, aquaponic, heterotrophic.

INTRODUÇÃO

Para suprir a crescente demanda de pescado, a criação de peixes mais que dobrou em volume entre 1987 e 1997 (Naylor *et al.*, 2000). Estima-se que, em 2025, 52% da produção do pescado será suprida pela aquicultura (FAO, 2006).

O aumento da produção de pescado aliado ao manejo periódico, mudanças bruscas de temperatura, má nutrição e baixa qualidade de água contribuem para causar estresse e imunossupressão nos peixes. A imunossupressão aumenta os riscos de infecção deixando a aquicultura vulnerável a surtos de doenças e quebra de produção (Reverter *et al.*, 2014). Os sistemas utilizados para criação em pequena e média escala são a aquaponia e o sistema heterotrófico, além do sistema recirculado.

Os sistemas heterotróficos, ou bioflocos, e a aquaponia são dois sistemas de cultivo que visam a diminuição do impacto ambiental da aquicultura. O sistema heterotrófico foi desenvolvido nos Estados Unidos a partir da década de 1990 (Browdy *et al.*, 2001) que se consiste em um sistema com altas densidades de estocagem sem renovação de água maximizando a biossegurança e minimizando os impactos ambientais causados pela aquicultura (Avnimelech, 2011). No sistema heterotrófico há melhora na qualidade de água, diminuição da introdução de patógenos, com estímulo do sistema imune e aumento de sua resistência às doenças (Mansour e Esteban, 2017). A aquaponia integra aquicultura com hidroponia, usando equipamento e métodos tanto da aquicultura como da hidroponia (Santos, 2016). O interesse na aquaponia vem crescendo não só por sua sustentabilidade, como, por seu potencial em economizar água, permitir o fornecimento de alimentos todo o ano e de seu potencial para ser implantado próximo ou em centros urbanos (Santos, 2016).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade fagocítica de macrófagos peritoneais de juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* criados nos sistemas recirculado, aquapônico e heterotrófico após seis meses de cultivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Animais e sistemas de cultivo

O presente projeto foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Instituto de Ciências Biomédicas (Universidade de São Paulo) (CEUA-ICB/USP) sob o CEUA nº 8118271118.

Trinta e seis juvenis de Jundiá (*Rhamdia quelen*) foram adquiridos da Piscicultura Dinamarca LTDA, São Paulo/SP, mantidos no biotério de animais aquáticos e arraçoados uma vez ao dia (3% do peso vivo) com ração para peixes onívoros (Ração Peixe Juvenil 360-AM, AMICIL S/A, Brasil) com 36% de proteína bruta e com mínimo de 4600 kcal/kg.

Os sistemas foram compostos por 3 tanques cada tanque com 4 animais, os peixes foram distribuídos aleatoriamente entre os tanques. O sistema recirculado (Fig. 1) tinham 3 tanques com saída interligadas a um cano que levava ao filtro onde a água do tanque passava por filtração mecânica (feita por argila expandida e perlon), filtração química (carvão ativado) e filtração biológica. A água era bombeada novamente para os tanques por uma bomba de 540 L/h e mangueiras ligadas por torneiras. A água de cada tanque era trocada totalmente a cada 1 hora. Foram colocados arejadores com pedras porosas para oxigenar a água.



Figura 1. Sistema recirculado. A. Os três tanques do sistema recirculado com suas identificações 1,2 e 3, a caixa sem identificação é o filtro. B. Detalhe de um dos tanques mostrando a saída de água (seta) e a entrada de água (cabeça de seta). C. detalhe do filtro.

No sistema de aquaponia (Fig. 2) uma bomba de 600L/h bombeava a água do tanque de peixes para a caixa de cultivo de alfaces. A caixa de cultivo de alfaces tinha um sifão do tipo sino por onde a água

caia no tanque de cultivo de peixes ajudando na aeração dela. A caixa de cultivo foi preenchida de argila expandida que servia de suporte para os alfaces e local de colonização das bactérias nitrificantes. Arejadores e pedras porosas também foram usados para oxigenação da água. As alfaces foram adquiridas no CEAGESP e colocados nas caixas de cultivo no mesmo dia que os peixes foram distribuídos nos sistemas.



Figura 2. Tanque de aquaponia. A. Tanque de aquaponia com as caixas de cultivo suspensas. B. Detalhe da caixa suspensa pronta para receber as alfaces. C. Detalhe da caixa suspensa já com as alfaces.

Para o sistema heterotrófico (Figura 3) após a colocação dos peixes nos tanques, foram adicionadas bactérias probióticas (*Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium* e *Lactobacillus acidophilus*) e prebióticos (metionina, lisina, vitamina C, vitamina E, colina, mananoligossacarídeo e dextrose) (DB Aqua, Imeve, Jaboticabal/SP, Brasil), seguindo-se as especificações dos fabricantes, para a formação do bioflocos. Todos os dias melão (3% da ração fornecida) foi adicionado a água, como fonte de carbono, para ajudar na manutenção do bioflocos. Arejadores e pedras porosas fazem a oxigenação da água.



Figura 3. Sistema heterotrófico. A. 2 dos tanques do sistema heterotrófico. B. Detalhe de um dos tanques heterotróficos aberto. C. Bioflocos decantados.

Durante o cultivo a retirada de material orgânico foi realizada por sifonagem do fundo dos tanques recirculados em dias alternados e quando necessários os de aquaponia também. A água evaporada dos tanques era resposta quando necessário.

Qualidade da água

Para avaliar a qualidade da água foram aferidos os seguintes parâmetros: nitrito, amônia total e amônia tóxica, oxigênio dissolvido e pH, com kits comerciais (Alcon Pet, Camboriú/SC, Brasil), e temperatura com termômetros para aquários.

Durante a aclimação e até os sistemas estabilizarem a avaliação da água foi feita diariamente. Após a estabilização dos sistemas a aferição da qualidade da água foi feita semanalmente. Sempre que se observou qualquer parâmetro próximo aos níveis tóxicos 1/3 da água do taque era trocada.

Coleta de material

Todo e qualquer animal manipulado experimentalmente foi previamente anestesiado com benzocaína (*Benzocaine, Sigma-Aldrich, Saint Louis/MO, Estados Unidos*), diluída em etanol puro (1:5) para melhor diluição do anestésico na água, a 40 ppm (Cunha da Silva *et al.*, 2005).

Para o lavado celomático 1,5 ml de PBS filtrado mais 1,5ml de ar foi injetado na cavidade celomática com uma seringa de 3mL acoplada a um cateter de 19x0,7 mm (24G) (o cateter não foi removido), o abdômen do animal foi massageado por 2 minutos e foi retirado o máximo de PBS possível (Afonso *et al.*, 1997), para os ensaios de fagocitose.

Fagocitose e índices fagocíticos

Alíquotas de 200 µL da suspensão de células do lavado celomático foram colocadas sobre lamínulas de vidro redondas, em placa de cultura de 24 poços. Após 2 horas em câmara úmida, os poços foram lavados com tampão PBS para a remoção das células não aderidas, posteriormente foi adicionada uma suspensão de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* em meio de cultura na concentração de 10 leveduras por macrófago.

Após 2 horas em câmara úmida à temperatura ambiente, o meio de cultura foi descartado, os poços foram lavados com PBS e as lamínulas fixadas com metanol, coradas com Rosenfeld. A fagocitose foi quantificada sob microscopia de luz em campo claro, com objetiva de 40X (microscópio Standard 25 ICS- Carl Zeiss[®]). Foram contadas 100 células. E os índices de fagocitose foram calculados através das seguintes fórmulas:

$$\text{Capacidade Fagocítica: CF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de macrófagos fagocitando}}{\text{N}^\circ \text{ de macrófagos totais}}$$

$$\text{Índice Fagocítico: IF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de leveduras fagocitadas}}{\text{N}^\circ \text{ de macrófagos fagocitando}}$$

Análise estatística

Todos os dados foram analisados utilizando-se o pacote estatístico *GraphPad Prism 6.0* (*GraphPad, USA*) com testes paramétricos (teste t e de Tukey) e não paramétricos (Kruskal-Wallis) com nível de significância de 95%.

RESULTADOS

Qualidade da água

A média e desvio padrão dos parâmetros da água se encontram na Tabela 1. Todos se encontram dentro do padrão para a espécie (Gomes *et al.*, 2000).

Tabela 1. Parâmetros da água dos tanques de criação de juvenis de jundiás *R. quelen* mantidos nos sistemas recirculado, aquaponia e biofloco.

	pH	Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (ppm)	Nitrito (ppm)	Amônia Total (ppm)	Amônia Tóxica (ppm)
Tanque de adaptação	7,3±0,13	22,8±2,1	8,6±1,2	1,5±1,2	1,1±1,2	0,009±0,007
Tanque 1 (Recirculado)	7,1±0,21	21,9±2,6	5,6 ±1,0	0,66 ±0,6	0,24±0,43	0,002±0,003
Tanque 2 (Recirculado)	7,1±0,21	22,3±3,21	5,5 ±1,3	0,64±0,56	0,16±0,24	0,001±0,002
Tanque 3 (Recirculado)	7,1±0,28	22,1±2,9	5,2 ±1,3	0,72±0,6	0,12±0,17	0,001±0,001
Tanque 4 (aquaponia)	7,5±0,1	23,7±2,7	5,5±1,1	0,2±0,2	0,04±0,01	0,0006±0,001
Tanque 5 (Aquaponia)	7,5±0	23,2±2,2	5,9±1,1	0,2±0,2	0,04±0,09	0,0005±0,001
Tanque 6 (Aquaponia)	7,5±0	23,2±2,2	5,9±1,1	0,2±0,2	0,04±0,09	0,0005±0,001
Tanque 7 (Heterotrófico)	7,0±0,46	24,1±3,10	5,2±1,7	0,2±0,2	0,2±0,2	0,001±0,002
Tanque 8 (Heterotrófico)	7,0±0,47	23,2±2,77	5,3±2,0	0,3±0,87	0,1±0,23	0,0008±0,002
Tanque 9 (Heterotrófico)	7,2±0,27	23,1±2,59	5,2±1,6	0,2±0,72	0,09±0,17	0,0007±0,001

Índices fagocíticos

Tanto o índice fagocítico quanto a capacidade fagocítica dos cultivos variaram após seis meses de cultivo. Para o índice fagocítico, os macrófagos de jundiás mantidos nos sistemas recirculado e aquapônico fagocitaram um menor número de leveduras ($p < 0,001$), porém com menor eficiência demonstrada pela menor capacidade fagocítica em todos os sistemas ($p < 0,001$) (Figura 4).

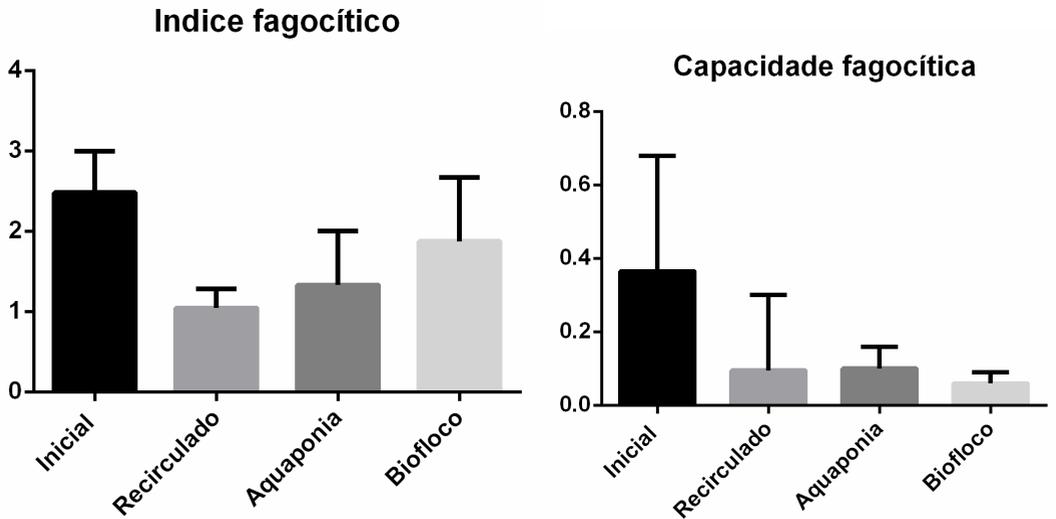


Figura 4. Índice fagocítico e capacidade fagocítica de macrófagos peritoneais de jundiás *R. quelen* criados em sistemas recirculado, aquapônico e biofloco.

DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação da fagocitose por macrófagos peritoneais mostram que os sistemas de criação têm efeitos diretos sobre o sistema imunológico dos Jundiás, excetuando-se o sistema biofloco/heterotrófico. Desta forma, o sistema heterotrófico mantém o sistema imunológico apto a responder rapidamente a agentes patogênicos e com alta eficiência.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o sistema heterotrófico mantém a atividade dos macrófagos peritoneais mais elevada, com conseqüente proteção contra patógenos.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Ministério da Educação, Governo Brasileiro, código de financiamento 001.

REFERENCIAS

- Antônio, A., Ellis, A.E. and Silva, M.T. (1997). The Leucocyte Population of the Unstimulated Peritoneal Cavity of Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*). *Fish and Shellfish Immunology*, 7(5): 335–48. <https://doi.org/10.1006/jfsim.1997.0089>
- Avnimelech, Y. (2011). BIO-FLOCS TECHNOLOGY: Basics and New Developments. World Aquaculture. Natal. <https://www.was.org/WASMeetings/meetings/SessionAbstracts.aspx?Code=WA2011&Session=39>
- Browdy, C.L., Bratvold, D., Stokes, A.D. and McIntosh, R.P. (2001). Perspectives on the Application of Closed Shrimp Culture Systems. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, edited by C.L. Browdy and D.E. Jory, 20–30.
- Cunha da Silva, J.R.M., Cooper, E.L., Sinhorini, I.L., Shimada Borges, J.C., Jensch-Junior, B.E., Ribeiro Porto-Neto, L., Hernandez-Blazquez, F.J., Cossermelli Vellutini, B., Nogueira Pressinotti, L., and Azevedo Costa-Pinto, F. (2005). Microscopical Study of Experimental Wound Healing in *Notothenia Coriiceps* (Cabeçuda) at 0 Degrees C. *Cell and Tissue Research*, 321(3):401–410. <https://doi.org/10.1007/s00441-005-1139-z>
- FAO. (2006). FAO Fisheries Circular No . 1018 Use of Fishery Resources as Feed Inputs to Aquaculture Development: Trends and Policy Implications. *Water Resources*, 1018 (1018):114. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/a0604e/a0604e00.pdf>
- Gomes, L.C., Golombieski, J.I., Chippari Gomes, A.R., and Baldisserotto, B. (2000). Biologia Do Jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). *Ciência Rural*, 30(1):179–85. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000100029>
- Mansour, A.T., and Esteban, M.A. (2017). Effects of Carbon Sources and Plant Protein Levels in a Biofloc System on Growth Performance, and the Immune and Antioxidant Status of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*, 64:202–209. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>
- Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. and Troell, M. (2000). Effect of Aquaculture on World Fish Supplies. *Nature*, 405(6790):1017–1024. <https://doi.org/10.1038/35016500>
- Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B. and Sasal, P. (2014). Use of Plant Extracts in Fish Aquaculture as an Alternative to Chemotherapy: Current Status and Future Perspectives.

Aquaculture, 433:50–61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048>.

Santos, M.J.P.L.D. (2016). Smart Cities and Urban Areas — Aquaponics as Innovative Urban Agriculture. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20:402–406. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.004>.



Uso del extracto del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), como anestésico para el manejo de juveniles de peces marinos

Use of clove extract (*Syzygium aromaticum*), as an anesthetic for the management of juvenile marine fish

Jesús F. Marcano Moreno, Jesús F. León Rojas

Departamento de acuicultura. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad de Oriente. Venezuela.

 Jesús F. Marcano Moreno () E-mail: jesusmarcano97@gmail.com

RESUMEN | En el siguiente trabajo se probó un extracto del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) como anestésico en juveniles del pargo ceibal (*Lutjanus analis*) y del sargo rayado (*Archosargus rhomboidalis*). Se tomaron los tiempos de inducción y de recuperación en tres concentraciones distintas del extracto, en cada una de las especies de peces. Las dosis del extracto del clavo de olor *S. aromaticum*, en juveniles del pargo ceibal *L. analis*, fueron de 0,4; 0,7 y 1 ml/l respectivamente. Mientras que en el sargo rayado *A. rhomboidalis* se usaron las concentraciones de 0,2; 0,45 y 0,7 ml/l. Todas las dosis del extracto lograron que los peces alcanzaran la Fase II de la inducción. La concentración de 0,4 ml/l del extracto del *S. aromaticum* fue la más eficaz en *L. analis*; mientras que para el *A. rhomboidalis* fue la de 0,2 ml/l. No se presentó mortandad en los peces durante ni después de la experiencia; corroborando a *S. aromaticum* como anestésico natural para la manipulación de peces marinos en la acuicultura.

Palabras clave: Anestésico, peces, eugenol, acuicultura.

ABSTRACT | In the following work, an extract of clove (*Syzygium aromaticum*) was tested as an anesthetic in juveniles of ceibal snapper (*Lutjanus analis*) and striped bream (*Archosargus rhomboidalis*). Induction and recovery times were taken in three different concentrations of the extract, in each of the fish species. The doses of the extract of the clove *S. aromaticum*, in juveniles of the ceibal snapper *L. analis*, were 0.4; 0.7 and 1 ml/l respectively. While in striped seabream *A. rhomboidalis* the concentrations of 0.2; 0.45 and 0.7 ml/l. All doses of the extract made the fish reach Phase II of induction. The concentration of 0.4 ml/l of the *S. aromaticum* extract was the most efficient in *L. analis*; while for *A. rhomboidalis* it was 0.2 ml/l. There was no mortality in the fish during or after the experience; corroborating *S. aromaticum* as a natural anesthetic for the handling of marine fish in aquaculture.

Keywords: Anesthetic, fish, eugenol, aquaculture.

INTRODUCCIÓN

En la acuicultura se aplican operaciones rutinarias que implican la manipulación de los organismos, tales como captura, transporte, clasificación entre otros; que cada vez son más intensivas, ya sean por espacio, densidad de siembra u otros (García *et al.* 2002; Boijink 2012; Vázquez 2013). Desde hace más de diez décadas se han utilizado anestésicos químicos como la Benzocaína y el MS-222. utilizados comúnmente para el manejo de peces, causan efectos secundarios e indeseables debido a que son tóxicos (Moyano 1997).

El clavo de olor *Syzygium aromaticum*, que es una especie perteneciente al Reino Plantae de la división Magnoliophyta y pertenece a la familia *Myrtaceae*, la cual se caracteriza por habitar en ambientes principalmente tropicales, con un uso muy extendido a nivel mundial, se cultiva en Brasil, India, Kenia, Madagascar, entre muchos otros países (Celis 2010). (Aguilar *et al.* 2013 y Martínez 2018) señalan que el clavo de olor puede contener el anestésico eugenol entre 70 y un 85,96%.

Con respecto a los peces que se seleccionaron para esta investigación, uno de los géneros más representativos dentro la familia *Lutjanidae*, es el *Lutjanus*. A este grupo pertenece el *Lutjanus analis*, conocido en Venezuela como el pargo ceibal. Esta especie es eurihalina y euritrópica. Se encuentra distribuida por el océano Atlántico hasta el sureste de Brasil. Se alimentan de peces, crustáceos y moluscos (Allen 1985; Cervigón y Ramírez 2012).

A su vez *Archosargus rhomboidalis*, conocido en las costas del Caribe como sargo rayado, pertenece a la familia *Sparidae*. Esta especie se encuentra distribuida en la parte oriental del Golfo de México, el Golfo de Venezuela hasta las costas de Brasil. Los individuos de esta especie son de aguas poco profundas. Están bien adaptados a los fondos blandos de los manglares y a fondos de arena con vegetación. Se alimentan de moluscos y crustáceos, así como algas (Carpenter 1978; Cervigón y Ramírez 2012).

En este trabajo se llevó a cabo un extracto de clavo de olor como anestésico alternativo para peces marinos, en este sentido esta investigación podría constituir un aporte en la acuicultura marina. Como objetivo se determinó la concentración más eficaz del extracto del clavo de olor *S. aromaticum*, como anestésico natural en juveniles del pargo ceibal *L. analis* y del sargo rayado *A. rhomboidalis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del anestésico

Se recolectó el clavo de olor *S. aromaticum*, se colocó en una bandeja de aluminio los botones del clavo de olor y se llevó a desecación en una estufa a 40°C por 24 horas. Una vez seco los botones, se trituraron con

un mortero. Se le agregó etanol al 96% a una proporción 1:6 (vegetal: alcohol, en peso/peso). Luego se filtró la mezcla hasta obtener el extracto y se almacenó en frascos color ámbar hasta su uso como anestésico en los juveniles de los peces (Figura 1).

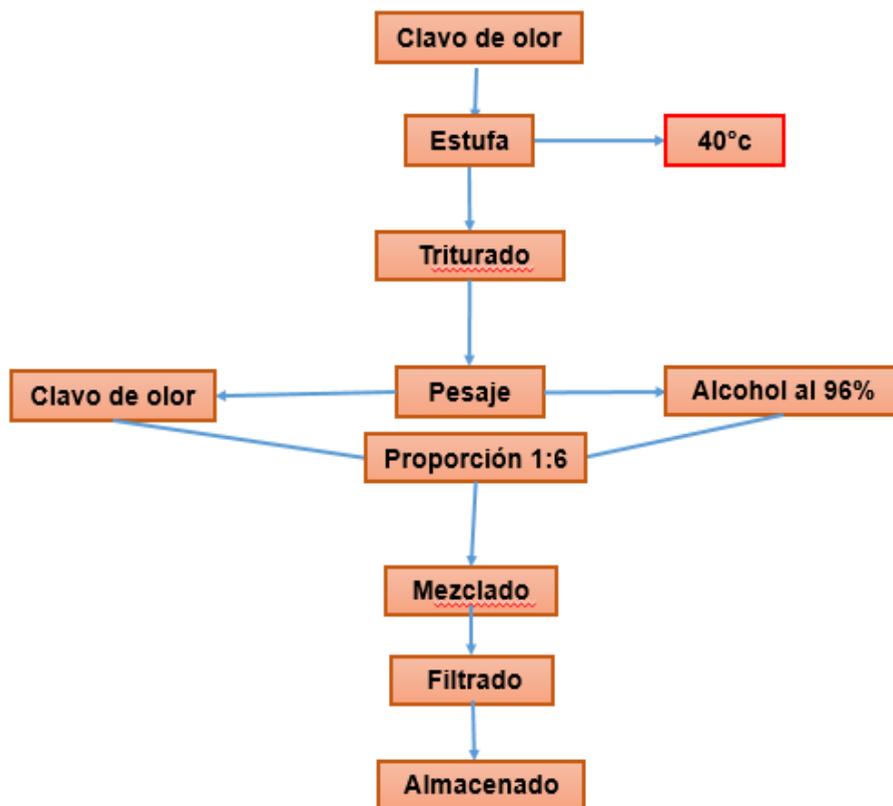


Figura 1. Método de extracción del clavo de olor (*S. aromaticum*)

Captura y mantenimiento de los peces

La zona de captura de los peces fue cerca de la entrada de la Laguna de La Restinga, en las adyacencias de la UDO-ECAM. Para obtener los individuos se utilizaron dos tipos de artes de pesca: las redes del tipo chinchorro en la parte somera y nasas con carnada sumergidas a 2 m de profundidad, durante un período de tres días. Al elevar las nasas se capturaron las especies, tanto los juveniles del sargo rayado *A. rhomboidalis* (Fig. 2A); como del pargo ceibal *L. analis* (Fig. 2B) y se seleccionaron los individuos de tamaños similares. Los ejemplares fueron trasladados a las instalaciones del IIC-UDO y se aclimataron

con el agua de un tanque de cultivo acondicionado de 20 m³, para posteriormente ser liberados cuidadosamente en él. Se hizo un seguimiento del comportamiento de los peces durante toda la experiencia práctica. Se realizó un recambio de agua diario y se alimentaron con pescado del tipo forraje obtenidos de las adyacencias de la UDO y sardina picada.



Figura 2. A Sargo rayado (*A. rhomboidalis*) B Pargo cebal (*L. analis*)

Concentraciones a utilizar

Se emplearon tratamientos, con el extracto del clavo de olor (*S. aromaticum*), a tres concentraciones de (0,4; 0,7 y 1 ml/l) respectivamente para los juveniles del pargo cebal (*L. analis*) y a tres concentraciones de (0,2; 0,45 y 0,7 ml/l) para los juveniles del sargo rayado (*A. rhomboidalis*).

Colocación del anestésico a los peces

La apreciación a la inducción y a la recuperación se realizó en exposiciones individuales para facilitar la observación de los diferentes estados del efecto de la anestesia, según lo propuesto en la escala (Iwama *et al.* 1989), donde se observó el comportamiento de los peces, registrando los tiempos en segundos que tardan en alcanzar las distintas fases tanto de inducción anestésica como recuperación (I: Pérdida parcial del eje de nado, en equilibrio. Disminución del ritmo opercular; II: Pérdida parcial del equilibrio con nado errático. Disminución del ritmo opercular. Respuesta sólo a fuertes estímulos táctiles o vibratoriales con movimiento huidizo a captura; III: Pérdida total de reflejos a una respuesta a estímulos. Ritmo opercular lento; IV: colapso medular. Suspensión de movimientos operculares).

RESULTADOS

En forma general, en la figura 3 se comparan los tiempos de inducción de las diferentes fases en las tres concentraciones de (0,4; 0,7 y 1 ml/l) para el extracto del clavo de olor *S. aromaticum* en los juveniles del pargo cebal. Además de tiempos promedios de la recuperación.

Los juveniles del pargo cebal a la concentración de (0,4 ml/l) con el extracto del clavo de olor alcanzaron las Fases de inducción I, II, y III, no alcanzaron la Fase IV. Mientras que en las concentraciones de (0,7 y 1 ml/l) si alcanzaron la Fase IV. El tiempo de Recuperación fue mayor en la concentración intermedia no correspondiendo con lo esperado para el tiempo de recuperación de la concentración más alta.

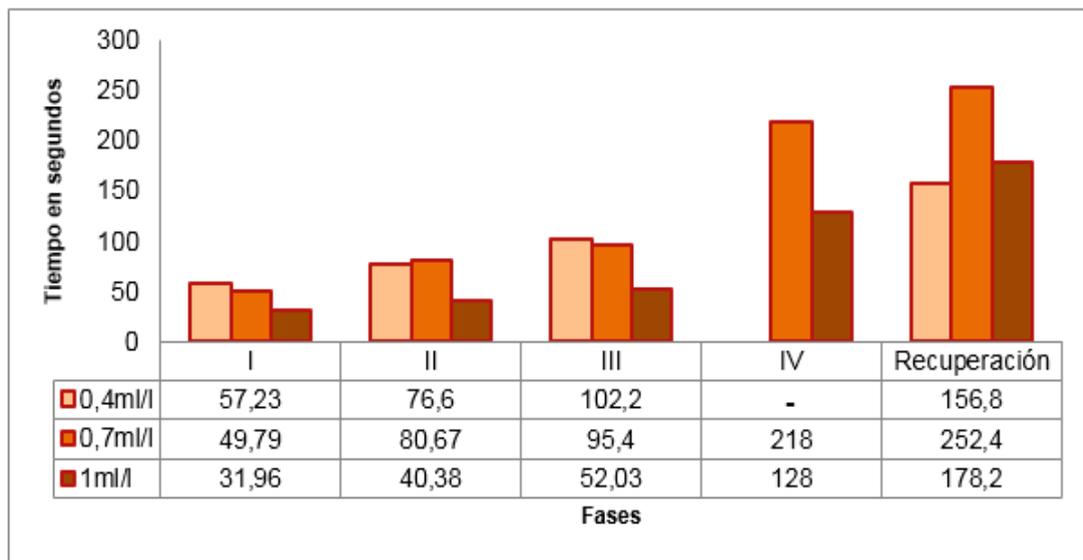


Figura 3. Tiempos de inducción y de Recuperación en juveniles del pargo cebal *L. analis*, expuesto a tres concentraciones del extracto del clavo de olor *S. aromaticum*.

En forma general, en la figura 4 se comparan los tiempos de inducción de las diferentes fases en las tres concentraciones de (0,2; 0,45 y 0,7 ml/l) para el extracto del clavo de olor en los juveniles del sargo rayado. Además de tiempos promedios de la recuperación.

La concentración más baja y la intermedia de (0,2 y 0,45 ml/l) del extracto del clavo de olor en los juveniles del sargo rayado, alcanzaron las Fases de inducción I, II, y III; y no alcanzaron la Fase IV, solo los juveniles de la concentración intermedia de (0,7 ml/l) alcanzaron todas las Fases de inducción, fueron menores en esta experiencia y su Recuperación fue menor en la concentración de (0,45 ml/l) con respecto a las demás concentraciones.

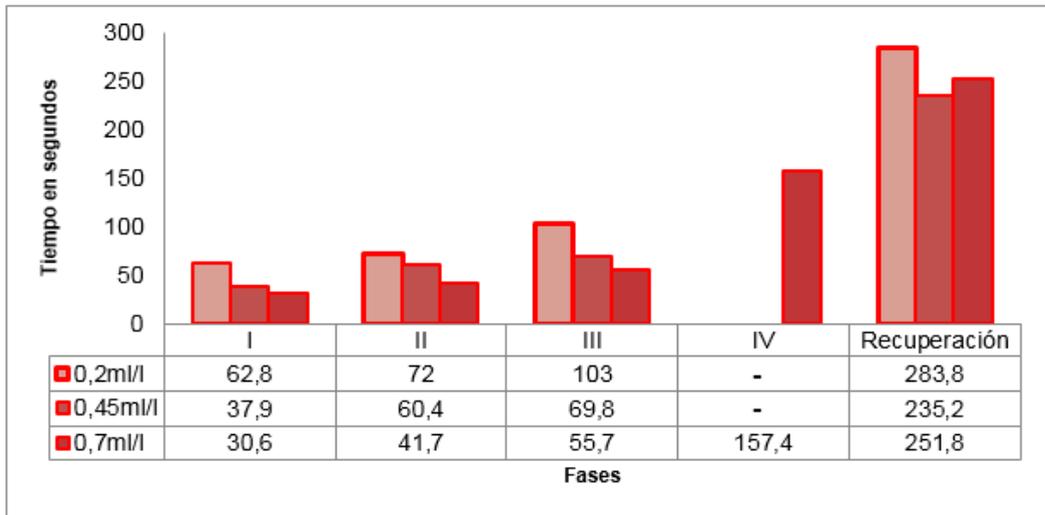


Figura 4. Tiempos de inducción y de Recuperación en juveniles del sargo rayado *A. rhomboidalis*, expuesto a tres concentraciones del extracto del clavo de olor *S. aromaticum*.

DISCUSIÓN

En este trabajo se presentan resultados similares a los obtenidos por otros investigadores utilizando aceite de clavo o eugenol como anestésico en peces. Se puede decir de (Muniz *et al.* 2015), en el que señalaron, que al aumentar la dosis de eugenol de (25; 50 y 75 mg/l) como anestésico en los alevines, juveniles y adultos del pargo rabirubio *Lutjanus synagris* se reduce el tiempo inducción y el tiempo de recuperación es mayor.

Asimismo, Chacón *et al.* (2019) muestran que el tratamiento para los juveniles del pargo manchado *Lutjanus guttatus* con eugenol no alcanzaron la Fase III en la concentración más baja de (25 mg/l); en cambio con la concentración más alta de (250mg/l) si lograron alcanzar la Fase III. El tiempo de recuperación fue mayor a medida que aumenta la concentración.

Álvarez *et al.* (2016) señalan que, con él anestésico de eugenol en juveniles de pavón *Cichla irocoensis*, los tiempos de recuperación para los organismos aumentaron conforme aumentaron las concentraciones de los anestésicos empleados de (20; 30 y 50mg/l). Tampoco refirieron mortandad de los peces después de la inducción.

Se evidencia, en un trabajo de Marín *et al.* (2012) quienes argumentaron que el eugenol también ha sido probado para medir las concentraciones letales en Cachama blanca *Piaractus brachypomus* durante un tiempo de 50 a 96 horas. Las concentraciones más bajas de (8; 12; 15 y 18 mg/l) no muestran conductas fuera de lo común ni señales de que está anestesiado, lo que se presentó fue nado

desorientado. En cambio, las concentraciones altas de (25; 35 y 45 mg/l) muestran una inducción rápida a la anestesia y descenso de manera acelerada hasta que los opérculos se detienen y con ello terminan conduciendo a la muerte.

Asimismo, Llanos y Scotto (2010) reportan que se excedieron a cinco minutos con el eugenol en concentraciones de (100; 125 y 150 mg/l) en el pez espada *Xiphophorus helleri* y no presentaron mortalidad en su experiencia.

CONCLUSIONES

El clavo de olor *S. aromaticum* como anestésico, logró inducir en juveniles del pargo ceibal a la Fase IV con las concentraciones de (0,7 y 1 ml/l); mientras que al sargo rayado logró con la concentración de (0,7 ml/l).

La concentración de (0,4 ml/l) del extracto del clavo de olor *S. aromaticum* fue la más eficaz para los juveniles del pargo ceibal; mientras que para los juveniles del sargo rayado fue la de (0,2 ml/l).

No se presentó mortandad en los juveniles de los peces del pargo ceibal *L. analis* ni del sargo rayado *A. rhomboidalis* con el uso del extracto del clavo de olor *S. aromaticum*; durante ni después de la experiencia.

Agradecimientos

Muchas gracias a la asesoría del Profesor Jesús F. León R. por darme la oportunidad de realizar este trabajo de grado y presentarlo durante la pandemia. De igual manera agradezco a la Ing. Gertrudis Mizrachi por su apoyo incondicional y asesoría en el proceso de elaboración del trabajo. A los Profesores Lisbeth Villarroel y Jaime Guerra por haberme ayudado en la producción de los videos filmados en el laboratorio.

REFERENCIAS

- Aguilar A., López A. (2013). Extractos y de aceite esencial del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos en alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*. 7(2): 35-41.
- Allen G. (1985). FAO species catalogue. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of *Lutjanidae* species known to date. *FAO Fisheries Synopsis*. 125(6): 55-57.

- Álvarez N., Castillo E., Gallardo R., Novoa J., Eslava P. (2016). Eugenol como anestésico para el manejo de juveniles de Pavón (*Cichla orinocensis*). *Orinoquia*. 20(2): 30-33.
- Boijink C. (2012). Productos naturales se convierten en una alternativa para mejorar la piscicultura. [en línea]. Brasil. 01 de enero de 2019: (<https://www.aquahoy.com/i-d-i/nutricion/16465-productos-naturales-se-convierten-en-una-alternativa-para-mejorar-la-piscicultura>).
- Carpenter K. (1978). Sparidae. [en línea] Virginia- U.S.A. 7 de enero de 2019: (<http://www.ibiologia.unam.mx/links/peces/fao/WCAidSheets/Vol%203/y4162e23.pdf>).
- Cervigón F., Ramírez H. (2012). Peces Marinos de las costas venezolanas. 1ra ed. Caracas, Venezuela: editorial arte. pp.296.
- Celis L. (2010). Usos medicinales del clavo de olor (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr.et Perry). [en línea]. México. 03 de marzo de 2019: (<http://www.tlahui.com/medic/medic31/clavo.pdf>).
- Chacón J., Carvajal M., Pauletto S., Herrera Á. (2019). Concentración y tiempo máximo de exposición de juveniles del pargo manchado (*Lutjanus guttatus*) al eugenol (*Syzygium aromaticum*). *Revista Ciencias Marinas y Costeras*. 11(1): 9-25.
- García A., De la Gándara F., Raja T. (2002). Utilización del aceite de clavo, *Syzygium aromaticum* L. (Merr. & Perry), como anestésico eficaz y económico para labores rutinarias de manipulación de peces marinos cultivados. *Boletín - Instituto Español de Oceanografía*. 18(1-4): 21-23.
- Iwama K., Mcgeer J., Pawluk M. (1989). The effects of five fish anaesthetics on acid-base balance, hematocrit, blood gases, cortisol, and adrenaline in rainbow trout. *Canadian Journal of Zoology* 67: 2065-2073.
- Llanos C., Scotto C. (2010). Eugenol como anestésico para labores de manipulación de *Xiphophorus helleri* (Heckel, 1848) (*Cyprinodontiformes: Poeciliidae*). *The Biologist (Lima)*. 8: 179-188.
- Marín G., Torres A., Naranjo L., Chacón R., Rondón I. (2012). Concentración letal 50 a 96 horas de eugenol en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Orinoquia*. 16(2): 62-66.
- Martínez A. (2018). Esencia de clavo aceite esencial de clavo *Syzygium aromaticum*. [en línea]. Murcia. 12 de octubre de 2019: (<https://www.esenciaslozano.com/producto/42/esencia-de-clavo-aceite-esencial-de-clavo-syzygium-aromaticum>).
- Moyano A. (1997). Estudio descriptivo de tres productos anestésicos en Salmón del Atlántico (*Salmo*

Salar). Tesis de pregrado Chile: Universidad Austral de Chile. Instituto de Patología Animal Ictiopatología. pp.28.

Muniz R., Bezerra M., Kiyoshi R., Andrade M. (2015). Eugenol como anestésico no manejo de ariacó, *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758), cultivado. *Revista Ciencia Agronómica*. 46(3): 532-538.

Vázquez L. (2013). Bienestar animal en Piscicultura. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*. 7(7): 1-7.



Evaluación de piensos de valor nutritivo mejorado sobre el rendimiento productivo y metabolismo de la lisa (*Mugil cephalus*)

Evaluation of enhanced nutritional feed on growth performance and metabolism in the grey mullet (*Mugil cephalus*)

Isabel Barranco-Ávila¹, Francisca Purificación Martínez-Antequera², Francisco Javier Moyano², Juan Miguel Mancera¹, Juan Antonio Martos-Sitcha¹

¹Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-MAR), Universidad de Cádiz, 11519 Puerto Real, Cádiz, España.

²Departamento de Biología y Geología, Facultad de ciencias experimentales, Campus de Excelencia Internacional del MAR (CEI-MAR), Universidad de Almería, 04120. Almería, España.

✉ Isabel Barranco-Ávila () E-mail: isabelbavila@gmail.com

RESUMEN | En el presente estudio se ha analizado el efecto de la adición de un cóctel enzimático, pensado para la mejora de la biodisponibilidad de compuestos difícilmente digeribles en la dieta de juveniles del mújol (*Mugil cephalus*), sobre el crecimiento y el metabolismo intermediario de los animales cultivados. Los ejemplares fueron alimentados a corto-medio plazo en un diseño factorial (2x2), con dos formulaciones diferentes (F4 y F3) sin suplementar (controles, C) o suplementadas (S), constituyendo así 4 grupos experimentales, en triplicado: i) CF4: Control; ii) SF4: Suplementada; iii) CF3: Control; y iv) SF3: Suplementada. Transcurrido un periodo de alimentación hasta saciedad de 6 semanas, se analizaron diferentes índices biométricos, somáticos y de aprovechamiento del alimento, así como el estado metabólico de los animales, demostrando los resultados obtenidos la existencia de una mejora general en la eficiencia productiva y metabolismo de los animales mediada por la suplementación, especialmente en la dieta F3, como consecuencia de mejoras en la biodisponibilidad de los nutrientes.

Palabras clave: *Mugil cephalus*, índices biométricos, índices somáticos, eficiencia productiva

ABSTRACT | In the present study we analyze the effect of the addition of an enzyme cocktail, designed to improve the bioavailability of vegetal compounds in several aquafeeds of grey mullet (*Mugil cephalus*), on the growth performance and intermediate metabolism. Fish were fed in a short-medium term in a factorial design (2x2), with two different formulations (F4 and F3) used without supplementation (controls, C), or supplemented (S), thus constituting 4 experimental groups, in triplicate: i) CF4: Control; ii) SF4: Supplemented; iii) CF3: Control; and iv) SF3: Supplemented. After a 6-weeks feeding trial

where aquafeeds were offered to visual satiety, different biometric, somatic and fed utilization rates were analyzed, as well as the metabolic status of the animals. The results showed the existence of a general increase in the productive efficiency and metabolism in those animals fed with supplemented diets, especially in the F3 group, as a result of improvements in the bioavailability of nutrients.

Keywords: *Mugil cephalus*, biometric rate, somatic rate, productive efficiency.

INTRODUCCIÓN

Importancia y actualidad de la acuicultura

A lo largo de la historia, los recursos marinos han formado parte esencial de la alimentación humana. Actualmente, la sociedad se enfrenta a un aumento de densidad de población, previéndose superar los 9000 millones de personas para mitad del siglo XXI (FAO, 2018), por lo que la demanda de pescado se ha visto incrementada y con ello la extracción de individuos del medio. Todo esto hace indispensable la búsqueda de una solución para satisfacer la demanda de los recursos pesqueros.

Uno de los problemas de la acuicultura es el uso de harinas de pescado en la fabricación de piensos para el aporte de proteínas, lo que no solo supone un gran gasto económico, suponiendo el 50% de los gastos de producción (Cerdá *et al.*, 2012), sino que también afecta de manera negativa a los caladeros. Así, del total de la producción pesquera de 2016, alrededor de 20 millones de toneladas fueron invertidas en la producción de harina y aceite de pescado (FAO, 2018), lo cual sigue haciendo que esta actividad esté en controversia y sea necesario, para solventar este problema, que se estudie y evalúe la utilización de piensos con un mayor porcentaje de materia vegetal (Gatlin *et al.*, 2007; Naylor *et al.*, 2009) con la consiguiente producción de especies con menos requerimientos nutricionales en proteínas, es decir, especies herbívoras u omnívoras.

Es por ello que desde múltiples instancias se está promoviendo el desarrollo de sistemas de acuicultura semiintensiva e integrada basada en especies omnívoras o herbívoras y en el uso de alimentos vegetales y subproductos (Naylor *et al.*, 2009). Existe un interés creciente por la búsqueda de alternativas, que contemplan diferentes modelos de explotación en los que el denominador común es la utilización de especies situadas en los niveles tróficos inferiores, o con requisitos nutricionales menos exigentes en cuanto a las cantidades de macronutrientes o la calidad nutricional de los mismos que las anteriormente mencionadas, y cuya alimentación pueda llevarse a cabo utilizando ingredientes de bajo coste.

Limitantes del uso nutritivo de ingredientes vegetales en piensos para acuicultura

Desde hace bastantes años, los estudios destinados a evaluar la incorporación de ingredientes vegetales a los piensos para especies acuícolas son una de las líneas de desarrollo más activas y productivas. No obstante, numerosas revisiones han puesto de manifiesto las potencialidades y limitantes del uso de dichos ingredientes (Gatlin *et al.*, 2007; Naylor *et al.*, 2009). Uno de los principales condicionantes son las posibles deficiencias en aminoácidos esenciales que precisan ser compensadas para obtener un perfil proteico del alimento acorde con las necesidades de la especie.

El otro aspecto clave a considerar es la presencia en los ingredientes vegetales de un buen número de factores antinutricionales pertenecientes a diferentes categorías de compuestos, destacando entre ellos especialmente el fitato y los polisacáridos no amiláceos (PNA) (VKM, 2009).

El fitato es un ácido orgánico presente en los vegetales, sobre todo en semillas y fibra, siendo el fósforo en forma de fitato no biodisponible en los animales no rumiantes (monogástricos) debido a la carencia de la enzima fitasa.

De esta forma, el fósforo de estos alimentos no está disponible para la absorción intestinal por estos animales, siendo finalmente eliminado por las heces. Por otra parte, el ácido fítico tiene una fuerte acción acomplejante de varios minerales importantes nutricionalmente como el calcio, magnesio, hierro y zinc que se vuelven insolubles, precipitan y no son absorbidos en el intestino. Además, también es bien conocido que el fitato inhibe las enzimas proteolíticas.

Los PNA son el conjunto de carbohidratos presentes en ingredientes vegetales que constituyen la celulosa (polímero insoluble de glucosa) y toda una serie de otros azúcares más complejos como la manosa, xilosa, arabinosa, etc., los cuales presentan diferencias importantes en su solubilidad, capacidad de retención de agua e interacción con otros ingredientes del alimento y con la microbiota intestinal. Dependiendo de la cantidad y tipología de PNA presentes en un alimento pueden observarse efectos significativos sobre el tránsito intestinal, la absorción de nutrientes o la diversidad microbiana (Sinha *et al.*, 2011).

Acuicultura de *mugílicos*

En este contexto cabe señalar el elevado potencial que representan las especies de la familia Mugilidae (mújoles y lisas), uno de los grupos de peces marinos más extendidos por todas las zonas costeras del mundo, ya que están presentes en la mayoría de aguas templadas y subtropicales de ambos hemisferios. En el primer simposio sobre acuicultura en el año 1974 se concluyó que los mugílicos podrían ser los primeros peces marinos cultivados (Castelló Orvay, 1993). Desde entonces la

acuicultura de mugílidos ha ido aumentando hasta alcanzar un total de 164.937 t en 2015 de las cuales 15.000 t pertenecen a *Mugil cephalus*.

Actualmente la acuicultura europea de mugílidos se encuentra en auge, integrándose en proyectos de diversificación de acuicultura como el recientemente concluido Proyecto “*DIVERSIFY*” (2018), el cual se ha basado en desarrollar alimentos de bajo coste y rendimiento aceptable adaptados a las necesidades nutricionales de la especie, entre otros objetivos.

El mújol (*Mugil cephalus*, Linnaeus 1758)

La lisa amarilla o mújol (*M. cephalus*) es un teleósteo marino de la familia Mugilidae, Orden Mugiliformes, Clase Osteíctios. Su morfología es alargada y fusiforme, pudiendo alcanzar los 80 cm de longitud. Una de las características que diferencia a esta especie de otros mugílidos es su color, presentando tonos azul-verdoso con luz incidente.

M. cephalus es una especie eurihalina y euriterma que se puede encontrar en la mayoría de regiones tropicales y subtropicales. Abunda en las costas mediterráneas (Saleh, 2006; Whitfield *et al.*, 2012) donde se cultiva desde hace tiempo (Oren, 1981; Biswas *et al.*, 2012), llegando a ser una especie muy importante a nivel comercial en diferentes regiones del Mar Mediterráneo.

El principal interés que presenta el mújol en la acuicultura reside en su alimentación, ya que es una especie omnívora y oportunista (Oren, 1981) aprovechando el alimento disponible, aunque su dieta varía a lo largo de su desarrollo (Sánchez Rueda, 2002). Se podría considerar relativamente de rápido o mayor crecimiento que otras especies de la misma familia, además de ser capaz de resistir a las fluctuaciones ambientales.

Por tanto, dado su carácter omnívoro es capaz de aceptar la sustitución de harinas de pescado por otras de origen vegetal, existiendo la tendencia de aprovechar al máximo los productos o subproductos de otras actividades con el fin de reducir costes y producir de manera más sostenible. No obstante, algunas investigaciones sugieren la adición de suplementación en el alimento para conseguir un buen crecimiento (El-Gendi *et al.*, 2016; Kingler y Naylor, 2012). Así, la utilización de aditivos enzimáticos forma parte de esta suplementación y aparece por la necesidad de contrarrestar los efectos negativos producidos por la presencia de ácido fítico y polisacáridos no amiláceos (Castillo y Gatlin, 2015).

Objetivos

En acuicultura, uno de los principales problemas que se plantea es el elevado coste que supone la alimentación de los animales con un alto porcentaje en harina y aceites de pescado, y por ello

actualmente se están estudiando diferentes vías de sustitución por otras fuentes proteicas dependiendo de la especie. Es por ello que en los últimos años se haya aumentado el interés por un cultivo de especies omnívoras y herbívoras.

Atendiendo a todo lo anteriormente expuesto, el **objetivo general** de este trabajo es evaluar la adición de altos porcentajes de materias primas de origen vegetal y bajo coste en la alimentación del mujol (*Mugil cephalus*), y su suplementación con un cóctel enzimático que ayude a aumentar la biodisponibilidad de los nutrientes para su mejor aprovechamiento e incrementar su valor nutritivo. Así, este objetivo general se puede desglosar en los siguientes **objetivos específicos**:

- a) Evaluar la posible mejora de la producción de esta especie en cuanto al rendimiento productivo y crecimiento a escala piloto.
- b) Estudiar los cambios metabólicos y el bienestar animal de los animales cultivados bajo estas condiciones experimentales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Piensos experimentales

Con el objetivo de evaluar los efectos producidos por una alta inclusión de harinas vegetales (harinas y aceites de soja o arroz) o de subproductos de otras actividades (bagazo de cerveza), se realizaron 4 piensos experimentales por parte del Servicio de Piensos Experimentales de los Servicios Centrales de Investigación de la Universidad de Almería, de composición tal y como se describe en la Tabla 1.

Así, los piensos nombrados como CF4 y SF4, se corresponden a una formulación comercial utilizada para el cultivo de carpa (Aquasoja, SORGAL), el cual fue molido y extrusado de nuevo para formar pellets de un tamaño adecuado a los animales de experimentación (CF4, grupo control), o mezclado con el cóctel enzimático objeto de estudio (SF4, enzimas). Por su parte, los piensos CF3 y SF3 se realizaron *ex profeso* con una formulación propia, y extrusados posteriormente para formar la dieta control (CF3), o mezclándolos con el mismo cóctel enzimático (SF3).

Tabla 1. Ingredientes y composición de los piensos experimentales. *Cóctel de elaboración propia conteniendo diferentes proporciones de enzimas que favorezcan la biodisponibilidad de compuestos y nutrientes.

NUTRIENTES (%)	Grupo experimental			
	CF4	SF4	CF3	SF3
Proteína bruta	32	32	38	38
Grasa bruta	9	9	10	10
Carbohidratos	47	47	20,38	20,38
Fibra	4	4	7,35	7,35
Cenizas	8	8	6,21	6,21
Fósforo	1,3	1,3	0,85	0,85
*Cóctel enzimático	-	0,02 mL	-	0,02 mL

Diseño experimental y obtención de muestras

La experimentación se llevó a cabo en el Centro Tecnológico de la Acuicultura (CTAQUA, El Puerto de Santa María, Cádiz), con una duración total de 6 semanas. Así, los peces fueron distribuidos y mantenidos durante el periodo experimental en un sistema de 12 tanques de 400 litros cada uno (T^a: 22°C; fotoperiodo 12:12), llevándose a cabo el experimento con cada una de las 4 dietas objeto de estudio por triplicado.

En cada tanque se dispusieron aleatoriamente 100 ejemplares de *Mugil cephalus* de aproximadamente 12 gramos (n=1200 individuos, peso inicial=12,15 ± 0,01g). Un mes previo al inicio del ensayo se realizó una fase de aclimatación a los tanques experimentales, y tras ello los peces fueron alimentados en tres tomas diarias hasta saciedad (*ad libitum*). Dicha prueba fue realizada “a ciegas”, es decir, con un sistema de colores en los contenedores de pienso que permitiese una alimentación objetiva por parte del personal encargado de ello al no saber la composición de los mismos.

Cada dos semanas se efectuaron muestreos biométricos. Para ello, se extrajeron el total de los individuos de cada tanque, incorporándolos a un tanque auxiliar con anestésico diluido para evitar el estrés por manipulación. En los dos muestreos biométricos realizados se utilizó aceite de clavo como agente anestésico. Posteriormente, los animales se transfirieron en grupos a un balde de menor tamaño en el que se tomó el peso de cada 5 individuos, y posteriormente se midió la longitud furcal de cada uno de ellos.

Transcurrido el tiempo del experimento, se realizó un muestreo final manteniendo a los animales en ayuno durante las 12 h previas. En este muestreo, además de tomar medidas de peso y longitud furcal,

se tomaron muestras biológicas de plasma, músculo e hígado de 4 peces por tanque (n = 12 individuos por grupo experimental) previa anestesia con una dosis letal de 2-fenoxietanol.

Las muestras de plasma se obtuvieron mediante la extracción de sangre por punción caudal, previa heparinización de las agujas para evitar la coagulación de la sangre, y su posterior centrifugación (15 min, 3.000 g) para separar ambas fases. Por otro lado, para la toma de muestras de músculo se eliminaron las escamas y piel de uno de los laterales de cada individuo, obteniéndose así una biopsia del filete de los animales. En último lugar, las muestras de hígado se extrajeron realizando un corte en la zona ventral y separando este órgano del resto, para posteriormente pesar el órgano completo y poder calcular el índice hepatosomático (IHS), así como tomar una biopsia para los análisis posteriores. Todas las muestras fueron almacenadas en nitrógeno líquido en el momento de la extracción y almacenadas a -80°C hasta su procesamiento.

Parámetros biométricos

A partir de los datos recopilados en los diferentes muestreos, y con otros datos como la cantidad de alimento ingerido, se procedió a calcular algunos índices relacionados con el crecimiento y aprovechamiento del alimento.

- **Tasa Específica de Crecimiento (SGR).** Representa la variación del peso corporal a lo largo del tiempo (% al día).

-

$$SGR = \left[\ln P_f - \ln P_i \right] * 100 / t$$

P_f : peso húmedo final (gramos)
 P_i : peso húmedo inicial (gramos)
 t : tiempo (días)

- **Ganancia en Peso (WG).** Representa el porcentaje de peso ganado por los animales en el total del periodo experimental.

-

$$WG = \frac{P_f - P_i}{P_i} * 100$$

P_f : peso húmedo final (gramos)
 P_i : peso húmedo inicial (gramos)

- **Factor de Conversión del Alimento (FCR).** Indica la cantidad de alimento en gramos que el animal necesita para engordar un gramo de peso.

-

$$FCR = \text{Alimento total suministrado (g)} / WG (g)$$

- **Índice de Condición (K).** Relación entre el volumen y el peso del animal.

$$K = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Longitud}^3 \text{ (cm)}} * 100$$

- **Índice Hepatosomático (HSI).** Representa la relación entre el peso del hígado y el peso total del individuo (%).

$$HSI = \frac{\text{Peso del hígado (g)}}{\text{Peso total (g)}} * 100$$

Técnicas de análisis

Todas las técnicas de análisis de metabolitos aquí descritas se basan en reacciones colorimétricas que dan lugar a un compuesto a partir del cual podemos determinar su concentración mediante la lectura de absorbancias en un espectrofotómetro de microplacas (*PowerWave™ 340* de BIO-TEK) y elaboración de curvas estándar con el uso de patrones de concentración conocida contenidos en cada uno de ellos.

Las lecturas tomadas en microplacas de 96 pocillos se procesaron con el software *KC Junior™* de BIO-TEK, cuyos resultados se exportaron a Excel para el posterior tratamiento de datos. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado.

Las muestras hepáticas y musculares fueron homogenizadas previamente. Para ello se realizó una desproteínización a partir de una solución de ácido perclórico 0.024 N (Merck KGaA, 1.00518.1001), homogenización mediante instrumento de dispersión de alto rendimiento (T 25 digital Ultra-Turrax®) y su posterior neutralización con una solución básica de bicarbonato potásico 1 M (Merck KGaA, 1.04854.0500).

Tras mezclarlo en el agitador tipo vortex, cada uno de los homogeneizados se centrifugaron durante 30 minutos a 3.250 g y 4 °C, distribuyendo posteriormente en alícuotas la fase acuosa resultante, en la que quedaron suspendidos los metabolitos objeto de medición.

Usando kits comerciales de Spinreact (Spinreact SA, Sant Esteve d'en Bas, Girona, España), y mediante la adaptación de los protocolos a microplacas de 96 pocillos, los parámetros metabólicos que fueron analizados con estos kits fueron i) glucosa y/o glucógeno (Glucose-HK, Ref. 1001200), ii) lactato (Lactate, Ref. 1001330), y iii) triglicéridos (TAG, Ref. 1001311). Para el caso de la medición de proteínas plasmáticas se utilizó el método del ácido bicinconínico con el kit de proteínas BCA (BCA™ Protein assay kit, Pierce, Rockford, EE.UU.). Para el caso del glucógeno hepático y muscular

se utilizó el método descrito por Keppler y Decker (1974). Así, una vez obtenida la glucosa total almacenada después de la ruptura del glucógeno, y tras restar los niveles de glucosa libre en el tejido hepático, fue posible la determinación de este metabolito con el kit específico de *Spinreact* (Glucose-HK Ref. 1001200) siguiendo el mismo procedimiento espectrofotómetro descrito anteriormente.

Análisis estadístico

Todos los parámetros obtenidos, tanto de los diferentes índices (SGR, FCR, WG, IHS), así como de los metabolitos plasmáticos, hepáticos y musculares, se analizaron tomando i) el tipo de dieta y ii) la suplementación de éstas como factores principales mediante un análisis ANOVA de doble vía, tomando un nivel de significación del 5% ($p < 0,05$). Previamente se realizaron análisis para la determinación de la normalidad y homocedasticidad de los datos. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el software *GraphPadPrism* para Windows.

RESULTADOS

Parámetros biométricos

El Factor de Conversión del Alimento (FCR, Fig. 1A) mostró diferencias estadísticamente significativas, siendo significativamente mayor en las dietas correspondientes a F3, apreciándose además diferencias dentro de este grupo con un mayor FCR en los animales alimentados sin suplementación enzimática.

En cuanto a la Tasa de Crecimiento Específico (SGR, Fig. 1B), el grupo alimentado con la dieta CF3 (sin suplementación enzimática) fue significativamente inferior respecto al resto de grupos experimentales. Por su parte, los resultados del índice hepatosomático (IHS, Fig. 1D) mostraron diferencias significativas entre los animales alimentados con las dietas F4 y F3, siendo superiores para el caso de las dietas F4. Por último, para el índice de condición se mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos control.

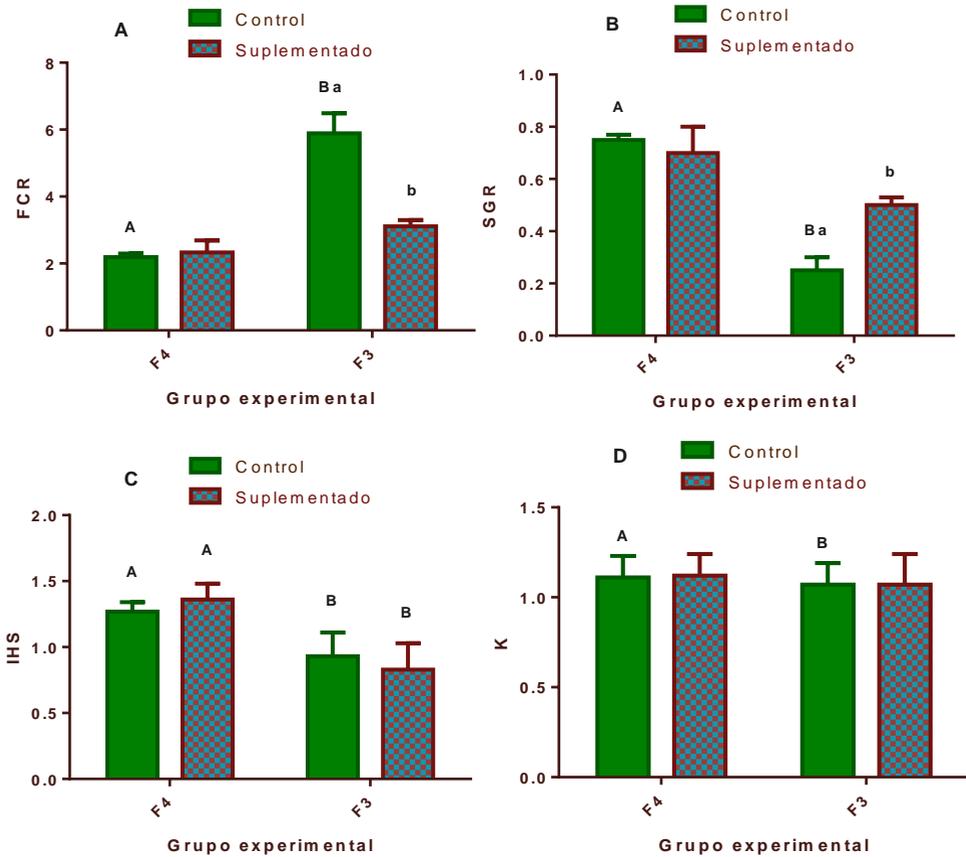


Figura 1. Índices biométricos obtenidos en ejemplares de *M. cephalus* alimentados con diferentes dietas experimentales. Factor de conversión del alimento (FCR), tasa específica de crecimiento (SGR), índice hepatosomático (IHS) e índice de condición (K). Letras mayúsculas indican comparaciones entre grupos (CF4 vs CF3; SF4 vs SF3) mientras que letras minúsculas indican comparaciones entre grupos suplementados y no suplementados (CF4 vs SF4; CF3 vs SF3).

Parámetros metabólicos

Metabolitos plasmáticos

A partir de las muestras de sangre obtenidas se midieron diferentes metabolitos plasmáticos (Fig. 2).

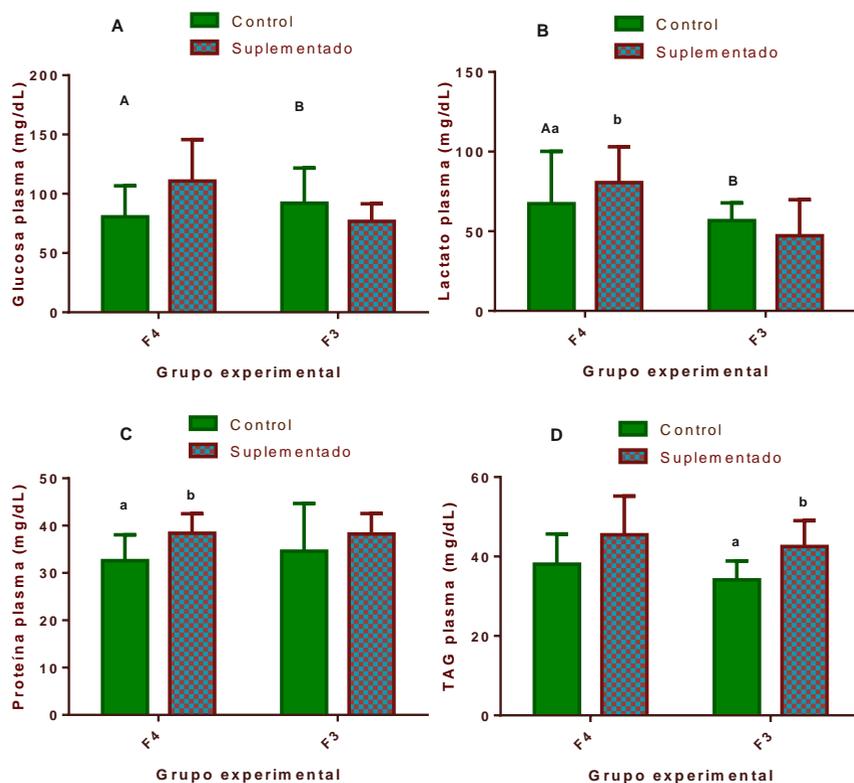


Figura 2. Resultados de metabolitos plasmáticos medidos en ejemplares de *M. cephalus* alimentados con diferentes dietas experimentales. A: Glucosa; B: Lactato; C: Proteínas; D: TAG. Letras mayúsculas indican comparaciones entre grupos (CF4 vs CF3; SF4 vs SF3) mientras que letras minúsculas indican comparaciones entre grupos suplementados y no suplementados (CF4 vs SF4; CF3 vs SF3).

En el análisis estadístico de los resultados, se observa para el caso de la glucosa en plasma un aumento en los valores de la dieta F4 suplementada. Por su parte, las proteínas (Fig. 2C) y los TAG (Fig. 2D) plasmáticos mostraron tendencias similares en ambas formulaciones F4 y F3, presentando valores estadísticamente mayores en los animales suplementados con el cóctel enzimático (SF4 y SF3) respecto a los no suplementados (CF4 y CF3), respectivamente.

Metabolitos hepáticos

En este tejido se analizaron los valores de glucosa y glucógeno, cuyos resultados pueden observarse en la Fig. 3.

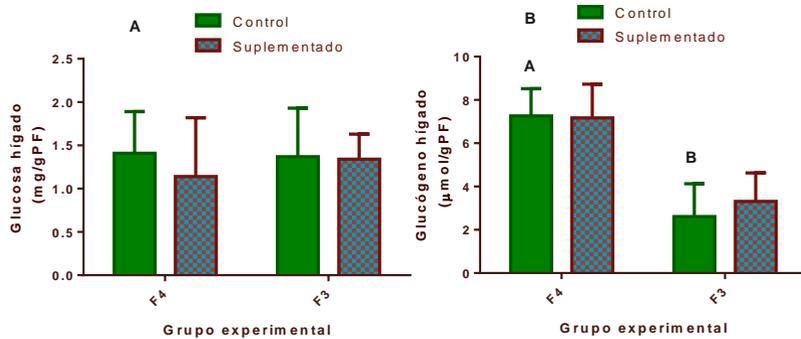


Figura 3. Resultados de metabolitos hepáticos medidos en ejemplares de *M. cephalus* alimentados con diferentes dietas experimentales. Letras mayúsculas indican comparaciones entre grupos (CF4 vs CF3; SF4 vs SF3) mientras que letras minúsculas indican comparaciones entre grupos suplementados y no suplementados (CF4 vs SF4; CF3 vs SF3).

Para el caso de la glucosa hepática (Fig. 3A), no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas relativas ni a la formulación ni a la suplementación con el cóctel enzimático. Por el contrario, el glucógeno hepático mostró dos patrones bien diferenciados (Fig. 3B), donde ambas dietas F4 presentaron unas concentraciones totales de glucógeno significativamente mayores a las registradas en las dietas CF3 y SF3.

Metabolitos en músculo

A partir de las muestras de músculo se midieron lactato y glucógeno (Figura 4).

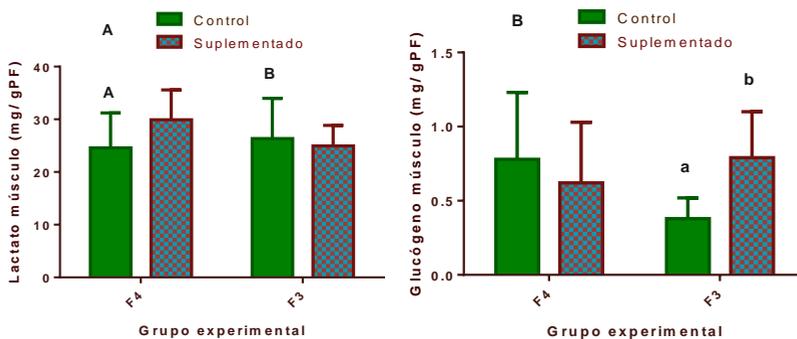


Figura 4. Resultados de metabolitos en músculo medidos en ejemplares de *M. cephalus* alimentados con diferentes dietas experimentales. A: Lactato; B: Glucógeno. Letras mayúsculas indican comparaciones entre grupos (CF4 vs CF3; SF4 vs SF3) mientras que letras minúsculas indican comparaciones entre grupos suplementados y no suplementados (CF4 vs SF4; CF3 vs SF3).

El lactato muscular (Fig. 4A) mostró diferencias en ambas dietas suplementadas. Así, la dieta F4 no suplementada presentó valores significativamente mayores con respecto a su misma formulación suplementada, mientras que la dieta suplementada F3 mostró valores significativamente inferiores al compararla con la dieta suplementada SF4. Por su parte, el glucógeno muscular (Fig. 4B), mostró una disminución en el grupo alimentado con la dieta F3 sin suplementar (CF3), la cual fue significativamente inferior al compararla con respecto a la dieta F4 sin suplementación (CF4) así como a la F3 suplementada con el cóctel enzimático (SF3).

DISCUSIÓN

En los últimos años, la sustitución de harina de pescado por otros ingredientes en la elaboración de piensos comerciales para acuicultura se ha visto incrementada por la necesidad existente de obtener piensos económicamente rentables a la vez que sostenibles. Ejemplo de estos compuestos son la soja y la harina de garbanzo, ambos ricos en proteínas, fibra y carbohidratos, lo que hace que no sea idóneo para todas las especies debido a la mala asimilación de la fibra, llevando a un incremento de las partículas fecales y pérdidas económicas por su escasa biodisponibilidad y asimilación por parte de los animales para producir crecimiento (Naylor *et al.*, 2009). Es por ello que sea sumamente importante enfocar este tipo de formulaciones a especies que tengan los mecanismos moleculares y enzimáticos necesarios para poder digerir y aprovechar más eficientemente estos compuestos, como es el caso de los mugílidos. Junto a esto se suma la posibilidad de llevar a cabo un enriquecimiento de las dietas con enzimas exógenas involucradas en la mejora de la asimilación de diversos nutrientes (Naylor *et al.*, 2009). Pioneros en estos tratamientos biotecnológicos fueron Carter y colaboradores (1994) incorporando enzimas exógenas en las dietas del salmón atlántico, al igual que lo descrito por Castillo y colaboradores (2015). No obstante, la inclusión de enzimas a las dietas de acuicultura da resultados contradictorios. Así, en el estudio de Carter *et al.* (1994), los resultados con salmón atlántico resultaron ser positivos con mejoras en el aprovechamiento de los nutrientes y en el rendimiento productivo, aunque otros estudios, como los realizados por Yigit y Olmez (2011), corroboran que no existen mejoras significativas en el crecimiento de los animales al suplementar la dieta con enzimas.

En el presente estudio realizado en juveniles del mugílido *Mugil cephalus* se observa como en los individuos alimentados con una dieta F4, tanto para el control como para el suplementado enzimáticamente, el factor de conversión del alimento (FCR, inverso a la eficiencia alimentaria) es bastante más favorable, coincidiendo con lo expuesto por Naylor *et al.* (2009). Este hecho puede deberse a que la dieta F4 es una formulación comercial de carpa (Aguasoja, SORGAL) en donde algunos de los ingredientes, presumiblemente de alto valor que alivien el desbalance nutricional, no son conocidos. A lo expuesto anteriormente se le suma una mayor tasa específica de crecimiento (SGR) para los individuos alimentados con ambas dietas F4, en concreto con la dieta suplementada enzimáticamente del grupo SF4, con un valor de 1,11%/día, que se asemejan a otros estudios realizados en esta misma

especie por El-Tawil *et al.* (2014) donde el enriquecimiento con cisteína, involucrada en la síntesis de proteínas, mejora el crecimiento de los individuos. Esto supone no solo una tendencia hacia un mayor aprovechamiento del alimento para el grupo F4, sino también un mayor crecimiento. En esta línea, algunos estudios sugieren la mejora en el crecimiento con alimento enriquecido cuando el porcentaje de proteína en la dieta es menor (Kumar *et al.*, 2006), lo que corresponde con lo obtenido en el presente estudio: para una dieta con un menor contenido en proteínas (F4) se incrementa el valor de SGR, siendo este menor para dietas con mayor porcentaje en proteínas y fibra (F3). No obstante, hay que destacar dentro del grupo F3 el efecto de la suplementación enzimática sobre el SGR.

Por su parte, también se puede observar como en la dieta F4 el índice hepatosomático es notablemente superior al de la dieta F3. Esto se puede deber a la acumulación de grasas o glucógeno en el hígado, demostrando que la energía biodisponible en esta dieta F4 es suficiente para el crecimiento, además de dar la posibilidad de poder ser acumulada parte de ella para posibles situaciones adversas (disminución de ingesta por bajadas en la temperatura, disponibilidad de alimento, etc). Así, la dieta F4 muestra valores superiores de glucógeno en hígado (ver Fig. 3), lo que justifica los mayores valores del IHS descritos.

En cuanto a los cambios metabólicos producidos, el hígado se considera como uno de los principales depósitos de energía metabólica en forma de glucógeno y triglicéridos, considerándose un buen indicador del estado nutricional del animal (Soengas *et al.*, 2007). En el presente estudio se han observado cambios significativos en el glucógeno, disminuyendo radicalmente para el grupo F3 (tanto control como suplementado), coincidiendo con los resultados obtenidos para el índice hepatosomático (ver Fig. 1), lo que puede significar que la variación de las fuentes de proteínas en la dieta afecte al metabolismo hepático.

Por otro lado, en los resultados para la glucosa no se aprecian grandes variaciones en plasma, ni en ninguno de los tejidos analizados (hígado y músculo), por lo que se puede deducir que el aporte externo procedente de ambas formulaciones es suficiente para las funciones fisiológicas requeridas por este metabolito, presentando un estado homeostático en todos los grupos. Por su parte, el lactato es un metabolito que se forma en condiciones de anaerobiosis en el músculo blanco del pez (Rufino Palomares, 2009). De esta forma, el lactato medido en plasma y músculo muestra una disminución en la dieta SF3. Estos resultados podrían indicar que la formulación de la dieta F3 suplementada (SF3) pone a disposición del organismo metabolitos que pueden ser metabolizados de forma aeróbica en la mitocondria (*e.g.* ácidos grasos o glucosa), produciendo por tanto una mayor energía disponible sin necesidad de entrar en las rutas aneróbicas.

Las proteínas medidas en plasma provienen del anabolismo del animal (Mommssen, 1992; Wassef, 2001), permitiendo su uso como elemento constitutivo (formación de tejido muscular preferentemente)

o como fuente de energía. En esta investigación, las proteínas medidas en plasma fueron significativamente mayores en los grupos enriquecidos enzimáticamente respecto a los grupos control de la misma dieta (Fig. 2), lo que significa que los individuos alimentados con una dieta suplementada enzimáticamente tuvieron una necesidad mayor de síntesis de proteínas, posiblemente invirtiéndolas para la mejora de índices biométricos y crecimiento vistos anteriormente. También se conoce que la presencia de fitasa, una de las enzimas utilizadas para la suplementación, mejora la digestibilidad de las moléculas proteicas, y por ello su presencia en plasma. Uno de los factores antinutricionales presente al emplear dietas vegetales es el ácido fítico (Rueda-Uribe *et al.*, 2012). Entre los ingredientes utilizados para la elaboración de las dietas experimentales en este estudio se encuentran vegetales, subproductos de otras industrias y cereales, los cuales almacenan la mayoría del fósforo como ácido fítico, siendo la biodisponibilidad para peces muy baja (NRC, 1993). Así, el ácido fítico reduce la digestibilidad de las proteínas presentes en la dieta (Guillaume *et al.*, 2004), por lo que al adicionar fitasas al alimento de los animales se consigue un aumento de la hidrólisis de esta molécula, aumentando la biodisponibilidad de los nutrientes.

Nuestros resultados concuerdan con numerosos estudios que han encontrado mejoras en la digestibilidad de proteínas y fósforo al incluir fitasas en las dietas experimentales de tilapia (Gonçalves *et al.*, 2007; Rueda-Uribe *et al.*, 2012).

En el caso de los triglicéridos, son útiles a la hora de cuantificar la condición nutricional de los individuos (Wagner y Congleton, 2004) y son una de las principales fuentes de energía de los peces en su medio natural (Babin y Vernier, 1989). Así, proteínas y triglicéridos en plasma de los grupos suplementados son visiblemente mayores que los de los grupos control, tanto para F4 como para F3. Generalmente, los triglicéridos medidos en plasma son mayores de forma proporcional a la grasa presente en la formulación de la dieta; no obstante, en este caso se da un aumento de los triglicéridos debido a la incorporación de enzimas, las cuales pueden estar favoreciendo su biodisponibilidad y posterior utilización como fuente de energía.

CONCLUSIÓN

A la vista de nuestros resultados, la aplicación de los cócteles enzimáticos utilizados en el presente trabajo de investigación demuestra una mejora en la orquestación del rendimiento productivo y metabolismo intermediario de los animales, preferencialmente en la dieta F3 que parece tener mayor cantidad de factores antinutricionales, aunque serían necesario probar otras fuentes y materias primas vegetales, así como experimentos a más largo plazo, para poder definir aún mejor la efectividad de estos compuestos.

REFERENCIAS

- Adamidou, S., Nengas, I., Henry, M., Ioakei Midoy, N., Rigos, G., Bell, G. J., & Jauncey, K. (2011). Effects of dietary inclusion of peas, chickpeas and faba beans on growth, feed utilization and health of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition*, 17(2):e288-e296.
- Babin, P. J., & Vernier, J. M. (1989). Plasma lipoproteins in fish. *Journal of Lipid Research*, 30(4): 467–489.
- Biswas, G., Thirunavukkarasu, A.R., Natarajan, M., Sundararaj, J.K., Kailasam, M., Kumar, P., Ghoshal, T.K., Ponniah, A.G., Sarkar, A. (2012). Effects of stocking density, feeding, fertilization and combined fertilization-feeding on the performances of striped grey mullet (*Mugil cephalus* L.) fingerlings in brackish water pond rearing systems. *Aquaculture*, 338–341: 284–292.
- Borja, Á. (2002). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín - Instituto Español de Oceanografía*, 18(1–4):41–49.
- Castelló Orvay, F. (1993). Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción. *Publicaciones de la Universidad de Barcelona* (España), 739pp.
- Castillo, S., & Gatlin, D. M. (2015). Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. *Aquaculture*, 435:286–292.
- Castro-Guerrero, S.R; Gutierrez-Espinosa, M.C; Piñeros-Roldán, A.J. (2014). Sustitución total de la harina de pescado por subproductos avícolas suplementados con aminoácidos en dietas para juveniles de *Piaractus brachipomus*, *Orinoquia*, 18:13-24.
- Cerdá, M; Marín Sánchez M.M; Martínez Lorens, S; Jauralde García, I; Maicas, F; De Benito, F. (2012). Evaluación de la rentabilidad económica de la producción de dorada (*Sparus aurata*) en jaulas marinas. *Revista aquaTIC*, 37:123-138.
- Cuvier (1818). The total substitution of fishmeal for poultry by-product meal supplemented with amino acids. *Orinoquia*, 18(2), 13–24.
- DIVERSIFY (2018). Manual técnico. Lisa capitán (*Múgil cephalus*), 19pp. https://www.diversifyfish.eu/uploads/1/4/2/0/14206280/lisa_manual_tecnico_diversify_es.pdf.

- Saccol, Y.A; Parrado-Sanabria, I; Jerez, MA; Pavanato, B; Mancera, J.M; Martos Sitcha, J.A. (2015). Efecto de la adición de aceite esencial de *Myrcia sylvatica* en la dieta de dorada (*Sparus aurata*). Actas del XV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Acuicultura. Huelva (España), pp. 264-265.
- El-Gendy,M; Shehab El-Din,M; Tolan, A. (2016). Studies on growth performance and health status when substituting fish meal by a mixture of oil seeds meal in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and grey mullet (*Mugil cephalus*). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 20(1):47–58.
- El-Tawil N.E; Amer T; H. A. (2014). Effect of cysteine and dietary protein levels on striped mullet (*Mugil cephalus*). *Global Journal of Fisheries and Aquaculture*, 2(2):139–147.
- Estensoro, I., Ballester-Lozano, G., Benedito-Palos, L., Grammes, F., Martos-Sitcha, J. A., Mydland, L. T., Pérez-Sánchez, J. (2016). Dietary butyrate helps to restore the intestinal status of a marine teleost (*Sparus aurata*) fed extreme diets low in fish meal and fish oil. *PLoS ONE*, 11(11):1–21.
- FAO. (2016). Cultured Aquatic species fact sheets. *Mugil cephalus*. Tomado de <http://www.fao.org/publications/es>
- FAO. (2018). De la Pesca y la Acuicultura. Tomado de <http://www.fao.org/publications/es>
- Farhangi, M., & Carter, C. G. (2007). Effect of enzyme supplementation to dehulled lupin-based diets on growth, feed efficiency, nutrient digestibility and carcass composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 38(12):1274–1282.
- Gatlin, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W., Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. *Aquaculture Research*, 38(6):551–579.
- Gisbert, E., Mozanzadeh, M. T., Kotzamanis, Y., & Estévez, A. (2016). Weaning wild flathead grey mullet (*Mugil cephalus*) fry with diets with different levels of fish meal substitution. *Aquaculture*, 462: 92–100.
- Gonçalves, G. S., Pezzato, L. E., Padilha, P. D. M., & Barros, M. M. (2007). Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36:1473–1480.
- Guillaume, J; Kaushik, S., & Bergot, P; Metailler, R. (2003). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Editorial Mundi-Prensa (España), 475pp.

- Jana, N.S; Sudesh Garg, S. K; Sabhlok, V. P; Bhatnagar, A. (2012). Nutritive Evaluation of Lysine- and Methionine-Supplemented Raw Vs Heat-Processed Soybean to Replace Fishmeal as a Dietary Protein Source for Grey Mullet (*Mugil cephalus*) and Milkfish (*Chanos chanos*). *Journal of Applied Aquaculture*, 24:69–80.
- Klinger, D., Naylor, R. (2012). Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Environmental Resources*, 37:247-276.
- Kolkovski, S., Tandler, A., Kissil, G. W., & Gertler, A. (1993). The effect of dietary exogenous digestive enzymes on ingestion, assimilation, growth and survival of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12:203–209.
- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2012). *Mugil Cephalus*. *IUCN Red List of Threatened Species*, 08(2):138–145.
- Li, Y., Cheng, Z., Mai, K., & Ai, Q. (2015). Dietary leucine requirement of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). *Journal of Ocean University of China*, 14(1):121–126.
- Martínez, F. P.; Bermúdez, L.; Aznar, M. J.; Moyano, F. (2019). Evaluation of Enzyme Additives on the Nutritional Use of Feeds with a High Content of Plant Ingredients for *Mugil cephalus*. *Fishes*, 4(4):56; <https://doi.org/10.3390/fishes4040056>.
- Millán-Cubillo, A. F., Martos-Sitcha, J. A., Ruiz-Jarabo, I., Cárdenas, S., & Mancera, J. M. (2016). Low stocking density negatively affects growth, metabolism and stress pathways in juvenile specimens of meagre (*Argyrosomus regius*, Asso 1801). *Aquaculture*, 451:87–92.
- Mommsen, T. P., & Walsh, P. J. (1992). Biochemical and environmental perspectives on nitrogen metabolism in fishes. *Experientia* 48:583–593.
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Nichols, P. D. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(36):15103–15110.
- Oren, O.H. (1981). *Aquaculture of Grey Mulllets*. (International Biological Programme No. 26). Cambridge University Press, Cambridge, England. 507 pp.
- Rueda-Uribe, W. E., Vásquez-Torres, W., & Gutiérrez-Espinosa, M. C. (2012). Digestibilidad de fósforo y proteína de raciones suplementadas con fitasa en tilapia (*Oreochromis sp*). *Orinoquia*,

16(1):21-29.

- Rufino Palomares, E. E. (2009). Evaluación nutricional y bioquímica del ácido maslínico, triterpeno natural, sobre el crecimiento de la dorada (*Sparus aurata*). Caracterización cinética y proteómica. Tesis Doctoral. Editorial de la Universidad de Granada (España), 365pp.
- Ruiz-Jarabo, I., Klaren, P. H. M., Louro, B., Martos-Sitcha, J. A., Pinto, P. I. S., Vargas-Chacoff, L., ... Arjona, F. J. (2017). Characterization of the peripheral thyroid system of gilthead seabream acclimated to different ambient salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 203:24–31.
- Saleh, M. A. (2006). Cultured aquatic species information programme. *Mugil cephalus*. *Cultured Aquatic Species Information Programme*. Roma: FAO Fisheries and Aquaculture Department.
- Sánchez Rueda, P. (2002). Stomach content análisis of *Mugil cephalus* and *Mugil curema* with emphasis on diatoms in the Tamiahua lagoon, México. *Revista de Biología Tropical*. 50(1):245-252.
- Sangiao-Alvarellos, S., Laiz-Carrión, R., Guzmán, J. M., Martín del Río, M. P., Miguez, J. M., Mancera, J. M., & Soengas, J. L. (2003). Acclimation of *S. aurata* to various salinities alters energy metabolism of osmoregulatory and non osmoregulatory organs. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 285:897–907.
- Simó-Mirabet, P., Felip, A., Estensoro, I., Martos-Sitcha, J. A., de las Heras, V., Calduch-Giner, J., Pérez-Sánchez, J. (2018). Impact of low fish meal and fish oil diets on the performance, sex steroid profile and male-female sex reversal of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) over a three-year production cycle. *Aquaculture*, 490:64–74.
- Sinha, A., Kumar, V., Makkar, H., Boeck, G., Becker, K. (2011). Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition: a review. *Food Chemistry*, 127: 1409–1426.
- Soengas, J.L., Sangiao-Alvarellos, S., Laiz-Carrión, R., Mancera, J. (2007). Energy metabolism and osmotic acclimation in teleost fish. In: Kapoor BG, Baldisserotto B, Mancera Romero JM (eds). *Fish Osmoregulation*. Science Publishers, Enfield (England), pp. 278–307.
- Stone, D.A.J., Allan, G.I., Anderson, A. (2003). Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). IV. Can dietary enzymes increase digestible energy from wheat starch, wheat and dehulled lupin. *Aquaculture*, 34(2):135–147.
- Varela, J. L., Ruiz-Jarabo, I., Vargas-Chacoff, L., Arijó, S., León-Rubio, J. M., García-Millán, I., Mancera, J. M. (2010). Dietary

administration of probiotic Pdp11 promotes growth and improves stress tolerance to high stocking density in gilthead seabream (*Sparus auratus*). *Aquaculture*, 309(1–4), 265–271.

VKM. Norwegian Scientific Committee for Food Safety. (2009). *Criteria for safe use of plant ingredients in diets for aquacultured fish*. 31pp. <https://vkm.no/download/18.2994e95b15cc5450716356b2/1498419374011/1232b28f3b.pdf>

Wagner, T., & Congleton, J. L. (2004). Blood chemistry correlates of nutritional condition, tissue damage, and stress in migrating juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(7):1066–1074.

Wassef, E. A. (2001). Growth enhancement and muscle structure of striped mullet, (*Mugil cephalus*), fingerlings by feeding algal meal-based diets. *Aquaculture Research*, 32(SUPPL. 1): 315–322.

Whitfield, A.K., Panfili, J., Durand, J. D. (2012). A global review of the cosmopolitan flathead mullet (*Mugil cephalus*, Linnaeus 1758) (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22: 641–681.



Ganho de peso de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen* mantidos em diferentes sistemas de criação

Weight gain of silver catfish *Rhamdia quelen* juveniles kept in different rearing systems

André Luiz Veiga Conrado, Renata Stecca Iunes, Isabella Cristina Bordon, José Roberto Machado Cunha da Silva

Laboratório de Histofisiologia Evolutiva. Departamento de Biologia Celular e do Desenvolvimento. Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB/USP), Brasil.

 André Luiz Veiga Conrado () E-mail: andreveigaconrado@gmail.com

RESUMO | O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho e o crescimento de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen* mantidos em sistemas de recirculação de água, biofloc e aquaponia em consórcio com mudas de agrião *Nasturtium officinale*. Em cada sistema foram mantidos 12 peixes divididos ao acaso em três réplicas, alimentados com ração comercial (36% de proteína bruta e 4600 kcal/kg de energia bruta), com avaliação diária de temperatura, amônia total e tóxica, nitrito e pH da água dos sistemas, e pesados mensalmente por sete meses. Os resultados demonstraram que juvenis de jundiá mantidos no sistema aquapônico atingiram peso médio superior, porém sem significância pelos altos valores de desvio-padrão para os pesos finais dos peixes mantidos nos sistemas recirculado e biofloc. Mesmo apresentando ganho de peso médio/animal abaixo dos valores para o sistema recirculado, o sistema aquapônico tem a vantagem de reduzir as concentrações de amônia total e de nitrito da água, em consórcio com a produção de vegetais. Conclui-se que o sistema de aquaponia é o mais indicado pelo peso médio final de cada peixe ter sido superior e pelo cultivo de hortaliças, reduzindo o descarte de água com excesso de amônia.

Palavras chave: agrião, aquaponia, biofloc, jundiá.

ABSTRACT | The goal of this research was to evaluate the performance and growth of silver catfish *Rhamdia quelen* juveniles kept in water recirculation, biofloc and aquaponics systems in consortium with watercress seedlings *Nasturtium officinale*. In each system, 12 fish were randomly divided into three replicates, fed with commercial feed (36% crude protein and 4600 kcal / kg of crude energy), with daily assessment of temperature, total and toxic ammonia, nitrite and water pH systems, and weighed monthly for seven months. Results showed that juveniles of jundiá kept in the aquaponic system reached higher average weight, but without significance due to the high standard deviation values for the final weights of the fish kept in the recirculated and biofloc systems. Even presenting average weight gain / animal below the values for the recirculated system, the aquaponic system has the advantage of reducing the concentrations of total ammonia and nitrite in the water, in consortium with the production of vegetables. It is concluded that the aquaponics system is the most indicated because the final average weight of each fish was higher and for the cultivation of vegetables, reducing the disposal of water with excess ammonia.

Keywords: watercress, aquaponics, biofloc, silver catfish.

INTRODUÇÃO

O jundiá (*Rhamdia quelen*) é um peixe onívoro da família Pimelodidae com distribuição neotropical, encontrado do sul do México ao centro da Argentina. Habita lagos e lagoas profundas de rios com águas claras de fundo de areia e lama (Gomes *et al.*, 2000), com temperaturas entre 15 e 34 °C (Chippari-Gomes *et al.*, 2000). Em idade adulta, os jundiás podem atingir comprimento total máximo de 47,4 cm (Zaniboni-Filho *et al.*, 2004) e peso de 4,0 kg (IGFA, 2001).

O sistema biofloco foi desenvolvido nos Estados Unidos desde a década de 1990, que se consiste em um sistema com altas densidades de estocagem sem renovação de água maximizando a biossegurança e minimizando os impactos ambientais causados pela aquicultura (Browdy *et al.*, 2001; Avnimelech, 2011). Segundo a FAO (2006) essa técnica reduz os custos de bombeamento e a possibilidade de introduzir compostos tóxicos, patógenos, vetores de doenças ou outros organismos indesejáveis, além de reduzir as descargas de nutrientes e de matéria orgânica. Em sistemas sem renovação de água, há acúmulo de amônia e matéria orgânica e consequente diminuição de oxigênio dissolvido, fazendo com que seja necessário um arejamento artificial constante e a estimulação da formação de uma biota predominantemente aeróbica e heterotrófica, com a fertilização com fontes ricas em carbono orgânico (Schryver *et al.*, 2008).

A aquaponia integra aquicultura com hidroponia, usando equipamentos e métodos de ambos os sistemas agropecuários. O interesse na aquaponia vem crescendo não só por sua sustentabilidade, como, por seu potencial em economizar água, permitir o fornecimento de alimentos todo o ano e de seu potencial para ser implantado próximo ou em centros urbanos (Dos Santos, 2016). A aquaponia respeita o princípio de agricultura sustentável, ao utilizar as plantas para filtrar a água de descarte da aquicultura, com eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal de 86 a 98%, e aumenta a possibilidade de eficiência econômica com a produção adicional de vegetais (Blidariu e Grozea, 2011; Graber e Junge, 2009).

O objetivo deste trabalho foi a avaliação do ganho de peso de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen* criados nestes três sistemas de criação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Organismos e condições de cultivo

O presente projeto foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Instituto de Ciências Biomédicas (Universidade de São Paulo) (CEUA-ICB/USP) sob o CEUA nº 8118271118.

Trinta e seis juvenis de Jundiá (*Rhamdia quelen*) foram adquiridos da Piscicultura Dinamarca LTDA, São Paulo/SP, mantidos no biotério de animais aquáticos e arraçados uma vez ao dia (3% do peso vivo) com ração para peixes onívoros (Ração Peixe Juvenil 360-AM, AMICIL S/A, Brasil) com 36% de proteína bruta e com mínimo de 4600 kcal/kg.

Sistemas de cultivo

O sistema recirculado (Fig. 1) foi composto por três tanques com saídas interligadas a um cano que levava água ao filtro para a filtração mecânica (argila expandida e manta acrílica), química (carvão ativado) e biológica, com seu retorno aos tanques utilizando-se uma bomba de 540 L/h acoplada a mangueira de distribuição e vazão controlada por torneiras plásticas. A água de cada tanque foi trocada totalmente a cada 1 hora. Cada tanque foi oxigenado por arejadores com pedras porosas.



Figura 1. Sistema recirculado. A, os tanques numerados receberam os jundiás e a caixa à direita é o filtro. B, detalhe de um dos tanques mostrando a saída de água (seta) e a entrada de água (cabeça de seta). C, detalhe do filtro.

Peso de jundiás em diferentes sistemas de criação

No sistema de aquaponia (Fig. 2) uma bomba de 600 L/h manteve o fluxo constante de água entre o tanque de peixes e a caixa de cultivo do agrião (*Nasturtium officinale*). A caixa de cultivo dos agriões possuía um sifão do tipo sino por onde a água retornava ao tanque de cultivo de peixes. Cada caixa foi preenchida com argila expandida, atuando como suporte para as mudas de agrião e local de colonização das bactérias nitrificantes. Arejadores e pedras porosas foram utilizados para oxigenação da água. Os agriões foram adquiridos na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP) e colocados nas caixas de cultivo no mesmo dia que os peixes foram distribuídos nos sistemas.



Figura 2. Tanque de aquaponia. A, tanque de aquaponia com as caixas de cultivo suspensas. B, detalhe da caixa suspensa pronta para receber os agriões. C, detalhe da caixa suspensa já com as mudas.

Para o sistema heterotrófico (Fig. 3) após a colocação dos peixes nos tanques, foram adicionadas bactérias probióticas (*Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium* e *Lactobacillus acidophilus*) e prebióticos (metionina, lisina, vitaminas C e E, colina, mananoligossacarídeo e dextrose) (DB Aqua, Imeve, Brasil), seguindo-se as especificações dos fabricantes, para a formação do biofilme. Diariamente, o melaço (3% da ração fornecida) foi adicionado à água como fonte de carbono para a manutenção do biofilme. Arejadores e pedras porosas mantiveram a oxigenação da água.

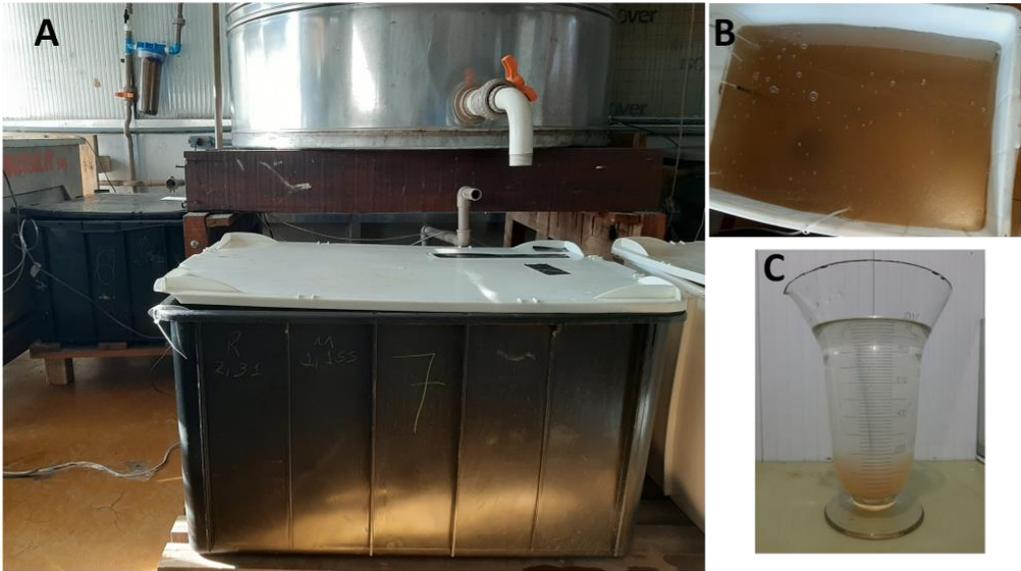


Figura 3. Sistema biofoco. A, tanque do sistema biofoco. B, Detalhe de um dos tanques aberto. C, biofoco decantado.

Qualidade da água

Para avaliar a qualidade da água foram aferidos os seguintes parâmetros: nitrito, amônia total e tóxica, oxigênio dissolvido e pH utilizando-se kits comerciais (Alcon Pet, Brasil), além da temperatura com auxílio de termômetros para aquário.

Durante a aclimação até a estabilização dos sistemas a qualidade da água foi aferida diariamente e, sempre que se observou qualquer um dos parâmetros próximo dos níveis tóxicos, trocas parciais de água (1/3) foram realizadas. Após a estabilização dos sistemas a aferição da qualidade da água foi feita semanalmente.

A determinação para o bem estar dos juvenis de jundiá levou em consideração os valores estabelecidos para a temperatura da água de 23-24 °C (Piedras *et al.*, 2004), oxigênio dissolvido acima de 5,2 mg/L (Braun *et al.*, 2006), pH entre 5,5 e 9,0 (Copatti *et al.*, 2011), amônia total até 2 mg/L (Miron *et al.*, 2008) e nitrito até 1,1 mg/L (Lima *et al.*, 2011).

Pesagem dos animais

Para avaliação do ganho de peso mensal, os jundiás foram primeiramente anestesiados em solução

de benzocaína (Benzocaine, Sigma-Aldrich, USA) a 40 mg/L (Cunha da Silva et al. 2005). Para a pesagem, os jundiás foram transferidos para um béquer contendo 2 L de água tarado sobre uma balança e os pesos foram registrados. Ao final, foram transferidos para um balde com água sob arejamento constante até a recuperação, e então devolvidos aos seus respectivos tanques.

Com os valores do peso de cada pesagem foram calculados o ganho médio diário/cultivo (Σ peso mês atual - Σ peso mês anterior/30) e ganho médio diário/animal (Peso mês atual – Peso mês anterior/30).

Análise estatística

Todos os dados foram analisados utilizando-se o pacote estatístico GraphPad Prism 6.0 (GraphPad, USA) com testes paramétricos (teste t e de Tukey) e não paramétricos (Kruskal-Wallis) com nível de significância de 95%.

RESULTADOS

Ganho de peso

Os resultados do peso médio dos juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* em cada sistema estão na tabela abaixo (Tabela 1). Não houve diferença estatística para o ganho de peso entre os animais nos períodos avaliados, apenas a aquaponia com média superior. Os ganhos médios diários por cultivo e por animal refletem as diferenças entre os indivíduos de cada grupo.

Tabela 1. Peso médio mensal, ganho médio diário por cultivo e por animal (em gramas) dos juvenis de jundiá mantidos nos sistemas de recirculação, aquaponia e biofoco.

Meses	Recirculado	Aquaponia	Biofoco
Maio	17,2±7,5	14,3±8,8	14,0±6,4
Junho	27,8±10,8	21,2±7,3	21,8±5,3
Julho	49,0±23,3	39,5±11,6	37,9±8,4
Agosto	62,0±19,2	72,4±28,4	55,9±8,9
Setembro	76,5±27,3	78,7±26,1	63,3±12,1
Outubro	87,0±32,2	88,9±29,6	91,0±28,8
Novembro	113,5±45,0	121,0±44,3	113,0±37,5
Ganho médio diário / cultivo	6,78	5,30	4,64
Ganho médio diário / animal	0,56	0,44	0,38

Parâmetros da água

Os valores dos parâmetros da água avaliados estão descritos na Figura 4. Os dados mostraram que os valores mais altos de amônia total e tóxica foram encontrados no sistema recirculado ($p < 0,0001$), assim como para o nitrito dissolvido ($p < 0,0001$). Por sua vez, a avaliação de pH, oxigênio e de temperatura se mantiveram dentro dos valores preconizados, sem diferença entre os sistemas de criação.

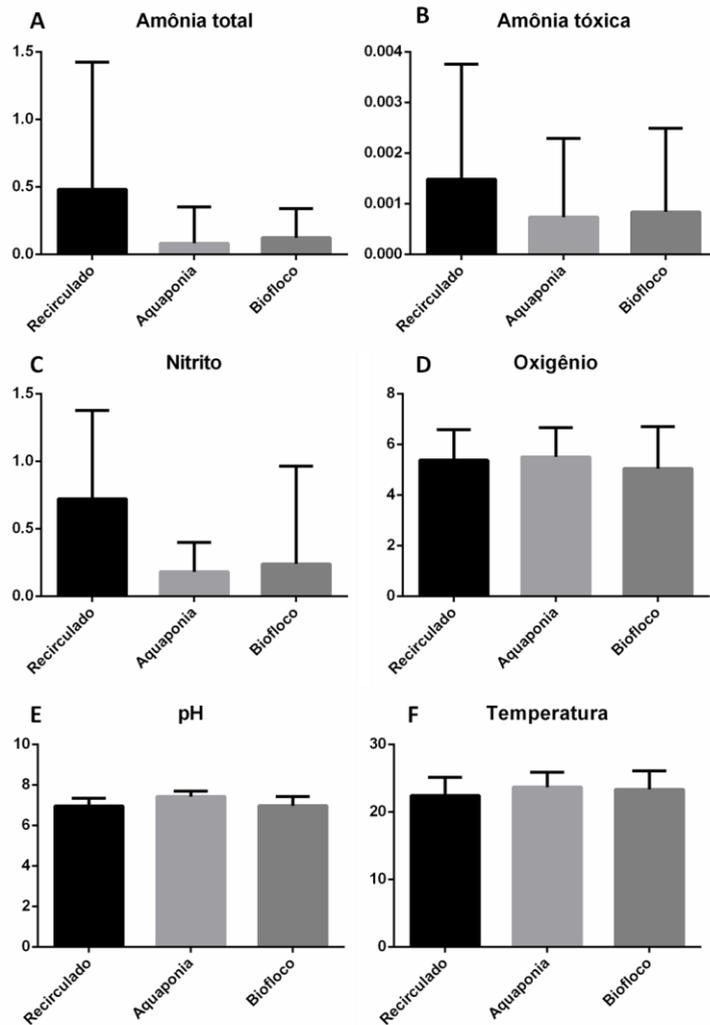


Figura 4. Parâmetros da água de cada sistema de criação dos juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*. A, amônia total; B, amônia tóxica; C, nitrito; D, oxigênio dissolvido; E, pH; F, temperatura.

DISCUSSÃO

Nenhum dos três sistemas se mostrou superior entre si no que tange ao peso final, com desvio padrão grande em todos os sistemas. Estes dados corroboram com os pesos finais de jundiás mantidos nos três tipos de sistemas em grande escala relatados por da Rocha *et al.* (2017).

O sistema recirculado necessita de limpeza rotineira de filtros biológicos e físicos, o que pode afetar as bactérias nitrificantes e estressar os peixes. Ainda assim, o ganho de peso diário foi maior no sistema recirculado, mesmo com qualidade de água inferior quando comparada com os sistemas de aquaponia e bioflocos. Já no sistema de bioflocos, a grande preocupação é com a aeração para os peixes e microbiota deste sistema, o que pode interferir no desenvolvimento de ambos. Ao comparar os três tipos de sistema de criação com consórcio entre bagres-africanos *Clarias gariepinus* e *Telfairia occidentalis*, Oladimeji *et al.* (2020) observou que o sistema estático – semelhante ao bioflocos – apresentou baixos níveis de oxigênio dissolvido e altos níveis de amônia total e nitrito quando comparados ao sistema aquapônico e recirculado, além de menor ganho de peso final. Tanto neste trabalho quanto no presente experimento, todos os sistemas de criação registraram variações semelhantes de temperatura da água de cultivo.

Finalmente, os jundiás do sistema de aquaponia atingiram o peso médio maior entre os três sistemas. Este resultado está ligado à eficiência das bactérias do ciclo do nitrogênio aliado ao uso do nitrato pelas mudas de agrião, favorecendo a qualidade da água e o crescimento dos jundiás. Este fato também foi observado por Oladimeji *et al.* (2020) em bagres-africanos *C. gariepinus* mantidos no sistema aquapônico. Para jundiás *R. quelen* criados em sistema aquapônico observa-se alta taxa de crescimento específico, pH da água acima de 7,3 e baixas concentrações de amônia total e de nitrito (Araújo, 2015). Em sistemas aquapônicos com bagre-africano *C. gariepinus* e diferentes plantas (*Cucumis sativus*, *Mentha spicata* e *Ocimum basilicum*) também apresentaram baixos níveis de amônia e nitrito dissolvidos na água de cultivo (Baßmann *et al.*, 2017, 2020; Knaus *et al.*, 2020; Pasch *et al.*, 2021). Esses dados de literatura e os resultados demonstram que no sistema aquapônico há o favorecimento tanto do desenvolvimento de vegetais quanto de peixes, reduzindo o descarte de água com excesso de compostos nitrogenados (Calone *et al.*, 2019).

CONCLUSÕES

Conclui-se que o sistema de aquaponia é o mais indicado pelo peso médio final de cada peixe ter sido superior e pelo cultivo de hortaliças, reduzindo o descarte de água com excesso de amônia.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

(CAPES), Ministério da Educação, Governo Brasileiro, código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Araújo AF. (2015). Integração de plantas com espécies nativas de peixes em sistema de aquaponia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 77p.
- Avnimelech Y. (2011). Bio-flocs technology: Basics and new developments. World Aquaculture 2011. Anais...Natal. Disponível em: <https://www.was.org/WASMeetings/meetings/SessionAbstracts.aspx?Code=WA2011&Session=39>
- Baßmann B., Brenner M., Palm HW. (2017). Stress and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9: 504.
- Baßmann B., Harbach H., Weißbach S., Palm HW. (2020). Effect of plant density in coupled aquaponics on the welfare status of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51:183-199.
- Blidariu F., Grozea A. (2011). Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics - Review. *Animal Science and Biotechnologies*, 44:1-8.
- Braun N, De Lima RL, Moraes B., Loro VL, Baldisserotto B. (2006). Survival, growth and biochemical parameters of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824), juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. *Aquaculture Research*, 37:1524-1531.
- Browdy CL., *et al.* (2001). Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. (C. L. Browdy, D. E. Jory, Eds.). World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. Anais...
- Calone, R., *et al.* (2019). Improving water management in European catfish recirculating aquaculture systems through catfish-lettuce aquaponics. *Science of the Total Environment*, 687:759-767.
- Chippari-Gomes AR, Gomes LC, Baldisserotto B. (2000). Lethal temperatures for *Rhamdia quelen* larvae (Pimelodidae). *Ciência Rural*, 30(6):1069-1071.
- Copatti CE, Garcia LO, Cunha MA, *et al.* (2011). Interaction of water hardness and pH on growth of silver catfish, *Rhamdia quelen*, juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42:580-585.
- Da Rocha A., Biazetti Filho M., Stech M., Paz da Silva R. (2017). Lettuce production in aquaponic and biofioc systems with silver catfish *Rhamdia quelen*. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43:64-73.

- Dos Santos MJMPL. (2016). Smart cities and urban areas — Aquaponics as innovative urban agriculture. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20:402–406.
- FAO. (2006). FAO Fisheries Circular No. 1018. Use of fishery resources as feed inputs to aquaculture development: trends and policy implications. *Water Resources*, 1018:1-114.
- Gomes LDC, Golombieski JI, Chippari-Gomes AR., *et al.* (2000). Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). *Ciência Rural*, 30:179-185.
- Graber A., Junge R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246:147–156.
- IGFA. International Game Fish Association. (2001). Database of IGFA angling records until 2001. IGFA, Fort Lauderdale, USA.
- Knaus U., Wenzel LC., Appelbaum S., Palm HW. (2020). Aquaponics (sl) Production of Spearmint (*Mentha spicata*) with African Catfish (*Clarias gariepinus*) in Northern Germany. *Sustainability*, 12: 8717.
- Lima RLD, Braun N, Kochhann D., *et al.* (2011). Survival, growth and metabolic parameters of silver catfish, *Rhamdia quelen*, juveniles exposed to different waterborne nitrite levels. *Neotropical Ichthyology*. 9:147-152.
- Miron DDS, Moraes B, Becker AG., *et al.* (2008). Ammonia and pH effects on some metabolic parameters and gill histology of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Heptapteridae). *Aquaculture*. 277:192-196.
- Oladimeji SA, *et al.* (2020). Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Science & Nutrition*, 8: 2307-2315.
- Pasch J., Ratajczak B., Appelbaum S., Palm HW, Knaus U. (2021). Growth of Basil (*Ocimum basilicum*) in DRF, Raft, and Grow Pipes with Effluents of African Catfish (*Clarias gariepinus*) in Decoupled Aquaponics. *AgriEngineering*, 3:92-109.
- Piedras SRN, Moraes PRR, Pouey JLOF. (2004). Crescimento de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) de acordo com a temperatura da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, 30:177- 182.
- Schryver P., *et al.* (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Microbial Ecology*, 277:125–137.

Zaniboni Filho E, Meurer S, Shibata OA, de Oliveira Nuñez AP. (2004). Catálogo ilustrado de peixes do alto Rio Uruguai. Florianópolis: Editora da UFSC. 128 p.



Influencia de la temperatura sobre la tasa de consumo de vitelo y gota de aceite en las larvas de pargo flamenco *Lutjanus guttatus*

Influence of temperature on yolk and oil droplet consumption by spotted rose snapper larvae *Lutjanus guttatus*

María Isabel Abdo-de la Parra^{1,2}, Gustavo Alejandro Rodríguez-Montes de Oca³, Luz Estela Rodríguez-Ibarra², José Cristóbal Román-Reyes³, Gabriela Velasco-Blanco²

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán, Sinaloa, México.

²Posgrado de Ciencias Agropecuarias, Colegio de Ciencias Agropecuarias. Unidad Académica FACIMAR, de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México.

³Laboratorio de Reproducción y Cultivo de Peces, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.

 **María Isabel Abdo-de la Parra** () E-mail: abdo@ciad.mx

RESUMEN | El vitelo es la principal fuente de energía para huevos y larvas vitelinas de peces marinos. La temperatura juega un papel dominante en la eficiencia de la conversión del vitelo en tejido corporal y afecta el tamaño que puede alcanzar la larva en la primera alimentación. En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes temperaturas sobre el consumo del saco vitelino y la gota de aceite de *Lutjanus guttatus* para determinar la temperatura adecuada de cultivo para larvas vitelinas. Los huevos fertilizados de pargo flamenco se colocaron en tinas de plástico de 20 L a diferentes temperaturas (22, 25, 28 y 31°C) con tres replicados por tratamiento. Se determinó el tiempo y porcentaje de eclosión, longitud total (LT), tasa de consumo de vitelo (TCV) y gota de aceite (TCGA) a las 0, 24, 48 y 72 h después de la eclosión (HDE). Los huevos incubados a 22°C no eclosionaron. El tiempo de eclosión en los huevos incubados a 31°C fue significativamente menor. No se observaron diferencias en el porcentaje de eclosión entre tratamientos. Las larvas a 31°C presentaron mayor LT al eclosionar y 24 HDE que las larvas a 25°C. La TCV y TCGA fue mayor en las larvas a 31°C a 0 y 24 HDE. Se presentó mortalidad total en las larvas incubadas a 25°C y 31°C a las 48 y 72 HDE, respectivamente. La temperatura adecuada para la incubación de huevos y larvas de *L. guttatus* se debe llevar a cabo a 28°C para favorecer el consumo de sus reservas energéticas adecuado para su crecimiento y supervivencia.

Palabras clave: Larvas de pargo, eclosión, crecimiento, reservas energéticas

ABSTRACT | Yolk is the main energy source for eggs and marine fish larvae. Temperature is a key factor in determining the efficiency of yolk conversion into body tissues, which can affect the size larvae reach at first feeding. In this work, we evaluate the effect of different temperatures on the consumption of the yolk sac and oil droplet by *Lutjanus guttatus* in order to determine the most adequate culture temperature during the first days after hatch. The fertilized eggs were placed in 20 L plastic tanks at different temperatures (22, 25, 28 and 31 ° C) with three replicates per treatment. Time and

percentage of hatching, total length (TL), and consumption of yolk and oil droplet at 0, 24, 48 and 72 h after hatching (HAH) were determined. Eggs incubated at 22 °C did not hatch while hatching time in eggs incubated at 31 °C decreased significantly ($P < 0.05$). No differences were observed in hatching percentages between treatments. Larvae reared at 31 °C were larger than those reared at 25 °C at 0 and 24 HAH. The consumption of the yolk and the oil droplet was also greater in larvae reared at 31 °C at 0 and 24 HAH; however, larvae at 25 °C did not survive at 48 HAH neither did larvae reared at 31 °C at 72 HAH. The optimal temperature for incubation and larval culture of *L. guttatus* at a yolk sac stage was achieved at about 28 °C, which would provide adequate growth, survival and consumption of its energy reserves.

Palabras clave: Snapper larvae, hatch, growth, energy reserves

INTRODUCCIÓN

En los huevos de los peces teleósteos, como el pargo flamenco (*Lutjanus guttatus*), se forma un saco vitelino extraembrionario que contiene vitelo y gotas de aceite (Fig. 1). El vitelo es la principal fuente de energía, de hormonas y enzimas durante la embriogénesis y el periodo de alimentación endógena de las larvas (Kamler, 1992; Kamler, 2008).

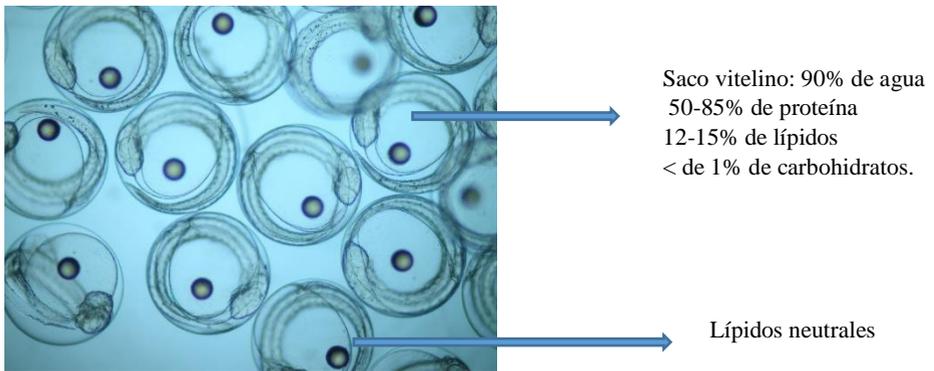


Figura 1. Huevos fertilizados de pargo flamenco *Lutjanus guttatus*

Los principales componentes del vitelo son las plaquetas de vitelo ricas en lipoproteínas y fosfoproteínas (Fig. 2) y las gotas de aceite son principalmente lípidos neutrales con una alta proporción de ácidos grasos mono insaturados (Heming & Buddington, 1988).



Figura 2. Larva de pargo flamenco *Lutjanus guttatus*

La tasa de absorción del vitelo y eficiencia de utilización de las reservas vitelinas son importantes para determinar el desarrollo temprano, crecimiento y supervivencia de las larvas hasta el inicio de la alimentación exógena (Heming & Buddington, 1988). Al periodo del paso de la alimentación endógena a exógena se le conoce como “periodo crítico” en el desarrollo larvario y la mortalidad puede ser muy alta (Hardy & Livak, 2004). La tasa de absorción del vitelo es baja al principio de la ontogenia y se incrementa poco a poco. Después de la eclosión, la absorción es más rápida que en los embriones (Kamler, 1992), debido a que las larvas presentan tasas metabólicas más altas. La tasa absoluta de utilización de vitelo disminuye después del estadio de nado como resultado de una cantidad limitada de contenido de vitelo (Kamler, 1992; Jaroszewska & Dabrowski, 2011). Se ha demostrado que tanto la eficiencia, como la tasa de consumo del vitelo y de la o las gotas de aceite, son específicas de cada especie y dependen también de factores abióticos como la temperatura, luz, concentración de oxígeno disuelto en el agua y la salinidad (Blaxter, 1992; Jaroszewska & Dabrowski, 2011). Dentro de los factores ambientales, la temperatura se considera el más importante (Kamler, 2002; Pittman *et al.*, 2013). La temperatura juega un papel dominante en la eficiencia de la conversión del vitelo en tejido corporal (Jaworski & Kamler, 2002), y afecta el tamaño que puede alcanzar la larva en la primera alimentación (Kamler, 2008) debido a su importancia en el control de los procesos fisiológicos (Blaxter, 1992). El consumo lento o rápido del vitelo puede ser determinante en el desarrollo y supervivencia de las larvas. Varios autores han demostrado que la eficiencia en el consumo del vitelo y las gotas de aceite es mayor en las larvas de peces marinos cultivadas dentro de los rangos óptimos de temperatura de cada especie, y disminuye cuando se cultivan fuera del rango óptimo (Kaminski, *et al.* 2006; Peña, *et al.*, 2014; Barón-Aguilar, *et al.*, 2015; Estrada-Godínez, *et al.*, 2015; Hui, *et al.*, 2015; Guevara-Fletcher, *et al.*, 2017). En temperaturas mayores a la óptima, las larvas eclosionarán en estadios prematuros y con sacos vitelinos más pequeños (Hempel, 1979; Yoseda, *et al.*, 2006; Azocar, *et al.*, 2014); a temperaturas menores se incrementa la incidencia de deformidades y mortalidades altas antes de

completar la reabsorción del saco vitelino (Hart & Purser, 1995; Das, *et al.*, 2006; Petereit, *et al.*, 2008; Brown *et al.*, Maslova, 2011; Pittman *et al.*, 2013), por lo que es necesario determinar la temperatura adecuada para que se lleve a cabo eficientemente la reabsorción del vitelo de las larvas de cada una de las especies en cultivo.

El pargo flamenco *Lutjanus guttatus* es una especie con alta demanda en algunos países de Latinoamérica; las investigaciones sobre su reproducción artificial se iniciaron hace varios años en Latinoamérica (Alvarez-Lajonchère *et al.*, 2012). Hasta la fecha, en México, uno de los cuellos de botella para el cultivo del pargo flamenco, a gran escala, es la producción masiva de juveniles de calidad (Alvarez-Lajonchère *et al.*, 2012). En la larvicultura del pargo flamenco en la planta piloto de producción de peces marinos del CIAD, Mazatlán, se han observado mortalidades altas de las larvas al pasar de la alimentación endógena a exógena.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes temperaturas sobre el consumo y tasa de absorción del saco vitelino y la gota de aceite de *L. guttatus*, para determinar la temperatura adecuada de cultivo de las larvas vitelinas de esta especie y aumentar la supervivencia de las mismas durante el periodo de alimentación endógena, con el fin de coadyuvar al mejoramiento del protocolo de cultivo larvario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de los huevos fertilizados

Los huevos fertilizados de pargo flamenco se obtuvieron de la planta piloto para la producción de peces marinos del CIAD, Unidad Mazatlán, mediante los protocolos establecidos en la misma (Ibarra-Castro *et al.*, 2012).

Diseño experimental

Se evaluaron cuatro temperaturas (22, 25, 28 y 31 °C) con tres replicados cada una. En tinas de plástico transparente conteniendo 15 L de agua de mar filtrada por UV, se colocaron dos ml de huevos fertilizados de pargo flamenco (alrededor de 2500 huevos) y se incubaron a la temperatura deseada. Las tinas del tratamiento de 22 °C se colocaron en un cuarto climatizado a 22 °C; el resto de los tratamientos se colocó en un laboratorio climatizado a 25 °C y para obtener las temperaturas de 28 y 31 °C a cada contenedor se le colocó un termostato (Termal, 300 watts), el cual se reguló para obtener la temperatura deseada; cada contenedor contó con aireación para mantener el oxígeno disuelto en el agua a 5 ppm. La temperatura de cada contenedor se monitoreo cada cuatro horas. El cultivo se llevó a cabo sin recambio de agua; solo en el caso de que la temperatura aumentara se agregaba agua de mar filtrada hasta alcanzar la temperatura evaluada.

Porcentaje y tiempo de eclosión

Se determinó el porcentaje (%E) y tiempo de eclosión en cada tratamiento. %E = Larvas eclosionadas/ huevos incubados X 100

Consumo del saco vitelino y de la gota de aceite

Se tomaron muestras de larvas al eclosionar (0h), a las 24, 48 y 72 h después de la eclosión (DE) de cada tratamiento. Cada larva muestreada se anestesió con 2-phenoxyethanol (Sigma Aldrich®, P1126, Toluca, Edo. México) a una concentración de 0.1ml L y se colocaron individualmente, mediante pipetas Pasteur, en una laminilla excavada para observarlas en un microscopio Olympus® con el objetivo 4X adaptado con un micrómetro ocular de 25 µm, para determinar la longitud total (LT), volumen del saco vitelino (VSV) y de la gota de aceite (VGA) mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{VSV (mm}^3\text{)} = (\pi/6) LH^2$$

Donde L es la longitud y H es el ancho del saco vitelino (Blaxter y Hempel, 1966)

$$\text{VGA (mm}^3\text{)} = 4/\text{VSV} \pi r^3$$

Donde r es el radio de la gota lipídica (mm) (Williams *et al.* 2004)

Análisis estadístico

A todos los resultados se les determinó la normalidad de su distribución (prueba de Bartlett) y la homocedasticidad de su varianza (prueba de Levene); los datos normales se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) (P<0,05) y las diferencias significativas entre los tratamientos se determinaron por pruebas de comparación múltiple de rangos de Tukey; los datos que no presentaron distribución normal se analizaron mediante una prueba de Kruskal-Wallis (P<0,05) (Zar, 1996). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el programa *Statgraphics Plus 5.1*.

RESULTADOS

Porcentaje, tiempo de eclosión y crecimiento

En los huevos incubados a 22°C no se presentó eclosión, el embrión se desarrolló hasta la etapa de formación de órganos y cola, pero no eclosionaron. En el resto de los tratamientos evaluados, el porcentaje de eclosión no fue estadísticamente significativo (Tabla 1); sin embargo, el tiempo de eclosión si fue significativamente diferente entre las temperaturas evaluadas; las larvas incubadas a

31°C iniciaron a eclosionar a las 14 HDF y fueron significativamente más grandes en su LT que las larvas eclosionadas a 25°C, las cuales eclosionaron 19 HDF; las larvas incubadas a 28°C eclosionaron a las 16 HDF y no presentaron diferencias significativas en su LT con respecto a las larvas eclosionadas al resto de los tratamientos. A las 24 HDE las larvas mantenidas a 31°C presentaron mayor LT que las larvas cultivadas a 25°C, las larvas mantenidas a 28°C no presentaron diferencias significativas en su LT con las larvas del tratamiento de 25°C. A las 48 HDE las larvas en 25°C no sobrevivieron; sin embargo, a las 72 HDE las larvas en 31°C tampoco sobrevivieron, solo las larvas a 28°C presentando una LT de 2,6 mm.

Tabla 1. Resultados de porcentaje y tiempo de eclosión y longitud total de las larvas de *L. guttatus* en las diferentes temperaturas evaluadas

	Temperaturas (°C)			
	21	25	28	31
Tiempo de Eclosión (HDF)	ND	19,6 ± 0,57 ^a	15,6 ± 0,57 ^b	13,3 ± 0,5 ^c
Porcentaje de Eclosión (%E)	ND	83,1 ± 16,0	84,3 ± 10,5	96,1 ± 1,3
LT al eclosionar (mm)		1,67 ± 0,13 ^a	1,77 ± 0,16 ^{ab}	1,84 ± 0,27 ^b
LT a 24 HDE		2,38 ± 0,13 ^a	2,44 ± 0,23 ^{ab}	2,48 ± 0,09 ^b
LT a 48 HDE		ND	2,44 ± 0,09 ^a	2,54 ± 0,09 ^b
LT a 72 HDE			2,6 ± 0,1	ND

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Los superíndices diferentes en los renglones indican diferencias significativas ($P < 0,05$). HDF: horas después de la fertilización, HDE: horas después de la eclosión, ND: no determinado

Consumo del saco vitelino y de la gota de aceite

Como se observa en la Tabla 2, el volumen del vitelo y de la gota de aceite en las larvas eclosionadas a 31°C, tanto al eclosionar como a las 24 HDE fue significativamente menor a las larvas eclosionadas y mantenidas a 28 y 25°C; a las 48 HDE no se presentaron diferencias significativas en el consumo de vitelo y gota e aceite en las larvas cultivadas a 28 y 31°C. Como ya se mencionó, las larvas a los 25°C no sobrevivieron a las 48 HDE y las larvas a los 31°C no sobrevivieron a las 72 HDE. Las larvas cultivadas a 28°C consumieron totalmente su vitelo y gota de aceite a ese tiempo

Tabla 2. Promedios ± desviación estándar de volumen y consumo del saco vitelino (VSV, TCV) y de la gota de aceite (VGA, TCGA), en las larvas de *L. guttatus* obtenidas en las diferentes temperaturas evaluadas.

	Temperatura (°C)		
	25	28	31
VSV al eclosionar (mm ³)	0,090 ± 0,06 ^b	0,086 ± 0,124 ^b	0,073 ± 0,008 ^a
VSV a 24 HDE (mm ³)	0,025 ± 0,014 ^b	0,022 ± 0,015 ^a	0,009 ± 0,007 ^a
VSV a 48 HDE (%)	ND	0,00075 ± 0,0006	0,00070 ± 0,0002
TCV a 24 HDE (%)	72,22 ± 1,4 ^a	74,41 ± 1,5 ^a	87,67 ± 1,1 ^b
TCV a 48 HDE (%)	ND	99,12 ± 1,2	99,04 ± 1,1
VGA al eclosionar (mm ³)	0,00087 ± 0,0002 ^b	0,00079 ± 0,0002 ^b	0,00066 ± 0,0002 ^a
VGA a 24 HDE (mm ³)	0,00029 ± 0,00019 ^b	0,00024 ± 0,0025 ^b	0,000072 ± 0,00007 ^a
VGA a 48 HDE (mm ³)	ND	0,0000076 ± 0,000001	0,0000064 ± 0,000002
TCGA a 24 HDE	64.63±1.0 ^a	69,23 ± 1,2 ^a	89,41 ± 1,0 ^b
TCGA a 48 HDE	ND	99,02	99,05

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Los superíndices diferentes en los renglones indican diferencias significativas ($P < 0,05$). VSV: volumen del saco vitelino; TCV: tasa de consumo del vitelo; VGA: volumen de la gota de aceite; TCGA: tasa de consumo de la gota de aceite; HDE: horas después de la eclosión; ND: no determinado

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio mostraron que la temperatura del agua de incubación tiene un efecto sobre el desarrollo embrionario y tiempo de eclosión en las larvas de *L. guttatus*; altas temperaturas (31°C) incrementan el desarrollo del embrión y aceleran el proceso de eclosión y a baja temperatura (22°C), el embrión empezó a desarrollarse en las primeras horas DF; pero antes de la eclosión cesó su desarrollo y se presentó el 100% de mortalidad de los embriones. En trabajos previos con esta especie se ha reportado que la eclosión inicia entre las 15 y 17 HDF, dependiendo de la temperatura, para concluir tres o cuatro HDF (Boza-Abarca *et al.*, 2008; Abdo de la Parra *et al.*, 2010; Ibarra-Castro *et al.*, 2012). Se ha demostrado que los estadios tempranos de los huevos de peces marinos antes de que el embrión esté completamente formado, son muy sensibles a los cambios del medio ambiente como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el agua de cultivo, dentro de estos factores abióticos, la temperatura es determinante en el desarrollo de los embriones y larvas de peces (Jaroszewska y Dabrowski, 2011); a bajas temperaturas (18-22°C) en las especies subtropicales o tropicales los embriones no completan su desarrollo y a temperaturas altas (30-32°C) se acelera la eclosión (Kamler 1992; Gracia-López *et al.*, 2004; Brown *et al.*, 2011), como fue el caso en el presente estudio. El conocimiento sobre el efecto de la temperatura del agua durante la incubación del huevo en el desarrollo del embrión y eclosión de las larvas de peces marinos producidos a gran escala en cautiverio, podría ser una forma de optimizar los procedimientos en la acuicultura. Las reservas nutricionales se acumulan en el huevo (vitelo y gota de grasa) durante la maduración del ovocito en el ovario de las hembras y van a tener una doble función: formación de estructuras en el desarrollo del embrión y mantenimiento del metabolismo energético. El vitelo está compuesto de 90% de agua, 50-85% de proteína en peso seco,

12-15% de lípidos y menos de 1% de carbohidratos (Heming y Buddington, 1988). La fase de nutrición endógena en los peces, es la primera de las tres fases de adquisición de nutrientes, antes de que se lleve a cabo la alimentación exógena. La duración del periodo de nutrición endógena es muy variable entre las especies (Jaroszewska y Dabrowski, 2011). Tanto la tasa de absorción como la eficiencia de utilización del vitelo son determinantes en el desarrollo inicial, crecimiento y supervivencia de las larvas de peces. Son afectados por un número de factores tales como la temperatura, la luz, la concentración de oxígeno y la salinidad (Heming y Buddington, 1988). Metodológicamente, pueden determinarse por el contenido calórico del vitelo, peso seco, peso húmedo y volumen. En el presente trabajo se determinó mediante el volumen del vitelo y gota de aceite. La absorción del vitelo en peces se da mediante una estructura especializada llamada sincitio, que desaparece una vez que el vitelo haya sido agotado (Zavala, 2011). Los componentes del vitelo entran en el sincitio por endocitosis. Se presenta luego una digestión intrasincitial y posterior síntesis de metabolitos los cuales son liberados a la circulación vitelina (Heming y Buddington, 1988).

De manera general, el consumo de vitelo se ha caracterizado en muchos teleósteos por presentar tres fases de absorción. La primera fase, también llamada fase de pre-eclosión, es caracterizada por un suave pero constante incremento en la tasa de absorción de vitelo, donde el saco de vitelo y el glóbulo de aceite son consumidos en aproximadamente la misma proporción (Zavala, 2011). Justo un poco antes y al momento de la eclosión, la tasa de absorción de vitelo se incrementa rápidamente, probablemente en respuesta al aumento de la superficie de absorción debido a los cambios en la forma del saco vitelino o bien al aumento en la actividad metabólica del sincitio (Kamler, 1992). Esto marca el inicio de la segunda fase o fase posteclosión, y es caracterizada por una relativamente alta y constante tasa de absorción. Dado que se aproxima el agotamiento del saco de vitelo, su tasa de absorción disminuye, probablemente en respuesta a la disminución de la superficie del área de absorción por el encogimiento del saco de vitelo o al cambio en la composición del vitelo. De esta forma da inicio de la tercera fase o fase terminal de absorción, en la cual, el glóbulo de aceite es preferentemente consumido (Heming y Buddington, 1988). Este patrón de consumo de reservas vitelinas fue observado en el presente trabajo y ha sido reportado para diferentes especies como *Lutjanus campechanus* (Williams *et al.*, 2004), *Pagrus pagrus* (Aristizabal, 2006), *Lutjanus peru* (Zavala, 2007), entre otros. Además, se ha observado que durante las primeras horas después de la eclosión, el consumo de vitelo es mayor, coincidiendo con el incremento en la talla de las larvas (Zavala, 2011). Los factores que afecten la actividad metabólica del sincitio afectan de manera directa la tasa de absorción del vitelo. La tasa de absorción se incrementa por el efecto de la temperatura fuera de un rango óptimo (Heming y Buddington, 1988; Kamler, 2002; Pittman *et al.*, 2013). También se ha demostrado que el efecto de la temperatura sobre la eficiencia en la utilización del vitelo no presenta un patrón definido ya que la temperatura tiene un efecto especie-específico, por ejemplo en la cabrilla sardinera (Gracia-López *et al.*, 2004), robalo (Barón-Aguilar *et al.*, 2015) y huachinango (Zavala, 2007; Peña *et al.*, 2014; Estrada-Godínez *et al.*, 2015), las larvas presentaron una mayor longitud a baja temperatura baja y el consumo de vitelo y gota de aceite es mayor a temperaturas altas; en otras especies como la merluza (Guevara-Fletcher *et al.*, 2017) la mayor

longitud se presentó en la temperatura más alta así como el consumo de vitelo y gota de aceite, como fue el caso en el presente estudio; por lo tanto, de acuerdo a los resultados del presente estudio, se infiere que la temperatura de incubación y de cultivo de larvas vitelinas afectó el consumo del vitelo y la gota de aceite; la utilización de las reservas energéticas fue más rápida en las larvas cultivadas a 31°C. Sin embargo, tanto las larvas en 25°C y a 31°C no sobrevivieron las 72 HDE; por lo cual, se infiere que la temperatura para la incubación y cultivo de larvas vitelinas del pargo flamenco se debe llevar a cabo alrededor de los 28°C para un adecuado consumo de sus reservas energéticas y logren una exitosa transición a la alimentación exógena

CONCLUSIONES

Se confirmó el efecto de la temperatura sobre el porcentaje y tiempo de eclosión, crecimiento y en el consumo de las reservas vitelinas de las larvas de pargo flamenco *L. guttatus*. Los resultados obtenidos sugieren que la temperatura para la incubación y cultivo de larvas vitelinas del pargo flamenco se debe llevar a cabo a los 28°C para lograr la sobrevivencia del embrión, eclosión, crecimiento y consumo adecuado de sus reservas energéticas y puedan lograr una exitosa transición a la alimentación exógena.

Agradecimientos

A Valerie Williams por su apoyo en la redacción del resumen en inglés y corrección del manuscrito. A Juan Huerta por su asistencia técnica. Al personal de la planta piloto para la producción de peces marinos del CIAD, Mazatlán por proporcionar los huevos de pargo flamenco

REFERENCIAS

- Abdo de la Parra, M. I., Rodríguez Ibarra L. E., Campillo-Martínez F., Velasco-Blanco G., García-Aguilar N., Álvarez-Lajonchère L., Voltolina D. 2010. Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y supervivencia larval del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(1): 141-146.
- Alvarez-Lajonchere L.S., Abdo de la Parra M. I, Rodríguez Ibarra L. E., Velasco Blanco G., Puello Cruz A., González- Rodríguez B., Ibarra Soto A., Ibarra Castro, L. 2012. The Scale-up of Spotted Rose Snapper, *Lutjanus guttatus*, Larval Rearing at Mazatlan, Mexico. *Journal of World Aquaculture Society*, 43(3): 411-421.
- Aristizabal O.E. 2006. Consumo de oxígeno, crecimiento y utilización del alimento durante el desarrollo larval del besugo pagrus pagrus (linné 1758) (pisces: sparidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 41 (2): 209-222.

- Azocar C, Claramunt G., Yañez F., Futagawa M. 2014. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo embrionario y larval de *Graus nigra* (Kyphosidae) del norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(1): 11-122.
- Barón-Aguilar C., Rhody C., N. R., Bremman N. P., Main K. L., Peebles E. B., Muller-Karger F. E. 2015. Influence of temperatura on yolk resorption in common snokk *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) larvae. *Aquaculture Research* 46: 1679-1687.
- Blaxter J. H. S. 1992. The effect of temperature on larval fishes. *Neth. J. Zool.* 42:336–357
- Blaxter J. H.S, Hempel G. 1966. Utilization of yolk by herring larvae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 46:219–234.
- Boza-Abarca J., Calvo-Vargas E., Solís-Ortiz N., Komen J. 2008. Induced spawning and larval rearing of spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*, at the Marine Biology Station, Puntarenas, Costa Rica. *Ciencias Marinas* 34: 239-252.
- Brown C. A., Gothreaux C. T., Green C. C. 2011. Effects of temperature and salinity during incubation on hatching and yolk utilization of Gulf killifish *Fundulus grandis* embryos. *Aquaculture* 315: 335–339.
- DasT., Chakraborty P., Manush P. S., Dalvi S. M., Sarma, K., Mukherjee, S.C.2006. Thermal dependence of embryonic development and hatching rate in *Labeo rohita* (Hamilton, 1822). *Aquaculture* 255, 536–541.
- Estrada-Godínez J. A., Moreno-Figueroa L. D., Maldonado-García M., Pérez-Urbiola J. C., Romero-Rodríguez J., Audelo-Naranjo A. 2015. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(1): 137-145.
- Guevara-Fletcher C., Alvarez O., Sánchez J., Iglesias J. 2017. The effect of temperature on the development of yolk-sac larvae of European hake (*Merluccius merluccius* L.) under laboratory conditions. *Aquaculture Research* 48(4): 1392-1405
- Gracia-López V., Kiewek-Martínez M., Maldonado-García M. 2004. Effects of temperature and salinity on artificially reproduced eggs and larvae of the leopard grouper *Mycteroperca rosacea*. *Aquaculture* 237: 485-498.
- Hardy R. S., Livak M. 2004. Effects of temperature on the early development, growth and survival of shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*, and Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus*, yolk

- sac larvae. *Environmental Biology of Fishes* 70: 145-154.
- Hart P. R., Purser G.J. 1995. Effects of salinity and temperatura on eggs and yolk sac larvae of the greenback flounder (*Rhombosolea tapirina* Gunter, 1862). *Aquaculture*, 136(3-4): 221-230.
- Heming T. A., Buddington R. K. 1998. Yolk absorption in embryonic and larval fishes. In: Hoar W.S y Randall D. J. *Fish Physiology*. Vol XI The physiology of developing fish. Part A. Eggs and Larvae. (pp 408-447) Academic Press, Inc. San Diego.
- Hempel G. 1979. Early life history of marine fish, Washington Sea Grant Pulication. University of Washinton Press. Seattle. 70 p.
- Hui W., Guodong L., Jiahui L., Hongshuai Y., Jun Q., Pao X. 2015. Combined effects of temperature and salinito n yolk utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research* 46: 2418-2425.
- Ibarra-Castro, L., Muñoz-Meza L., Álvarez-Lajonchère L. 2012. Estudios sobre el manejo e incubación de huevos del pargo flamenco *Lutjanus guttatus* (Pisces, Lutjanidae). *Hidrobiológica*, 22 (1): 49-57.
- Jaroszewska M., Dabrowski K. 2011. Utilization of yolk: transition from endogenous to exogenous nutrition in fish. In: *Larval Fish Nutrition* (Ed Holt G. J.) pp. 183-218. John Wiley & Sons. UK.
- Jaworski y Kamler E. 2002. Development of a bioenergetics model for fish embryos and larvae during the yolk feeding period. *Journal of Fish Biology* 60, 785–809.
- Kaminski R., Kamler E., Korwin-Kossakowsk M., Myszkowski L., Wolnicki J. 2006. Effects of different incubation temperaturas on the yolk-feeding stage of *Eupallasella percnurus* (Pallas). *Journal of Fish Biology*, 68: 1077-1090.
- Kamler E. 1992. Early life history of fish. An energetics approachs. Chapman and Hall. London. 267 pp.
- Kamler E. 2002. Ontogeny of yolk-feeding fish: an ecological perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 79–103.
- Kamler E. 2008. Resourceallocation in yolk-feeding fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 18: 143-200.

- Maslova O. N. 2011. Dynamics of chemical composition of the black sea gray mullet *Mugil cephalus* in the period of early ontogénesis and its dependence on temperatura and salinity. *Journal of Ichthyology* 51(5): 382-391
- Peña R., Dumas S., Zavala-Leal., Contreras-Olguín M. 2014. Effect of incubation temperatura on the embryonic development and yolk-sac larvae of the pacif red snapper *Lutjanus peru* (Nichols & Murphy, 1922). *Aquaculture Research* 45: 519-527.
- Petereit C., Haslob H., Kraus G., Clemmesen C. 2008. The influence of temperature on the development of Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus*) eggs and yolk sac larvae. *Marine Biology*, (2008) 154: 295–306.
- Pittman K., Yúfera M., Pavlidis M., Geffen A. J., Koven W., Ribeiro L., Zambonino-Infante J. L., Tandler A. 2013. Fantastically plastic: fish larvae equipped for a new world. *Reviews in aquaculture* 5 (1): 224-267
- Williams, K., Papanikos, N., Phelps, R.P., Shardo, J. D. 2004. Development, growth, and yolk utilization of hatchery-reared red snapper *Lutjanus camperechanus* larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 275. 231-239
- Yoseda K., Dan S., Sugaya T., Yokogi K., Tanaka M., Tawada S. 2006. Effects of temperatura and delayed initial feeding on the growth of malabar grouper (*Epinephelus malabricus*) larvae. *Aquaculture* 256: 192-200
- Zavala I. 2007. Efecto de la temperatura, intensidad de luz, tipo y densidad de presa en la eficiencia alimenticia durante la ontogenia inicial del huachinango del pacífico (*Lutjanus peru*). Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. 52p.
- Zavala I. 2011. Caracterización bioquímica del consumo de reservas vitelinas en peces teleósteos de ontogenia indirecta. *Revista Electrónica de Veterinaria* 12 (3): 1-32.



Abundancia y biomasa de los recursos pesqueros del Golfo de Venezuela después de la eliminación de la pesca industrial de arrastre

Abundance and biomass of the fishing resources of the Gulf of Venezuela after the elimination of trawl industrial fishing

Orlando Pomares¹, Ricardo Molinet², Jorge Jurado¹ (✉)

¹Departamento de Ciencias Pesqueras. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda".

²Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar.

 Orlando Pomares () E-mail: opomares@gmail.com

RESUMEN | El presente estudio se deriva de la “Línea Base de Recursos Pesqueros y Pesquerías del Golfo de Venezuela” del Proyecto “Rafael Urdaneta” de Explotación de gas costa afuera (FUNINDES-USB-PDVSA, 2016); en la cual mediante dos campañas (noviembre - diciembre de 2014, y marzo - abril, junio de 2015 respectivamente) de prospección pesquera por área barrida (arrastre de fondo) se generó información que permitió: actualizar las estimaciones de biomasa y abundancia (densidad y captura por unidad de esfuerzo) de los recursos pesqueros y comparar los resultados con evaluaciones anteriores para arrojar luz sobre los potenciales efectos combinados que ha tenido la disminución progresiva del esfuerzo de la pesquería industrial de arrastre en sus últimos y su cierre definitivo, seis años antes de la realización de estos muestreos. Dicha información fue complementada con parámetros ambientales tomados *in situ* (temperatura, salinidad, transparencia) y de sensores remotos, así como de información de estudios hidrográficos previos, con el fin de verificar que ambas campañas representaban contextos ambientales contrastantes (ej.: ausencia/presencia de surgencia). En función de los resultados obtenidos, se determinó que la mayoría de los recursos han experimentado incrementos significativos en sus abundancias con relación a etapas históricas intermedias en la evolución de la extinta flota de pesca de arrastre, cuando los niveles de esfuerzo pesquero eran altos (sobredesarrollo, ver Pomares, *et al.* 2009); pero que aún no se acercan a los niveles de abundancia que existían cuando la flota estaba en su etapa de “subdesarrollo” y los impactos sobre el recurso eran despreciables.

Palabras Clave: Recursos demersales y bentónicos, Golfo de Venezuela, área barrida, biomasa, abundancia.

ABSTRACT | This study is derived from the “Baseline of Fisheries Resources and Fisheries of the Gulf of Venezuela” of the “Rafael Urdaneta” Project for Offshore Gas Exploitation (FUNINDES-USB-PDVSA, 2016); In which, through two campaigns (November - December 2014, and March - April, June 2015 respectively) of fishing prospection by swept area (bottom trawl), information was generated that allowed: updating the estimates of biomass and abundance (density and catch per unit of effort) of the fishery resources and to compare the results with previous evaluations to shed light on

the potential combined effects of the progressive reduction in effort of the industrial trawl fishery in its last years and its definitive closure, six years before these samplings were carried out. This information was complemented with environmental parameters taken in situ (Temperature, salinity, transparency) and from remote sensors, as well as information from previous hydrographic studies, in order to verify that both campaigns represented contrasting environmental contexts (ex: absence / presence upwelling). Based on the results obtained, it was determined that most of the resources have experienced significant increases in their abundances in relation to intermediate historical stages in the evolution of the extinct trawling fleet, when the levels of fishing effort were high (“overdevelopment”, see Pomares, *et al.* 2009); but they are not yet close to the levels of abundance that existed when the fleet was in its “underdevelopment” stage and the impacts on the resource were negligible.

Keywords: Demersal and benthic resources, Gulf of Venezuela, swept area, biomass, abundance.

INTRODUCCIÓN

La eliminación de la pesca industrial de arrastre en Venezuela en 2009 marcó un hito en materia del ordenamiento pesquero e inclusive al nivel internacional. Durante toda su existencia 1958-2009 esta pesquería estuvo rodeada de controversias por dos razones fundamentales: los conflictos de interferencia por artes y recursos con las pesquerías artesanales y, por los impactos ecológicos que comprobada y especulativamente generaba sobre la fauna y el hábitat marinos. Si bien la medida de cierre de la actividad tenía basamentos técnicos, lo cierto del caso, es que estos no eran sólidos, y sin duda, subyacían en la toma de decisión que llevó a esa extrema medida, principalmente las consideraciones sociales y políticas. Una vez tomada la medida, sin embargo, se presentaba una oportunidad única de evaluar los cambios que podrían operar en los recursos pesqueros y las pesquerías artesanales ante esta especie de “experimento a gran escala” que comenzaba a operar. Sin embargo, ni las políticas institucionales científicas, ni las de gestión de los recursos pesqueros, estuvieron a la altura de las circunstancias y no se generaron programas específicos eficaces para monitorear la situación. Por razones ajenas a estas circunstancias, en 2014, PDVSA decide emprender el “Estudio de Línea Base de Recursos Pesqueros y Pesquerías del Golfo de Venezuela”, como requisito ambiental para desarrollar los planes de exploración / explotación de gas costa afuera en esta región del país, en el marco del “Proyecto Rafael Urdaneta” (PRU). Este estudio comprendió varios aspectos de amplio alcance relacionados con la evaluación del estado de los recursos pesqueros y las pesquerías de ese momento, a los fines de contar con una línea base en la materia para encarar los impactos potenciales de los futuros desarrollos gasíferos. Una parte de este estudio fue aprovechada al dársele valor agregado y hacer este primer abordaje en torno a la condición de los recursos del Golfo de Venezuela a casi seis años de la eliminación de la pesca de arrastre con relación a las fechas en que se realizaron los muestreos de este estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Planificación de las campañas

Se planificaron dos campañas de pesca por área barrida empleando el Buque de investigaciones pesqueras y ambientales L/M “CARLITOS” (M: AMMT-2041; entonces bajo la armaduría de FUNDATUN) para dos períodos estacionalmente contrastantes del año en cuanto a climatología e hidrografía, de los años 2014-2015; la primera (I) durante el período octubre-noviembre de 2014 y la segunda (II) en febrero-abril de 2015, correspondiendo respectivamente a los períodos de lluvia-aguas altas-sin surgencia (menor salinidad y turbidez y mayor temperatura y transparencia) y sequía-aguas bajas-con surgencia (mayor salinidad y turbidez y menor temperatura y transparencia). Cada campaña se concibió para abarcar un total de 37 estaciones cuya ubicación garantizara una cobertura integral del Golfo de Venezuela (Fig. 1) y, a la vez, la representatividad de los distintos bloques que PDVSA ha seleccionado como oportunidades para la exploración/explotación de gas.

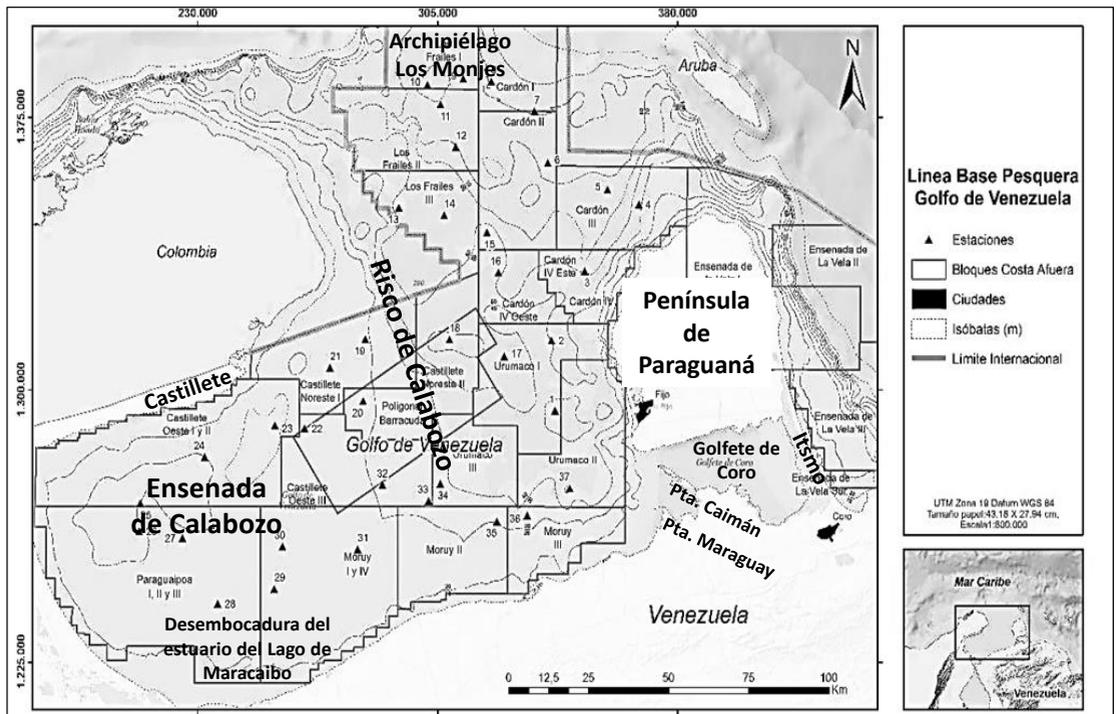


Figura 1. Estaciones referenciales de las campañas de muestreo en el Golfo de Venezuela, evidenciando los bloques de exploración y la identificación de algunas ecorregiones e hitos geográficos.

Fuente: Modificado de: FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

A los efectos de las campañas de área barrida se dispuso de redes polivalentes pareadas de arrastre de fondo, una por babor y otra por estribor. Cada red posee una longitud, desde las relingas al borde posterior del cañón, de 18,8 m, un saco de 4,20 m con una luz de malla de 1,5 pulgadas (3,81 cm), una abertura horizontal de 30 m. Los arrastres (“lances” o “caladas”) se programaron para durar aproximadamente 0,5 h contadas a partir de la red tocar fondo. Las faenas de pesca daban comienzo por lo general a primeras horas de la mañana y finalizan al anochecer, aun cuando ello dependía de la cercanía entre estaciones por día y de que no se presentasen percances en el buque.

Procesamiento de la captura a bordo

Una vez que los copos con las capturas son izados a bordo se procesan uno a la vez a fin de evitar que las capturas se mezclen. El copo es abierto sobre la cubierta y toda la captura es encajada de manera aleatoria (en cestas que llenas lo más al ras posible de pescado y que almacenan aproximadamente 10 kg de producto) para calcular la captura total. De inmediato toda la captura es vaciada nuevamente sobre cubierta y se toman submuestras de manera aleatoria (sin discriminar organismos comerciales y no comerciales y estimada en N^o de cajas) equivalentes a aproximadamente el 20% de la captura total por cada red. Así, por ejemplo, si la captura total fue de 10 cajas, se tomaban 2 cajas como submuestra. Las submuestras fueron previamente clasificadas en fauna comercial y “broza” o “descarte” con ayuda del criterio del capitán y los marinos. Los ejemplares comerciales fueron identificados al máximo nivel de resolución taxonómica posible (especie), y los de la broza a un nivel taxonómico variable (opcional), dependiendo de las dificultades del caso. Los ejemplares en los cuales se presentaron problemas de identificación y/o análisis biológico, se preservaron y etiquetaron para su posterior procesamiento en el laboratorio (Fig. 2)

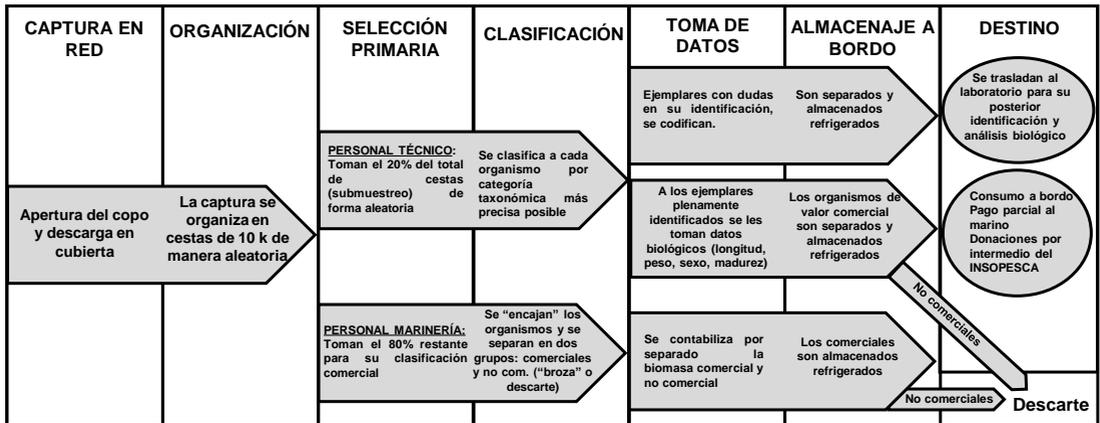


Figura 2. Diagrama esquemático del protocolo para el procesamiento de la captura a bordo.

Fuente: Modificado de FUNINDES-USB-PDVSA (2016).

Variables Ambientales

En cada estación de muestreo, se hicieron mediciones de temperatura (°C), concentración de oxígeno disuelto (mL/L) y salinidad (UPS) mediante el uso de una sonda multi-paramétrica YSI-556 MPS, tanto a nivel superficial como a intervalos de 05 de profundidad hasta llegar a los 15 m (máxima longitud del cable), lo cual, si bien, no permitió determinar perfiles completos, facilitó la identificación de procesos de estratificación /mezcla de la columna de agua debido a las profundidades relativamente someras del golfo. Adicionalmente, se utilizaron imágenes satelitales de la página web del Proyecto Cariaco. (<http://cariaco.intecmar.usb.ve/>) para verificar la distribución superficial de la temperatura y la presencia/ausencia de surgencia en el área. Como información complementaria se determinó la transparencia (Secchi).

Procesamiento de los datos

Las estimaciones de abundancia y biomasa se hicieron siguiendo a Sparre *et al.* (1989). Las estimaciones de CPUE, densidad y biomasa se promediaron por campaña, a los efectos de establecer comparaciones con los mismos indicadores promediados de estudios anteriores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contextualización hidrográfica y ecológica condicionante de la abundancia y biomasa de los recursos pesqueros las campañas de pesca exploratoria

La interpretación integrada de las variables temperatura y salinidad determinadas *in situ*, nos lleva al reconocimiento de las dos masas principales de agua: la más cálida y menos salada del oeste y la más fría y salada del noreste, consistentemente reconocidas en la literatura e imágenes satelitales reseñadas. También podemos decir que la campaña II se correspondió con la época de sequía y fuertes vientos induciendo surgencia; y la campaña I con la época de lluvias y vientos débiles induciendo un comportamiento estuarino del golfo. Lo particularmente relevante de esta aseveración para efectos del presente estudio, radica en que al promediar los estimados de abundancia y biomasa de las dos campañas, se puede asumir cierta “condición promedio” de estos indicadores sobre una base anual para propósitos comparativos con otros estudios.

Estadísticas globales de esfuerzo pesquero

El alcance cubierto en términos del número de estaciones muestreadas para área barrida por campaña de pesca, se presenta en la tabla 3. Se aprecia que se cubrió el 97,3 % de las estaciones programadas (si bien, no equitativamente en ambas campañas), quedando como se dijo con anterioridad, únicamente dos estaciones sin cubrir, aunque en realidad se trata de dos réplicas

estacionales: II-16 y II-17, ya que si se cubrieron: I-16 y I-17 en la 1era campaña. Las estadísticas sumarias respectivas por campaña -incluyendo las capturas globales- se muestran en la fig. 3. Podemos destacar los mayores valores de esfuerzo pesquero y área cubierta en la campaña 2 (producto de los incidentes ocurridos en la primera y que ya han sido descritos) cuando comparamos sus indicadores en cada campaña: la distancia total recorrida (mn): 83.701,83 y 123.756,76; el área total barrida (al realizar la faena de pesca en sí) por campaña (mn²): 0,59 y 0,87; el tiempo total de calado de las artes (h): 1.321 y 1.458.

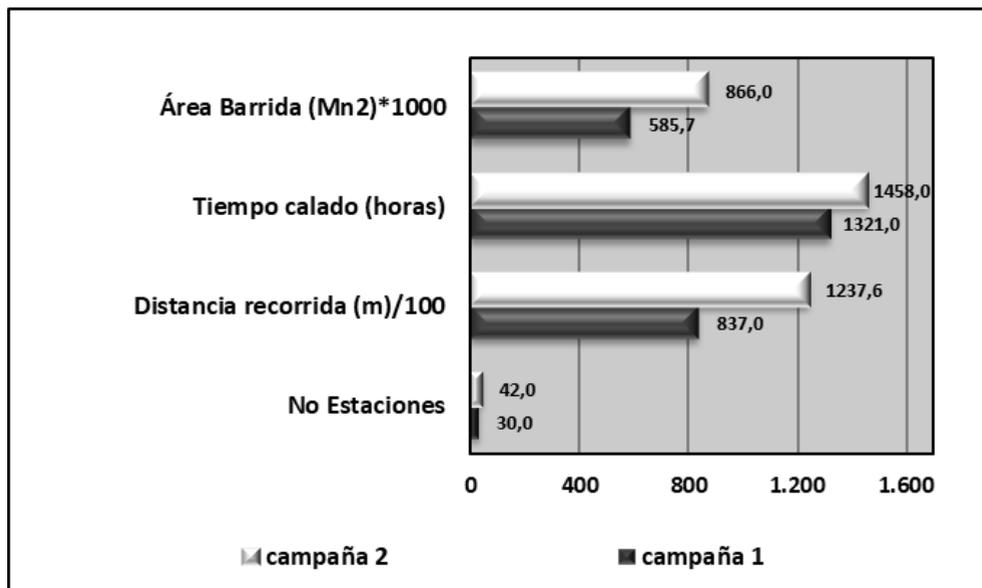


Figura 3. Estadísticas sumarias de esfuerzo de pesca por campaña

Estadísticas globales de producción pesquera por campaña

Naturalmente, estos sesgos tienen sus impactos sobre las estadísticas de producción pesquera; no sólo en términos de la abundancia, densidad y biomásas globales, sino también en cuanto a sus correspondientes valores relativos al considerar la composición por especies resultante; concretamente, la exclusión de estaciones ausentes en alguna de las dos campañas. En el presente caso, la discusión de los indicadores de producción pesquera se hará a partir de la data completa sin menoscabo de las inequidades en términos de esfuerzo, ya que ello garantiza la utilización completa de la información generada durante los cruceros exploratorios realizados.

Estos indicadores diferenciales de esfuerzo por campaña de pesca se vieron reflejados, a su vez, en los indicadores globales de producción pesquera, todos ellos mayores en la 2da campaña (Fig. 4). Que las capturas globales (kg) sean mayores (3.187,81 y 7.115,76 campañas I y II respectivamente) es algo

que cabría esperar habida cuenta la mayor área barrida. Sin embargo, las densidades (kg/mn²) (6.332,93 y 8.919,67), y abundancias medidas como C.P.U.E. (kg/h) (179,62 y 260,38) son independientes de la magnitud del barrido o del número de estaciones y se deben a los mayores rendimientos que se obtuvieron durante la segunda campaña.

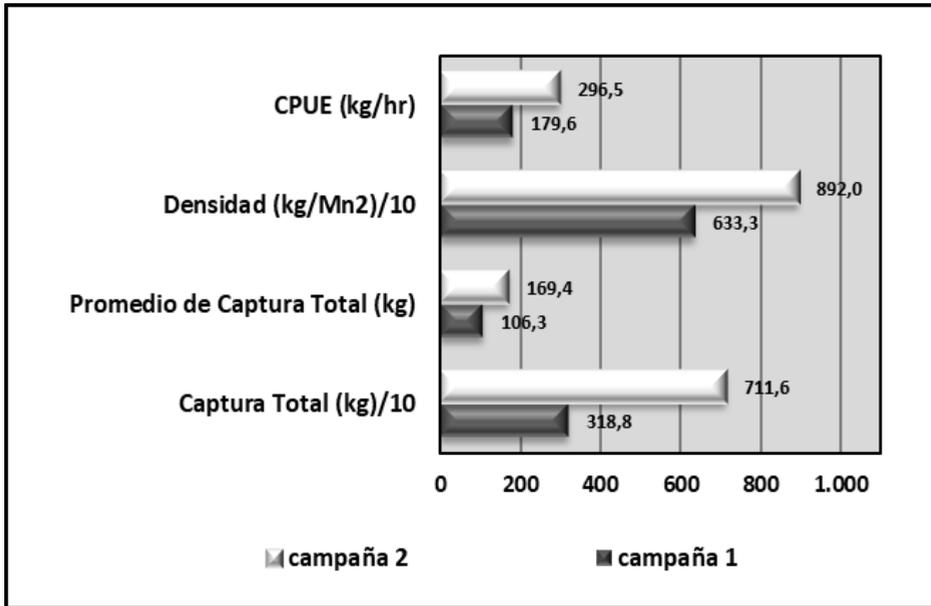


Figura 4. Estadísticas sumarias de producción pesquera por campaña

Abundancia (CPUE) por especie y campaña

No sólo los indicadores globales de producción pesquera pueden cambiar con las campañas de pesca exploratoria, sino que también, suelen hacerlo la composición y abundancia relativa por especie que los sustentan. Es por ello que la CPUE por especie y por campaña es el indicador de abundancia más comúnmente empleado en la evaluación de los recursos pesqueros, ya que permite ponderar las capturas en términos de biomasa (kg) obtenidas con base en el esfuerzo de pesca realizado medido -en este caso- en unidades de tiempo efectivo de pesca en horas.

Podemos destacar las importantes contribuciones en las capturas de ambas campañas del Roncador (*Micropogonias furnieri*, familia Scianidae) con 35,33 y 36,01 kg/h respectivamente (presentado las contribuciones porcentuales más altas: 13,95 % y 9,76%) y las rayas varias, pero principalmente la especie *Dasyatis guttata*, familia Dasyatidae (representando está más del 70 % del grupo de rayas) con 25,56 y 54,83 kg/h (10,09 % y 14,86 %). El roncador es una especie tradicionalmente importante en los volúmenes de desembarco de la mayoría de las pesquerías del golfo, debido a su estrategia generalista de alimentación y reproducción y su amplia tolerancia a distintas condiciones ambientales, por lo que

no extrañan estos resultados. Las rayas por su parte, abundan en la zona debido a la predominante presencia de fondos blandos (fangosos y arenosos) en el golfo, requeridos para su estrategia de caza que consiste en enterrarse y acechar a sus presas potenciales. Además, su tamaño relativo es grande lo cual es incidental en los cálculos de la abundancia con base en la biomasa. Sin embargo, en pesquerías es más relevante la información basada en biomasa por razones de mercado.

El resto de las especies abundantes presentaron contribuciones alrededor del 7% del total; lo cual por lo demás, es característico de los ecosistemas pesqueros marinos tropicales: un gran número de especies con abundancias similares y bajas son el soporte principal de las pesquerías, al contrario de lo que sucede en ambientes marinos templados y fríos. Entre los principales de estos recursos tenemos: el canario (*Conodon nobilis*, Haemulidae) 17,74 y 16,73 kg/h (7,00 y 4,53 %); el guanapo (*Lutjanus synagris*, Lutjanidae) 19,71 y 12,48 kg/h (7,78 y 3,38 %); el cherechere (*Haemulon steindachneri*, Haemulidae) 12,04 y 9,06 kg/h (4,76 y 2,45 %); el robalo (*Centropomus spp*, Centropomidae) 15,04 y 8,01 kg/h (5,94 y 2,17 %); la curvinata (*Macrodon ancylodon*, Scianidae) 13,77 y 9,14 kg/h (5,44 y 2,48 %); la curvina conchúa (*Cynoscion acoupa*, Scianidae) 6,77 y 13,42 kg/h (2,67 y 3,64 %); el corocoro-peorro (*Orthopristis ruber*, Haemulidae) 2,15 y 14,37 kg/h (0,85 y 3,89 %); la curvina (*Cynoscion jamaicensis*, Scianidae) 12,93 y 2,48 kg/h (5,11 y 0,67 %); el Cherechere boca roja (*Haemulon Steindachneri*, Haemulidae) 10,13 y 3,09 kg/h (4,00 y 0,84%); kg/h; la mojarra caitipa (*Diapterus rhombeus*, Gerreidae) 7,36 y 1,01 kg/h (2,91 y 0,34); la cota (*Lagocephalus laevigatus*) 5,19 y 2,12 kg/h (2,05 y 0,57%); la chicharra (*Chloroscombrus chrysurus*, Carangidae) 4,81 y 5,58 kg/h (1,90 y 1,51 %); entre otras. En cuanto a familias taxonómicas se evidencia un claro dominio de los haemúlidos y los esciánidos. Los primeros son más característicos de ambientes netamente marinos y fondos arenosos; y los segundos (así como los centropómidos) de ambientes turbios con fondos fangosos y de influencia estuarina; es decir, las zonas este y oeste del Golfo descritas con anterioridad.

Llama la atención la baja representatividad (por debajo del 0,5 % del total de especies) de los camarones, ya que no es lo que cabría esperar dado que el golfo es conocido históricamente por la abundancia de estos recursos; y sobre todo porque, la presión pesquera sobre estos se redujo drásticamente desde hace 6 años debido a la eliminación de la pesca de arrastre industrial, hecho bien conocido y de dominio público (A partir de Marzo de 2009, entró en vigor el decreto-ley eliminándola y la explotación camaronesa quedó reducida a la pesca artesanal con redes de arrastre y derivantes en una franja próximo costera que difícilmente excede las 5-7 millas) que tampoco es muy extensa, además de tratarse de pesquerías que han alcanzado escaso desarrollo. Si bien, por tratarse de crustáceos de pequeña talla cabría esperar que arrojen biomasa inferiores a las de los recursos ícticos, sus abundancias son muy bajas como para ser explicadas por este solo hecho. Otra explicación más coherente es que probablemente obedezca a un artefacto de los muestreos, debido a que estos se realizaron pocas veces en horas de la noche, que es el momento del día en que son más difíciles de capturar la mayoría de las especies propias de la zona, a saber: camarón rojo (*Farfantepenaeus notialis*, Peneidae) 0,92 y 0,05 kg/h (0,36 y 0,01 %); camarón marrón: (*Farfantepenaeus subtilis*, Peneidae) 1,10

y 0,04 kg/h (0,43 y 0,01 %); y camarón rosado con mancha (*Farfantepenaeus brasiliensis*, Penaeidae) (esta última no apareció en las sub-muestras y por ende tampoco en los registros de CPUE, si bien, algunos escasos ejemplares fueron observados en las capturas totales). Estas especies de hábitos nocturnos, en horas del día se entierran en los fondos blandos y escapan en buena medida al efecto de la cadena de la relinga inferior de la red de arrastre que hace saltar a los camarones al interior de esta cuando se encuentran activos sobre el sustrato (Ewald, 1965). Como consecuencia de lo anterior, la capturabilidad del arte de pesca para estas especies disminuye apreciablemente, y de hecho, se ha determinado que en el golfo la CPUE en horas del día para estas especies es en promedio tres veces menor con relación a la CPUE nocturna (Bracho, 2006; datos no publicados). Las únicas especies de camarones comerciales de hábitos diurnos: el camarón Blanco (*Litopenaeus schmitti*, Penaeidae) 0,35 kg/h (0,14 %) (Solo presente en las submuestras de la campaña I) conocida por su asociación a los períodos lluviosos del año, y el Camarón Tití (*Xhipopenaeus kroyeri*, Penaeidae) 0,22 y 0,05 kg/h (0,09 y 0,01 %); muy restringida en su distribución a la franja próxima costera (Ewald, 1965) (no estuvo cubierta en los muestreos a fin de evitar problemas de interferencia con pescadores artesanales) fueron escasamente representativas. Otro factor que puede haber coadyuvado para incidir en estos bajos estimados de CPUE en camarones, es el tiempo de arrastre que es muy corto (0,5 h) en contraste con el de la otrora pesca industrial de arrastre (4-6 h) (García, 2004; Bracho, 2006). Este tiempo de pesca es adecuado y comúnmente empleado para tomar submuestras representativas multiespecíficas, pero probablemente sea algo bajo para los camarones dada su naturaleza bentónica y su distribución contagiosa.

Al margen de la subestimación, podemos asumir que las abundancias relativas espaciales de estas especies, mantienen cierto grado de proporcionalidad con las reales, y en tal sentido, los lugares donde se obtuvieron los mayores rendimientos equivaldrían a zonas de alto rendimiento de estas especies. Así los resultados de este estudio serían de utilidad principalmente, para discernir patrones de distribución espacio-temporal de estos recursos

Comparaciones con estudios previos

Son escasas las fuentes de información previas para comparar con estos resultados, pues el Golfo de Venezuela es un ecosistema pobremente estudiado en sus aspectos pesqueros. Se pudieron encontrar estimados de CPUE en algunos estudios precedentes, a los cuales conviene contextualizar adecuadamente con el momento histórico que vivía la pesquería de arrastre industrial del golfo (la que más impactaba a los recursos y de la que se dispone de mejores datos), ya que las etapas de desarrollo histórico que experimenta cualquier pesquería suponen cambios importantes en la presión pesquera, y por ende, afectan los estimados de abundancia que se obtienen en cualquier prospección de recursos. Para ello cotejamos los estudios de prospecciones que citaremos abajo, con la caracterización de los estadios de desarrollo de la pesquería de arrastre en todo su acontecer histórico: 1956-2008 (Pomares, *et al.* 2009).

Las escasas prospecciones de recursos en el Golfo de Venezuela han sido realizadas por:

a) El Programa MAC-PNUD-FAO (Ewald *et al.*, 1971) bajo cuyo auspicio se realizaron 6 cruceros exploratorios de área barrida a bordo del buque comercial de arrastre “Carmelina” fletado con ese fin. Las campañas correspondieron a: octubre-noviembre de 1968, y enero – marzo y mayo de 1969. Los estimados de CPUE se obtuvieron promediando los valores de las 6 campañas por los cuadrantes de pesca delimitados en este estudio. Esta evaluación se correspondió con una etapa de presión pesquera moderada, ejercida por una aún joven flota pesquera (si bien, por devenir en una rápida expansión) y en la que ya venía cayendo exponencialmente la cpue (t/día) de las capturas comerciales con relación a los primeros estimados cuando comenzaba la pesquería, y los cuales se asume eran cercanos a la abundancia de los recursos en condiciones naturales.

b) Fundación La Salle (FLASA) (Ginés, 1982) realizando prospecciones exploratorias por área barrida en 1977 empleando buques comerciales rentados con este fin, empleando equipos y artes de pesca similares a los del Carmelina y del presente estudio. Los estimados se obtuvieron promediando los valores de CPUE de los cuadrantes de pesca delimitados en dicho estudio. En este caso, las evaluaciones se corresponden con un período de sobrepesca importante, incluyendo el primer colapso de la pesquería que obligó a movilizar parte de la flota al puerto de Güiría (al oriente del país) a fin de disminuir el esfuerzo pesquero colectivo de esta. Este fraccionamiento de la flota generó un rápido incremento de la CPUE comercial llevándola a niveles similares a los de finales de los 60. Podríamos asumir que en las prospecciones de este año se esperarían valores de CPUE un poco más bajos que los del estudio anterior producto del impacto reciente aún de la sobrepesca.

c) Adicionalmente se contó con una data de registros históricos levantada por observadores a bordo de embarcaciones de la extinta flota de arrastre industrial camaronesa del golfo, bajo la dirección del INIA-Falcón, la cual no está publicada. Esta información fue procesada *ad hoc* a fin de obtener valores promedios de CPUE (kg/h) de un total de 188 campañas de pesca cubriendo la serie histórica 1973 - 1996 para especies relevantes (Tabla 6) y por ende puede considerarse —al margen de la irregularidad en el número de cruceros por año— un promedio histórico. La comparación con los estimados de CPUE obtenidos a partir de cruceros comerciales tiene el inconveniente de que el tiempo de arrastre por lance de pesca no era estandarizado y siempre resultaba mucho mayor (4 a 6 horas, o sea de 8 a 12 veces) al de los cruceros científicos, lo cual podrá tener consecuencias relativamente menores al ser llevados todos los cocientes a las mismas unidades (kg/h); pero sobre todo, el esfuerzo de pesca no era distribuido aleatoria ni equitativamente en el Golfo, sino que se concentraba en ciertas zonas (caladeros) especialmente atractivas en un momento dado, en función de los rendimientos en la captura de las especies objetivo: los camarones. Esto trae como consecuencia que los valores de CPUE de estas especies —y de otras asociadas a los mismos tipos de ambientes— sean comparativamente elevados. Por otra parte, el período histórico cubierto alcanzó las décadas de los 70’s, 80’s y 90’s en los cuales se

suceden distintos estadios de desarrollo de la flota e incrementos y caídas de la CPUE comercial, por lo cual resulta muy difícil hacer proyecciones de CPUE esperada.

En la tabla 1 se muestran los cocientes de las CPUE (kg/h) de cada estudio previo / estudio actual. Así surgen tres clases de valoraciones de los cocientes (producto de la comparación de nuestros datos con los de los tres estudios previos citados) que deben interpretarse como siguen: valores < 1 implican que la CPUE del estudio previo fue menor a la del estudio actual, y lo contrario, > 1, si la CPUE en el estudio previo fue superior. El valor del cociente expresa la magnitud de las diferencias. Por último, valores = 1 implican que no se encontraron cambios en las CPUE anteriores y las actuales.

Tabla 1. Cocientes de los CPUE promedio (kg/h) de estudios anteriores y actuales (presente estudio) para algunas especies demersales relevantes del Golfo de Venezuela. Se resaltan los valores > 1 indicativos de mayores CPUE en estudios previos (ver texto). Fuentes: CPUE 1968-69 de Ewald *et al.*, (1971); CPUE 1973-96 de datos no publicados; CPUE 1977 de Ginés (1982); CPUE 2014-2015 del presente estudio.

CPUE (kg/hr)		1968-69 vs 2014-15	1977 vs 2014-15	1973-96 vs 2014-15
Nombre común	Nombre científico			
Bagre	<i>Arius spp</i>	5,52		0,11
Bagre cacumo	<i>Barge marinus</i>			
Bagre quinche	<i>Cathorops spixii</i>	21,03	1,44	
Cachicato	<i>Calamus spp.</i>			0,51
Cagalona	<i>Archosargus rhomboidalis</i>			16,89
Calamar	<i>Loligo plei, L. pealei</i>	14,35	4,51	7,59
Canario	<i>Conodon nobilis</i>		2,08	1,22
Cataco	<i>selar crumenophthalmus y Trachurus lathami</i>	2,52	1,36	2,31
Catalana	<i>Priacanthus arenatus</i>			0,38
Cherechere	<i>Haemulon steindachneri</i>		1,12	1,05
Chicharra	<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	5,75	0,19	1,59
Corocoro peorro	<i>Orthopristis ruber</i>	1,86		0,27
Curvina	<i>Cynoscion jamaicensis</i>		0,13	0,19
Curvinata	<i>Macrodon ancylodon</i>		0,66	
Gallina	<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	0,34	0,06	0,08
Guanapo	<i>Lutjanus synagris</i>	0,15	0,64	0,39
Lamparosa	<i>Selene setapinisy S. vomer</i>	1,19	0,37	0,25
Lenguado arrevés	Bothidae		0,17	
Merluza	<i>Cynoscion leiarchus</i>			0,15
Mojarra caitipa	<i>Diapterus rhombeus</i>			0,59
Paguara	<i>Chaetodipterus faver</i>		0,17	0,49
Panchito	<i>Pristipomoides aquilonaris</i>	4,24		
Pargo cebal	<i>Lutjanus analis</i>	0,93		0,11
Raya	Rajidae			0,48
Robalo	<i>Centropomus spp</i>	1,03	0,08	0,14
Roncador	<i>Micropogonias furnieri</i>	0,87		
Sardina	<i>Sardinella aurita</i>	0,60	0,69	0,82
Tajalí	<i>Trichurus lepturus</i>	2,51		0,41
Tiburones-Cazones	Carcharinidae	2,51		0,41

Comparación 1968-69 vs 2014-15

Los siguientes recursos presentaron menores CPUE (cocientes < 1) en las prospecciones de 1968-69 que en las actuales (2014-15): Lamparosa (0,15); Canario (0,29), Guanapo (0,34); Tahalí (0,60), sardina (0,87) y rayas (0,93).

Los que obtuvieron mayores CPUE en 1968-69 (cocientes > 1): Roncador (1,03); Lenguado (1,19); Curvina (1,86); Bagre (2,14); Tiburones-Cazones (2,51); Catalana (2,52); Camarón rojo (3,79); Pargo Cebal (4,24); bagre (5,50); Corocoro-peorro (5,75); camarón marrón (7,18); Camarón blanco (14,35); Cachicato (21,03).

Comparación 1977 vs 2014-15

Los recursos con menores CPUE en 1977: Guanapo (0,06); Roncador (0,08); Curvinata (0,13); Panchito (0,17); Merluza (0,17); Corocoro-peorro (0,19); Lenguado-arrevés (0,37); Lamparosa (0,64); Gallina (0,66); Tajalí (0,69).

Los que tuvieron mayores CPUE en 1977: Chicharra (1,12); Catalana (1,36); Cachicato (1,44); Cataco (2,08); Camarón rojo (2,16); Camarón marrón (2,75); Camarón blanco (4,51).

Comparación 1973-1996 vs 2014-15

Hubo una gran proporción de recursos con menores CPUE en el promedio de la serie histórica 1973-1996 de pesca comercial, que en los promedios de CPUE de las prospecciones del presente estudio: Guanapo (0,08); Canario (0,09); Rayas (0,11); Bagres (0,11); Roncador (0,14); Mojarra-Caitipa (0,15); Curvinata (0,19); Lenguado-Arrevés (0,25); Curvina (0,27); Cherechere (0,38); Lamparosa (0,39); Tiburones-Cazones (0,41); Robalo (0,48); Panchito (0,49); Cagalona (0,51); Paguara (0,59); Tajalí (0,82).

Los recursos con mayores CPUE en la serie histórica comercial fueron: Chicharra (1,05); Cataco (1,22); Corocoro-Peorro (1,59); Catalana (2,31); Camarón Blanco (7,59); Camarón Rojo/Marrón (9,13); Calamar (16,89).

Las CPUE actuales resultaron mayores en una gran proporción de los recursos al compararlas con los datos de la serie histórica comercial 1973-1996 (17 de 21 recursos contrastados, excluimos los camarones de la comparación) y con las prospecciones de 1977 (10 de 14, excluyendo los camarones); siendo los resultados coincidentes para 7 especies en ambas comparaciones: Guanapo, Roncador, Curvinata, Panchito, Merluza, Corocoro-Peorro, Lenguado, Lamparosa, Gallina, Y Tahalí. Todo lo cual podría inclinarnos a pensar en una posible recuperación de los recursos pesqueros, producto de la

eliminación de la pesca de arrastre ya comentada. Sin embargo, debemos ser cautelosos en las inferencias, por cuanto la comparación de los actuales datos con las prospecciones de 1968-1969 no son tan favorables a esa interpretación; ya que apenas 6 de 10 recursos (nuevamente excluyendo los camarones) presentaron rendimientos mayores actuales, y las magnitudes de los cocientes en algunos recursos favorables a 1968-89 son grandes (Catalana, Cachicatos, Tiburones-Cazones, Pargo Cebal, Corocoro), indicando tasas de captura actuales aún muy disminuidas (de 2 a 20 veces menores) con relación a las etapas de inicio de las pesquerías de arrastre. En tal sentido, se puede hipotetizar que se ha venido dando una recuperación parcial que todavía no ha llevado el sistema ecológico-pesquero a los niveles de los comienzos de la explotación industrial cuando los impactos eran poco significativos y no había ningún efecto acumulativo.

Podría argumentarse que después de 6 años de la desaparición de la pesca de arrastre no ha habido tiempo suficiente para una recuperación sustantiva y generalizada de todos los recursos —si es que esta se llega a alcanzar alguna vez—, pues debemos tener presente que, si bien, el impacto pesquero de la flota industrial de arrastre desapareció, fue sustituido casi de inmediato por el de la flota industrial reconvertida polivalente que empleando los mismos buques que hacían las faenas de arrastre, ha venido empleando nasas y en menor medida palangres con una magnitud desconocida de impacto sobre los recursos susceptibles a estas artes de pesca. Adicionalmente, tenemos el hecho de que las pesquerías artesanales han venido siendo beneficiadas por un agresivo plan de apoyo gubernamental, para estimular su crecimiento con el otorgamiento de subsidios para incrementar las flotas y renovar equipos e insumos para la pesca. Esta política de desarrollo pesquero ha sido sostenida por más de una década, y si bien, actualmente se encuentra minimizada, puede haber tenido un impacto no despreciable sobre los recursos pesqueros. Agreguemos a estos factores, el hecho de que las pesquerías artesanales no están sometidas a prácticamente ninguna regulación de uso del espacio y el tiempo, ni en cuanto a las dimensiones y materiales de sus artes de pesca. Reducciones en las aberturas de malla, uso indiscriminado de redes monofilamento (las de mayor impacto ecológico) y de trenes con grandes dimensiones; son algunos de los problemas de ordenación típicos que se presentan en las pesquerías del Golfo de Venezuela (datos no publicados).

Las comparaciones que hemos establecido hasta el momento, han sido excluyendo a los camarones pues el caso de estos recursos es bien distinto al de la ictiofauna por las razones comentadas en el análisis previo. Si detallamos los cocientes comparando los rendimientos de estos recursos (Tabla 2) encontramos que las tasas de captura en este estudio están muy por debajo de cualquiera de los anteriores. Las diferencias más importantes las encontramos con la CPUE de la serie histórica comercial 1973-1996 para los camarones rojos/marrones combinados, la cual es más de 9 veces mayor; y en el caso del camarón blanco con la CPUE de las prospecciones de 1968-69 que resultó más de 14 veces superior. Que se evidencien diferencias importantes con las capturas históricas comerciales es algo que cabría esperar, ya que los camarones eran la especie objetivo de esta pesquería y sus esfuerzos de pesca se orientaban plenamente hacia los mismos. Que las capturas de camarones resultasen mayores en 1968-

69 tampoco sería algo descabellado, si asumimos que hoy en día estas especies aun no hayan recuperado sus niveles poblacionales de los tiempos en que la pesquería estaba en pleno desarrollo. Pero estas diferencias son tan sustanciales que deben tener explicación en artefactos de muestreo como sugerimos con anterioridad, ya que difícilmente podrían encontrar sustento en un impacto acumulado de esa naturaleza y sin recuperación a la fecha. En observaciones de campo, se detectó un repunte apreciable de la pesca de arrastre artesanal de manera furtiva, alentada por las buenas tasas de captura actuales (aproximadamente entre 5 y 10 kg/h) aunque ya ha menguado por razones de tipo económico.

Tabla 2. Comparación entre estudios de la CPUE de los camarones.

ESPECIE(S) DE CAMARÓN	CPUE 1968-69 / CPUE 2014-15	CPUE 1977 / CPUE 2014-15	CPUE 1973-96 / CPUE 2014-15
Camarón rojo	3,79	2,16	9,13
Camarón marrón	7,18	2,75	
Camarón blanco	14,35	5,51	7,59

Fuentes: CPUE 1968-69 de Ewald *et al.*, (1971); CPUE 1973-96 de datos no publicados; CPUE 1977 de Ginés (1982); CPUE 2014-2015 del presente estudio.

Por otra parte, las comparaciones con las prospecciones de 1977, arrojan diferencias importantes, pero no tan abiertas como las anteriores. Si tomamos en consideración que en esas prospecciones hubo una considerable cantidad de lances nocturnos —a diferencia del presente estudio— que hicieron representativas las capturas de camarones, entonces resulta evidente que la CPUE en las prospecciones de 1977 fue menor que las de la serie histórica comercial (nuevamente por razones esperadas que diferencian un crucero científico de uno comercial) y que las de 1968-69; y aquí, si cabría una posible interpretación de un impacto sobre estos recursos conforme a la interpretación de los estadios de desarrollo de la pesquería que ya se discutieron.

Como corolario de este punto, los resultados de las capturas de los camarones de este estudio deben considerarse cualitativos y útiles para discernir patrones de distribución de los recursos.

Densidad total por especie y por campaña.

La densidad es un indicador particularmente relevante en prospecciones de recursos pues pondera la biomasa de captura por unidad de área (en este caso kg/mm²); lo cual, en última instancia, permite obtener estimados de biomasa para áreas determinadas, en lugar de los de abundancia relativa (CPUE) que no tienen la misma utilidad para la gestión de pesquerías.

Como cabría esperar, los resultados de las densidades relativas guardan cierta correspondencia con los de abundancia previamente comentados; sin bien, pueden darse cambios que son función del área barrida. Entre las especies destacan por su densidad nuevamente: el Roncador (1.310,8 y 977,6 kg/ mn²; correspondiendo al 14,6 % y 8,2 % del total) y las rayas (910,7y 1.612,7 kg/ mn², 10,2 % y 13,5 %); estando las restantes especies por debajo del 8% de su contribución a la densidad total, entre las que destacan: el Canario (713,1 y 496,0 kg/mn²); Guanapo (624,8 y 357,4 kg/ mn²); Cherechere (626,9 y 207,3 kg/ mn²); Curvinata (533,4 y 284,3 kg/mn²); Curvina (556,3 y 131,5 kg/ mn²); Pargo Gallo (69,4 y 893,2 kg/ mn²); Conchúa Curvina (225,9 y 456,6 kg/ mn²); y Merluza (135,4 y 378,5 kg/ mn²), entre otros.

Comparación con estudios previos.

Únicamente se pudieron obtener registros previos de densidad de recursos pesqueros del golfo a partir de la información generada de 4 cruceros realizados durante 1988 empleando el buque oceanográfico-pesquero R/V “Dr. Fridtjof Nansen”, como parte del “Programa NORAD/UNDP/FAO” bajo la ejecución del Instituto Marino de Bergen (NORAD/UNDP/FAO, 1989). Se emplearon hasta 5 tipos de redes distintas: pelágicas, de fondo y con distintas dimensiones y flotabilidad, lo cual, indudablemente redundaba en una captura más diversa e integral de la fauna marina, pero dificultaba las comparaciones con los datos del presente estudio. No obstante, dado que predominó el uso de las redes de fondo (con rodillos) (“Otter trawl”) relativamente similares a las empleadas acá (sin rodillos), las comparaciones son relativamente válidas y útiles. No obstante, hay que hacer la salvedad de que los estimados de que dispusimos se calcularon por separado para la plataforma interior y exterior del mismo; mientras que los presentes resultados reflejan la densidad de toda el área barrida.

En la tabla 3 se presentan las densidades medias de los cruceros de 1988 y del presente estudio llevados a una misma unidad: t/mn. En líneas generales se aprecia que, los recursos de naturaleza pelágica o demerso-pelágica y los característicos de ambientes profundos de la plataforma exterior del golfo, estuvieron mejor representados en los estimados del F. Nansen (Calamares, Chicharra, Tahalí, Cataco, Pargo Cebal); mientras que, los recursos más demersales y bentónicos y dominantes en los ambientes de la plataforma interior, tuvieron mayores densidades en los presentes resultados (Roncador, Rayas, Merluza, Canario, Cherechere, Conchúa, Guanapo). Es difícil decir, hasta donde estos resultados reflejan cambios ocurridos en los stocks de pesca con los años y; hasta donde, un artefacto del muestreo habida cuenta de las diferencias en los sistemas de pesca ya comentadas. Es posible que ambos factores hayan incidido y, los cruceros de pesca de 1988 hayan sido más efectivos para la captura de las especies más móviles (pelágicas), mientras que los arrastres actuales lo hayan sido para las especies típicamente demersales y/o bentónicas; y que, simultáneamente, se esté dando algún proceso de recuperación de las especies demersales, a raíz del cese de la pesca de arrastre comercial industrial. No obstante, este es un terreno especulativo por las razones ya esbozadas; y más aún si tomamos en consideración las similitudes en las densidades de todas las especies de camarones en ambos estudios, ya que, si cabría

esperar algún cambio importante producto de este hecho, sería precisamente un incremento en las poblaciones de camarones al disminuir significativamente la presión pesquera sobre ellos. No obstante, los comentarios hechos con anterioridad en cuanto a la incidencia del horario de pesca sobre las tasas de captura de camarones podrían representar una explicación parcial a estos resultados aparentemente contradictorios (El F. Nansen realizó una gran cantidad de lances nocturnos que debieron mejorar la capturabilidad de camarones)

Tabla 3. Densidades medias (t/mn) de algunas especies relevantes, obtenidas a partir de los cruceros del F. Nansen y en las campañas del presente estudio.

RECURSO EVALUADO	DENSIDAD MEDIA (Tm/mn)			
	PLATAFORMA DEL GOLFO		CAMPAÑA	
	INTERNA	EXTERNA	PRIMERA	SEGUNDA
Calamares	0,140	0,300	0,010	
Camarón Blanco	0,010	0,010	0,010	
Camarón Marrón	0,010		0,040	0,001
Camarón Rojo	0,010	0,010	0,040	0,001
Camarón Tití	0,120	0,030	0,010	0,001
Canario		0,070	0,710	0,500
Cataco	0,170	0,180	0,040	
Catalana		0,060	0,030	0,040
Cherechere		0,060	0,630	0,210
Chicharra	2,210	0,410	0,120	0,210
Conchúa	0,050		0,230	0,460
Cunaro		0,220	0,060	0,210
Guanapo	0,120	0,250	0,620	0,360
Machuelo	0,460	0,050	0,000	0,240
Merluza	0,060		0,140	0,380
Panchito		0,170	0,130	0,250
Pargo Cebal		0,390	0,000	0,090
Rayas	0,020	0,020	0,910	1,610
Roncador	0,340		1,310	0,980
Sardina	0,210	0,170	0,000	0,200
Tahalí	1,320	0,060	0,210	0,060
Tiburones-cazones	0,020	0,130	0,070	0,050
FUENTE DE INFORMACIÓN	Cruceros del F. Nansen (1988) Giménez et. al. (1993)		Presente estudio (2014-2015)	

Biomاسas totales

Para realizar comparaciones con estudios anteriores solo se dispuso de estimados de biomasa de los cruceros del F. Nansen (de la misma data que se empleó en las comparaciones previas de abundancia y densidad). No obstante, es pertinente advertir que este tipo de cotejos deben ser tomados con precaución, por las mismas razones previamente discutidas cuando se hicieron las contrastaciones respectivas de las densidades: diferencias en los artes de pesca empleados, en los derroteros seguidos, en la cantidad de área barrida, y en la estacionalidad cubierta durante las campañas. En tal sentido, puede considerarse que los cruceros del F. Nansen abarcaron mejor la variabilidad temporal: estacional (4 cruceros versus 2 del presente estudio) y diaria (cruceros diurnos / nocturnos versus cruceros básicamente diurnos hasta el anochecer en el presente estudio) y tuvieron mayor número de estaciones. Afortunadamente, el área total estimada para el cálculo de las biomاسas fue bastante similar en ambos estudios (5.850 mn² en las prospecciones del F. Nansen versus 5.835 mn² en el presente estudio); lo cual, por otra parte, no se traduce necesariamente en una similar cobertura de los rangos de profundidad y los tipos de fondo (la que a su vez afecta los estimados de biomasa), ya que esta responde a su vez a la distribución de las estaciones, y los criterios que para ello privaron en ambos estudios fueron distintos: estratificación aleatoria en los cruceros del F. Nansen y distribución equitativa de esfuerzo de muestreo por bloques en el presente estudio.

En la tabla 4 se presentan los resultados de ambos estudios y las prospecciones realizadas en otras zonas costeras del país. Las biomاسas: total demersal (21.260 t) y comercial demersal (18.712 t) (promedios de las 2 campañas) en este estudio, resultaron bastante mayores a las respectivas biomاسas (promedio de los 4 cruceros) de las prospecciones del F. Nansen (17.200 t y 10-600 t) por factores de 1,24 y 1,77 respectivamente, indicando por ende, que hoy existe una mayor disponibilidad de recursos para su explotación en contraste con la que había en 1988 (cuando se hicieron las prospecciones del F. Nansen), año en el cual, por cierto, se encontraba a flota de pesca de industrial de arrastre en sus mayores cotas de esfuerzo y sobrepesca. Así que, al margen de las diferencias en estos resultados que puedan atribuirse a sesgos metodológicos, la magnitud de las mismas, induce a postular una recuperación importante al menos parcial de varios de los recursos demersales a 6 años de la eliminación de la pesca industrial de arrastre. Naturalmente, no podemos generalizar y hacer extensiva esta recuperación a todas las especies, como se pudo evidenciar en las discusiones previas de los análisis comparativos de abundancia y densidad con otros estudios previos. Los estimados apuntan a una recuperación importante de los stocks de los Haemúlidos (Corocoro, Cherechere, Canario, Mocuso, etc.) y de los Esciánidos (Ej.: Roncador, Curvinas, Curvinata, etc.) en hasta 3,52 y 2,52 veces su biomasa; y ello no es descabellado si tomamos en consideración que eran dos de las principales familias constituyentes de la fauna acompañante de las capturas de la pesquería industrial de arrastre.

Las actuales prospecciones no nos permitieron establecer determinaciones de biomasa de especies pelágicas, y, por ende, de la biomasa total de recursos (pelágicos + demersales) a fin de poder

compararlas con los resultados de las campañas del F. Nansen o con las de FLASA (1985) las cuales emplearon métodos hidroacústicos que son los adecuados para estas especies. No obstante, en atención a los resultados obtenidos para las especies demersales, se podría postular la hipótesis de que algunos de los recursos pelágicos que eran intensamente explotados por la pesquería de arrastre (Ej.: Lamparosa, Chicharra, Cataco, etc.), podrían también estar experimentando alguna recuperación importante en sus biomazas, y ello, podría comprobarse realizando prospecciones acústicas de estos recursos en el corto o mediano plazo.

Tabla 4. Comparación de las biomazas globales (t) obtenidas para los principales grupos taxonómicos en este estudio, con las estimadas en los cruceros del R/V “Dr. Fridtjof Nansen” en el Golfo de Venezuela y otras regiones hidrográficas de Venezuela.

Recurso pesquero evaluado	Biomasa (t) por área del país evaluada			
	Oriente de Venezuela (1)	Occidente de Venezuela (Costa) (2)	Golfo de Venezuela	
			5.850 mn ² (3)	5.835 mn ² (4)
Peces demersales (Evaluación por área barrida)				
Esciánidos	6.900,00	100,00	3.400,00	8.558,80
Pargos	19.500,00	6.700,00	2.800,00	1.962,51
Meros	3.100,00	200,00	300,00	-
Haemúlidos	14.300,00	500,00	500,00	1.757,75
Espáridos	2.900,00	900,00	3.600,00	160,11
Total comercial	46.700,00	8.400,00	10.600,00	18.711,87
Otros demersales	36.800,00	5.400,00	6.600,00	2.548,65
Total	83.500,00	13.800,00	17.200,00	21.260,52

Fuentes: (1), (2) y (3) Strømme T. y G. Sætersdal, (1989); (4) Presente estudio.

CONCLUSIONES

Las abundancias (CPUE) actuales resultaron mayores en una gran proporción de los recursos al compararlas con los datos de la serie histórica comercial 1973-1996 (17 de 21 recursos contrastados, excluimos los camarones de la comparación) y con las prospecciones de 1977 (10 de 14, excluyendo los camarones); siendo los resultados coincidentes para 7 especies en ambas comparaciones.

En cuanto a las densidades, en líneas generales se aprecia que los recursos de naturaleza pelágica o demerso-pelágica y los característicos de ambientes profundos de la plataforma exterior del golfo, estuvieron mejor representados en los estimados del F. Nansen (Calamares, Chicharra, Tahalí, Cataco, Pargo Cebal); mientras que, los recursos más demersales y bentónicos y dominantes en los ambientes de la plataforma interior, tuvieron mayores densidades en los presentes resultados (Roncador, Rayas, Merluza, Canario, Cherechere, Conchúa, Guanapo).

Las biomásas: total demersal (21.260 t) y comercial demersal (18.712 t) (promedios de las 2 campañas) en este estudio, resultaron bastante mayores a las respectivas biomásas (promedio de los 4 cruceros) de las prospecciones del F. Nansen (17.200 t y 10-600 t) por factores de 1,24 y 1,77 respectivamente, indicando por ende, que hoy existe una mayor disponibilidad general de recursos para su explotación en contraste con la que había en 1988 (cuando se hicieron las prospecciones del F. Nansen), año en el cual, se encontraba a flota de pesca de industrial de arrastre en sus mayores cotas de esfuerzo y sobrepesca.

Al margen de que las diferencias en estos resultados puedan atribuirse —en parte— a algunos sesgos metodológicos, la magnitud de las mismas, induce a postular una recuperación importante de varios de los recursos demersales, a 6 años de la eliminación de la pesca industrial de arrastre. Naturalmente, no podemos generalizar esta recuperación a todas las especies, ni se consiguió evidencia de que aquellas especies que presentaron incrementos importantes hayan alcanzado los niveles poblacionales de antaño. Por ello, se puede hipotetizar que se ha venido dando una recuperación parcial que todavía no ha llevado el sistema ecológico-pesquero a los niveles de los comienzos de la explotación industrial (subdesarrollo) cuando los impactos eran poco significativos y no había ningún efecto acumulativo.

Agradecimientos

La presente investigación formó parte del “Estudio de línea base de recursos pesqueros y pesquerías del golfo de Venezuela”, como parte del conjunto de subproyectos (específicamente el Proyecto a05.) correspondientes a la propuesta técnica del “Proyecto Convenio 1”, entre FUNINDES-Universidad Simón Bolívar y PDVSA (FUNINDES-USB-PDVSA, 2016), dentro del marco de las actividades de exploración de gas que se adelantan en el Golfo de Venezuela: Proyecto Rafael Urdaneta (PRU).

REFERENCIAS

- Bracho R. 2006. Distribución espacio-temporal de los recursos pesqueros demersales del Golfo de Venezuela. Trabajo especial de grado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 85pp.
- Ewald J. J. 1965. Investigaciones sobre la biología del camarón comercial en el occidente de Venezuela. Segundo Informe anual del IVIC al FONAIAP-MAC. 147pp.
- Ewald J. J., W. Brandhorst, V. De Espinosa, V.W. Diaz y Fh. Durant. 1971. Cruceros de pesca exploratoria del arrastrero "Carmelina" en la zona occidental de Venezuela. Caracas (Venezuela). MAC- PNUD - FAO. Inf. Téc. 25: 58pp.
- Fundación La Salle (FLASA). 1985. Estudio y evaluación de los recursos pesqueros en aguas del estado Falcón y región occidental. Informe Final: 208pp.
- FUNINDES-USB-PDVSA. 2016. "Estudio de línea base de recursos pesqueros y pesquerías del golfo de Venezuela". Informe final. Ed. Ricardo Molinet y Orlando Pomares. Adhesión al convenio entre universidad simón bolívar (FUNINDES-USB) y PDVSA exploración / en la elaboración de los estudios y planes ambientales de las oportunidades o prospectos exploratorios costa afuera, Barracuda, Róbaló, Cardón I y Paraguaipoa". Convenio 1. Caracas. Proyecto a05: 275pp.
- García-Galicia, A. 2004. Evaluación Ecológica y Económica de los Descartes en a Pesquería de Arrastre de Fondo del Golfo de Venezuela. Trabajo especial de grado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 79pp.
- Gímenez C.; Molinet R.; Salaya J. 1993. La Pesca Industrial de Arrastre. Editorial Grupo Carirubana. Punto Fijo. Venezuela. 320pp.
- Ginés Hno. 1982. Carta pesquera de Venezuela. (2). Áreas central y occidental. (Ed) Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas. Monografía No 27: 277pp.
- Pomares Ferraz O., L. González, R. Álvarez, T. Barreto, J. Smith y A. García. 2010. ¿Por qué la pesquería de arrastre se hizo insostenible en Venezuela? Caso de estudio: pesquería de arrastre del Golfo de Venezuela (1956-2008). pp. 105-113. En: Proceedings of the 62nd Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Gulf and Caribbean Fisheries Institute (GCFI). Marine Fisheries: 1950-2010"

Strømme T. y G. Sætersdal. 1989. Final report - Surveys of the fish resources in the shelf areas between Suriname and Colombia 1988. Reports on Surveys with R/V Dr. Fridtjof Nansen NORAD/UNDP/FAO PROGRAMME Institute of Marine Research, Bergen.



Valor nutricional de la harina de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en la alimentación de peces

Nutritional value of sacha inchi flour (*Plukenetia volubilis*) in fish feed

Fernando Ramón Isea-León¹, Víctor Hugo Zambrano-Andrade^{1,2}, Rodolfo Patricio Panta-Velez³, Jesús Sismal-Gándara⁴, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda¹, Ana María Santana-Piñeros¹, Yanis Cruz-Quintana¹

¹Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad y Salud Ambiental; Escuela de Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Calle Gonzalo Loor Velasco s/n, Ciudadela Universitaria, Bahía de Caráquez, Manabí 130104, Ecuador.

²Maestría de Investigación en Acuicultura, Universidad Técnica de Manabí (UTM), Escuela de Acuicultura y Pesquería (EAP), Bahía de Caráquez, Cantón Sucre, Manabí. Ecuador. 131401.

³Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología de Sistemas Acuáticos (BIOECOSISTEMA), Escuela de Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Ecuador. Red Interinstitucional para el Estudio de Ecosistemas Acuáticos del Ecuador RIEAE.

⁴Nutrition and Bromatology Group, Analytical and Food Chemistry Department, Faculty of Food Science and Technology, University of Vigo, Ourense Campus, E32004 Ourense, Spain.

 **Fernando Ramón Isea-León** () E-mail: fernandoisea77@gmail.com

RESUMEN | La harina de sacha inchi (HSI) está siendo cada vez más utilizada como sustituto de la harina de pescado en la alimentación de peces. La harina de pescado no solo tiene un alto costo en el mercado sino también un alto impacto ecológico por la sobreexplotación de recursos marinos, razón que ha obligado a buscar alternativas como fuentes de proteínas. La HSI es una excelente fuente de proteínas, pero los estudios sobre su valor nutricional para la alimentación de peces son escasos, por lo que se planteó como objetivo de esta investigación evaluar la calidad nutricional de la harina de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) como fuente de proteínas para la alimentación de peces. Las muestras fueron analizadas por triplicado para determinar su concentración de proteínas (Método AOAC, 938.13), lípidos (Método AOAC, 2003.06), y humedad y cenizas (Método AOAC, 938.08. 2016). Adicionalmente, se determinó su composición de aminoácidos por cromatografía líquida de alta resolución (Waters 2695 Alliance), y de ácidos grasos mediante un cromatógrafo de gases (AGILENT 7820A). Los resultados, analizados mediante estadística descriptiva, mostraron una composición de proteínas de $65,5 \pm 0,3\%$, lípidos de $8,2 \pm 0,01\%$, cenizas de $5,6 \pm 0,6\%$, y humedad de $9,4 \pm 0,4\%$. El perfil de aminoácidos mostró concentraciones porcentuales adecuadas para la alimentación de peces. Los ácidos grasos presentaron valores de 3,41 g/100g de C18:2 linoleico, 4,06 g/100g de C18:3 n3 linolénico, superiores a la harina de arenque; y bajas concentración de C20:0 ácido araquídico y C20:1 cis-11- ácido eicosenoico con 0,09 y 0,05 g/100g, respectivamente. Por su alto nivel proteico, contenido de aminoácidos y la presencia de algunos ácidos grasos importantes nutricionalmente, esta materia prima posee un gran potencial para la alimentación de peces.

Palabras clave: Composición, química, alimento, peces.

ABSTRACT | Sachu inchi meal (HSI) is being increasingly used as a substitute for fish meal in fish feed. Fishmeal not only has a high cost in the market but also a high ecological impact due to the overexploitation of marine resources, which has forced us to look for alternatives such as protein sources. HSI is an excellent source of protein, but studies on its nutritional value for feeding fish are scarce, so the objective of this research was to evaluate the nutritional quality of sachu inchi flour (*Plukenetia volubilis*) as a source. protein for fish feed. The samples were analyzed in triplicate to determine their concentration of proteins (AOAC Method, 938.13), lipids (AOAC Method, 2003.06), and moisture and ash (AOAC Method, 938.08. 2016). Additionally, its amino acid composition was determined by high-resolution liquid chromatography (Waters 2695 Alliance), and of fatty acids by a gas chromatograph (AGILENT 7820A). The results, analyzed by descriptive statistics, showed a protein composition of $65.5 \pm 0.3\%$, lipids of $8.2 \pm 0.01\%$, ash of $5.6 \pm 0.6\%$, and humidity of $9, 4 \pm 0.4\%$. The amino acid profile showed adequate percentage concentrations for feeding fish. The fatty acids presented values of 3.41 g / 100g of C18: 2 linoleic, 4.06 g / 100g of C18: 3 n3 linolenic, higher than herring fish meal; and low concentrations of C20: 0 arachidic acid and C20: 1 cis-11-eicosenoic acid with 0.09 and 0.05 g / 100g, respectively. Due to its high protein level, amino acid content and the presence of some nutritionally important fatty acids, this raw material has great potential for feeding fish.

Keywords: Composition, chemistry, food, fish.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran necesidad de producir fuentes proteicas de bajo costo para el cultivo de peces, lo que se establece como un objetivo estratégico para afrontar la producción de alimentos balanceados. Según el USDA (2005), el avance en esta actividad productiva está vinculada a la reducción de las importaciones y a la evaluación de dietas alternativas con una mayor proporción de proteínas de alto valor biológico. Los precios de estas fuentes de proteína en el mercado mundial se han elevado considerablemente; lo que determina la necesidad cada vez mayor de cubrir los requerimientos nutritivos de los animales cultivados con recursos nacionales, en lo cual los subproductos juegan un papel fundamental (FAO, 2007). La harina de sachu inchi (*Plukenetia volubilis*), subproducto obtenido del proceso de extracción del aceite comercial, es una alternativa prometedora como fuente de proteínas para alimentación de peces.

La calidad de la fuente proteica en la alimentación de organismos acuáticos, y particularmente para peces, es indispensable para lograr un buen crecimiento en el cultivo. Existen numerosas alternativas de origen animal y vegetal; entre las vegetales tenemos las harinas de torta de algodón, girasol y soya como las más utilizadas (González *et al.*, 2013). La harina de torta de sachu inchi (HSI) se ha convertido en una atractiva alternativa para la alimentación animal por su alto valor proteico y elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Ruiz *et al.*, 2013; Vásquez *et al.* 2017). La HSI ha sido poco estudiada como fuente de proteínas para la acuicultura; en este trabajo se evalúa su composición química y su potencial para la alimentación de peces.

MATERIALES Y MÉTODOS

La harina de sachá inchi (HSI) fue proporcionada por la Asociación de Producción Agrícola Sachá Inchi (Maní Aéreo) ASOSACINC, de San Vicente, Manabí, Ecuador. Las muestras fueron analizadas por triplicado en los laboratorios de Nutrición de Organismos Acuáticos y Laboratorio del Instituto de Investigaciones de la Universidad Técnica de Manabí, para determinar su composición proximal de humedad, proteínas, lípidos, y cenizas (AOAC, 2005 y AOAC, 2016).

El análisis fino de aminoácidos fue realizado por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en idioma inglés) mediante un equipo Waters 2695 Alliance, con digestión ácida y tratamiento posterior para lograr la detección de los aminoácidos. La composición de ácidos grasos se determinó mediante un cromatógrafo de gases marca AGILENT 7820^a; las muestras fueron sometidas a extracción sólido-líquido, metilación de sus ácidos grasos y filtración. Ambos análisis efectuados en el servicio de seguridad alimentaria y desarrollo sostenible del Centro de Apoyo Científico-Tecnológico de Investigación (CACTI) de la Universidad de Vigo, España.

RESULTADOS

La composición proximal de HSI mostró una elevada concentración de proteínas (65%), lípidos (8,2%) y extractos no nitrogenados (11,02%) (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de la composición fisicoquímica (g/100g) entre la harina de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) (HSI) de este estudio y harinas de sachá inchi y pescado (HP) de otros autores. HP Ec: Harina de pescado ecuatoriana, ENN: Extractos no nitrogenados. Valores promedios \pm desviación estándar, por triplicado.

Materia prima	Composición porcentual					
	Humedad	Proteína	Lípidos	Ceniza	ENN	Autores
HSI	9,4 \pm 0,4	65,5 \pm 0,3	8,2 \pm 0,01	5,6 \pm 0,6%	11,02 \pm 0,01	Este estudio
HSI	-	55,18 \pm 0,1	5,21 \pm 0,02	5,59 \pm 0,01	-	Vásquez <i>et al.</i> 2017
HSI	10,76 \pm 0,4	41,49 \pm 0,4	9,05 \pm 1,06	4,89 \pm 0,21	6,46 \pm 1,46	Alcívar <i>et al.</i> 2020
HP	15,62	61,21	1,96	3,62	-	Abraha <i>et al.</i> 2018
HP Ec	10,20 \pm 0,39	68,62 \pm 3,4	10,73 \pm 0,87	8,44 \pm 0,90	2,01 \pm 0,01	Zambrano, 2020

Los niveles de aminoácidos de la HSI cubren la mayoría de las necesidades nutricionales de alevines de peces carnívoros, exceptuando la metionina, que presenta niveles inferiores (0,3%) a los necesarios para estos peces (1–1,6%), siendo este el aminoácido limitante (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de aminoácidos de la harina de sachu inchi *Plukenetia volubilis* (HSI), harina de pescado (HP) y harina de soya (HS); requerimientos para alevines de salmón del Atlántico y requerimientos de aminoácidos esenciales (AAE) en peces alimentados con 55% de proteína cruda (PC).

Aminoácidos en g/100g	HSI	HP	HS	Requerimiento alevines salmón del Atlántico	Requerimiento de AAE en peces con 55% PC
Arginina	7,7	5,70	7,33	2,0	2,37
Histidina	2,0	2,41	2,69	0,7	1,0
Isoleucina	2,6	4,74	4,55	0,8	1,54
Leucina	5,8	7,74	7,71	1,4	2,81
Lisina	3,2	7,91	6,36	1,8	3,25
Metionina	0,3	3,02	1,41	1,0	1,06
Cisteína	5,9	0,94	1,56	-	0,38
Fenilalanina	2,0	4,12	5,03	1,2	1,60
Tirosina	4,0	3,33	3,83	-	1,27
Treonina	4,7	4,37	3,89	0,8	1,77
Triptófano	-	1,18	1,37	0,2	0,33
Valina	3,8	5,43	4,78	1,3	1,83
Fuente	Isea <i>et al.</i> , 2021	Cho y Kim, 2010	Cho y Kim, 2010	FAO, 2020	Tacon, 1989

El perfil de ácidos grasos de la HSI mostró cinco ácidos grasos saturados (C14:0, C16:0, C17:0, C18:0 y C20:0) y seis ácidos grasos insaturados (C18:1 cis, C18:2 cis, C18:3 n3, C20:1, C20:5 y C22:6), donde el palmítico destaca entre los ácidos grasos saturados y el linoleico y linolenico entre los ácidos grasos insaturados, por sus mayores concentraciones (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de ácidos grasos de la harina de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*).

Abreviatura	Ácido graso	g/100g HSI	g/100g HP Anchoveta*
C14:0	Mirístico	0,06	7,2
C16:0	Palmitico	0,68	17,8
C17:0	Heptadecanoico	0,08	-
C18:0	Estearico	0,45	3,9
C18:1 cis	Oleico	0,79	12,0
C18:2 cis	Linoleico	3,41	1,1
C18:3 n3	Linolenico	4,06	0,8
C20:0	Arachidico	0,09	-
C20:1	cis-11-Eicosenoico	0,05	1,9
C20:5	cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoico	-	18,3
C22:6	cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoico	-	8,5

DISCUSIÓN

La composición proximal de la HSI mostró una humedad ($9,4 \pm 0,4$ %) inferior a lo reportado en HSI por Alcivar *et al.* (2020) y en harina de pescado por Abraha *et al.* (2018) y Zambrano (2020). El contenido de proteína ($65,5 \pm 0,3$ %) fue superior a lo reportado para otras harinas de sachá inchi (Vásquez *et al.* 2017; Alcivar *et al.* 2020) y para la harina de pescado (Abraha *et al.* 2018) e inferior a lo reportado para harina de pescado por Zambrano (2020). Estas diferencias podrían deberse a que la HSI es un producto de origen vegetal y el contenido de agua en las células vegetales es inferior al de las células animales; esto no solo reduce la humedad de la materia prima, sino que produce un incremento relativo de las concentraciones de otros componentes como la proteína. Las cenizas presentaron valores ($5,6 \pm 0,6$ %) similares a las reportadas por Vásquez *et al.* (2017) y superiores a los obtenidos por Alcivar *et al.* (2020). Con respecto a los ENN, los valores obtenidos ($11,02 \pm 0,01$ %) son superiores a los reportados por Alcivar *et al.* (2020), lo cual pudiera estar asociado al procesamiento aplicado a la materia prima. Es necesario estandarizar las técnicas de procesamiento y generar eficiencia en las técnicas para reducir las posibles pérdidas de elementos que se generan durante el procesamiento de la materia prima.

La harina de sachá inchi presentó valores porcentuales de algunos aminoácidos (arginina (7,7%), cisteína (5,9), tirosina (4,0%), treonina (4,7 %)) superiores a los reportados en harina de pescado y soya. Otros aminoácidos cuantificados se encuentran en concentraciones inferiores a las presentes en las harinas de pescado y soya, pero en concentraciones suficientes para cubrir la mayoría de las necesidades nutricionales de alevines de peces, como el caso del salmón del Atlántico (FAO, 2020) y peces

carnívoros con requerimientos proteicos de 55% de PC (Tacon, 1989). Únicamente el aminoácido metionina, mostró niveles inferiores a los necesarios para especies de peces carnívoros, siendo este el aminoácido limitante, el cual es necesario suplementar en casos de inclusión del 100% de HSI en la dieta de estos organismos. Si bien la acuicultura se ha basado tradicionalmente en el cultivo de especies carnívoras, la diversificación de la acuicultura ha involucrado especies con otros hábitos de alimentación (omnívoros, herbívoros y detritívoros), que requerirán estudios para evaluar si la HSI satisface sus requerimientos.

La HSI presentó bajo contenido en ácidos grasos al compararla con la harina anchoveta (Cho y Kim, 2010), exceptuando los niveles de los ácidos grasos linoleico (C18:2 cis) y linolénico (C18:3n3). Los bajos niveles de ácidos grasos poliinsaturados pueden estar asociados al tipo de secado aplicado a la materia prima, el cual produce volatilización y pérdida de ácidos grasos, porque el aceite de las semillas de sachu inchi es rico en ácidos grasos ω 3 y ω 6. Por otro lado, la harina de pescado por su origen posee más ácidos grasos polinsaturados de cadena larga omega 3 y 6, esenciales para la alimentación de organismos acuáticos. Sin embargo, esta condición no limita la harina de sachu inchi si se emplean aceite de pescado u otra fuente de aceites que complementen esta limitante. Igualmente, se requieren estudios posteriores sobre técnicas eficientes de procesamiento que no produzcan volatilización de ácidos grasos y preserven la calidad de la materia prima.

CONCLUSIONES

La harina de sachu inchi presentó un alto porcentaje de proteína, superando a la harina de pescado.

El perfil de aminoácidos la harina de sachu inchi mostró una composición capaz de suplir las necesidades en peces, excepto para el caso de la metionina.

El perfil de ácidos grasos de la harina de sachu inchi presentó altos niveles de los ácidos grasos linoleico y linolénico, pero inferiores a los otros ácidos grasos presentes en la harina de pescado.

La harina de sachu inchi es una excelente alternativa como fuente proteica para la alimentación de peces.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación “Aspectos biológicos del chame *Dormitator latifrons* en ambientes naturales y de producción” y proyecto Solapamiento de nichos e interacciones tróficas y de parásitos entre el Chame (*Dormitator latifrons*) y la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el estuario del río Chone y el humedal La Segua, financiados por la UTM.

REFERENCIAS

- Abraha Bereket, Admassu Habtamu, Mahmud Abdu, Tsighe Negasi, Wen Shui Xia, Fang Yang. 2018 Effect of processing methods on nutritional and physico-chemical composition of fish: a review. *MOJ Food Process Technology*. 2018;6(4):376–382. DOI: 10.15406/mojfpt.2018.06.00191
- Alcívar, J.L., Martínez Pérez, Madeleidy, Lezcano, P., Scull, Idania, & Valverde, A. 2020. Nota técnica sobre la composición físico-química de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(1), 19-23.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. AOAC Official method 984.13. Protein (crude) in animal feed and pet food. Copper Catalyst Kjeldahl Method, 20th ed. Washington DC: 2016a.
- AOAC. Official Method 2003.06 Crude Fat in Feeds, Cereal Grains, and Forages. Official Methods of Analysis of AOAC International 18th Edition, 481 North Frederick Avenue, Maryland, USA. 2005, capítulo 4, 42 p.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. AOAC Official Method 938.08 Ash of Seafood. Washington, DC: 2016b. [Internet].
- Cho, J. H., & Kim, I. H. (2010). Fish meal - nutritive value. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(6), 685–692. doi:10.1111/j.1439-0396.2010.01109.x
- FAO. 2007. Problemáticas de la utilización de alimentos. Departamento de pesca y acuicultura. [En línea]: <http://www.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=topic&fid=2888> última consulta: 7 de febrero de 2021
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. ISSN 2663-8649 [EN LÍNEA]. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- González Salas, R., Romero Cruz, O., Valdivié Navarro, M., y Ponce-Palafox, J.T. 2013. Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Revista Bio Ciencias* 2(4): 240-251. Disponible en: <http://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/72/116>
- Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J. & Rojas, R. 2013. “Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*)”. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1): 29-36.

Valor nutricional de la harina de sachu inchi (*Plukenetia volubilis*).

TACON, A.1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. Brasilia, BRA. (en línea). Consultado 10 enero de 2021. <http://www.fao.org/3/AB492S/AB492S00.htm>

USDA. Proyecciones del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. 2005. Revista Claridades Agropecuarias SAGARPA 48-50.

Vásquez, D.C., Jaramillo, J.D., Hincapié, G.A., Vélez, L.M. 2017. Desarrollo de galletas empleando harina de sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) obtenida de la torta residual. *UGCiencia*, 23:101-113.



Respuesta fisiológica de la tenca (*Tinca tinca*) a cambios en la salinidad del medio

Physiological response of tench (*Tinca tinca*) to water salinity changes

Amalia Pérez-Jiménez¹, Eva E. Rufino-Palomares², Milton Webster¹, Cristina Trenzado-Romero³

¹Dpto. de Zoología. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.

²Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular I, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.

³Dpto. de Biología Celular, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España.

 Amalia Pérez-Jiménez () E-mail: calaya@ugr.es

RESUMEN | En el cultivo de peces dulceacuícolas, se pueden presentar situaciones que pueden incrementar la salinidad del agua, bien por alteraciones del medio debido al cambio climático y a la contaminación o por la propia gestión del cultivo. La tenca (*Tinca tinca*) es una especie dulceacuícola con un gran interés para la acuicultura en España. Por ello, conocer su capacidad osmorreguladora y la posible alteración de su estado oxidativo bajo condiciones crecientes de salinidad sería de gran interés para evaluar la capacidad de respuesta del animal sin comprometer su bienestar, permitiendo una mejora de las condiciones de su cultivo. En el presente estudio se evaluó la respuesta fisiológica la juveniles de tenca (peso medio inicial 20,9 ±2,4 g) a concentraciones de salinidad creciente (0, 4, 8, 12 y 16‰). Para cada grupo experimental, se tomaron muestras de tejido branquial que fueron utilizadas para determinar la capacidad de osmorregulación y el estado oxidativo. La supervivencia de la tenca fue del 100% independientemente del nivel de salinidad en el medio. Los principales resultados mostraron que la enzima Na⁺,K⁺-ATPasa no presentó alteraciones significativas de su actividad asociadas a un incremento de la salinidad del medio, aunque sí se observó una ligera tendencia a valores más elevados cuando las salinidades alcanzaron valores del 12‰. En el caso de las enzimas de defensa antioxidante, ninguna sufrió alteraciones significativas debidas a cambios en la salinidad, con excepción de la catalasa, que duplicó los valores de su actividad en la salinidad más alta ensayada (16‰). En relación al daño oxidativo a lípidos, los resultados pusieron de manifiesto un decremento progresivo y significativo de la concentración de MDA inversamente proporcional a la salinidad. En conjunto, los datos indican que tencas expuestas hasta un 12‰ de salinidad no muestran efectos adversos en su estado fisiológico.

Palabras clave: antioxidantes enzimáticos, peroxidación lipídica, osmorregulación, salinidad, tenca.

ABSTRACT | In freshwater fish aquaculture, different situations can lead to a water salinity increase, either due to alterations in the environment due to climate change and pollution or due to the management of the culture. Tench (*Tinca tinca*) is a freshwater

species of great interest for aquaculture in Spain. Therefore, knowing its osmoregulatory capacity and the possible alteration of its oxidative status under increasing salinity conditions is of great interest to evaluate the animal response capacity without compromising its welfare. In the present study, the physiological response of juvenile tench (mean initial weight $20,9 \pm 2,4$ g) to increasing salinity concentrations (0, 4, 8, 12 and 16‰) was evaluated. For each experimental group, gill tissue samples were taken and used to determine osmoregulatory capacity and oxidative status. Tench survival was 100% regardless of the level of salinity. Results showed that the Na^+, K^+ -ATPase enzyme did not present significant alterations in its activity associated with an increase in the salinity of the medium, although a slight tendency to higher values was observed when salinities reached values of 12‰. In the case of the antioxidant defense enzymes, none suffered significant alterations due to changes in salinity, with the exception of catalase, which doubled its activity values at the highest salinity tested (16‰). In relation to oxidative lipid damage, the results showed a progressive and significant decrease in MDA concentration inversely proportional to salinity. Overall, the data indicate that tench exposed up to 12‰ salinity show no adverse effects on its physiological state.

Keywords: enzymatic antioxidant, lipid peroxidation, osmoregulation, salinity, tench.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación ambiental asociada a actividades humanas y acompañada de alteraciones del medio debidas al cambio climático han llevado a que las poblaciones de peces en general, y los de agua dulce en particular a que vean comprometido su bienestar (Amoatey y Baawain, 2019). Uno de los factores que incrementa la vulnerabilidad biológica de los organismos acuáticos es el estrés provocado por incremento de la salinidad del agua (Velasco *et al.*, 2019). Así, la descarga de elementos que se utilizan para el desarrollo de actividades industriales, agrícolas y urbanas, contribuye al incremento de salinidad de las fuentes de aguas subterráneas y continentales, lo que implica pérdidas de biodiversidad y alteraciones en el equilibrio biológico de los organismos que comparten los afluentes. Por otro lado, en el cultivo de peces dulceacuícolas es frecuente el uso de aguas con salinidades más altas de lo normal, con la finalidad de desinfectar los sistemas de cultivo. Asimismo, posibles limitaciones de espacio para el cultivo, podrían justificar el uso de aguas salobres para especies de agua dulce que puedan tolerar ciertos grados de salinidad.

Para afrontar estos retos, la supervivencia de los organismos acuáticos depende en gran manera de las características morfológicas, químicas y fisiológicas desarrolladas al adaptarse a los cambios en su entorno, los cuales afectaría directamente a su metabolismo (Candolin, 2009). Los peces tienen la capacidad de hacer frente a las alteraciones del medio mediante procesos de homeostasis, a través de los cuales consiguen mantener su equilibrio interno (Veillette *et al.*, 2005), aspecto fundamental en la supervivencia de las especies. En este sentido, cuando hablamos de salinidad, las branquias son los principales órganos reguladores del equilibrio osmótico en peces. En peces de agua dulce, donde la

concentración de sales en el animal supera a la del medio, el intercambio de sales en líneas generales se realiza a través de este órgano, donde la enzima Na^+ , K^+ -ATPasa juega un papel importante transportando moléculas de sodio (Na^+) y potasio (K^+). Dicha enzima realiza funciones de transformación energética en los seres vivos, a través del procesos de hidrólisis, convirtiendo el ATP (adenosina trifosfato) en ADP (adenosina difosfato) y fosfato inorgánico en el proceso de transporte iónico, ya que está asociada a un transporte activo (Pastor *et al.*, 2008).

Por otra parte, cuando se producen alteraciones en la homeostasis de los animales, se pueden generar situaciones de estrés fisiológico, entre cuyas respuestas se encuentra la generación, por encima de los niveles habituales, de una serie moléculas potencialmente oxidantes conocidas como especies reactivas que, en líneas generales, derivan del oxígeno (ROS) o del nitrógeno (RNS) (Halliwell y Gutteridge, 2007). Si el organismo no realiza un control en la generación de estos agentes oxidantes, se podría llegar a producir estrés oxidativo con las consecuentes repercusiones negativas para el organismo. Para evitar esto, los organismos presentan diferentes mecanismos de defensa antioxidante (enzimáticos y no enzimáticos). Entre los antioxidantes enzimáticos destacan la superóxido dismutasa (SOD), responsable de convertir los radicales superóxido en peróxido de hidrógeno y oxígeno molecular, la catalasa (CAT) que cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua, la glutatión peroxidasa (GPx) que reacciona con peróxidos orgánicos o inorgánicos para reducirlos a agua o a alcohol respectivamente, usando glutatión reducido (GSH) como agente reductor, y la glutatión reductasa (GR) que cataliza la reducción del glutatión oxidado (GSSG) utilizando el NADPH como donador de hidrógenos (Halliwell y Gutteridge, 2007). No obstante, cuando se produce un desequilibrio entre los niveles de especies reactivas y la capacidad de defensa antioxidante, se llegan a producir daños en las biomoléculas que pueden comprender desde alteraciones de la estructura celular hasta la muerte misma del organismo (Wu *et al.*, 2016).

La tenca (*Tinca tinca*) es una especie dulceacuícola de la familia de los ciprínidos, que en los últimos años ha desarrollado un creciente interés para la acuicultura. Tanto en España como en el resto de Europa el cultivo industrial de la tenca ha sido escaso, pero donde se ha mantenido el cultivo tradicional en sistemas de cultivo extensivo como en Extremadura y en otras comunidades españolas, se suele encontrar asociado a otros aprovechamientos del agua como fines agrícolas o ganaderos (Claver y Díaz de la Lastra, 1983). Por ello, un conocimiento detallado de la capacidad osmorreguladora de esta especie en aguas con concentraciones de salinidad creciente, así como, la posible alteración del estado oxidativo bajo estas condiciones, podría ser de gran interés a la hora de evaluar la capacidad de respuesta del animal, sin que se vea comprometido su bienestar.

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente estudio fue determinar los efectos del incremento gradual de salinidad del medio en la capacidad de osmorregulación y el estado oxidativo de la tenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

El estudio se realizó en las instalaciones del Aula del Mar (CEIMAR), en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada (España), para lo cual se emplearon 36 tencas (*Tinca tinca*) obtenidas de la Piscifactoría Vegas del Guadiana de Badajoz (España). Los ejemplares fueron distribuidos equitativamente en baterías de 6 acuarios (6 individuos por acuario). Cada acuario poseía una capacidad de 160 litros y eran alimentados con agua de clorada mediante circuito cerrado. Dichos acuarios se encontraban equipados con filtros biológicos y bombas de oxigenación permanente. Los juveniles de tenca (peso medio inicial de $20,9 \pm 2,4$ g) se mantuvieron quince días en los acuarios para aclimatación, periodo durante el cual se alimentaron con un pienso comercial (42% de proteína, 6% de lípidos, 5% de fibra, 13.5% de ceniza, 1.2% de calcio, 1.2% de fósforo y 0.20% de sodio) una vez al día, al 2% de su peso. La duración de ensayo fue de 13 días, durante los cuales los peces fueron alimentados bajo las mismas condiciones anteriormente descritas. El fotoperiodo fue 12h L:12h O, la temperatura media del agua fue $18.4 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ y el oxígeno cercano a la saturación (8.3 mg/L). Para el mantenimiento de los acuarios, se realizaron controles periódicos de nitritos, nitratos, amonio, amoniaco y pH del agua, para mantenerlos dentro del rango óptimo para el cultivo de la especie con la finalidad de evitar mortalidades provocadas por razones fuera del objeto de estudio. El diseño experimental referente al incremento gradual de salinidad en el agua de cultivo se muestra en la Figura 1. Las salinidades objeto de estudio fueron 0, 4, 8, 12 y 16‰. Para conseguir dichas concentraciones, la sal fue añadida al agua de forma progresiva con aumentos de un 4‰ cada tres días (2‰ el primer día, y 1‰ en cada uno de los dos días siguientes).



Figura 1. Concentración de salinidad en los diferentes puntos de muestreo.

Toma y procesamiento de muestras

Durante el periodo experimental se realizaron un total de 5 muestreos (Figura 1). Al inicio del

experimento (control-salinidad 0‰), en el día 4 (salinidad 4‰), día 7 (salinidad 8‰), día 10 (salinidad 12‰) y día 13 (salinidad 16‰). Para ello, los peces se sometieron a ayuno 24 h antes del muestreo. Se muestrearon 6 peces por cada situación experimental. Se sacrificaron mediante un exceso de anestésico (esencia de clavo) para su posterior disección y obtención de muestras de tejido branquial, el cual fue enjuagado en tampón SEI (sacarosa 150mM, EDTA 10mM e imidazol 50mM, pH de 7.3) antes de su congelación a -80°C, donde fueron mantenidas hasta su procesamiento.

Para la obtención de los extractos, las muestras se descongelaron en tampón SEI y se homogeneizaron en proporción 1/5 (p/v) en tampón SEID (0,1% de deoxicolato sódico en tampón SEI) mediante el uso de un homogeneizador eléctrico. Los homogenizados fueron centrifugados a 30.000 *g* durante 30 min a 4°C. Tras la centrifugación, se extrajo el sobrenadante que fue almacenado a -80°C hasta su posterior análisis.

Determinación de la actividad Na⁺, K⁺-ATPasa (EC 3.6.3.9)

La actividad Na⁺, K⁺-ATPasa se determinó según el método descrito por Penefsky y Bruist (1984) en el que la hidrólisis del ATP sensible a la ouabaína se acopla enzimáticamente a la oxidación del NADH que es monitorizada espectrofotométricamente a 340 nm, a una temperatura de 25°C. La actividad Na⁺, K⁺-ATPasa se expresó en mU por mg de proteína. Se consideró una unidad de actividad como la cantidad de enzima que cataliza un μmol de sustrato por minuto.

Determinación de la actividad de enzimas antioxidantes

Para todas las enzimas antioxidantes se emplearon los métodos descrito por Pérez-Jiménez *et al.* (2017). En todos los casos (excepto para la SOD), una unidad de actividad enzimática fue definida como la cantidad de enzima que cataliza un micromol de sustrato por minuto.

Superóxido dismutasa (SOD, EC 1.15.1.1)

La actividad superóxido dismutasa (SOD) se determinó según el método de Pérez-Jiménez *et al.* (2017), basado en el cambio de absorbancia a 550 nm por inhibición del proceso de reducción del citocromo C. La actividad fue determinada a 25°C y los resultados fueron expresados en U de actividad por mg de proteína. Una unidad de actividad fue definida como la cantidad de enzima requerida para inhibir la tasa de reducción de citocromo C en un 50%.

Catalasa (CAT, EC 1.11.1.6)

La actividad catalasa se determinó en base a la lectura a 240 nm del decremento en la absorbancia producido por la disminución de la concentración del peróxido de hidrógeno en su paso a agua y

oxígeno, por acción de la catalasa a 25°C. La actividad CAT fue expresada como U por mg de proteína.

Glutación peroxidasa (GPX, EC 1.11.1.9)

Para la determinación de la actividad glutación peroxidasa, se utilizó una medida indirecta de la actividad a 340 nm del decremento en la absorbancia producido por la oxidación del NADPH en la regeneración del glutación reducido (GSH) a partir del glutación oxidado (GSSG), por la acción de la glutación peroxidasa (GR) a una temperatura de 25°C. La actividad GPX fue expresada como mU por mg de proteína.

Glutación reductasa (GR, EC 1.6.4.2)

La actividad glutación reductasa (GR) se determinó monitorizando a 340 nm el decremento de NADPH en la reducción de GSSG para la regeneración GSH (temperatura 25°C). La actividad GR fue expresada como mU por mg de proteína.

Peroxidación Lipídica (LPO)

Para la estimación del daño oxidativo a lípidos, se analizaron los niveles de malondialdehído, como producto final de la peroxidación lipídica. Se utilizó el método de Buege y Aust (1978) basado en la reacción colorimétrica del MDA con el ácido tiobarbitúrico (TBA), dando lugar a un producto que absorbe luz a 535 nm. Para el cálculo de las concentraciones, los valores de absorbancia obtenidos se interpolaron sobre una recta patrón de MDA. La concentración de MDA fue expresada como micromolar.

Determinación de proteínas

Para el análisis de las proteínas se utilizó el método del Bradford, basado en la reacción de los grupos amino libre con el azul Comassie en presencia de ácido fosfórico y metanol. Se midió a una absorbancia de 595 nm. Para la realización de la curva patrón se utilizó albúmina bovina.

Análisis estadístico

Para cada parámetro y grupo experimental se calculó el valor medio y el error estándar de la media (SEM). Para poner de manifiesto diferencias significativas entre grupos se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA). Cuando el análisis fue significativo ($p < 0,05$) se aplicó el *test post hoc* de Tukey para determinar las diferencias entre los tratamientos. Para la realización de los análisis estadísticos se utilizó el software SPSS V.22.0.

RESULTADOS

Los principales resultados mostraron que la enzima Na^+ , K^+ -ATPasa no presentó alteraciones significativas de su actividad asociadas a un incremento de la salinidad del medio, aunque sí se observó una ligera tendencia a valores más elevados cuando las salinidades alcanzaron valores del 12% (Figura 2).

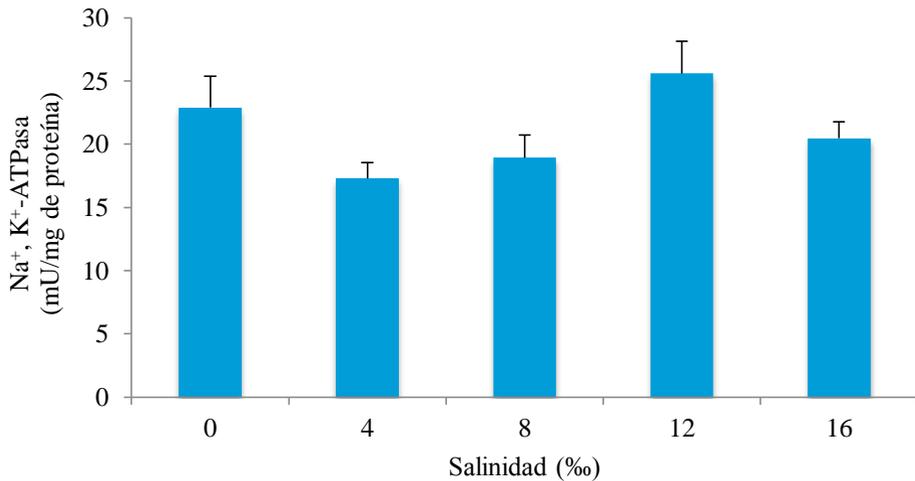


Figura 2. Efectos de la salinidad a la actividad Na^+ , K^+ -ATPasa en branquias de tenca.

Al igual que la enzima Na^+ , K^+ -ATPasa, tampoco se observaron efectos de los tratamientos con diferentes salinidades en las enzimas SOD, GPX, GR y G6PDH. Sin embargo, la CAT incremento significativamente su actividad pero solo en el tratamiento de mayor salinidad (16 ‰), sin observar diferencias ($p > 0,05$) entre el resto de tratamiento.

Tabla 2. Efecto de la salinidad del medio sobre la respuesta enzimática antioxidante en branquia de tenca.

Salinidad (%)	SOD (U/mg proteína)	CAT (U/mg proteína)	GPX (mU/mg proteína)	GR (mU/mg proteína)
0	15.0±1.5	2.43 ±0.30 ^a	33.3 ±2.2	12.6±0.9
4	11.5±1.2	2.50±0.30 ^a	29.2 ±2.0	13.3±1.2
8	11.1±1.5	2.78±0.22 ^a	28.0±1.9	11.5±0.8
12	11.3±2.2	2.76±0.22 ^a	33.9±3.2	11.5±0.9
16	13.5±0.9	4.54±0.37 ^b	29.5±1.1	14.8±1.0

Los valores mostrados corresponden a la media ± SEM (n=6). Diferentes letras indican significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

La Fig. 3 muestra la producción de MDA como indicador de daño oxidativo a lípidos. Como se puede observar el incremento de salinidad indujo una disminución progresiva de la concentración de MDA obteniendo el máximo valor de este indicador para el tratamiento control (0‰) que fue significativamente diferente del grupo con salinidad 4‰. No obstante, aunque se observó un descenso en los valores de MDA en los tratamientos con salinidad 8‰ y 12‰ estos no fueron significativamente diferentes respecto al de 4‰. Sin embargo, el valor mínima concentración de MDA se observó en el tratamiento con salinidad 16‰, siendo en este caso significativamente diferente tanto del grupo control (0‰) como del 4‰.

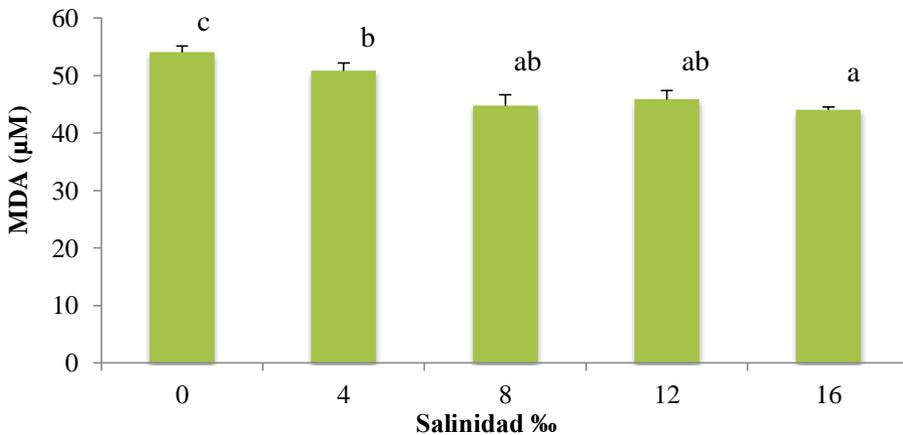


Figura 3. Efecto de la salinidad en los niveles de peroxidación lipídica en branquias de tenca. Diferentes letras indican significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

La salinidad es un factor que incide en la supervivencia de los peces de agua dulce dependiendo de la capacidad de osmorregulación la cual varía de acuerdo con la fisiología de la especie. En este sentido, para nuestro conocimiento, no existen estudios sobre la capacidad de la tenca para adaptarse a condiciones adversas, como son las variaciones en la salinidad. En el presente trabajo no se observaron mortalidades durante el tiempo ensayado a salinidades comprendidas entre 0 y 12 ‰, sin embargo, a partir de esta última concentración se registraron mortalidades del 17%. Así, no se observaron alteraciones del comportamiento, ni de la ingesta a salinidades de hasta 12‰, a partir de la cual, el alimento consumido disminuyó notablemente. Este hecho, junto con las posibles alteraciones fisiológicas que podrían sufrir los animales a estas elevadas concentraciones de salinidad, pondría de manifiesto la superación del límite de tolerancia de la tenca. Estos resultados son similares a los observados en otras especies de agua dulce. Así, mientras que para la tenca el límite de tolerancia a la

salinidad podría establecerse en torno al 12‰, para otros ciprínidos como *Galaxias maculatus* se encontraría alrededor del 15‰ (Ruíz-Jarabo *et al.*, 2016).

En la regulación iónica en los peces, la bomba Na^+ , K^+ -ATPasa juega un papel crucial en las branquias, manteniendo la concentración osmótica en el medio interno del pez a través de un bombeo de iones asociado a un gasto energético (Chandrasekar *et al.*, 2014). La mayoría de los estudios realizados en peces de agua dulce y transferidos a agua salada, muestran un incremento en la actividad Na^+ , K^+ -ATPasa en las primeras horas del tratamiento (Allen *et al.*, 2009; Zhao *et al.* 2016). Si bien, Martínez-Álvarez *et al.*, 2002, puso de manifiesto un claro aumento de dicha actividad en esturión (*Acipenser naccarii*) en respuesta a incrementos de salinidad a partir de concentraciones de 15 ‰. No obstante, este hecho fue precedido de un significativo descenso al pasar de 0 a 15‰, que según los autores podría deberse a la similitud entre la concentración osmótica de la sangre y el medio. En el presente estudio, si bien no se encontraron cambios significativos en la actividad Na^+ , K^+ -ATPasa, si se pudo observar una ligera tendencia al descenso en la actividad de dicha enzima cuando las tencas pasaron de 0 a 4‰ de salinidad y que se mantuvo estable hasta una concentración del 8‰. Igualmente, un ligero incremento pudo ser observado en la tenca cuando se incrementó por encima de 12‰. Sin embargo, existe una amplia variabilidad de respuestas de aclimatación a la salinidad dependiendo de múltiples factores entre los que destacan, la especie, el tiempo de exposición, los rangos de salinidad ensayados, entre otros. En este sentido, en *Fundulus heterociclus* no se observó ningún cambio en la actividad Na^+ , K^+ -ATPasa tras el incremento de salinidad del medio (Mancera y McCormick, 1999).

Por otra parte, diversos estudios han demostrado que un aumento en la salinidad puede dar lugar a una respuesta de estrés en peces dulceacuícolas asociada a una activación metabólica que en último término podría incrementar la producción de especies reactivas (Cataldi *et al.*, 2005). En este sentido, cabría esperar un incremento de los mecanismos enzimáticos de defensa antioxidante. Así, en esturión el proceso de marinización puso de manifiesto en eritrocitos, un claro incremento de las actividades SOD, CAT y GPX a salinidades de 35‰ (Martínez-Álvarez *et al.*, 2005). Estos resultados podrían ser extrapolables a lo que se sucede en branquia, dado que este órgano se encuentra altamente irrigado. En el presente estudio solamente la CAT branquial mostró un aumento significativo de actividad en el grupo de tencas sometidas a la salinidad más alta (16‰). En el caso de la actividad GPX, Baysoy *et al.*, (2012), mostraron resultados similares a los obtenidos en el presente estudio, donde el tratamiento con salinidad de hasta 8‰ no indujo cambios de actividad durante la primera semana de tratamiento en tilapia (*Oreochromis niloticus*).

De igual manera, la regeneración de moléculas antioxidantes como el GSH es fundamental y para ello, la GR juega un papel clave en la transformación del glutatión oxidado a glutatión reducido. En el presente estudio, la actividad GR no fue modificada por efecto de la salinidad. De forma similar, en tilapias expuestas a concentraciones de hasta 8‰, no se observaron variaciones en la actividad de la GR, independientemente del tiempo de exposición (Baysoy *et al.*, 2012).

En aquellos casos en los que los sistemas de defensa antioxidante no son capaces de neutralizar las especies reactivas generadas bajo situaciones comprometidas para el animal, se llega a producir un estado de estrés oxidativo, que en último término, podría ocasionar un daño irreversible a nivel celular (Halliwell y Gutteridge, 2007). Los resultados obtenidos en el presente estudio no parecen mostrar una situación de estrés oxidativo en la tenca bajo diferentes concentraciones de salinidad, ya que los niveles de MDA no sólo no incrementaron paralelamente al aumento de salinidad, sino que por el contrario, disminuyeron paulatinamente de forma significativa conforme la salinidad incrementó. Resultados similares han sido observados por otros autores en eritrocitos de esturión cuando la salinidad incrementó del 15 al 22‰ (Martínez-Álvarez *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

En resumen, un incremento de salinidad de hasta 16‰ no generó alteraciones significativas en la actividad Na^+ , K^+ -ATPasa branquial, si bien, se observó una ligera tendencia a incrementar a las salinidades más elevadas. Por su parte, los sistemas de defensa antioxidante en branquia no se vieron alterados en la tenca sometida a un aumento progresivo de salinidad, salvo en el caso de la catalasa, cuya actividad incrementó significativamente a la salinidad más alta ensayada (16‰), observándose por el contrario un descenso progresivo de daños oxidativos en lípidos de tejido branquial de tenca sometida a incrementos de salinidad desde 0 a 16‰, lo cual podría ser indicativo de la ausencia de un estado de estrés oxidativo bajo las condiciones experimentales del presente estudio. En conjunto, los datos indican que tencas expuestas hasta un 12‰ de salinidad no muestran alteraciones significativas en su estado fisiológico, pudiéndose establecer este valor como límite de tolerancia sin consecuencias negativas para el bienestar del animal.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Grupo RNM-156 de Nutrición y Alimentación de Peces de la Universidad de Granada (España).

REFERENCIAS

- Allen P.J., Cech J.J., Kültz D. (2009). Mechanisms of seawater acclimation in a primitive, anadromous fish, the green sturgeon. *Journal of Comparative Physiology B*, 179: 903–920.
- Amoatey P., Baawain M.S. (2019). Effects of pollution on freshwater aquatic organisms. *Water Environment Research*, 91: 1272-1287.
- Baysoy E., Atli G., Gürler C.Ö., Dogan Z., Eroglu A., Kocalar K., Canli M. (2012). The effects of increased freshwater salinity in the bioavailability of metals (Cr, Pb) and effects on antioxidant

- systems of *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 84: 249–253.
- Buege J.A., Aust S.D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, 52: 302-310.
- Candolin U. (2009). Population responses to anthropogenic disturbance: lessons from three-spined sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* in eutrophic habitats. *Journal of Fish Biology*, 75: 2108-2121.
- Cataldi E., Mandich A., Ozzimo A., Cataudella S. (2004). The interrelationships between stress and osmoregulation in a euryhaline fish, *Oreochromis mossambicus*. *Journal of Applied Ichthyology*, 21: 229–231.
- Chandrasekar S., Nich, T. Tripathi G., Sahu N.P., Pal A.K., Dasgupta S. (2014). Acclimation of brackish water pearl spot (*Etroplus suratensis*) to various salinities: relative changes in abundance of branchial Na⁺/K⁺-ATPase and Na⁺/K⁺/2Cl⁻ co-transporter in relation to osmoregulatory parameters. *Fish Physiology and Biochemistry*, 40: 983-996.
- Claver I., Díaz De La Lastra E. (1983). Localización de áreas para uso acuícola en la provincia de Badajoz (*Facies léntica*). CEOTMA. MOPU.
- Del Río D., Stewart A.J., Pellegrini N. (2005). A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 15: 316-328.
- Halliwell B., Gutteridge J. (2007). Free radicals in biology and medicine, 4th ed. Oxford University Press. 704 pp.
- Mancera J., Mc Cormick S.D. (1999). Osmoregulatory actions of the GH/IGF axis in non-salmonid teleosts. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 121: 43-48.
- Martínez-Álvarez R.M., Hidalgo M.C., Domezain A., Morales A.E., García-Gallego M., Sanz A. (2002). Physiological changes of sturgeon *Acipenser naccarii* caused by increasing environmental salinity. *Journal of Experimental Biology*, 205: 3699-3706.
- Pastor R., Sbodio O., Galván S.M., Rossini M. (2008). Correlación entre la expresión de dos biomarcadores (PCNA y NA⁺/K⁺ ATPasa) en branquias del *Pymelodus albicans* de las cuencas del río Salado y Paraná. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 9: 1-10.
- Penefsky H.S., Bruist M.F. (1984). Adenosinetriphosphatases. In: Bergmeyer H.U. (Ed.). *Methods of Enzymatic Analysis*. Verlag Chemie, Weinheim. pp: 324-335.

- Pérez-Jiménez A., Abellán E., Arizcun M., Cardenete G., Morales A.E., Hidalgo M.C. (2017). Dietary carbohydrates improve oxidative status of common dentex (*Dentex dentex*) juveniles, a carnivorous fish species. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A*, 203: 17-23.
- Ruíz-Jarabo I., Gonzalez-Wevar C.A., Oyarzún R., Fuentes J., Poulin El, Bertrán C., Vargas-Chacoff L. (2016). Isolation Driven Divergence in Osmoregulation in *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1848) (Actinopterygii: Osmeriformes). *Plos One*, 11: e015476.
- Veillette P.A., White R.J., Specker J.L., Young G. (2005). Osmoregulatory physiology of pyloric ceca: Regulated and adaptive changes in chinook salmon. *Journal of Experimental Zoology A*, 303: 608-613.
- Velasco J., Gutiérrez-Cánovas C., Botella-Cruz M., Sánchez-Fernández D., Arribas P., Carbonell J.A., Millán A., Pallarés S. (2019) Effects of salinity changes on aquatic organisms in a multiple stressor context. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374: 20180011.
- Wu H., Lin J., Liu P., Huang Z., Zhao P., Jin H., Ma J., Wen L., Gu N. (2016). Reactive oxygen species acts as executor in radiation enhancement and autophagy inducing by AgNPs. *Biomaterials*, 101: 1-9.
- Zhao F., Wu B., Yang G., Zhang T., Zhuang P. (2016). Adaptive alterations on gill Na⁺, K⁺-ATPase activity and mitochondrion-rich cells of juvenile *Acipenser sinensis* acclimated to brackish water. *Fish Physiology and Biochemistry*, 42: 749-756.



Presencia de *Trichodina* sp. (Ciliophora: Trichodinidae) en cultivos experimentales de pre-larvas y larvas de *Dormitator latifrons*

Presence of *Trichodina* sp. (Ciliophora: Trichodinidae) in experimental cultures of pre-larvae and larvae of *Dormitator latifrons*

Byron Manuel Reyes-Mero, Ana María Santana-Piñeros, Yanis Cruz-Quintana, Fernando Isea León, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda

Grupo de investigación en Sanidad Acuícola, Inocuidad y Salud Ambiental (SAISA), Departamento de Acuicultura y Pesca, Universidad Técnica de Manabí, Bahía de Caráquez, Ecuador. Teléfono 00593 5 2399300 ext. 1003.

 Byron Manuel Reyes-Mero () E-mail: breyes3218m@gmail.com

RESUMEN | El género *Trichodina* son parásitos muy comunes en peces de ambientes naturales y de sistemas de cultivo, donde pueden ser perjudiciales cuando los hospederos se encuentran debilitados por causa exógenas, principalmente en las primeras etapas larvales. El chame *Dormitator latifrons* es una especie importante como recurso acuícola y pesquero de la zona costera ecuatoriana. A pesar que el chame ha logrado una gran aceptación en mercados internacionales, el desarrollo de su cultivo se limita debido a que no se ha cerrado el ciclo de vida, obteniendo solo juveniles capturados de medios naturales. Durante un experimento de desarrollo larvario, se detectó la presencia de *Trichodina*. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es reportar el primer hallazgo de *Trichodina* en larvicultura de *Dormitator latifrons*. Los organismos utilizados como reproductores fueron colectados de un sistema de cultivo de engorda y colocados en un tanque de 100 L por tres días. Posteriormente fueron inducidos usando implantes de análogos sintéticos de GnRH. Previo a la obtención de las pre-larvas se observó la presencia de protozoarios ciliados, identificados como *Trichodina*. Un total de 60 larvas diarias fueron analizadas durante los primeros 6 días de vida y se determinaron los parámetros de infección. Los parámetros más altos se presentaron al quinto día de la prueba, encontrando una prevalencia del 63%, la abundancia media de $0,95 \pm 0,88$ y la intensidad promedio de $1,5 \pm 0,60$. Las pre-larvas y larvas de *D. latifrons* mostraron una infección leve, aunque creciente en el tiempo, lo que podría convertirse en un problema sanitario.

Palabras clave: *Trichodina* sp. chame, cultivo, reproducción, parasitología.

ABSTRACT | Genus *Trichodina* is very common parasites in fish from natural environments and aquaculture systems, where they can be harmful when the hosts are weakened by exogenous causes, mainly in the early larval stages. The chame *Dormitator latifrons* is an important species as an aquaculture and fishing resource in the Ecuadorian coastal zone. Although the chame has achieved great acceptance in international markets, the developments of its aquaculture is limited due to the fact that the life cycle has not been closed, obtaining only juveniles captured from natural environments. During a larval development experiment, the presence of *Trichodina* was detected. Therefore, the objective of the present work is to report the first finding of *Trichodina* in the larviculture of

Dormitator latifrons. The organisms used as breeders were collected from a grow-out culture system and placed in a 100 L tank for three days. They were subsequently induced using synthetic GnRH analog implants. Before obtaining the pre-larvae, the presence of ciliated protozoa, identified as *Trichodina*, was observed. A total of 60 daily larvae was analyzed during the first 6 days of life and the infection parameters were determined. The highest parameters were presented on the fifth day of the test, finding a prevalence of 63%, the mean abundance of 0.95 ± 0.88 and the mean intensity of 1.5 ± 0.60 . The pre-larvae and larvae of *D. latifrons* showed a slight infection, although increasing over time, which could become a sanitary problem.

Keywords: *Trichodina* sp. chame, aquaculture, reproduction, parasitology.

INTRODUCCIÓN

El género *Trichodina*, pertenece al grupo de los protozoarios ciliados que se caracterizan por presentar un disco adhesivo basal muy desarrollado, una zona dorsal de cilios en forma de espiral que le da movimiento y un anillo esquelético dorso-ventral (Sierra *et al.*, 2006). En peces adultos, el género *Trichodina* causa episodios de letargia, principalmente por afectaciones en las branquias (Reichenbach-Klinke *et al.*, 1980), mientras que en etapas larvarias o juveniles provoca altas y rápidas mortalidades (Basson y Van As, 2006). Adicionalmente, las infecciones por *Trichodina* son consideradas puerta de entrada de otras enfermedades (Abdel-Baki *et al.*, 2017).

Dormitator latifrons (Richardson, 1844), se considera un excelente candidato para la acuicultura en Latinoamérica, ya que se adapta fácilmente a condiciones de cautiverio (FAO, 2013). A pesar que se ha logrado la reproducción en cautiverio (Rodríguez-Montes *et al.*, 2012) aún no se ha cerrado el ciclo biológico de la especie. Existe poca información de los patógenos que afectan las diferentes etapas de cultivo de chame (Vicuña, 2010; Vega-Villasante *et al.*, 2017), y hasta la fecha no se han reportado patógenos en cultivo larvario. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es reportar el primer hallazgo de *Trichodina* en larvicultura de *Dormitator latifrons*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los reproductores fueron colectados en un sistema de producción de chame, escogiendo organismos que presentaran características reproductivas como: coloración del vientre (amarillenta para la hembra y rojiza para el macho), tamaño de la papila genital y ampollas ubicadas en las aletas laterales. La hembra con un peso de 747 g y longitud total de 29 cm y un macho de 780 g y longitud total de 32 cm. Los reproductores fueron colocados en un tanque de 100 L por tres días sin alimentación (Fig. 1). Luego fueron colocados a un nuevo tanque con salinidad de 2,1 UPS, temperatura de 27 a 29 °C y abundante oxígeno. Los reproductores se indujeron al desove usando implantes de análogos sintéticos de GnRH, de acuerdo a la metodología usada por Asmat *et al.* (2018) (Fig. 1). El desove se inició a las 46 h y la eclosión se inició a las 10 h después del desove. Al segundo día de vida de las pre-larvas, se presenci

la existencia de ectoparásitos adheridas al tegumento de las mismas. Se tomaron muestras de larvas y se fijaron los ectoparásitos en porta objetos realizando la tinción con nitrato de plata y Wright para su identificación (Fig. 1). Para la revisión de los ectoparásitos y las larvas se utilizó un microscopio Olympus BX53. Los parámetros de infección prevalencia, abundancia media e intensidad promedio fueron calculados.



Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología usada en el estudio.

RESULTADOS

Las larvas de *D. latifrons* fueron parasitadas por protozoarios que presentaron un disco adhesivo basal, una membrana marginal, anillo denticular, apófisis denticular externa e interna, una zona dorsal de cilios en forma de espiral y un anillo esquelético central. Estas características concuerdas con protozoarios del género *Trichodina* sp. Los parásitos ocasionando daños tisulares leves en las larvas (Fig. 2).

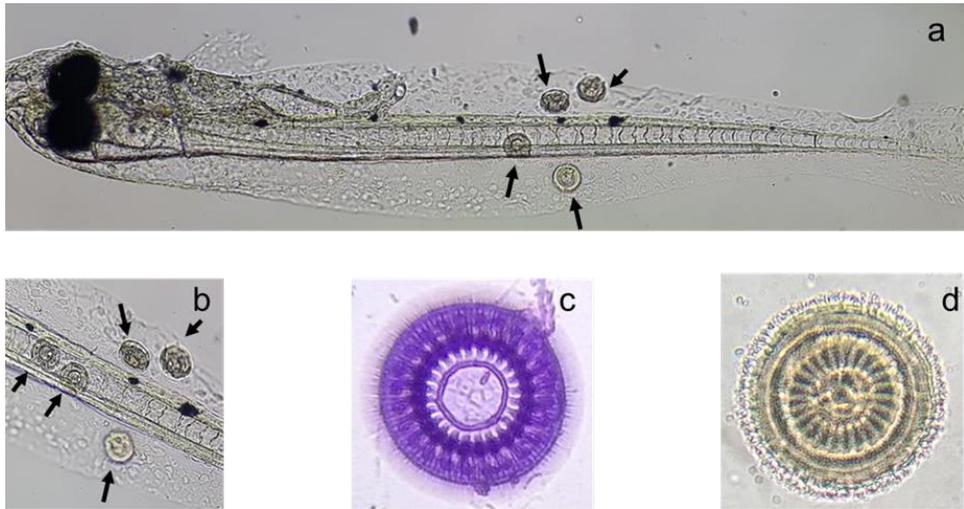


Figura 2. *Trichodina* sp. **A.** parásitos adheridos a larvas de *Dormitator latifrons* **B.** parásitos adheridos a larvas de *D. latifrons* **C.** Tinción con Wright **D.** Tinción con nitrato de plata. Flechas muestran al parásito.

Las larvas fueron parasitadas al segundo día post-eclosión aumentando los parámetros de infección por día. En el día 5, se presentaron los valores más altos con una prevalencia del 63 %, la abundancia media de $0,95 \pm 0,88$ y la intensidad promedio de $1,5 \pm 0,60$ (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de infección de *Trichodina* sp. en pre-larvas y larvas de *Dormitator latifrons*. Valores se muestran como promedio \pm desviación estándar. Número de organismos analizados 60.

Días	Prevalencia (%)	Abundancia media	Intensidad promedio
1	0	0	0
2	3	$0,03 \pm 0,20$	1 ± 0
3	7	$0,07 \pm 0,25$	1 ± 0
4	23	$0,22 \pm 0,41$	1 ± 0
5	63	$0,95 \pm 0,88$	$1,5 \pm 0,60$
6	55	$0,82 \pm 0,87$	$1,50 \pm 0,61$

DISCUSIÓN

Los protozoarios encontrados en las larvas de chame presentaron las características morfológicas del género *Trichodina*. Los parásitos mostraron disco adhesivo basal, una membrana marginal, anillo denticular, apófisis denticular externa e interna, una zona dorsal de cilios en forma de espiral y un anillo esquelético central. Según Smith (2009), una de las características fácilmente distinguibles del género es la presencia de un prominente denticular o "diente-como" anillo citoesqueleto central con un dorso-ventralmente aplanado y oval.

Las *Trichodinas* sp. presentaron una leve infección inicial con una prevalencia del 3% incrementándose en el tiempo, llegando al 55% en el día sexto. El incremento de prevalencia está relacionado con el ciclo de vida directo que presentan los protozoarios, lo cual podría convertirse en un problema sanitario en larvicultura de chame *D. latifrons*. Las trichodinas pueden vivir en el agua aproximadamente de 1 a 1,5 días y tienen la capacidad de reproducirse por fisión binaria simple, dando lugar a dos células hijas más o menos iguales en pocas horas (Guzmán, 1988; Smith, 2009), inclusive pueden incrementar su población cuando el nivel de oxígeno del estanque está por debajo de 2 mg/l (Andasol, Escobar y Montes, 2014). Los alevinos son más susceptibles y provocar altas mortalidades (Guzmán, 1988; Smith, 2009; Andasol, Escobar y Montes, 2014).

Las *Trichodinas* identificadas en este estudio ocasionaron daños tisulares leves en las larvas de chame. A pesar que en nuestro estudio no se hicieron evaluaciones histológicas, evidenciamos daños en la piel y mortalidad probablemente asociadas al parásito. Futuros estudios podrán esclarecer estos resultados. *Trichodinas* identificadas en la tilapia *Oreochromis* sp. han mostrado altas prevalencias y se han asociado daños en la piel, branquias, dificultad respiratoria, pérdida de apetito y pérdida de escamas en organismos parasitados (Smith, 2009; González, 2012).

CONCLUSIONES

Los ectoparásitos encontrados en las larvas de chame presentaron un disco adhesivo basal, membrana marginal, anillo denticular, apófisis denticular externa e interna, una zona dorsal de cilios en forma de espiral y un anillo esquelético central. Estas características concuerdan con el género *Trichodina*.

Las pre-larvas y larvas de *D. latifrons* mostraron una infección leve, aunque creciente en el tiempo, lo que podría convertirse en un problema sanitario

Agradecimientos

Al proyecto de investigación "Aspectos biológicos del chame *Dormitator latifrons* en ambientes

naturales y de producción” financiado por la UTM. Al Centro de Sanidad Acuícola de la Escuela de Acuicultura y Pesquería, de la Universidad Técnica de Manabí. Empresa anónima de producción de chame.

REFERENCIAS

- Andasol, I., Escobar, D., Montes, N. (2014). Caracterización ectoparasitológica de alevines (*Oreochromis niloticus*) en los laboratorios de cultivo en El Salvador. Requisito para optar al título de: Licenciado (A) en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad De El Salvador, Facultad De Ciencias Agronómicas. San Salvador. Pp. 70.
- Abdel-Baki, AS., Sakran, T., Fayed, H., & Zayed, E. (2011) *Trichodina fahaka* (Ciliophora: Peritrichia) in *Tetradon fahaka* from Nile River, Egypt: Seasonality and histopathology. *Sci Res Essays* 6:1583–1587. doi:10.5897/SRE10.1046.
- González, J. (2012). Parasitofauna en tilapia causante de mortalidad en alevinos en dos Centros de cultivos, Lima, Perú. *APHIA. . Revista Neotropical Helminthology*, 6(2): 12-15.
- Guzmán, F. (1988). Parásitos y Enfermedades de la Tilapia. 2 ed. Fondepesca. Nuevo León, MX. Capilla. p. 41. 1995. Parásitos de la Lobina. 2 ed. México DF, MX. Fondepesca. p. 16.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). Fishstat J data base: aquaculture production: quantities 1987-2013. Versión 2.12.4. Roma
- Rodríguez-Montes, G., Medina-Hernández, E., Velázquez-Sandoval, J., López-López, V., Román-Reyes, J., Dabrowski, K., y Haws, M. (2012). Production of “Chame” (*Dormitator latifrons*, Pisces: Eleotridae) larvae using GnRH α and LHRH α . *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25:422—429.
- Reichenbach-Klinke, H.-H., Ahne, W., Negele, R.-D., Ollenschlager, B., Popp, W., Spienser, O.H y Wolf, K. (1980). Enfermedades de peces. Krankheiten und Schädigungen der Fische. 2nd. Ed. ©Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. New Stuttgart. New York. I.S.B.N.: 84-200-0509-6.
- Sierra, E., Espinosa de los Monteros, A., Real, F., Herráez, P., Castro, P y Fernández, A. (2006) Enfermedades parasitarias: protozoarios externos e internos y misceláneos. *Revistas Canaria De Las Ciencias Veterinarias*, 3:21-29.
- Smith, S. (2009). Commercial Fish & Shellfish Technology Fact Sheet. Dealing with *Trichodina* and *Trichodina*-like species (Online). Virginia, US. Consulted 2 Dec. 2012. Disponible en:

http://pubs.ext.vt.edu/600/600-205/600-205_pdf.pdf

Basson. L y Van-As, JG. (2006). Trichodinidae y otros ciliophorans (Phylum Ciliophora) PTK Woo (Ed.), Enfermedades de los peces y trastornos (segundo), CABI Publishing, Londres, pp. 154 - 182

Vega-Villasante, F., Cueto-Cortes, L., Basto-Rosales, ME., Badillo-Zapata, D., Chong-Carrillo, O. (2017) Occurrence of *Argulus* sp. in *Dormitator latifrons* culture: prevalence, mortality and treatment. *Revista Bio Ciencias 4*. Article ID 04.06.05. Doi: 10.15741/revbio.04.06.05.



Efectos de la adición del péptido GHRP-6 en la dieta de la dorada (*Sparus aurata*): implicaciones en el rendimiento productivo y metabolismo intermediario

Effects of the addition of the peptide GHRP-6 in the diet of sea bream (*Sparus aurata*): implications in productive performance and intermediate metabolism

I. Martí¹, L. Rodríguez-Viera², R. Martínez³, J.M. Mancera¹, J.A. Martos-Sitcha¹

¹Depto. de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto de Investigación Marina (INMAR), Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-MAR), Universidad de Cádiz, España.

²Center for Marine Research, University of Havana, Havana, Havana, Cuba.

³Aquatic Biotechnology Department, Biotechnology Animal Division, CIGB, Habana, Cuba.

✉ Ignacio Martí () E-mail: martignacio16@me.com

RESUMEN | En el presente estudio se ha analizado el efecto de la adición del péptido GHRP-6 en diferentes proporciones (100 ó 500 µg/kg de pienso) a una dieta comercial de dorada (*Sparus aurata*), y por ende sus efectos sobre el crecimiento y el metabolismo intermediario de los animales cultivados. Los juveniles de dorada (~20 g de peso medio inicial) fueron alimentados a medio/largo plazo con tres dietas diferentes: i) Control, sin suplementación (CTRL); ii) D100, 100 µg GHRP-6/kg de pienso; y iii) D500, 500 µg GHRP-6/kg de pienso. Transcurrido un periodo de alimentación *ad libitum* de 97 días, se analizaron diferentes índices biométricos, somáticos y de aprovechamiento del alimento, así como el estado metabólico de los animales. Nuestros resultados demuestran la existencia de una mejora general en la eficiencia productiva y en la gestión metabólica de los animales mediada por la suplementación con el péptido, pudiendo suponer su uso adecuado una gran ventaja para el sector acuícola en general, así como para los productores de piensos para esta y otras especies de interés comercial.

Palabras clave: GHRP-6, *Sparus aurata*, metabolismo

ABSTRACT | In the present study, the effect of the addition of the GHRP-6 peptide in different proportions (100 or 500 µg/kg feed) to a commercial diet of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and therefore, its effects on growth performance and intermediate metabolism of cultured animals were analysed. Juvenile fish (~20 g initial mean body mass) were fed in a medium/long term period with three different diets: i) Control, non-supplemented (CTRL); ii) D100, 100 µg/kg feed; and iii) D500, 500 µg/kg feed. Sea breams were fed *ad libitum* during 97 days, and different biometric, somatic and feed efficiency indexes were concomitantly analysed with several parameters related to the metabolic status of the animals. Taking together, our results demonstrated the existence of a general improvement in the growth performance and metabolism of fish fed with these supplemented diets, suggesting a beneficial impact on the aquaculture industry as well as in feed producers for this and others cultured species.

Palabras clave: GHRP-6, *Sparus aurata*, metabolism.

INTRODUCCIÓN

Situación actual de la acuicultura

Tradicionalmente el ser humano ha explotado el mar en busca de sus recursos como sustento. El crecimiento incesante y el desarrollo de las sociedades ha provocado que la demanda, y por tanto la extracción de recursos marinos, sea cada vez mayor. El avance en los métodos extractivos ha favorecido la eficiencia y la cantidad que puede llegar a obtenerse del medio, poniendo en riesgo el equilibrio de éste. Así, en vistas de la sobreexplotación que han ido sufriendo los caladeros mundiales a lo largo de las últimas décadas, la respuesta a este problema ha sido el de invertir cada vez más esfuerzos para el desarrollo de la acuicultura (Fig. 1).

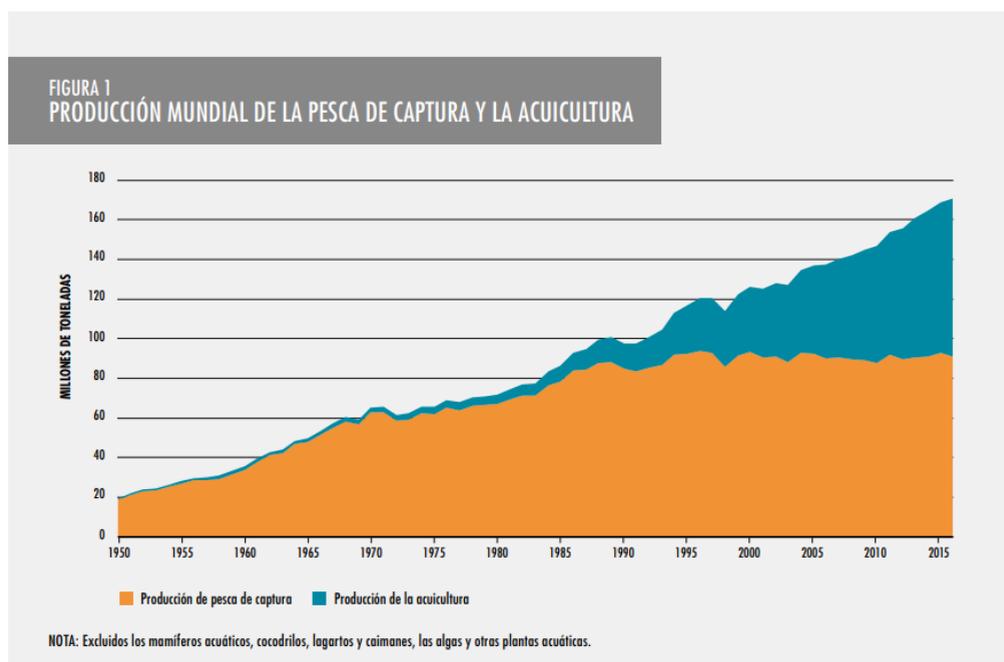


Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura. Fuente: APROMAR 2019.

La evolución de la acuicultura durante las últimas cuatro décadas, al igual que sucedió con los medios de extracción de recursos pesqueros, ha registrado un desarrollo notable tanto en adelantos tecnológicos como científicos. La acuicultura moderna basa su éxito en una gestión adecuada de las especies cultivadas, aplicación de las nuevas tecnologías, uso y desarrollo de dietas específicas, todo unido a la importante tarea de asegurar una buena organización empresarial que gestione y dé cabida a una actividad en auge (APROMAR, 2019).

Es por ello por lo que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), para ofrecer unas directrices en cuanto a gobernanza del sector, está propulsando su programa de crecimiento azul como marco para la gestión sostenible de los recursos acuáticos, para el equilibrio en su uso y para su conservación de una manera que sea económica, social y medioambientalmente responsable.

La acuicultura en España

La Unión Europea es el primer y más relevante mercado mundial para los productos acuáticos, y España es el Estado miembro con una mayor producción de productos de acuicultura. Este sector primario está constituido en España por micro, pequeñas y medianas empresas, con una gran competitividad y cuya supervivencia depende de su capacidad de innovación, emprendimiento y aprovechamiento sostenible de los recursos disponibles (APROMAR, 2019). España dispone de una variada disponibilidad de recursos hídricos, y es por ello que el desarrollo de la acuicultura cuenta con un gran potencial tanto en el ámbito marino como en el continental. Así, a los casi 8.000 km de costa con los que cuenta el país se le suman los 9 grandes ríos y numerosos cursos fluviales que presenta su orografía. Estas características convierten a España en un lugar idóneo para el desarrollo de estas actividades productivas sin perjuicio de otras que puedan ser llevadas a cabo en este mismo entorno (Fig. 2).

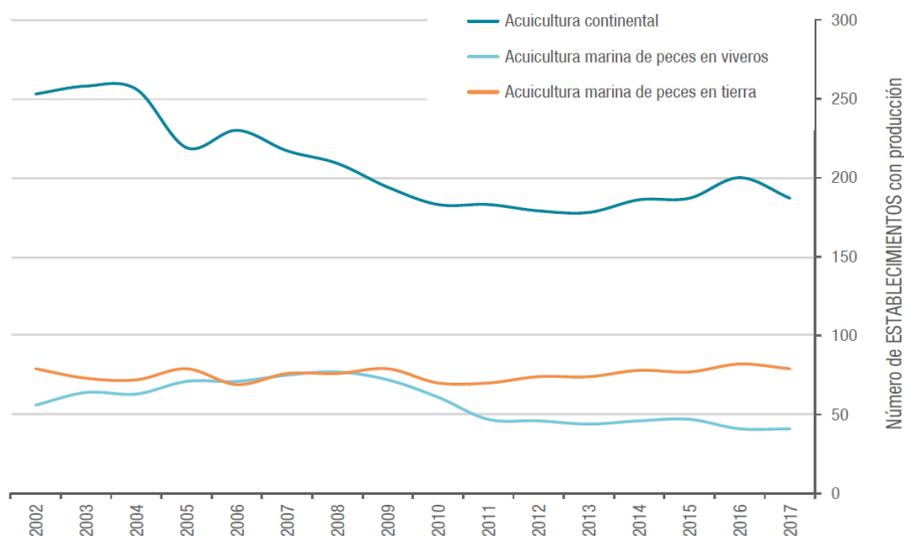


Figura 2. Evolución del número de establecimientos dedicados a la acuicultura en España con producción entre 2002 y 2017. Fuente: APROMAR 2019.

En este sentido, cabe destacar que los sistemas de producción españoles abarcan una amplia gama de nichos y técnicas de muy variada índole, desde instalaciones en tierra dedicadas a la producción de larvas y alevines de diferentes especies de peces, hasta importantes polígonos de producción intensiva de engorde en jaula, pasando por cultivos extensivos y semi-intensivos más localizados como son el caso de los sistemas de bateas flotantes de moluscos bivalvos o los esteros de la zona Sur-Atlántica de la península. Además, otro de los puntos importantes sobre los que pivota este sector es la existencia de empresas enfocadas a la alimentación de las especies cultivadas, tanto en lo referente a la formulación y fabricación de piensos comerciales (ej. BioMar, Palencia; Dibaq, Segovia), así como a la producción de aditivos nutracéuticos naturales y funcionales a partir de extractos de diferentes compuestos, como las microalgas (ej. LifeBioencapsulation S.L., Almería).

Importancia de la alimentación en acuicultura

La alimentación de los animales de acuicultura, en particular de los peces, es un elemento clave en su viabilidad al poder representar alrededor de un 50 % de los costes totales de producción. Así, el desarrollo de piensos de alto valor nutricional y gran calidad es uno de los pilares que lo hace posible. En España existen diferentes Grupos de Investigación enfocados a una mejora de los rendimientos productivos de diferentes especies de la acuicultura, bien a partir de programas de selección genética de diferentes especies, o mediante el estudio de diferentes formulaciones e incorporación de aditivos en la dieta (Perera *et al.*, 2019). En este sentido, este último aspecto relacionado con la suplementación de los piensos de acuicultura está tomando una importancia cada vez más marcada en el panorama español y europeo, no solo en busca de una mejora de la eficiencia de alimentación, sino también en relación al bienestar de los organismos cultivados. Es por ello por lo que, en el presente Trabajo de Fin de Grado, se pretenda evaluar el potencial uso de un péptido mimético a la ghrelina, una hormona involucrada en el eje endocrino del crecimiento, sobre el rendimiento productivo y orquestación metabólica en una especie de gran importancia para la acuicultura, como es la dorada (*Sparus aurata*).

La ghrelina como aditivo funcional en la dieta

Gracias a Matthias Tschöp y Mark Heiman, descubridores del efecto de la ghrelina en el cerebro y su relación con la ingesta de alimento y metabolismo de la glucosa (Tschöp *et al.*, 2000), es sabido que el hipotálamo desempeña una función importante en los procesos de regulación del peso corporal, donde su núcleo ventromedial se considera el centro de la saciedad, mientras que el núcleo hipotalámico lateral es considerado el centro del hambre. Todo este complejo sistema de neuronas específicas y factores neurohumorales funciona mediante la presencia de numerosos péptidos y hormonas relacionadas e interconectadas a través del sistema endocrino, como pueden ser la proopiomelanocortina (POMC) que inhibe el apetito por ser un elemento clave a nivel hipofisario del eje del estrés, y aquellas que estimulan el apetito, como es el caso del neuropéptido Y (NPY), entre otros. Así, se ha demostrado que la ghrelina estimula enormemente la ingesta de alimento y la secreción de la hormona de crecimiento (GH),

actuando de manera opuesta la leptina, la cual se encarga de regular la saciedad y estimular el gasto energético (Méndez-Sánchez y Uribe-Esquivel, 2006). El descubrimiento de la ghrelina provocó que durante las últimas dos décadas se abriesen nuevas investigaciones del eje hipotálamo-hipofisario-gastrointestinal, presentando evidencias de que dicha hormona tiene un rol mucho más complejo, gestionando tanto el apetito como el metabolismo. La visión reducida de la ghrelina como tan solo la “hormona del hambre” fue desechada, colocando a esta hormona como uno de los elementos más importantes secretado por el estómago (Müller *et al.*, 2015).

La ghrelina presenta una gran paridad a pesar de las variaciones entre aminoácidos en función de la especie y forma de la ghrelina en todos los vertebrados, incluyendo los peces. Según Perrelló-Amorós *et al.* (2018), la primera caracterización en peces de esta hormona se obtuvo en la carpa dorada (*Carassius auratus*) por Unniappan *et al.* (2002), aunque más tarde, Kaiya *et al.* (2008) revisó su función fuera de los vertebrados mamíferos. Recientemente, diferentes publicaciones han enfocado sus investigaciones sobre la ghrelina en otras especies de peces, pero es muy poco lo que se conoce de ella en dorada (*Sparus aurata*) (Perrelló-Amorós *et al.*, 2018).

Por su parte, los avances biotecnológicos hacen cada vez más posible el desarrollo de sustancias y péptidos que mimeticen el efecto fisiológico de diferentes hormonas, sin la necesidad de realizar tratamientos hormonales a los organismos cultivados, aunque ejerciendo del mismo modo un estímulo sobre diferentes cascadas endocrinas de interés para una mejora de la orquestación metabólica, el rendimiento productivo, y el bienestar animal de los ejemplares. Este es el caso del péptido GHRP-6, homólogo de la ghrelina, utilizado en el presente Trabajo Fin de Grado.

Metabolismo

Los organismos vivos se caracterizan por contar con un sistema de producción y gestión energética, llamado metabolismo, el cual se divide tanto en anabolismo como en catabolismo. En estos procesos son numerosas las moléculas y reacciones que se producen, generando un flujo de energía que puede dar lugar tanto a procesos anabólicos, en aquellas situaciones que se refieren a la producción de macromoléculas a partir de elementos más sencillos (ej. función de reserva o crecimiento), como a catabólicos, en el momento en que moléculas grandes se descomponen en otras más sencillas y aprovechables para la producción de energía (ej. glucogenólisis para la producción de glucosa y formación de ATP).

Las rutas metabólicas estudiadas en peces teleósteos son similares a las de los mamíferos; sin embargo, existen diferencias en cuanto a la presencia e importancia fisiológica de alguna de ellas (Walton y Cowey, 1982) así como su evolución tras la ingesta (Polakof *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2009; Montoya *et al.*, 2010). Las proteínas obtenidas son hidrolizadas obteniéndose así los aminoácidos que son absorbidos en el tracto gastrointestinal para más tarde funcionar como componentes

estructurales o enzimas. Aquellos aminoácidos en exceso son derivados a rutas de síntesis de lípidos, carbohidratos y aminoácidos no esenciales (Hepher, 1988; Weatherley y Gill, 1989). Por su parte, los lípidos sirven como principal reserva energética, y los carbohidratos como la principal fuente de energía inmediata (Fernández y Blasco, 1993).

En el contexto de la producción animal, el principal objetivo es conseguir un aumento de peso, con crecimiento alométrico (con una proporción similar tanto en peso como en longitud), en el menor tiempo posible y con unas condiciones económicas favorables. Y, así planteado, la evolución de estos metabolitos energéticos (glucosa, lactato, triglicéridos y proteínas), tanto a nivel hepático como plasmático, pueden ser buenos indicadores de la eficiencia alimenticia y de cómo se gestiona la energía ingerida en el proceso de crecimiento.

Biología de la dorada (*S. aurata*)

La dorada (*S. aurata*) ha sido la especie modelo utilizada en este estudio (Figura 1.3). Se trata de un perciforme perteneciente a la familia de los espáridos. Es un pez comprimido lateralmente, con el perfil cefálico convexo y bien armado de dientes. El cuerpo es ovalado, presentando una aleta dorsal continua. Se distinguen fácilmente gracias a la banda amarilla que tienen entre los ojos, la cual es más apreciable en individuos adultos, sobre la cual aparece otra banda de color negro. Es un animal hermafrodita protándrico, naciendo y permaneciendo todos los animales como macho hasta al menos su primera maduración sexual, y pudiendo convertirse en hembra a partir del segundo o tercer año para autorregular la proporcionalidad de sexos de la población, llegando a vivir más de 10 años (Ortega, 2008). La alimentación de esta especie es principalmente carnívora, prefiriendo moluscos bivalvos y pequeños peces, crustáceos y cefalópodos.



Figura 3. Dorada (*S. aurata*) (tomado de www.seafishinghowto.com).

La dorada es una especie euriterma y eurihalina, lo que significa que es capaz de adaptarse a un amplio rango de temperatura y salinidad. Aun así, es bastante sensible a bajas temperaturas, dejando de alimentarse por debajo de 12-13 °C, siendo su temperatura letal en torno a los 5-7 °C. Por otro lado,

tolera muy bien las temperaturas más altas, encontrando una tasa de crecimiento óptima en torno a los 25-26 °C y soportando hasta 33 °C (Ortega, 2008). En cuanto al carácter eurihalino, cuentan con una plasticidad ecológica aún mayor, habiéndose demostrado la capacidad de soportar variaciones en la salinidad de entre 3 y 70 ‰, accediendo a estuarios y lagunas costeras con grandes rangos diarios y/o estacionales de variabilidad salina (Ortega, 1973).

En cuanto a su cultivo, las primeras experiencias con esta especie en España se realizaron en Lo Pagan (Murcia), en las instalaciones del Instituto Español de Oceanografía, con salinidades que oscilaban entre 44-53 ‰, consiguiéndose cerrar el ciclo de cultivo bajo esas condiciones (Ortega, 1973, 1983; Odai, 1978). Actualmente, representa una de las especies de teleosteo marino más cultivada en las zonas del Mar Mediterráneo y Sur-Atlántica de Europa, y a nivel de investigación es usada como modelo animal para la evaluación de diferentes aspectos relacionados con la mejora de su cultivo, desde la nutrición y el estrés, hasta el efecto metabólico y de patógenos que puede afectar a su producción. Es por todo lo anteriormente expuesto, tanto a nivel económico como de generación de conocimiento, que el presente Trabajo Fin de Grado pretende aportar nuevos resultados para la mejora del proceso de cultivo de la especie.

Hipótesis y objetivos

La principal **hipótesis** en la que se basa el presente Trabajo de Fin de Grado es la existencia del potencial efecto positivo, y por tanto beneficioso, que ejercería el péptido GHRP-6, mimético de la ghrelina, en el crecimiento y metabolismo en juveniles de dorada (*S. aurata*). De esta manera, se pretende verificar la viabilidad del péptido y abrir el camino a futuras investigaciones con dicho aditivo, así como arrojar los primeros datos de una investigación más amplia y compleja en la que está enmarcado este Proyecto.

Así, para testar la hipótesis planteada, el **objetivo general** del presente Trabajo Fin de Grado fue evaluar el efecto de la adición del péptido GHRP-6 en un pienso comercial de formulación propia para dorada (*S. aurata*) como potencial efector del estímulo de secreción de hormona de crecimiento (GH), y por tanto del crecimiento. Para alcanzar el objetivo general planteado, el presente trabajo se propone abordar los siguientes **objetivos específicos**:

- 1) Evaluar la posible mejora de la producción de esta especie tras su alimentación con el péptido objeto de estudio en cuanto al rendimiento productivo y crecimiento a escala piloto.
- 2) Estudiar los cambios metabólicos y el bienestar animal de los ejemplares cultivados bajo estas condiciones experimentales a medio/largo plazo (97 días).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

La especie seleccionada para este experimento fue la dorada (*Sparus aurata*) debido a su gran interés tanto para la acuicultura andaluza como para la española y europea. Se utilizaron un total de 270 ejemplares obtenidos de fuentes comerciales (PREDOMAR, Carboneras, Almería) con un peso medio de $20,6 \pm 0,5$ g y talla media de $10,55 \pm 0,08$ cm. Los animales fueron distribuidos aleatoriamente en 9 tanques de 400 L de capacidad ($n = 30$, densidad inicial de cultivo $\sim 1,5$ kg/m³) de los Servicios Centrales de Investigación en Cultivos Marinos (SCI-CM, Universidad de Cádiz), y fueron mantenidos durante todo el periodo experimental en un sistema abierto con flujo constante de agua de pozo con 37 ‰ de salinidad y una temperatura constante de 19 °C (Fig. 4). Durante todo el periodo experimental, los animales se mantuvieron en condiciones de fotoperiodo natural comprendido entre el 17 de octubre de 2019 y el 22 de enero de 2020.



Figura 4 Sala experimental de los Servicios Centrales de Investigación en Cultivos Marinos (SCI-CM, Universidad de Cádiz).

Con el objetivo de evaluar los efectos del péptido GHRP-6 en diferentes dosis de inclusión, se llevaron a cabo 3 tratamientos diferentes, en triplicado, durante un periodo de 97 días, donde se utilizó un pienso sin la adición de este péptido, y 2 piensos experimentales: i) Dieta CONTROL (CTRL) basada

en un pienso comercial estándar para doradas (BioMar, Palencia), a la que solamente fueron añadidos los mismos excipientes utilizados para la disolución del péptido en las dietas experimentales (ej. Polietilenglicol), y dos dietas suplementadas con el péptido objeto de estudio a razón de ii) 100 µg GHRP-6/kg de pienso (D100) y iii) 500 µg GHRP-6/kg de pienso (D500), constituyendo así los tres grupos experimentales. *El péptido GHRP-6 ha sido desarrollado y cedido para este estudio por la Dra. Rebeca Martínez, del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) de La Habana (Cuba).*

La prueba de alimentación fue realizada “a ciegas”, de tal forma que los tres piensos fueron etiquetados con un color diferente permitiendo que a la hora de alimentar a los animales se eliminara cualquier fuente de subjetividad durante el proceso experimental para la obtención de resultados finales objetivos en cuanto a la aceptación y rendimiento productivo de cada una de las dietas ofrecidas. La alimentación se distribuyó en 2 dosis diarias *ad libitum* (hasta saciedad aparente), asegurándose que la cantidad ofrecida en cada unidad experimental fuese ingerida en su totalidad según demanda, para disminuir los errores en los distintos índices y parámetros zootécnicos calculados con posterioridad. Así, la ingesta de cada unidad experimental fue contabilizada de forma semanal, permitiendo obtener la ingesta total para el cálculo de la eficiencia de alimentación. Para ello, cada 4 semanas aproximadamente, todos los animales de cada una de las unidades experimentales fueron anestesiados con una dosis de 0,5 ml de 2-fenoxietanol/L de agua de mar, realizándose un muestreo biométrico para obtener la evolución y seguimiento del crecimiento para cada uno de los piensos experimentales. Durante todo el periodo experimental, el mantenimiento de las unidades experimentales se llevó a cabo de forma minuciosa a diario, contemplando la eliminación de materia orgánica adheridas a las paredes de los tanques y los desechos producidos por los propios animales. Además, aprovechando la extracción de los peces durante los muestreos biométricos intermedios, se realizaron limpiezas más exhaustivas del interior de cada uno de los tanques, evitando así el estrés diario producido por su manipulación excesiva, pero suficiente que garantizase la calidad de los parámetros de cultivo y el bienestar animal de los ejemplares.

Obtención de muestras

Todos los procedimientos experimentales fueron llevados a cabo siguiendo las directrices dadas por el Consejo de la Unión Europea (2010/63/UE), legislación española (ley 32/2007 y RD 53/2013) y la Universidad de Cádiz para el uso de animales de laboratorio. Además, el presente modelo experimental cuenta con la aprobación de la Junta de Andalucía para el uso y manipulación de animales de experimentación, con el número de autorización 04/04/2019/056. Transcurridos los 97 días de alimentación, 4 ejemplares por tanque ($n = 12$ peces/tratamiento) fueron anestesiados con una sobredosis letal de 1 mL de 2-fenoxietanol/L de agua de mar. Tras pesarlos y medirlos de forma individual, se obtuvieron muestras de sangre mediante punción del pedúnculo caudal utilizando jeringas de 1 mL previamente heparinizadas para evitar su coagulación (Fig. 5a). Dichas muestras fueron recogidas en tubos Eppendorf de 1,5 mL y centrifugadas durante 5 minutos a 13.000 g para la obtención

del plasma sanguíneo, el cual fue alicuotado en tubos de Eppendorf de 0,5 mL, congelados en nitrógeno líquido y almacenadas a -80 °C hasta el posterior análisis en el laboratorio. De cada animal sacrificado se extrajo el hígado completo y, tras pesarlo (Fig. 5b) para el cálculo del índice hepatosomático (IHS), se tomaron dos biopsias para ser congeladas en nitrógeno líquido y almacenarlas a -80 °C. Además, también se extrajo la totalidad del intestino para su medición, desde los ciegos pilóricos hasta el recto, y poder realizar el posterior cálculo del índice de longitud del intestino (ILI). Por último, se pesó toda la grasa encontrada en cada paquete visceral de los animales para el cálculo del índice mesentérico (IMS).

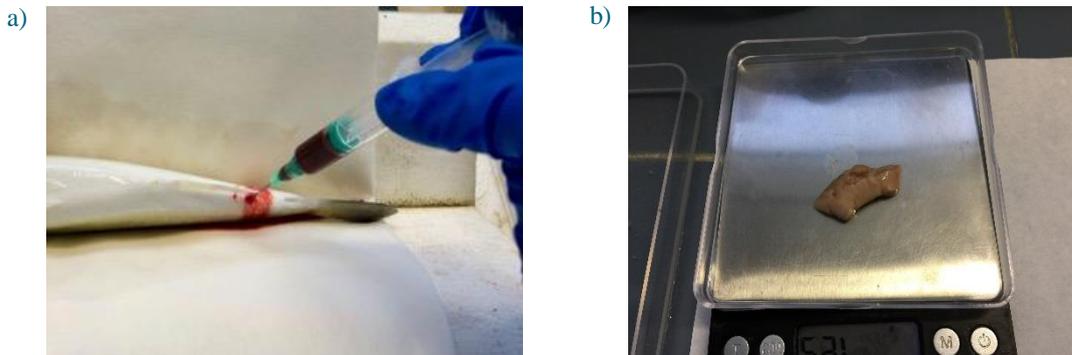


Figura 5 a) Obtención de sangre; b) Pesaje del hígado.

Todos los índices somáticos se calcularon a partir de las siguientes expresiones (Perera *et al.*, 2019):

- **Factor de Condición (K):** expresa la relación volumétrica en función del peso. Su expresión viene definida como:

$$K = \frac{\text{Peso del animal (g)}}{\text{Longitud del animal}^3} * 100$$

- **Índice Hepatosomático (IHS):** Proporción del peso del hígado con respecto al peso total. Se utiliza para medir la reserva de energía que posee el animal. Su expresión viene definida como:

$$IHS = \frac{\text{Peso del hígado (g)}}{\text{Peso del animal (g)}} * 100$$

- **Índice de Longitud del Intestino (ILI):** Relación existente entre la longitud del intestino y la propia del animal. Se utiliza para conocer la superficie de absorción de nutrientes del animal. Su expresión viene definida como:

$$ILI = \frac{\text{Longitud del intestino (cm)}}{\text{Longitud del animal (cm)}} * 100$$

- **Índice Mesentérico (IMS):** Relación de la cantidad de grasa visceral con respecto al peso total del animal, permitiendo así conocer qué proporción del peso es almacenada como energía. Su expresión viene definida como:

$$IMS = \frac{\text{Peso de la grasa visceral (g)}}{\text{Peso del animal (g)}} * 100$$

Rendimiento del crecimiento

Los datos biométricos obtenidos durante los muestreos, tanto intermedios como final, se utilizaron para examinar la evolución del crecimiento en peso (g) (Figura 6a) y longitud furcal (cm) (Figura 6b) de todos los ejemplares muestreados. Además, se realizó un seguimiento del consumo de pienso para cada uno de los tanques.



Figura 6. a) Obtención de biomasa grupal; b) Medida de la longitud furcal.

Los índices zootécnicos se calcularon a partir de las siguientes expresiones (Mecatti *et al.*, 2007; Varela *et al.*, 2010; Gültepe *et al.*, 2011; Millán-Cubillo *et al.*, 2016).

- **Ganancia de peso (WG):** expresa la evolución del peso de los ejemplares respecto al peso inicial de los mismos (%).

$$WG = \frac{\Delta \text{Peso (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} * 100$$

- **Tasa específica de Crecimiento (SGR):** se define como la variación del peso corporal a lo largo del tiempo (%/día).

$$SGR = \frac{\text{Ln} \left(\frac{\text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \right)}{\text{Tiempo (días)}} * 100$$

- **Eficiencia de alimentación (FE):** es la relación existente entre el aumento del peso de los animales respecto al alimento consumido.

$$FE = \frac{\Delta \text{Peso (g)}}{\text{Consumo (g)}}$$

Metabolitos energéticos

Usando kits comerciales de la marca SpinReact (SpinReact SA, Sant Esteve d'en Bas, Girona, España), y mediante la adaptación de las mediciones a microplacas de 96 pocillos, los parámetros metabólicos que fueron analizados en cada una de las muestras de plasma (en duplicado) incluyeron los niveles de glucosa (Glucose-HK Ref. 1001200), lactato (Lactate Ref. 1001330), y triglicéridos (TAG Ref. 1001311). Para el caso de la medición de proteínas plasmáticas, se utilizó el método del ácido bicinonímico con el kit comercial BCA (BCA™ Protein assay kit, Pierce, Rockford, EE.UU.). Para cada uno de los ensayos se utilizaron estándares propios (en cuadruplicado) contenidos en los kits de cada uno de los metabolitos analizados, y siguiéndose las especificaciones de incubación y lectura de absorbancias recomendadas por el fabricante. Así, para la obtención de las concentraciones de cada una de las muestras, la relación entre la absorbancia y la concentración viene definida mediante una recta patrón, que es calculada mediante las concentraciones estándar definidas por el blanco (agua destilada, 0 mg/dL) y el calibrador primario de cada uno de los metabolitos energéticos analizados.

Método estadístico

Tras revisarse y confirmarse la normalidad y homocedasticidad de los datos obtenidos, las diferencias entre tratamientos (grupos CTRL, D100 y D500) se evaluaron usando el test paramétrico ANOVA de una vía. En aquellos parámetros en donde se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos (nivel de significación de p -valor < 0,05), se realizó el test de Tukey para su identificación. Por su parte, aquellos parámetros que no cumplieron los principios de normalidad, homocedasticidad o independencia, se analizaron con el test no paramétrico de Kruskal-Wallis. Todos los resultados se expresan como la media \pm EEM (error estándar de la media) y fueron analizados con el programa GraphPad Prism 8 (GraphPad Softwares, San Diego, EEUU).

RESULTADOS

Crecimiento e índices biométricos

De manera general, el crecimiento en biomasa promedio de los animales mostró un aumento mínimo del doble de su peso inicial (g). Así, todos los grupos experimentales, y sus triplicados, partieron de un peso medio de animal de $20,52 \pm 0,47$ g, con un crecimiento similar a lo largo de los primeros periodos de alimentación (días 27 y 57), llegando a alcanzar una biomasa al final del experimento de i) $49,57 \pm 1,45$ g para el grupo control (CTRL), ii) $56,53 \pm 1,56$ g para el grupo suplementado con la menor proporción del péptido ($100 \mu\text{g}$ GHRP-6/kg de pienso, D100), y iii) $58,50 \pm 0,46$ g para el grupo experimental alimentado con el mayor nivel de suplementación ($500 \mu\text{g}$ GHRP-6/kg de pienso, D500), y observándose un aumento estadísticamente significativo (ANOVA de una vía, p -valor $< 0,05$) en ambas dietas suplementadas con respecto a la dieta CTRL (Fig. 7). Por su parte, la longitud media inicial de los animales fue de $10,55 \pm 0,62$ cm, alcanzando una talla final de i) $14,58 \pm 0,48$ cm para el grupo control (CTRL), ii) $14,43 \pm 0,70$ cm para el grupo suplementado con la dieta D100, y iii) $14,85 \pm 0,69$ cm para el grupo experimental alimentado con la dieta D500, no existiendo diferencias significativas (ANOVA de una vía, p -valor $> 0,05$) entre las tres dietas experimentales (Tabla 1).

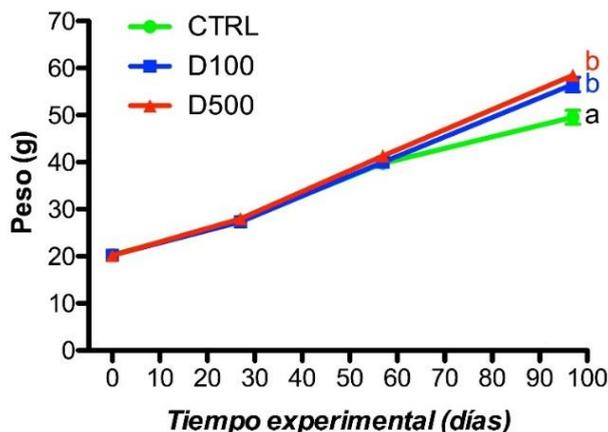


Figura 7. Aumento de biomasa en función de los días por grupo experimental. Los resultados se expresan como el promedio \pm EEM de los tanques triplicados para cada grupo experimental. Diferentes letras en cada grupo indican diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA de una vía, seguido del Test de Tukey; p -valor $< 0,05$). CTRL: control; D100: $100 \mu\text{g}$ GHRP-6/kg de pienso; D500: $500 \mu\text{g}$ GHRP-6/kg de pienso.

Por su parte, el análisis del Factor de Condición (K) realizado con el test paramétrico de ANOVA de una vía reveló la existencia de diferencias significativas en la relación peso-longitud furcal con un p -valor $< 0,05$, con un aumento de este índice en los grupos experimentales D100 y D500 con respecto al grupo CTRL, no existiendo diferencias significativas entre los grupos D100 y D500 (Fig. 8).

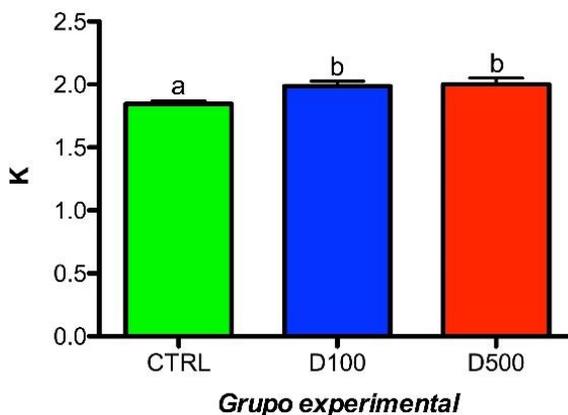


Figura 8. Factor de condición (K) para los grupos experimentales. Los resultados se expresan como el promedio \pm EEM de 12 animales. Información complementaria similar a lo descrito en la Fig. 7.

En cuanto a los índices somáticos ILI e IHS, no se encontraron diferencias significativas (p -valor $>$ 0,05) entre los diferentes grupos experimentales tras haber realizado un test paramétrico ANOVA de una vía. El índice somático IMS no pudo ser analizado mediante el mismo método estadístico debido a que no cumplía los requisitos para un paramétrico (homocedasticidad, normalidad e independencia). Por ello, para su análisis se realizó un test no paramétrico (Kruskal-Wallis) el cual, y al igual que con los índices anteriores, determinó que no existían diferencias significativas (p -valor $>$ 0,05) entre los grupos experimentales (CTRL, D100 y D500) (Tabla 1).

Tabla 1. Longitud furcal (cm) medida al inicio y al final del experimento, índices somáticos y consumo de pienso por animal (g MS/animal) en ejemplares de *S. aurata* para cada uno de los tres grupos experimentales. Longitud y consumo de alimento están expresados como media \pm EEM de los tanques triplicados. Los índices somáticos se expresan como la media \pm EEM de 12 animales. p -value resultante del análisis ANOVA de una vía o del test no paramétrico Kruskal-Wallis. CTRL: control; D100: 100 μ g GHRP-6/kg de pienso; D500: 500 μ g GHRP-6/kg de pienso; MS: materia seca.

	CTRL	D100	D500	p -value
Longitud Furcal Inicial (cm)	10,47 \pm 0,15	10,68 \pm 0,14	10,49 \pm 0,12	0,487
Longitud Furcal Final (cm)	14,58 \pm 0,14	14,50 \pm 0,20	14,85 \pm 0,20	0,374
IHS (%)	1,59 \pm 0,07	1,62 \pm 0,08	1,72 \pm 0,10	0,491
IMS (%)	0,69 \pm 0,05	0,59 \pm 0,12	0,56 \pm 0,05	0,120
ILI (%)	107,4 \pm 5,8	105,0 \pm 7,9	109,3 \pm 7,5	0,914
Consumo de alimento (g MS/animal)	46,92 \pm 1,71	45,38 \pm 1,51	48,36 \pm 0,58	0,363

Al término del experimento, el seguimiento del consumo de pienso ha sido representado en la Tabla 1, donde a pesar de que el consumo por parte de los animales alimentados con la dieta suplementada D500 es algo superior a los otros dos grupos experimentales CTRL y D100, el p -valor obtenido para el

análisis ANOVA de una vía ($> 0,05$) nos indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos.

La Fig. 9 representa los valores obtenidos para los índices zootécnicos analizados: la ganancia de peso (WG), la tasa específica de crecimiento (SGR) y la eficiencia de alimentación (FE).

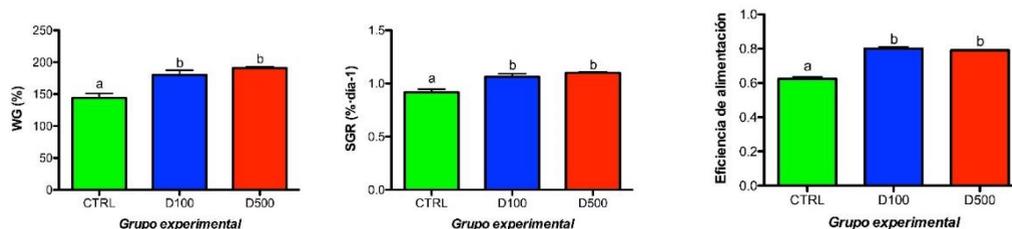


Figura 9. Índices zootécnicos de ganancia en peso (WG, %), tasa específica de crecimiento (SGR, %·día⁻¹) y eficiencia de alimentación (FE). Los resultados se expresan como el promedio \pm EEM de los tanques por triplicado. Información complementaria similar a lo descrito en la Fig. 7.

En los tres índices estudiados, las tendencias observadas fueron similares, presentando por parte de las dietas experimentales D100 y D500 valores significativamente superiores con respecto a la dieta CTRL (ANOVA de una vía, p -valor $< 0,05$), mientras que la relación entre los grupos experimentales D100 y D500 no presentó una diferencia significativa en ninguno de los casos.

Metabolitos energéticos

A partir de las muestras de sangre obtenidas de los 12 animales extraídos de cada tratamiento, se midieron diferentes metabolitos plasmáticos, cuyos valores promedio están representados en las gráficas de la Fig. 10.

En el análisis estadístico de los resultados se observa que las dietas experimentales D100 y D500 no presentan diferencias significativas (ANOVA de una vía, p -valor $> 0,05$) respecto a la dieta CTRL, ni entre ellas, en lo relativo a los niveles circulantes de glucosa, TAG y proteínas. Sin embargo, los valores de lactato muestran la existencia de una disminución estadísticamente significativa (p -valor = 0,013) de este metabolito en la dieta D100 ($2,39 \pm 0,22$ mM) con respecto al grupo CTRL ($3,14 \pm 0,24$ mM) y a la dieta experimental D500 ($3,25 \pm 0,19$ mM).

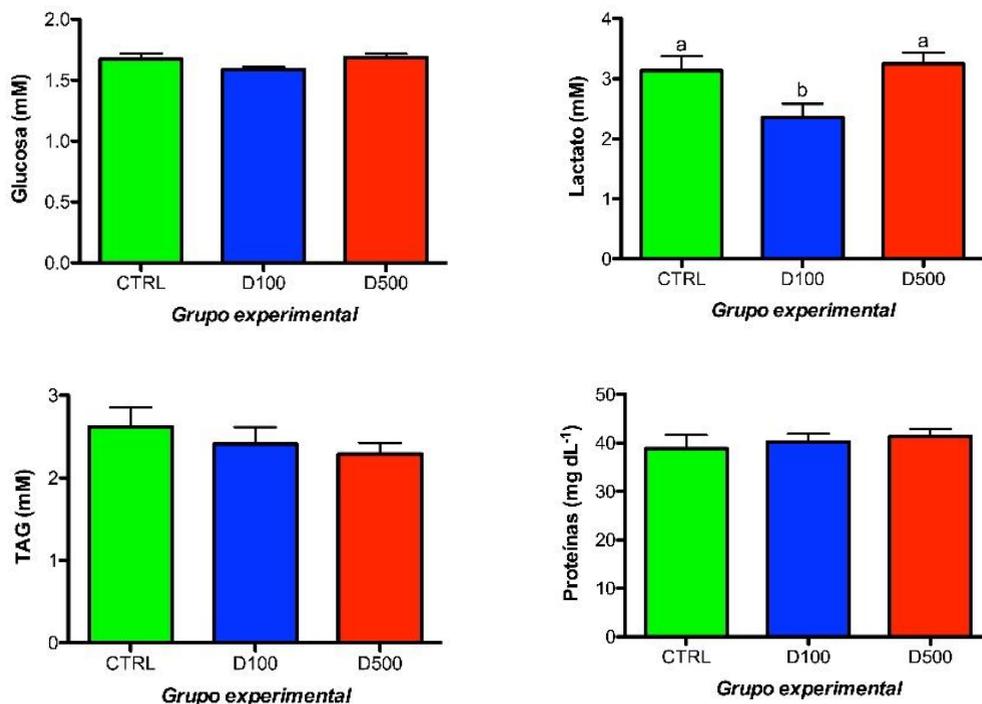


Figura 10. Metabolitos plasmáticos medidos en ejemplares de *S. aurata* alimentados con diferentes dietas experimentales. Los resultados se expresan como el promedio \pm EEM de 12 animales. Información complementaria similar a lo descrito en la Fig. 7.

DISCUSIÓN

El estudio de los efectos de la adición del péptido GHRP-6 (mimético de la hormona Ghrelina) a piensos comerciales puede significar un cambio en la composición de futuras dietas orientadas a la maximización del crecimiento de peces en la acuicultura, lo que se traduciría en un mayor rendimiento en la producción animal del sector acuícola. Así, y atendiendo a la literatura, existen pocos estudios que analicen desde una perspectiva de crecimiento y metabólica la acción de este péptido en la dorada (*S. aurata*) (Martínez *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la incorporación en distintas proporciones de dicho péptido a un pienso comercial, y describir las respuestas fisiológicas producidas en la especie, tanto a nivel de aprovechamiento y rendimiento de la alimentación, como somático y metabólico durante un periodo de 97 días.

Existen numerosos estudios enfocados en la investigación de los efectos de distintos aditivos, tanto naturales como sintéticos, incorporados en las dietas para aumentar el rendimiento de crecimiento en especies de peces de interés para la producción acuícola. De esta forma, gracias a la tasa específica de crecimiento (SGR), la cual está representada en la Fig. 9, es posible conocer el crecimiento porcentual diario, lo que se puede traducir en una estimación de la curva de crecimiento a lo largo del tiempo. Es sabido que esta tasa disminuye a medida que el pez crece, debido a que los ejemplares de mayor tamaño o más adultos necesitan más energía para su mantenimiento basal, estando también afectado por la estación del año, siendo invierno la época donde hay una mayor ineficiencia metabólica y de crecimiento (Perera *et al.*, 2019). En vista a nuestros resultados y a los análisis estadísticos realizados para nuestro periodo de tiempo (97 días), y gracias a la proyección que nos permite realizar esta tasa, se evidencia no solo un mayor potencial en cuanto a crecimiento se refiere por parte de los grupos experimentales D100 y D500, sino también el mantenimiento en la tendencia y pendiente de crecimiento a expensas del claro declive observado en el grupo control como consecuencia de la disminución de SGR en animales de mayor tamaño (ver arriba, Fig. 7). En el caso de este experimento, los animales alimentados con las dietas suplementadas con el péptido GHRP-6 presentaron, de forma global, un mayor crecimiento en cuanto a su peso corporal como muestran los datos representados en la gráfica de WG (Fig. 9). Estos resultados encajan perfectamente con investigaciones realizadas previamente sobre los efectos de este mismo péptido en juveniles de tilapia (*Oreochromis sp.*), donde los grupos suplementados con unas concentraciones de 100 µg GHRP-6/kg de pienso y 500 µg GHRP-6/kg de pienso sufrieron un aumento significativo en el incremento de su peso corporal (Martínez *et al.*, 2016). Además, en estudios previos realizados con otros homólogos de la Ghrelina, como es el caso del péptido A233 en una proporción de 600 µg A233/kg de pienso, los resultados mostraron que los grupos alimentados con el péptido ganaron más peso en comparación con los grupos alimentados con la dieta control (Martínez *et al.*, 2018). De este modo, es muy importante relacionar los datos obtenidos referentes al incremento del peso corporal (WG) con el aumento en la talla de los animales para saber si se trata de un crecimiento isométrico evidenciado por un aumento de biomasa proporcional a la talla, o no, durante el crecimiento (Cifuentes *et al.*, 2012). Para confirmar dicha relación, se utilizó el Factor de Condición (K), el cual representa la relación existente entre la masa corporal de cada individuo frente a su talla (longitud furcal) (Froese, 2006). Este índice es comúnmente utilizado para comparar la “condición” o “bienestar” de un pez o población, siendo su óptimo dependiente de la especie y la edad/tamaño, y con valores ideales que varían entre 1,5 y 2,5 para el caso de la dorada (*S. aurata*) (Ortega, 2008). Atendiendo a este índice (Fig. 8), los resultados revelan que todos los grupos presentan una condición dentro de los rangos ideales en nuestro estudio, aunque las dietas suplementadas con el péptido GHRP-6 (D100 y D500) cuentan con un valor mayor, lo que supone un beneficio añadido a estos piensos, confirmando ese mayor aumento en biomasa.

A estos resultados debe añadirse otro factor de importancia, como es la eficiencia de alimentación (FE) representada en la Fig. 9, la cual indica la cantidad de biomasa invertida en crecimiento somático a partir de 1 kg de alimento. Es por ello, que los valores próximos a 1 representan una alta rentabilidad

tanto fisiológica como económica, dado que un valor de 1 implicaría una eficiencia del 100 %, en donde todo lo ingerido sería convertido en biomasa. Así, nuestros resultados muestran que ambas dietas experimentales (D100 y D500) presentan un aumento significativo frente al grupo CTRL, lo que se traduce en una mejor conversión del alimento. El grupo CTRL presenta un 6 2% de conversión, mientras que los grupos experimentales presentan valores claramente superiores, con un 80 % y 79 % de conversión para los grupos D100 y D500, respectivamente, lo que supone una mejora del 18 % y 17 %. Además, estos resultados son realmente interesantes, dado que la eficiencia aquí mostrada para una temperatura constante de 19 °C son próximos a los reportados para la especie en ejemplares cultivados en condiciones de verano, con rangos de entre 23 °C y 27 °C, y con mayores tasas de ingesta y de metabolismo (Martos-Sitcha *et al.*, 2018; Simó-Mirabet *et al.*, 2018; Perera *et al.*, 2019). Así, los resultados concuerdan con las expectativas en lo que se refiere a los efectos del péptido mimético de la Ghrelina (GHRP-6), ya que basándonos en estudios previos en otras especies como la carpa dorada (*Carassius auratus*) sobre la incorporación de GHRP-6 y otros aditivos similares mediante diferentes procedimientos, como pueden ser a través de la dieta o mediante su inyección intraperitoneal, producen aumentos en la ingesta de alimento (Unniappan *et al.*, 2002; 2004). El estudio de Martínez *et al.* (2016) señala que los individuos tratados con GHRP-6 presentan una mejor utilización de las dietas, ya que el suministro de la misma cantidad de alimento a todos los grupos presentó un aumento extra del 3% de biomasa en los grupos tratados con GHRP-6. Además, en especies como la tilapia (*Oreochromis aureus*) se ha demostrado la existencia de un aumento en el consumo de alimento cuando los animales son tratados con este péptido (Lugo *et al.*, 2010). Estos datos, vistos desde una perspectiva empresarial y de producción, son realmente interesantes, ya que suponen un gran ahorro económico en concepto de demanda de pienso por parte de los animales para la obtención de una biomasa deseada.

A la vista de los datos obtenidos, los índices somáticos no presentaron ninguna variación significativa. En el caso del IHS, los grupos experimentales cuentan con valores similares, lo que sugiere que ninguna de las dietas utilizadas provoca, a nivel hepático, una acumulación de grasas o glucógeno superior respecto a la dieta control. De esta forma, nuestros resultados confirman que ninguna de las dietas experimentales (D100 y D500) genera una acumulación extra de metabolitos de reserva, e incluso ningún daño hepático, ya que todos los nutrientes aportados por la alimentación son destinados al crecimiento, además de ser incorporados de una forma mucho más eficiente. Por su parte, este índice se puede relacionar con el IMS, que refiere la proporción de grasa perivisceral con respecto al peso del animal. Al igual que sucede con el IHS, el IMS no presenta diferencias notables entre grupos, aunque sí una tendencia de disminución en los ejemplares alimentados con la dieta D500, lo que supone una acumulación de grasa visceral similar para todos los grupos, aunque sugiriendo que parte de los lípidos de las dietas suplementadas están siendo metabolizados e invertidos en crecimiento en lugar de en su acumulación. Esto es un buen indicador de calidad del pienso, ya que una mayor presencia de esta grasa visceral supondría una pérdida de biomasa aprovechable para la comercialización; es decir, en un kg de producto existiría una menor cantidad, en peso, de músculo/filete. Por último, el ILI tampoco presenta diferencias entre los 3 grupos. Este índice permite conocer la superficie de absorción de

nutrientes de cada animal, y al tratarse de piensos específicos para dorada (*S. aurata*) los animales no han tenido la necesidad de adaptar su tracto digestivo para un mayor aprovechamiento de los nutrientes, ni existen tampoco evidencias de que se haya producido un daño tisular. El estudio realizado por Wagner *et al.* (2009) expone la existencia de una gran correlación entre la dieta y el ILI, donde aquellos animales que cuentan con una dieta fundamentalmente basada en compuestos vegetales (herbívoros) o en macro- y micro- algas (alguívoros), presentan unos intestinos con mayor longitud que aquellos con una dieta más enfocada en la proteína de origen animal (piscívoros). Este hecho es debido a que la materia de origen animal presenta mucha más biomasa digestible que la vegetal con una mayor proporción, entre otros compuestos, de celulosa y fibra mucho más difícil de asimilar. Así, no sería desacertado pensar que al exponer a los individuos a cambios en su dieta habitual el intestino sufriese una adaptación morfológica para un mejor aprovechamiento de esta, lo cual ha sido previamente demostrado para el caso de la especie de estudio (Perera *et al.*, 2019; 2020). Por lo tanto, cabe esperar que, al haber utilizado una dieta específica para la especie de estudio, los animales no hayan tenido la necesidad de adaptar la superficie de absorción (longitud intestinal), aunque harían falta más estudios para demostrar si la mejora de aprovechamiento de alimento obtenida con el índice de eficiencia alimentaria (FE) pueda deberse a un cambio en la conformación de los enterocitos (aumento de su superficie, o de la longitud de los microvilli), o a rutas paracelulares que mejoren la absorción de los nutrientes.

Atendiendo a los metabolitos energéticos, los resultados no presentan diferencias significativas en cuando a glucosa y triglicéridos, lo que se traduce en unos piensos que cubren de manera eficaz la demanda por parte de las funciones fisiológicas de estos metabolitos. La homeostasis que presenta la glucosa señala que el metabolismo de los animales cuenta con una buena condición, ya que sabemos que la glucólisis en peces tiene más importancia como suministradora de productos biosintéticos que como una vía de producción de piruvato para su posterior oxidación (Sánchez, 2018). Los valores obtenidos de glucosa, al ser similares para las tres dietas, demuestran que el péptido experimental GHRP-6 incorporado mediante ingesta no altera las vías metabólicas enfocadas al crecimiento. Además, basándonos en investigaciones centradas en la incorporación de aditivos en la dieta de teleósteos, como el triptófano, heptanoato o compuestos extraídos de hierbas medicinales y microalgas (Martos-Sitcha *et al.*, 2018; Saccol *et al.*, 2018; Azeredo *et al.*, 2019), aquellos animales no expuestos a factores estresantes presentaron un equilibrio en los valores de glucosa similar a los de este experimento. En cuanto a los triglicéridos, estos se asocian a la reasignación de los recursos energéticos una vez los carbohidratos han sido movilizados (Sagiao-Alvarellos *et al.*, 2005), y por tanto nuestros resultados reflejan un buen funcionamiento de este recurso a través de la ruta aeróbica como consecuencia de la buena gestión fisiológica de la glucosa que producen las dietas experimentales.

La importancia del análisis del contenido de proteínas para las diferentes dietas es notable, ya que este metabolito es el centro de muchos de los procesos fisiológicos de interés en este estudio. Debido a que las principales funciones de las proteínas son i) la formación de nuevo tejido (síntesis de nuevas proteínas durante el crecimiento), ii) los procesos catabólicos de las proteínas para la formación de

metabolitos energéticos (lípidos y carbohidratos en el tejido) y iii) la formación de hormonas, enzimas y una amplia variedad de sustancias con una alta importancia biológica (Tacón, 1986), todos los grupos experimentales presentaron unos valores similares de proteínas circulante (Figura 3.4), lo que significa que la adición del péptido GHRP-6 no provoca alteraciones en los procesos fisiológicos de este metabolito. Esto es interesante nuevamente desde la perspectiva de la producción, ya que supone un indicativo más del buen estado de salud con el que contarían los animales al ingerir esta dieta, ya que cabría esperar que, al introducir un compuesto como es el péptido GHRP-6, alterase de alguna manera los niveles proteicos de los individuos para fomentar los procesos fisiológicos encargados en el crecimiento.

El lactato, en cambio, presenta para la dieta D100 unos valores inferiores respecto a la dieta CTRL y a la dieta D500. Este metabolito es sintetizado mediante la vía anaeróbica en el músculo blanco del animal (Rufino Palomares, 2009), y los valores reflejados en la Fig. 10 indican una menor demanda de esta ruta anaeróbica, y menos eficiente en la producción de energía, por parte de los organismos. Según nuestros resultados, la dieta D100 pone a disposición de los organismos metabolitos que pueden ser metabolizados en la mitocondria mediante procesos aeróbicos, como los ácidos grasos o la glucosa, produciendo por tanto una mayor energía sin necesidad de acudir a las rutas anaeróbicas. La traducción de estos datos implica un menor estrés fisiológico y celular durante el crecimiento somático; es decir, una mejor condición o bienestar de estos individuos frente a los otros dos grupos experimentales, aunque en el caso de los animales alimentados con la dieta D500 el metabolismo intermediario no llega a verse comprometido debido a los niveles observados, similares a los del control, en los demás sustratos energéticos analizados (glucosa, TAG y proteínas).

CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Fin de Grado se propuso como una pequeña llave que permitiría abrir un nuevo camino para una investigación más profunda de los efectos y posibles aplicaciones del péptido de estudio (GHRP-6) como aditivo en las dietas enfocadas a los animales de acuicultura.

De este modo, las principales conclusiones obtenidas en este TFG son las siguientes:

1. Los animales no presentaron un rechazo a los piensos suplementados con el péptido GHRP-6, mostrando índices de rendimiento productivo y somático en rangos que están dentro de valores normales para la especie.
2. A nivel global, el crecimiento se ve favorecido por las dietas suplementadas con ambas concentraciones del péptido ensayadas, incluso en condiciones de temperaturas constantes (19 °C) y lejos de ser las óptimas para la dorada.

3. El péptido GHRP-6 no genera alteraciones fisiológicas o metabólicas en los individuos de estudio, demostrando incluso una mejor gestión aeróbica del alimento por parte de los ejemplares alimentados con la dieta D100.
4. Este compuesto puede ser considerado como un suplemento viable para el aumento de la eficiencia de producción de dorada (*Sparus aurata*) en el sector acuícola, sugiriendo unos menores costes de producción al conseguir un mayor rendimiento productivo.

REFERENCIAS

APROMAR. (2019). La Acuicultura en España 2019.

Azeredo, R., Machado, M., Martos-Sitcha, J. A., Martínez-Rodríguez, G., Moura, J., Peres, H., Oliva-Teles, A., Afonso, A., Mancera, J. M., y Costas, B. (2019). Dietary tryptophan induces opposite health-related responses in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*) reared at low or high stocking densities with implications in disease resistance. *Frontiers in physiology*, vol. 10, p. 508.

Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P., y Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, vol. 76, p. 86-100.

De Francesco, M., Parisi, G., Pérez-Sanchez, J., Gomez-Réqueni, P., Médale, F., Kaushik, S. J., Mecatti, M., y Poli, B. M. (2007). Effect of high-level fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growth and body/fillet quality traits. *Aquaculture Nutrition*, vol. 13(5):361-372.

Fernández, J., y Blasco, J. (1993). Alimentación y energética de la nutrición en peces: generalidades. *Acuicultura Marina: Fundamentos Biológicos y Tecnología de la Producción, Publicacions Universitat de Barcelona, España*, 177-194pp.

Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of applied ichthyology*, 22(4): 241-253.

Gültepe, N., Salmur, S., Hoşsu, B., y Hisar, O. (2011). Dietary supplementation with Mannanligosaccharides (MOS) from Bio-Mos enhances growth parameters and digestive capacity of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition*, 17(5): 482-487.

Hepher, B. (1988). *Nutrition of pond fishes*. Cambridge university press.

- Kaiya, H., Miyazato, M., Kangawa, K., Peter, R. E., y Unniappan, S. (2008). Ghrelin: a multifunctional hormone in non-mammalian vertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 149(2): 109-128.
- Lugo, J. M., Oliva, A., Morales, A., Reyes, O., Garay, H. E., Herrera, F., Cabrales, A., Pérez, E., y Estrada, M. P. (2010). The biological role of pituitary adenylate cyclase-activating polypeptide (PACAP) in growth and feeding behavior in juvenile fish. *Journal of Peptide Science*, 16(11): 633-643.
- Martínez, R., Carpio, Y., Morales, A., Lugo, J. M., Herrera, F., Zaldívar, C., Carrillo, O., Arenal, A., Pimentel, E., y Estrada, M. P. (2016). Oral administration of the growth hormone secretagogue-6 (GHRP-6) enhances growth and non-specific immune responses in tilapia (*Oreochromis sp.*). *Aquaculture*, 452: 304-310.
- Martínez, R., Morales, C., Arenal, A., Morales, A., Herrera, F., González, V., y Estrada, M. P. (2018). Growth Hormone Secretagogue (A233) Improves Growth and Changes the Tissue Fatty Acid Profile in Juvenile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Lipids*, 53(4): 429-436.
- Martos-Sitcha, J. A., Simó-Mirabet, P., Piazzon, M. C., de las Heras, V., Calduch-Giner, J. A., Puyalto, M., Tinsley, J., Makol, A., Sitjà-Bobadilla, A., y Pérez-Sánchez, J. (2018). Dietary sodium heptanoate helps to improve feed efficiency, growth hormone status and swimming performance in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture nutrition*, vol. 24(6), p. 1638-1651.
- Méndez-Sánchez, N., Chávez-Tapia, N. C., y Uribe-Esquivel, M. (2006). La ghrelina y su importancia con el eje gastrohipotalámico. *Gaceta médica de México*, 142(1): 49-58.
- Montoya, A., López-Olmeda, J. F., Garayzar, A. B. S., y Sánchez-Vázquez, F. J. (2010). Synchronization of daily rhythms of locomotor activity and plasma glucose, cortisol and thyroid hormones to feeding in Gilthead seabream (*Sparus aurata*) under a light-dark cycle. *Physiology & behavior*, 101(1): 101-107.
- Montoya, A., López-Olmeda, J. F., Yúfera, M., Sánchez-Muros, M. J., y Sánchez-Vázquez, F. J. (2010). Feeding time synchronises daily rhythms of behaviour and digestive physiology in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 306(1-4): 315-321.
- Müller, T. D., Nogueiras, R., Andermann, M. L., Andrews, Z. B., Anker, S. D., Argente, J., Batterham, R.L., Benoit, S.C., Bowers, C.Y., Broglio, F., Casanueva, F.F., D'aleccio, D., Depoortere, I., Gelibter, A., Diéguez, C., Granata, R., Grill, H.J., Grove, K., Habegger, K.M., Heppner, K., Heiman, M.L., Holsen, L., Holst, B., Inui, A., Jansson, J.O., Kirchner, H., Korbonits, M., Laferrère, B.,

- LeRoux, C.W., López, M., Morin, S., Nakazaro, M., Nass, R., Perez-Tilve, D., Pfluger, P.T., Schwartz, T.W., Seeley, R.J., Sleeman, M., Sun, Y., Sussel, L., Tong, J., Thorner, M.O., van der Lely, A.J., van der Ploeg, L.H.T., Zigman, J.M., Kojma, M., Kangawa, K., Smith, R.G., Horvath, T., y Tschöp M.H. (2015). Ghrelin. *Molecular metabolism*, 4(6): 437-460.
- Saccol, E. M. H., Parrado-Sanabria, Y. A., Gagliardi, L., Jerez-Cepa, I., Mourão, R. H. V., Heinzmann, B. M., Baldisserotto, B., Pavanato, M.A., Mancera, J.M., y Martos-Sitcha J. A. (2018). *Myrcia sylvatica* essential oil in the diet of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) attenuates the stress response induced by high stocking density. *Aquaculture nutrition*, 24(5):1381-1392.
- Odoi, M., Ikegami, T., Ortega, A., García-Alcázar, A., Arnal, I., Santaella, E., Guevara, J., Sandino, S., y Peñalver L. (1978). Experiencias sobre cultivos de larvas de *Palaemon serratus*, *Penaeus kerathurus* y *Sparus auratus* realizadas en el laboratorio del Mar Menor del Instituto Español de Oceanografía. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 239: 1-54.
- Ortega A. (2008). Cultivo de Dorada. *Sparus aurata*. Madrid, España. Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Ortega A., Santaella E., García A., Olmedo M., y Peleteiro J. B. (1983). Cultivo de Dorada, *Sparus aurata* L., en el centro Costero del mar Menor durante la temporada 1978-1979. *Informe Técnico del Instituto Español de Oceanografía* N.º 5 p. 29.
- Palomares, R., y Encarnación, E. (2009). Evaluación nutricional y bioquímica del ácido maslínico, triterpeno natural, sobre el crecimiento de la dorada (*Sparus aurata*). Caracterización cinética y proteómica. (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- Perelló-Amorós, M., Vélez, E. J., Vela-Albesa, J., Sánchez-Moya, A., Riera-Heredia, N., Hedén, I., Fernández-Borràs, J., Blasco, J., Caldach-Giner, J. A., Navarro, I., Capilla, E., Jönsson, E., Pérez-Sánchez, J., y Gutiérrez, J. (2018). Ghrelin and its receptors in Gilthead Sea Bream: nutritional regulation. *Frontiers in endocrinology*, 9: 399pp??
- Perera, E., Simó-Mirabet, P., Shin, H. S., Rosell-Moll, E., Naya-Catalá, F., de las Heras, V., Martos-Sitcha, J. A., Karalazos, V., Armero, E., Arizcun, M., Chaves, E., Berbel, C., Manchado, M., Afonso, J. M., Caldach-Giner, J., y Pérez-Sánchez, J. (2019). Selection for growth is associated in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) with diet flexibility, changes in growth patterns and higher intestine plasticity. *Aquaculture*, 507: 349-360.
- Polakof, S., Ceinos, R. M., Fernández-Durán, B., Míguez, J. M., y Soengas, J. L. (2007). Daily changes in parameters of energy metabolism in brain of rainbow trout: dependence on feeding. *Comparative*

Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 146(2): 265-273.

Sánchez Díaz, R. (2018). Evaluación de bacterias marinas y su potencial uso como aditivo en alimento y/o agente probiótico contra *Vibrio parahaemolyticus*, agente causal de la enfermedad de la necrosis Hepatopancreatica aguda (AHPND) en camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (boone, 1931) (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Sánchez, J. A., López-Olmeda, J. F., Blanco-Vives, B., y Sánchez-Vázquez, F. J. (2009). Effects of feeding schedule on locomotor activity rhythms and stress response in sea bream. *Physiology & Behavior*, 98(1-2): 125-129.

Sangiao-Alvarellos, S., Arjona, F. J., del Río, M. P. M., Míguez, J. M., Mancera, J. M., y Soengas, J. L. (2005). Time course of osmoregulatory and metabolic changes during osmotic acclimation in *Sparus auratus*. *Journal of Experimental Biology*, vol. 208(22): 4291-4304.

Simó-Mirabet, P., Felip, A., Estensoro, I., Martos-Sitcha, J. A., de las Heras, V., Caldach-Giner, J., Puyalto, M., Karalazos, V., Sitjà-Bobadilla, A., y Pérez-Sánchez, J. (2018). Impact of low fish meal and fish oil diets on the performance, sex steroid profile and male-female sex reversal of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) over a three-year production cycle. *Aquaculture*, 490: 64-74.

Tacon G.L.A. 1987. The nutrition and feedin of farmed fish and shimp. Vol. I. The essential nutrients. Brasil p. 17-67.

Tschöp, M., Smiley, D. L., y Heiman, M. L. (2000). Ghrelin induces adiposity in rodents. *Nature*, 407(6806): 908-913.

Unniappan, S., y Peter, R. E. (2004). In vitro and in vivo effects of ghrelin on luteinizing hormone and growth hormone release in goldfish. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 286(6): 1093-1101.

Unniappan, S., Lin, X., Cervini, L., Rivier, J., Kaiya, H., Kangawa, K., y Peter, R. E. (2002). Goldfish ghrelin: molecular characterization of the complementary deoxyribonucleic acid, partial gene structure and evidence for its stimulatory role in food intake. *Endocrinology*, 143(10): 4143-4146.

Vélez, E. J., Azizi, S., Millán-Cubillo, A., Fernández-Borràs, J., Blasco, J., Chan, S. J., Claduch-Giner, J. A., Pérez-Sánchez, J., Navarro, I., Capilla, E., y Gutiérrez, J. (2016). Effects of sustained exercise on GH-IGFs axis in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 310(4): 313-322.

- Wagner, C. E., McIntyre, P. B., Buels, K. S., Gilbert, D. M., y Michel, E. (2009). Diet predicts intestine length in Lake Tanganyika's cichlid fishes. *Functional Ecology*, 23(6): 1122-1131.
- Walton, M. J., y Cowey, C. B. (1982). Aspects of intermediary metabolism in salmonid fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 73(1): 59-79.
- Weatherley, A. H., y Gill, H. S. (1989). The role of muscle in determining growth and size in teleost fish. *Experientia*, 45(9): 875-878.



Efecto de la harina de soja en la actividad y expresión de la SOD de tenca

Effect of soybean meal on the activity and expression of tench SOD

Trenzado, Cristina E.¹, Pérez-Jiménez, Amalia², Guevara-Argueta, Lesly Y.², Martínez-Rodríguez, Jonathan R.³, García-Mesa, Sergio², Pula, Hector², Rufino-Palomares, Eva E.³

¹Departamento de Biología Celular, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

²Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

³Departamento de Bioquímica y Biología Molecular I, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

 **Cristina E. Trenzado**  E-mail: ctrenzad@ugr.es

RESUMEN | La tenca (*Tinca tinca*) es una especie de agua dulce cuyo cultivo tiene relevancia en determinadas zonas de España con finalidades deportivas, gastronómicas o de repoblación. Es una especie omnívora poco estudiada, por lo que hoy en día no existe un pienso comercial específico que se adapte a sus necesidades nutricionales. Por otra parte, la búsqueda de fuentes proteicas alternativas a la harina de pescado sigue siendo uno de los principales retos en acuicultura. Estudios han propuesto la harina de soja como alternativa proteica vegetal, incorporándose a la nutrición de varias especies. La superóxido dismutasa (SOD) es un enzima antioxidante con un papel clave en la prevención del estrés oxidativo y daños de componentes celulares, justificando su uso como marcador de bienestar animal. El objetivo del presente estudio fue evaluar en hígado de tenca la influencia de la harina de soja en el perfil isoenzimático de la SOD, su actividad y expresión proteica por western blot. Se emplearon tencas con 29.54 ± 6.61 g de peso inicial alimentadas durante tres meses con 4 dietas experimentales de carácter ecológico, isoenergéticas e isoproteicas con diferentes niveles de harina de pescado/soja: control (100% harina pescado), 25% harina soja (soja25), 50% harina soja (soja50), 50% harina soja germinada (soja50G). La actividad SOD fue significativamente mayor en soja50G, mientras que los niveles de expresión fueron menores en soja25 y soja50 respecto al control. Por el contrario, soja50G mostró un aumento del 67% de expresión proteica de SOD comparado al control. Respecto al patrón isoenzimático, se observaron tres isoformas: Mn-SOD, CuZn-SOD I y CuZn-SOD II, siendo la isoforma CuZn-SOD I más intensa en todos los grupos. Los tratamientos con harina de soja al 50%, independientemente de soja germinada o no, mostrarán una intensidad de banda de las tres isoformas significativamente superior a los grupos control y soja25.

Palabras clave: Actividad SOD, expresión proteica, harina de soja, patrón isoenzimático, tenca.

ABSTRACT | Tench (*Tinca tinca*) is a species of freshwater whose cultivation is relevant in certain areas of Spain for the purpose of consumption, repopulation and sports. It is an omnivorous species little studied, so nowadays there is no specific commercial feed that adapts to its nutritional needs. On the other hand, the search for alternative protein sources to fishmeal continues to be one of the main challenges in aquaculture. Various studies have

proposed soybean meal as one of the most promising sources of plant-based protein, having been incorporated into the nutrition of various species over the years. It is known that the enzyme superoxide dismutase (SOD) is an antioxidant enzyme that plays a key role in the prevention of oxidative stress and associated damages to cell biomolecules, being able to be used as a marker of animal welfare. The objective of the present study was to evaluate the influence of different levels of soybean meal on the isoenzyme profile of the antioxidant enzyme (SOD), its specific activity, as well as its protein expression by western blot in tench liver. For this, tench with 29.54 ± 6.61 g of initial weight were used that were fed for three months with 4 isoenzymic and isoprotein ecological experimental diets but with different levels of fish / soybean meal: control (100% fish meal), 25% soybean meal (soy25), 50% soybean meal (soy50), 50% germinated soybean meal (soy50G). The results showed that the SOD activity was significantly higher in the soy50G diet, while the expression levels were lower in the soy25 and soy50 diets compared to the control. On the contrary, for the soy50G diet there was a 67% increase in protein expression of SOD compared to the control treatment. Regarding the isoenzyme pattern, three isoforms were observed: Mn-SOD, CuZn-SOD I and CuZn-SOD II, being the CuZn-SOD I isoform more intense in all cases. The dietary treatment with 50% soybean meal, regardless of germinated soybean or not, showed a band intensity of the three isoforms significantly higher than the control diet and 25% soybean.

Keywords: Isoenzymatic profile, protein expression, Soybean flour, SOD activity, tench.

INTRODUCCIÓN

La tenca (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758) es la única especie del género *Tinca* de la familia Cyprinidae. Es originaria de grandes sistemas lacustres de Europa Central y cultivada tradicionalmente en muchos países europeos (Billard, 1995). La tenca es un pez de agua dulce, omnívora, de talla media que puede alcanzar los 85 cm de longitud total y un peso máximo de 7,5 kg. El cultivo de la tenca presenta algunas ventajas, por un lado, se trata de una especie con bajas exigencias, es capaz de soportar fuertes densidades, demanda bajas cantidades de oxígeno disuelto y es un producto de buen aspecto, aroma y pocas espinas (Alonso, 2002).

En general, los organismos acuáticos como peces y crustáceos tienen requerimientos altos de proteína, consecuentemente, para su alimentación se utilizan alimentos ricos en ese nutriente. La harina de pescado se ha usado tradicionalmente como el principal recurso; sin embargo, su alto costo y el incremento en la demanda de la creciente acuicultura, así como en la alimentación de organismos terrestres cultivados, han hecho que se dediquen esfuerzos para buscar fuentes alternativas de proteínas. Como fuentes alternativas en acuicultura hay muchas, pero el de mayor interés para los investigadores es la soja (*Glycine max*).

La soja contiene niveles aceptables de proteína y un perfil de aminoácidos relativamente balanceados, por lo que se le considera un producto adecuado como ingrediente alternativo en alimentos formulados para la acuicultura (Martínez-Llorens *et al.* 2007). Sin embargo, ésta presenta limitaciones

en el contenido de metionina, lisina y cisteína. La harina de soja es un ingrediente que predomina en las dietas preparadas, muchas veces constituyendo el 50 o 60 % del total de la fórmula (Pula *et al.* 2018). La soja cruda contiene diversos factores anti-nutricionales que se sabe que afectan el crecimiento y la salud de los peces causando procesos inflamatorios que pueden inducir alteraciones en el estado oxidativo. Sin embargo, diversos métodos de tratamiento con calor (tostado, extrusión y palatización) han sido exitosamente utilizados para inactivar o eliminar los factores anti nutricionales mejorando así el valor nutritivo de la soja. El calentamiento de la soja cruda durante la extracción comercial del aceite (105°C durante 10 -12 min) aumenta su valor nutritivo y su palatabilidad, ya que destruye la mayoría de estos factores termolábiles, a la vez que desnaturaliza las proteínas haciéndolas más digeribles (Gatlin *et al.* 2007).

En la alimentación animal la soja se utiliza como harina integral o desengrasada. La soja integral es un ingrediente adecuado en alimentos para trucha (*Oncorhynchus mykiss*), carpa común (*Cyprinus carpio*), salmón del Atlántico (*Salmo salar*), Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y bagres (*Ictalurus punctatus*, *I. furcatus*). Después de ser tratada para inactivar los antinutrientes puede substituir entre 30 y 75% de la proteína animal (Olvera-Novoa *et al.* 1988). Sin embargo, se ha observado que altos niveles de inclusión generalmente han resultado en bajo crecimiento debido a deficiencia de aminoácidos y energía; así como, a la presencia de antinutrientes y baja digestibilidad de los carbohidratos para algunas especies. Algunos autores han evaluado la suplementación de las dietas con metionina, triptófano y lisina con resultados variables; sin embargo, al menos el bagre azul (*I. furcatus*) presenta crecimiento adecuado con dietas en 100% de soja fortalecida con 0.9% de metionina. Se recomienda también suplementar con aceite como energía y con fósforo para aliviar su alto contenido de fitatos (Martínez *et al.* 2000).

El uso adecuado de las enzimas, permite una mejora en el aprovechamiento de los elementos nutricionales de los granos, favoreciendo su absorción a nivel intestinal en los animales y permitiendo a su vez que los costos de producción disminuyan (Menghong *et al.* 2018). La enzima superóxido dismutasa (SOD) contempla un grupo de metaloenzimas presentes frecuentemente en organismos aeróbicos, aerotolerantes y en algunos anaeróbicos obligados, esenciales para la defensa contra la toxicidad, causada por los metabolitos parcialmente reducidos que se generan durante la reducción biológica normal del oxígeno molecular. Al eliminar los radicales superóxidos libres (O_2^-), la SOD contribuye al mantenimiento del balance fisiológico entre prooxidantes y antioxidantes.

La SOD es una enzima con relevancia médica, por su potencialidad como agente terapéutico en las enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo y por su función en la moderación de los daños causados por estos procesos (Domínguez, 2006). Esta enzima comprende una clase de metaloproteína que cataliza la formación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2). La SOD reacciona con el formazán y con el oxígeno liberado, regenerando el NBT (nitroazul de tetrazolio). Las zonas donde se produce la reacción se observan como bandas claras sobre el fondo azul intenso (Ferreya 2000).

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de diferentes niveles de harina de soja sobre el perfil isoenzimático de la enzima antioxidante, (SOD), la actividad enzimática de la misma, así como su expresión proteica por western blot en el hígado de la tenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de experimentación

El estudio se realizó en juveniles de tenca (*Tinca tinca*) con un peso inicial de $29,58 \text{ g} \pm 6,61$ (media \pm SEM). Los animales se distribuyeron en tanques de circulares (5 m^3) a una densidad inicial de $1,6 \text{ kg/m}^3$ en un sistema de recirculación a temperatura ($24,7^\circ\text{C} \pm 2,33$) y fotoperiodo (14:10, L: O) constantes.

Se formularon 4 dietas experimentales ecológicas utilizando fuentes proteicas de origen animal (harina de pescado) y vegetal (harina de soja). A partir de un pienso control (100% harina de pescado) se formularon 3 piensos con dos niveles de sustitución con harina de soja, realizándose en uno de ellos una activación previa de la semilla: 25% soja, 50% soja, 50% soja germinada (activada). Los piensos utilizados fueron isoenergéticos y con similar composición proximal (proteína 36,6%, lípidos 13,6 %, cenizas 7,4%). Finalmente, los tratamientos experimentales fueron 4 y se representan con la siguiente nomenclatura:

- C: pienso control con 100% harina de pescado
- Soja25: 25% de sustitución con harina de soja
- Soja50: 50% de sustitución con harina de soja
- Soja 50G: 50% de sustitución con harina de soja previamente germinada

Los animales fueron alimentados al 2 % de su peso durante 3 meses. Transcurrido ese tiempo, los animales fueron sacrificados por sobredosis de esencia de clavo (*Syzygium aromaticum*). Posteriormente, se les extrajo el hígado y se llevó a un contenedor de nitrógeno líquido, desde donde se traspararon las muestras -80°C hasta su uso posterior.

Preparación de las muestras

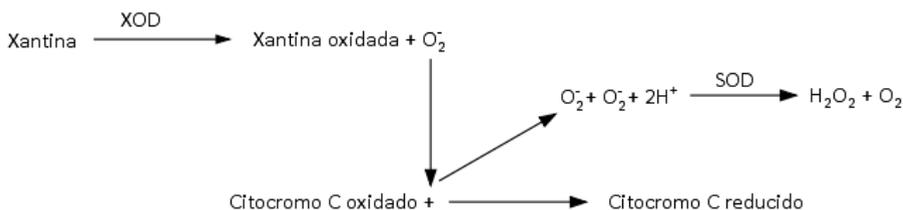
Para el procesado del hígado se empleó un tampón de homogenización que contenía 100 mM, Tris-HCl, 0,1% Triton, EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) 0,1 mM todos con un pH 7,8. Después de añadir el tampón, las muestras se homogenizaron de forma mecánica, se centrifugaron durante 30 min a 16000 rpm y el sobrenadante fue almacenado en alícuotas que se congelaron a -80°C para su análisis posterior.

Determinación de la concentración de proteínas por el método de Bradford

Para medir la concentración de proteínas de cada muestra se llevó a cabo el método de Bradford (Bradford, 1976), el cual se basa en el cambio de color que se produce cuando el Azul Brillante de Comassie G-250, en disolución ácida, se une a las proteínas. Se utilizó un reactivo comercial de Bradford para la determinación del contenido en proteínas. Se midió en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 595 nm. La concentración se determinó mediante el uso de una curva patrón de albúmina (BSA, 1 mg/mL).

Determinación de la actividad Superóxido dismutasa (SOD, EC: 1.15.1.1)

La actividad de la SOD se midió siguiendo el método desarrollado según McCord y Fridovich (1969), basado en el cambio de absorbancia a 550 nm de la mezcla de reacción, provocado por la inhibición del proceso de reducción del citocromo C en presencia de SOD.



Se preparó la mezcla de reacción: 50 mM de tampón fosfato potásico, pH 7,8, 0,1 mM de EDTA, 0,1 mM de xantina y 13,52 mM de citocromo C en un recipiente de vidrio topacio para evitar el paso de la luz y se llevó a saturación de aire para conseguir la total oxidación del citocromo C, mediante un aireador, durante 1 h aproximadamente. Se comprobó la mezcla de reacción adicionando hidrosulfito sódico para reducir el citocromo C. La absorbancia de esta mezcla fue medida a 550 nm. Los valores obtenidos se encontraron entre 0,12 y 0,14 DO para microplaca.

Para la determinación de la reacción control, se comprobó la actividad de la enzima xantina oxidasa (XOD). Para ello, se adicionaron 10 μL de XOD (1 UI/mL), 10 μL de H_2O destilada y 180 μL de mezcla de reacción. Se determinó la absorbancia de la mezcla a 550 nm, los resultados obtenidos debían encontrarse entre 0,014-0,017 $\Delta\text{DO}/\text{min}$ para microplaca.

En una placa de 96 pocillos se adicionaron 10 μL de muestra, 10 μL de XOD y 180 μL de solución de reacción. Finalmente, se midió el incremento de absorbancia a 550 nm a 37°C durante 5 min. Para el cálculo de la SOD se procedió de la siguiente forma:

Harina de soja en la SOD de tenca

$$\% \text{Inhibición} = \frac{\Delta \text{DO} / \text{min}(\text{control}) - \Delta \text{DO} / \text{min}(\text{problema})}{\Delta \text{DO} / \text{min}(\text{control})} \cdot 100 \%$$
$$\text{U-SOD} / \text{mg-proteína} = \frac{\% \text{Inhibición}}{50 \%} \cdot \frac{f}{V_e \cdot P}$$

Donde:

$\Delta \text{DO} / \Delta t$: variación de la densidad óptica/minuto

f: factor de corrección por dilución del extracto

V_e : volumen del extracto añadido en mL

P: mg de proteínas por mL

Se definió una unidad de actividad SOD como la cantidad de enzima requerida para inhibir la tasa de reducción de citocromo C un 50 % bajo las condiciones analíticas descritas.

Detección del patrón de isoenzimas de la SOD

Previamente al desarrollo de la técnica para detectar las isoenzimas de la SOD en el hígado de tenca, se prepararon las muestras. Para 50 μg de proteína, se adicionó el volumen correspondiente de tampón de carga a 4X (0,08 mM de azul de bromofenol y 1,2 M de sacarosa) para obtener una concentración a 1X. Se prepararon los geles de poliacrilamida al 12% (PAGE) en condiciones no desnaturizantes.

Se cargaron 50 μg de proteína en los geles y se realizó la electroforesis con tampón de electroforesis, primero a 20 mA (10 mA por cada gel) durante 10 min y después a 40 mA (20 mA por cada gel) durante aproximadamente 1 h. Una vez finalizada la electroforesis, un gel fue incubado, a temperatura ambiente, con 50 mM de NaCN (en 50 mM de tampón fosfato potásico, pH 7,8) durante 30 min para inhibir la actividad de la isoenzima CuZn-SOD (ya que esta isoenzima es inestable frente a esta solución), después se lavó con 50 mM de tampón fosfato potásico, pH 7,8, y se incubó en oscuridad con 2,45 mM de NBT (en el tampón anterior) durante 20 min a temperatura ambiente, se lavó con tampón fosfato potásico dos veces y, por último, se incubó con 28 μM de riboflavina (en el mismo tampón que las soluciones anteriores) durante 15 min a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, se lavó dos veces con el tampón fosfato potásico, y se colocó en una fuente de luz constante para revelar el gel. El otro gel se incubó directamente con NTB, evitando el contacto con el NaCN, siguiendo el mismo proceso descrito arriba.

Las imágenes obtenidas de las electroforesis nativas fueron escaneadas y analizadas por desitometría. Para ello, la intensidad de cada una de las bandas correspondientes a las diferentes isoenzimas SOD detectadas se analizó con el programa informático Fujifilm Multigauge version 3.0 para Windows. Los resultados se expresaron como unidades arbitrarias de densidad óptica (U.A.).

Niveles de expresión proteica de la SOD por Western Blot

La técnica de Western Blot se emplea para la determinación de la proteína SOD dentro del total de las presentes en una muestra a través de la detección de la misma mediante anticuerpos específicos.

La separación inicial de los extractos fue realizada mediante una electroforesis en gel de poliacrilamida al 12% en condiciones desnaturizantes (SDS-PAGE). Se empleó una carga estandarizada de 60 μg de proteína por pocillo tras desnaturizar las muestras a 95°C durante 5 min y añadir el tampón de carga (0,25 mM Tris-HCl pH 6,8, 10% SDS, 1M DTT y glicerol). Las proteínas fueron transferidas, por el método de transferencia semiseca, (100V, 1 h) utilizando el sistema TransBlot Turbo (BioRad®), a una membrana de PVDF. Las membranas se bloquearon con tampón de bloqueo (TBS, 0,1% Tween-20 y 3% leche desnatada) durante 1 h a temperatura ambiente. Posteriormente, se incubaban con el anticuerpo primario específico para la proteína SOD (IgG policlonal de conejo anti-SOD (1:500) de Santa Cruz Biotechnology®). El anticuerpo de la SOD se diluía en tampón de bloqueo y se incubaba a 4°C durante toda la noche. Las membranas se lavaron con TBS-T (TBS, 0,1% Tween-20) durante 5 min tres veces en agitación y se incubaron con el correspondiente anticuerpo secundario (IgG policlonal anti-IgG de conejo (1:5.000), Sigma®) durante 1 h a temperatura ambiente, repitiendo el proceso de lavado anterior posteriormente. Dichos anticuerpos secundarios presentan acoplada la enzima peroxidasa de rábano (HRP), que permite detectar por quimioluminiscencia la presencia de la banda proteica por su capacidad de oxidación de la solución de luminol (1.500 μL de luminol, 15 μL de ácido cumárico y 0,5 μL de H_2O_2 por membrana). La reacción producida era capturada en el interior de una cámara ChemiDoc Imaging System (Bio-Rad®). El programa empleado para el análisis de las imágenes obtenidas fue Image Lab Software (Bio-Rad®). Los niveles de expresión de SOD se normalizaron con respecto a los de la proteína de referencia (actina, IgG policlonal de ratón anti-actina (1:1.000) La expresión obtenida en cada proteína se analizó a través del programa citado por triplicado.

Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm el error estándar de la media (SEM). Para la estimación del posible efecto de los distintos tratamientos se utilizó el análisis de la varianza de una vía (ANOVA), previa confirmación de la homogeneidad de la varianza mediante el test de Levene. Cuando el análisis de la varianza confirmó diferencias significativas se aplicó el test de Tukey's HSD. El nivel de confianza considerado fue 95 % ($p < 0,05$). El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa SPSS 21.0 (IBM Corporation para Windows).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para la actividad específica del enzima SOD se muestran representados en

la Fig. 1 y manifestaron niveles significativamente más elevados en tenca alimentada con la dieta con 50% de harina soja germinada (Soja50G). No se observaron cambios significativos entre el resto de tratamientos dietarios.

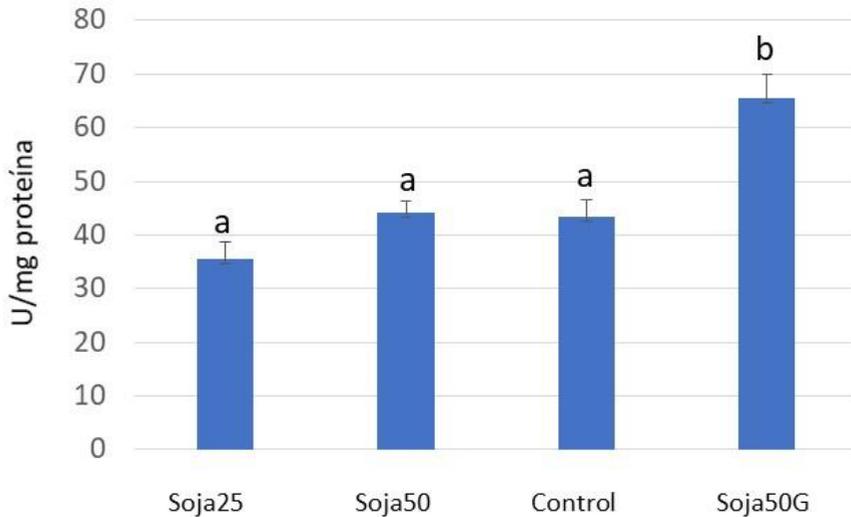


Figura 1. Actividad específica de la enzima antioxidante SOD para cada uno de los grupos experimentales. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos. Los datos son presentados como media \pm SEM ($n = 9$).

En la Fig. 2 se muestran los resultados de expresión mediante western blot obtenidos para la SOD en hígado de tenca alimentada con diferentes niveles de soja. Los valores de expresión para la SOD fueron normalizados en función de la proteína constitutiva, actina. La adición de 25 y 50 % de soja a la dieta de tenca (tratamientos soja25 y soja50, respectivamente) mostraron menores niveles de expresión de la enzima SOD que en la situación control, no existiendo diferencias entre ellos. Por el contrario, la germinación (activación) de la soja (Soja50G) produjo un aumento del 67% de SOD en comparación al tratamiento control.

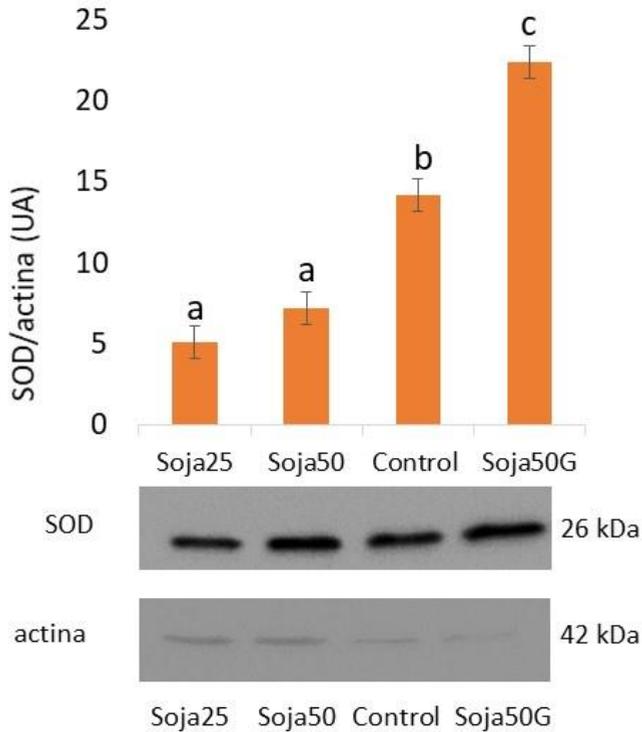


Figura 2. Niveles de expresión de la proteína SOD en hígado de tenca alimentada con diferentes niveles de soja (Soja25, Soja50, control y soja50G) normalizada con la actina (UA). Letras diferentes significan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Los resultados de la electroforesis nativa se muestran en la Figura 3. Estos pusieron de manifiesto la existencia de tres bandas correspondientes a tres isoformas de la SOD, una isoforma Mn-SOD, y dos CuZn-SOD. En todos los casos se observó que la isoforma CuZn-SOD I mostró una intensidad de banda superior a las otras dos isoformas. Asimismo, la isoforma Mn-SOD presentó una mayor intensidad que la CuZn-SOD II. El tratamiento dietario influyó en la intensidad de banda de las tres isoenzimas identificadas, donde la sustitución de harina de pescado por harina de soja con niveles al 50%, independientemente de que la soja estuviera germinada o no, presentaron una intensidad de banda significativamente superior a la dieta control y soja al 25%.

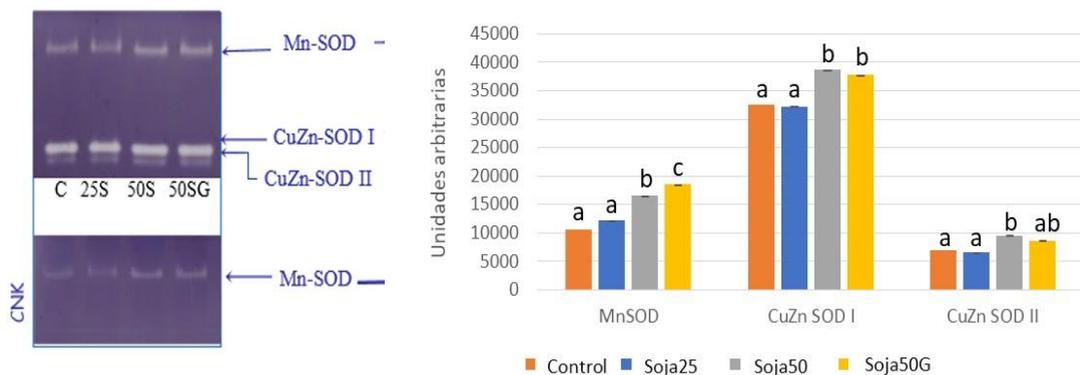


Figura 3. Izquierda: Perfil isoenzimático de la SOD con las diferentes dietas C: Control, 25S: 25% soja, 50S: 50% soja, 50SG: 50% soja germinada (Mn-SOD, CuZn-SOD I y CuZn-SOD II). Derecha: Gráfico comparativo de densitometría de la intensidad de bandas de Superóxido Dismutasa con 50 µg de proteína de muestra de hígado.

DISCUSIÓN

En peces, numerosos estudios confirman que la composición de la dieta es un factor determinante en la producción de agentes oxidantes y la actividad de defensa antioxidante. Por ello, se determinó la actividad y niveles de expresión de la SOD, además del perfil isoenzimático de la enzima.

La actividad enzimática de la SOD en hígado de tenca se estimuló con la dieta con 50% de harina soja germinada. La actividad de esta enzima se ha estudiado en otras especies de peces en las que se ha incorporado o variado el nivel de algún componente dietario. Así, en dentón la actividad de la SOD hepática aumentó cuando a la dieta de estos animales se les añadía más cantidad de lípidos (Pérez-Jiménez *et al.* 2012).

Hasta el momento, con respecto a los análisis de western blot, sólo unos pocos estudios se centran en la expresión de la SOD en peces. Estos resultados mostraron una vez más que la dieta con 50% de harina soja germinada presentaba los valores más altos de inducción de este enzima. De tal forma, que la combinación de esta proporción de harina de soja junto con la activación de la soja producía tanto un aumento en el número de moléculas de SOD, como en la actividad específica de la misma. Estudios en dentón, mostraron una proteína algo más pequeña (21 kDa), frente a los 26 kDa que presenta en tenca, y esta no se moduló en respuesta a los cambios dietarios lipídicos (Pérez-Jiménez *et al.* 2012).

Con respecto al número de bandas constitutivas este estudio presentó similitud, con el estudio realizado por Pérez-Jiménez *et al.* (2017) en dentex común (*Dentex dentex*) en este sentido, para todos

los grupos se observaron dos bandas, ambos identificados como bandas constitutivas, uno de ellos correspondió a Mn-SOD I, y el segundo, inhibido por el cianuro, correspondiente a CuZn-SOD I.

Se puede observar que el factor nutricional modula, o tiene patrones muy diferentes con respecto a otros ambientes, el número de isobandas que presentan otros estudios fueron distintas dependiendo del ambiente en el que se encontraban los animales (Morales *et al.* 2004). En este sentido, un estudio en dorada (Pascual *et al.* 2003) puso de manifiesto la aparición de un patrón isoenzimático de la SOD asociado a condiciones de ayuno que se recuperaba al de los animales control cuando el ayuno cesaba.

Trenzado *et al.* (2009) observaron que en eritrocitos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) solo se puso de manifiesto una isoforma CuZn-SOD, mientras al someter a los animales a un estrés por densidad de cultivo el patrón isoenzimático variaba poniéndose de manifiesto al menos a cinco isoenzimas CuZn-SOD diferentes en función del perfil de ácidos grasos de la dieta.

Otros estudios realizados en dorada bajo las condiciones de hipoxia no mostraron alteraciones en los patrones de isoenzimas SOD, aunque en los análisis densitométricos se observó un descenso en las isoformas Mn- y CuZn-SOD (Pérez-Jiménez *et al.* 2012).

CONCLUSIONES

Los mayores niveles de inclusión de harina de soja en la dieta (50%), así como su pretratamiento mediante germinación, incrementan la actividad específica de la SOD, modificando la actividad de las distintas isoenzimas detectadas y la expresión de este enzima en hígado de tenca.

Agradecimientos

Este trabajo fue llevado a cabo gracias a la financiación obtenida a través del Proyecto "Indicadores de bienestar animal en el cultivo de peces. Test de valoración (AGR-6193) de la Consejería de Innovación, Ciencia.

REFERENCIAS

- Alonso M., Bartolomé M., Écija J. (2002). Tenca una producción piscícola desconocida. *Mundo Ganadero*, 13: 64-6.
- Aparicio R., Roda L., Albi M., Gutiérrez, F. (1999). Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4150-4155.

- Billard, R., Flakahans, M. (1995). The current state of research and culture of tench, *Tinca tinca* Linnaeus (1758). Concluding remarks on the workshop. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 42: 219-225.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*. 72: 248-254.
- Domínguez, A. (2006). Modificación de la superóxido dismutasa para mejorar sus propiedades biofarmacéuticas. *Biotecnología Aplicada*, 23: 17-21.
- Ferreira, L. I. (2000). Estudio de la variabilidad y la diferenciación genética por medio de técnicas de Isoenzimas y RAPD en poblaciones naturales de especies e híbridos del Género *Prosopis* (*Leguminosae*). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Gatlin D.M., Barrows F.T., Brown P., Dabrowski K., Gaylord T.G., Hardy R.W., Herman, E., Hu G., Krogdahl A., Nelson R., Overturf K., Rust M., Sealey W., Skonberg D., Souza E.J., Stone, D., Wilson R., Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38: 551-579.
- Martínez, C.A., Chávez-Sánchez, P.M., Olvera-Novoa, M.A., Abdo de la Parra, M.I. (1996). Fuentes Alternativas de Proteínas vegetales como sustitutos de la Harina de pescado para la alimentación en acuicultura. *Avances en Nutrición Acuicola III*: 279-324.
- Martínez-Llorens S., Moñino A.V., Tomás Vidal A., Salvador V.J.M., Pla Torres, M., Jover Cerdá, M. (2007). Soybean meal as a protein source in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) diets: effects on growth and nutrient utilization. *Aquaculture Research*, 38: 82-90.
- Mc Cord, J.M., Fridovich, I. (1969). Superoxide dismutase an enzymic function for erythrocyte hemocuprein (hemocuprein). *Journal of Biological chemistry*, 244: 6049-6055.
- Menghong, H., Youji, W., Qian, W., Min, Z., Bangxi, X., Xuegiao, Q. (2008). Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp, *Carasius auratus gibelio*. *Aquaculture*, 275: 260-265.
- Morales A.; Pérez-Jiménez A.; Hidalgo C.; Cardenete G. 2004. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 139: 153-161.

- Olvera-Novoa., M.A., Martinez P., C.A., Galvan C., R., Chavez-Sánchez, C. (1988). The use of seed of the leguminous plant *Sesbania grandiflora* as a partial replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 71: 51-60.
- Pascual, P., Pedrajas, J., Toribio, F., López-Barea, J., Peinado, J. (2003). Effect of food deprivation on oxidative stress biomarkers in fish (*Sparus aurata*). *Chemico-biological interactions*. 145: 191-199.
- Pérez-Jiménez, A., Abellán, E., Arizcum, M., Cadernete, G., Morales, A., Hidalgo, C. (2017). Dietary carbohydrates improve oxidative status of common dentex (*Dentex dentex*) juveniles, a carnivorous fish species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 203: 17-23.
- Pérez-Jiménez, A., Peres, H., Rubio, V.C., Oliva-Teles, A. (2012). The effect of hypoxia on intermediary metabolism and oxidative status in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed on diets supplemented with methionine and white tea. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 155: 506-516.
- Pula H.J., Trenzado C.E., García-Mesa S., Fallola C., Sanz A. (2018). Effects of different culture systems on growth, immune status, and other physiological parameters of tench (*Tinca tinca*). *Aquaculture*, 485: 101–110.
- Trenzado, C.E., Morales, A.E., Palma, J.M., de la Higuera, M. (2009). Blood antioxidant defenses and hematological adjustments in crowded/uncrowded rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed on diets with different levels of antioxidant vitamins and HUFA. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149: 440-447.



Infeción por *Aeromonas caviae* en chames *Dormitator latifrons* cultivados en Ecuador

Aeromonas caviae infection in Pacific fat sleeper *Dormitator latifrons* cultured in Ecuador

Yanis Cruz-Quintana, Ana María Santana-Piñeros, Fernando Isea León, Leonela G. Muñoz-Chumo, Alexandra Elizabeth Bermúdez-Medranda, Byron Manuel Reyes-Mero

Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad y Salud Ambiental. Escuela en Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí. Ciudadela Universitaria, Leónidas Plaza, Bahía de Caráquez, Ecuador. Teléfono 00593-5-2399300 ext. 1003.

✉ Yanis Cruz-Quintana () E-mail: cqyanis@gmail.com

RESUMEN | El chame *Dormitator latifrons*, una especie con gran potencial acuícola, es apreciado por la población costera del Ecuador y cultivado tradicionalmente de forma extensiva. Recientemente la intensificación del cultivo ha incrementado la aparición de patógenos y enfermedades, principalmente de origen bacteriano. Ejemplares de chame con signos clínicos de septicemia bacteriana fueron revisados clínicamente y se les tomaron muestras de superficie corporal, branquias y órganos internos para análisis bacteriológicos e histopatológicos. Las muestras de bacteriología fueron sembradas en caldo agar nutriente durante 24 horas a 37°C, posteriormente las colonias bacterianas fueron aisladas y purificadas por el método de agotamiento, e identificadas por la técnica de PCR mediante el kit de extracción de ADN QIAamp DNA Mini Kit, Qiagen, USA y la amplificación de fragmentos 16S de ADN ribosomal. Las muestras para histología fueron fijadas en formalina neutra al 10% y procesadas por la técnica histológica de inclusión en parafina. Se observó un 22% de prevalencia de casos clínicos y una mortalidad del 8%. Los ejemplares infectados mostraron hemorragias y úlceras en superficie del cuerpo, aletas y órganos internos; así como, necrosis focal, hemorragias e inflamación en la dermis y el tejido muscular, hígado, bazo y riñón. El agente etiológico fue identificado como *Aeromonas caviae*, un importante patógeno bacteriano con potencial para causar pérdidas económicas. Este trabajo constituye el primer reporte de este patógeno en *Dormitator latifrons*.

Palabras clave: *Aeromonas*, chame, histopatología, bacteriología, enfermedades de peces

ABSTRACT | The Pacific fat sleeper *Dormitator latifrons*, a species with great aquaculture potential, is appreciated by the coastal population of Ecuador and traditionally cultivated extensively. Recently, the intensification of the culture has increased the appearance of pathogens and diseases, mainly of bacterial origin. Specimens of *D. latifrons* with clinical signs of bacterial septicemia were clinically examined and samples of body surface, gills and internal organs were taken for bacteriological and histopathological analysis. The bacteriology samples were cultured in nutrient agar for 24 hours at 37°C, then the bacterial colonies were isolated and purified by the exhaustion method, and identified by the PCR technique using the QIAamp DNA Mini Kit, Qiagen, USA DNA extraction kit and the amplification of 16S ribosomal DNA fragments. Samples for histology were fixed in 10% neutral formalin and processed by the paraffin inclusion technique. A 22% prevalence of

clinical cases and a mortality of 8% were observed. The infected specimens showed hemorrhages and ulcers on the surface of the body, fins and internal organs; as well as focal necrosis, hemorrhages and inflammation in the dermis and muscle tissue, liver, spleen and kidney. The etiological agent was identified as *Aeromonas caviae*, an important bacterial pathogen with the potential to cause economic losses. This work constitutes the first report of this pathogen in *Dormitator latifrons*.

Keywords: *Aeromonas*, Pacific fat sleeper, histopathology, bacteriology, fish diseases.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades son un factor limitante para el desarrollo de la acuicultura y han generado impactos negativos con grandes pérdidas económicas en muchas empresas piscícolas (Reichenbach-Klinke *et al.*, 1980). El chame *Dormitator latifrons* es una especie promisoría para la diversificación de la acuicultura, fundamentalmente en Ecuador donde es cultivado tradicionalmente de manera extensiva y tiene una gran aceptación por los consumidores (Vicuña, 2010); sin embargo, se desconocen los patógenos o enfermedades que lo afectan. Recientemente, se han desarrollado esfuerzos para intensificar su cultivo, lo que ha traído consigo aparición de patógenos y/o enfermedades, principalmente de origen bacteriano.

El género *Aeromonas* está conformado por bacterias motiles, bacilos Gram negativos, con una distribución global. Son frecuentemente encontrados en ambientes dulceacuícolas, incluyendo lagos y ríos, drenajes domésticos y aguas potables o procesadas para consumo humano (Holmes *et al.*, 1996). Actualmente este género bacteriano constituye uno de los grupos de patógenos más importantes, causantes de enfermedades no solo en peces y otras especies acuáticas; sino también en personas inmunocompetentes o inmunodeficientes (Janda y Abbott, 2010; Beaz-Hidalgo y Figueras, 2013; Figueras y Beaz-Hidalgo, 2015). El objetivo de este trabajo fue identificar el agente etiológico causante de septicemia bacteriana en *Dormitator latifrons* cultivados, y describir el cuadro clínico y las lesiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Organismos y condiciones de cultivo

Ejemplares de *Dormitator latifrons* de cultivo, con signos de septicemia bacteriana, fueron sometidos a una inspección clínica y se les registró la longitud total (cm) con una cinta métrica y el peso (g) con una balanza gramera Ohaus®. Para el aislamiento bacteriológico, muestras de superficie corporal, branquias y de órganos internos (hígado, bazo, riñón) de chames con signos clínicos de septicemia bacteriana, fueron sembradas en 10 mL de caldo agar nutriente durante 24 horas a 37°C. Posteriormente, las colonias bacterianas fueron aisladas y purificadas por el método de agotamiento.

La identificación molecular se realizó mediante la extracción de ADN de las colonias bacterianas puras, utilizando el kit QIAamp DNA Mini Kit, Qiagen, USA. Para la amplificación de los genes se usaron los iniciadores y condiciones de amplificación para la región 16S de ADNr. Los productos de PCR fueron visualizados mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5%. Los insertos obtenidos de los plásmidos fueron secuenciados en ambas direcciones (5' - 3' y 3' - 5') usando ABI PRISM Big Dye Terminator Cycle Sequencing Ready Reaction Kit y un analizador genético ABI PRISM 3130 Genetic Analyser®. Las secuencias de ADN se compararon directamente con las bases de datos del Gen Bank mediante el uso del programa Blast para la identificación de procariontes, RDP Ribosomal database Project como la base de datos de ribosomas y BiBi database para identificar el género y especie bacterianos en base a la identidad de la secuencia y el valor de e (e- value) y el origen filogenético (Mignard y Flandrois, 2006).

Fragmentos de tejidos con lesiones fueron fijados en formalina neutra al 10% y procesados por la técnica histológica de inclusión en parafina, cortados en secciones finas (5 µm) y teñidos con los colorantes de rutina hematoxilina y eosina (Humason, 1979). Las laminillas obtenidas fueron analizadas en un microscopio Olympus® BX53 y las imágenes fueron tomadas con una cámara AmScope® de 9.1 MP acoplada al microscopio.

RESULTADOS

Ejemplares de *D. latifrons*, mantenidos en una piscina de cultivo semiintensivo, presentaron un cuadro clínico de septicemia por *Aeromonas motiles* (Tabla 1).

Tabla 1. Septicemia por *Aeromonas caviae* en cultivo de *Dormitator latifrons*. Parámetros del cultivo y prevalencia de signos clínicos.

Parámetros	Valores
Total de organismos en cultivo	15000
Densidad de siembra (organismos / m ²)	25
Peso promedio ± DS (g)	118,4 ± 50,2
Prevalencia de casos clínicos (%) (n = 190)	22

Los organismos afectados mostraron lesiones hemorrágicas y úlceras en aletas y superficie del cuerpo (Fig. 1) y mortalidad moderada (8%).

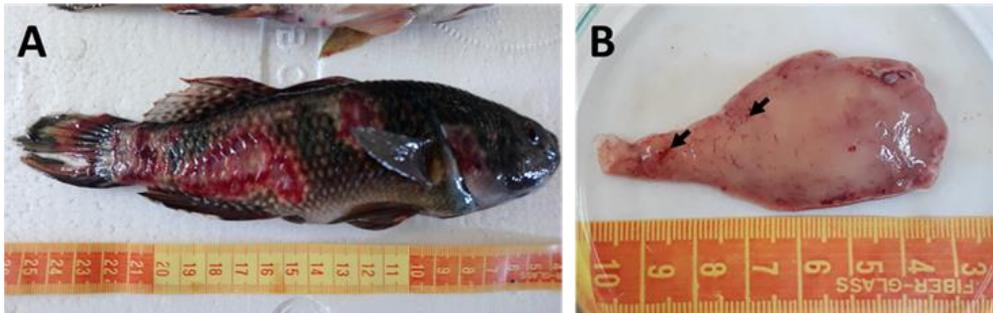


Figura 1. Septicemia por *Aeromonas caviae* en chame *Dormitator latifrons*. **A.** lesiones en aletas y superficie del cuerpo. **B.** Hemorragia en hígado (flechas).

En la necropsia se evidenció hemorragia en hígado, bazo, riñón y músculo. Se obtuvieron crecimientos de *Aeromonas* spp., las cuales fueron identificadas molecularmente como *Aeromonas caviae* (Fig. 2).

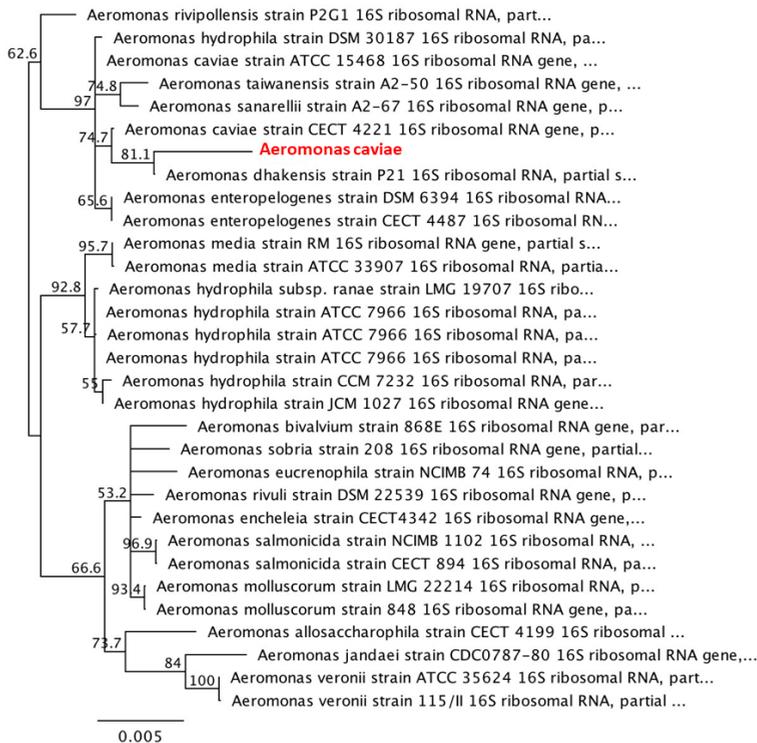


Figura 2. Árbol de máxima verosimilitud, basado en secuencias de ADNr 16S

El análisis histopatológico evidenció necrosis focal, hemorragias e inflamación en la dermis y el tejido muscular, hígado, bazo y riñón; así como desprendimiento del epitelio lamelar en branquias (Fig. 3).

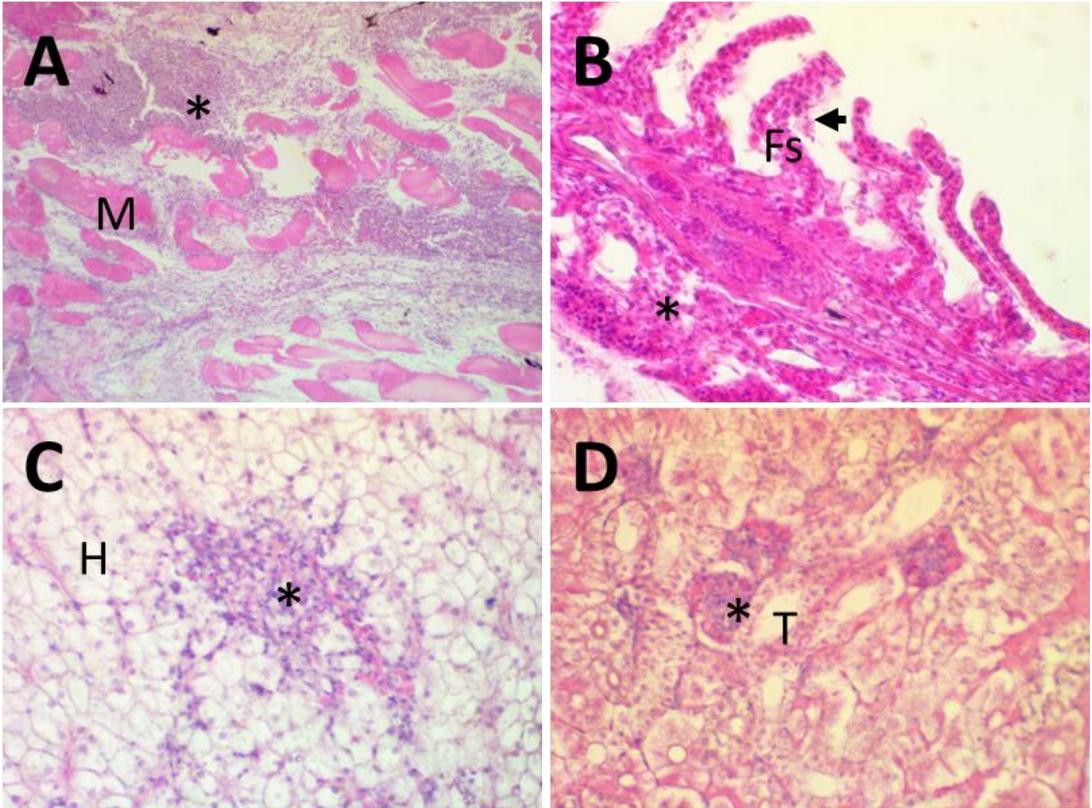


Figura 3. Necrosis e infiltrado inflamatorio (*) en tejidos de *Dormitator latifrons* infectado por *Aeromonas caviae*. **A.** Tejido muscular (M). **B.** Branquias. Nótese el desprendimiento del epitelio (flecha) en los filamentos secundarios (Fs). **C.** Hígado. Necrosis de los hepatocitos (H). **D.** Riñón. Necrosis entre los túbulos renales (T). Tinción H-E

DISCUSIÓN

El chame es una especie cultivada tradicionalmente en Ecuador de forma extensiva (Vicuña, 2010) pero se conoce muy poco sobre las enfermedades que lo afectan. Recientemente se ha intensificado su cultivo, lo que ha generado la aparición de patógenos o enfermedades como la septicemia bacteriana por *Aeromonas* motiles. Muchas de las enfermedades que se presentan en cultivos de organismos acuáticos están estrechamente ligadas a las prácticas inadecuadas en el uso de productos químicos,

incluyendo los antibióticos, la mala calidad del suelo, la excesiva producción, así como el deficiente manejo del medio ambiente (Subasinghe, 2009). Chang-Che y Jiann-Chu (2008) resaltan que las bacterias o los brotes de enfermedades en los sistemas de cultivo, son comúnmente el resultado de un ambiente deteriorado, el cual está determinado por diversos factores, como la intensificación del cultivo, parámetros físico-químicos del agua como, pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Debido a la alta resistencia fisiológica del chame, a su tolerancia a bajos niveles de oxígeno y altos niveles de amonio (Vicuña, 2010), los productores comúnmente cultivan chames en ambientes muy deteriorados y con bajos niveles de oxígeno, lo que podría generar un incremento en las infecciones por patógenos bacterianos oportunistas como *Aeromonas* spp.

El cuadro clínico y las lesiones observadas en chames infectados por *Aeromonas caviae*, es similar a lo descrito por otros autores en otras especies de peces como Tilapia nilótica, donde este patógeno causa grandes mortalidades (Roy *et al.*, 2018). Camus *et al.* (1998) mencionan que los signos clínicos y las lesiones causadas por *Aeromonas* spp. son inespecíficas e involucran hemorragia en aletas y piel a menudo con úlceras, exoftalmia, distensión abdominal, y que puede confundirse fácilmente con otras enfermedades bacterianas; pero, serotipos bacterianos muy patogénicos pueden ocasionar altas mortalidades en muy poco tiempo incluso con signos clínicos poco evidentes. Este es el primer reporte de infección por *Aeromonas caviae* en *Dormitator latifrons*, y dado el potencial de esta bacteria para causar mortalidades, futuras investigaciones deberán contemplar la influencia de factores ambientales y la condición corporal o estado inmunológico de los chames en la incidencia de esta septicemia bacteriana, así como medidas de prevención y control durante el cultivo.

CONCLUSIONES

Aeromonas caviae causa septicemia y mortalidad en *D. latifrons* cultivados

La prevalencia de casos clínicos fue del 22% ($n = 190$)

Agradecimientos

Al proyecto de investigación “Efecto de la variabilidad genética del hospedero y el estado de salud en los niveles de infección por parásitos y daños histológicos asociados, en *Dormitator latifrons* de Ecuador”, financiado por la UTM. Al Centro de Sanidad Acuícola y la Escuela de Acuicultura y Pesquería de la Universidad Técnica de Manabí por el apoyo logístico. A los productores de chame que facilitaron las muestras.

REFERENCIAS

Beaz-Hidalgo R., Figueras M.J. (2013) *Aeromonas* spp. whole genomes and virulence factors

- implicated in fish disease. *Journal of Fish Diseases*, 36: 371–388.
- Camus A.C., Durborow R.M. Hemstreet W.G., Thune R.L., Hawke J.P. (1998). *Aeromonas* Bacterial Infections-Motile Aeromonad Septicemia. SRAC Publication No. 478. pp 1-4.
- Carriero M., Maia A., Sousa R., Henrique-Silva F. (2016). Characterization of a new strain of *Aeromonas dhakensis* isolated from diseased pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*) in Brazil. *Journal of Fish Diseases*, doi:10.1111/jfd.12457.
- Chang-Che L., Jiann-Chu C. (2008). The Immune Response of white Shrimp *Litopenaeus vannamei* and its Susceptibility to *Vibrio alginolyticus* Under Low and High pH Stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 25: 701-709.
- Figueras M.J., Beaz-Hidalgo R. (2015) *Aeromonas* infections in humans. In: *Aeromonas* (ed. by J. Graf), Caister Academic Press, Norfolk, UK. pp. 65–108.
- Holmes P., Niccolls L.M., Sartory D.P. (1996). The ecology of mesophilic *Aeromonas* in the aquatic environment. In: *The Genus Aeromonas* (ed. by B. Austin, M. Altwegg, P.J. Gosling & S. Joseph), pp. 127–150. Wiley, New York.
- Humason G. (1979). *Animal tissue techniques*. San Francisco. 729 pp.
- Janda J.M., Abbott S.L. (2010) The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 23: 35–73.
- Mignard S., Flandrois J.P. (2006). 16S rRNA sequencing in routine bacterial identification: A 30-month experiment. *Journal of Microbiological Methods*, 67: 574–581.
- Reichenbach-Klinke H.H., Ahne W., Negele R.D., Ollenschlager B., Popp W., Spienser O.H., Wolf K. (1980). *Enfermedades de peces*. 2nd. Ed. ©Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. New Stuttgart. New York.
- Roy A., Singha J., Abraham TA. (2018). Histopathology of *Aeromonas caviae* Infection in Challenged Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *International Journal of Aquaculture*, 8(20): 151-155.
- Subasinghe R. (2009). Global Aquaculture and its Role in Sustainable Development. *Reviews in Aquaculture*, 1: 2-9.

Vicuña O. (2010). *Dormitator latifrons* (Chame). In: Flores-Nava, A. & A. Brown (eds.) Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. Editorial FAO. pp: 63-70.



Producción de semilla de almeja babosa (*Venerupis corrugata* Gmelin, 1791), almeja japonesa (*Ruditapes philippinarum* Adams & Reeve, 1850), almeja fina (*Ruditapes decussatus* Linnaeus, 1758) y ostra plana (*Ostrea edulis* Linnaeus, 1758) en una instalación tipo minicriadero con sistemas de preengorde de flujo pasivo en batea y de flujo forzado en tierra

Seed production of *Venerupis corrugata* (Gmelin, 1791), *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850), *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) and *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) in a mini-hatchery type installation with passive flow on-growing systems ("batea"), and forced flow systems

Lastres¹ M., Andrés¹ M.C., Novoa² S., Ojea² J., Martínez Patiño² D., Barja³ J.L., Prado³ S., Montes⁴ J., Cid¹ E., Marchena¹ M., Buceta¹ H., Castro¹ Y., Dios¹ L. y González¹ M.

¹Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGAFA). 36626. Illa de Arousa, Pontevedra, España.

²Centro de Cultivos Marinos (CIMA). 27700. Ribadeo, Lugo, España.

³Dpto. Microbiología y Parasitología. CIBUS-Fac. Biología. USC. Santiago de Compostela. España.

⁴Centro de Investigaciones Marinas (CIMA). 36620. Vilanova de Arousa, Pontevedra, España.

✉ Miguel Ángel Lastres C. () E-mail: miguel.anxo.lastres.couto@xunta.gal

RESUMEN | Las instalaciones de un Minicriadero con estructura ligera tipo invernadero, para cultivo de semilla de moluscos de interés comercial en Galicia, se han mostrado válidas para obtener producciones de alto valor económico, empleando sistemas de cultivo continuo de fitoplancton y salas acondicionadas para el cultivo larvario. Siempre que se disponga de instalaciones adecuadas para el preengorde con flujo forzado en tierra o incluso de flujo pasivo en estructuras flotantes como la batea. También se ha revelado como muy importante, para rentabilizar este tipo de instalaciones, la producción de diferentes especies, aprovechando distintas épocas de puesta natural, y técnicas específicas de acondicionamiento de reproductores, para extender la capacidad productiva manejando un mayor número de lotes a lo largo del año. En el periodo de 24 meses analizado se consiguió una producción de 2.423.188 individuos, incluyendo 592.160 de *Venerupis corrugata* ("almeja babosa"), 603.039 de *Ruditapes philippinarum* ("almeja japonesa"), 1.130.000 de *Ruditapes decussatus* ("almeja fina"), y 97.989 de *Ostrea edulis* ("ostra plana") que alcanzarían, en talla de 1ª venta en lonja, un valor económico total en el mercado de 249.455 €.

Palabras clave: Minicriadero, semilla, flujo pasivo, flujo forzado

ABSTRACT | The facilities of a "Mini-hatchery" with a greenhouse-type structure, for the cultivation of mollusc seed of commercial interest in Galicia, have proven valid to obtain productions of high economic value, using continuous phytoplankton culture systems, and rooms equipped for larval culture. Provided that adequate facilities are available for forced-

flow on growing on land or even passive flow in floating structures (“bateas”). To make this type of facilities profitable, the production of different species, taking advantage of different natural spawning periods, and specific techniques for the broodstock conditioning, has also been revealed as very important, to extend the productive capacity by managing a greater number of batches throughout of the year. In the 24-month period analyzed, a production of 2,423,188 individuals was achieved, including 592,160 of *Venerupis corrugata*, 603,039 of *Ruditapes philippinarum*, 1,130,000 of *Ruditapes decussatus*, and 97,989 of *Ostrea edulis* that would reach, a total economic value in the market of € 249,455.

Keywords: Mini-hatchery, spat, passive flow, forced-flow.

INTRODUCCIÓN

En el Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGafa), se dispone de instalaciones tipo Minicriadero diseñadas para la mejora de la formación de Técnicos de Acuicultura en sistemas de producción de diferentes especies de moluscos bivalvos de interés comercial (Fig. 1). Para ello se cuenta con instalaciones específicas de cultivo larvario, producción de fitoplancton y sistemas de preengorde, tanto en el mar como en tierra, que permiten transferir la producción de semilla obtenida, a entidades (cofradías) que realizan el engorde hasta talla comercial en el medio natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante un periodo de 24 meses se ha realizado el cultivo de almejas de las especies *Venerupis corrugata*, *Ruditapes decussatus*, *Ruditapes philippinarum*, y de ostra, de la especie *Ostrea edulis*.

Las instalaciones de las que se disponía para el cultivo hasta fase de semilla constan de una unidad en tierra con estructura tipo invernadero y salas isoterma para acondicionamiento de reproductores, cultivo larvario y cultivo de fitoplancton. Además, se empleó una estructura flotante con aireación incorporada, tipo pantalán para el preengorde con flujo forzado, y otra estructura flotante tipo batea para los cultivos de semilla con flujo pasivo (García-Fernández *et al.*, 2003).

En lo que se refiere a las instalaciones en tierra tipo minicriadero, el acondicionamiento de reproductores (Aranda-Burgos *et al.*, 2009) se realizó en una sala isoterma con un sistema de aire acondicionado que permitía mantener el ambiente entre 18°C y 20°C. Para estabular a los progenitores se han empleado cajas de 60x40x30cm, en circuito abierto, con un termocalentador (150W) sumergido en cada caja, para mantener una temperatura del agua de 18±1°C, y a una densidad de 271 individuos/m². La dieta de acondicionamiento se realizó con suministro continuo de fitoplancton por goteo, compuesta por diatomeas (*Chaetoceros gracilis*) y especies flageladas (*Isochrysis galbana* y *Tetraselmis suecica*).

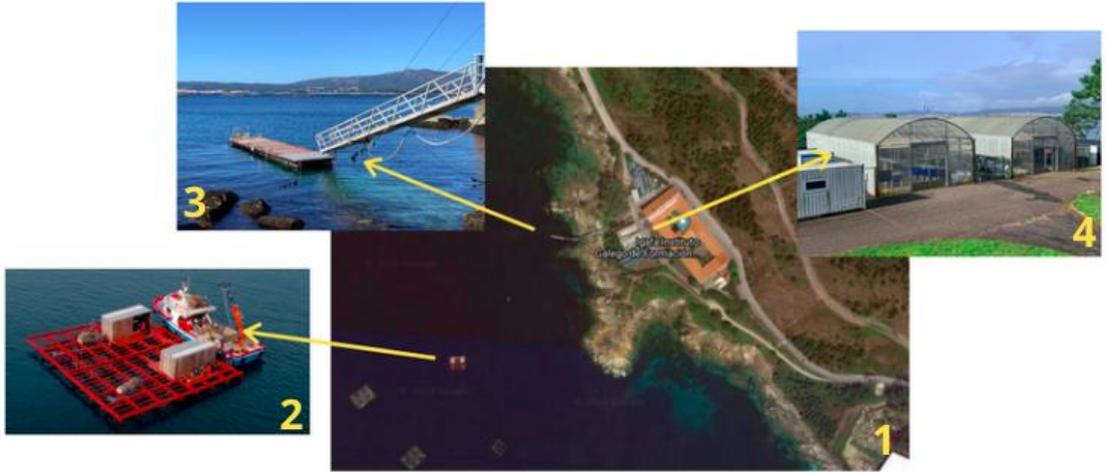


Figura 1. Vista aérea de las instalaciones del IGFAFA (1). A la izquierda imágenes de la batea (2) y pantalán (3). A la derecha imagen del minicriadero (4).

Cultivo larvario

Las inducciones a la puesta se programaron a partir de ejemplares procedentes del medio natural y también con individuos acondicionados. La técnica de inducción consistió en el mantenimiento de los ejemplares en seco, no menos de 2 horas, seguido de inmersión en agua de mar caliente y radiada con luz ultravioleta, con el objetivo de provocar un shock térmico, variando la temperatura aproximadamente 10°C. Cuando se detectaba puesta individual se recogían ovocitos y espermatozoides por separado para realizar una fecundación controlada *in vitro*, procurando que hubiese una tasa de espermatozoides por ovocito menor de 10:1 para evitar malformaciones. Los huevos fecundados, una vez comprobada la existencia de primeras divisiones, se introducían en tanques de incubación (450 L), con aireación muy suave desde el fondo y con agua de mar a 18±1°C, previamente radiada con luz ultravioleta, y con una densidad inicial de 6 a 15 embriones/mL. Tras 48 horas, desde el momento de la fecundación, se tamizaba con una malla de 60 micrómetros para seleccionar larvas D y larvas trocóforas de mayor tamaño, desechando las fracciones inferiores (Fig. 2).



Figura 2. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: mesa de inducción, tanques de cultivo larvario, cultivo de microalgas, conteo de larvas, observación de larvas al microscopio y larvas D.

El cultivo larvario (Helm *et al.*, 2006) se realizó en tanques de 450 L y aireación desde el fondo a una temperatura de $18\pm 1^{\circ}\text{C}$, con adición de diatomeas (*Chaetoceros calcitrans*) y especies flageladas (*Isochrysis galbana*, *Diacronema lutheri* y *Tetraselmis suecica*), con raciones entre 50 y 200 Isochrysis equivalentes/ μL a lo largo de todo el periodo larvario. Se realizaron cambios de medio y tamizado de las larvas, para seleccionar las tallas de mayor tamaño, cada 48 horas.

Durante todo el cultivo larvario se han llevado a cabo controles microbiológicos para la detección de bacterias y virus con efecto patogénico. Para la bacteriología se realizaron siembras en placas de TCBS, de AM y también se emplearon placas de contacto, desarrolladas por el Departamento de Microbiología de la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Se procesaron las muestras que se recogieron en el criadero y fueron congeladas en *ependorf* para los análisis virológicos correspondientes. Se estudiaron los procedimientos y metodologías empleados y se establecieron los puntos de muestreo requeridos para un adecuado control microbiológico de la producción.

Cultivo postlarvario

Cuando al menos un 70% de los individuos presentaban pie, en el caso de las almejas; y un 80% mostraban otolito visible ("ojo") en la ostra, se transferían a tambores cilíndricos situados en el interior de tanques de 250 L, con fondo de malla de $140\ \mu\text{m}$ para las almejas y de $200\ \mu\text{m}$ para la ostra. En este

último caso se introducía en el fondo del tambor concha de berberecho (*Cardium edule*) triturada (“conchilla”) hasta un tamaño aproximado de 350 μm . Tanto para almejas como para ostra se establecía un flujo de agua, mediante ducha por air-lift, de arriba a abajo para facilitar el asentamiento y/o la fijación, respectivamente (Fig. 3).

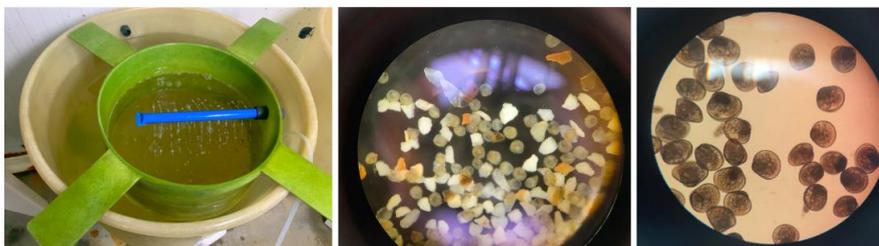


Figura 3. De izquierda a derecha: tambor para fijación; conchilla y ostra plana; y postlarvas de almeja.

Una vez completada la metamorfosis, el manejo de las postlarvas o semilla se realizó en un sistema de flujo forzado en tierra con tambores cilíndricos en el interior de un tanque de 450 L (máximo 8 tambores por tanque). Cada tambor llevaba acoplado un sistema de air-lift que permitía la entrada de agua y fitoplancton en cascada por la parte superior y dirigía el flujo de arriba a abajo para la correcta alimentación de la semilla y evacuación de posibles restos. El suministro de fitoplancton en este sistema se realizaba de forma continua (García-Romerall *et al.*, 2017) por goteo a partir de un depósito en el que se seleccionaba la dieta diaria recolectada por el sistema de cultivo continuo de fitoplancton (Fig. 4).



Figura 4. De izquierda a derecha: sistema de cultivo continuo de fitoplancton; semillero con dos tanques de distribución de fitoplancton al frente; tambores con air-lift; y semilla al microscopio.

Cultivo de semilla y sistemas de preengorde

Una vez alcanzada una talla de semilla que quedase retenida en malla de 700 micrómetros, se procedía a un cambio de sistema, fundamentalmente para reducir los costes de alimentación. Los sistemas empleados (JACUMAR, 2007) fueron: a) Sistema de flujo forzado en bidones ubicados en un pantalán flotante; b) Flujo pasivo en una estructura suspendida (batea), utilizando como soporte para la semilla, linternas, pochones, platillos y cestos ostrícolas.

El sistema (Lastres *et al.*, 2019) que se mostró más efectivo fue el de flujo forzado en el pantalán ya que, una vez superada la talla equivalente a la retenida por una malla de 1 mm, esta semilla se podía introducir en el contenedor o bidón con el fondo perforado. El recipiente llevaba acoplado un tubo telescópico que lo mantenía sumergido y un sistema de air-lift que permite conseguir un flujo de agua de abajo a arriba. De este modo el caudal de agua impulsado permitía alimentar importantes biomásas en cada contenedor, empleando el fitoplancton presente en el medio natural. Sin las limitaciones de crecimiento que obligan a desdoblarse repetidamente en los sistemas de flujo pasivo, y eliminando los costes de producción de microalgas del sistema continuo (Fig. 5). Para el suministro de aire se empleó una turbosoplante de 1,5kW que permitía disponer de un caudal de aire de 330 m³/h.



Figura 5. De izquierda a derecha: Muestreo de la semilla de almeja, tamiz de 700 μm de malla, bidón con tubo telescópico, y sistema de flujo forzado en funcionamiento.

Los sistemas de flujo pasivo en la batea (Cerviño-Eiroa *et al.*, 2005) también suponían un ahorro en los costes de alimentación de la semilla al aprovechar el alimento del medio natural, pero resultó necesaria hacer alguna adaptación para evitar los daños que se producían en la malla exterior de las linternas al ser mordidas por peces. Añadiendo simplemente una malla plástica protectora se consiguió evitar las pérdidas de semilla y los daños ocasionados. Los otros sistemas (cestos ostrícolas, platillos y pochones) no presentaron este tipo de problema y se mostraron igualmente válidos para el preengorde de la semilla (Mazón-Suástegui *et al.*, 2011) (Fig. 6).



Figura 6. De izquierda a derecha, y de arriba a abajo: semilla de almeja babosa, estructura flotante de la batea, sistema de linternas, sistema de platillos, cestos ostrícolas y jaula para pochones.

El destino final de la semilla producida (Martínez-Patiño *et al.*, 2008), de cada una de las especies, fue la cesión por parte de la Consellería do Mar a las cofradías o asociaciones de mariscadores para realizar su engorde en zonas intermareales en el medio natural, en el caso de las almejas, y en sistemas suspendidos para la ostra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los 24 meses que abarcó esta experiencia de producción de semilla de las cuatro especies de moluscos bivalvos citadas se obtuvieron los siguientes resultados correspondientes a los años 2019 y 2020 (Tabla 1; Fig. 7).

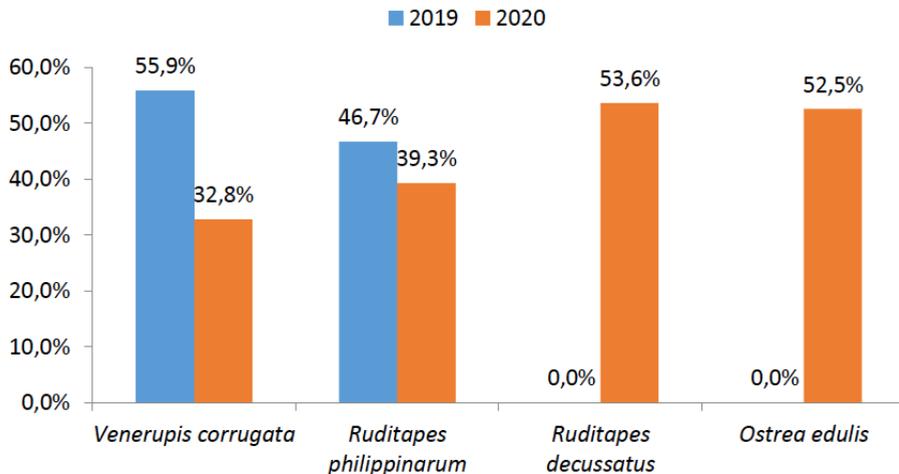
Como se puede ver, en el año 2019 se encontraron dificultades para completar cultivos larvarios de almeja fina y ostra plana, pero en el año 2020, a pesar de las dificultades que planteó la presencia de la pandemia del COVID-19, fue posible realizar la producción con altas supervivencias para todas las especies.

Tabla 1. Resultados del cultivo larvario para las cuatro especies objeto de cultivo.

AÑO 2019			
ESPECIE	Nº LARVAS INICIALES	Nº LARVAS FINALES	SUPERVIVENCIA
<i>Venerupis corrugata</i>	114,4*10 ⁶	64*10 ⁶	55,9%
<i>Ruditapes philippinarum</i>	3*10 ⁶	1,4*10 ⁶	46,7%
<i>Ruditapes decussatus</i>	38,9*10 ⁶	0	0%
<i>Ostrea edulis</i>	11,1*10 ⁶	0	0%
TOTAL (Sin ostra)	156,3*10⁶	65,4*10⁶	41,8%
TOTAL (Con ostra)	167,4*10⁶	65,4*10⁶	39,1%

AÑO 2020 (Pandemia COVID-19)			
ESPECIE	Nº LARVAS INICIALES	Nº LARVAS FINALES	SUPERVIVENCIA
<i>Venerupis corrugata</i>	84,1*10 ⁶	27,6*10 ⁶	32,8%
<i>Ruditapes philippinarum</i>	6,1*10 ⁶	2,4*10 ⁶	39,3%
<i>Ruditapes decussatus</i>	6,9*10 ⁶	3,7*10 ⁶	53,6%
<i>Ostrea edulis</i>	4*10 ⁶	2,1*10 ⁶	52,5%
TOTAL (Sin ostra)	97,1*10⁶	33,7*10⁶	34,7%
TOTAL (Con ostra)	101,1*10⁶	35,8*10⁶	35,4%

SUPERVIVENCIA MEDIA POR AÑO Y ESPECIE

**Figura 7.** Porcentaje de supervivencia de los cultivos larvarios por año y especie.

Producción de semilla de almejas y de ostra plana, en un minicriadero

Uno de los principales objetivos de este tipo de instalaciones consiste en incrementar los ingresos por mariscador y año mediante las técnicas de semicultivo de la semilla producida en instalaciones tipo minicriadero como ésta. La producción obtenida en el minicriadero aparece en la siguiente tabla, referida como "Total entrega semilla".

Tabla 2. Producción total de semilla y estimación del valor de mercado por especie.

ESPECIE	TOTAL ENTREGA SEMILLA	UDS TALLA COMERCIAL RESULTANTE	UDS/KG	PRECIO MEDIO (€/kg)	VALOR DE MERCADO (€)
<i>Venerupis corrugata</i>	592.160	251.668	80	19,5	61.344 €
<i>Ruditapes philippinarum</i>	603.039	256.292	60	11,3	48.268 €
<i>Ruditapes decussatus</i>	1.130.000	226.000	50	28,5	128.820 €
<i>Ostrea edulis</i>	98.415	39.366	20	5,6	11.023 €
TOTAL UDS	2.423.188	TOTAL VALOR ECONÓMICO			249.455 €

Se ha hecho un cálculo estimativo del valor de mercado por especie que tendría la producción cuando alcanzase la talla comercial de venta en Lonja o primera venta. Para ello se han empleado datos de referencia de supervivencia en la zona intermareal suministrados por las cofradías o asociaciones de mariscadores que llevan a cabo el proceso de cultivo de la semilla en el medio natural (Luis Santos, S. Coop. Gallega Ría de Arousa Abanqueiro, España, octubre 2020). Los precios de venta medios por especie se obtuvieron a partir de los datos oficiales disponibles en la web <https://pescadegalicia.gal>.

Se incluye un mapa en el que se puede ver la localización de las diferentes entidades receptoras de la semilla producida en esta instalación a lo largo de dos años (Fig. 8).

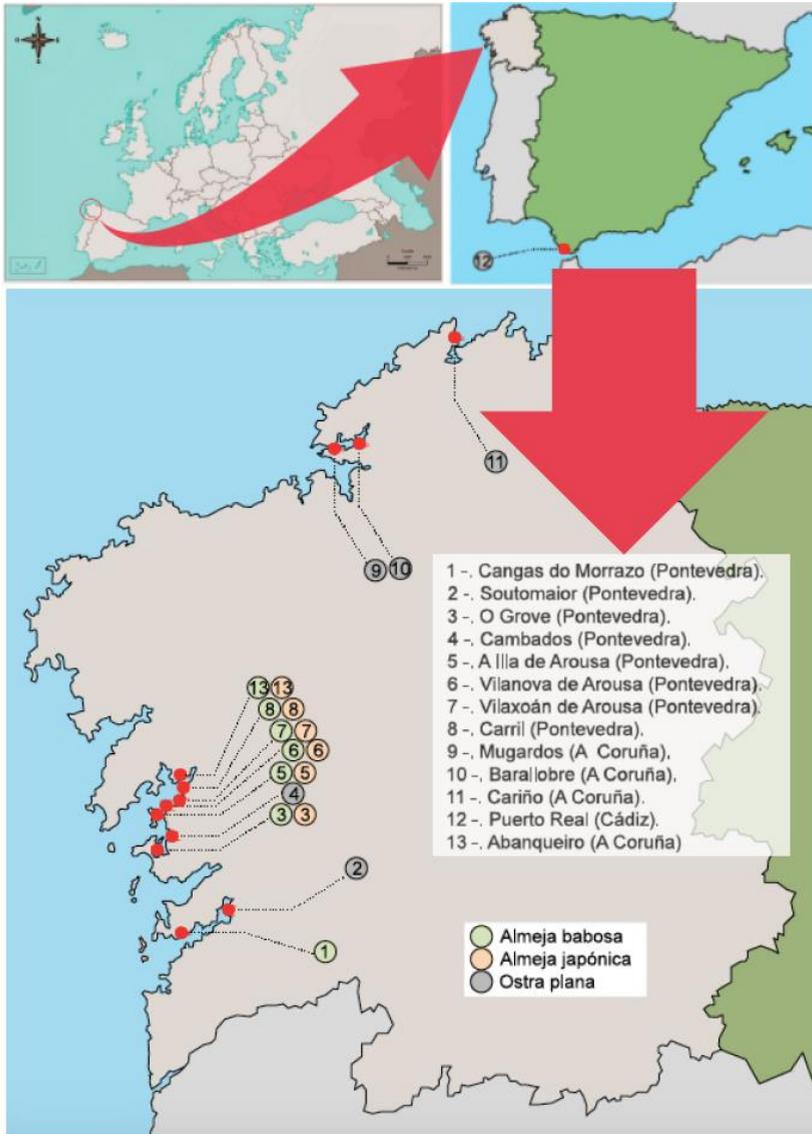


Figura 8.- Mapa de entregas de semilla.

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados alcanzados, se destaca la importancia de disponer de personal técnico cualificado y entrenado en las tareas de cultivo para la producción de semilla de moluscos de interés

comercial, como demuestra el hecho de la mejora de los datos obtenidos en el segundo año (incluso a pesar de que la pandemia de COVID-19 limitó la producción en el año 2020, como consecuencia de los periodos de confinamiento obligatorio de la población, que afectaron a la presencia de los técnicos en la instalación).

Se requiere de sistemas de preengorde adecuados para que la semilla pueda alcanzar altas supervivencias y rápidos crecimientos. Partiendo de los resultados mostrados en este trabajo se recomiendan los sistemas de flujo activo cuando se puedan instalar en el mar con conexión de aire, y en caso contrario se sugiere optar por sistemas de flujo pasivo en estructuras flotantes (como la batea).

Cuando se completa el engorde de la semilla, producida en una estructura tipo minicriadero, con sistemas para el cultivo de esta semilla en zona intermareal (almejas), o en sistemas suspendidos (ostra), se puede alcanzar un importante valor comercial. En el caso de estudio, el total de 2.423.188 unidades producidas en 24 meses y entregadas a las asociaciones de mariscadores o cofradías alcanzaría un valor de mercado en primera venta en lonja de 249.455€ empleando para este cálculo las tasas de supervivencias comunicadas por el propio sector receptor de esa semilla y los datos oficiales de precios de venta de cada especie (<https://pescadegalicia.gal>).

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de la acción de investigación "Procedimientos de cultivo intensivo de especies de interés marisquero-PESCIM" de la Dirección Xeral de Desenvolvemento Pesqueiro de la Consellería do Mar, Xunta de Galicia, con la participación del Departamento de Microbiología de la Universidad de Santiago de Compostela (USC).

Agradecer especialmente a José Carlos Mariño Balsa y a la Cofradía de Cambados la posibilidad de realizar experiencias de control de cultivo en la zona intermareal perteneciente a su concesión.

El apoyo de Óscar Fandiño Doeste y Carlos González Argibay, personal de mantenimiento del Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGAFa).

Y a Manuel Dios Prada por la grabación de imágenes aéreas para la versión audiovisual que acompaña a esta publicación.

REFERENCIAS

Aranda-Burgos, J.A., Ojea, J., Nóvoa, S. & Martínez-Patiño, D. (2009). Primeros datos de la calidad de las puestas, en relación al estado de los reproductores de dos especies de almejas: *Ruditapes*

- decussatus* y *Ruditapes philippinarum*. *Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas*, 12: 617-624
- Cerviño-Eiroa, A., García-Fernández, A. & De Coo-Martín, A. (2005). Resultados de preengorde de la almeja fina, *Ruditapes decussatus* (Linné, 1758), en diversos sistemas en las Rías Bajas de Galicia. *Actas del X Congreso Nacional de Acuicultura*. Gandía. 33-34.
- García-Fernández, A., Cerviño-Eiroa, A., De Coo, A., Bao, M. & Domínguez, M. (2003). Tasa de crecimiento y mortalidad en el preengorde de la almeja fina, *Ruditapes decussatus* (Linné, 1758), la almeja babosa, *Venerupis pullastra* (Montagu, 1803) y la almeja japonesa, *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850), en batea en las Rías Bajas. *Actas del IX Congreso Nacional de Acuicultura*. Cádiz. 311-313.
- García-Romerall, J.; Pavía-Gómez, M.; García Sanz, T.; Chirivella-Martorell, J.; Serrano Aroca, Á.; 2017. Principios de biotecnología y bioingeniería en el cultivo de microalgas: importancia, problemas tecnológicos, tipos y sistemas de cultivos, crecimiento, factores limitantes, selección, aislamiento, escalado y caracterización bioquímica. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*. No. 9 (2017), 115-130, Edit. Journals Universidad Católica de Valencia.
- Helm, M.M., Bourne, N., Lovatelli, A., Tall, M.L. & Cigarría, J. (2006). Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. Documento Técnico de Pesca de la FAO. Roma. 184 pp.
- Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos, JACUMAR. (2007). Desarrollo de la tecnología de producción y cultivo de almejas. Informe Final Extenso. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España. España. 216 pp.
- Lastres M., Andrés M.C, Abilleira S., Cid E., Méndez J.C., Sánchez J.J., Rivadeneira G., Nóvoa S., Ojea J. y Martínez-Patiño D. 2019. Comparación de sistemas suspendidos de flujo pasivo y flujo forzado para el preengorde de semilla de almeja babosa *Venerupis corrugata* (Gmelin, 1971), en la Ría de Arousa. En: Rey-Méndez M., Fernández Casal J., Guerra A., Lastres M.A., Padín X.A., Lodeiros C. (Eds.). *Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas*, 21: 231-242.
- Martínez-Patiño, D., Cerviño-Otero, A., Louzán, A., da Costa, F., Ojea, J. & Nóvoa, S. (2008). Producción de especies de interés marisqueero en la Planta de Cultivos de Ribadeo. II Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura. Cumaná. 629-633.
- Mazón-Suástegui J.M., Maeda-Martínez A.N., RoblesMungaray M., De La Roche J.P., Guilherme S. Rupp, Mendes-De-Bem M., Velasco L.A. & L.F. Freites-Valbuena, 2011. Avances en la

Producción de semilla de almejas y de ostra plana, en un minicriadero

producción de juveniles de *Nodipecten spp.* Cap. 11, 275-311. En: A.N. Maeda-Martínez y C. Lodeiros-Seijo (Eds.), *Biología & Cultivo de los moluscos pectínidos del género Nodipecten*. Editorial Limusa, México.



Captación de semillas de moluscos bivalvos en sustratos artificiales en Punta de Piedras, Venezuela, entre septiembre 2017 y enero 2018

Seed reception of bivalve molluscs over artificial substrates in Punta de Piedras, Venezuela, between September 2017 and January 2018

Jhonathan Emil Bermúdez-Salazar¹⁻², Emilio Patricio Bermúdez Salazar¹, Carmen del Valle Cardona Brito³, Gertrudis Margalit Mizrachi Fernández⁴⁻⁵, Antonietta Salazar¹, Lisbeth del Valle Villarroel Butto⁶, Andrea Marval¹

¹Fundación La Salle de Ciencia Naturales, Campus Margarita, U.E.L.N.P. "Dr. Ramón Espinoza Reyes", Punta de Piedras, Venezuela.

²Gobernación del Estado Nueva Esparta, Dirección Sectorial de Educación, U.E.E. "Maestro Luis Felipe Valerio Vásquez", Las Giles, Venezuela.

³Investigadora independiente, lima, PERÚ.

⁴Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta, Instituto de Investigaciones Científicas, Laboratorio de Histología, Boca del Río, Venezuela.

⁵Biomarina, Pampatar, Venezuela.

⁶Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta, Escuela de Ciencias Aplicadas al Mar, Departamento de Acuacultura, Boca del Río, Venezuela.

 Jhonathan Emil Bermúdez Salazar () E-mail: jhonathanemilbs@gmail.com

RESUMEN | Los moluscos, en especial los pertenecientes a la clase bivalvia, han venido cobrando importancia para ser cultivados debido a la sobreexplotación de productos pesqueros, por lo cual se hace necesario buscar nuevas fuentes de proteína animal o vegetal a bajo costo de producción. El presente trabajo tiene por objetivo determinar la efectividad de los diferentes sustratos artificiales en la captación de semillas de moluscos bivalvos en dos localidades de Punta de Piedras, en el período comprendido entre septiembre 2017 y enero 2018. Se desarrollaron cuatro colectores a base de restos de malla de pescadores, malla TRICAL tipo mosquitero, malla TRICAL forrada con conchas de pepitona (*Arca zebra*) y botellas plásticas. Estos colectores fueron colocados en el Muelle de Fundación La Salle y la boca de la Laguna de Punta de Piedras. El colector que presentó la mayor eficiencia en cuanto a cantidad y diversidad, fue el de restos de malla de pescadores en el muelle de FLASA. En cuanto a la Constancia, el mejor resultado fue el de botellas plásticas en el muelle. El colector de malla tipo mosquitero fue el único que no presentó ningún organismo fijado en ambas localidades. Las especies encontradas fueron *Brachidontes andamsianus*, *B. exustus*, *B. modiolus*, *Crassostrea rhizophorae*, *Ischadium recurvum*, *Perna viridis* y *Pinctada imbricata*.

Palabras clave: Colectores, bivalvos, muelle de Fundación La Salle, Laguna de Punta de Piedras.

ABSTRACT | Mollusks, especially those belonging to the bivalve class, have been gaining importance for cultivation due to the overexploitation of fishery products, which is why it

Captación de semillas de moluscos en sustratos artificiales.

is necessary to search for new sources of animal or vegetable protein at low production costs. The objective of this work is to determine the effectiveness of the different artificial substrates in capturing bivalve mollusks seeds in two localities of Punta de Piedras, in the period between September 2017 and January 2018. Four collectors were developed based on residues of fishermen's mesh, TRICAL mosquito net type, TRICAL mesh lined with pepitona (*Arca zebra*) shells and plastic bottles. These collectors were placed at La Salle Foundation dock and the mouth of the Punta de Piedras Lagoon. The collector that presented the highest efficiency was made of residues of fishermen's mesh in terms of quantity and diversity, in the FLASA dock. In the case of the constancy, the best result was that of plastic bottles on the dock. The mosquito net-type mesh collector was the only one that did not present any fixed organism in both locations. The species found were *Brachidontes andamsianus*, *B. exustus*, *B. modiolus*, *Crassostrea rhizophorae*, *Ischadium recurvum*, *Perna viridis* and *Pinctada imbricata*.

Palabras clave: Collectors, bivalves, dock of La Salle Foundation, Punta de Piedras Lagoon.

INTRODUCCIÓN

Los moluscos en especial los pertenecientes a la clase bivalvia han venido cobrando importancia para ser cultivados debido a la sobre explotación de productos pesqueros, por lo cual se hace necesario buscar nuevas fuentes de proteína animal o vegetal a bajo costo de producción. (Lodeiros y Freites, 2008; Lovatelli *et al*, 2008; Cáceres y Vásquez, 2014). Una de las ventajas de este tipo de molusco es su alimentación por filtración de fitoplancton natural, lo que reduce el monto de la inversión requerida por tratarse de cultivos; así como su impacto ambiental en comparación con los cultivos de otras especies. (Lodeiros y Freites, 2008; Lovatelli *et al*, 2008).

Una de las etapas más críticas en el cultivo de estos organismo es el proceso de metamorfosis de una larva que vive en la columna de agua, a una que empieza a fijarse o asentarse, esto puede ocurrir una o varias veces dependiendo de la especie. (Cáceres y Vásquez, 2014). La estrategia de fijación o el reclutamiento de larvas es un elemento fundamental para determinar la técnica de cultivo a emplear, ya que esta es muy diferente si se depende de la captación de semilla del medio natural o si debe producirse en laboratorio. (Núñez *et al*, 2006; Cáceres y Vásquez, 2014).

De allí, que el implemento o la adecuada elaboración de colectores artificiales tiene gran significancia en el asentamiento de las larvas, donde influyen varios factores tales como: el tipo de colector a emplear y de la bolsa que lo contiene, la profundidad del fondeo, el ciclo reproductor de la especie, la proximidad de los bancos naturales, las corrientes marinas, la temperatura, entre otros. (Núñez *et al*, 2006). Por lo antes mencionado, es necesario cada día desarrollar nuevos modelos de colectores que permitan mejorar u optimizar la captación de larvas de moluscos bivalvos, en diferentes ecosistemas y en distintos momentos del año; de allí que el presente trabajo tenga por objetivo

determinar la efectividad de los diferentes sustratos artificiales en la captación de semillas de moluscos bivalvos en dos localidades de Punta de Piedras, en el período comprendido entre septiembre 2017 y enero 2018.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

Localidad N° 1 Canal principal de la Laguna de Punta de Piedras

La laguna de Punta de Piedras es un pequeño cuerpo de agua natural de manglar, situada al sur de la Isla de Margarita (Venezuela), adyacente a la Estación de Investigaciones Marinas de Fundación la Salle (EDIMAR). Se encuentra ubicada entre los paralelos 10° 55' y los 64° 67'. Está dividida en tres cuerpos lagunares comunicados entre sí, a través de canales y separadas por manglares. Entre los cuerpos lagunares que consta la laguna, podemos citar, el atoladar, los caimanes y el denominado propiamente laguna de Punta de Piedras, que es la más cercana al cuerpo y está en comunicación directa con el mar por medio de dos canales, el primero de origen natural de unos 300m de largo, en el cual la máxima profundidad es de 2 m, donde existe una pequeña playa en el margen sur, y en el margen norte se encuentra totalmente bordeado de mangles, el fondo de este canal es arenoso, donde habitan una gran cantidad de erizos y esponjas.

Localidad N° 2 Muelle de Fundación La Salle de Ciencias Naturales

Es una obra de construcción realizada por el hombre; la cual tiene como función proteger a la línea de costa de los fuertes oleajes y al mismo tiempo ser varadero de diferentes tipos de embarcaciones marinas; en la cual se ha desarrollado un ecosistema entre las rocas y pilotes que lo integran donde viven comunidades de diferentes algas, moluscos, crustáceo y entre otras especies de organismo marinos.

Construcción e instalación de los colectores

Se construyeron cuatro colectores de diferentes materiales para ser ubicados en las diferentes localidades, los cuales se colocaron en parejas de original y replica todos ellos con una medida aproximada de 50 x 50 cm, a una profundidad aproximada de 1 m luego del nivel más bajo de marea; los materiales utilizados fueron malla TRICAL tipo mosquitero, malla TRICAL forrada con conchas de pepitona (*Arca zebra*), resto de malla de pescadores y botellas plásticas picadas por la mitad.

Una vez realizados todos los diseños, se procedió a ir a los sitios seleccionados para su instalación, teniendo siempre en cuenta que se ubicaron en parejas para así tener una forma de comparación en los

resultados obtenidos. De igual manera, los colectores fueron fijados con la ayuda de cabos en el caso de la laguna a los mangles y en el muelle puede variar en las piedras o algún otro cuerpo que permitió su fijación de manera segura, este procedimiento se realizó aproximadamente para la segunda quincena del mes de septiembre del 2017.



Figura 1 Ubicación de las dos localidades donde se colocaran los colectores artificiales para la captación de semillas de molusco bivalvos, en la localidad de Punta de Piedras – Municipio Tubores, Estado Nueva Esparta, Venezuela.

Muestreos

Se realizaron dos tipos de muestreo uno cada 15 días con la finalidad de observar el estado de los colectores y otros mensuales donde se procedió a recolectar todos los organismo fijados de la clase bivalvia con la ayuda de una lupa, guantes y espátulas, se iban retirando uno por uno con la ayuda de los equipos antes descritos para ser cuantificados y preservados por separados, en envase previamente identificado con localidad, fecha, colector, numero de organismo y en su parte interior se colocó formalina al 7%, todo esto para su posterior identificación y clasificación taxonómica.

Una vez terminado este procedimiento, los colectores se limpiaron con la ayuda de un cepillo o espátula con la finalidad de eliminar cualquier otro incrustante diferente a los organismos estudiados, previo a esto se anotaron en un cuaderno, seguidamente se realizó una visualización del colector, aquellos que estén en perfecto estados fueron de vueltos al medio para ser nuevamente utilizado y los que no se reemplazaron. De igual manera se tomó la temperatura del agua del medio con la ayuda de un termómetro de superficie de mercurio con una apreciación de 0,1°C.

Identificación taxonómica de los moluscos fijados

Esta se llevó a cabo en el laboratorio, con la ayuda de una lupa estereoscópica y esta se basó en las características morfológicas de la concha, siguiendo los criterios de Tucker, (1974); Díaz y Puyana (1994) y Lodeiros *et al.* (1999) para la identificación de moluscos bivalvos. Las cuales en un primer momento se lavaron con abundante agua para disminuir el nivel de formalina en las muestras.

RESULTADOS

Durante el tiempo de muestreo se identificaron un total de 7 especies de moluscos bivalvos en ambas localidades de estudios (Tabla 1) asociadas a los sustratos artificiales empleados. Durante el estudio, el promedio de temperatura fue de 28 °C para ambas zonas de muestreos, el menor valor fue de 24 °C para el muestreo de enero 2018 en el muelle, mientras que el mayor lo reportaron los muestreos de octubre 2017 con 30 °C para ambas localidades. En cuanto a diversidad los resultados obtenidos en especies reportadas fueron menores a las de un estudio realizado en por Núñez *et al.* (2006) en la Laguna de Turpialito, Venezuela donde obtuvieron 9 especies reportadas, de las cuales solo una especie en común (*P. imbricata*) e igualmente a los de Torres Ortiz *et al.* (2003) en la bahía de Tangolunda, Oaxaca, México que presentaron 8 especies donde solo presentaron dos géneros iguales los cuales fueron *Brachidontes* y *Pinctada*.

En cuanto a la diversidad de especies por localidad, el mes de enero del 2018 fue el único donde estuvieron presentes todas las especies encontradas para el muelle de Fundación La Salle (Tabla 1). En el caso de la boca de La Laguna de Punta de Piedras, solo se reportaron dos especies *Pinctada imbricata* y *Brachidontes exustus*, con 6 y 2 organismos respectivamente, para el mes de enero 2018 (Tabla 1).

Tabla 1. Valores totales de organismos de moluscos Bivalvos encontrados en ambas localidades de estudios durante el periodo comprendido entre septiembre 2017 – enero 2018.

Especie	Muelle de Fundación La Salle					Boca de La Laguna de Punta de Piedras				
	septiembre 2017	octubre 2017	noviembre 2017	diciembre 2017	enero 2018	septiembre 2017	octubre 2017	noviembre 2017	diciembre 2017	enero 2018
<i>Brachidontes andamsianus</i>	0	0	0	2	50	0	0	0	0	0
<i>Brachidontes exustus</i>	0	0	1	14	113	0	0	0	0	2
<i>Brachidontes modiolus</i>	0	14	0	13	4	0	0	0	0	0
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Ischadium recurvum</i>	0	0	0	3	65	0	0	0	0	0
<i>Perna viridis</i>	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
<i>Pinctada imbricata</i>	0	0	0	5	6	0	0	0	0	6

DISCUSIÓN

Varios factores pudieron influir en los bajos resultados de fijación de moluscos bivalvos observados durante la experiencia. Uno de ellos debido a las condiciones ambientales propias de La Laguna de Punta de Piedras, que como ya es conocido, presenta niveles de contaminación o huellas antropogénicas elevadas por lo cual la diversidad de los organismos presentes en la laguna, estarían disminuyendo. De igual manera, otro factor estaría relacionado con la carencia de bancos naturales cercanos a los lugares donde se colocaron los colectores para el estudio. Todo lo anterior concuerda con lo explicado por Cáceres y Vásquez (2014) que establece que una de las desventajas de depender de la captación de semilla del medio natural está relacionada con cambios en la estacionalidad, la temporalidad y la localización del fenómeno de fijación, condiciones que están fuera del alcance del productor; por otra parte, es necesario proteger del efecto de aguas residuales domésticas o industriales que puedan afectar a las especies.

El colector que presentó la mayor diversidad de organismos asociados fue la malla de pescadores con 281 organismos para el Muelle de Fundación La Salle. Es de resaltar que para el mismo sitio el colector de botellas plásticas fue el único que mostró una constancia de organismos a lo largo del periodo de estudio, a excepción del mes de septiembre 2019; e igualmente este fue el único que presentó organismos fijados para la boca de La Laguna de Punta de Piedras (Figura 2A y B). Esto se puede deber a lo antes explicado. Por otra parte, Núñez *et al.* (2006) señala que los colectores de malla TRICAL tipo mosquitero son por lo general los que obtienen mejores resultados. Para la presente investigación no se obtuvieron organismo fijados en ambas localidades.

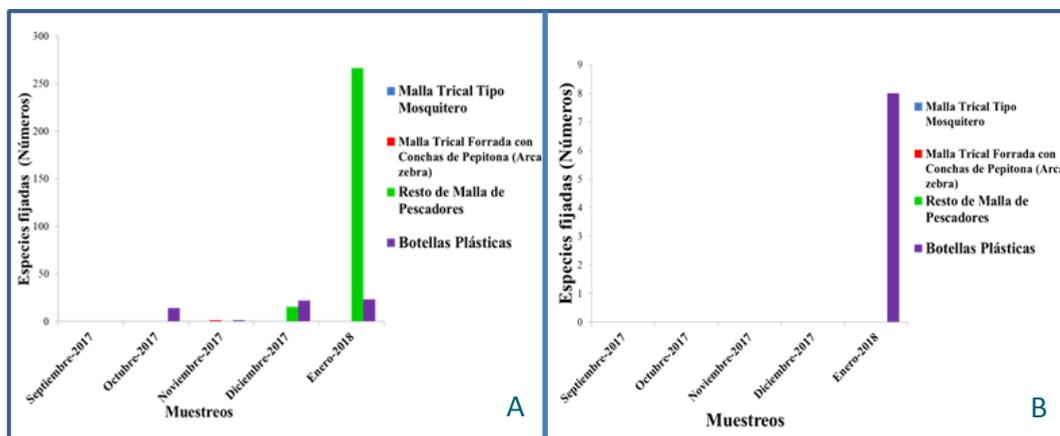


Figura 2. Valores totales de fijación de moluscos bivalvos para los cuatro colectores durante los muestreos realizados en el muelle de Fundación La Salle (A) y la boca de La Laguna de Punta de Piedras (B), para el período de estudio.

Es de señalar que, en cuanto a la naturaleza de los tipos de colectores, se puede observar que se cumple con lo señalado con la bibliografía en cuanto a que los moluscos presentan mayor fijación por los sustratos blandos que por los de naturaleza dura (Núñez *et al.*, 2006), que en este caso estuvo representado por el colector que se realizó con conchas de pepitona (*Arca zebra*) que sólo presentó un ejemplar fijado para el mes de noviembre 2019 en el muelle de Fundación La Salle. A excepción de la malla mosquitero por lo antes señalado; esto puede ser explicado a que no hubo una buena afinidad de las larvas hacia el color del colector pero el presente estudio los resultados se deben a una probable fototropismo con tendencia negativa de las larvas hacia este tipo de sustratos, e igualmente después del asentamiento en el nuevo hábitat, factores como la depredación y competencia, pueden alterar le estructura poblacional de los primeros organismo (García, 2010); llegando a ser este otro factor que pudo haber influenciado los valores obtenidos para estos dos colectores.

En cuanto a la fauna acompañante, los organismos tales como: algas, crustáceos, cirrípedos, gasterópodos, esponjas, entre otros, estos pueden llegar a competir por el sustrato con los organismos seleccionados, siendo esto un factor limitante a la hora de colonizar nuevos sustratos en el ambiente (García, 2010). También se puede ver la diferencia entre ambas localidades de estudio aun cuando ambas son próximas en distancia, y entre los colectores ubicados en dichas zonas, debido principalmente a la interacción entre los hábitats y el colector, por lo tanto, los patrones de asentamiento o fijación entre los diferentes colectores varían de un tipo de hábitat a otro, aunado a la complejidad del diseño del mismo (García, 2010).

CONCLUSIONES

Se logró identificar un total de 7 especies de moluscos bivalvos *Brachidontes andamsianus*, *B. modiolus*, *B. exustus*, *Crassostrea rhizophorae*, *Ischadium recurvum*, *Perna viridis* y *Pinctada imbricata*, durante el periodo de estudio. El colector más efectivo fue en cuanto a número, el de residuos de malla de pescadores para ambas localidades; para los cuatros colectores utilizados el más eficiente en cuanto a constancia y diversidad fue el de las botellas plásticas. El sustrato artificial de tipo malla TRICAL de tipo mosquitero fue el único que en ambas zonas de muestreo no presentó ningún organismo fijado.

REFERENCIAS

- Cáceres, L. y Vásquez, R. (2014). Manual de buenas prácticas para el cultivo de moluscos bivalvos. OIRSA – OSPESCA. Primera Edición. Ensenada Baja California – México. pp. 117.
- Díaz, J. y Puyana, M. (1994). *Moluscos del Caribe Colombiano*. Colciencias, INVEMAR, Primera Edición, Santa Fe de Bogotá. 291 pp.

- García, S. (2010). Colectores artificiales para el estudio de patrones de colonización de organismos bentónicos: de su selección y optimización a la cuantificación de patrones espacio-temporal de colonización. Trabajo de Grado: Doctorado en Gestión Costera. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.
- Lodeiros C., Marín, B y Prieto, A. (1999). Catálogo de moluscos marinos de las costas nororientales de Venezuela: Clase Bivalvia. Apudons, 109 pp.
- Lodeiros, C. y Freitas, L. (2008). Estado actual y perspectivas del cultivo de moluscos bivalvos en Venezuela. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 135–150.
- Lovatelli, A.; Vannuccini, S. & McLeod, D. (2008). Current status of world bivalve aquaculture and trade. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 45–59.
- Núñez, P.; Lodeiros, C.; Acosta, V.; Castillo, I. y Jiménez, J. (2006). Captación de semilla de moluscos bivalvos en diferentes sustratos artificiales en la Ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 24(4): 483-496. 2006.
- Torres Ortiz, A.; Serrano Guzmán, S. y Salinas Ordaz, D. (2003). Captación de semilla de moluscos bivalvos nativos y análisis de la colonización de sustratos artificiales en la Bahía de Tangolunda, Oaxaca, México. En Mem. I Foro de Intercambio Científico sobre Recursos Bentónicos de México. (1- 3 de Septiembre de 2003).
- Tucker, R. (1974). American Seashells: The Marine Mollusca of the Atlantic and Pacific Coasts of North America. Van Norstrand Reinhold Company. Nueva York – EE.UU. 663 pp.



Evaluación de diferentes modelos de cestas en el cultivo final de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador

Evaluation of different basket models in the final culture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793), in the Chone river estuary, Manabí province, Ecuador

Katty Maricela Cagua Alcívar, Ileana Pamela Lucas Lucas, Luis Manuel Treviño, Jorge Vélez-Falcones, Alan García Bermúdez, César Lodeiros

Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos, Escuela de Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí.

 Katty Maricela Cagua Alcívar () E-mail: kathicagua_92@hotmail.com

RESUMEN | Se evaluó el uso de tres tipos de cestas (linternas y cestas australianas de importación, y cajas frutícolas) para el cultivo final de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* bajo condiciones de cultivo suspendido en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador, durante 3 meses. Las ostras (58 mm en longitud antero-posterior) fueron sembradas a una densidad equivalente a la cobertura del 50% de la superficie de la base de las cestas. Los resultados muestran que las ostras alcanzaron la misma longitud en todas las dimensiones de la concha a excepción del eje antero-posterior en las cajas, donde las ostras tuvieron un valor significativamente mayor (~94 mm cajas, ~83 mm en el resto de cestas). Se concluye que al utilizar cajas se producen ostras más alargadas en concha, lo que provocan una visualización de ostras más grandes. La utilidad del mercado de estas ostras en forma alargada depende del mercado de calidad y percepción del comprador de ostras, el cual aún no se ha establecido en Ecuador. La escogencia de una u otra cesta de cultivo dependerá tanto del mercado y de un análisis económico de las cestas. Dada la dependencia de importación de cestas linternas y australianas, y sus costos más elevados, las cajas de origen frutícola parece ser una opción para el cultivo de *C. gigas*.

Palabras clave: Crecimiento de bivalvos, modelos de cestas, cultivo final, *Crassostrea gigas*, estuario del río Chone.

ABSTRACT: The use of three types of baskets (lanterns and Australian baskets from importation, and fruit boxes) was evaluated for the final culture of Pacific oyster *Crassostrea gigas*, under suspended conditions in the Chone river estuary, Manabí province, Ecuador, during 3 months. The oysters (58 mm in antero-posterior length) were cultured with a density equivalent to covering 50% of the surface of the base of the baskets. The results show that the oysters reached the same length in all dimensions of the shell except for the anteroposterior axis, where the oysters in the boxes reached a significantly higher value (~94 mm boxes, ~83 mm rest of baskets). It is concluded that, when the boxes is used more elongated oysters in the shell are produced, and larger oysters are displayed. The market utility of these elongated oysters depends on the quality market and perception of the oyster consumer, which has not yet been established in Ecuador. The choice of one or another growing basket will depend on both the market and an economic analysis of the

baskets. Given the foreign import dependence on lantern and Australian baskets, and their higher costs, boxes of fruit origin appear to be an option for growing *C. gigas*.

Keywords: Bivalve growth, basket models, final culture, *Crassostrea gigas*, Chone river estuary.

INTRODUCCIÓN

La ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793) es uno de los moluscos más importantes en la acuicultura mundial, con más de 600.000 t producidas en 2017 (FAO 2019). La adaptabilidad de esta especie a factores influyentes en la fisiología de los invertebrados marinos (temperatura, salinidad, etc.), ha permitido que pueda cultivarse en diferentes latitudes y varios sistemas (estuarios, lagunas, mares y costa afuera). En aguas ecuatoriales los resultados han sido alentadores, razón por la cual la ostra del pacífico es considerada como una de las principales especies para la diversificación de la acuicultura (Álvarez *et al.* 2008, Lodeiros *et al.* 2018). Pocos han sido los estudios publicados sobre la biología, ecología y fisiología de esta especie bajo cultivo; Lombeida (1997) muestra información del crecimiento de *C. gigas* en reservorios, drenajes, pre-criaderos y piscinas utilizados para el cultivo de camarones, estableciendo una elevada factibilidad de cultivo particularmente en periodos de aguas frías. Lodeiros *et al.* (2018) muestran el crecimiento, junto con la supervivencia y la influencia de factores ambientales en Ayangue, Provincia de Santa Elena, encontrando una elevada factibilidad biológica, donde los organismos alcanzan tallas comerciales de 60-80 mm en un año con supervivencias de 60-65%.

Recientemente en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador, se proyecta la posibilidad de establecimiento de cultivos comerciales, dada la factibilidad biológica y económica de su cultivo en suspensión (Vélez-Falcones 2019, Treviño *et al.* 2020); sin embargo, sus técnicas deben ser optimizadas, siendo la selección de cestas de cultivo un aspecto primordial. El objetivo principal de este trabajo plantea, evaluar el uso de diferentes modelos de cestas en el cultivo final de la ostra del Pacífico *C. gigas* (Thunberg 1793), bajo condiciones de cultivo suspendido en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

Los ejemplares de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* fueron suministradas por el Grupo de Investigación en Biología y Cultivo de Moluscos (INBICUM) de la Universidad Técnica de Manabí, con longitud antero-posterior promedio de: (58,0 ± 9,32 mm), provenientes de cultivos con técnicas

establecidas por Treviño *et al.* (2020). Las ostras fueron sometidos a engorde final durante 3 meses (7 agosto-6 noviembre 2020), en cultivo suspendido en una balsa experimental utilizando tres diferentes tipos de cestas: linternas, cestas australianas de importación, y cajas frutícolas (Fig. 1), con la finalidad de evaluar el efecto del uso del tipo de cestas de cultivo sobre el crecimiento de las ostras. En el experimento se utilizaron cuatro réplicas. Las ostras se repartieron en los tres modelos de cestas (Fig. 2), conteniendo la densidad de 60 organismos/piso de linterna, (previamente establecido por Vélez *et al.* 2020), y sus equivalentes en recubrimiento del piso de las cestas de 67 organismos en cajas y 104 organismos en cestas australianas.



Figura 1. Ubicación geográfica de plataforma experimental de cultivo en el estuario del río Chone provincia de Manabí, Ecuador ($0^{\circ}36'29,20''$ S; $80^{\circ}25'21,24''$ W).



Figura 2. Selección y siembra de las ostras *Crassostrea gigas* en los diferentes modelos de cestas.

Para evaluar el crecimiento de *C. gigas* se tomaron 15 organismos de cada réplica en función de determinar la dimensión de concha en sus ejes antero-posterior, dorso-ventral y entre valvas, con un vernier digital (0,01 de precisión). A cada organismo se le separó los tejidos blandos de la concha, a los cuales se determinaron su masa seca, por deshidratación en una estufa a ($65^{\circ}\text{C}/72\text{ h}$) y pesándolos en

una balanza digital (0,001 g de apreciación, Fig. 3). Al final del estudio los valores absolutos de estos parámetros fueron contrastados a través de los índices de confianza al 95%, visualizados en gráficas comparativas.



Figura 3. Biometría de organismos y obtención de masa seca de *Crassostrea gigas*.

En función de observar posibles eventos que pudieron perturbar el experimento y su amortiguación por el tipo de cestas, se determinó dos veces por semana, la temperatura con un Multiparámetro YSI 550A (0,01 ppm de precisión), la salinidad con un refractómetro de 0.1 UPS de precisión) y la transparencia mediante la precepción de la visibilidad usando el disco secchi (Fig.4).

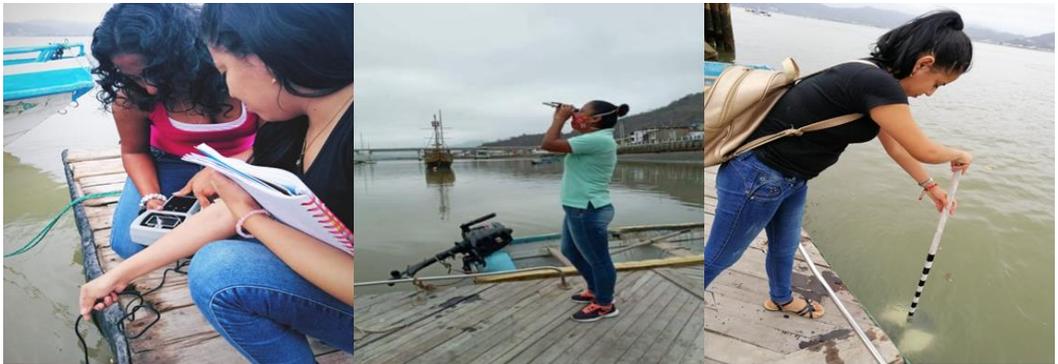


Figura 4. Registro de parámetros ambientales temperatura, salinidad y transparencia.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra las medias mensuales de los parámetros ambientales medidos. Las temperaturas, se manifestaron sin variaciones elevadas y se establecieron con medias mensuales de unos 26 °C, lo valores de salinidad estuvo entre 26 a 30 UPS y los de transparencia de 43 a 66 cm, indicando una elevada concentración de partículas en suspensión.

Tabla 1. Variables de los parámetros ambientales registrados durante el cultivo experimental de la ostra *Crassostrea gigas* realizados en el estuario del río Chone.

MES	Temperatura (°C)	Salinidad (UPS)	Transparencia (cm)
AGO	26,03±0,38	29,5±1,07	53,38±14,03
SEP	26,31±0,95	26,71±2,36	43,57±12,49
OCT	26,56±0,17	30,44±0,53	66,13±27,58

En los tres tipos de cestas se manifestó un crecimiento significativo durante el periodo experimental; por ejemplo, de 58 mm inicial en longitud antero-posterior se alcanzaron a más de 80 mm al final del estudio (talla estimada comercial). Las ostras alcanzaron la misma longitud en todas las dimensiones de la concha a excepción del axis antero-posterior en las cajas, donde las ostras obtuvieron un valor significativamente mayor (94,37±0,59 cajas, 82,93-83,34 mm en el resto de cestas; Fig. 5.)

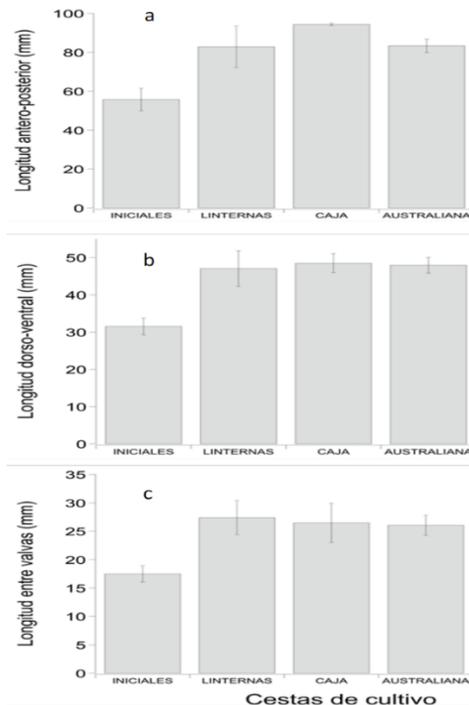


Figura 5. Crecimiento en longitud antero-posterior (a), longitud dorso-ventral (b) y longitud entre valvas (c). Líneas verticales indican el intervalo de confianza al 95%.

Al final del experimento, aunque las masas del tejido seco de las ostras fueron significativamente iguales en todas las cestas, en un intervalo de 2,2-2,4 g, no obstante, las ostras mantenidas en las cajas alcanzaron valores mayores en masa de la concha ($55,15 \pm 9,72$), al menos significativamente superiores que las cestas australianas ($38,43 \pm 1,88$; Fig. 6).

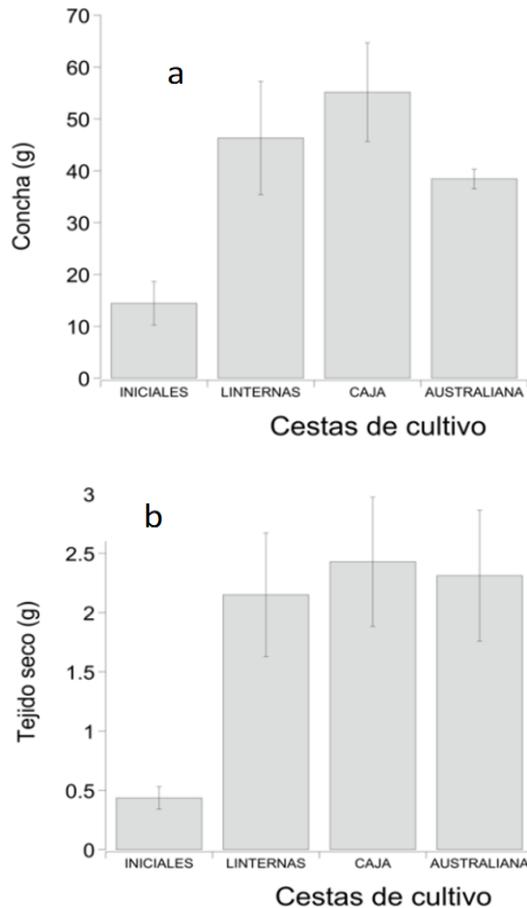


Figura 6. Crecimiento de la concha (a) y tejidos secos (b).

La supervivencia al final del estudio estuvo sobre el 83%, sin diferencias significativas (Fig.7).

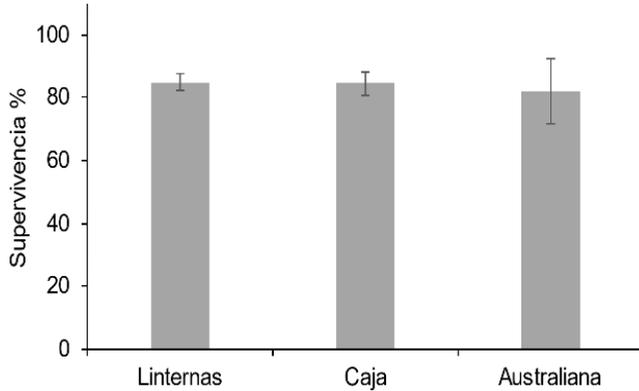


Figura 7. Supervivencia de la ostra al final del experimento según el tipo de cestas.

DISCUSIÓN

Los rangos de factores ambientales examinados estuvieron en los intervalos óptimos de crecimiento de *Crassostrea gigas* (FAO 2021). De hecho, las tallas alcanzadas en el engorde de 3 meses de cultivo, son superiores a las alcanzadas en otras latitudes y similares a las ya determinadas por Treviño *et al.* (2020), corroborando el rápido crecimiento desarrollado por *C. gigas* en el estuario del río Chone, provincia de Manabí, Ecuador.

La supervivencia en el periodo de estudio estuvo por encima del 80% para los tres tipos de cestas utilizados (~83%).

El crecimiento fue similar en los tres tipos de cestas, solo hay diferencia de un mayor crecimiento en concha (axis antero-posterior y masa) de los organismos confinados en cajas, particularmente por tener mayor longitud antero-posterior, lo cual condujo a una mayor deposición de concha.

Evidentemente, las ostras confinadas en las cajas muestran un alargamiento en concha, esto puede deberse a que las cajas poseen una superficie plana a diferencia de las linternas y cestas australianas, lo cual puede causar una forma más plana y alargada del organismo. Este comportamiento ha sido observado en el cultivo de cajas en cultivo de ostras en camaronerías (observación personal). Aunque las ostras de las cajas pudieran tener un aspecto visual de ser mayores, en ciertos mercados es importante una armonía entre sus dimensiones antero-posterior, dorso-ventral donde la longitud entre valvas para la forma preferida cóncava es importante (Mizuta *et al.* 2018).

Nuestros resultados muestran que al utilizar cajas se producen ostras más alargadas en concha, que provocan una visualización de ostras más grandes, y que su utilidad depende del mercado de preferencia de la forma de las ostras, el cual aún no se ha establecido en Ecuador. La escogencia de una u otra cesta de cultivo dependerá tanto del mercado y de un análisis económico de las cestas. Dada la dependencia de importación de cestas linternas y australianas, y sus costos más elevados, las cajas de origen frutícola parece ser una opción para el cultivo de *Crassostrea gigas*.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación es parte parcial del proyecto “Evaluación de diferentes modelos de cestas *Crassostrea gigas* en el estuario del río Chone, Provincia de Manabí, Ecuador”, financiado por la Universidad Técnica de Manabí, cumpliendo objetivos de las tesis de K. Cagua y P. Lucas.

REFERENCIAS

- Álvarez, R., Cobo, L., Sonnenholzner, S. y Stern, S. 2008. Estado actual de la acuicultura de moluscos bivalvos en Ecuador. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 129–133.
- FAO (2019). Fishery statistical collections. Global Aquaculture production. In FAO Fisheries and Aquaculture Department. Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/> en www.fao.org/fishery/statistics/software/fishes/tatj/es.
- FAO (2021). Cultured Aquatic Species Information Programme. *Crassostrea gigas*. Cultured Aquatic Species Information Programme. In M. M. Helm (Ed.), FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 13 April 2005. Retrieved from http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas.
- Lodeiros C., Rodríguez-Pesantes D., Márquez A., Revilla J., Chávez-Villalba J., Sonnenholzner S. 2018. Suspended cultivation of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* in the eastern tropical pacific. *Aquaculture international* 26(1): 337-347.
- Lombeida P. 1997. Manual para el Cultivo de Ostras en Granjas Camaroneras. Proyecto JICA-CENAIM. 25 pp.

Mizuta D.D., Wikfors G.H. 2018. Seeking the perfect oyster shell: a brief review of current knowledge. *Reviews in Aquaculture* 11: 586-602.

Treviño, L., Lodeiros, C., Vélez-Falcones, J., Chávez-Alcivar, C., Isea-León, F., Bermúdez-Medrandá, A. E., Vélez-Chica J.C., Cruz-Quintana Y., Leal D., Santana-Piñeros A.M. Rodríguez-Pesantes, D. (2020) Suspended culture evaluation of Pacific oyster *Crassostrea gigas* in a tropical estuary. *Aquaculture Research*. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.14556>.

Vélez-Falcones J., Treviño L., Uribe E., Lodeiros C. 2020. Efecto de la densidad de cultivo de la ostra del pacífico *Crassostrea gigas* en engorde final en Bahía de Caráquez, provincia de Manabí, Ecuador. *Foro de Recursos Marinos y Acuicultura de las Rías Gallegas*. 21: 243-253.



Adaptación en jaulas de semillas de concha prieta (*Anadara tuberculosa*), producidas en laboratorio a zonas de ecosistema de manglar

Adaptation in cages of seeds Concha Prieta (*Anadara tuberculosa*), produced in laboratory to areas of mangrove ecosystem

Diego Cumbicos Ortega¹. Heydy González Rojas²

¹ ISTO- ALPRODIC, Ecuador

² Tecnología en Acuicultura

✉ **Diego Cumbicos Ortega** () E-mail: diego_cumbicos@hotmail.com

RESUMEN | *Anadara tuberculosa*, es un molusco bivalvo que tiene una alta demanda de consumo en el mercado ecuatoriano, por lo que se ha visto afectado en las poblaciones de los bancos naturales. En esta investigación, se evaluó la capacidad de adaptación de semillas producidas en *hatchery* a zonas de ecosistema de manglar, el tiempo de evaluación fue superior a 42 días y se llevó un control de los parámetros físicos-químicos además de biometría y supervivencia de la especie.

Palabras clave: *Anadara tuberculosa*, adaptación, jaulas marinas.

ABSTRACT | *Anadara tuberculosa*, is a bivalve mollusk that has a high consumer demand in the Ecuadorian market, which is why it has been affected in the populations of natural banks. In this research, the adaptability of seeds produced in hatchery to mangrove ecosystem areas was evaluated, the evaluation time was greater than 90 days and a control of the physical-chemical parameters in addition to biometry and survival of the species was carried out.

Palabras clave: *Anadara tuberculosa*, adaptation, marine cages

INTRODUCCIÓN

El cultivo de moluscos en el Ecuador inició en 1990 en el Centro Nacional de Investigaciones Marinas (CENAIM) de la Escuela Politécnica Nacional, adoptando a la especie ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*), posteriormente desarrolló el cultivo de pectínido nativo, (*Argopecten ventricosus*) (FAO, 2007).

Estas experiencias se vieron limitadas por falta de políticas gubernamentales que impulsen la producción acuícola de las especies y desde esa fecha son escasas las investigaciones en relación al cultivo de moluscos-bivalvos.

Investigaciones actuales se orientan a plantear alternativas para el manejo sostenible de la especie. La primera fase se orienta a la repoblación de los bancos naturales de *A. tuberculosa*, sin embargo, es una actividad que requiere del estudio de la biología, además de la viabilidad técnica, operativa y económica para la producción de semillas en *hatchery*. En este sentido, existen experiencias expuestas por (Retamales, Panta, & Vélez, 2014), que generaron larvas a partir de métodos de inducción por salinidades; sin embargo, esta experiencia se vio afectada por presencia de bacterias y parásitos, lo que amerita conocer más sobre esta especie. La segunda fase es iniciar el estudio para determinar el protocolo de adaptación de las semillas producidas en *hatchery*, en el ecosistema de manglar y/o en diversos ecosistemas acuáticos por medio de jaulas, long-line u otra alternativa

MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas fueron producidas en el área experimental del Instituto Superior Tecnológico “El Oro” situado en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, Ecuador, con coordenadas -3.257272, -79.94073. La adaptación de las semillas fue evaluada en dos sectores correspondientes a Las Huacas ubicado en el archipiélago de Jambelí, con coordenadas referenciales -3°20'50.32" y -80° 9'46.61", de igual forma se evaluó en un estanque de cultivo con coordenadas referenciales -3°20'29" y -79° 58'39", (para la presente investigación solo se considera los datos obtenidos en el escenario del estanque acuícola)

El proceso de adaptación, comprende lo siguiente:

Transporte de la semilla

El traslado de las semillas se realizó posterior a los 80 días de haber generado el desove coincidiendo con lo recomendado por (Lodeiros & Lovatelli, 2019), que sugieren transferir las semillas de moluscos cultivados en *hatchery* a partir de 1 mm, debido a su óptima condición para adaptarse al medio marino

Nuestra experiencia conto con dos larvarios (procedentes de dos cohortes), para el caso del primer larvario, (resultados expuestos en la presente investigación), una vez obtenidas las semillas se consideró aclimatar los individuos y una vez alcanzada la longitud de 5 mm, se procedió a trasferir; en el sito de adaptación se midieron los parámetros relacionados a temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto

Elaboración de jaulas marinas

Para la elaboración de las jaulas flotantes, se utilizó materiales plásticos, con diseño similar a una canastilla, el diseño consistió en realizar un corte rectangular en los laterales a un envase plástico con tapa, para posteriormente colocarle malla tejida con un ojo de malla correspondiente a 1,27mm x 1,82mm (la malla utilizada fue similar al que se utiliza para comederos de camarones de cultivo de *Litopenaeus vannamei*), se consideró utilizar esta malla para facilitar el ingreso del agua. De igual forma sobre la parte externa del balde se colocó una malla tejida plástica romboide de 5 x 5 mm para evitar el ingreso de los predadores (especialmente peces). Fig.1. Las medidas del envase correspondieron a 25 x 25 x 40 cm y se colocó un total de 480 individuos.



Figura 1. Canastillas donde se depositaron las semillas de conchas

Monitoreo de parámetros y Biometría

El control de supervivencia, biometría y monitoreo de parámetros se realizó de manera quincenal.



Figura 2. Monitoreo de semillas de *A. tuberculosa*, Primera semana de adaptación

En esta fase se procedió a registrar los datos en una bitácora de campo y así mismo se ejecutó la limpieza de la jaula con la ayuda de un cepillo de cerdas plásticas para eliminar todo tipo de sólidos adheridos a la malla Fig.2. Con la finalidad de evitar el ingreso de predadores y el escape de las semillas, se verificó el reforzamiento de la malla tanto de la malla interna como externa.



Figura 3. Retiro de jaula de la piscina y monitoreo de crecimiento

Adaptación en jaulas de semillas de concha prieta (*Anadara tuberculosa*)

Para determinar biometría, se procedió a retirar la jaula de la piscina, y se realizó la medición de cada uno de los individuos, en esta actividad se procedió a descartar las especies muertas para determinar supervivencia Figs.3 y 4.



Figura 4. Monitoreo de semillas a los 30 días de adaptación

Los parámetros, fueron monitoreados con los siguientes equipos Medidor de oxígeno YSI Pro20., PHmetro digital HI98128, Salinometro ATC, Kit API AMMONIA NH₃/ NH₄ y el análisis biométrico se realizó con un calibrador (Stanley 0-6"/0-150mm) y una balanza (PCS 0.01g).

RESULTADOS

El monitoreo de supervivencia, crecimiento de las semillas, al igual que los parámetros de calidad de agua, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Monitoreo de parámetros físicos por semana

Semana	T° (°C)	Parámetros Físicos			
		Oxíg. Disuelto (g/L)	Salinidad (ppm)	pH	Amonio (mg/L)
1	30,1± 1	2,55±0,5	21±1	7,0±0,2	0,25±0,02
2	30,2±1	2,77±0,6	21±1	7,0±0,2	0,25±0,01
3	29,5±1	2,24±0,5	20±1	7,0±0,2	0,25±0,02
4	31,0±1	2,62±0,6	20±1	6,8±0,2	0,25±0,01
5	29,7±1	1,35±0,5	21±1	6,8±0,1	0,25±0,01
6	30,0±1	1,28±0,6	23±1	6,3±0,1	0,25±0,02

La tabla 1, indica el comportamiento de la calidad del agua cuyos valores fueron uniformes, en lo que se refiere a temperatura, el menor valor fue de 29.5 °C y el valor máximo de 30.2°C con una diferencia es de 0.7°C, en lo que corresponde a salinidad se determinó valores que oscilaron entre 20 y 21 (ppm), para el oxígeno disuelto presento valores entre 2.24 hasta 2.77 mg/L.

Tabla 2. Biometría *Anadara tuberculosa*

	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana	5 semana	6 semana	Promedio
Longitud (mm)	5,45± 0,01	5,88 ±0,02	7,92 ±0,02	8,9 ±0,02	9,14 ±0,02	10,11 ±0,02	0,9 ± 0,01
Ancho (mm)	3,48 ± 0,02	3,71 ±0,02	5,07 ±0,01	5,2±0,01	6,21±0,02	7,3±0,02	0,6±0,02
Espesor (mm)	2,57± 0,02	3,38± 0,02	3,71±0,01	3,3±0,01	4,05 ±0,01	5,05 ±0,01	0,37±0,01

La tabla 2, muestra los parámetros biométricos de la especie, los valores indican crecimiento semana a semana, las semillas pueden llegar a alcanzar una longitud de 2 a 3 mm.

Tabla 3. Supervivencia de los individuos de *A. tuberculosa*

Semana	Individuos	%Supervivencia
1	480	100%
2	186	39%
3	175	36%
4	115	24%
5	108	22%
6	58	12%

En la tabla 3, se muestra el monitoreo semanal de los individuos, el comportamiento de la semana 1 a la semana 2 se obtuvo una alta mortalidad, se presume que los factores que más incidieron, fueron: (1) la adaptabilidad de la especie de las condiciones del laboratorio a las condiciones del medio natural (estanque acuícola), (2) el control debió ser diario considerando que es un punto crítico de control (P.C.C). A partir de la 2 semana las semillas presentar una mortalidad menor asociando a la adaptabilidad de la especie. De igual forma se puede observar que existe una variación semana 6, se presume que la adaptación de la especie presenta ese comportamiento.

DISCUSIÓN

Actualmente, a pesar de que existen manuales para la producción de semillas de *A. tuberculosa*, aun no se ejecutan actividades en relación al cultivo de esta especie, es así que la Subsecretaria de Acuicultura en coordinación con Concepto Azul, en el 2015, elaboraron el manual práctico de producción de concha prieta *A. tuberculosa*, sin embargo, no se refleja datos de crecimiento de la especie en cautiverio.

Así mismo (Mendoza & Alvitres, 2015) reporta el engorde de semillas producidas en laboratorio de *A. tuberculosa* a través de corrales en Perú, con crecimientos obtenidos de 22.84 mm hasta 27.77 mm en 12 meses de monitoreo. Los resultados de la presente investigación fueron de 18.90 mm hasta 21.50 mm en los cinco meses de estudio que duró el monitoreo de la especie

CONCLUSIONES

Los factores físico-químicos (temperatura, oxígeno, pH, salinidad), presentaron uniformidad durante el monitoreo del estudio de la calidad de agua, por lo que se asocia que no mostraron influencia sobre el incremento en longitud en el cultivo de *A. tuberculosa*.

Los valores obtenidos en relación a biometría permiten ser optimistas en cuanto al desarrollo de adaptación de las especies, de mantenerse los resultados en relación al aumento de la talla de la especie, es un antecedente para que se continúe con la investigación de adaptación de la especie

Agradecimientos

Fundación Heifer Ecuador

Instituto Superior Tecnológico El Oro

Empresa Pública UTMACH – EP de la Universidad de Machala, Ecuador.

REFERENCIAS

- Lodeiros, C., & Lovatelli, A. (2019). Producción de semillas de la ostra perla *Pinctada imbricata*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 96 pp.
- Mendoza, O., & Alvitres, V. (2016). Crecimiento y supervivencia de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) a tres densidades. Revista de Investigación Científica. Obtenido de <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/35>.

Retamales, R., Panta, P., & Velez, J. (2014). Inducción al desove de la Concha Prieta *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) en condiciones de laboratorio. *Revista La Técnica*, 12: 56-63.

Subsecretaria de Acuicultura, Manual práctico de producción de concha prieta “*Anadara tuberculosa*”, en condiciones de laboratorio, (2015). 26 pp.



Evaluación de probióticos aislados en costas marinas contra *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND) en *Litopenaeus vannamei*

Assessment of probiotic isolated from marine coasts, against *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND) in *Litopenaeus vannamei*

Lucio Galaviz-Silva¹, Gabriel Enrique Cázares-Jaramillo¹, José C. Ibarra-Gómez², Vida Mariel Molina Garza¹, Ricardo Sánchez-Días², Zinnia Judith Molina-Garza¹

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Unidad B, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. 66455.

² Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México.

✉ Lucio Galaviz-Silva () E-mail: lgs12167@yahoo.com

RESUMEN | Las epizootias de la necrosis hepatopancreática aguda (AHPND) causados por *Vibrio parahaemolyticus* (VP-AHPND) surgieron en México en 2013, la cual causó una caída del 65% en el tonelaje de camarón producido y en algunas regiones alcanzó un 95% de mortalidad. Como una solución a este problema, el objetivo del presente trabajo fue aislar las mejores cepas bacterianas de los ecosistemas marinos mexicanos para evaluar el antagonismo de la microbiota contra VP-AHPND y elegir cepas con funciones protectoras contra este patógeno para un tratamiento acuícola amigable con el medio ambiente. Se colectaron moluscos, crustáceos, minas de sal y agua de mar de diferentes ecosistemas de la costa de Sonora. Las bacterias se aislaron en agar marino y agar soja tripticaseína. El patógeno-AHPND y los aislados se identificaron por secuenciación de la región 16SADNr. Entre 258 cepas bacterianas, solo 17 mostraron actividad antagonista in vitro, pero únicamente cinco, 32a, 43, H-A, Y119 e Y100, se eligieron en base a ensayos de sobrenadante libre de células. En los resultados del bioensayo con camarón blanco destacaron *Vibrio alginolyticus*-32a con una mortalidad acumulada de 4.76%, seguido por *Bacillus pumilus*-Y100 (12.54%) y *Vibrio campbellii*-H-A (16%); en cambio *Bacillus pumilus*-Y119 y *Bacillus pumilus*-43 no mostraron ninguna protección o efecto beneficioso contra VP-AHPND. El reaislamiento de patógenos en CHROMagar *Vibrio* y qPCR se realizó solo en el control positivo y la cepa H-A; sin embargo, 32a, Y100, Y119, 43 y un control negativo produjeron colonias de color rosa cremoso y azul lo que indica la ausencia de VP-AHPND, que se confirmó con una qPCR negativa. Este resultado sugirió que lograron inhibir el patógeno con un efecto microbicida.

Palabras clave: Probióticos, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio campbellii*, *Bacillus pumilus*, *Litopenaeus vannamei*.

ABSTRACT | Outbreaks of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND), caused by *Vibrio parahaemolyticus* (VP-AHPND), arise from Mexico in 2013, this caused a 65% drop in tonnage of shrimp production and in some regions reached a 95

% of mortality. As a solution to this problem, the objective of the present work was to isolate the best bacterial strains from marine ecosystems to assess the antagonism against VP-AHPND, and then, to choose the strains with protective role against the pathogen to get a friendly treatment with environment. Molluscs, crustaceans, salt mines, and marine water were collected from different ecosystems of Sonora's coasts. The bacteria were isolated in marine agar and trypticase soy agar. VP-AHPND and the isolates antagonists were identified by 16Sr DNA sequencing. Among 258 bacterial strains, only 17 showed antagonist activity in vitro, but only five, 32a, 43, H-A, Y119 and Y100 were selected, based in their activity in cell-free supernatant assays. In our results of bioassay with white shrimp, stand out *Vibrio alginolyticus*-32a, with a lower cumulative mortality of 4.76%, followed by *Bacillus pumilus*-Y100 (12.54%) and *Vibrio campbellii*-H-A (16%); negative results were observed with *Bacillus pumilus*-Y119 and *Bacillus pumilus*-43, which did not showed any protective role nor a beneficial effect against VP-AHPND. The re-isolation of pathogenic VP-AHPND were re-isolated in CHROMagar Vibrio and their presence by qPCR were demonstrated in the positive control and the strain H-A; however, good results were obtained with 32-a, Y100, Y119, 43 and the negative control, which produced pink and blue colonies, with a negative qPCR results, which indicated the absence of VP-AHPND. This result suggest that these these strains succeeded in inhibiting the pathogen with a microbicidal effect.

Keywords: Probiotics, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio campbellii*, *Bacillus pumilus*, *Litopenaeus vannamei*.

INTRODUCCIÓN

En México se encuentra entre los principales países productores de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, ubicándose en el séptimo lugar. La producción de camarón en el país aumentó en 65.5% durante los últimos cuatro años, por lo que esta actividad se ubica en el segundo lugar de importancia entre los productos pesqueros del país con 223.965 mil toneladas, principalmente de cinco estados (Sonora, Sinaloa, Nayarit, Tamaulipas y Baja. California Sur), con ~ 90% de producción, principalmente con un sistema semi-intensivo (Torres y Méndez, 2018).

Sin embargo, el cultivo de camarón enfrenta continuamente graves pérdidas, siendo afectado por patógenos de origen viral, fúngico, parasitario y bacteriano. Entre las enfermedades infecciosas, la vibriosis es la enfermedad más extendida en peces, moluscos y crustáceos a nivel mundial, lo que provoca graves pérdidas económicas en la industria camaronera (Dubert *et al.*, 2016), hasta el momento, veinte especies del género *Vibrio* sp. habían sido reportados como patógenos del camarón blanco *L. vannamei*, (Heenatigala y Fernando, 2016). *Vibrio parahaemolyticus* (VP) y *V. harveyi* son las principales especies que causan vibriosis en camarones, sin embargo, VP ha sido reconocido como el agente causante del Síndrome de Mortalidad Temprana (EMS), actualmente conocido como Enfermedad de Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND) y considerada como la más nueva enfermedad emergente del camarón, esta patología comenzó en 2009 en la industria camaronera china y se extendió rápidamente a otros países (2010-2012) como Vietnam, Malasia, Tailandia (Flegel, 2012);

sin embargo, más tarde en 2013 se informaron brotes en México con un 65 % de caída en toneladas de camarón producidas y causó tasas de mortalidad de hasta 95%.

La presencia de vibrios patógenos en estanques camaroneros había llevado a los productores a mejorar las medidas de monitoreo y control tradicional de enfermedades con terapia antibiótica, sin embargo, el uso inadecuado y generalizado de antibióticos ha resultado en el desarrollo de múltiples cepas resistentes (Balcázar y Rojas-Luna, 2007). Una solución alternativa para el control de microorganismos patógenos es la suplementación con bacterias beneficiosas que producen metabolitos activos con actividad inhibitoria frente a patógenos, como agente probiótico frente a infecciones para lograr su posterior erradicación (Girija *et al.*, 2018). La aplicación del uso de probióticos como tratamientos amigables con el medio ambiente en la acuicultura ha surgido por el creciente interés de sustituir el tratamiento profiláctico de enfermedades por antibióticos, debido a sus consecuencias negativas, como desarrollo de la farmacoresistencia. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son aislar cepas bacterianas de ecosistemas marinos mexicanos para evaluar el antagonismo de la microbiota cultivable contra VP-AHPND *in vitro* y evaluar las mejores cepas mediante desafíos *in vivo* con bioensayos de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se recolectaron muestras de las costas mexicanas del estado de Sonora: Guásimas (27° 53'09" N 110° 34'54" O) y Yavaros (26° 42'17" N 109° 31'07" O).

Aislamiento de las cepas bacterianas marinas

Se recolectaron al azar muestras de algas de manglar, lodo sedimentario, almejas chinas, cangrejos ermitaños, cangrejos azules, sedimentos salinos y agua de mar. Estas se sembraron en agar marino (MA), agar soya tripticaseína (TSA) y caldo de soya tripticaseína (TSB) con el 2 % de NaCl.

Evaluación de la actividad antibacteriana basada en la prueba de difusión de pozos (CFS)

Se probó una variante con el sobrenadante sin células (CFS) en las mismas condiciones de cultivo. Se centrifugó un mililitro de cada antagonista de los cultivos a 10,000 g, durante 10 min a 4 ° C (Legend 21R Thermo Fisher, Waltham, MA, EE.UU.) y el sobrenadante libre de células con productos extracelulares se filtró en membranas de nailon de 0.2 mm. La cepa patógena de VP-AHPND (~ 10⁶ UFC/ml, DO a 600 nm) se cultivó durante la noche en caldo marino + NaCl al 2% a 32 ° C, y se tomaron 100 µL con una micropipeta y se colocaron en placas Petri con TSA (Pooljun *et al.*, 2020). Posteriormente se hicieron cuatro pocillos a la misma distancia y se dispuso un volumen de 100 µL de

cada aislado marino en tres pozos y TSB estéril como control negativo en el cuarto pocillo. A continuación, las placas se incubaron a 28-32 ° C durante 24 h. La actividad anti-VP-AHPND se evaluó como el diámetro (mm) de la zona de inhibición entre el disco y el césped bacteriano (Gao *et al.*, 2017).

Identificación de cepas bioactivas por ADN ribosómico bacteriano 16S y pruebas bioquímicas

Los aislados bacterianos, positivos para actividad antagonista, se cultivaron durante la noche en TSA-NaCl y MA-NaCl a 28-32 ° C. Se tomaron tres colonias bacterianas usando un asa estéril y se resuspendieron en solución salina tamponada con fosfato (PBS). El ADN genómico se aisló mediante el protocolo de extracción PBS 1X + Tween 20 0.05% (López y Mejía, 2012; Galaviz-Silva *et al.*, 2018).

Las reacciones en cadena de la polimerasa se realizaron en un termociclador MultiGene (Labnet International Inc., Edison, NJ, EE. UU.) y se llevaron a cabo en las siguientes condiciones: desnaturalización inicial a 94 ° C / 2 min seguida de 35 ciclos de amplificación a 94 ° C / 35 s, 55 ° C / 1 min y 72 ° C / 1 min (Balqadi *et al.*, 2018). Se realizó un ciclo de extensión final a 72 ° C durante 5 min. Los productos de PCR también fueron amplificados y secuenciados en la compañía Macrogen (Seúl, Corea del Sur; http://foreign.macrogen.co.kr/eng/business/seq16s_rRNA_sequencing.html) usando su protocolo. Posteriormente, la purificación del producto obtenido de la PCR se analizó con una secuenciación bidireccional con los cebadores 785F 5' (GGA TTA GAT ACC CTG GTA) 3' y 907R 5' (CCG TCA ATT CMT TTR AGT TT) 3'. Estos resultados se compararon con el programa de nucleótidos BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) del NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) para conocer el porcentaje de similitud y su correspondiente identificación (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Una homología de identidad > 99% fue el criterio utilizado para identificar los aislamientos a nivel de especie.

Las pruebas bioquímicas fueron API 20 E y CHE 50 para conocer sus características y complementar la identificación basada en el 16 S rDNA.

Desafío de bioensayo con bacterias probióticas

Las mejores cepas antagonistas in vitro, Y100, 32a, H-A, 43 e Y119 fueron seleccionados para desafiar su actividad protectora en bioensayos contra VP-AHPND. Cada cepa probiótica se cultivó en TSB-N y se incubó a 30 ° C durante 24-48 h. (Tran *et al.* 2013; Soto-Rodríguez *et al.* 2015).

Se instalaron acuarios de 30 L con redes y bombas de aire individuales con líneas de aire de teflón por cada acuario. A continuación, los acuarios se llenaron con agua de mar artificial (Kent Marine, Franklin, WI, EE. UU.).

Suplementación probiótica: se prepararon cinco dietas experimentales diferentes (Y100, 32 A, HA, 43 y Y119) con bacterias probióticas recién cultivadas en TSB-N ($2,5 \times 10^8$ UFC / ml) y se pulverizaron 300 ml/kg de dieta de cada caldo, agregándose a los alimentos peletizados comerciales del camarón (Rangen, Inc, Buhl, ID, EE. UU.).

Todos los bioensayos probióticos se alimentaron diariamente dos veces al 3% del peso corporal a las 4 semanas. Posteriormente, se llevó a cabo la infección experimental, agregando 120 ml del inóculo, preparado con VP-AHPND a 2×10^8 células ml⁻¹ en TSB-N, $\sim 8 \times 10^5$ ml⁻¹ células por acuario. El control positivo se expuso a las mismas dosis de VP-AHPND patógeno y se alimentó a diario sin probióticos. El control negativo solo recibió TSB-N estéril (Tran *et al.*, 2013; Kewcharoen y Srisapoom, 2019).

Análisis estadístico

Los resultados se compararon utilizando ANOVA de un factor para evaluar las diferencias entre los aislamientos, seguido de una prueba HDS de Tukey con el software estadístico IBM SPSS v20. El ensayo de bioensayo con las cinco bacterias probióticas se analizó con la curva de supervivencia de Kaplan Meier y también mediante ANOVA de una vía seguido de la prueba de comparación múltiple de Dunnett utilizando Graph Pad Prism versión 8.3.1 (GraphPad Software, San Diego, CA, EE. UU.).

Muestreo y reaislamiento del patógeno VP AHPND

Se registraron los signos clínicos de muestras de camarones y se disecaron asépticamente muestras de hepatopáncreas, intestino y estómago, cultivándose una muestra en agar TCBS con incubación a 30° C/24 h. Posteriormente, las colonias verdes se transfirieron a CHROMagar Vibrio (Chromagar, París, Francia); las colonias de color malva (de VP) se analizaron mediante métodos moleculares (que se describen a continuación) para confirmar que las bacterias reaisladas eran las mismas que las del patógeno inoculado.

Identificación molecular de cepas patógenas

Se extrajeron muestras de ADN de colonias y tejidos de color malva con PBS 1X + Tween 20 al 0,05%, descrito anteriormente. El ADN aislado se analizó en busca de marcadores relacionados con AHPND, el plásmido pVA, utilizándose un sistema cuantitativo IQ REAL AHPND/EMS (Gene Reach Biotechnology Corp., Taiwán), de acuerdo con las instrucciones del proveedor. En resumen, cada mezcla de reacción de qPCR TaqMan (25 µL) contenía 1X de Real-Time PreMix, 4U de IQzyme DNA polimerasa y 2 µL de plantilla de gDNA. Se aplicó una condición térmica de dos pasos: 40 ciclos de 93 ° C durante 15 s y 60° C durante 1 min (Kumar *et al.*, 2020).

Histopatología

Un segundo conjunto de camarones moribundos fue muestreada e inyectados con fijador de AFA Davidson, procesados por técnicas histopatológicas y teñidos con hematoxilina y eosina (Lighter, 1996), luego, las secciones fueron examinadas por microscopía óptica para corroborar las lesiones clínicas de AHPND (Tran *et al.*, 2013; Soto-Rodríguez *et al.*, 2015).

RESULTADOS

Aislamiento de cepas bacterianas probióticas candidatas

Se aislaron doscientas cincuenta y ocho colonias bacterianas, de las cuales solo diecisiete cepas mostraron actividad antagonista

Ensayo antagonista utilizando el CFS

En la prueba con medios usados, CFS, demostró que cinco cepas (32a, 43, H-A, Y119 e Y100, 29,41%) de las diecisiete cepas ya mencionadas, mantuvieron su actividad inhibidora (diámetro de 18 a 40 mm) contra el patógeno marino (Fig. 1). El aislado 32a tuvo la mejor actividad, con un diámetro medio de 40 mm, mientras que Y100 mostró la actividad más baja, con un diámetro medio de 18 mm.

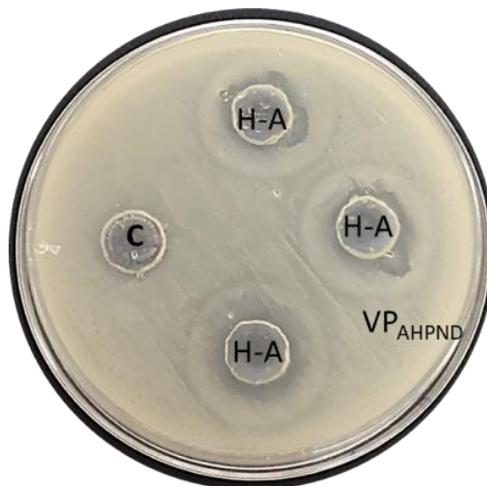


Figura.1 Resultados representativos de la prueba de difusión de pocillos con sobrenadante sin células (CFS) de medio gastado. El control negativo (C) no mostró zona de inhibición y las bacterias antagonistas se ensayaron por triplicado; el resultado de H-A se muestra en esta imagen con zonas de inhibición contra VP-AHPND.

Identificación bacteriana con pruebas bioquímicas y secuenciación de rDNA 16S

Aunque no era nuestro objetivo, era necesario conocer las características bioquímicas del probiótico candidato basado en API 20 NE y secuenciación del ADN ribosómico bacteriano 16S de las cepas bioactivas (Tabla 1).

Tabla 1. Las identidades de las cepas (género y especie) con actividad antagonista se determinaron mediante perfiles bioquímicos con pruebas API de bioMérieux y análisis de ADN ribosómico 16S bacteriano.

Código	Identificación 16S rDNA	% ID GB ^a	API 20 NE	% ID
32a	<i>Vibrio alginolyticus</i>	MT322115/99.65	<i>Vibrio alginolyticus</i>	85.9
H-A	<i>Vibrio campbellii</i>	MT322454.1/99.6	<i>Shewanella putrefaciens</i> group	99.9
43	<i>Bacillus pumilus</i>	99.87/MK696178	<i>Bacillus pumilus</i>	99.9
Y100	<i>Bacillus pumilus</i>	99.76/MK696187	<i>Bacillus pumilus</i>	99.9
Y119	<i>Bacillus pumilus</i>	99.60/MT597443	<i>Bacillus pumilus</i>	99.9

%ID GB: Número de acceso en el GenBank del NCBI/porcentaje de identidad con el BLAST.

Análisis estadístico de los bioensayos

El mejor porcentaje de supervivencia se obtuvo con la cepa *V. alginolyticus*-32a, con 4,76% de mortalidad acumulada, seguida de *B. pumilus*-Y100 con 12,54% y *V. campbellii*-H-A con 16% (Fig. 2). Estas cepas demostraron una protección eficaz como probióticos. Sin embargo, las cepas de *B. pumilus*-Y119 y *B. pumilus*-43 no mostraron ninguna protección o efecto beneficioso contra VP-AHPND (mortalidades acumuladas del 100% y 70%, respectivamente). El grupo de control positivo mostró una mortalidad acumulada más lenta, comenzando desde el día 2 hasta los 13 días después de la infección (dpi), que los aislados 43 y Y119, para los cuales la mortalidad comenzó de 4 a 9 dpi y 2 a 10 dpi, respectivamente. Los ensayos con Y100, H-A y 32a se mantuvieron constantes durante la observación durante 25 días después de completar los desafíos. El ANOVA de una vía mostró una diferencia significativa entre los ensayos con respecto al control ($F = 53,7$; $P < 0,05$, $r_2 = 0,613$, $DF = 12,1$). La prueba de comparaciones múltiples de Dunnett no demostró diferencias significativas

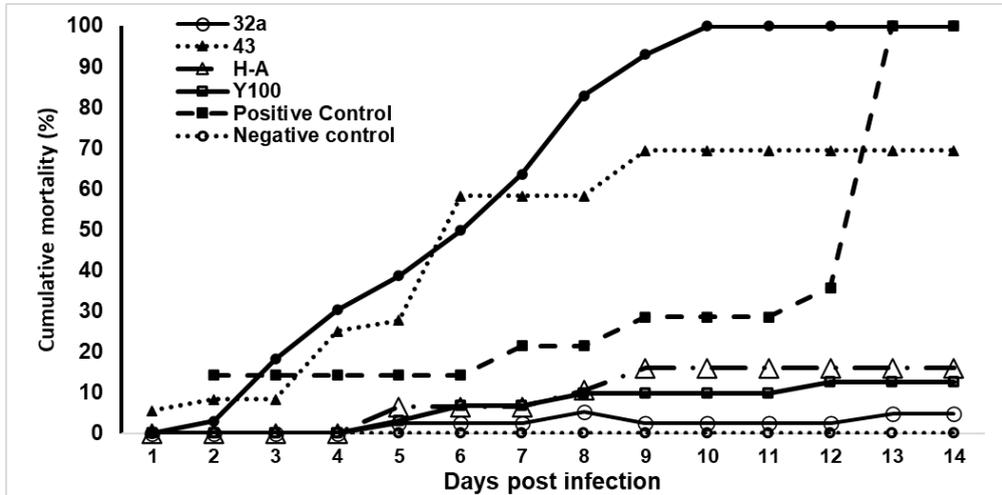


Figura 2 Ensayos de cepas inhibidoras contra VP AHPND en camarones (*Litopenaeus vannamei*). Solo las cepas 32a e Y100 mostraron un papel protector como buenos probióticos.

Reaislamiento en medios de cultivo y qPCR de la cepa patógena

Las muestras de tejido del hepatopáncreas, intestino y estómago del control positivo y los bioensayos de cepa H-A produjeron colonias verdes y malva en agar TCBS y CHROMagar Vibrio, respectivamente (Fig. 3), que correspondieron a VP-AHPND, con resultados también positivos por qPCR. En contraste, los otros ensayos con 32a, Y100, Y119, 43 y el control negativo arrojaron colonias rosa-cremosas y verde-azul o turquesa, lo que indica *Vibrio vulnificus* y *Vibrio cholerae*, y esos resultados fueron confirmados negativos para VP-AHPND por qPCR (Fig.3), o sea, que el patógeno se eliminó de los agua de los acuarios y del tracto digestivo de los camarones en los retos.

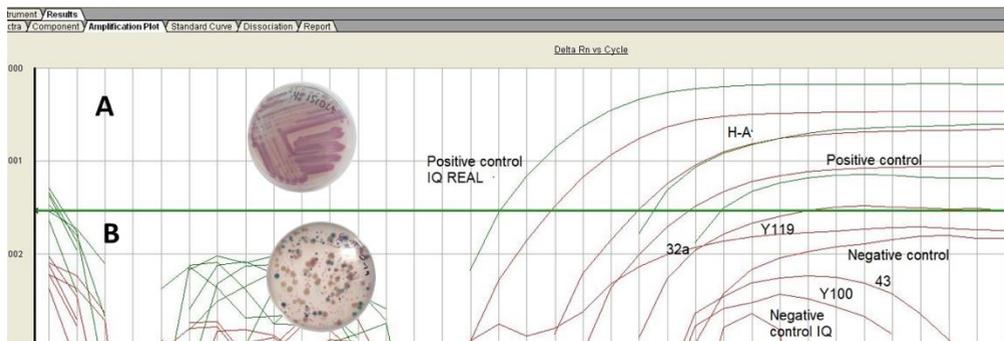


Figura 3 Resultados de CHROMagar Vibrio y qPCR. Solo H-A mostró la presencia de VPAHPND con un resultado de qPCR positivo, mientras que las cepas probióticas 43, 32a, Y100 e Y119 demostraron un efecto microbicida con un resultado de qPCR negativo.

Resultados de histopatología

Los cortes histopatológicos del control negativo revelaron tejido y túbulos hepatopancreáticos normales con abundantes vacuolas lipídicas (Fig. 4) sin alteración relacionada con AHPND. Los camarones moribundos con natación errática del control positivo presentaron signos agudos de AHPND, incluido el hepatopáncreas pálido con desprendimiento típico de las células epiteliales del túbulo del hepatopáncreas (Fig. 5). Los tratamientos de desafío con tasas de mortalidad más bajas, como con 32a e Y100, mostraron daño patológico menor, como melanización, necrosis con algunas células muertas dentro de la luz y desorganización de las células, pero sin descamación del epitelio hepatopancreático y túbulos sin masas bacterianas o las células necróticas en su luz no parecen ser causadas por AHPND (Fig. 6). Las muestras de tejido de camarones moribundos de camarones desafiados con H-A también mostraron lesiones caracterizadas por desprendimiento agudo de células epiteliales del túbulo hepatopancreático (Fig. 5), aunque los camarones sobrevivientes no presentaron lesiones relacionadas con AHPND.

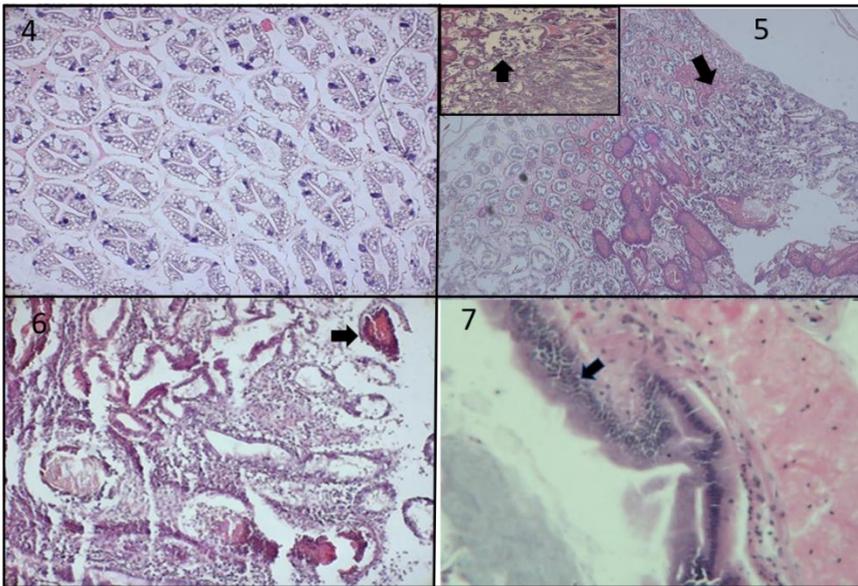


Figura. 4 Corte histopatológico del control negativo. Se observaron túbulos hepatopancreáticos normales con vacuolas lipídicas (20X). **Figura. 5** Resultados histopatológicos del control positivo. Signos agudos de AHPND en el hepatopáncreas, con desprendimiento típico de las células epiteliales del túbulo del hepatopáncreas (flecha). El cuadrado muestra desprendimiento de células epiteliales, infiltración de hemocitos y necrosis licuefactiva (40 X). **Figura. 6** Las secciones histopatológicas de 32a y Y100 mostraron daños patológicos menores, como melanización y necrosis, con algunas observaciones no relacionadas con AHPND (flecha). **Figura. 7** Sección sagital media del intestino medio con células necróticas subyacentes por capas de hemocitos infiltrantes, que se asemejaban a la enteritis hemocítica inducida por los metabolitos tóxicos de las cepas Y119 y 43.

Los ensayos con las cepas Y119 y 43, que fueron qPCR negativas para la presencia del patógeno VP-AHPND, pero que tuvieron la mayor mortalidad acumulada, mostraron tejido normal en el hepatopáncreas, similar al del control negativo (Figura 4); sin embargo, el epitelio mucoso presentaba múltiples capas de hemocitos infiltrantes que dañaban la superficie mucosa del intestino medio, asemejándose a un cuadro tóxico similar a la enteritis hemocítica (Fig. 7).

DISCUSIÓN

Hay muchos informes sobre bacterias probióticas con propiedades que inhiben la colonización de patógenos, mejoran el crecimiento, aumentan la calidad del agua y ayudan a la inmunidad (ej. Banerjee *et al.*, 2010); sin embargo, hay escasos informes de probióticos que antagonizan VP-AHPND (Kewcharoen & Srisapoom 2019). En el proyecto actual, se probaron 258 aislamientos, de los cuales solo *V. campbellii*-HA, *B. pumilus*-Y100 y *V. alginolyticus*-32a (de lodo de mangle, sedimento salino y mangle rojo, respectivamente) fueron buenos antagonistas en ensayos *in vitro* e *in vivo*.

Con respecto a los resultados obtenidos con API 20 NE, las pruebas API pueden no ser aplicables para cepas ambientales, pero la secuenciación del rDNA 16S es un método más útil que la caracterización bioquímica para la identificación de microorganismos raros y difíciles (Loong *et al.*, 2016).

Vibrio alginolyticus-32a, *V. campbellii*-H-A, *B. pumilus*-Y100, *B. pumilus*-43 y *B. pumilus*-Y119 se seleccionaron en función de su capacidad para producir metabolitos antagonistas en cultivos líquidos sin bacterias (prueba CFS). Se registraron mejores resultados de mortalidad acumulada para las tres primeras cepas, de las cuales *V. alginolyticus*-32a fue la mejor cepa. Aunque la mayoría de los vibrios causan enfermedades, algunos aislados pueden antagonizar cepas patógenas en la acuicultura de peces y mariscos. Balcázar *et al.*; (2007) reportaron un probiótico *V. alginolyticus* aislado del intestino de camarón blanco del Pacífico adulto suministrado a *L. vannamei* durante 28 días que posteriormente fueron desafiados con VP (no AHPND) y encontraron una mejora significativa ($P < 0.001$) del peso final, índice de conversión alimenticia y resistencia a enfermedades contra VPAHPND.

Con respecto a *B. pumilus*, hay muchos informes sobre la eficiencia de algunos aislados que se han probado solo para el rendimiento de crecimiento y supervivencia de *M. rosenbergii* y la tasa de ganancia de peso de *P. monodon*, la tasa de crecimiento específico, la fagocitosis y el estallido respiratorio (Zhao *et al.*, 2018; Ringo, 2020). Sin embargo, existen escasos informes de bioensayos de *B. pumilus* como probiótico contra VP-AHPND en cultivos de camarón; por ejemplo, Lee *et al.* (2019), probaron dietas suplementadas con formas en polvo de a) *Bacillus subtilis*; b) *B. subtilis*/*B. pumilus*; y c) una tercera dieta de *B. pumilus*/*B. subtilis*/*Bacillus licheniformis*. La dieta con *B. subtilis* aumentó significativamente la tasa de supervivencia acumulada después de la prueba de alimentación. Otra cepa, *B. pumilus* H2, tenía el espectro de actividad anti-*Vibrio* más amplio e inhibía las 29 cepas de *Vibrio in*

vitro, pero no se incluyó al patógeno VP-AHPND (Gao *et al.* 2017).

Nuestros resultados parecen indicar que Y100 es la primera cepa de *B. pumilus* con un efecto antagonista contra VP-AHPND patógeno. Adicionalmente, encontramos que las cepa de *B. pumilus* (Y119) y *B. pumilus* (43) mostraron un efecto tóxico contra *Artemia salina* y camarón, con lesiones parecidas a enteritis hemocítica y niveles de mortalidad acumulada similares a los del control positivo; sin embargo, no existe literatura relacionada, lo que significa que la identificación de metabolitos letales será un nuevo objetivo para proyectos futuros.

Con respecto a los resultados de qPCR basados en el gen PirA de VP-AHPND (Sirikharin *et al.* 2015), las cepas 43, 32a, Y100 e Y119 fueron negativas, pero solo 32a e Y100 pudieron inhibir el patógeno con un efecto microbicida por lo cual no fueron detectadas por el qPCR.

Solo H-A fue positivo para qPCR, que parecía tener un papel bacteriostático contra VP-AHPND en los ensayos *in vivo*. Estos resultados de qPCR coincidieron con nuestros resultados histopatológicos, que no mostraron lesiones graves o agudas con ensayos *in vivo* de 32a, Y100, 43, Y-119 y HA (similares a los resultados encontrados en el ensayo de citotoxicidad con *A. salina*), como se informó por Joshi *et al.* (2014) y Wangman *et al.* (2018). De acuerdo con los presentes hallazgos, la mayor supervivencia de camarones con los probióticos administrados se debió a la producción de moléculas antibacterianas y acción de desplazamiento de patógenos que conducen a la minimización de infección, las cuales están en vías de investigación.

CONCLUSIÓN

Este estudio reveló tres cepas probióticas excelentes para su uso en suplementos alimenticios contra VP-AHPND (*V. alginolyticus* 32a, *B. pumilus*-Y100 y *V. campbellii* H-A), con bajas mortalidades acumuladas. El posible papel sinérgico de estas cepas y la identificación de metabolitos activos está en curso, y nuevos estudios de estos compuestos en nuevos bioensayos serán nuevos objetivos en un proyecto de futuro cercano.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por FOINS PN-CONACyT (convenio # 3157) y PAICyT-UANL, “Evaluación de cepas probióticas para la supervivencia del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en bioensayos contra el patógeno *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND)” (subvención # CT1214-20). Los autores desean expresar sinceramente su agradecimiento a Biol. Horacio Bethancourt Castillo, Gerente de Producción de Megalarva de Sinaloa, S. de R.L. de C.V. por la donación de larvas de camarón.

REFERENCIAS

- Balcázar, J. L., Rojas-Luna, T., Cunningham, D. P. (2007). Effect of the addition of four potential probiotic strains on the survival of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) following immersion challenge with *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 96:147–150
- Balqadi, A. A., Salama, A. J., Satheesh, S. (2018). Microfouling development on artificial substrates deployed in the central Red Sea. *Oceanologia*, 60:219–231
- Banerjee, S., Khatoon, H., Shariff, M., Yusoff, F. M. (2010). Enhancement of *Penaeus monodon* shrimp postlarvae growth and survival without water exchange using marine *Bacillus pumilus* and periphytic microalgae. *Fisheries Science*, 76:481–487
- Dubert, J. J., Nelson, D. R., Spinard, E. J., Kessner, L., Gomez-Chiarri, M., Costa, F.D., Prado, S., Barja J. L. (2016). Following the infection process of vibriosis in Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) larvae through GFP-tagged pathogenic *Vibrio* species. *Journal of Invertebrate Pathology*, 133, 27–33
- Flegel, T. W. (2012). Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in Asia. *Journal of Invertebrate Pathology* 110:166–173
- Gao, X. Y., Liu, Y., Miao, L., Li, E. R., Hou, T. T., Liu, Z.P. (2017). Mechanism of anti-*Vibrio* activity of marine probiotic strain *Bacillus pumilus* H2, and characterization of the active substance. *AMB Express*, 7:23. Doi:10.1186/s13568-017-0323-3.
- Galaviz-Silva, L., Iracheta-Villarreal, J. M., Molina-Garza, Z. J. (2018). *Bacillus* and *Virgibacillus* strains isolated from three Mexican coasts antagonize *Staphylococcus aureus* and *Vibrio parahaemolyticus*. *FEMS Microbiology letters*, 365(19), fny202
- Girija, V., Malaikozhundan, B., Vaseeharan, B., Vijayakumar, S., Gobi, N., Herrera. M. D. V., Santhanam, P. (2018). *In vitro* antagonistic activity and the protective effect of probiotic *Bacillus licheniformis* Dahb1 in zebrafish challenged with GFP tagged *Vibrio parahaemolyticus* Dahv2. *Microbial Pathogenesis*, 114:274–280.
- Heenatigala, P. P. M., Fernando, M. U. L. (2016). Occurrence of bacteria species responsible for vibriosis in shrimp pond culture systems in Sri Lanka and assessment of the suitable control measures. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 21:1–17.

- Joshi, J., Srisala, J., Truong, V.H., Chen, I.-T., Nuangsaeng, B., Suthienkul, O., Lo, C.F., Flegel, T.W., Sritunyalucksana, K., Thitamadee, S. (2014). Variation in *Vibrio parahaemolyticus* isolates from a single Thai shrimp farm experiencing an outbreak of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND). *Aquaculture*, 428-429:297–302. Doi:10.1016/j.aquaculture.2014.03.030.
- Kewcharoen, W., Srisapoome, P. (2019). Probiotic effects of *Bacillus* spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strains). *Fish & Shellfish Immunology*, 94:175–189.
- Kumar, R., Ng, T. H., Chang, C. C., Tung, T. C., Lin, S. S., Lo, C. F., Wang, H. C. (2020). Bile acid and bile acid transporters are involved in the pathogenesis of acute hepatopancreatic necrosis disease in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Cellular Microbiology* 22: e13127. Doi:10.1111/cmi.13127.
- Loong, S. K., Khor, C. S., Jafar, F. L., AbuBaka, S. (2016). Utility of 16S rDNA sequencing for identification of rare pathogenic bacteria. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 30:1056–1060
- López, D. A. L., Mejía, G. C. (2012). Evaluación de métodos de extracción de ADN para detección de *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos. *Revista MVZ Córdoba*, 17:3169–3175
- Ringo E (2020) Probiotics in shellfish aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 5:1–27. Doi:10.1016/j.aaf.2019.12.001.
- Torres, V. G. L., Méndez, D. A. S. (2018). Análisis de la cadena de suministro de la acuicultura de camarón en Baja California. Red Internacional de Investigadores en Competitividad, *Memoria del VIII Congreso* 8(1), 1-15. [en línea] 10 Febrero 2021 <https://riico.net/index.php/riico/article/view/1180>
- Tran, L., Nunan, L., Redman, R.M., Mohney, L. L., Pantoja, C. R., Fitzsimmons, K. Lightner, D. V. (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 105:45–55. Doi:10.3354/dao02621.
- Sirikharin, R., Taengchaiyaphum, S., Sanguanrut, P., Chi, T. D-, Mavichak, R., Proespraiwong, P., Nuangsaeng, B., Thitamadee, S., Flegel, T.W., Sritunyalucksana, K. (2015). Characterization and PCR detection of binary, Pir-like toxins from *Vibrio parahaemolyticus* isolates that cause Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) in shrimp. *PLoS ONE*, 10(5): e0126987. Doi:10.1371/journal.pone.0126987.
- Soto-Rodríguez, S. A., Gomez-Gil, B., Lozano-Olvera, R., Betancourt-Lozano, M., Morales-

- Covarrubias, M. S. (2015). Field and experimental evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease of cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Northwestern Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*, 81:1689–1699.
- Wangman, P., Longyant, S., Taengchaiyaphum, S., Senapin, S., Sithigorngul, P., Chaivisuthangkura, P. (2018). PirA & B toxins discovered in archived shrimp pathogenic *Vibrio campbellii* isolated long before EMS/AHPND outbreaks. *Aquaculture*, 497:494–502. *Doi:10.1016/j.aquaculture.2018.08.025*.
- Zhao, C., Zhu, J., Hu, J., Dong, X., Sun, L., Zhang, Miao, S. (2018). Effects of dietary *Bacillus pumilus* on growth performance, innate immunity and digestive enzymes of giant freshwater prawns (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture Nutrition*, 25:712–720. *Doi:10.1111/anu.12894*.



Actividad antagónica de bacterias aisladas de ecosistemas marinos frente a *Vibrio parahaemolyticus* AHPND como patógeno de importancia acuícola

Antagonistic activity of bacteria isolated from marine ecosystems against *Vibrio parahaemolyticus* AHPND as a pathogen of aquaculture importance

Zinnia Judith Molina Garza¹, Gabriel Enrique Cázares Jaramillo¹, José Cuauhtémoc Ibarra Gámez², Lucio Galaviz Silva¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Patología Molecular y Experimental. Ave Universidad s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolás De los Garza, Nuevo León. C.P. 66455. México.

²Instituto Tecnológico de Sonora, Laboratorio de Análisis en Sanidad Acuícola, 5 de Febrero 818 Sur, Colonia Centro, Ciudad Obregón, Sonora. C.P. 85000. México.

 Zinnia Judith Molina Garza () E-mail: molinazinnia@hotmail.com

RESUMEN | Referente al sector acuícola, uno de los mayores sectores de producción de alimentos es el cultivo de camarón, sin embargo, se ha visto afectado por enfermedades, entre ellas la Enfermedad de la Necrosis Aguda del Hepatopáncreas (AHPND, por sus siglas en inglés) la cual es causada por *Vibrio parahaemolyticus* que hospeda un plásmido productor de toxinas PirA y Pir B. Un método alternativo para controlar el agente causal es la aplicación de probióticos, los cuales, al ser consumidos por el camarón, le confieren un mecanismo de defensa frente a patógenos. En esta investigación se evaluaron bacterias de ecosistemas marinos y se aislaron con la prueba de difusión en pozo, al mostrar un efecto antagónico en contra de la cepa patógena de camarón, produciendo halos de inhibición desde uno a casi cuatro centímetros de diámetro; además, se caracterizaron estas bacterias por un perfil bioquímico con el sistema API BioMérieux y por secuenciación del gen 16S rADN identificándose en los géneros *Shewanella* sp., *Vibrio* sp. y *Bacillus* sp. Es de suma importancia la capacidad que presentan estas bacterias para ser potencialmente utilizadas como una medida profiláctica y/o terapéutica en granjas camaronícolas evitándose el uso de antibióticos.

Palabras clave: Antagonismo, bacterias probióticas, patógeno, camarón.

ABSTRACT | In the aquaculture sector, one of the largest sectors of food production is shrimp farming, however, it has been affected by diseases, including Acute Hepatopancreas Necrosis Disease (AHPND). which is caused by *Vibrio parahaemolyticus*, which host a plasmid who produce toxins PirA and Pir B. An alternative method to control the pathogen is the application of probiotics, when consumed by the shrimp, give it a defense mechanism against pathogens. In this

investigation marine ecosystems were evaluated and marine bacteria were isolated which, with the well diffusion test, showed an antagonistic effect against the pathogenic shrimp strain, where inhibition halos were observed from 1cm to almost 4 cm in diameter; In addition, these bacteria were characterized by a biochemical profile with the BioMérieux API system and by sequencing the 16S rDNA gene where the genera *Shewanella* sp., *Vibrio* sp. and *Bacillus* sp. The ability of these bacteria to be potentially used as a prophylactic and / or therapeutic measure in shrimp farms is of paramount importance, and avoid the use of antibiotics.

Palabras clave: Antagonism, bacteria, pathogen, shrimp.

INTRODUCCIÓN

El sector acuícola ha sido una importante fuente de alimento y trabajo, donde los organismos acuáticos han sido de suma importancia en los países dedicados a la acuicultura, siendo el cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en América, una de las mayores producciones a nivel mundial, sobresaliendo tanto en mercados nacionales como internacionales (Peña *et al.*, 2013). Aun así, la camaronicultura se ha caracterizado por una alta prevalencia de enfermedades (Varela y Peña, 2015) y durante los últimos años ha prevalecido una nueva enfermedad que afecta al camarón de cultivo, la cual causa mortalidades muy elevadas, esta fue conocida en un inicio por Síndrome de la Mortalidad Temprana (EMS) y posteriormente denominada como Enfermedad de la Necrosis Aguda del Hepatopáncreas (AHPND) (FAO, 2013; Lightner *et al.*, 2013; Tran *et al.*, 2013; Pantoja y Lightner, 2014); el agente etiológico es la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*. Un método alternativo para prevenir y controlar el agente causal de la enfermedad es la aplicación de probióticos, los cuales serían microorganismos vivos que al ser consumidos por el camarón confieren un beneficio para la salud de este crustáceo (Reid *et al.*, 2003) esta alternativa ayudaría a disminuir las pérdidas de producción en la industria camaronera (Girija *et al.*, 2018). El objetivo general de este estudio radica en evaluar bacterias de ecosistemas marinos en contra del patógeno *V. parahaemolyticus* AHPND (VP_{AHPND}) y el uso potencial de estas como aditivo alimenticio, profiláctico y terapéutico en camarón blanco *L. vannamei*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de trabajo y localidades de los muestreos

Esta investigación se llevó a cabo en dos partes, la primera en el Laboratorio de Análisis en Sanidad Acuícola del Instituto Tecnológico de Sonora en la ciudad de Obregón, Sonora, México y la segunda en el Laboratorio de Patología Molecular y Experimental en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Muestras

Los distintos muestreos de organismos acuáticos como almeja, jaiba, cangrejo, caracol, algas, además de sedimentos, tanto agua de mar como suelo, se llevaron a cabo en las siguientes localidades que comprenden el estado de Sonora, México: Guásimas ($27^{\circ} 53' 09''$ N $110^{\circ} 34' 54''$ O) y Yavaros ($26^{\circ} 42' 17''$ N $109^{\circ} 31' 07''$ O) (Fig. 1).



Figura 1. Puntos de muestreo dentro del estado de Sonora, México.

Procesamiento de muestra

Especímenes marinos

Referente al aislamiento del diverso microbiota de los organismos acuáticos colectados, se procedió a realizar la disección de cada uno de estos, con ayuda de pinzas previamente estériles y el uso de guantes en una cámara de flujo laminar. Posterior a la disección, se llevó a cabo la maceración tanto de órganos internos como gónadas propias de los especímenes. Se adicionaron 20 ml de solución salina estéril al 2 % en un mortero de porcelana y se maceraron cada uno de los organismos colectados por separado (Abasolo-Pacheco, 2015). Una vez macerado lo requerido, se llevaron a cabo diluciones seriadas al décimo desde 1:10 hasta 1:1 000 en tubo de ensayo con taparrosca 16 x 150 mm que contenía 9 ml de solución salina estéril al 2 %, (Abasolo-Pacheco 2015; León *et al.*, 2016). Se optó por tener esta dilución debido a que se quiere llegar a reducir la concentración de microorganismos de las muestras y así llegar a ser útil para la obtención de resultados más manejables y además un mejor número de colonias definidas al momento de cultivar. Una vez realizadas las diluciones seriadas de cada espécimen, se tomaron 100 μ l y se sembraron, con una varilla de vidrio, por extensión (Abasolo-

Pacheco, 2015) en placas Petri con diferentes agares: TSA + 2 % de NaCl, Agar Marino y TCBS (Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa). Posterior a esto se incubó en condiciones de aerobiosis entre 30-32 °C durante 24 horas (Dopazo *et al.*, 1988; Carbonó y Cuan, 2017).

Agua, sedimento y algas marinas

De las muestras de agua, se tomó 1 ml y se realizaron diluciones seriadas hasta 1:100 y de esta última dilución se tomaron 100 µl y se sembraron utilizando el método de dispersión en placa con una varilla de vidrio (Carbonó y Cuan, 2017; Justo *et al.*, 2016).

Respecto al sedimento, algas y guano, con una espátula se pesó 1 g de la muestra a selección y se realizaron diluciones seriadas llevando la dilución hasta 1:1 000, posterior a esto y de igual forma se tomaron 100 µl para realizar la siembra por el método de dispersión en placa en los diferentes agares antes mencionados. El tiempo de incubación fue de 24 h a 30-32 °C (Parada *et al.*, 2017).

El tiempo transcurrido entre la colecta de especímenes marinos y el procesamiento de muestras no debe ser mayor de 24 h (León *et al.*, 2016).

Aislamiento bacteriano

Una vez obtenido el crecimiento masivo de las diferentes colonias bacterianas por el método de siembra por extensión en los diferentes medios de cultivo, que fueron los pasos previos, se procedió a aislar cada una de estas de manera individual para obtener así un cultivo puro y proceder a las evaluaciones antagónicas.

Cepas de referencia

Para las evaluaciones *in vitro* de la actividad antagónica de las diferentes colonias bacterianas obtenidas, se utilizó una cepa patógena de camarón *Vibrio parahaemolyticus* AHPND (VP AHPND, código/clave: MC32). proporcionada por el Laboratorio de Análisis en Sanidad Acuícola (LASA) del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) de ciudad Obregón, Sonora.

Evaluaciones *in vitro*

Para la realización de este procedimiento, se utilizó el Agar Mueller-Hinton + 2 % de NaCl para las pruebas del antagonismo en placa Petri. Además, se utilizaron medios de enriquecimiento como el Caldo Trypticase Soya (TSB) al 2 % de NaCl para la reactivación de cepas bacterianas y la preparación de inóculos (Iracheta, 2017).

Evaluación antagonica

Método de difusión en placa

Se utilizó una cepa patógena VP_{AHPND}. Se procedió a realizar el método de difusión en placa, para esto, del cultivo de VP_{AHPND}, se tomaron 100µl (inóculo de prueba 1x10⁷ UFC/ml) y se vertieron por separado en placas con agar Mueller-Hinton al 2% NaCl, luego se procedió a sembrar por estría hasta ser impregnado el inóculo en el agar. Después, con la ayuda de tubos de ensayo Durham se realizaron 4 excavados (pocillos) en cada una de las placas Petri con el agar antes mencionado, después de esto, se añadieron 100 µl, por triplicado, de cada una de las bacterias a retar y en el pocillo 4 se utilizó medio sin inocular como control negativo. Se probaron dos variantes: 1) donde se obtuvo un cultivo líquido de la bacteria a retar, y 2) luego del centrifugado, el sobrenadante libre de células bacterianas. Las placas se incubaron a 28-32°C por 24h, al cabo de este tiempo y con ayuda de una regla graduada en centímetros (cm) se registraron los resultados de las zonas de inhibición por parte de las diferentes bacterias a retar.

Caracterización bioquímica de bacterias antagonistas

Los organismos bacterianos antagonistas se caracterizaron por pruebas bioquímicas basadas en el sistema API 20 NE BioMérieux, para bacterias Gram negativas y el sistema API 50 CH para bacterias Gram positivas. Este sistema se basa en un set de ensayos seleccionados para un grupo bacteriano específico los cuales mediante una plataforma en internet llamada APIWEB provee un perfil bioquímico completo para una intuitiva identificación bacteriana.

Identificación bacteriana por métodos moleculares

Una vez aisladas las diferentes colonias bacterianas que únicamente presentaron antagonismo en contra de la cepa patógena, se procedió a la identificación de estas por secuenciación gracias al servicio y ayuda de la empresa Macrogen Korea. El servicio consistió en el análisis de secuencias de la región 16S rDNA, realizándose una extracción de gADN, amplificación por la técnica de PCR con los primers 27f (50-AGA GTT TGA TCT TGG CTC AGA-30) y 1492r (50-TAC GGT TAC CTT GTT ACG ACT T-30), con los cuales se obtuvieron fragmentos de aproximadamente 1500 pares de bases; posteriormente, la purificación del producto obtenido de PCR y una secuenciación bidireccional, conjuntamente con el reporte correspondiente de identificación. Estos resultados se compararon con el programa Blast y Clustal con los reportados en el GenBank (NCBI) para determinar el porcentaje de similitud.

RESULTADOS

Los muestreos fueron llevados a cabo en dos costas de diferente localización del estado de Sonora, México. Una primera colecta realizada en la localidad de Guásimas perteneciente al municipio de Guaymas y una segunda colecta llevada a cabo en la localidad pesquera de Yavaros del municipio de Huatabampo (Tabla 1). Se colectaron diversas muestras de las cuales se tuvieron agua, sedimento y organismos marinos variados (Fig. 1).

Tabla 1. Muestras marinas colectadas en dos localidades del estado de Sonora, México.

Lugar de muestreo	Agua, sedimento y organismos marinos colectados
Guásimas	31
Yavaros	62
Total	93



Figura 2. Muestras marinas colectadas. Dentro de las cuales se obtuvieron: agua marina, sedimento de mar, algas y diferentes especímenes marinos.

Posteriormente, una vez realizado el procesamiento de las diferentes muestras colectadas, se procedió a realizar el aislamiento bacteriano obteniendo crecimiento masivo de diferentes colonias en placas Petri con agar TSA 2% + NaCl, Agar Marino y TCBS (Fig. 3), de las cuales se seleccionaron las colonias más distinguibles y representativas para luego aislar cada una de estas por estría en cuatro cuadrantes.

Actividad antagonista contra *Vibrio parahaemolyticus*

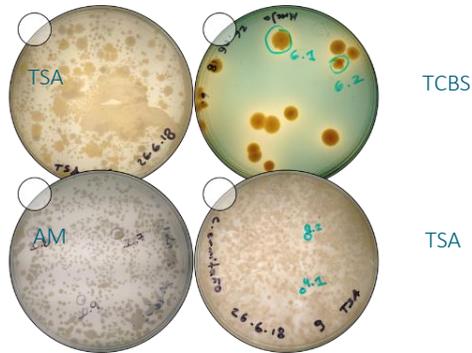


Figura 3. Crecimiento masivo de colonias bacterianas en diferentes medios de cultivo. Donde: TSA: Agar soya tripticaseína + 2% NaCl; TCBS: Tiosulfato citrato Bilis Sacarosa; AM: Agar Marino.

De estos crecimientos en masa de diversas colonias bacterianas, se obtuvo un número de aislados bacterianos tanto del primer muestreo como de la segunda colecta (Tabla 2).

Tabla 2. Colonias bacterianas obtenidas de las diferentes muestras marinas.

Localidad	Colonias bacterianas aisladas
Guásimas	117
Yavaros	141
Total	258

Una vez obtenido el crecimiento masivo de toda la amplia gama de colonias presentadas en los diferentes medios de cultivo, se procedió a aislar las colonias representativas observadas (Fig. 4) esto para cerciorarnos de tener cultivos relativamente puros y aislados y proceder así a las evaluaciones in vitro correspondientes.

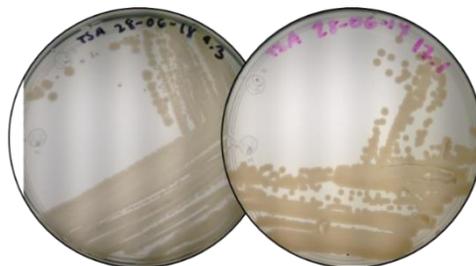


Figura 4. Subcultivo de microorganismos bacterianos.

Evaluación antagonista

Método de difusión en pozo

Se evaluaron un total de 258 colonias bacterianas previamente aisladas esto por el método de difusión en pozo. Cada una de las bacterias se identificó con una clave para un mejor manejo.

Primera variante

Antagonismo con células

Del primer muestreo, diversas bacterias a retar mostraron efecto antagonístico en contra de MC32, estas fueron las bacterias con clave H-A y 43 las cuales evidenciaron diferentes zonas de inhibición en contra del patógeno (Fig. 5).



Figura 5. Actividad antagonista *in vitro* en contra de *V. parahaemolyticus* _{AHPND} (*Vp*) por el método de difusión en pozo con variante de solamente células bacterianas. Donde **Vp**: *Vibrio parahaemolyticus* _{AHPND}; **C**: control negativo (medio son inocular); **43**: Bacteria a retar número 43. H-A: bacteria con clave H-A.

La clasificación con base a la localidad donde estas bacterias fueron aisladas, el organismo marino del cual proviene y la zona de inhibición que presentaron en cm se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Procedencia de los aislados bacterianos con actividad antagonica frente a Vp AHPND

Localidad	Organismo marino	Clave del aislado	Zona de inhibición (mm)*
Guásimas	Lodo de manglar	H-A	2.06
	<i>Ilichione subrugosa</i> (Almeja china)	43	2.46

*Promedio del triplicado en milímetros de diámetro

Segunda variante

Antagonismo con sobrenadante

De igual forma, de la localidad de Guásimas, que mostraron efecto antagonico en contra de MC32, fueron los aislados con clave 32a, H-A y 43 (Fig. 6); mientras que, del segundo muestreo en Yavaros, los aislados con clave Y100 y Y119 (Fig. 7) evidenciaron zonas de inhibición frente al patógeno.



Figura 6. Actividad antagonista *in vitro* en contra de *V. parahaemolyticus* AHPND por el método de difusión en pozo con variante de únicamente sobrenadante (sin células). Donde **Vp**: *Vibrio parahaemolyticus* AHPND; **C**: control negativo (medio son inocular); **Clave de aislados bacterianos**: 32a, H-A y 43

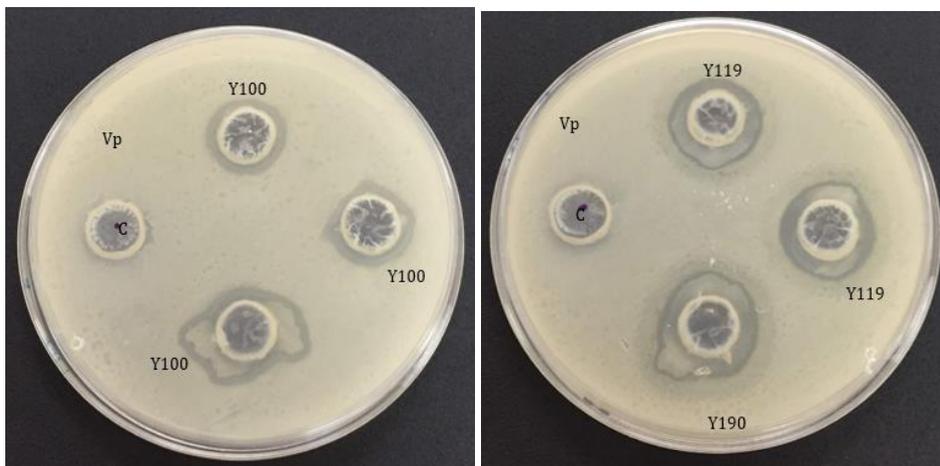


Figura 7. Actividad antagonista *in vitro* en contra de *V. parahaemolyticus* AHPND por el método de difusión en pozo con variante de únicamente sobrenadante (sin células). Donde **Vp**: *Vibrio parahaemolyticus* AHPND; **C**: control negativo (medio son inocular); **Y100** y **Y119** bacterias del segundo muestreo.

Con base a los resultados obtenidos, las bacterias con actividad antagónica se clasificaron de acuerdo con el lugar de muestreo, al organismo del cual fueron aisladas y su zona de inhibición frente al patógeno (Tabla 4).

Tabla 4. Procedencia de los aislados bacterianos con actividad antagónica frente a Vp AHPND

Localidad	Organismo marino	Clave del aislado	Zona de inhibición (mm)*
	<i>Rhizophora mangle</i> (Manglar rojo)	32a	3.66
Guásimas	Lodo de manglar	H-A	2.46
	<i>Ilioichione subrugosa</i> (Almeja china)	43	2.2
Yavaros	Sedimento salino	Y100	1.76
	Agua de mar	Y119	1.9

*Promedio del triplicado en mm de diámetro

Identificación bacteriana

La identificación de las bacterias antagonistas por secuenciación del rDNA 16S y del perfil bioquímico API BioMérieux *Vibrio alginolyticus*, *Shewanella indica*, *Bacillus altitudinis*, *Bacillus zhangzhouensis* y *Bacillus pumilus* (Tabla 5).

Tabla 5. Identificación bacteriana por secuenciación y sistema API BioMérieux.

Clave	Secuenciación	% ID	Api's	% ID
32a	<i>Vibrio alginolyticus</i>	99	<i>Vibrio alginolyticus</i>	85.9
H-A	<i>Shewanella indica</i>	99	<i>Shewanella putrefaciens</i>	99.9
43	<i>Bacillus altitudinis</i>	99	<i>Bacillus pumilus</i>	99.9
Y100	<i>Bacillus zhangzhouensis</i>	99	<i>Bacillus pumilus</i>	99.9
Y119	<i>Bacillus pumilus</i>	99	<i>Bacillus pumilus</i>	99.9

% ID: Porcentaje de similitud de identificación bacteriana

DISCUSIÓN

Al verse incrementado el cultivo de mariscos, dentro de los cuales destaca el camarón blanco, la aparición de enfermedades de igual forma presenta una problemática al alza (Fernandez-Piquer *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2014). Diversos microorganismos de origen bacteriano son habitantes de ecosistemas marinos, destacándose al el patógeno *Vibrio parahaemolyticus* distribuido en diversos ambientes acuáticos y ampliamente en zonas marinas (Aranda *et al.*, 2012; Touraki *et al.*, 2012; Zarei *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2014; Feichtmayer *et al.*, 2017). En la actualidad, diversas bacterias se utilizan como un sistema de biocontrol para las diversas enfermedades que permanecen en la acuicultura. Se han presentado reportes acerca de la actividad antagonista de bacterias en contra de diferentes cepas de *Vibrio* sp. por lo que esta actividad se sigue utilizando como estrategia alterna de diversos químicos y antibióticos para poder controlar al patógeno en el ámbito de la camaricultura (Makino *et al.*, 2003; Planas *et al.*, 2006; Bacon *et al.*, 2012; Chahad *et al.*, 2012; Zokaeifar *et al.*, 2012).

En este estudio, se evaluaron dos localidades del estado de Sonora. En primera instancia, el sitio denominado Guásimas, Sonora, donde se obtuvieron cuatro bacterias con efecto antagonista *in vitro* en contra de VP_{AHPND} (MC32).

La primera cepa con clave 32a con procedencia del organismo *Rhizophora mangle* (Manglar rojo), la cual al resultado de identificación evidenció ser un *Vibrio alginolyticus* tanto por secuenciación como por el perfil bioquímico. Rocha *et al.* (2016) identificaron diversas comunidades bacterianas en sedimentos manglares, de los cuales involucraba a *Rhizophora mangle* como hábitat de una amplia gama de bacterias entre las cuales destacaban especies de *Vibrio* sp. Al ver la amplia variedad de bacterias que están presentes en diversos ecosistemas, se conoce que una variedad de cepas de

ambientes acuáticos brinda ciertos compuestos inhibidores en contra de la actividad de patógenos marinos (Cordero *et al.*, 2012). Otros estudios demuestran que los vibrios silvestre presentan un amplio contenido genético (Thompson *et al.*, 2005; Polz *et al.*, 2006; Preheim *et al.*, 2011) e interacciones antagónicas (Cordero *et al.*, 2012) que generan actividad inhibitoria frente a patógenos. Un estudio realizado por Burks *et al.* (2017) reporta a vibrios ambientales que mostraron una inhibición en contra de patógenos como *V. parahaemolyticus*. Distintos vibrios de origen marino a través de un análisis de secuencia de genoma, mostraron perfiles antagónicos y estos fueron aislados en diferentes hábitats y distintos tiempos, sugiriendo que estas cepas inhibidoras persisten en estos ambientes. Este grupo de investigación identificó metabolitos secundarios que podían contribuir con el fenotipo antagonista mediante la producción de compuestos (Weber *et al.*, 2015), de los cuales destacan las bacteriocinas (Burks *et al.*, 2017) que, a través de distintas condiciones como la competencia bacteriana, liberan estas toxinas de naturaleza proteica que pueden llegar a inhibir a otras bacterias.

Por otra parte, los dos aislados bacterianos restantes del primer muestreo etiquetados con clave H-A y el otro con clave 43 fueron aislados de diferentes especímenes o materia. El aislado con clave H-A se rescató de lodo de manglar de la costa de Guásimas el cual fue identificado mediante secuenciación como *Shewanella indica* y por el sistema bioquímico API BioMérieux como *Shewanella putrefaciens*. Este género de bacteria ha sido aislado de ambientes acuáticos y las especies se encuentran clasificadas dentro de dos grupos, donde *S. indica*, *S. algae* y *S. litorisediminis* pertenecen al grupo de *S. putrefaciens*. La amplia variedad de especies de *Shewanella* sp. se han encontrado con relación en aguas y sedimento a través del Océano Pacífico (Wang *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2009; Thevarajoo *et al.*, 2015). Una gran variedad de bacterias presenta propiedades benéficas, lo que caracteriza a las especies de *Shewanella* sp. es que producen ácidos grasos libres, que es el resultado de un mutualismo entre especímenes marinos y bacterias que viven en intestino (Hau *et al.*, 2007; Sukovich *et al.*, 2010). Entre las actividades biológicas de estos ácidos es que presentan la capacidad de inhibir parcial o totalmente el crecimiento de bacterias, lo que resulta en una capacidad antibacteriana de estos ácidos grasos libres utilizada por múltiples organismos para poder sobrevivir o defenderse ante patógenos bacterianos (Desbois y Smith, 2010; Kokou *et al.*, 2012).

En otro sentido, el aislado etiquetado como 43 se recuperó del organismo marino *Ilioichione subrugosa* (Almeja china). En un estudio donde comparan la biogeografía y variación de diferentes especies de bivalvos y diferentes regiones del mundo, concuerdan con la presencia de esta especie en las costas del Pacífico Este (Roopnarine *et al.*, 2008). Este aislado, al ser secuenciado e identificado por el perfil bioquímico arrojó como resultado la bacteria *Bacillus altitudinis* y *Bacillus pumilus* respectivamente. Shivaji *et al.* (2006) a través de un análisis filogenético basado en secuencias del gen 16S rADN mostró similitud entre *B. pumilus* y su vecino filogenético más cercano que fue *B. altitudinis*. De igual manera, los sedimentos y agua de mar mostraron la misma importancia de fuentes bacterianas antagonistas frente al patógeno VP_{AHPND}, esto con dos aislados rotulados como Y100, recuperado de sedimento salino y la Y119 tomado de agua de mar. Estos dos últimos fueron identificados como

especies de *Bacillus* sp. La Y100 por un lado como *Bacillus zhangzhouensis*/ *Bacillus pumilus* y por otro lado la Y119 como *B. pumilus* también. El efecto antagonista que mostraron, tanto el aislado 43, el Y100 y Y119 frente a MC32 ocurrió posiblemente por la competencia interespecífica de nutrientes entre los procariotas mediante el uso de metabolitos secundarios, como los antibióticos o bacteriocinas que son enzimas extracelulares (Jack *et al.*, 1995; Boer *et al.*, 2005; Hibbing *et al.*, 2010; de Lima Procópio *et al.*, 2012). La producción de estas últimas, son secretadas por una amplia variedad de bacterias entre las cuales destacan las del género *Bacillus* sp. que degradan la membrana interna del patógeno o su material genético. La mayoría de las bacterias Gram negativas carecen de un sistema excretor específico para estas bacteriocinas, es por esto por lo que la liberación de estas ocurrirá a través de la propia lisis celular, lo cual indica que solo una pequeña parte de los procariotas produce estas sustancias y esto proporciona una ventaja competitiva con otras poblaciones bacterianas (Cascales *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Se observaron distintos rangos de inhibición por partes de las diferentes bacterias marinas a retar a través del método de difusión en placa. Se logró identificar a estos aislados bacterianos a través de dos sistemas: molecular por secuencias del gen 16S rADN y bioquímico por el sistema API BioMérieux.

Los aislados bacterianos de naturaleza marina pueden ser una alternativa contra patógenos ya establecidos y futuros microorganismos en el ámbito de la acuicultura. Además, el uso adecuado y selectivo de microorganismos bacterianos en contra de diversos patógenos de importancia acuícola es un campo de investigación aún con amplias expectativas y en crecimiento. Diferentes aislados de origen bacteriano inhiben el crecimiento de patógenos, lo que hace que sean candidatos para el desarrollo y la implementación de sustancias que puedan actuar con una actividad antimicrobiana.

Agradecimientos

Agradecimiento al CONACyT, por el proyecto FOINS PN-3157, “Evaluación de la actividad antagonica de bacterias aisladas de ecosistemas marinos contra *Vibrio parahaemolyticus*, agente causal de la Enfermedad de la Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND) en cultivos de camarón” y a PAICYT-UANL CT1214-20.

REFERENCIAS

Abasolo-Pacheco, F. (2015). Selección y evaluación de bacterias del tracto digestivo del pectínido mano de león (*Nodipecten subnodosus*) y de la concha nácar (*Pteria sterna*) con uso potencial probiótico

- en la acuicultura de bivalvos marinos. Tesis. Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. Instituto Politécnico.
- Aranda C.P., Valenzuela C., Barrientos J., Paredes J., Leal P., Maldonado M., Godoy F.A., Osorio C.G. (2012) Bacteriostatic anti-*Vibrio parahaemolyticus* activity of *Pseudoalteromonas* sp. Strains DIT09, DIT44 and DIT46 isolated from Southern Chilean intertidal *Perumytilus purpuratus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28:2365–2374.
- Bacon C.W., Hinton D.M., Mitchell T.R., Snook M.E., Olubajo B. (2012). Characterization of endophytic strains of *Bacillus mojavensis* and their production of surfactin isomers. *Biological Control*, 62: 1–9.
- Boer, W. D., Folman, L. B., Summerbell, R. C., Boddy, L. (2005). Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. *FEMS Microbiology Reviews*, 29: 795-811.
- Burks, D. J., Norris, S., Kauffman, K. M., Joy, A., Arevalo, P., Azad, R. K., Wildschutte, H. (2017). Environmental vibrios represent a source of antagonistic compounds that inhibit pathogenic *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus* strains. *Microbiology Open*, 6(5): e00504.
- Carbonó, V. G. Cuan, A. G. (2017). Determinación de bacteriocinas en muestras de consorcios microbianos nativos de ecosistemas de manglar en el departamento del atlántico, como fuente potencial de nuevos tratamientos biomédicos. *Biociencias*, 12: 37-51.
- Cascales, E., Buchanan, S. K., Duché, D., Kleanthous, C., Lloubes, R., Postle, K., Cavard, D. (2007). Colicin biology. *Microbiology and Molecular Biology Review*, 71(1): 158-229.
- Chahad O.B., El Bour M., Calo-Mata P., Boudabous A., Barros Velázquez J. (2012). Discovery of novel biopreservation agents with inhibitory effects on growth of food-borne pathogens and their application to seafood products. *Research in Microbiology*, 163: 44–54.
- Cordero, O. X., Wildschutte, H., Kirkup, B., Proehl, S., Ngo, L., Hussain, F., Polz, MF. (2012). Ecological populations of bacteria act as socially cohesive units of antibiotic production and resistance. *Science*, 337: 1228–1231.
- de Lima Procópio, R. E., da Silva, I. R., Martins, M. K., de Azevedo, J. L., & de Araújo, J. M. (2012). Antibiotics produced by *Streptomyces*. *The Brazilian Journal of infectious diseases*, 16(5): 466-471.
- Desbois, A. P., Smith, V. J. (2010). Antibacterial free fatty acids: activities, mechanisms of action and

- biotechnological potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(6): 1629-1642.
- Dopazo, C. P., Lemos, M. L., Lodeiros, C., Bolinches, J., Barja, J. L., Toranzo, A. E. (1988). Inhibitory activity of antibiotic-producing marine bacteria against fish pathogens. *Journal of Applied Bacteriology*, 65(2): 97-101.
- FAO. (2013). Report of the FAO/MARD technical workshop on early mortality syndrome (EMS) or acute hepatopancreatic necrosis syndrome (AHPNS) of cultured shrimp (under TCP/VIE/3304). FAO, Rome, ITA. Recuperado el 01 de agosto del 2019, de <http://www.fao.org/3/i3422e/i3422e00.htm>
- Feichtmayer, J., Deng, L., Griebler, C. (2017). Antagonistic microbial interactions: contributions and potential applications for controlling pathogens in the aquatic systems. *Frontiers in Microbiology*, 8: 2192.
- Fernandez-Piquer J., Bowman J.P., Ross T., Tamplin M.L. (2011). Predictive models for the effect of storage temperature on *Vibrio parahaemolyticus* viability and counts of total viable bacteria in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Applied and Environmental Microbiology*, 77: 8687-8695.
- Girija, V., Malaikozhundan, B., Vaseeharan, B., Vijayakumar, S., Gobi, N., Herrera, M.D.V., Chen, J.C. Santhanam, P. (2018). In vitro antagonistic activity and the protective effect of probiotic *Bacillus licheniformis* Dab1 in zebrafish challenged with GFP tagged *Vibrio parahaemolyticus* Dahv2. *Microbial Pathogenesis*, 114: 274-280.
- Hau, H. H., Gralnick, J. A. (2007). Ecology and biotechnology of the genus *Shewanella*. *Annual Review on Microbiology*, 61: 237-258.
- Hibbing, M. E., Fuqua, C., Parsek, M. R., Peterson, S. B. (2010). Bacterial competition: surviving and thriving in the microbial jungle. *Nature Reviews in Microbiology*, 8(1): 15.
- Huang, J., Sun, B., & Zhang, X. (2009). *Shewanella xiamenensis* sp. nov., isolated from coastal sea sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60(7): 1585–1589.
- Iracheta, J. M. (2017). Actividad antagonista in vitro de microbiota de Bahía de Lobos y Bahía de Guásimas, Sonora y Playa del Carmen, Quintana Roo contra *Staphylococcus aureus* y *Vibrio parahaemolyticus*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, México,
- Jack, R. W., Tagg, J. R., Ray, B. (1995). Bacteriocins of gram-positive bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Review*, 59(2): 171-200.

- Justo, S., Churasacari, T., Gonzales, M., Santiago, D., y Guerra, A. (2016). Determinación de géneros bacterianos en el mar de la playa Cantolao–La Punta–Callao. *Revista de Ciencias*, 10.
- Kokou, F., Makridis, P., Kentrouri, M., & Divanach, P. (2012). Antibacterial activity in Microalgae. *Aquaculture Research*. 43: 1520–1527.
- León, J., Aponte, J. J., Cuadra, D., Galindo, N., Jaramillo, L., Vallejo, M., Marguet, E. (2016). Actinomicetos aislados de *Argopecten purpuratus* productores de enzimas extracelulares y con actividad inhibitoria de patógenos marinos. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(1): 69-80.
- Lightner, D.V., R.M. Redman, C.R. Pantoja, B.L. Noble, L.M. Nunan, L. Tran. (2013). Documentation of an emerging disease (early mortality syndrome) in SE Asia & Mexico. NACA. Proceedings of the Department of Veterinary Science Microbiology School Animal Comp. Biomedical Science University of Arizona. Disponible en: <http://www.enaca.org/publications/health/ahpnsterninalworkshop/Presentation, 2>.
- Makino K., Oshima K., & Kurokawa K. (2003). Genome sequence of *Vibrio parahaemolyticus*: a pathogenic mechanism distinct from that of *V cholera*. *The Lancet*, 9359: 743-749.
- Pantoja, C., Lightner D.V. (2014). EMS/AHPND descripción de la enfermedad en Asia y América. En: V. Morales, y J. Cuéllar-Anjel, editores, Patología e inmunología de camarones penaeidos. Guía técnica. 2da ed. OIRSA (Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria), PAN. p. 172-177.
- Parada, R. B., Marguet, E. R., Vallejo, M. (2017). Aislamiento y caracterización parcial de actinomicetos de suelos con actividad antimicrobiana contra bacterias multidrogo-resistentes. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2): 17-23.
- Peña, N., Vargas, R., & Varela, A. (2013). Productos naturales como estimuladores del sistema inmunológico de *Litopenaeus vannamei*, infectado con *Vibrio parahaemolyticus*. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1):133- 147. Costa Rica.
- Planas M., Pérez-Lorenzo M., Hjelm M., Gram L., Fiksdal I.U., Bergh Ø., Pintado J. (2006). Probiotic effect in vivo of *Roseobacter* strain 27-4 against *Vibrio (Listonella) anguillarum* infections in turbot (*Scophthalmus maximus L.*) larvae. *Aquaculture*, 255: 323–333.
- Polz, M. F., Hunt, D. E., Preheim, S. P., Weinreich, D. M. (2006). Patterns and mechanisms of genetic and phenotypic differentiation in marine microbes. *Philosophical Transactions of the Royal Society*

of London. *Series B. Biological Sciences*, 361: 2009–2021.

- Preheim, S. P., Boucher, Y., Wildschutte, H., David, L. A., Veneziano, D., Alm, E. J., Polz, M. F. (2011). Metapopulation structure of *Vibrionaceae* among coastal marine invertebrates. *Environmental Microbiology*, 13: 265–275.
- Reid, G., Sanders, M.E., Gaskins, H.R., Gibson, G.R., Mercenier, A., Rastall, R.A., Roberfroid, M.B., Rowland, I., Cherbut, C., Klaenhammer, T.R. (2003). New scientific paradigms for probiotics and prebiotics. *Journal of Clinical Gastroenterology* 37:105–118.
- Rocha, L. L., Colares, G. B., Nogueira, V. L., Paes, F. A., Melo, V. M. (2016). Distinct habitats select particular bacterial communities in mangrove sediments. *International Journal of Microbiology*. 2016: 3435809. <https://doi.org/10.1155/2016/3435809>.
- Roopnarine, P. D., Signorelli, J., Laumer, C. (2008). Systematic, biogeographic and microhabitat-based morphometric variation of the bivalve *Anomalocardia squamosa* (*Bivalvia: Veneridae: Chioninae*) in Thailand. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 18: 95-102.
- Shivaji, S., Chaturvedi, P., Suresh, K. (2006). *Bacillus aerius* sp. nov., *Bacillus aerophilus* sp. nov., *Bacillus stratosphericus* sp. nov. and *Bacillus altitudinis* sp. nov., isolated from cryogenic tubes used for collecting air samples from high altitudes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56: 1465–1473
- Sukovich, D. J., Seffernick, J. L., Richman, J. E., Hunt, K. A., Gralnick, J. A., Wackett, L. P. (2010). Structure, function, and insights into the biosynthesis of a head-to-head hydrocarbon in *Shewanella oneidensis* strain MR-1. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(12): 3842-3849.
- Thevarajoo, S., Selvaratnam, C., Goh, K. M., Manan, F. A., Ibrahim, Z., Chong, C. S. (2015). Isolation and characterization of biotechnology relevant bacteria from marine environment. *Journal Teknologi*, 77(31): 19-33.
- Thompson, J. R., Pacocha, S., Pharino, C., Klepac-Ceraj, V., Hunt, D. E., Benoit, J. & Polz, M. F. (2005). Genotypic diversity within a natural coastal bacterioplankton population. *Science*, 307: 1311–1313
- Touraki M., Karamanlidou G., Karavida P. Chrysi K. (2012). Evaluation of the probiotics *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus plantarum* bioencapsulated in *Artemianauplii* against vibriosis in

- European sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*, L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28: 2425–2433.
- Tran, L., L. Nunan, R.M. Redman, L.L. Mohny, C.R. Pantoja, K. Fitzsimmons, D.V. Lightner. (2013). Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 105: 45-55. *Doi:10.3354/dao02621*
- Varela, A., y Peña N. (2015). Hepatopancreatitis necrotizante asociada al Fenómeno del Niño, en cultivos de camarones del Golfo de Nicoya. *Repertorio Científico* 18(1): 29-34.
- Wang, F., Wang, P., Chen, M., Xiao, X. (2004). Isolation of extremophiles with the detection and retrieval of *Shewanella* strains in deep-sea sediments from the west Pacific. *Extremophiles*, 8(2): 165–168. *Doi:10.1007/s00792-003-0365-0*.
- Weber, T., Blin, K., Duddela, S., Krug, D., Kim, H. U., Brucocoleri, R. & Medema, M. H. (2015). antiSMASH 3.0-a comprehensive resource for the genome mining of biosynthetic gene clusters. *Nucleic Acids Research*, 43: W237–W243.
- Wu, Y.N., Wen, J., Ma, Y., Ma, X.C., & Chen, Y. (2014). Epidemiology of foodborne disease outbreaks caused by *Vibrio parahaemolyticus*, China, 2003–2008. *Food Control*, 46:197-202.
- Xu, H.M., Rong, Y.J., Zhao, M.X., Song, B. & Chi, Z.M. (2014). Antibacterial activity of the lipopeptides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* M1 against multidrug-resistant *Vibrio* spp. isolated from diseased marine animals. *Applied and Microbiology Biotechnology*, 98: 127- 136.
- Yu, W.T., Jong, K.J., Lin, Y.R., Tsai, S.E., Tey, Y.H. & Wong, H.C. (2013). Prevalence of *Vibrio parahaemolyticus* in oyster and clam culturing environments in Taiwan. *International Journal of Food Microbiology*, 160: 185–192.
- Zarei, M., Borujeni, M.P., Jamnejad, A. & Khezzzadeh, M. (2012). Seasonal prevalence of *Vibrio* species in retail shrimps with an emphasis on *Vibrio parahaemolyticus*. *Food Control*, 25:107– 109.
- Zokaeifar, H., Balcázar, J.L., Saad, C.R., Kamarudin, M.S., Sijam, K., Arshad, A. & Nejat, N. (2012). Effects of *Bacillus subtilis* on the growth performance, digestive enzymes, immune gene expression and disease resistance of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 33: 683–689.



Cultivo experimental de camarón blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) en tecnología biofloc

Experimental culture of white shrimp *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) in biofloc technology

Elina Rodríguez-Barbosa, Luis E. Rodríguez, Pedro Rodríguez, Dilcia Morales, Anilec Benítez, Asdrúbal Rodríguez, Eduardo Castles, Tomás Cabrera

Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta, Venezuela.

 Elina Rodríguez-Barbosa () E-mail: h13elinabar@gmail.com

RESUMEN | Para evaluar la compatibilidad de diferentes fases de cultivo de camarón y la tecnología de cultivo a base biofloc, se describió el protocolo de promoción de los flóculos bacterianos, en experiencias de larvicultura y etapas iniciales del engorde (pre-cría). Las pruebas ocuparon tanques de 20 m³, sistema de bombeo, aireación y de inyección (tipo Venturi). Se calculó una demanda de oxígeno total de 160 g/h por tanque, entre el consumido por los camarones y el empleado por las bacterias. Se aplicó un sistema de sedimentación de flujo radial, para eliminar el exceso de materia floculada, y se elaboraron y probaron sustratos artificiales, los cuales demostraron buena estabilidad estructural, flotabilidad negativa, circulación y flujo de aire y agua a través de los paneles. Se emplearon los biofloculos como filtro, ya que transforman amoníaco y derivados en biomasa bacteriana. Para obtener materia floculada se estimuló la comunidad bacteriana con ensilado de sardina, hasta alcanzar la densidad correspondiente a una velocidad de sedimentación de entre 7 y 15 cm/min (flocs "maduros"). Se comprobó la compatibilidad del biofloc con el cultivo de camarón, con una sobrevivencia alta y con un crecimiento 29% mayor con sustratos, que sin estos. Este proceso estuvo acompañado de un monitoreo fisicoquímico del agua, incluyendo los niveles de amonio, con un fotómetro YSI Y9300, y para evaluar la eficiencia de medición, estimar la repetibilidad, determinar el efecto de la salinidad y comprobar funcionamiento para agua de mar, se realizó un análisis comparativo utilizando el método del azul de indofenol como referencia. La repetibilidad del fotómetro resultó buena, pero no su exactitud. Las concentraciones bajas mostraron mayor CV que las altas y el equipo subestimó la cantidad de analito. Los niveles de salinidad afectaron negativamente el desempeño, aumentando la dispersión entre réplicas, en comparación con la concentración reportada por espectroscopia UV-VIS.

Palabras clave: BFT, flujo radial, nutrientes, fotómetro, repetibilidad.

ABSTRACT | To evaluate the compatibility of different phases of shrimp culture and biofloc-based culture technology, the protocol for promoting bacterial flocs was described in larviculture and grow out experiences. The tests occupied 20 m³ tanks, pumping, aeration and injection systems (*Venturi type*). A total oxygen demand of 160 g / h per tank was calculated, between that consumed by the shrimp and that used by the bacteria. A radial flow sedimentation system was applied to eliminate excess flocculated matter, and artificial substrates were developed and tested, which demonstrated good structural stability, negative buoyancy, circulation and flow of air and water through the panels. Bioflocules were used as a filter, since they transform ammonia and its derivatives into bacterial biomass. To obtain flocculated matter, the bacterial community

was stimulated with sardine silage, until reaching the density corresponding to a sedimentation rate between 7 and 15 cm / min ("mature" flocs). The compatibility of the biofloc with the shrimp culture was verified, with high survival and 29% higher growth with substrates than without them. This process was accompanied by a physicochemical monitoring of the water, including ammonium levels, with a YSI Y9300 photometer, and to evaluate the measurement efficiency, To estimate repeatability, determine the effect of salinity and check performance for seawater, a comparative analysis was performed using the indophenol blue method as a reference. The photometer repeatability was good, but not its accuracy. Low concentrations showed greater CV than high and the equipment underestimated the amount of analyte Salinity levels negatively affected performance, increasing dispersion between replicates, compared to the concentration reported by UV-VIS spectroscopy.

Keywords: BFT, radial flow, nutrients, photometer, repeatability.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura en general, recientemente han desarrollado estrategias de cultivos hiper - intensivos con mínimo recambio de agua. Este enfoque aborda cuestiones ambientales, tanto por la sociedad como por la comunidad científica, con respecto a conceptos de desarrollo sostenible que exigen una convergencia de prudencia ecológica, eficiencia económica y equidad social en todas las actividades humanas (Vinatea *et al.* 2010). Las tecnologías de producción acuícola, incluyendo la de camarones marinos, están determinadas por la interacción de cinco factores, la calidad del agua, las instalaciones de cultivo, la disponibilidad de insumos, las especies de cultivo y la habilidad técnica de balancear todos estos factores en un paquete rentable (Bocek 2007).

En relación a la calidad del agua, los factores involucrados interactúan de maneras complejas (Arescurenaga 2016), siendo uno de los más importantes a considerar es la acumulación de compuestos nitrogenados. Estas sustancias pueden ser absorbidas por microalgas o bacterias heterótrofas, o ser transformado por bacterias nitrificantes (Ebeling *et al.* 2006). Para mantener una alta biomasa en recintos de cultivo, es necesario proporcionar alimento artificial (Hernández 2016). Esto es particularmente importante en los recintos de engorde de sistemas intensivos (Tacon *et al.* 2002). Esta es la principal forma en la que el nitrógeno ingresa a los sistemas de producción. En la actualidad, está demostrado que el nitrógeno es subutilizado (René *et al.* 2000; Miranda-Baeza y Ramos-Brito 2009) y su volumen de descarga es elevado (Sánchez-Romero *et al.* 2013), lo que resulta en un aprovechamiento que pocas veces llega al 50%, el resto se libera en los estanques de manera disuelta (Hargreaves 1998; Rodríguez-Valencia *et al.* 2010; Rivera 2017).

El NH_3^- , representa un problema potencial para los organismos de los sistemas de cultivos acuícolas, y la situación se ve agravada en las operaciones intensivas y cerradas (Chen *et al.* 1986; Li *et al.* 2016), por lo que se considera uno de los factores limitantes en la sobrevivencia de los organismos, (Li *et al.* 2016). La acción tóxica de NH_3^- en los camarones peneidos se debe a una o más de las siguientes causas: destrucción del epitelio branquial; estimulación de la glucólisis y supresión del ciclo de Krebs; inhibición o reducción de la producción de ATP (el metabolismo energético); alteración de la actividad osmorreguladora (el equilibrio

iónico) y disrupción del sistema inmunológico (Camargo y Alonso 2006). Además, cambia el patrón metabólico y afecta el crecimiento, el funcionamiento del sistema nervioso central, la muda y la sobrevivencia (Heath 1995; Wicks *et al.* 2002; Junkunlo *et al.* 2012; Li *et al.* 2016). Considerando lo anterior, es importante realizar un control rutinario de los parámetros hidrobiológicos, para tomar decisiones referentes al manejo (Sánchez y Wheelock 2010), en procura de mantener las variables dentro de los rangos óptimos de bienestar.

El sistema de cultivo basado en biofloc o Tecnología de Biofloc (BFT, por sus siglas en inglés), es un método donde se induce la formación de comunidades microbianas densas, para controlar los desechos nitrogenados liberados (Avnimelech 2007). Estos flóculos microbianos (biofloc) pueden a su vez ser utilizados como alimento para los organismos cultivados (De-Schryver *et al.* 2008). El biofloc está compuesto de bacterias, así como agregados de materia orgánica, algas, protozoos, rotíferos y nemátodos (Hargreaves 2006; Avnimelech 2015). Las características principales de este sistema de cultivo son las elevadas densidades, la mezcla activa por la aireación intensa, el intercambio de agua despreciable o nulo y el considerable aporte de materia orgánica (Browdy *et al.* 2001). En los sistemas BFT, el intercambio reducido de agua, el ingreso de materia orgánica y las elevadas tasas de crecimiento de bacterias heterótrofas contribuyen a un aumento en los sólidos suspendidos totales (TSS, por sus siglas en inglés) (Van Wyk, 2006).

La densidad de sólidos en suspensión es, después del oxígeno, el segundo factor limitante más importante para incrementar la productividad en los sistemas de cultivo BFT (Ebeling *et al.* 2009). Por lo tanto, la eliminación de algunos sólidos suspendidos es esencial para mantener el sistema estable y saludable para los organismos cultivados (Van-Wyk 2006). Tomando en consideración las variantes involucradas, se estableció como objetivo evaluar la compatibilidad de diferentes fases de cultivo de camarón y la tecnología de cultivo a base biofloc, describiendo el protocolo de promoción de los flóculos bacterianos, en experiencias de larvicultura y pre-cría *P. vannamei* en condiciones hiper-intensivas de cultivo, además de probar la aplicabilidad del sistema de sedimentación de flujo radial y de sustratos artificiales de diseño propio, como estrategia para incrementar la superficie disponible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El cultivo experimental se realizó en un área adscrita al Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Oriente, núcleo de Nueva Esparta, Venezuela (Fig. 1), en el marco de un convenio con la empresa Aqua-Tec Cultivos Marinos C.A.

Dimensionamiento de los tanques

Los tanques de concreto, que fueron empleados en la experiencia, cuentan con una capacidad de 20m³,

con 8 m de largo, 3 m de ancho y 0,84 m de profundidad en la columna de agua.

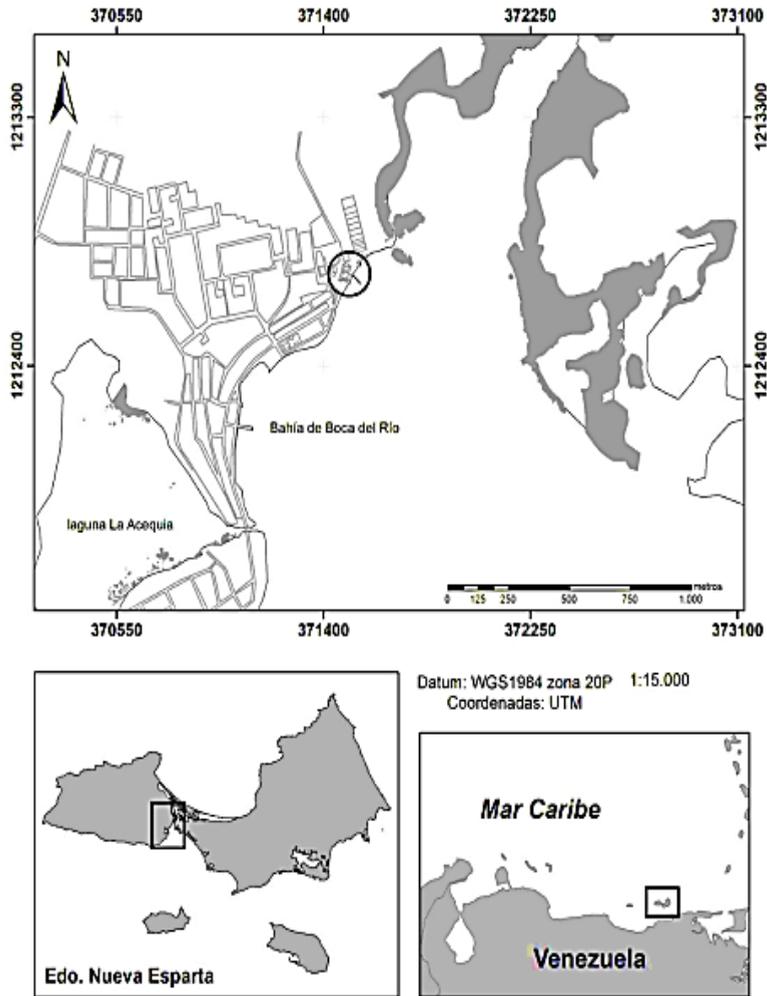


Figura 1. Ubicación geográfica relativa del cultivo experimental de camarón *Penaeus vannamei*, en tecnología Biofloc. Instalaciones del Instituto de Investigaciones científicas. Municipio Península de Macanao, isla de Margarita, Venezuela

Sistema de aireación

Se consideró el consumo de O_2 de los camarones y de los organismos que forman el biofloc, y también la capacidad de transferencia de los aireadores y difusores empleados (SOTR-standard oxygen transfer rate y

SOTE standard oxygen transfer efficiency) en el escenario de máxima densidad proyectado: 500 animales/m³ de 20 g, biomasa de 10 kg/m³, alimentación máxima de 0,2 kg/m³/día, salinidad de 35 ‰ y temperatura de 29 °C. La revisión indica que el consumo de O₂ por los camarones, en condiciones similares a las previstas para el presente escenario, está en el orden de 0,7mg/g/h o 0,7 g/kg/h. Kg (Vinatea *et al.* 2011, Bett y Vinatea 2009, Walker *et al.* 2009, Rosas *et al.* 2001). También se calculó la demanda de oxígeno de los flocs bacterianos. Los días previos a la cosecha, con una biomasa de camarones próxima a los 10 kg/m³, la tasa de alimentación diaria sería de 0,15 kg/m³ de alimento al 35% de proteína; eso corresponde a 8,4 g de Nitrógeno y en el peor escenario posible el 90%, es decir 7,5 g/m³ quedan en solución en el agua del tanque como NH₄. Para que las bacterias lo metabolicen como biomasa necesitan 1 g/h/m³ de O₂, que equivale a 24 g/día/m³. Entonces por un volumen de 20 m³ se necesita de un sistema de aireación en capacidad de poder sostener un consumo de oxígeno de 3.840 g/día o 160 g/h.

Sistema de sedimentación de flujo radial

Se construyeron sedimentadores de flujo radial (SFR), con dos tanques cilíndricos de 550 l, a los cuales les ingresaba el agua del cultivo por medio de una bomba sumergible “Bilge Pump” (Fig. 2). Los cálculos requeridos se basaron en: S=velocidad de sedimentación, determinada en cono de Imhoff, F=flujo de entrada y V=velocidad del desplazamiento del agua en el sedimentador. Para lograr la sedimentación de los flocs, debe cumplirse V<S. Se estimó que los flocs “maduros” sedimentan a una velocidad de entre 7 y 15 cm/min, por lo que se consideró V≤7cm/min. Se calibró el flujo de la bomba, por medio de una válvula de alivio, en 10 l/min.

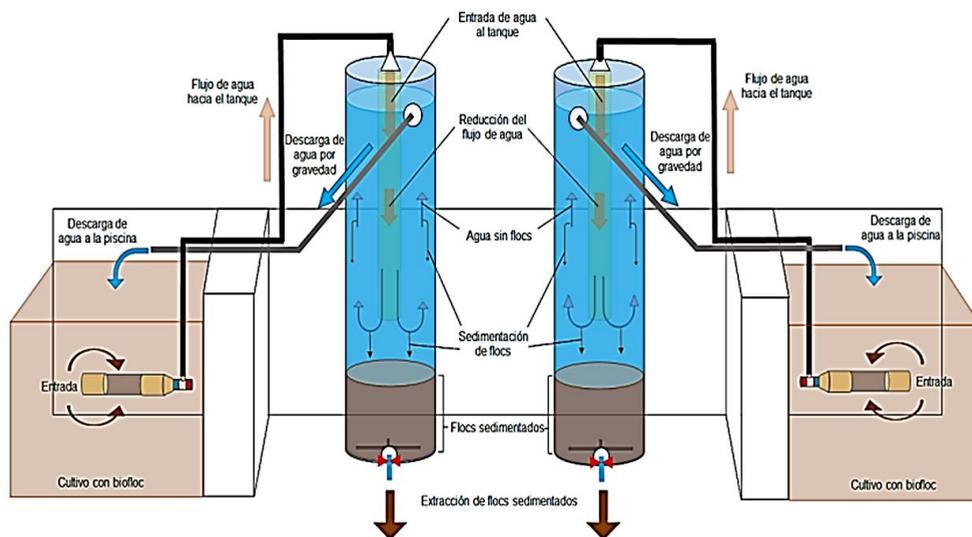


Figura 2. Esquema de posicionamiento de los sedimentadores de flujo radial (SFR), con la descripción de sus componentes estructurales.

Sustratos artificiales

El diseño de los sustratos artificiales consistió en una estructura modular plástica y desmontable, para un cómodo transporte y limpieza. Conformado por un marco con base de apoyo y tres estructuras planas basculantes desplegables (paneles) e igualmente espaciadas, cubiertas con malla mosquitera de fibra de vidrio (Fig. 3).



Figura 3. Armazón de los sustratos, adaptables a dos configuraciones, a la derecha en posición vertical y a la izquierda en horizontal, antes de cubrirse los paneles por la malla de fibra de vidrio.

Promoción de los flóculos bacterianos en los tanques

Ensilado

Para aprender y establecer una rutina de análisis y manejo del biofloc, en la primera etapa del ensayo se simuló la presencia de los camarones y los desechos nitrogenados provenientes de la excreción de los organismos y del alimento no consumido, elaborando ensilado de pescado (sardinas frescas) como fuente de nitrógeno, cuyo método de preparación fue el siguiente: Se trituró sardina fresca en un procesador de alimentos, se le agregó el 3% del peso de las sardinas en ácido acético y ácido cítrico para bajar el pH hasta 4 y benzoato de sodio como fungicida. El ensilado es un método de conservación que comporta la digestión de los tejidos por acción enzimática en ambiente ácido, como resultado, de la fracción nitrogenada, se obtiene

una mezcla de aminoácidos libres, péptidos y proteínas que bien simulan los desechos no transformados en biomasa en el cultivo. Ahora bien, para conocer la cantidad de ensilado necesaria para simular la cantidad de nitrógeno presente en la etapa final en el sistema de cultivo, se utilizó como referencia el alimento comercial con 31,2% de proteína real, que con una conversión prevista de alimento de 1,2. Se envió a un laboratorio externo de análisis una muestra del ensilado para determinar el contenido de proteína, se analizó la cantidad de amonio y en base a los resultados se calculó la cantidad diaria que simularía la presencia de la biomasa prevista de camarón y la alimentación correspondiente.

Larvicultura y pre-cría de *P. vannamei*

Los organismos fueron alimentados con dosis de microalgas (*Chaetoceros gracilis* y *Tetraselmis chunii*), obtenidas del laboratorio de fitoplancton del IIC-UDO, para el caso de nauplios. Los copépodos producidos en el medio de biofloc, se aprovecharon para la alimentación de las fases larvales subsiguientes (protozoas, mysis y postlarvas), acompañado de Epilite Z, Epilite M, EZlarva y FrozenOcean (espirulina en polvo). Para la alimentación de las postlarvas, se suministró adicionalmente Epilite PL (de Epicore Networks) y Raceway Plus (dieta Premium seca para postlarvas) y se complementó con alimento balanceado marca Zeigler. A su vez, se utilizaron nauplios de Artemia (marca Inve, de 85% de eclosión), recién eclosionados.

Con respecto al mantenimiento del biofloc, y siguiendo lo indicado por (Ebeling *et al.* 2006), quienes señalan que la relación de carbohidrato/nitrógeno, es de 15,17 g, que representa la cantidad de carbohidrato que es requerida para que la bacteria (biofloc) metabolice 1 g de N, se planteó la siguiente formula (Ec. 1), para el manejo diario:

$$(\text{TAN} \cdot \text{V}_T) + (\text{FPA} \cdot \text{FNP}) + (\text{A}_{\text{día}} \cdot \text{FPA} \cdot \text{FNP}) = \text{CR}_{\text{CHO}} \quad (1)$$

Dónde:

TAN= Nitrógeno amoniacal total en mg/l, medido diariamente en el agua.

V_T= Volumen total del tanque o piscina.

FPA= Fracción de proteína contenida en el alimento.

FNP= Fracción de nitrógeno contenida en la proteína.

A_{día}= Cantidad de alimento del día.

CR_{CHO}= Carbohidrato Requerido, para mantener el N-Amoniacal bajo 0,1 mg/l.

Tres sustratos fueron puestos en el recinto de cultivo, uno al lado del otro y en posición vertical, maximizando en un 100% el área disponible para las postlarvas, al añadir 24 m² de superficie disponible. Al fin de promover el crecimiento de microorganismos la superficie de los paneles se cubrió con una fina capa de ensilado, la cual se aplicó a mano con brocha.

Prueba de eficiencia del equipo para la medición del amonio

Descripción del equipo

Fotómetro YSI Y9300

El fotómetro YSI Y9300, contó con las siguientes especificaciones (YSI 2009):

- Exactitud: $\pm 0,5\%$ a 4% transmitancia; $\pm 0,005$ a 0,3 AU
- Resolución: 0,001 AU
- Longitudes de Onda operativas: 450, 500, 550, 575, 600 y 650 nm
- Pantalla Gráfica, retroiluminada LCD con instrucciones en pantalla
- Energía: 3 x AA pilas.
- Tamaño: (Ancho, Largo, Alto) 146 x 275 x 75 mm (5,8 x 10,8 x 3 pulgadas)
- Peso: 975 g (2 lbs)
- Tubos de ensayo: Ajuste automático de 12-20 mm diámetro

Curva de calibración

El patrón de amonio a utilizar, fue preparado con sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, a partir del siguiente procedimiento: Secar el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en estufa a 110°C por una hora, dejar enfriar en el desecador, pesar 0,661 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, disolver en 1000 ml de agua químicamente pura, agregar algunas gotas de cloroformo para preservar antes de envasar. El patrón obtenido tendrá una concentración de 140 mg/l N.

Prueba de repetibilidad para concentraciones conocidas de amonio

El desempeño en términos de la repetibilidad, fue probado para cinco concentraciones conocidas: 0,05 mg/l; 0,1 mg/l; 0,3 mg/l; 0,4 mg/l y 0,5 mg/l de N, cada concentración por triplicado (Fig. 4), adicionalmente se realizaron tres blancos de reactivos, para ser medidos en el fotómetro YSI Y9300, en la función PHOT 4 a 650 nm, empleando el procedimiento siguiente: llenar del tubo de ensayo con la muestra al aforo de 10 ml, agregar una tableta del blíster para amonio N° 1 y una tableta del blíster para amonio N° 2, triturar y mezclar para disolver, reposar durante 10 minutos para permitir el desarrollo del color, seleccionar PHOT 4 en el fotómetro para medir el N-amoniaco (mg/l), leer presionando el botón "OK". Las tabletas de reactivos tienen una vida útil indefinida cuando se almacenan en sus bolsas de aluminio (YSI 2010).

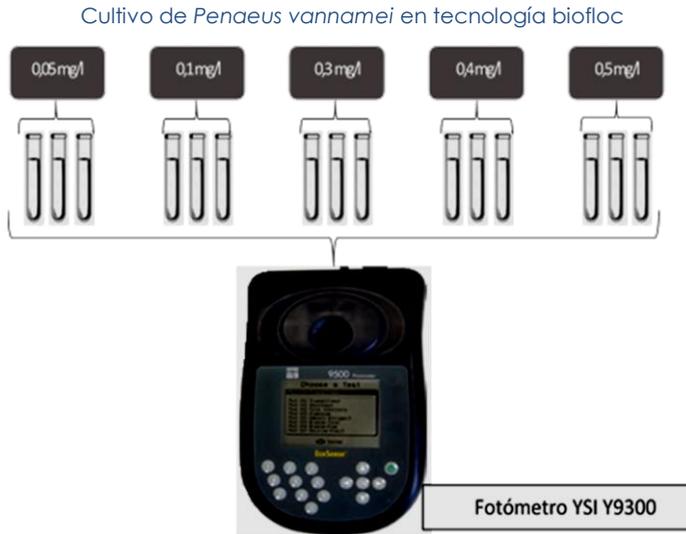


Figura 4. Diseño de la prueba de repetibilidad para concentraciones conocidas de amonio.

Fue calculado el coeficiente de variación (Sokal y Rohlf 1986) para cada concentración, (Ec. 2):

$$CV \% = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100 \quad (2)$$

Donde:

CV %: Coeficiente de variación porcentual

σ : Desviación estándar

\bar{x} : Media aritmética

Prueba de efecto de la salinidad

Fue preparada agua de mar sintética (Astor 1996), a salinidad inicial de 56 y un pH 8, para la elaboración de cuatro diluciones de salinidades (25, 30, 40 y 45) a una concentración fija de amonio, para lo cual se escogió 0,3 mg/l N. Las diluciones empleadas incluyeron agua a 25, 30,40 y 45 de salinidad. Se realizaron cuadruplicados para todos los casos, incluyendo los blancos de reactivos. Los valores de salinidad elegidos fueron fijados basado en el promedio y el rango de fluctuación esperados de este parámetro durante el cultivo. Las mediciones fueron tomadas con los dos equipos, el Fotómetro YSI Y9300 y el espectrofotómetro Thermo scientific Genesys 10uv Scanning. Para comparar las diferentes salinidades y los equipos se implementó un análisis de varianza (Sokal y Rohlf 1986), empleando el programa *Statgraphic Centurion* v.16.

RESULTADOS

Las pruebas de rendimiento del biofloc, en el control de compuestos nitrogenados bajo las condiciones de cultivo, mostraron que los niveles se estabilizan y se mantienen basales luego de las fluctuaciones iniciales máximas producto del arranque del cultivo. En términos de crecimiento, se logró un incremento en peso del 8.173 %, en 22 días de cultivo, dentro de los valores máximos esperados, y la comparación entre con y sin sustratos en esta prueba, indican que los camarones cultivados en sistema de biofloc con sustratos crecieron 29% más que aquellos cultivados sin sustratos (Fig. 5).

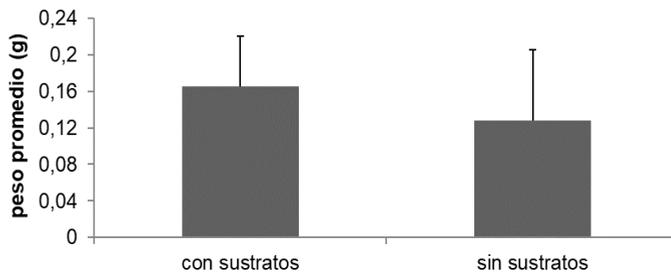


Figura 5. Efecto de los sustratos artificiales sobre el peso promedio de los camarones cultivados en piscinas con sistema de biofloc.

Durante el mismo periodo de tiempo se registraron diariamente los parámetros de calidad de agua, los cuales se presentan resumidos en la tabla 1, siendo estas condiciones las que propiciaron el desempeño obtenido en el cultivo experimental.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos, datos de junio a agosto del 2018.

PARÁMETRO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura (°C)	27,0	26,1	28,6
Oxígeno (% Sat)	88,89	77,75	101,25
Salinidad	39,9	36,5	41,5
pH	7,93	7,05	8,88
TAN (NH ₄ -N mg/l)	0,22	No detectado	1,27
NH ₃ -N (mg/l)	0,03	No detectado	0,16
NO ₃ -N (mg/l)	14,7	6,6	23,0
CO ₂ (mg/l)	2,4	No detectado	7,5
Fosfato (PO ₄ - ppm)	28,5	22,5	30
Dureza total (CaCO ₃ ppm)	430	425	450
Alcalinidad	115,1	90,0	152,5
Turbidez (FTU)	22,8	5,0	59,5
Volumen de sedimento (ml)	6,03	0,15	35,0

Al considerar los niveles de sustancias nitrogenadas uno de los factores críticos, y ya planteadas las pruebas de respetabilidad y efecto de la salinidad en el equipo de medición (fotómetro YSI Y9300), se usó la curva de calibración (Fig. 6), para llevar a cabo las comparaciones.

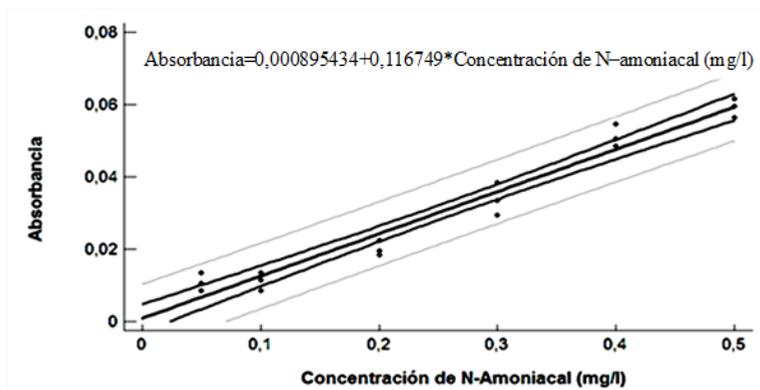


Figura 6. Correlación entre la concentración de N-amoniaco (mg/l) y la Absorbancia (modelo ajustado) (0,978, R² 96% y F = 377,44; p < 0,05).

En la prueba de repetibilidad las concentraciones más bajas mostraron el mayor coeficiente de variación, mientras que las concentraciones superiores reflejaron coeficientes de variación muy bajos, lo cual sugiere que el YSI Y9300 presenta rasgos positivos de repetibilidad, sin embargo, es contraria la situación observada con la precisión de las lecturas, respecto a las concentraciones de N-amoniaco (mg/l) preparadas, puesto que se observa que el equipo subestimó la cantidad de analito el 80% de las veces. En una visión general, el coeficiente de variación presentó un comportamiento inverso a la concentración del analito, es decir, el factor de repetibilidad es más estable a concentraciones altas de N-amoniaco, mientras que a bajas concentraciones la variabilidad es mayor (tabla 2). A pesar de la marcada subestimación de las lecturas, el equipo si refleja la tendencia al incremento de la concentración.

Tabla 2. Prueba de repetibilidad del YSI Y9300 para concentraciones conocidas de amonio.

Nº	[N-NH ₄ ⁺]mg/l	Réplicas			\bar{x}	σ	CV %
		I	II	III			
1	0,05	0,066	0,071	0,060	0,066	0,006	8,4
2	0,1	0,083	0,091	0,091	0,088	0,005	5,2
3	0,3	0,095	0,106	0,095	0,099	0,006	6,4
4	0,4	0,110	0,114	0,112	0,112	0,002	1,8
5	0,5	0,123	0,123	0,117	0,121	0,003	2,9

La rapidez en la obtención de resultados es, una propiedad atractiva del YSI Y9300 frente al método

tradicional de laboratorio (10 min en YSI Y9300 vs 1 hora para el método del azul de indofenol). Para el método de control (azul de indofenol) el ANOVA de una vía demostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de detección del analito y el factor salinidad ($F = 2,92189$; $p > 0,05$), con un nivel de confianza del 95%, sin embargo, el mismo análisis estadístico en el caso del fotómetro YSI Y9300 demostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de detección del analito y el factor de salinidad ($F = 6,35561$; $p < 0,05$) (Fig. 7).

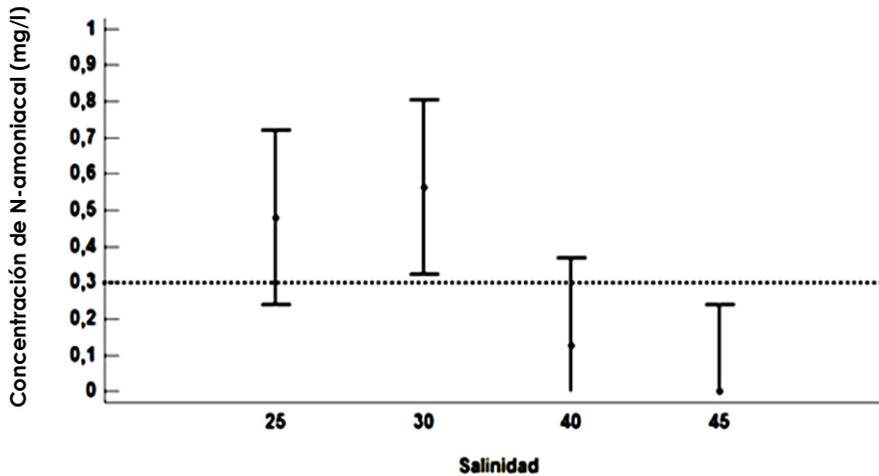


Figura 7. Efecto de la salinidad en la medición de 0,3 mg/l N-NH₄⁺. Medias y 95 % de confianza según el método de Bonferroni,

Se realizó una prueba a posteriori de múltiples rangos (LSD, 95% de confianza), obteniéndose dos grupos homogéneos. En el primer grupo se ubican las salinidades de 25 y 30, en las que se obtuvieron sobreestimaciones, mientras que en el segundo están las salinidades de 40 y 45, las que obtuvieron subestimaciones. Con base en estos resultados se indica que el equipo sobrestimó la cantidad de analito en las réplicas del primer grupo y la subestimó en las réplicas del segundo grupo, presentando la máxima variación en la salinidad de 30 (CV % = 65,1 %) y una desviación estándar promedio de 0,31 mg/l en torno a una lectura promedio de 0,29 mg/l N-amoniacoal. Es importante resaltar que, a la salinidad de 45, el equipo no fue capaz de detectar N-amoniacoal, indicando en su pantalla digital que el valor del analito en la muestra era inferior a la mínima detección. Lo anterior sugiere importantes interferencias en la lectura fotométrica del equipo a elevadas salinidades.

DISCUSIÓN

En el sistema de cultivo hiper-intensivo y con mínimo recambio, la biomasa bacteriana en forma de partículas floculadas (flocs) funciona como un filtro biológico eliminando compuestos tóxicos

disueltos, hay que mantener un equilibrio entre la cantidad de bacteria y su capacidad de filtrar ya que un exceso de bacteria puede ser problemático (Hargreaves 2013; Avnimelech 2015; Collazos-Lasso y Arias-Castellanos 2015; Cottingham 2015; Martínez-Córdova *et al.* 2015), sin embargo el diseño del SFR y su manejo, balancearon la biomasa particulada, que de otra manera hubiese resultado en un excedente perjudicial dentro del medio de cultivo. En el tanque la turbulencia del agua producto de la aireación mantiene las partículas en suspensión y favorece la formación de los flóculos y al mismo tiempo, por efecto mecánico, limita el tamaño evitando que se sedimenten en fondo del tanque, eventualidad no deseada.

Buena parte del ensayo se centró en manejar y estabilizar la relación N/C, por un lado, los análisis de la cantidad de N presente en el agua y la cantidad suministrada con el ensilado, por el otro, la cantidad de carbohidratos que fortalecerá el desarrollo de las bacterias que pudieran asimilar el N. Estas experiencias se llevaron a cabo durante 10 meses, en los cuales se puntualizaron esfuerzos en optimizar el balance N/C y las prácticas de análisis de amonio, así como demás parámetros fisicoquímicos altamente influyentes, llevando a cabo repetidos arranques y variando condiciones de manejo, bajo un constante protocolo de monitoreo, registro y control.

En relación al diseño e implementación de los sustratos artificiales, el uso de estas estructuras y su potencial beneficio, está orientado a la mejora del sistema de cultivo, ya que en esta prueba se ha demostrado que su uso esta intrínsecamente relacionado con el incremento en el desempeño de la producción en sistemas intensivos de camarón. Las implicaciones prácticas de sus potenciales beneficios abarcan la atenuación de los efectos negativos producidos por las elevadas densidades de organismos en el sistema, ya que proporcionan una mayor superficie para el camarón, minimizando el comportamiento antagónico observado comúnmente por la interacción entre los animales, como la competencia por el espacio y el canibalismo. Un beneficio paralelo, se combina con el uso de la tecnología de biofloc, es que ofrece una superficie apta para el crecimiento de comunidades complejas de microorganismos que incluyen, bacterias, hongos, microorganismos bénticos y otros organismos del perifiton, que no solo ayudan a controlar la calidad del agua, sino que también sirven de alimento adicional para los camarones.

Utilizando una metodología semejante al levantamiento del biofloc, se logró cultivar con éxito tanto los copépodos como los nemátodos a muy alta densidad para inocular las piscinas con la larva de camarón. Los inóculos se demostraron exitosos, con una alta densidad inicial seguida por su previsible disminución debida a la presión predatoria de las larvas. Se trata de un recurso muy importante para la primera etapa de cultivo, cuando el crecimiento es potencialmente máximo, y la dieta viva permite una alimentación continua y variada.

Dirigir el tipo de población bacteriana en desarrollo es clave en el resultado, ya que muchas bacterias pueden crecer con estos nutrientes y no todas serian útiles o eficientes. Como se ha

mencionado, las bacterias heterotróficas son la clave para el resultado del biofloc como filtro. Considerando esto último, y en concordancia con las pruebas realizadas al equipo utilizado para el monitoreo diario de las variables fisicoquímicas, es evidente que a pesar de que la precisión le confiere ventajas al método tradicional, la rapidez en la obtención de resultados (10min en YSI Y9300 vs 1 hora para el método tradicional), en lo que respecta a los intereses del protocolo de cultivo, hacen al fotómetro una alternativa funcional para los efectos de monitoreo diario rápido y referencial de la cantidad de compuesto nitrogenado en el medio.

CONCLUSIONES

Se consolidó el protocolo de promoción de los bioflóculos, obteniéndose experiencia en el manejo de las comunidades bacterianas, así como la aplicación de estos como un medio de control frente a la acumulación de las sustancias nitrogenadas. El manejo adecuado de la relación C/N confirma la capacidad del sistema para sostener niveles de biomasa y alimentación muy elevados, manteniendo los parámetros clave dentro de los niveles compatibles con el cultivo. Se encontraron satisfechos los requerimientos de oxígeno de la biomasa bacteriana y de los camarones, además la inclusión del proceso de sedimentación (SFR) y de los sustratos artificiales, de diseño innovador, proporcionaron altas tasas de crecimiento (29% más que aquellos cultivados sin sustratos) así como más alta sobrevivencia. Las pruebas de larvicultura y pre-cría comprobaron la compatibilidad del biofloc con el cultivo de camarón, resultando viable su aplicación en proyectos comerciales de cultivo.

Agradecimientos

A la empresa Aqua-Tec Cultivos Marinos C.A., al igual que al Instituto de Investigación Científica, a la Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, a la Universidad de Oriente, a la Prof. Fabiola López y a Luigi Bottazzi.

REFERENCIAS

- Arescurena A. (2016). Diseño de los componentes hidráulicos de un sistema de recirculación acuícola y el diseño estructural de los tanques de cultivo. Tesis de grado. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Lima, Perú. 141pp.
- Astor Y. (1996). Manual de Análisis de aguas para acuicultura y ciencias marinas. Estación de Investigaciones Marinas de Margarita (EDIMAR). Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Colección cuadernos Flasa serie ciencia y tecnología N°8. pp 89.
- Avnimelech Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*. 264(1-4): 140-147.

- Avnimelech Y. (2015). *Biofloc Technology. A Practical Guidebook*. 3th Edition: World Aquaculture Society. Technion Israel Institute of Tecnology. Baton Rouge, Luisiana, United States. 258pp.
- Bett C., Vinatea L. (2009). Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption rate. *Brazilian Journal of Oceanography*. 57(4):305-314.
- Bocek A. (2007). *Acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural: Cultivo de machos de tilapia sexados a mano*. Alabama, USA. 5pp.
- Browdy C., Bratvold D., Stokes A., McIntosh R. (2001). Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. *The New Wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture*, 1:20-34.
- Camargo J., Alonso A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6):831-849.
- Chen J., Chin T. (1989). Effect of ammonia at different pH levels on *Penaeus monodon* postlarvae. *Asian Fisheries Science*, 2:233-238.
- Collazos-Lasso L., Arias-Castellanos J. (2015). Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia*. 19(1):77.
- Cottingham G. (2015). *an Evaluation of management criteria for biofloc systems used in high-density early life stage rearing of marine penaeid shrimp at low and high salinity*. Tesis grado master of Science in Fisheries and Mariculture. Texas am University Corpus Christi. 58pp.
- De-Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*. 277(3-4):125-137.
- Ebeling J., Timmons M., Bisogni J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Acuaculture*. 257:346-358.
- Ebeling J., Timmons M., Bisogni J. (2009). An Engineering Analysis of the Stoichiometry of Autotrophic, Heterotrophic Bacterial Control of Ammonia-Nitrogen in Zero-Exchange Marine Shrimp Production Systems. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 10(1):63-89.
- Hargreaves J. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*. 166(3-4):181-212.

- Hargreaves J. (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34(3):344-363.
- Hargreaves J. (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center*, 4503:1-12.
- Heath A. (1995). Water pollution and Fish Physiology. INC Boca Ratón, Florida. 359pp.
- Hernández J. (2016). Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado. Tesis de master en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. 119pp.
- Junkunlo K., Prachumwat A., Tangprasittipap A., Senapin S., Borwornpinyo S., Flegel T., Sritunyalucksana K. (2012). A novel lectin domain-containing protein (LvCTLD) associated with response of the whiteleg shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* to yellow head virus (YHV). *Developmental & Comparative Immunology*, 37(3-4):334-341.
- Li W., Lu X., Luan S., Luo K., Sui J., Kong J. (2016). Heritability of body weight and resistance to ammonia in the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Oceanology and Limnology*, 34(5):1025-1033.
- Martínez-Córdova LR., Emerenciano M., Miranda-Baeza A., Martínez-Porchas M. (2015). Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: An updated review. *Reviews in Aquaculture*, 7(2):131-148.
- Miranda-Baeza A., Ramos-Brito L. (2009). Efluentes camaronícolas: impactos y remediación. *Camaronicultura sustentable. Manejo y evaluación*, (1):126-144.
- René M., Sánchez V., Zea S. (2000). Metabolismo de nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos en la columna de agua en una laguna costera tropical (Caribe Colombiano). *Caribbean Journal of Science*, 36(1-2):127-140.
- Rivera P. (2017). Influencia de la concentración de amonio y su relación con las comunidades bacterianas en piscinas camaroneras. Tesis de grado. Universidad técnica de Machala. Unidad Académica de ciencias agropecuarias. 25pp.
- Rodríguez-Valencia J., Crespo D., López-Camacho M. (2010). La camaronicultura y la sustentabilidad del

Golfo de California. 13pp. Disponible en línea <http://www.wwf.org.mx>.

- Rosas C., Cuzon G., Gaxiola G., Le Priol Y., Pascual C., Rossignol J., Contreras F., Sanchez A., Van Wormhoudt A. (2001). Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: Effect of salinity and dietary carbohydrate levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259(1):1-22.
- Sánchez H., Wheelock R. (2010). Efecto de la densidad de siembra sobre la sobrevivencia de pre-crías de camarón *Litopenaeus vannamei* en la finca “Acuícola Real” de la empresa Farallón Aquaculture”. Tesis de grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 56 pp.
- Sánchez-Romero A., Miranda-Baeza A., López-Elías J., Martínez-Córdova L., Tejeda-Mansir A., Márquez-Ríos E. (2013). Efecto del fotoperiodo y la razón camarón: macroalga en la remoción de nitrógeno amoniacal total por *Gracilaria vermiculophylla*, en cultivo con *Litopenaeus vannamei*, sin recambio de agua. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(5):888-897.
- Sokal R., Rohlf F. (1986). Introducción a la Bioestadística. Vol. 5. Editorial Reverté. 366pp.
- Tacon A., Cody J., Conquest L., Divakaran S., Forster I., Decamp O. (2002). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*, 8(2):121-137.
- Van-Wyk P. (2006). Production of *Litopenaeus vannamei* in Recirculating Aquaculture Systems: Management and Design Considerations. En: *International Conference Recirculating Aquaculture*. 6:38-47.
- Vinatea L., Gálvez A., Browdy C., Stokes A., Venero J., Haveman J., Lewis B., Lawson A., Shuler A., Leffler J. (2010). Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. *Aquacultural Engineering*, 42(1):17-24.
- Vinatea L., Muedas W., Arantes R. (2011). Impacto do consumo de oxigênio do camarão *litopenaeus vannamei* em relação ao peso corporal, temperatura, salinidade na aeração do viveiro: Uma simulação. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 33(2):125-132.
- Walker S., Neill W., Lawrence A., Gatlin D. (2009). Effect of salinity and body weight on ecophysiological performance of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 380(1-2):119-124.
- Wicks B., Joensen R., Tang Q., Randall D. (2002). Swimming and ammonia toxicity in salmonids: the

effect of sub lethal ammonia exposure on the swimming performance of coho salmon and the acute toxicity of ammonia in swimming and resting rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 59(1-2):55-69.

YSI. (2010). YSI 9300 and 9500. Photometers. User Manual. Yellgow Springs, OH, USA. 143pp.



Distribución, producción y potencialidad del ostión *Crassostrea* spp. (Bivalvia: Ostreidae) en Cuba

Distribution, production and potential of the oyster *Crassostrea* spp. (Bivalvia: Ostreidae) in Cuba

Abel Betanzos-Vega¹, José Manuel Mazón-Suástegui², Barbarito Jaime Ceballos¹, Gustavo Arencibia Carballo¹

¹Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP). Calle 246 entre 5ta Ave y Mar, reparto Barlovento, CP. 19100, Municipio Playa. La Habana, Cuba.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). Calle I.P.N. 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, CP. 23090 La Paz, B.C.S. México.

 Abel Betanzos-Vega () E-mail: ajesus4161@gmail.com

RESUMEN | La pesca-recolección de ostión (*Crassostrea* spp.) en Cuba, tiende a la disminución y se han reducido los aportes por ostricultura. Se realizó un inventario de bancos silvestres y de cultivo, y un análisis de la producción por regiones y especies, con el fin de calcular un potencial a partir de la generalización de la producción ostrícola artesanal. Se encontraron diferencias significativas en la producción de ostión, entre la región occidental y oriental y entre la costa norte y sur de Cuba. Se identificaron quince sitios de distribución de *C. rhizophorae* (Ostión de Mangle) y cuatro de *C. virginica* (Ostión de Fondo). La producción aumenta hacia el sur y el este de Cuba. Se estimó un potencial de 2000 t por ostricultura, si se aplican Buenas Prácticas y se limita la recolección de ostión silvestre a una cuota máxima anual de 500 t, para garantizar la biomasa adulta que debe aportar las semillas para el ostricultivo artesanal.

Palabras clave: Ostricultura, producción y potencialidad, inventarios, Cuba.

ABSTRACT | The fishing-recolection of oyster (*Crassostrea* spp.) in Cuba tends to decrease and the contributions from oyster farming have been reduced. An inventory of wild and farmed banks was carried out, as well as an analysis of production by regions and species, in order to calculate a potential from the generalization of artisanal oyster production. Significant differences were found in oyster production, between the western and eastern region and between the north and south coast of Cuba. Fifteen distribution sites of *C. rhizophorae* (Mangrove Oyster) and four of *C. virginica* (Bottom Oyster) were identified. Production increases towards the south and east of Cuba. A potential of 2000 t per oyster farming was estimated, if Good Practices are applied and the collection of wild oysters is limited to a maximum annual quota of 500 t, to guarantee the adult biomass that must provide the seed for artisanal cultivation.

Keywords: Oyster farming, production and potentiality, inventories, Cuba.

INTRODUCCIÓN

En Cuba habitan y se explotan comercialmente dos especies de ostión (1200 t promedio anual), el ostión de mangle (OM) Antillano (*Crassostrea rhizophorae* Guilding, 1828) en hábitat intermareal, y el ostión Americano (*Crassostrea virginica* Gmelin, 1791) denominado en Cuba “ostión de fondo” (OF) de hábitat submareal (Betanzos-Vega *et al.* 2016). La talla media y máxima y el rendimiento en carne es mayor en *C. virginica* que en *C. rhizophorae*, pero la distribución de OF en Cuba es limitada, y solo se cultiva artesanalmente *C. rhizophorae* (Mazón-Suástegui *et al.*, 2019; Betanzos-Vega *et al.*, 2020a).

En la década de 1980 se alcanzaron producciones anuales superiores a 1000 t de ostión en concha, con un 50% de la producción total de ese periodo, proveniente del cultivo de OM (Frías y Rodríguez, 1991). Posterior a 1990 la producción nacional disminuyó en más de 50%, y las causas se imputan a afectaciones ambientales y reducción de recursos materiales para ostricultura (Mazón-Suástegui *et al.*, 2019). El cultivo se realiza a partir de la fijación de larvas del medio natural en colectores, y el engorde de juveniles (semillas) en granjas de empalizadas ubicadas en zonas someras (< 3 m), adyacentes a los manglares de borde donde se ubican los bancos naturales. Se utiliza el sistema intermareal (*intertidal*) que reduce la epibiosis pero también el tiempo de alimentación a unas 12 horas/día (Mazón-Suástegui *et al.*, 2019) debido al régimen de mareas en Cuba, con dos pleamares y dos bajamares/día.

El inventario periódico de bancos ostrícolas silvestres por región, y su evaluación hidrológica, permiten actualizar el estatus de las especies y su abundancia para su óptima explotación comercial, y estimar un potencial por cultivo, por especie y región. El objetivo del presente estudio fue actualizar información sobre la distribución regional y volumen de producción de *Crassostrea* sp en Cuba, así como estimar un potencial productivo nacional por especie/tecnología/región y sitios específicos, mediante la ostricultura artesanal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron criterios antecedentes de potencialidad de las aguas para el cultivo marino, según su calidad fisicoquímica y capacidad de carga de cuerpos lagunares en áreas marinas con manglares de borde, estuarios y lagunas costeras (12720 km²). Igualmente se evaluaron aguas marinas someras de la plataforma (47190 km²) con características mesotróficas y oligo-mesotróficas, cuyo potencial productivo anual por cultivo de moluscos bivalvos puede superar las 10000 t (Perigó *et al.*, 2013). Con este criterio, se visitaron zonas con bancos naturales de ostión *Crassostrea* sp sujetos a explotación pesquera y se actualizó la información referente a las áreas sujetas a explotación acuícola comercial en Cuba.

Se analizó la producción total nacional de ostión, y según región occidental y oriental, (Fig. 1), tomando en cuenta la división según plataformas marinas. Se investigó además, la producción según costa norte y sur de Cuba, con objetivo de actualizar información sobre la distribución de bancos ostrícolas naturales y determinar diferencias o similitudes de la producción por regiones. Los datos de producción se obtuvieron de la estadística empresarial de las entidades pesqueras dedicadas a la actividad ostrícola, pesca y cultivo. El potencial por ostricultura se estimó según estudios de calidad hidrológica y capacidad de carga de los ecosistemas, y diagnósticos previos de los bancos naturales (Betanzos Vega *et al.*, 2012; Perigó *et al.*, 2013; Mazón-Suástegui *et al.*, 2019; Betanzos-Vega *et al.*, 2020a), teniendo en cuenta también, la productividad actual por sitios y provincias.

Previo a los análisis estadísticos comparativos (Anova) se determinó la normalidad de los datos según la prueba de Shapiro-Wilks. Para diferenciar entre las medias anuales por regiones se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD (*Less Significant Difference*) de Fisher. Todos los análisis ($p = 0.05$) se realizaron con el programa estadístico Statgraphics Centurion 17.2.02. (2016).

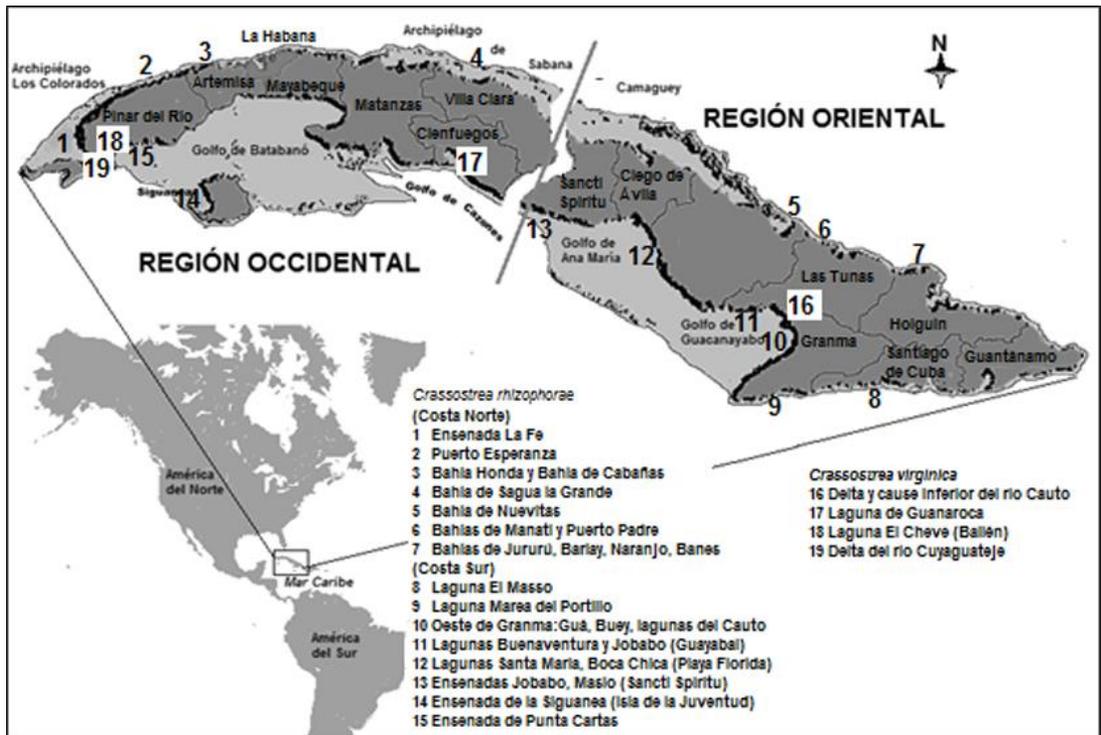


Figura 1. Localización geográfica, mostrando la división realizada para el análisis de la producción de ostión según regiones occidental y oriental y los sitios principales de distribución de ostión *Crassostrea* sp en Cuba.

RESULTADOS

Existe presencia de ostión en 12 provincias de Cuba y en el municipio especial Isla de la Juventud, pero solo en ocho provincias ocurre explotación comercial (2017 a 2020). De 19 sitios con bancos ostrícolas naturales (Figura 1), en 15 de ellos existe presencia de *C. rhizophorae* (OM) y en cuatro sitios, de *C. virginica* (OF). Actualmente, la producción nacional no alcanza las 2000 t de ostión desde 1998 (Fig. 2), y solo dos provincias superan las 200 t anuales (Tabla 1). Dos provincias al occidente (Artemisa y Villa Clara) y dos al oriente (Holguín y Las Tunas), todas ubicadas en la costa norte del país, tienen granjas de ostricultura artesanal, que aportaron en conjunto 220 t de ostión como promedio anual (2016 – 2020); y una granja en Santiago de Cuba, la única al Sur de Cuba, con una producción media anual de 10 t. El ostión Americano *C. virginica* (OF) ha contribuido en promedio con 280 t anuales de ostiones silvestres, durante el periodo 2016 – 2020.

Producción de ostión, Cuba

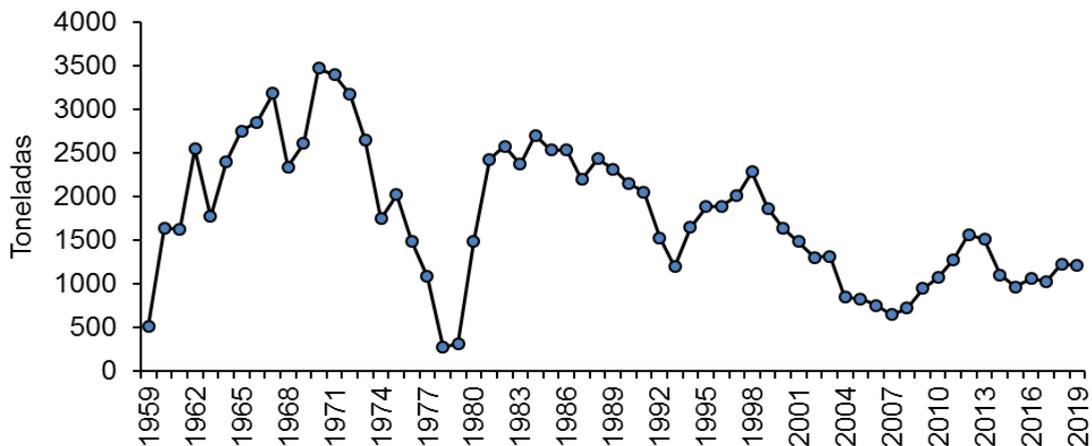


Figura 2. Variación anual de la producción total de ostión en concha, Cuba (1959-2019).

Tabla 1. Producción de ostión (*Crassostrea* sp) por provincia y región (occidental y oriental). Se muestran datos promedio y desviación estándar (2016- 2020).

	REGIÓN OCCIDENTAL			REGIÓN ORIENTAL				
	Pinar del Río	Artemisa	Villa Clara	Camagüey	Las Tunas	Holguín	Granma	Santiago de Cuba
Promedio	80.6	77.2	88.1	203.2	195.7	113.1	388.6	9.8
Desvest. (±)	27.3	77.9	8.1	74.9	67.0	19.5	92.0	13.1

Se encontró una diferencia estadísticamente significativa (Anova; $F_{(1,8)} = 296.7$; $p = 0.0001$) en la producción anual, entre la región occidental (245.9 ± 62.4 t) y la oriental (907 ± 44.1 t), considerando las medias de ambas regiones, con mayor producción de ostión hacia el este de Cuba (Fig. 3a). También se encontraron diferencias significativas (Anova; $F_{(1,8)} = 33.3$; $p = 0.0012$) entre los valores medios de producción de las costas norte (397.4 ± 108.5 t) y sur (731 ± 40.3 t) del país (Fig. 3b). Esto significa que la producción ostrícola se incrementa hacia el sur y el este, con menor estabilidad al occidente y al norte según desviación estándar. De la producción nacional (2016 – 2020), la región occidental aportó en promedio el 21.3% y el 78.7% la oriental. La costa norte contribuyó con el 35.8% y la sur con el 64.2%.

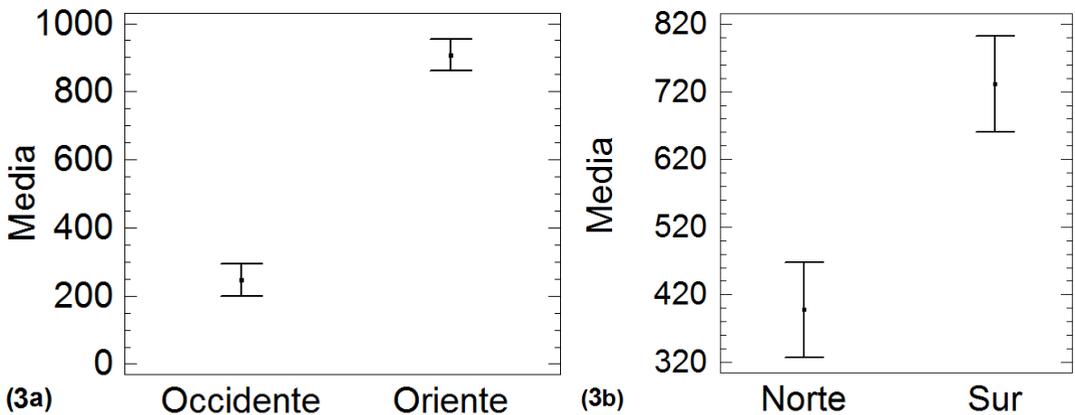


Figura 3. Producción de ostión en concha (ton) en Cuba, comparando por región (Occidental y Oriental; 3a) y por latitud (Norte y Sur; 3b). Medias e intervalos del 95% de Fisher LSD.

El OM (*C. rhizophorae*) aporta el 70% de la producción nacional; con un 75% de pesca extractiva en bancos silvestres y 25% de producción por ostricultura artesanal. El OF *C. virginica* contribuye con 25% de la producción ostrícola nacional, por pesca extractiva.

Derivado del análisis realizado, se estimó un potencial nacional anual de 2500 t de ostión, 2000 t por vía del cultivo artesanal, y una cuota máxima permisible de 500 t de ostión silvestre por pesca extractiva. Para la región occidental se estimó un potencial por cultivo de 450 t anuales, para los sitios mostrados en la fig. 1: 2 (40 t), 3 (150 t), 4 (200 t) y 18 (60 t). Para la región oriental se calculó un potencial de 1550 t por ostricultura, para los sitios mostrados en la fig. 1: 6 (350 t), 7 (200 t), 8 (20), 9 (50), 11 (200 t), 12 (280 t) y 16 (450 t).

DISCUSIÓN

El ostión de fondo *C. virginica* (OF) muestra una mayor talla media que el ostión de mangle *C. rhizophorae* (OM) y un mayor potencial para venta de ostión individual en su concha en nichos de mercado turísticos. A la fecha, el OF no se utiliza en la ostricultura cubana, siendo recomendable su

cultivo en zonas adyacentes a sus bancos naturales previamente identificados, donde pueden cubrirse los requerimientos ambientales de la especie (Mazón-Suástegui, 2018; Betanzos-Vega *et al.*, 2020b). Contradictoriamente, a pesar de que la producción ostrícola de *Crassostrea* sp se incrementa hacia el sur y el este, y de que los bancos silvestres de *C virginica* con mayor biomasa se ubican al sureste de Cuba, no se aplican técnicas de ostricultura en esa región.

El potencial estimado de 10000 t por cultivo (Perigó *et al.*, 2013) no es actualmente factible, pues estaría supeditado a: 1) una expansión del cultivo hacia zonas de plataforma, con características mesotróficas, más alejadas de los bancos naturales, 2) inversiones en laboratorios para desove y cría de larvas que permitan producir el insumo biológico indispensable que son los juveniles o semillas, con una alta sobrevivencia, 3) inversiones en la infraestructura de las granjas y cambios en el sistema de cultivo, incorporando el cultivo de “semilla suelta” de *C. virginica* para obtener y comercializar ostión individual, 4) realizar fijación larvaria y pre-cría en “estaciones remotas” para reducir el tiempo (6 meses) en las granjas de engorde, y garantizar dos cosechas anuales por granja.

Debido a la biomasa silvestre actualmente disponible y a la situación económica vigente, la generalización de la ostricultura artesanal a partir de la colecta y engorde de larvas del medio natural es la opción más viable. El pronóstico a corto plazo (5 años) es de 2000 t anuales por ostricultura artesanal, diversificando el cultivo según sistemas de empalizadas, balsas flotantes y líneas flotantes (*Long-line*), según profundidad y características de los sitios potenciales para el cultivo, buscando siempre su óptimo aprovechamiento, y combinando el método submareal con el intermareal, utilizando colectores que garanticen un alto rendimiento (ostiones fijados/colector). Finalmente, se considera necesario aplicar un enfoque precautorio en la explotación de bancos silvestres, recolectando menos del 50% de la población adulta con la talla mínima comercial oficialmente establecida en Cuba: longitud anteroposterior > 40 mm para *C. rhizophorae* y > 60 mm para *C. virginica*. Lo anterior, fuera de los periodos de máxima madurez gonádica, desoves poblacionales, y meses de máximos de fijación larvaria y captación de semillas, indispensables para el cultivo.

CONCLUSIONES

Se puede alcanzar una producción nacional de 2500 t, debido a un potencial de 2000 t por ostricultura artesanal si se aplica una cultura basada en buenas prácticas de cultivo, y un enfoque precautorio en la captura del recuso ostrícola silvestre (cuota máxima de 500 t).

Agradecimientos

El presente trabajo fue posible gracias a la cooperación del sector pesquero del grupo empresarial de la industria alimentaria (GEIA) de Cuba, y a la colaboración del CIP (Cuba) y el CIBNOR (México).

REFERENCIAS

- Betanzos Vega, A., Garcés Rodríguez, Y., Delgado miranda, G. y Pis Ramírez, M. A. (2012). Variación espacio-temporal y grado de eutrofia de sustancias nutrientes en aguas de los golfos de Ana María y Guacanayabo, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas y Costeras*, 4: 117-130. ISSN 1659-455X.
- Betanzos-Vega A., Lodeiros, C., Espinosa-Sáez, J. y Mazón-Suástegui, J. M. (2016). Identificación de la ostra Americana *Crassostrea virginica* como recurso natural en las Antillas Mayores: Cuba. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(54): 1342-1347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.09.005>.
- Betanzos-Vega, A., Mazón-Suástegui, J. M., Tello-Cetina, J. A., Tordecillas, J. L. & Burelo, M. (2020a). Variations and decline in oyster (*Crassostrea* spp.) production, southwest Cuba: Environmental factors and fishery management. *Revista Bio Ciencias*, 7.e957. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e957>
- Betanzos-Vega, A., Arencibia-Carballo, G. Latisnere-Barragán, H. & Mazón-Suástegui, J. M. (2020b). Influencia de factores ambientales y antrópicos en la población de ostión *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae), en río Cauto, Cuba. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91: e912843. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2843>
- Frías, J.A. y Rodríguez, J. (1991). Oyster culture in Cuba: Current state, techniques and industry organization. In G.F. Newkirk and B.A. Field (Eds), *Oyster Culture in the Caribbean. Proceeding of a Workshop*, 19–22 November 1990, at Kingston, Jamaica. Mollusc Culture Network, Halifax, Canada. 51–74 pp.
- Mazón-Suástegui, J. M. (2018). Bioecología y manejo acuícola pesquero de moluscos del género *Crassostrea*: caso ostión americano *C. virginica* (Gmelin, 1791). En A. Betanzos-Vega, J. M. Mazón-Suástegui y G. Arencibia-Carballo (Eds.), *La ostricultura: una alternativa de desarrollo pesquero para comunidades costeras en Cuba* (pp. 25–41). Campeche: EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche.
- Mazón-Suástegui, J.M., Tripp-Quezada, A. y Betanzos-Vega, A. (2019). Diagnóstico de la producción de ostión (Bivalvia: Ostreidae) en Cuba, ventajas de *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) para la ostricultura. *Revista de Investigaciones Marinas*, 39(2): 105-118. <http://www.cim.uh.cu/rim/Centro>

Perigó, E., Álvarez-Lajonchére, L., Martínez-Bayón, C. & Betanzos-Vega, A. (2013). Diagnóstico ambiental para la factibilidad del desarrollo sustentable de la acuicultura marina en Cuba. Impactos y Respuestas. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 30(1): 57-60.



Estrategias de reproducción en cautividad de la ortiguilla de mar (*Anemonia sulcata*) para optimizar su reintroducción en el medio natural

Captive breeding strategies for sea anemones (*Anemonia sulcata*) to optimize its reintroduction into the natural environment

Ana Esther Ortiz-Maldonado^{1,2}, Amalia Pérez Jiménez³, Pedro Antonio Álvarez Molina², Eva Encarnación Rufino Palomares⁴, Carolina Alonso Pozas², Cristina Elena Trezado Romero¹.

¹Departamento de Biología Celular, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

² iMare Natural S.L. Granada, España.

³Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

⁴Departamento de Bioquímica y Biología Molecular I, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada, España.

✉ Ana Esther Ortiz Maldonado () E-mail: anaestherom@ugr.es; anaesther.imare@gmail.com

RESUMEN | El principal objetivo de este estudio se centró en el desarrollo de estrategias de reproducción en cautividad de la ortiguilla de mar (*Anemonia viridis*, Forsskål, 1775; *Anemonia sulcata*, Pennant 1777) con fines de repoblación de fondos marinos en la costa de Granada, en el sur de España. Tras un estudio previo del estado de conservación de esta especie en el litoral granadino, se seleccionaron tres áreas en las que se llevó a cabo un muestreo y recolección de ejemplares para su posterior adaptación a condiciones de cautividad. Las tres estaciones de muestreo fueron Calahonda, Salobreña y Almuñécar. Los animales se mantuvieron en unas condiciones óptimas para su cultivo atendiendo a la alimentación y requerimientos nutricionales, hidrodinámica del agua, iluminación natural, y grado de tolerancia a los principales parámetros físico químicos del agua. Durante el período experimental se hizo un seguimiento de los parámetros biométrico en las distintas líneas poblacionales y se definió una estrategia de multiplicación del *stock* por división asexual inducida. Finalmente se llevó a cabo el diseño de estructuras de fijación de los clones resultantes de la división para la posterior reintroducción de individuos en el medio natural.

Palabras clave: *Anemonia sulcata*, ortiguilla de mar, repoblación, reproducción asexual.

ABSTRACT | This study focused on developing breeding strategies for culture sea anemones (*Anemonia viridis*, Forsskål, 1775; *Anemonia sulcata*, Pennant 1777) under captivity in order to repopulate the seabed of the coast of Granada, in southern of Spain. After a previous evaluation of the conservation status of this species on the coast of Granada, three areas were selected for sampling and collection of specimens to adapt them to culture conditions. The sampling points were Calahonda, Salobreña and Almuñécar. Optimal culture conditions were settle according to feeding and nutritional requirements, hydrodynamics of water, light incidence, and tolerance to main

physicochemical parameters of water. Throughout the experimental period, biometric parameters of specimens of the different population lines were monitored and a strategy to multiply the stock through induced asexual reproduction was defined. Finally, it was established a design of fixing structures of the clones for reintroduced into the natural environment.

Keywords: *Anemonia sulcata*, asexual reproduction, restocking, sea anemones.

INTRODUCCIÓN

Anemonia sulcata var. *viridis* (Forsskål, 1775; Pennant 1777), conocida comúnmente como ortiguilla de mar, es un cnidario anthozoo de la familia Actinidae con distribución en las costas andaluzas. La ortiguilla mar es muy apreciada para su consumo dado que presenta excelentes propiedades nutricionales (Daza *et al.*, 2002), un enorme potencial culinario y de compuestos bioactivos (Schweitz, H. *et al.* 1995; Honma & Shiomi, 2006), siendo objetivo de actividad de marisqueo en algunas localizaciones del litoral andaluz. Dado que el abastecimiento en los mercados procede únicamente de una actividad de marisqueo extractivo, algunas zonas han llegado a tal estado de sobreexplotación que han desembocado en un notable declive de las poblaciones naturales de esta especie.

Los individuos son dioicos y ovíparos. La reproducción es tanto asexual por bipartición, como sexual, por fecundación externa tras la liberación de gametos al medio. En el primero de los casos, la división se produce a partir del tronco, formándose dos clones genéticamente idénticos. Sólo se han estudiado con profundidad los géneros *Aiptasia* y *Nematostella*, concluyendo que ambos tipos la reproducción sexual y asexual tienen componentes estacionales (Fritzenwanker y Technau, 2002; Schlesinger *et al.*, 2010) estando su dinámica de poblaciones condicionada por factores ambientales (Di Camillo, *et al.*, 2021).

A pesar del firme conocimiento de la biología y ecología de *Anemonia sulcata* var. *viridis*, (Ocaña *et al.*, 2000) son pocos los estudios sobre su zootecnia con finalidades de cultivo, si bien, quedando estos reducidos al sector de la acuariofilia como especie ornamental (Fernández-Pulpeiro, 2010).

En este sentido, la optimización del cultivo de *Anemonia sulcata* supondría la apertura de una posibilidad para incorporar una nueva especie en pro de la diversificación del tejido industrial acuícola andaluz. El hecho de que presente una buena capacidad de adaptación a las condiciones de cautividad (Fernández-Pulpeiro, 2010) ofrece resultados expectativas prometedoras en cuanto a reproducción, crecimiento y supervivencia. Finalmente, con el cultivo de la ortiguilla de mar con fines de repoblación se contribuiría a la preservación de las poblaciones naturales, en el marco de la “economía azul” en pos de la conservación de mares y océanos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Recolección de ejemplares

Se recolectó un centenar de ejemplares de *Anemonia sulcata* var. *viridis* de cada una de las tres áreas de estudio seleccionadas: estación 1, Calahonda (36°42'11.0"N, 03°24'45.5"W); estación 2, Salobreña (36°44'12.2"N, 03°35'35.1"W) y estación 3, Almuñécar (36°44'41.8"N, 03°39'41.9"W). Las tres líneas poblacionales fueron recolectadas entre el 29 de octubre y 3 de diciembre de 2020.

Los individuos fueron transportados en contenedores con agua de mar hasta las instalaciones de iMare Natural-Andalmar Biotech S.L. donde se llevó a cabo el ensayo experimental durante 16 semanas.

Instalaciones y condiciones de cultivo

Una vez en las instalaciones, los ejemplares se distribuyeron en tanque exterior de hormigón cúbico (8 m³ de volumen útil) auto vaciable e impermeabilizado con pintura de epoxi, bajo sistema RAS (Recirculation Aquaculture System).

Con la finalidad de identificar la procedencia e independizar cada lote dentro del tanque de cultivo, las anémonas se estabularon en cestillos de plástico reticulados y flotantes (35 cm x 27 cm x 12.5 cm). La densidad de carga fue de 20 anémonas por cestillo. Los animales se mantuvieron con fotoperiodo natural y temperatura ambiental.

El sistema de filtración estaba provisto de filtración mecánica mediante filtro de arena de sílex Astralpool 8m³/h., impulsado por bomba Astralpool 7.8m³/h 500- 0.485kw; filtro biológico de 200 l con biobolas bactoballs de Aqua Medic 3,4cm y skimmer turboflotador 5000 Aqua Medic con bomba venturi Ocean Runner OR3500 de Aqua Medic. Durante los dos meses previos al ensayo se preparó la maduración del biofiltro, realizándose cambios de agua del sistema RAS de un 30% semanal. Una vez estabilizado, la reposición de agua de mar nueva se redujo a un 10%-15% semanal.

Asimismo, las anémonas se cultivaron bajo tecnología IMTA (*Integrated Multitrophic Technology of Aquaculture*), introduciendo organismos de distintos niveles tróficos: moluscos filtradores (*Mytilus edulis*), moluscos herbívoros (*Patella caerulea* y *Monodonta turbinata*), equinodermos herbívoros (*Paracentrotus lividus*), y equinodermos detritívoros (*Holothuria tubulosa*).

El control de los parámetros físicoquímicos del medio se llevó a cabo mediante controles diarios para el caso de temperatura y salinidad, (Waterproof pH-Temp Adwa AD11, refractómetro V2 Refractometer) y semanales para el resto de parámetros: pH (Waterproof pH-Temp Adwa AD11),

compuestos nitrogenados, fosfatos y alcalinidad, mediante análisis colorimétrico (Marine Multitest box SERA).

Composición de la dieta y alimentación

Se elaboró una dieta adaptada a las necesidades nutricionales de la especie a base en un triturado de pescado fresco, elaborado artesanalmente con picadora eléctrica multifuncional de 350W. La composición fue de 36% pescado azul (*Scomber scombrus*, *Scomber japonicus*, *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurita*), 35% de pescado blanco (*Boops boops*, *Pagellus acarne*), 15% calamar (*Loligo gahi*), 7% gamba (*Solenocera melantho*) y 7% mejillón (*Mytilus galloprovincialis*).

La ingesta semanal fue de un 6% de su peso corporal, administrado directamente en la proximidad del orificio bucal dos veces en semana.

Parámetros biométricos

Al final del periodo experimental se analizaron los parámetros biométricos en los ejemplares de las diferentes áreas de muestreo. Se midió el diámetro del disco basal con calibre (Vernier Caliper 0-150 mm). Se estimó el diámetro medio por ejemplar (dm) a partir del promedio de las dos medidas cruzadas (d_1 , y d_2). Tras un minuto escurriendo cada ejemplar se obtuvo el peso individual, usando balanza de precisión (Kern 440-33 d= 0,01g).

Inducción de reproducción asexual y control de la tasa de supervivencia

En condiciones de cautividad, cuando los individuos son sobrealimentados, se producen frecuentemente divisiones espontáneas, pero también se puede inducir la división haciendo un corte longitudinal desde la abertura oral con ayuda de bisturí o tijera de disección.

De cada línea poblacional, se tomaron un total de 63 ejemplares de la estación Calahonda, 58 de la estación Salobreña y 43 de la estación Almuñécar, para hacer un análisis biométrico previo a la inducción de la división asexual.

Como estructuras de fijación de los clones de anémonas procedentes de división asexual inducida, se diseñaron discos calcáreos, que servirían a su vez para la reintroducción de estos ejemplares en el medio natural. Estos discos, de 10 cm de diámetro y 2 cm de grosor se fabricaron artesanalmente con mortero blanco Portland, arena calcárea y agua en proporción 1:2:1 respectivamente.

El hecho de que los individuos no se encontraran en el medio natural, fue un aspecto clave a la hora de realizar la evaluación de la evolución de los individuos tras la reproducción asexual inducida. Las

condiciones de cautividad permitieron hacer un seguimiento del comportamiento individual de los clones en términos de cuantificación de los nuevos individuos generados por división inducida, tasa de supervivencia, crecimiento, etc.

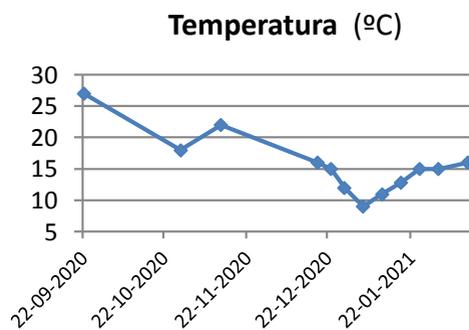
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento en los parámetros de calidad del agua

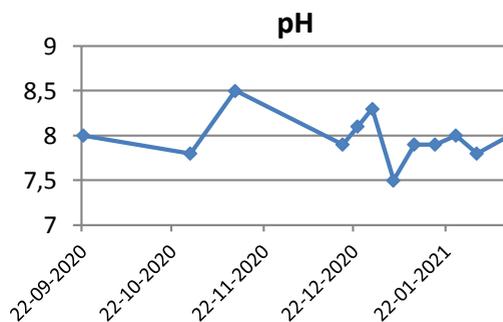
Durante el período experimental los principales parámetros de calidad del agua de cultivo se mantuvieron en valores promedio óptimos para un sistema RAS, si bien, se apreciaron ciertas oscilaciones asociadas al proceso de maduración del biofiltro. Con relación a la temperatura, el sistema soportó valores de hasta 27°C, a principios de otoño de 2020, y bajadas de hasta los 9°C a comienzos del invierno de 2021. En la Tabla 1 se muestran los valores promedio, máximos y mínimos registrados de los principales parámetros fisicoquímicos medidos en el agua del tanque de cultivo. Las Figura 1(A-G) abajo representadas muestran la evolución temporal de cada parámetro.

Tabla 1. Valores promedio y extremos de los parámetros fisicoquímicos del medio de cultivo de *Anemonia sulcata* durante el período experimental.

Parámetro	Promedio	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	15,7	9	27
S ‰	34,5	32	36
pH	8	7,5	8,5
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,1	0	0,25
NO ₂ (mg/l)	0,1	0	0,5
NO ₃ (mg/l)	12,9	0	25
PO ₄ (mg/l)	0	0	0,25
dKh (°) dureza carbonatos	7,6	7	7,6



a)



b)

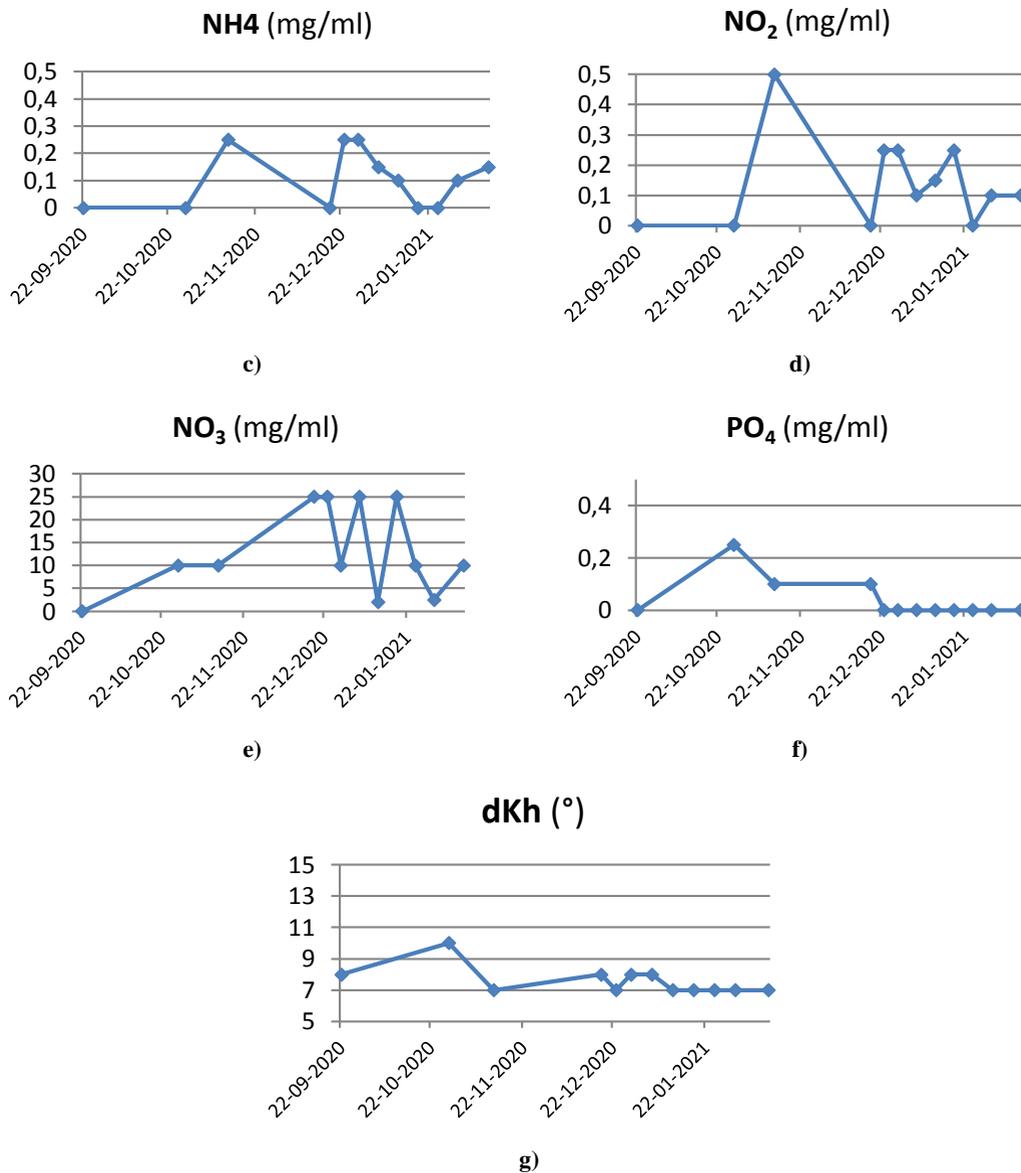


Figura 1. Evolución temporal de los parámetros fisicoquímicos del medio de cultivo en cautividad de *Anemonia sulcata* durante 16 semanas. **A:** temperatura, **B:** pH, **C:** amonio, **D:** nitritos, **E:** nitratos, **F:** fosfato, **G:** dureza por carbonatos.

Los principales parámetros fisicoquímicos analizados como indicadores de calidad del agua del sistema RAS, pusieron de manifiesto ciertas oscilaciones, sobre todo en pH y compuestos nitrogenados NH_4^+ , NO_2 y NO_3 , asociadas al proceso de maduración y coincidiendo con los períodos de entrada de nuevos ejemplares al tanque de cultivo y tras los procesos de alimentación. A pesar de los picos máximos registrados de NH_4^+ (0,25 mg/l), NO_2 (0,5 mg/l) y NO_3 (0,25 mg/l) la supervivencia de los ejemplares no se vio afectada.

En este sentido, está demostrada la capacidad de adaptación de estos invertebrados a un amplio rango de variación de las condiciones físicas del medio, siendo un comportamiento típico de regiones templadas (Bensoussan *et al.*, 2010). Los valores de temperatura tan extremos registrados (9 y 27°C) no supusieron un factor limitante, dado que el carácter euritermo de esta especie la hace propia de zonas someras y pozas inter mareales (Manuel, 1988; Schmidt, 1972).

En el caso de los fosfatos y alcalinidad, si bien se apreció una ligera subida al inicio del ensayo, a niveles inocuos para los invertebrados, luego se puso de manifiesto un descenso progresivo estabilizándose a niveles de 0 mg/l para los fosfatos y 7° de dureza de carbonatos.

Análisis biométrico

Para biométrico se estableció una comparativa entre la frecuencia porcentual de ejemplares por rango de peso en las tres áreas de estudio (Tabla 2). Del total de ejemplares recolectados en las tres estaciones de muestreo, el 71% se encontraron en rangos de peso de 21-40 g.

Tabla 2. Peso medio de *Anemonia sulcata* recolectados en tres puntos diferentes del litoral de Granada.

Parámetro	Estación 1 Calahonda	Estación 2 Salobreña	Estación 3 Almuñécar
Peso medio (g)	45,3	50,1	33,6
Mínimo	24	16	13
Máximo	78	120	47
σ (desv. est.)	13,43	22,26	8,59
n	63	58	43

Los valores se estimaron a partir de 63,58 y 43 individuos por estación de muestreo de Calahonda, Salobreña y Almuñécar, respectivamente.

En el estudio biométrico (Fig. 2) se observó un menor tamaño en los ejemplares de anémonas procedentes de Almuñécar con respecto a los puntos de Salobreña y Calahonda. Estos dos últimas presentaron valores de peso más homogéneos entre sí, con cifras entre 20-50 g.

En Salobreña se encontró más disparidad de tamaños, encontrándose valores en el rango 16-120 g encontrándose más de la mitad (58,8 %) con un peso entre 31-60 g. En cuanto a los ejemplares procedentes de Calahonda, el análisis biométrico mostró un rango de tamaño de 24-78 g. Este grupo de animales presentó una diversidad de peso intermedia, con una menor disparidad de tamaño con respecto a Salobreña, pero abarcando un rango más amplio con relación a Almuñécar. Así, del total de ejemplares muestreados en Calahonda, el 25,7% se encontró en el rango de los 31-40 g, el 28,6% en el rango de los 41-50 g y el 17% entre los 51-60 g.

En Salobreña, la presencia de ejemplares de gran tamaño (por encima de 50 g) generalmente aislados o en grupos poco densos de 2-3 individuos, hizo pensar que se podría tratar de fieles candidatos a continuar su proceso de maduración gonadal para culminar la reproducción sexual en la estación primaveral. Por otro lado, ejemplares de peso menor a 50 g podrían haber tenido un origen mediante divisiones asexuales.

En Calahonda, un 28% de ejemplares rondaron valores de peso en torno a 41-50 g apareciendo incluso ejemplares de hasta 78 g. Esto, aunque en menor porcentaje que Salobreña, pudo ser indicativo de la presencia de futuros reproductores sexuales

El hecho de que las poblaciones de Almuñécar fueran más pequeñas y homogéneas, planteó la hipótesis de que la estrategia reproductiva en esa zona de muestreo fuera mayoritariamente asexual. Es posible que las características ambientales del área de muestreo de Almuñécar influyeran en el tamaño medio de los ejemplares. De hecho, el estudio poblacional previo a la recolección de ejemplares puso de manifiesto una zonificación bien diferenciada entre comunidades algales, erizos de mar y otros invertebrados, asociado a una baja densidad de *Anemonia sulcata* (6-15 individuos/m²).

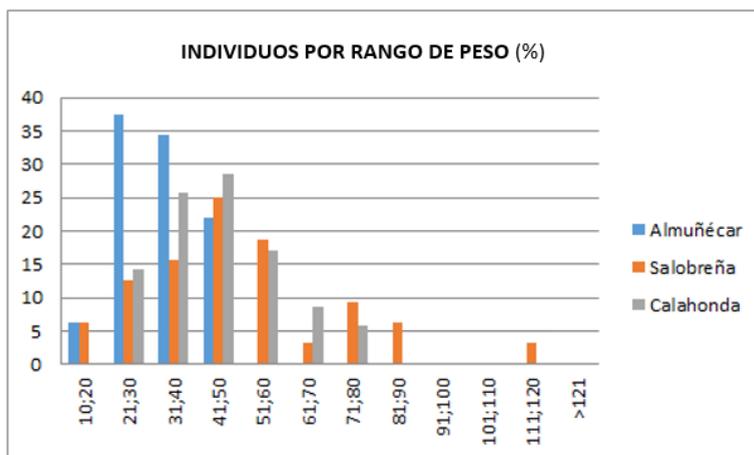


Figura 2. Porcentaje de ejemplares de *Anemonia sulcata* por rango de peso en los tres puntos de muestreo analizados.

División asexual inducida

En el medio natural, la forma más común y constante a lo largo del año de reproducción es mediante división asexual, produciendo clones genéticamente idénticos. La fisión longitudinal comienza por un estiramiento lateral de la columna a lo largo del eje directriz hasta la total separación en dos mitades de igual tamaño. Éstas incluyen porciones de los mesenterios y las paredes laterales del cuerpo, comenzando inmediatamente a cerrar y a formar los mesenterios, tentáculos y sifonoglifos (Bocharova, y Kozvich, 2010).

En condiciones de cautividad, la división asexual ocurre también de manera espontánea si los individuos son sobrealimentados, pero también ésta se puede inducir haciendo un corte longitudinal completo de los mesenterios.

En este estudio, la reproducción asexual inducida en ejemplares seleccionados mostró que en el transcurso de 24 h los clones recién segmentados cerraron su disco basal, alcanzándose la cicatrización completa de los mismos tras un tiempo promedio de 15 días desde la realización del corte.

Tras la inducción a la segmentación, se pusieron de manifiesto unas tasas de supervivencia del 90% tras la cicatrización y recuperación del corte. De igual manera, inducciones posteriores en clones derivados constataron que un mismo individuo podía asumir hasta 4 cortes, aunque con un descenso de la capacidad de recuperación y tasa de supervivencia a niveles del 65-70%.

CONCLUSIONES

La recolección del medio natural y aclimatación en condiciones de cautividad de *Anemonia sulcata* var. *viridis*, tomando como base la tecnología de cultivo integrado multitrófico IMTA, mostró resultados esperanzadores para el logro de los objetivos de una multiplicación masiva con fines de repoblación, aumento de la variabilidad genética y recuperación de las poblaciones naturales, actualmente muy castigadas como consecuencia de la sobreexplotación de este recurso con fines gastronómicos.

Con el estudio de distintas líneas poblacionales en el litoral granadino, se abre una puerta a la continuidad y ampliación de nuevos estudios que permitan corroborar la hipótesis de que sus estrategias reproductivas sexual y/o asexual están condicionadas por factores ambientales locales.

Finalmente, dada su relativa facilidad para adaptarse a las condiciones de cultivo fuera del entorno natural, esta especie se presentó como un potencial recurso que favorezca la diversificación del sector acuícola.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP) de la Unión Europea, dentro de la convocatoria de proyectos PLEAMAR 2019 de la Fundación Biodiversidad perteneciente al Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico por a través del proyecto ORTIMAR (Ref. FB2019-1).

REFERENCIAS

- Bensoussan, N., Romano, J. C., Harmelin, J.G., Garrabou, J. (2010). High resolution characterization of northwest Mediterranean coastal waters thermal regimes: To better understand responses of benthic communities to climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 431–441.
- Bocharova, E.S., Kozvich, I.A. (2011). Modes of reproduction in sea anemones (Cnidaria, Anthozoa). *Biology Bulletin*, 38: 849–860.
- Daza, J.L., Del Castillo, F., Márquez, I. 2002. *La Pesquería del Erizo y la Anémona de Mar en el litoral de Cádiz y Málaga*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Ser. Recursos Pesqueros
- Di Camillo, G., Arossa, S., Pica, D., Azzurra, B., Torsani, F., Cerrano, C. (2021). Phenology of *Anemonia viridis* and *Exaiptasia diaphana* (Cnidaria: Anthozoa) from marine temperate ecosystems. *Mediterranean Marine Science*, 22: 40-50.
- Fernández, E. 2010. *Realización de un estudio sobre evolución de las poblaciones de Anemonia viridis en el litoral gallego*. Consellería do Mar de la Xunta de Galicia. Extraído de http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/3681/anemonia_viridis_el_enorme_potencial_de_un_recurso_escasamente_explotado.html. (Consultado: 12/03/2021)
- Fritzenwanker, J.H., Technau, U. (2002). Induction of gametogenesis in the basal cnidarian *Nematostella vectensis* (Anthozoa). *Development Genes and Evolution*, 212: 99-103.
- Honma T, Shiom K (2006). Peptide toxins in sea anemones: structural and functional aspects. *Mar. Biotechnol*, 8: 1–10.
- Manuel, R. L. (1988). *British Anthozoa. Synopses of the British Fauna (new series)*. Leiden: D. M. Kermack & R. S. K. Barnes. 241 pp.
- Ocaña, A., Sánchez, L., López, S., Viciano, J.F. (2000). *Guía Submarina de Invertebrados no Artrópodos*. Ed. Comares. Granada. 471 pp.

Panagiotis, K., Chariton, C. (1997). Biometric investigations on the cnidae of the Rustica-color variety of the sea anemone *Anemonia Viridis* (Förskal, 1775). *Israel Journal of Zoology*, 43:385-390.

Scheweitz, H., Bruhn, T., Guillemare, E., Moinier, D., Lancelin, J.M., Bèress, L., Lazdunski, M. (1995). Kalicludines and Kaliseptine. Two different classes of sea anemone toxins for voltage sensitive K channels. *Journal of Biological Chemistry*, 270: 25121-25126.

Schlesinger, A., Kramarsky-Winter, E., Rosenfeld, H., Armoza-Zvoloni, R., Loya, Y. (2010) Sexual Plasticity and Self-Fertilization in the Sea Anemone *Aiptasia diaphana*. *PLoS ONE*, 5: e11874.



Cultivo, *in situ*, de fragmentos de coral *Mussismilia harttii* en dispositivos impresos en 3D

In situ cultivation of coral fragments *Mussismilia harttii* on 3D printed devices

María Gabriela Moreno Ávila, Amanda Lucena dos Santos, Pedro Vítor Vasconcelos Silva, Ranilson de Souza Bezerra, Rudā Fernandes Brandão Santos

Laboratório de Enzimología. Departamento de Bioquímica. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Brasil.

✉ María Gabriela Moreno Ávila () E-mail: gabriela.morenoavila@ufpe.br

RESUMEN | La especie *Mussismilia harttii* es el principal coral formador de arrecifes en el noreste de Brasil y está clasificado como en peligro de extinción. En este trabajo se evaluó la viabilidad de obtención de *nubbins* de coral a partir de dos variaciones realizadas en un dispositivo de cultivo creado con tecnología 3D (patente: BR 10 2018 007496 2). Los *nubbins* se produjeron utilizando una micro rectificadora; luego fueron pesados, fijados a una base denominada FAST, e insertados en la base de anclaje sujeta a una mesa de cultivo. Se utilizaron 10 réplicas para cada tratamiento, siguiendo los lineamientos de la licencia ambiental suministrada. Como resultado, el aumento de peso en el dispositivo 1 fue del 251% o $9,75 \pm 4,38$ g y para el dispositivo 2 fue del 192% o $9,73 \pm 4,14$ g. La tasa de crecimiento específico y la supervivencia (100%) fue la misma en ambos tratamientos, mientras que el número de pólipos divididos fue del 20% en el dispositivo 1 y no se observó en el dispositivo 2. Estos resultados demuestran el potencial de utilizar tecnología avanzada en el manejo de ecosistemas arrecifales con implicaciones positivas y sin precedentes para el cultivo de la especie *Mussismilia harttii* (y probablemente otras especies de este género) a partir de pequeños propágulos.

Palabras clave: cultivos de coral, *in situ*, restauración, fragmentación, impresión 3D.

ABSTRACT | *Mussismilia harttii* is the principal species of coral reef builders in northeastern Brazil, which is endangered of extinction. In this work, we evaluated the feasibility of obtaining coral *nubbins* from two variations made in a device cultivation (patent application: BR 10 2018 007496 2). The *nubbins* were produced using a Rotary tool; they were weighed by fixing to a base called FAST and inserted into the anchor base attached to a crop table. Each treatment had ten replicas by following the guidelines of the supplied environmental license. As a result, the weight gain for the first device was 251% or 9.75 ± 4.38 g; and for the second device was 192% or 9.73 ± 4.14 g. The specific growth rate and survival (100%) were the same in both treatments, while the number of divided polyps in the first device was 20% and was none in the second device. The results showed

the potential of using advanced technology to manage reef ecosystems with positive and unprecedented *implications for the cultivation* of the species *Mussismilia harttii* (and probably other species of this genus) from small propagules.

Keywords: coral cultures, *in situ*, restoration, fragmentation, 3D printing.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más importantes del planeta. Ellos sustentan el 25% de todas las especies marinas y ofrecen servicios ecosistémicos a los humanos, promoviendo la economía costera por medio del turismo, pesca y recreación. Al mismo tiempo protegen las costas de tempestades y erosión (Moberg and Folke, 1999). Sin embargo, estos ecosistemas están en degradación, debido al aumento de las perturbaciones humanas y al cambio climático global (Hoegh-Guldberg, 2011).

La costa brasilera es el único hábitat de arrecifes del océano Atlántico Sur (Leão *et al.*, 2016). Estos ecosistemas presentan un elevado endemismo y una baja diversidad de especies (Rogers *et al.*, 2014). En la actualidad, estos arrecifes están expuestos a una intensa presión antropogénica como sobrepesca, contaminantes, sedimentación y derrame de petróleo; así como eventos meteorológicos que han desencadenado blanqueamiento masivo de corales (Duarte *et al.*, 2020). Entre las especies más afectadas se encuentra *Mussismilia harttii*. Esta especie es el principal coral formador de arrecifes del Nordeste de Brasil y sus poblaciones se han reducido en un 50 % durante las últimas 3 décadas motivo por el cual se encuentra catalogada como en peligro de extinción (ICMBio/MMA, 2018)

Las estrategias tradicionales de conservación global no son suficientes para mitigar el impacto acelerado del cambio climático en los arrecifes de coral (Rinkevich, 2020; Shaish *et al.*, 2008), por lo que es necesario implementar estrategias locales activas y progresivas para gestionar estos ecosistemas. En este ámbito, la jardinería de corales (Rinkevich, 1995) es una de las metodologías más efectiva y ampliamente usada con diversas especies en todo el mundo (Levy *et al.*, 2010; Mbije *et al.*, 2010; Tortolero-Langarica *et al.*, 2019). Esta técnica cuenta con dos etapas: cultivo de fragmentos de coral en viveros hasta que alcancen tamaños adecuados; y la trasplante a áreas de arrecife degradadas (Epstein and Rinkevich, 2001; Mbije *et al.*, 2010)

En la actualidad, se ha implementado el uso de tecnología 3D en la investigación oceanográfica. Diferentes aplicaciones como monitoreo ecológico de fondos marinos; estudios de biomecánica, hidrodinámica, locomoción de organismos marinos; y la restitución de arrecifes de coral degradados han sido atendidas a través de esta tecnología (Mohammed, 2016). Sin embargo, aún no ha sido probada en el cultivo de corales. Por tal motivo el presente trabajo evalúa la viabilidad de obtención de *nubbins*

del coral *Mussismilia harttii* a partir de dos variaciones realizadas en un dispositivo de cultivo creado con tecnología 3D.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en Porto de Galinhas, playa situada a 65 km de Recife, capital del estado de Pernambuco, Brasil. El Arrecife se ubica a 120 m de la costa (Santos *et al.*, 2014), tiene una extensión aproximada de 900 m (Barradas *et al.*, 2011) y está constituido por tres bloques rectangulares paralelos a la playa, separados entre sí por canales con profundidades no mayores a 10 m.

Las muestras fueron colectadas en la región sur de la plataforma, en una piscina llamada “Mar do sul” ($8^{\circ}30'40.36''$ S; $34^{\circ}59'53.40''$ O) mientras que el área de experimentación se ubica en la región central de la plataforma en una piscina llamada “Passadeira de cima” ($8^{\circ}30'34.96''$ S; $34^{\circ}59'52.23''$ O) (Fig. 1)

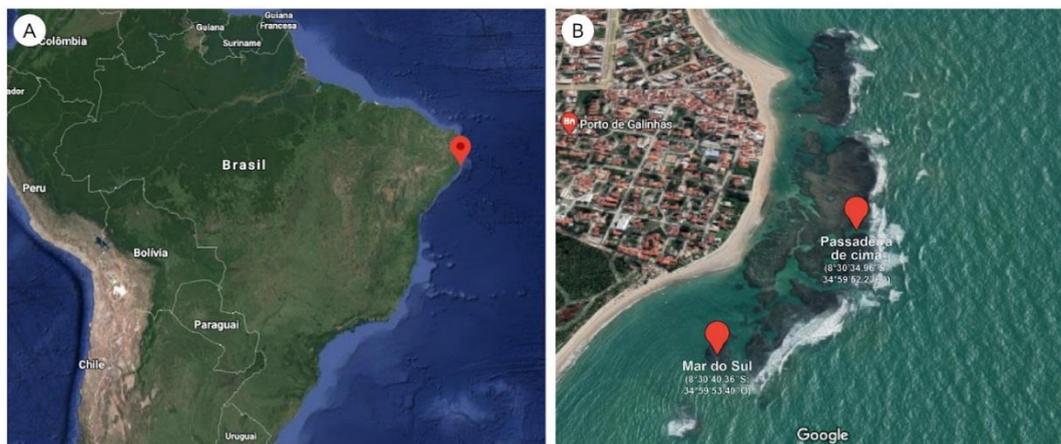


Figura 1. Mapa de Porto de Galinhas, Pernambuco- Brasil: mostrando dos áreas de trabajo. A) “Mar do Sul”: área de colecta de muestra ($8^{\circ}30'40.36''$ S; $34^{\circ}59'53.40''$ O) B) “Passadeira de cima” área de cultivo ($8^{\circ}30'34.96''$ S; $34^{\circ}59'52.23''$ O). **Fuente:** Mapa adaptado de Google Earth Pro.

Elaboración de dispositivos y preparación de las mesas de cultivo

Fue diseñado e impreso en un equipo de impresión 3D (marca Creality, modelo Ender 5 Plus) dos variantes de un dispositivo de cultivo denominando FAST (Fast Access Structure for Transplantation, (patente: BR 10 2018 007496 2). El dispositivo consta de una estructura, impresa en polilactida (PLA),

compuesta por dos partes: plataforma de fijación de *nubbins* y una base de anclaje que permite la sujeción a la mesa de cultivo (figura 2). La primera variante del dispositivo presenta una superficie lisa, mientras que a la segunda variante le fue adicionada unas bordas con la finalidad de impedir que algas u otros organismos incrustantes se adhirieran a los *nubbins* (Fig. 2.b)

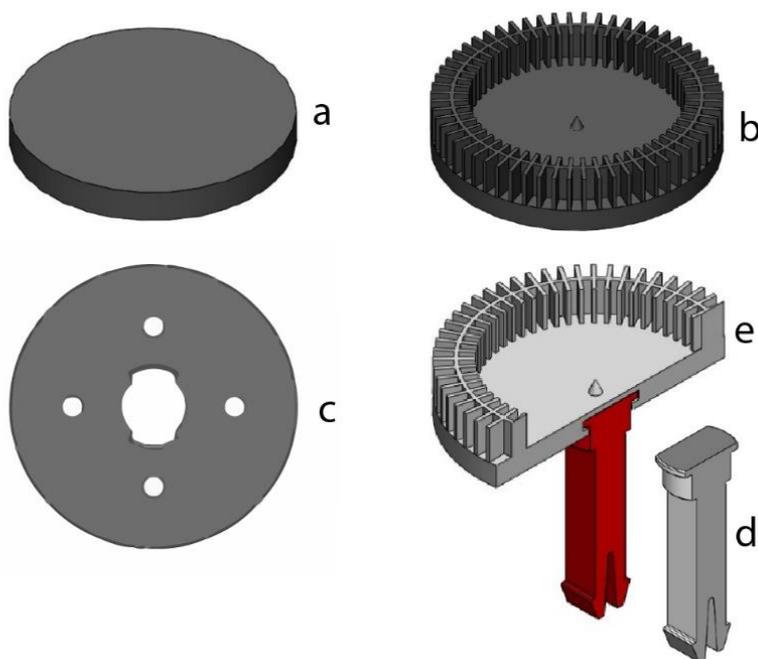


Figura 2. Dispositivo de cultivo FAST. a) vista superior de la versión 1 de la plataforma de fijación de *nubbins* para *M. hartii*. b) vista superior de la versión 2 de la plataforma de fijación de *nubbins* para *M. hartii* c) Vista inferior de ambos dispositivos. d) base de anclaje a la mesa de cultivo. e) Dispositivo de cultivo FAST para *nubbins* de *M. hartii*

Para la recolección de muestras fue aprobada una licencia a través del “Instituto Brasileiro Chico Mendes de conservação ambiental”. Fueron colectados pólipos de coral que se encontraban sueltos en el fondo marino para así evitar la manipulación del coral saludable.

Los *nubbins* de coral fueron producidos usando una micro rectificadora portátil marca Dremel, modelo 8220. Los pólipos fueron cortados dejando aproximadamente 1,5 cm del coralito; luego fueron colados sobre la base de fijación usando cianoacrilato; fueron pesados y fotografiados con escala y se sujetaron a la mesa por medio de la base de anclaje. Las mesas de cultivo se construyeron con tubos de PVC de 1,1 x 0,2 m (largo x ancho) y de unos 40 cm de altura.

Un total de 10 *nubbins* fueron usados como réplicas para cada dispositivo, el peso promedio inicial fue de $4,8 \text{ g} \pm 2,21$ (promedio \pm desviación estándar) para el dispositivo 1, y $5,8 \text{ g} \pm 2$ para el dispositivo 2. No hay diferencia significativa entre el peso promedio inicial de los *nubbins* entre ambos dispositivos (T-test; $p > 0.05$).

Crecimiento y sobrevivencia

Las mesas de cultivo fueron monitoreadas por 150 días, en los cuales no se realizó manipulación a los dispositivos de cultivo. La sobrevivencia fue definida como el número de *nubbins* vivos adheridos al dispositivo al final del experimento. Los *nubbins* se consideraron desprendidos cuando los corales se separaron de la base.

Para evaluar el rendimiento de crecimiento, fue normalizado el crecimiento en función al peso, debido a que ofrece una cuantificación más confiable para la comparación entre especies (Pupier *et al.*, 2018). Fue calculado:

$$(1) \text{ Ganancia de peso: } P_g = P_f - P_i$$

$$(2) \text{ Tasa de crecimiento específica: } SGR (\text{día}^{-1}) = \frac{\ln P_f - \ln P_i}{\Delta t}$$

Donde P_f = peso final, P_i = peso inicial y, Δt = intervalo de crecimiento en días.

Análisis estadísticos

Para determinar si había diferencias significativas entre los pesos medios y los tamaños de los *nubbins*, se realizó la prueba T de Student al encontrar que todos los datos estaban distribuidos normalmente y mostraban homogeneidad de varianza ($p > 0,05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001)

RESULTADOS

Se registró una ganancia de peso para el dispositivo 1 de $9,75 \pm 4,38 \text{ g}$ que equivale a 251% y para el dispositivo 2 la ganancia fue de $9,73 \pm 4,14 \text{ g}$ que equivale a 192% (tabla 1). La tasa de crecimiento específico fue igual para los dos dispositivos (T-test; $p > 0.05$). La sobrevivencia fue del 100% en ambos casos, y se registró un 20% de pólipos en división de los *nubbins* del dispositivo 1 (Tabla 1)

Tabla 1. Comparación entre los parámetros de crecimiento y sobrevivencia de los *nubbins* de coral cultivados en dos versiones de un dispositivo de trasplante (Fast); *Letras diferentes señalan significancia estadística diferente ($p < 0,05$).

Parámetros	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Estadístico
Peso inicial (g)	4,80 ± 2,21 ^A	5,80 ± 2,11 ^A	t= 1,2204; p= 0,23805
Peso final (g)	14,55±5,12 ^A	15,53±4,44 ^A	t= 0,45727 p= 0,65295
Ganancia de peso (g)	9,75±4,38 ^A	9,73± 4,14 ^A	t= 0,010496; p= 0,99174
Ganancia de peso (%)	250,85±148,85 ^A	191,95±97,11 ^A	t= 1,119; p= 0,261
SGR (day ⁻¹)	0,0082±0,0030 ^A	0,0069±0,0024 ^A	t= 0,84857 p= 0,40726
Pólipos en división (%)	20	0	
Sobrevivencia (%)	100	100	

DISCUSIÓN

El uso de dispositivos de cultivo impresos en 3D resulto ser efectivo como sustrato para el crecimiento de *nubbins* de *Mussismilia harttii*. Sin embargo la adaptación propuesta para el dispositivo 2 no es necesaria pues no presenta alteración en los parámetros de crecimiento. Estos resultados preliminares demuestran que el cultivo de corales puede ser técnicamente viable para la recuperación de poblaciones del coral *M. harttii*, especie en peligro de extinción (ICMBio/MMA, 2018)

Resultados similares han sido referidos por varios autores. Gardiner (2011) propone la utilización de impresión 3D para la construcción de arrecifes artificiales. Matsuoka *et al.*, (2012) realizaron tomografías para extraer datos de la superficie de los corales para la impresión en 3D. Pérez-Pagán & Mercado-Molina (2018) demostraron que el uso de corales impresos en 3D pueden servir como una herramienta en el manejo de ecosistema de arrecife degradados. Ruhl & Dixon (2019) exponen que las superficies impresas en 3D favorecen el asentamiento de larvas de coral de la especie *Porites astreoides*.

Desde que se propuso la jardinería de corales como mecanismo de restauración activa de estos ecosistemas (Rinkevich, 1995) numerosos sustratos han sido probados en los cultivos. Cordones, varillas o tubos de plástico; placas de hormigón, alambres de cobre, bandejas de PVC, platos de cerámica, aragocrete; son los sustratos más utilizados (Latypov, 2006; Okamoto *et al.*, 2008; Rinkevich, 2000; Rubec *et al.*, 2001; Shaish *et al.*, 2010). Sin embargo, estas estructuras suelen ser fijas y de difícil manipulación bajo el agua; a diferencia de las estructuras de cultivo FAST que son ligeras,

fácil de conectar y soltar de la mesa de cultivo, y permiten la remoción de sedimentos e incrustantes sin mayor dificultad (Levy *et al.*, 2010).

Para el desarrollo de los dispositivos de cultivo fueron usados filamentos de polilactida (PLA). Este es un poliéster derivado del maíz que se destaca por ser autolimpiante, biodegradable, reciclable, biocompatible y de producción ecológica cuya bidegradación conduce a la producción de dióxido de carbono y agua (Gentric and Sauleau, 2019; Mohammed, 2016). Ha sido ampliamente usado en la medicina como material de sutura, dispositivos ortopédicos y sistemas de liberación de fármacos (Farah *et al.*, 2016; Hamad *et al.*, 2015; Ulery *et al.*, 2011; Walczak *et al.*, 2015) y ha sido probado como una alternativa en el desarrollo de infraestructura costera (Gentric and Sauleau, 2019). Desafortunadamente, los estudios que evalúan el efecto del PLA en la biología y ecología de los organismos marinos son escasos, por lo que es necesario encaminar los esfuerzos en esta área. No obstante, hay evidencias que demuestran que no es tóxico para animales (Montalvão *et al.*, 2020) y favorece el asentamiento de corales y moluscos (Gentric and Sauleau, 2019; Ruhl and Dixson, 2019)

Una de las ventajas de cultivar corales a partir de fragmentos encontrados en el suelo, es que se suprime la necesidad de manipular a la colonia donadora evitando pérdidas de coral sano y la reducción de sustratos para el reclutamiento natural (Abelson, 2006; Rinkevich, 2005). El uso de esta metodología abre una perspectiva para el mejoramiento de obtención de *nubbins* a partir de esqueletos de coral (Shaver and Silliman, 2017; Tagliafico *et al.*, 2018). No obstante, la especie *Mussismilia harttii* a pesar de ser un coral colonial, los pólipos se encuentran separados entre sí (Nogueira *et al.*, 2015) y no presentan compartimiento de nutrientes (Budd and Stolarski, 2009) por lo que esta metodología puede ser empleada en corales con morfología ramificada o faceloide, cuya fragmentación pueda ocurrir ya sea por procesos naturales o antropogénicos (Arvedlund *et al.* 2003)

En maricultura, los métodos de medición lineal, el peso y el volumen son los más usados para evaluar el desempeño productivo de los organismos acuáticos (Kikuzawa *et al.*, 2018), no obstante, en este trabajo se midió el peso, ya que es una variable referencia para el cálculo del rendimiento de crecimiento (Pupier *et al.*, 2018)

Los resultados de crecimiento son alentadores. Pólipos estresados se recuperaron con éxito en las mesas de cultivo, mostrando un aumento de peso promedio de 7,55 mg por día, lo que equivale a 221,4 % en 150 días; y una sobrevivencia del 100%. Siendo este el primer trabajo que reporta aspectos productivos para la especie, la referencia más próxima son los presentados para *Pectinia paeonia* con un crecimiento de 396% en el mismo período de tiempo y con una sobrevivencia de 93% (Ng and Chou, 2014); y para la especie *Merulina scabricula* con una sobrevivencia de 92% (Bongiorni *et al.*, 2011).

El estrés tiene efectos sobre los procesos biológicos de los organismos (Hasanuzzaman *et al.*, 2013; Magalhães and Ferrão-Filho, 2008). Una condición de estrés puede llevar a un organismo fuera de su

nicho ecológico impidiéndole crecer o reproducirse, y permitiéndole únicamente sobrevivir (Magalhães *et al.*, 2008). El hecho de que un 20% de los pólipos se encontraran en división asexual y todos registraran crecimiento, indica una restitución de las actividades biológicas de los *nubbins*, confirmando con estos resultados que el cultivo de corales empleando tecnología 3D puede potenciar el rendimiento en la obtención de *nubbins* de coral *M. harttii* en programas de reconstitución ambiental.

CONCLUSIONES

El uso de tecnología 3D para la impresión de dispositivos de cultivo de coral es viable, no obstante, las diferencias estructurales entre los dispositivos no afectan el crecimiento de los *nubbins*. Los manejos empleados para la obtención de *nubbins* de *Mussismilia harttii* son adecuados, esto se refleja en la sobrevivencia del 100% y altas tasas de crecimiento. Por último, la utilización de tecnología avanzada en el manejo de ecosistemas arrecifales presenta un gran potencial en cultivos de *M. harttii* a partir de pequeños propágulos.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por la Fundación Grupo Boticario y UBER a través del proyecto titulado “Transplantação de corais como uma ferramenta complementar ao PAN CORAIS para a conservação de espécies coralíneas em risco de extinção” desarrollado por el Laboratorio de Enzimología de la Universidad Federal de Pernambuco. Se agradece la colaboración de Jefferson Roberto por el diseño gráfico y edición de fotos y a Luis Carlos Manoel dos Santos por el apoyo en el montaje y cuidado de los cultivos.

REFERENCIAS

- Abelson, A., 2006. Artificial reefs vs coral transplantation as restoration tools for mitigating coral reef deterioration: Benefits, concerns, and proposed guidelines. *Bulletin of Marine Science*, 78, 151–159.
- Arvedlund, M., Craggs, J., & Pecorelli, J. 2003. Coral culture—possible future trends and directions. In: Cato & Brown. (ed). *Marine ornamental species: collection, culture and conservation*. Editorial Iowa State Press. 233-248.
- Barradas, J.I., Amaral, F.D., Hernández, M.I.M., Montes, M.D.J.F., Steiner, A.Q., 2011. *Spatial distribution of benthic macroorganisms on reef flats at Porto de Galinhas Beach (northeastern Brazil), with special focus on corals and calcified hydroids*. *Biotemas* 23, 61–67. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2010v23n2p61>.

- Bongiorni, L., Giovanelli, D., Rinkevich, B., Pusceddu, A., Chou, L.M., Danovaro, R., 2011. First step in the restoration of a highly degraded coral reef (Singapore) by in situ coral intensive farming. *Aquaculture* 322–323, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.024>.
- Budd, A.F., Stolarski, J., 2009. Searching for new morphological characters in the systematics of scleractinian reef corals: Comparison of septal teeth and granules between Atlantic and Pacific Mussidae. *Acta Zoológica* 90, 142–165. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.2008.00345.x>.
- Duarte, G.A.S., Villela, H.D.M., Deocleciano, M., Silva, D., Barno, A., Cardoso, P.M., Vilela, C.L.S., Rosado, P., Messias, C.S.M.A., Chacon, M.A., Santoro, E.P., Olmedo, D.B., Szpilman, M., Rocha, L.A., Sweet, M., Peixoto, R.S., 2020. Heat Waves Are a Major Threat to Turbid Coral Reefs in Brazil. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00179>.
- Epstein, N., Rinkevich, B., 2001. From isolated ramets to coral colonies: The significance of colony pattern formation in reef restoration practices. *Basic and Applied Ecology*, 2, 219–222. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00045>.
- Farah, S., Anderson, D.G., Langer, R., 2016. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>.
- Gardiner, J.B., Gardiner, J.B., 2011. Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing – Project Led Architectural Research RMIT Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing – Project Led for the degree of Doctor of Philosophy. Ecuador 360, 361.
- Gentric, C., Sauleau, P., 2019. An eco-friendly strategy using flax/poly lactide composite to tackle the marine invasive sponge *Celtodoryx ciocalyptoides* (Burton, 1935). *Oceanologia* 61, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2018.10.002>.
- Hamad, K., Kaseem, M., Yang, H.W., Deri, F., Ko, Y.G., 2015. Properties and medical applications of polylactic acid: A review. *eXPRESS Polymer Letters*, 9, 435–455. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2015.42>.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1–9.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M.M., Roychowdhury, R., Fujita, M., 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 9643–9684. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>.

- Hoegh-Guldberg, O., 2011. Coral reef ecosystems and anthropogenic climate change. *Regional Environmental Change*, 11, 215–227. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0189-2>.
- ICMBio/MMA, 2018. Livro Vermelho Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Invertebrados. Brasília, DF ICMBio/MMA 7, 727.
- Kikuzawa, Y.P., Toh, T.C., Ng, C.S.L., Sam, S.Q., Taira, D., Afiq-Rosli, L., Chou, L.M., 2018. Quantifying growth in maricultured corals using photogrammetry. *Aquaculture Research*, 49, 2249–2255. <https://doi.org/10.1111/are.13683>.
- Latypov, Y.Y., 2006. Transplantation and cultivation of fragments of coral colonies of various scleractinian species on a reef in Vietnam. *Russian Journal of Marine Biology*, 32, 375–381. <https://doi.org/10.1134/S1063074006060071>.
- Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P., Ferreira, B.P., Neves, E.G., Sovierzoski, H.H., Oliveira, M.D.M., Maida, M., Correia, M.D., Johnsson, R., 2016. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64, 97–116. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160916064sp2>.
- Levy, G., Shaish, L., Haim, A., Rinkevich, B., 2010. Mid-water rope nursery — Testing design and performance of a novel reef restoration instrument. *Ecological engineering*, 36, 560–569. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.003>.
- Magalhães, D. de P., Ferrão-Filho, A. da S., 2008. a Ecotoxicologia Como Ferramenta No Biomonitoramento De Ecossistemas Aquáticos. *Oecologia Australis*, 12, 355–381. <https://doi.org/10.4257/oeco.2008.1203.02>.
- Matsuoka, A., Yoshino, T., Kishimoto, N., Ishida, N., Kurihara, T., Kimoto, K., Matsuura, S., 2012. Exact number of pore frames and their configuration in the Mesozoic radiolarian *Pantanellium*: An application of X-ray micro-CT and layered manufacturing technology to micropaleontology. *Marine Micropaleontology*, 88–89, 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.02.005>.
- Mbije, N.E.J., Spanier, E., Rinkevich, B., 2010. Testing the first phase of the “gardening concept” as an applicable tool in restoring denuded reefs in Tanzania. *Ecological engineering*, 36, 713–721. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.018>.
- Moberg, F., Folke, C., 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9).

- Mohammed, J.S., 2016. Applications of 3D printing technologies in oceanography. *Methods in Oceanography*, 17, 97–117. <https://doi.org/10.1016/j.mio.2016.08.001>.
- Montalvão, G.R., Moshrefi-Torbati, M., Hamilton, A., Machado, R., João, A., 2020. Behaviour of 3D printed PLA and PLA-PHA in marine environments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 424. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/424/1/012013>.
- Ng, C.S.L., Chou, L.M., 2014. Rearing juvenile “corals of opportunity” in in situ nurseries - A reef rehabilitation approach for sediment-impacted environments. *Marine Biology Research*, 10, 833–838. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.853124>.
- Nogueira, M.M., Neves, E., Johnsson, R., 2015. Effects of habitat structure on the epifaunal community in *Mussismilia* corals: does coral morphology influence the richness and abundance of associated crustacean fauna? *Helgoland Marine Research*, 69, 221–229. <https://doi.org/10.1007/s10152-015-0431-x>.
- Okamoto, M., Nojima, S., Fujiwara, S., Furushima, Y., 2008. Development of ceramic settlement devices for coral reef restoration using in situ sexual reproduction of corals. *Fisheries Science*, 74, 1245–1253. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01649.x>.
- Pérez-Pagán, B.S., Mercado-Molina, A.E., 2018. Evaluation of the effectiveness of 3D-Printed corals to attract coral reef fish at Tamarindo Reef, Culebra, Puerto Rico. *Conservation Evidence*. 15, 43–47.
- Pupier, C.A., Bednarz, V.N., Ferrier-Pagès, C., 2018. Studies with soft corals - recommendations on sample processing and normalization metrics. *Frontiers in Marine Science*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00348>.
- Rinkevich, B., 2020. Ecological engineering approaches in coral reef restoration. *ICES Journal of Marine Science*, 2100. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa022>.
- Rinkevich, B., 2005. Conservation of coral reefs through active restoration measures: Recent approaches and last decade progress. *Environmental Science & Technology*, 39, 4333–4342. <https://doi.org/10.1021/es0482583>.
- Rinkevich, B., 2000. Steps towards the evaluation of coral reef restoration by using small branch fragments. *Marine Biology*, 136, 807–812. <https://doi.org/10.1007/s002270000293>.
- Rinkevich, B., 1995. Restoration Strategies for Coral Reefs Damaged by Recreational Activities: The

- Use of Sexual and Asexual Recruits. *Restoration Ecology*, 3(4): 241-251. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1995.tb00091.x>.
- Rogers, R., de Oliveira Correal, G., de Oliveira, T.C., de Carvalho, L.L., Mazurek, P., Barbosa, J.E.F., Chequer, L., Domingos, T.F.S., de Andrade Jandre, K., Leão, L.S.D., de Andrade Moura, L., Occhioni, G.E., de Oliveira, V.M., Silva, E.S., Cardoso, A.M., de Castro e Costa, A., Ferreira, C.E.L., 2014. Coral health rapid assessment in marginal reef sites. *Marine Biology Research*, 10, 612–624. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.841944>.
- Rubec, P.J., Pratt, V.R., Cruz, F., 2001. Territorial use rights in fisheries to manage areas for farming coral reef fish and invertebrates for the aquarium trade. *Aquarium Sciences and Conservation*, 3, 119–134. <https://doi.org/10.1023/A:1011384207934>.
- Ruhl, E.J., Dixon, D.L., 2019. 3D printed objects do not impact the behavior of a coral-associated damselfish or survival of a settling stony coral. *PLoS One* 14, 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221157>.
- Santos, H.F., Carmo, F.L., Duarte, G., Dini-Andreote, F., Castro, C.B., Rosado, A.S., Van Elsas, J.D., Peixoto, R.S., 2014. Climate change affects key nitrogen-fixing bacterial populations on coral reefs. *ISME Journal*, 8, 2272–2279. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.70>.
- Shaish, L., Levy, G., Gomez, E., Rinkevich, B., 2008. Fixed and suspended coral nurseries in the Philippines: Establishing the first step in the “gardening concept” of reef restoration. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 358, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.01.024>.
- Shaish, L., Levy, G., Katzir, G., Rinkevich, B., 2010. Coral reef restoration (Bolinao, Philippines) in the face of frequent natural catastrophes. *Restoration Ecology*, 18, 285–299. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00647.x>.
- Shaver, E.C., Silliman, B.R., 2017. Time to cash in on positive interactions for coral restoration. *PeerJ*. 2017. <https://doi.org/10.7717/peerj.3499>.
- Tagliafico, A., Rangel, S., Kelaher, B., Scheffers, S., Christidis, L., 2018. A new technique to increase polyp production in stony coral aquaculture using waste fragments without polyps. *Aquaculture* 484, 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.021>.
- Tortolero-Langarica, J.J.A., Rodríguez-Troncoso, A.P., Cupul-Magaña, A.L., Alarcón-Ortega, L.C., Santiago-Valentín, J.D., 2019. Accelerated recovery of calcium carbonate production in coral reefs

using low-tech ecological restoration. *Ecological engineering*, 128, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.01.002>.

Ulery, B.D., Nair, L.S., Laurencin, C.T., 2011. Biomedical applications of biodegradable polymers. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 49: 832–864. <https://doi.org/10.1002/polb.22259>.

Walczak, M., Swiontek Brzezinska, M., Sionkowska, A., Michalska, M., Jankiewicz, U., Deja-Sikora, E., 2015. Biofilm formation on the surface of polylactide during its biodegradation in different environments. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 136: 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.09.036>.



Calidad del agua en el centro de acopio de langosta “El Mosquito”, Cuba

Water quality at the “El Mosquito” lobster collection center, Cuba

Teresita de Jesús Romero López¹, Gerardo Suárez Álvarez², Ayllín Pérez Daniel³

¹Universidad Tecnológica de la Habana, Cujae.

²Centro de Investigaciones Pesqueras, CIP.

³BCOA No. 47 Héroes de Playa Girón.

 **Teresita de Jesús Romero López** () E-mail: teresitaromerolope@gmail.com

RESUMEN | Esta investigación se llevó a cabo en la Unidad Empresarial de Base “Pamar” ubicada en el poblado La Panchita en la provincia de Villa Clara, Cuba y tuvo como objetivo efectuar un análisis de calidad del agua del centro de acopio “El Mosquito”, para conocer a través de una serie de parámetros físico-químicos del agua si existen las condiciones óptimas para el adecuado desempeño fisiológico de la langosta espinosa *Panulirus argus*. Para el análisis se emplearon los datos del segundo monitoreo efectuado al centro de acopio (de tres efectuados en total), en el que se estudió el comportamiento de las variables más influyentes sobre el metabolismo de las langostas, comparándose con los establecidos por la Norma Cubana NC 25:1999. Como resultado se evidencia que a partir de las características físico-químicas presentadas por las aguas de dicho centro, la misma se cataloga como de buena calidad para la supervivencia de los ejemplares.

Palabras clave: calidad del agua, centro de acopio, langosta espinosa.

ABSTRACT | This research was carried out in the Base Business Unit “Pamar” located in the town of La Panchita in the province of Villa Clara, Cuba and its objective was to carry out a water quality analysis of the “El Mosquito” collection center to know through a series of physical-chemical parameters of the water if the optimal conditions exist for the adequate physiological performance of the spiny lobster *Panulirus argus*. For the analysis, the data from the second monitoring carried out at the collection center (of three carried out in total) were used, in which the behavior of the most influential variables on the metabolism of lobsters was studied, comparing with those established by the Cuban Standard NC 25: 1999. As a result, it is evident that from the physical-chemical characteristics presented by the waters of said center, it is classified as of good quality for the survival of the specimens.

Key words: water quality, collection center, spiny lobster.

INTRODUCCIÓN

La tendencia hoy en el mercado mundial es el consumo de productos vivos y frescos, entre los que se encuentra la langosta espinosa (Fig. 1), considerada un producto de gran valor en la alta cocina por su exquisitez y excelentes propiedades nutritivas y organolépticas. Debido a su elevado precio de venta, es consumida fundamentalmente en mercados de altos ingresos (Barrios, 2004).



Figura 1. Langosta espinosa del Caribe.

Cuba constituye uno de los principales productores y exportadores de la langosta espinosa *Panulirus argus* en la región caribeña (Fig. 2). Teniendo en cuenta las posibilidades de aprovechamiento de los recursos pesqueros que rodean la Isla, este sector representa un segmento de alto poder adquisitivo para la economía nacional. Aporta aproximadamente el 25 % de los volúmenes de la captura y el 75 % de los ingresos económicos del sector (Puga *et al*, 2010). Actualmente representa el 80% de los ingresos procedentes del mar (ONEI, 2018).

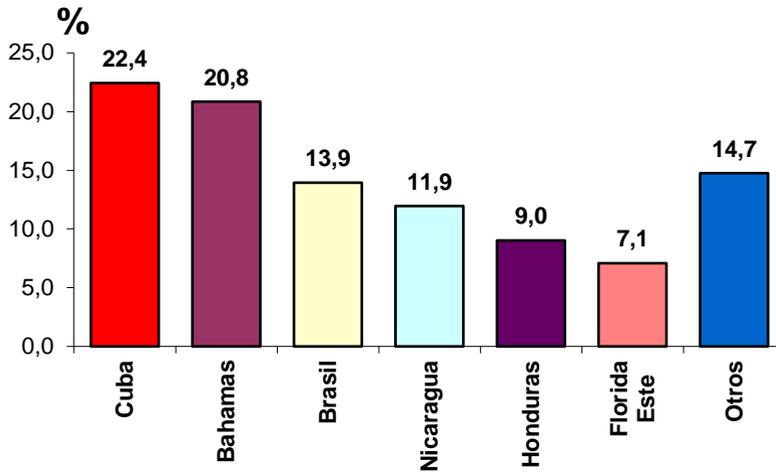


Figura 2. Principales países productores de la langosta del Caribe.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la protección y evacuación adecuada de los ejemplares adquiere gran importancia para garantizar exportaciones de calidad (Martínez, 2004) y es ahí donde entran a jugar un papel esencial los centros de acopio (CA), que según Suárez *et al.* (2004) son instalaciones en el mar donde se almacena el total de las capturas obtenidas por las embarcaciones del área, manteniéndose vivo el recurso dentro de viveros o jaulones sumergidos en el mar hasta su traslado a la industria, favoreciendo así una operación más eficiente de las capacidades industriales y la recuperación fisiológica de las langostas.

En dichos centros, los análisis de calidad del agua juegan un papel fundamental en el control sobre el metabolismo y las posibilidades de vida de los ejemplares, lo que repercute directamente en el producto final Suárez *et al.* (2004).

Debido a todo lo planteado, se hace imprescindible determinar una serie de parámetros físico-químicos del agua que influyen de forma directa en las condiciones de vida de las langostas en los centros de acopio, de ahí que se planteara como objetivo del trabajo realizar un estudio de la calidad del agua para el adecuado funcionamiento de los parámetros fisiológicos de la langosta en el centro de acopio “El Mosquito”.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el centro de acopio “El Mosquito” (Fig. 3), dedicado al cuidado y mantenimiento de los ejemplares de langosta antes de su proceso industrial o exportación como viva. Este centro forma parte de la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Pamar”, de la Empresa Industrial de

Caibarién (EPICAI), perteneciente al Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL). El centro de acopio se encuentra ubicado en la Bahía de Santa Clara, en las coordenadas 23° 06' 12,5" N y 80° 22' 03,9" W.

“El Mosquito” posee cinco jaulones elevables de 1,95 m de ancho; 3,95 m de largo y 1,60 m de altura, los que al colocarse a ras con el muelle quedan separados del fondo a una distancia de 2 m. La capacidad nominal de cada jaulón, según la empresa es de 400 kg, aunque solo se utiliza hasta 350 kg con un volumen de agua de 11,6 m³. El tiempo de permanencia de las langostas en los mismos es alrededor de 24 a 36 h.



Figura 3. Centro de Acopio de langostas espinosas “El Mosquito”.

El monitoreo se realizó entre el 14 y 15 de noviembre de 2018 (captura de langostas *P. argus*)

La colecta de agua se realizó durante las horas del día, introduciendo directamente una botella al agua. Los análisis físicos (temperatura y salinidad) se realizaron en el lugar, usando para ello un medidor multiparamétrico Hanna (HI 9829) con sonda multisensor inteligente y un refractómetro ATAGO con escala de densidad y salinidad.

Los análisis químicos fueron parámetros: fosfato (PO_4^{3-}), fósforo total (PT), nitrito (NO_2^-) y silicato (SiO_3^-) según Grasshoff *et al.* (1999); amonio (NH_4^+) y demanda química de oxígeno (DQO) según FAO (1975) y nitrato (NO_3^-) según APHA (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura promedió un valor de 28,33 °C (Tabla 1), con muy poca variabilidad, valor que está contemplado entre los 18-30 °C y que son normales de acuerdo a lo establecido según la norma para el agua de mar, destacándose óptimos para la vida eficiente de las langostas y su almacenamiento en viveros en el mar (Suárez, 2009).

La salinidad fue cercana a los 35 ups (Tabla 1), valor que se sugiere en las normas para agua de mar como normal para la vida de organismos acuáticos, indicando así que este parámetro no influye de forma directa en las condiciones de vida de las langostas en los centros de acopio, demostrado por Suárez (2009).

Tabla 1. Análisis físicos realizados a las aguas del centro de acopio “La Panchita”.

Parámetros físicos				
Análisis	Promedio	D. E.	Máx	Mín
T (°C) (agua)	28,33	0,17	28,50	28,20
Salinidad (ups)	35,29	0,76	36	34

El contenido de nitrito y nitrato se comportaron con valores menores a 0,05 y 0,01 mg/L respectivamente (Tabla 2) y según la Norma Cubana NC 25:1999 (1999), se corresponden con valores normales referidos al agua de mar. De igual forma, el fosfato y el amonio mostraron valores menores a 0,05 y 0,03 mg/L respectivamente.

En el caso de la DQO (Tabla 2) se observa un máximo de 5,92 mg/L, valor algo elevado según la norma vigente. El resto de las variables medidas no sugieren problema alguno de contaminación.

Tabla 2. Análisis químicos realizados a las aguas del centro de acopio “La Panchita”.

Parámetros químicos						
NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	SiO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	PT (mg/L)	DQO (mg/L)
0,0034	> 0,04	< 0,006	0,23	0,02	0,22	3,03
0,0051	> 0,04	0,0025	0,28	0,02	0,18	5,92
> 0,0029	> 0,04	0,0024	0,22	0,04	0,24	1,82
Promedio			0,243	0,027	0,213	3,59
D. E.			0,026	0,009	0,025	1,720
Máximo			0,28	0,04	0,24	5,92
Mínimo			0,22	0,02	0,18	1,82

De acuerdo con los resultados del monitoreo descrito anteriormente, el agua se clasifica de buena calidad para uso pesquero, debido a que prácticamente todos los parámetros se corresponden con lo establecido por la norma vigente.

CONCLUSIONES

A partir de las características físico-químicas de las aguas del centro de acopio “La Panchita”, se evidencia que la misma se cataloga como de buena calidad para la supervivencia de las langostas que serán posteriormente trasladadas a la industria.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de los trabajadores de la UEB “Pamar” y en especial a los que laboran directamente en el centro de acopio “La Panchita”; también al laboratorio del Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (CIMAB), donde se realizaron los análisis químicos en cuestión.

REFERENCIAS

- APHA (2012). “*Standard Methods for the examination of waters and waste waters*”. 22th Ed. New York, USA. American Public Health Association: Washington, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. Washington, DC, AWWA cat. No. 10085; ISBN: 9780875530130; 1926 pp.
- Barrios, G. N. (2004). “*Estrategia para la Exportación de Langosta a Nuevos Mercados*”. Tesis para Magister, Universidad de La Habana. Cuba. 65pp.
- FAO (1975). “*Manual of Methods in Aquatic Environment Research*”. Part I. Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Fish, Tech. Pap. 137: 238pp.
- Grasshoff, K; Kremling, K and Ehrhardt, M. (1999). “*Methods of Seawater Analysis*”. 3th Ed. Wiley VCH, Verlag EmbH. ISBN 9783527295890: 634pp.
- Martínez, C. R. (2004). “*Estudio Corporativo de Conteos Totales de Hemocitos (CTH) en Poblaciones Capturadas de Panulirus argus*”. Tesis de Curso. Universidad de La Habana. Cuba. 62pp.
- Norma Cubana, NC 25 (1999). “*Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones*”. Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Hidrosfera. ININ/ Oficina Nacional de Normalización. 12pp. La Habana, Cuba.

ONEI (2018). “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”. Anuario estadístico de Cuba. Capítulo 9. 32pp. [Documento en línea, 18 de marzo, 2019]. Disponible en: <http://www.one.cu/aec2016/09%20Agricultura%20Ganaderia%20Silvicultura%20Pesca.pdf>

Puga, R; Piñeiro, R; Cobas, S; de León, M.S; Capetillo, N. y Alzugary, R. (2010). “La Pesquería de la Langosta Espinosa, Conectividad y Cambio Climático en Cuba”. En: Hernández, Zanuy A. y Alcolado P.M. (Eds). La Biodiversidad en Ecosistemas Marinos y Costeros del Litoral de Iberoamérica y el Cambio Climático. ISBN: 978-959-298-018-1, 112-131. Centro de Investigaciones Pesqueras. Instituto de Oceanología. La Habana.

Suárez, A. G. (2009). “Fisiología de la Langosta Espinosa *Panulirus argus*”. Curso Cultivo de Langosta Espinosa *Panulirus argus*. Centro de Investigaciones Pesqueras. 19pp. La Habana. Cuba.

Suárez, A. G; Díaz, V. T; Fernández de la Vega, G. D; Izquierdo, J. M. y Trujillo, V. Z. (2004). “Procedimiento para la Ubicación de Centros de los Acopios de Langosta Espinosa en Cuba”. Informe técnico División de Langosta. Centro de Investigaciones Pesqueras. 8pp. La Habana. Cuba.



Diseño y construcción de balsas flotantes para el cultivo de mejillones (*Perna perna* y *Perna viridis*), Estado Nueva Esparta – Venezuela

Design and construction of floating rafts for the cultivation of mussels (*Perna perna* and *Perna viridis*), Nueva Esparta State –Venezuela

Jhonathan Emil Bermúdez Salazar¹⁻², Carmen del Valle Cardona Brito³, Gertrudis Margalit Mizrahi Fernández⁴, Lisbeth del Valle Villarroel Butto⁵, Javier José Zabala Zabala⁶

¹Fundación La Salle de Ciencia Naturales, Campus Margarita, U.E.L.N.P. "Dr. Ramón Espinoza Reyes", Punta de Piedras, Venezuela.

²Gobernación del Estado Nueva Esparta, Dirección Sectorial de Educación, U.E.E. "Maestro Luis Felipe Valerio Vásquez", Las Giles, Venezuela.

³Investigadora independiente, Lima, Perú

⁴Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta, Instituto de Investigaciones Científicas, Laboratorio de Histología, Boca del Río, Venezuela.

⁵Biomarina, Pampatar, Venezuela.

⁶Empresa Acuícola "Las Patronas 2010", La Guardia, Venezuela.

 **Lisbeth del Valle Villarroel Butto** () E-mail: lisvillarroelbutto@gmail.com

RESUMEN | El mejillón es un molusco bivalvo de gran interés porque es una valiosa fuente de proteínas y minerales. El presente trabajo tuvo por objetivo el diseño y construcción de balsas flotantes para el cultivo de mejillones. Para construir el armazón de cada balsa se utilizaron tubos PVC de 6" de diámetro por 6 m de largo y estos fueron unidos para formar un rectángulo de 6 m de largo por 3 m de ancho con uniones de 45° y "T", las cuales fueron unidas con pegamento para PVC. Los tubos de la balsa se rellenaron de la siguiente manera: 1) con botellas plásticas de refresco de 2 L; 2) con retazos de espuma poliuretano; las uniones de ambas fueron cubiertas con fibra de vidrio y 3) sin relleno y sin cobertura de fibra de vidrio. Los emparrillados se construyeron con tubos PVC de 2" de diámetro por 3 m de largo. El sistema de anclaje consistió en una estructura de hormigón utilizando cemento, caucho y mecate de 13 mm de diámetro. El sistema de señalización era de bloques de espuma de poliuretano en el cual se insertó un tubo PVC y cada tubo contaba con una bandera de color roja con blanco. Las semillas fueron obtenidas en bancos naturales de la misma zona y recolectadas de forma manual con la ayuda de equipo básico de buceo. Una vez obtenidas, se limpiaron y seleccionaron de acuerdo a su tamaño, de 3 a 3,5 cm aproximadamente. Después las semillas se pesaron y encordaron. Se colocaron 5 cuerdas sembradas por cada tubo. Cada 15 días eran revisadas las balsas. La balsa con el armazón de fibra de vidrio soportó los seis meses de cultivo, mientras que la de botellas plásticas duró 5 meses y sin relleno solo 1 mes.

Palabras clave: cultivo de mejillón, balsa, poliuretano, PVC.

ABSTRACT | The mussel is a bivalve mollusk of great interest because it is a valuable source of protein and minerals. The objective of this work was the design and construction of floating rafts for the cultivation of mussels. To build the frame of each raft, PVC pipes of 6" diameter by 6 m long were used and these were joined to form a rectangle 6 m long by 3 m wide with 45 ° and "T" joints. which were joined with PVC glue. The raft tubes were filled as follows: 1) with 2 L plastic soda bottles; 2) with pieces of polyurethane foam; the joints of both were covered with fiberglass and 3) without filling and without fiberglass covering. The grills were built with PVC pipes 2" in diameter by 3 m long. The anchoring system consisted of a concrete structure using cement, rubber and 13 mm diameter rope. The signaling system was made of polyurethane foam blocks in which a PVC tube was inserted and each tube had a red and white flag. The seeds were obtained in natural banks in the same area and collected manually with the help of basic diving equipment. Once obtained, they were cleaned and selected according to their size, approximately 3 to 3.5 cm. The seeds were then weighed and strung. 5 ropes seeded for each tube were placed. The rafts were checked every 15 days. The raft with the fiberglass frame withstood the six months of cultivation, while the one with plastic bottles lasted 5 months and without filling only 1 month.

Keywords: Mussel culture, raft, polyurethane, PVC.

INTRODUCCIÓN

El mejillón, es un molusco bivalvo de gran interés comercial con buena fuente de proteínas y minerales; siendo la miticultura la cría o cultivo de mejillones, mediante instalaciones marítimas que favorecen su desarrollo y aprovechamiento industrial (APA, 2009; MAPA, 2019). El cultivo del mejillón representa un eslabón importante en la acuicultura mundial en un contexto gastronómico, económico y productivo (Figueras, 2007; FAO; 2009; OESA, 2019).

En Venezuela, el cultivo de moluscos se inició en la década de los años sesenta con el establecimiento de balsas mejilloneras para la especie *Perna perna* en el nororiente del país. En la actualidad prácticamente toda la producción es resultado de la extracción debido que desde 1986 el cultivo colapsó principalmente por la incidencia de biotoxinas e ineficiencias en el manejo de los cultivos (Vélez y Lodeiros 1990).

Los primeros sistemas de cultivo de mejillón utilizados fueron unidades de flotación tipo balsas o bateas similares a las utilizadas en las rías gallegas, pero de menor superficie de plataforma de cultivo, construyendo los flotadores de poliuretano expandido revestido de madera o fibra de vidrio. (Vélez y Lodeiros, 1990).

En la actualidad existen diferentes materiales para la construcción de balsas flotantes artesanales como lo son: maderas (aurora, pino, angelina, saqui saqui), mangueras de riego de Polietileno de alta densidad, varas de bambú, varas de árbol Guatacare y tubos de policloruro de vinilo o PVC; materiales en los que se pueden implementar diferentes metodologías a la hora de construir estos sistemas de

cultivo y debido a esta diversidad de materiales, el presente trabajo tuvo por objetivo el diseñar y construir tres nuevos modelos de balsas flotantes para determinar su durabilidad durante un ciclo de cultivo de mejillones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se ejecutó en la playa de la población de La Guardia, Sector El Palotal específicamente entre el tercer y cuarto espigón, perteneciente al Municipio Díaz, Estado Nueva Esparta, Isla de Margarita, Venezuela. Las balsas se ubicaron en las siguientes coordenadas 10°59'39.7"N y 64°01'44.1"W. La zona seleccionada tiene una profundidad de 3 metros, con fondo areno fangoso y fuerte oleaje en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo). La metodología implementada en este trabajo fue la siguiente:

Construcción de la balsa artesanal

Armazón y emparrillado (sistema de flotación)

Para construir el armazón de cada balsa se utilizaron 5 tubos PVC 6" de diámetro por 6 m de largo. Estos fueron unidos para formar un rectángulo de 6 m de largo x 3 m de ancho con uniones de 45° y "T" para tubos PVC, las cuales fueron pegadas con pegamento para PVC. Antes de colocar las uniones, los tubos de la balsa número uno se rellenaron con botellas plásticas de refresco de 2 L con sus tapas y la balsa número dos fue rellena con retazos de espuma de poliuretano; las uniones de ambas estructuras se amarraron con alambre de pesca monel para después ser cubiertas con fibra de vidrio. La tercera balsa no se relleno y las uniones no fueron cubiertas con fibra de vidrio. El emparrillado para los tres modelos de balsa se construyó con 7 tubos PVC de 2" de diámetro, con sus respectivas tapas en ambos extremos, las cuales fueron unidas con el pegamento para tubos PVC. Cada tubo fue atado al armazón con cuerda driza haciendo un total de tres nudos para cada punto de unión (fig. 1).



a)



b)

Diseño y construcción de balsas flotantes para cultivar mejillones



Figura 1. Construcción balsa artesanal: a. pegado de las uniones, b. armazón, c. pegado de la fibra de vidrio d. cortado de los bloques de poliuretano

Sistema de anclaje

Se elaboraron estructura de hormigón utilizando cemento, caucho y mecate de 13mm de diámetro. Se armaron un total de 10 muertos: 2 para cada balsa y uno para cada tubo con bandera (fig. 2).



Figura 2. a) y b) Traslado de la estructura de concreto o muerto a la zona de cultivo.

Sistema de señalización

Fueron construidos con bloques de espuma de poliuretano en el cual insertaron un tubo PVC de 2” de diámetro y este fue atado al flotador con driza para dar mayor fijación (Fig. 3).



Figura 3. a) y b) Sistema de señalización.

Cultivo de mejillón *Perna perna* y *Perna viridis*

Las semillas fueron obtenidas en dos bancos naturales de mejillones de la Ensenada de la Guardia, ubicados en el quinto espigón (fig. 4 a) y en la piedra La Pachara. Estas fueron recolectadas de forma manual e introducidas en sacos de malla rojo de polipropileno con capacidad de 50 kg, para luego ser limpiadas y seleccionadas de acuerdo a su tamaño de 3cm a 3,5cm aproximadamente (fig. 4 b, c). Se encordaron 1 kg de semillas por cuerda de 1 m de largo, cada una con una red de malla biodegradable de alta calidad de Rayón (fig. 4 d). Cada cuerda tenía tres palitos de sujeción. Una vez terminado el encordado se sembraron 5 cuerdas por cada tubo del emparrillado, siendo un total de 35 cuerdas y 35 kg de semillas para cada balsa. El monitoreo del cultivo se hizo cada 15 días para revisar el comportamiento de las balsas en el agua, resistencia del material y limpieza, revisión de las cuerdas sembradas con mejillones, sistema de anclaje y sistema de señalización.





Figura 4. Cultivo de mejillón: a) recolecta de semillas, b) sacos de polipropileno llenos de semillas, c) limpieza de las semillas y d) encordado de los mejillones.

RESULTADOS

Construcción de la balsa artesanal

Armazón y emparrillado (sistema de flotación):

Se requirió de poco personal (3 personas) y poco tiempo (2 días) para construir las balsas flotantes con tubería de Policloruro de Vinilo de Alta Densidad, porque los tubos de policloruro de vinilo son ligeros en peso, lo que conlleva a su facilidad de instalación y traslado (SERTESA 2020).

La balsa número uno (armazón sin relleno), se hundió a un mes de cultivo, debido a que su estructura principal no estaba reforzada con otro material como fibra de vidrio para las uniones, alambres y relleno para las tuberías. Adicional la zona presentó fuerte oleaje, como consecuencia se fueron despegando las uniones que solo estaban fijadas con pega PVC. Por lo tanto, toda la tubería se llenó de agua, lo que ocasionó la poca resistencia en el agua. Adicionalmente constaba con el peso de las cuerdas sembradas y éstas se lograron rescatar y fueron distribuidas en las dos balsas restantes.

La balsa número dos (armazón relleno con botellas), se empezó a hundir al quinto mes, por lo tanto, se le ataron botellas de refrescos vacías como flotadores para que soportaran el ciclo de cultivo (figura 5). Con esta balsa queda demostrado que los tubos PVC por sí solos no soportan tanto tiempo en el agua, porque no son fabricados para este tipo de actividades (CHEMICAL 2020). La cantidad de agua que penetró dentro del armazón fue menor que la balsa uno, porque esta tenía poco espacio en su interior debido a que estaba relleno lo que ayudó a mantener la flotabilidad por más tiempo.

La balsa número tres (armazón relleno con espuma de poliuretano), resistió los seis meses de cultivo y un peso adicional de las 18 cuerdas de la primera balsa (figura 6a). Pero a diferencia de las otras, ésta fue embestida dos semanas antes de finalizar la experiencia por una embarcación rompiendo

un tubo del armazón (figura 6b). Aun así, logró mantener la flotabilidad y firmeza de la estructura. Siendo el poliuretano un material excelente para ser usado como sistema de flotación. Debido a que esta espuma se adapta al espesor de cualquier estructura y tiene un peso más ligero que el agua. Además, tiene unos valores altos de rigidez; lo que permite que sea más resistente a impactos y debido a su impermeabilidad absorbe menor cantidad de agua (Fernández 2018).



Figura 5. balsa número dos: a). en 3 meses de cultivo y b) en 5 meses de cultivo

Las diferencias en el tiempo de inmersión para cada modelo se deben a muchos factores: el peso del cultivo no era el adecuado para la capacidad de carga del sistema, porque a la hora de construir no se consideraron los cálculos de flotabilidad para cada modelo; por lo tanto, no se sabían si la cantidad de mejillones sembrados era la que podían soportar estas estructuras durante el ciclo de cultivo. También pudo deberse al relleno que tenían los tubos del armazón, que permitieron que la balsa dos y tres flotara más tiempo que el modelo uno. Por último, el sitio seleccionado de cultivo no era el adecuado para este tipo de materiales debido a que es una zona con fuerte oleaje y de mucha brisa; lo que pudo ocasionar que las uniones se despegaran por el constante movimiento que estas tenían por el fuerte oleaje. Porque las balsas son sistemas que se usan en sitios donde la profundidad excede los 6 metros y de aguas tranquilas (CENDEPESCA 2009).

Sistema de anclaje

Durante la experiencia no hubo inconvenientes con el sistema de anclaje debido que las balsas y el sistema de señalización no se desplazaron del lugar aun en los meses de fuerte oleaje. La cantidad y el material que se usó para fabricar este tipo de estructura fueron los necesarios aun sin tomar en consideración la aplicación de cálculo de ingeniería de sistemas de fondeo, el uso de estudios de corrientes y levantamientos batimétricos más exactos. También cabe destacar que estas estructuras de hormigón y caucho se enterraron en el fondo del mar por ser esta una zona arena fangosa, lo que les permitió más firmeza.



a)
b)
Figura 6. balsa número tres: a. 3 meses de cultivo y b. tubo roto por un peñero.

Sistema de señalización

Usar tubos PVC para construir sistema de señalización o baliza no es la opción correcta porque a pesar de ser un material liviano no mantienen la estabilidad en la superficie del agua, sobre todo en zonas con fuerte oleaje y mucha brisa. A mitad de la experiencia se cambiaron por varas de árbol de Guatacare (*Beuriquia cumanensis*) (fig. 7). Generalmente este sistema puede tener diversas finalidades, principalmente para la orientación de las embarcaciones y señalización de objetos sumergidos; las cuales pueden estar fabricadas y rellenas de diversos materiales, pero siempre suelen ser más ligeras que el agua (Pérez 2017a; 2017b).



a)
b)
Figura 7. Sistema de señalización: a) y b) varas de árbol Guatacare (*Beuriquia cumanensis*).

Cultivo de mejillón *Perna perna* y *Perna viridis*.

Las inspecciones de las balsas se realizaron dentro el agua, así como también la revisión del sistema

de anclaje y de señalización, debido a que los tubos PVC son resbaladizos al estar en contacto con el agua porque son de superficie lisa y su textura no está diseñado para este tipo de labores (CHEMICAL 2020). Los mejillones cosechados alcanzaron una talla comercial que va de los 6cm-6,5cm. Es importante señalar que no se tomaron datos del crecimiento del mejillón porque el enfoque principal del trabajo era la durabilidad o resistencia de las balsas durante un ciclo productivo. Es por eso que solo se reflejan los valores de la siembra y cosecha. La cantidad de kilogramos cosechados fue de 650kg: en la balsa número dos se cosechó 278kg y la balsa número tres 372kg (fig. 8).



Figura 8. a) cuerda con mejillones, b) mejillones cosechados, c) mejillones distribuidos en cestas para ser llevados al lugar de limpieza y d) mejillones listos para la venta.

Durante los seis meses de cultivo hubo muchos inconvenientes con el fuerte oleaje que ocasionó el desprendimiento de muchos racimos de mejillones y los constantes robos al producto cultivado; siendo el robo uno de los principales problemas en la acuicultura, que afecta a crustáceos, peces y moluscos. Álvarez *et al* 2008, señala que los cultivos de mar abierto de ostra no se pudieron concluir debido a los continuos robos, vandalismo y destrucción.

CONCLUSIONES

De las tres balsas usadas en esta experiencia, la más resistente, estable y de mayor flotabilidad fue la que tenía como relleno espuma de poliuretano reciclada; cumpliendo así con el ciclo de cultivo completo. Seguida de la balsa rellena con botellas plásticas con un tiempo de duración de 5 meses. Por último, la de menor resistencia y durabilidad en el agua fue la balsa cuyo armazón no contenía relleno. Las tuberías PVC para ser usadas como sistemas flotantes, requiere de ajustes en su estructura para que puedan permanecer encima de la superficie y soportar el peso de un cultivo por un tiempo determinado. Durante el cultivo hubo muchas incidencias de robos, tráfico de botes y fuerte oleaje, los cuales fueron factores determinantes para el buen funcionamiento de las balsas y la producción de mejillones. El sitio seleccionado para desarrollar esta experiencia no fue el adecuado debido a que es una zona de fuerte oleaje y no favoreció al material usado.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue desarrollado por la colaboración técnica del Señor Javier Zabala y todo su gran equipo de trabajo (Julio León, Luis Zabala, Cristian Zabala, Sandra Jiménez, Pedro Marval, Zuly Hernández, Gregory Hernández, José Villarroel).

REFERENCIAS

- Alvarez R, Cobo L, Sonnenholzner S, Stern S. (2008). Estado actual de la acuicultura de moluscos bivalvos en Ecuador. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 129–133. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/a-i0444s.pdf> (Consulta 10.10.2020).
- APA style 2009. For Larousse Diccionario Enciclopédica: mitilicultura. (n.d.) Diccionario *Enciclopédico Vox 1*. (2009). Disponible en línea en: <https://es.thefreedictionary.com/mitilicultura> (Consulta 1/10/2020).
- CENDEPESCA. (2009). Informe técnico producción artificial de semilla y cultivo de engorde de moluscos bivalvos. CENDEPESCA/Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). [en línea]. El Salvador 2009. https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/2271029E1/materials/pdf/2009/2009_1_2.pdf.
- Chemical. (2020). Cloruro de polivinilo. Disponible en línea en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/cloruro-de-polivinilo/> (Consulta 17.07.2020).

- FAO. (2009). *Mytilus galloprovincialis*. [en línea]. Roma 2009 (http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_mediterraneanmussel.htm).
- Fernández F. (2018). Relleno de poliuretano para embarcaciones: flotabilidad y aislamiento. Disponible en línea en: <https://blog.synthesia.com/es/relleno-poliuretano-embarcaciones> (Consulta 10.10.2020).
- Figueras A. (2007). Biología y cultivo del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) en Galicia (Vol. 26). Editorial CSIC-CSIC Press. 21-26
- MAPA 2019. Mejillón “*Mytilus edulis*”. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). [en línea]. España 2019. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/mejillon_tcm30-102425.pdf
- OESA. 2017. Cultivo del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*). Fundación Biodiversidad, Madrid, España. 104 páginas. Disponible en línea en: https://www.observatorioacuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno_mejillon.pdf (Consulta 8.07.2019).
- Pérez J, Gardey A. 2017a. Definición de: Definición de boya. Publicado: 2016. Actualizado: 2017. Disponible en línea en: <https://definicion.de/boya/> (Consulta 18.08.2020).
- Pérez J, Gardey A. 2017b. Definición de: Definición de baliza. Publicado: 2016. Actualizado: 2017. Disponible en línea en: <https://definicion.de/baliza/> (Consulta 18.08.2020).
- Sertesa T. 2020. Tubería PVC. [en línea]. México 2020 <https://sertesatermo.com.mx/productos/tuberia-poli-etileno-lisa/>
- Vélez A. y Lodeiros C. 1990. El cultivo de moluscos en Venezuela. En: A. Hernández (ed.), Cultivo de Moluscos en America Latina. Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina. CIID-Canadá, pp. 345-369.



Evaluación sensorial y estimación del rendimiento en carne del chame *Dormitator latifrons*

Sensorial evaluation and estimation of meat yield of the Pacific fat sleeper *Dormitator latifrons*

Bermúdez-Medranda, A. E., Ana María Santana-Piñeros, Fernando Isea-León, Yanis Cruz-Quintana

Grupo de Investigación en Sanidad Acuicola, Inocuidad y Salud Ambiental; Escuela de Acuicultura y Pesquería, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Calle Gonzalo Loo Velasco s/n, Ciudadela Universitaria, Bahía de Caráquez, Manabí 130104, Ecuador.

 **Bermúdez-Medranda, Alexandra E.** () E-mail: alexdan269@hotmail.com

RESUMEN | El chame *Dormitator latifrons* es una especie con gran potencial acuícola por su resistencia fisiológica y la calidad de su carne; sin embargo, se desconocen muchos aspectos productivos como el rendimiento en carne y su aceptación. Se estimó el grado de aceptación de la carne de chames silvestres y de producción, así como el rendimiento (preliminar) eviscerado y en filete. La longitud total y el peso promedio de los peces estudiados ($n = 9$) fue de $198,00 \pm 0,97$ mm (180 – 210) y $101,9 \pm 7,59$ g (92 – 117,32), respectivamente. El grado de aceptación sensorial se evaluó mediante un test hedónico, encuestando a 20 personas. Al 65% de los encuestados les gustó moderadamente o mucho el sabor del chame. El sabor obtuvo la mayor aceptación (65%), mientras que el olor obtuvo la aceptación más baja (45%). En todos los criterios, los peces silvestres obtuvieron una aceptación ligeramente superior a los peces cultivados. El peso promedio eviscerado fue de $87,53 \pm 5,86$ g (81,10 – 101,32), con un rendimiento del $86 \pm 4\%$. Los pesos del filete con piel y sin piel fueron de $44,84 \pm 8,93$ g y $21,41 \pm 3,64$ g, para un rendimiento del 44% y 21%, respectivamente. El chame muestra un buen rendimiento en el filete en el rango de tallas estudiado, comparado con otras especies como el pez besote (*Joturus pichardi*) y con la vieja azul (*Andinoacara rivulatus*). Estos resultados demuestran el potencial de esta especie para el desarrollo acuícola y la exportación en este tipo de presentación.

Palabras clave: Sensorial, rendimiento, filete, chame.

ABSTRACT | The Pacific fat sleeper *Dormitator latifrons* is a species with great aquaculture potential due to its physiological resistance and the quality of its meat; however, many productive aspects such as meat yield and its acceptance, are unknown. The degree of acceptance of *D. latifrons* meat in wild and cultured conditions was estimated, as well as the (preliminary) gutted and fillet yield. The total length and average weight of the studied fish ($n = 9$) were 198.00 ± 0.97 mm (180 – 210) and 101.9 ± 7.59 g (92 – 117.32), respectively. The degree of sensory acceptance was evaluated by means of a hedonic test, surveying 20 people. The 65% of those surveyed liked the flavor of the chame moderately or very much. The flavor obtained the highest acceptance (65%), while the smell obtained the lowest acceptance (45%). In all criteria, wild fish obtained slightly higher acceptance than farmed fish. The average gutted weight was 87.53 ± 5.86 g (81.10 – 101.32), with a yield of $86 \pm 4\%$. The skin and skinless fillet weights were 44.84 ± 8.93 g and 21.41 ± 3.64 g, for a yield of 44% and 21%, respectively. Chame shows good fillet performance in the

size range studied, compared to other species such as the besote fish (*Joturus pichardi*) and the old blue (*Andinoacara rivulatus*). These results demonstrate the potential of this species for aquaculture development and export in this type of presentation.

Keywords: Sensory, performance, fillet, Pacific fat sleeper.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha presentado un crecimiento acelerado en los últimos años, debido a que se reconoce como una actividad productora de proteína de origen animal para el consumo humano. La familia Eleotridae es una de las que mayor contribución tiene dentro de la piscicultura nacional, para satisfacer la demanda de proteínas en el Ecuador (Tacon *et al.*, 2011; Bermúdez *et al.*, 2020).

La calidad de un alimento es un concepto que el consumidor actual busca cuando adquiere cualquier tipo de producto alimenticio; por lo tanto, el productor de chame debe cubrir tanto la cantidad como la calidad exigida por los consumidores (García *et al.*, 2006).

Es importante destacar que *D. latifrons* es muy apreciado por su gran sabor y su alto aporte nutricional, y tiene una gran demanda ya que llega fresco a sus lugares de destino. En los peces, la calidad de la canal y la carne pueden estar influenciadas por las condiciones en que estos se producen. Se cree que el principal inconveniente de la producción intensiva de carne de *D. latifrons* es el cambio de sabor de su carne por el uso de alimento balanceado comercial, disminuyendo el sabor característico a chame silvestre. Tanto la industria de los alimentos, como los consumidores, requieren carne de calidad nutritiva, mientras que al productor le interesan los mejores rendimientos (García *et al.*, 2006). Desde Ecuador se exporta chame vivo, contando con escasa información en cuanto a la calidad de la carne, por tal motivo la presente investigación pretende evaluar la percepción que tienen los consumidores de la calidad del pescado en torno al color, olor, sabor y textura del filete, de los organismos provenientes de crianza y de ambiente natural, además de conocer sobre el rendimiento del pez en un determinado tamaño y que los productores puedan optimizar sus recursos productivos, estableciendo sus estándares mínimos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ejemplares silvestres utilizados en el estudio fueron extraídos del Sitio La Segua en el Cantón Chone y los peces de cultivo se tomaron de una piscifactoría ubicada en el Cantón Montecristi, Provincia de Manabí, Ecuador. Las muestras del producto fresco, de ambos orígenes (silvestre y de crianza), fueron examinadas inmediatamente por los jueces.

Cada juez dispuso de una ficha para evaluar el grado aceptación del pescado, por parte de los

catadores, basándose en las características de olor, color, sabor, aspecto y textura, mediante el uso de una escala hedónica de 7 puntos cuyas respuestas se expresaron en términos porcentuales con respecto a cada cualidad establecida.

Las muestras fueron fileteadas y codificadas con número aleatorios de 3 cifras, presentadas en forma de filete a la plancha con sal. Para el análisis de textura del filete del chame se presentó el filete sin cocer y cocido, con el fin de evaluar su firmeza o elasticidad. Finalmente, se mostró el pescado entero fresco para valorar su aspecto general, a fin de evitar sesgos durante su evaluación inicial.

Para el análisis de rendimiento en carne, los peces fueron pesados enteros en una balanza semianalítica con precisión de 0,1 g, medidos y posteriormente eviscerados; lavados y pesados de nuevo para obtener el rendimiento entre pez entero y eviscerado. Los peces eviscerados se almacenaron cuidando la cadena de frío con relación 1:1; durante su transporte al laboratorio de Nutrición en la Escuela de Acuicultura de la Universidad Técnica de Manabí. Para la obtención de filetes, se realizaron cortes manuales longitudinales en la musculatura dorsal a lo largo y en ambos lados de toda la columna vertebral, obteniéndose dos filetes por pez. Este proceso fue elaborado por una única persona con experiencia previa. El rendimiento, tanto en canal como en filete, se calculó aplicando las siguientes formulas:

$$\text{Rendimiento en canal} = (\text{Peso eviscerado/peso total}) \times 100$$

$$\text{Rendimiento en filete} = (\text{Peso del filete/peso total}) \times 100$$

Los datos obtenidos fueron creados, almacenados y procesados en una hoja de cálculo Excel.

RESULTADOS

Al 65% de los encuestados les gustó moderadamente o mucho el sabor del chame (Figura 1). El sabor obtuvo la mayor aceptación (65%), mientras que el olor obtuvo la aceptación más baja (45%). En todos los criterios, los peces silvestres obtuvieron una aceptación ligeramente superior a los peces cultivados.

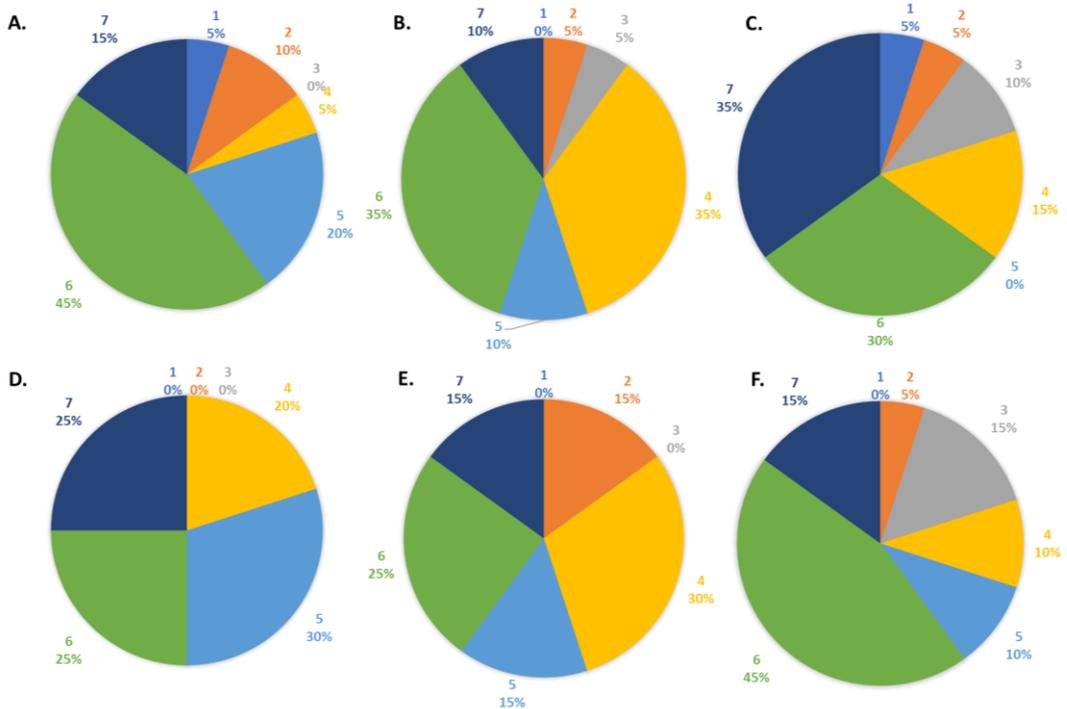


Figura 1. Resultados test hedónico de siete puntos para determinar nivel de aceptación del filete de chame (*Dormitor latifrons*). A-C: chame de ambiente natural; D-F: chame de producción; A, D: Color; B, E: Olor; C, F: Sabor. 1: Me disgusta mucho; 2: Me disgusta moderadamente; 3: Me disgusta poco; 4: No me disgusta ni me gusta; 5: Me gusta poco; 6: Me gusta moderadamente; 7: Me gusta mucho.

En cuanto a la textura del filete sin cocer y cocido del chame silvestre, se obtuvo un 70% en consistencia firme y elástica, con relación al chame de cultivo cuya preferencia estuvo en un 55%. Con respecto a la apariencia del chame al 50% de los encuestados les gustó mucho.

El peso promedio eviscerado fue de $87,53 \pm 5,86$ g ($81,10 - 101,32$) con un rendimiento del $86 \pm 4\%$. Los pesos del filete con piel y sin piel fueron de $44,84 \pm 8,93$ g y $21,41 \pm 3,64$ g, para un rendimiento del 44% y 21% respectivamente. El porcentaje de vísceras estuvo comprendido entre el 8,05% y un 20,5% con promedio de 14,04% y desviación estándar de 3,74 (Tabla 1 y 2).

El rendimiento porcentual de los filetes con piel osciló entre un 36% y 52,57% con porcentaje promedio de 43,78% y desviación estándar de 6,61, y el filete sin piel entre el 17,6 y 23,86% con porcentaje promedio de 20,90% y desviación estándar de 2,38 (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Rendimiento del chame (*Dormitator latifrons*).

Nº	Longitud Total (mm)	Peso total (g)	Peso Eviscerado (g)	Rendimiento sin vísceras %	Porcentaje de vísceras	Peso de filete con piel (g)	Rendimiento del filete con piel %	Peso del filete sin piel (g)	Rendimiento del filete sin piel %
1	180	92	84.59	91.94	8.05	35.42	38.5	16.2	17.60
2	210	117.31	101.32	86.3	13.63	61.67	52.57	27.99	23.85
3	207	93.75	81.1	86.5	13.49	47.8	50.98	17.7	18.88
4	190	106	89.6	84.52	15.47	39.8	37.54	23	21.61
5	207	103.9	82.6	79.49	20.5	45.9	44.17	18.8	18.09
6	205	98	86.2	87.95	12.04	36.3	37.34	20.8	21.22
7	194	102.9	85.8	83.38	16.62	49.1	47.71	20.6	20.01
8	199	98.6	88.6	89.85	10.14	35.5	36.00	23.4	23.73
9	198	105.3	88	83.57	16.43	52.1	49.47	24.2	22.98

Tabla 2. Valores promedios obtenidos en el rendimiento de filete de chame (*Dormitator latifrons*).

Valor	Longitud Total (mm)	Peso total (g)	Peso Eviscerado (g)	Rendimiento sin vísceras %	Porcentaje de vísceras	Peso de filete con piel (g)	Rendimiento del filete con piel %	Peso del filete sin piel (g)	Rendimiento del filete sin piel %
Mínimo	180	92	81.1	79.50	8.05	35.42	36.00	16.2	17.61
Máximo	210	117.31	101.32	91.95	20.5	61.67	52.57	27.99	23.86
Promedio	199	101.97	87.53	85.96	14.04	44.84	43.78	21.41	20.90
Desviación Estándar	9.7	7.59	5.86	3.74	3.74	8.93	6.61	3.65	2.38

DISCUSIÓN

El análisis sensorial mostró que los chames silvestres con el 65% de aceptación en el sabor (me gusta mucho), tiene características organolépticas en el olor, color y sabor superiores a los chames cultivados, lo cual podría estar muy relacionado con la alimentación debido a las enzimas presentes en el alimento natural, que contribuyen a la digestión y optimizan la asimilación de los nutrientes (Luna *et al.*, 2017). Resultados similares han sido reportados por Eslava (2009) quien obtuvo resultados favorables con relación a las características organolépticas del pez besote (*Joturus pichardi*), en el que los consumidores indican un grado de aceptación y satisfacción muy alto con los atributos del producto provenientes de un ambiente natural. Sin embargo, contrasta con el estudio realizado por Suarez (2019) quien al suplementar harina de maíz hidropónica al 8% en la alimentación de chame, mejoró el sabor de su carne, obteniendo resultados de 50% me gusta. Por otro lado, Peleteiro (2012), obtuvo resultados en la dorada con diferencias significativas ($p < 0.05$) según el origen del pez para el olor, color, sabor y firmeza. En el caso de lubina se apreciaron diferencias estadísticas significativas en el olor, sabor y textura para los organismos procedentes de la pesca extractiva. Con el pez besugo se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) según el origen para el olor, color y sabor. El besugo salvaje presenta mayor intensidad de olor y sabor a marisco, es más blanco y jugoso; mientras que el besugo cultivado,

al ser más graso, tiene mayor intensidad de olor y sabor aceitoso. En cuanto a rodaballo, los evaluadores percibieron diferencias en el olor y sabor a favor del pez de ambiente natural.

Respecto a la textura de la carne cocida, el estudio de Suarez (2019) arrojó un 100% en firmeza y elasticidad de ésta, en contraste con el presente estudio que arroja un valor del 55% en el filete cocido del chame de cultivo, obteniéndose mayores resultados tanto en los filetes cocidos y sin cocer de los chames silvestres.

Tradicionalmente el chame es exportado como pez entero, por lo que no existe información sobre el rendimiento del filete. El rendimiento promedio del filete de chame sin piel (20,90%) para la talla estudiada es aceptable, según el criterio de Sikorski (1994), quien recomienda que un rendimiento de filete aceptable debe estar en valores entre el 20 y el 40%, siendo común valores entre 30 y 35%. Sin embargo, es importante mencionar que el chame se cultiva tradicionalmente de forma extensiva sin tecnología acuícola ni programas de mejoramiento genético, por lo que este rendimiento podría mejorar considerablemente una vez se tecnifique el cultivo y se implementen programas de selección genética. Si comparamos los resultados del filete con piel, en el caso del chame (44%) es muy superior al de otras especies estudiadas en Ecuador como la vieja azul *Andinoacara rivulatus*, de la cual se ha reportado un rendimiento eviscerado del 95% y un rendimiento de filetes con piel del 34% (González *et al.*, 2016).

Los valores obtenidos en este estudio son inferiores a los reportados para truchas *Oncorhynchus mykiss* (55%) (García *et al.*, 2004) y para tilapias (58-61%) (Rojas *et al.*, 2011). El rendimiento de filete en este estudio se centró en un estrecho rango de tallas (180 – 210 mm LT), por tratarse de una talla comercial en Ecuador; sin embargo, el rendimiento podría ser mejor en tallas mayores, de manera similar a lo reportado por Rojas *et al.* (2011), quienes no encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) al comparar el rendimiento de filetes en tilapias con rangos de tallas entre 300-350 g y 350-400g. El rendimiento en filetes depende de varios factores como el peso y condición corporal del pez, condición sexual, características morfométricas, técnicas de procesamiento, métodos de fileteado, forma de presentación (con o sin piel) y eficiencia del fileteador (Rutten *et al.*, 2004). Estos aspectos deberán ser evaluados a futuro, para determinar el rendimiento en carne y filete de chame en diferentes tallas y bajo diferentes condiciones de cultivo.

CONCLUSIONES

Gusta más el chame de ambiente natural con respecto al chame cultivado entre los consumidores encuestados. Al gustar mucho la apariencia del pez, representa una ventaja para el vendedor, pero es necesario diversificar las líneas del producto en cuanto a gustos y preferencias del consumidor para ofertar el pescado a nivel mundial. El rendimiento obtenido en su forma eviscerada como en filetes en este tamaño estudiado le hace propicio para poder ofertarlo en esta presentación.

Agradecimientos

Al proyecto de investigación Solapamiento de nichos e interacciones tróficas y de parásitos entre el Chame (*Dormitator latifrons*) y la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el estuario del río Chone y el humedal La Segua, financiado por la Universidad Técnica de Manabí.

REFERENCIAS

- Bermúdez-Medranda, A. E., Lucas, G., Vilela, E., Vélez-Chica, J.C., Cruz, Y., Mesías, A., Vásquez, Y., Espinoza, M., Piaguage, E., Santana-Piñeros, A.M. (2020). Efecto de dos probióticos comerciales en la ganancia de peso, parámetros hematológicos e histología intestinal del chame (*Dormitator latifrons*). *Aquatechnica* 2(1): 23-30.
- Eslava P. (2009). Estimación del rendimiento y valor nutricional del besote *Joturus pichardi* Poey, 1860 (Pisces: Mugilidae). *Revista MVZ Córdoba*, 14(1): 1576-1586.
- Tacon, A., Hasan, M.R., Metian, M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: Trends and prospects. FAO, Fisheries and aquaculture technical paper No. 564. Rome, Italy. 87pp.
- García Macías, J. A., Núñez González, F. A., Chacón Pineda, O., Alfaro Rodríguez, R. H., & Espinosa Hernández, M. R. (2004). Calidad de canal y carne de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss* Richardson, producida en el noroeste del Estado de Chihuahua. *Hidrobiológica*, 14(1): 19-26.
- García Macías, J.A., Núñez González, F.A., Rentería Monterrubio, A.L., Jiménez Castro, J.A., & Espinosa Hernández, M.R. (2006). Calidad de canal y carne de tres variedades de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Hidrobiológica*, 16(1):11-22. Recuperado en 13 de enero de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972006000100002&lng=es&tlng=es.
- González, M., Rodríguez, J., López, M., Vergara, G., & García, A. (2016). Estimación del rendimiento y valor nutricional de la vieja azul (*Andinoacara rivulatus*). *Revista de Investigación Talentos*, 3(2): 36-42.
- Luna-Figueroa, J., & Uribe, E. A. (2017). Un menú diverso y nutritivo en la dieta de peces." El alimento vivo". *Agroproductividad*, 10(9): 112-117.
- Peleteiro-Alonso, J. B., & Álvarez-Blázquez-Fernández, B. (2012). Caracterización de la calidad del pescado de crianza. Conferencia. <http://hdl.handle.net/10508/6468>

- Rojas-Runjaic, B., Perdomo, D. A., García, D. E., González-Estopiñán, M., Corredor, Z., Moratinos, P., & Santos, O. (2011). Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitralada producida en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 29: 113-126.
- Rutten, M. J., Bovenhuis, H., & Komen, H. (2004). Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 231(1-4): 113-122.
- Sikorski Z. (1994). Tecnología de los productos del mar: Recursos, composición nutritiva y conservación. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A., 342pp.
- Suarez Verdezoto, K. J. (2019). Análisis organoléptico del filete de *Dormitator latifrons* (chame) alimentado con harina de maíz hidropónica al 8% (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia). <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39243>.



Caracterización genómica de poblaciones: Impacto de la diversidad genética y la endogamia

Genomic population characterization: Impact of genetic diversity and inbreeding

Ricardo Pérez-Enríquez

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.

 Ricardo Pérez-Enríquez () E-mail: rperez@cibnor.mx

RESUMEN | Con el fin de poner en relevancia la importancia de los estudios de genómica poblacional para el desarrollo y seguimiento de los programas de mejora genética en la acuicultura, el trabajo se divide en cuatro secciones: 1) Principales conceptos básicos de la genética de poblaciones. Se detallan elementos ligados a la evaluación de la diversidad genética, la endogamia, y la diferenciación de poblaciones; 2) Descripción de los marcadores genéticos como herramientas de estudio. Se explica qué son los marcadores genéticos y se describe con mayor detalle a los Polimorfismos de Nucleótido Sencillo (SNPs) por su gran potencial de aplicación en la acuicultura; 3) Aplicaciones en el manejo de líneas genéticas para la acuicultura. Se describen los principales hallazgos de estudios realizados por el grupo de trabajo del autor en el ámbito de análisis de estructura genética de poblaciones silvestres, así como de evaluaciones de diversidad genética, endogamia y diferenciación genética de líneas de cultivo. Se presentan ejemplos de la aplicación de marcadores genéticos para la evaluación de programas de repoblación, la detección de organismos de cultivo en el medio silvestre, la trazabilidad de peces en la cadena productiva y la identificación molecular del sexo. Asimismo, se ejemplifica la utilidad de los análisis de parentesco en peces marinos para el seguimiento de la dinámica y estructura reproductiva de poblaciones cultivadas; 4) Conclusiones y retos. El diseño de estrategias de manejo en la producción de larvas requiere la aplicación de la genética poblacional, habiendo disponibilidad de tecnologías de análisis genómico para el apoyo de dichas estrategias. Los principales retos para avanzar en la aplicación de la genética y genómica enfocados al desarrollo de la acuicultura se relacionan con la concientización y capacitación de productores acuícolas y tomadores de decisiones, así como con el desarrollo tecnológicas genómicas de costo accesible.

Palabras clave: Marcadores genéticos, SNPs, mejora genética, análisis de parentesco, trazabilidad.

ABSTRACT | To highlight the importance of population genomics studies for the development and follow-up of genetic improvement programs for aquaculture species, this work is divided into four sections: 1) Main basic population genetics concepts. Elements linked to the evaluation of genetic diversity, inbreeding and population differentiation are explained; 2) Description of genetic markers as study tools. It is explained what are genetic markers, with a detailed description of the Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) due to their high application potential in aquaculture; 3) Applications for the management of aquaculture lines. The main findings of the author's research group are presented, and are relative to the analysis of the genetic structure of wild populations, and evaluations of genetic diversity, inbreeding and genetic differentiation of breeding stocks. Examples are

given about the application of genetic markers for the evaluation of stock enhancement programs, the detection of cultivated animals in the wild, the traceability of fish along the production chain, and the molecular identification of sex. Also, examples are presented on the utility of parentage testing to follow the reproduction dynamics and structure in cultivated fish; 4) Conclusions and challenges. The design of larvae production strategies require the application of the principles of population genetics, and there is availability of genomic technologies to support them. The main challenges for the advancement of the application of genetics and genomics towards aquaculture development are related with making awareness and capacitating producers and decision-makers of the matter, as well as to develop low-cost genomic technologies.

Keywords: Genetic markers, SNPs, genetic improvement, parentage analysis, traceability.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de poner en relevancia la importancia de los estudios de genómica poblacional para el desarrollo y seguimiento de los programas de mejora genética en la acuicultura, el trabajo se divide en cuatro secciones: 1) Principales conceptos básicos de la genética de poblaciones. Se detallan elementos ligados a la evaluación de la diversidad genética, la endogamia, y la diferenciación de poblaciones; 2) Descripción de los marcadores genéticos como herramientas de estudio. Se explica qué son los marcadores genéticos y se describe con mayor detalle a los Polimorfismos de Nucleótido Sencillo (SNPs) por su gran potencial de aplicación en la acuicultura; 3) Aplicaciones en el manejo de líneas genéticas para la acuicultura. Se describen los principales hallazgos de estudios realizados por el grupo de trabajo del autor en el ámbito de análisis de estructura genética de poblaciones silvestres, así como de evaluaciones de diversidad genética, endogamia y diferenciación genética de líneas de cultivo. Se presentan ejemplos de la aplicación de marcadores genéticos para la evaluación de programas de repoblación, la detección de organismos de cultivo en el medio silvestre, la trazabilidad de peces en la cadena productiva y la identificación molecular del sexo. Asimismo, se ejemplifica la utilidad de los análisis de parentesco en peces marinos para el seguimiento de la dinámica y estructura reproductiva de poblaciones cultivadas; 4) Conclusiones y retos. El diseño de estrategias de manejo en la producción de larvas requiere la aplicación de la genética poblacional, habiendo disponibilidad de tecnologías de análisis genómico para el apoyo de dichas estrategias. Los principales retos para avanzar en la aplicación de la genética y genómica enfocados al desarrollo de la acuicultura se relacionan con la concientización y capacitación de productores acuícolas y tomadores de decisiones, así como con el desarrollo tecnologías genómicas de costo accesible.

Existe un amplio potencial para el desarrollo de la acuicultura mediante la aplicación de los principios de la genética y genómica poblacional. Este potencial se ha visto especialmente favorecido por el desarrollo de las nuevas tecnologías de secuenciación masiva que han permitido conocer más a fondo las características del genoma de las especies acuícolas.

Con este tipo de estudios, se puede acceder a conocer en detalle el estatus de la diversidad genética y los niveles de endogamia de un cultivo en particular, se puede determinar la dinámica reproductiva de lotes de reproducción mediante análisis de parentesco y paternidad, se puede evaluar el éxito de los programas de repoblación de especies de interés, se puede detectar la variabilidad genética disponible en el medio silvestre y se puede rastrear un producto acuícola determinado a través de la cadena productiva, entre otras cosas (Fig. 1).

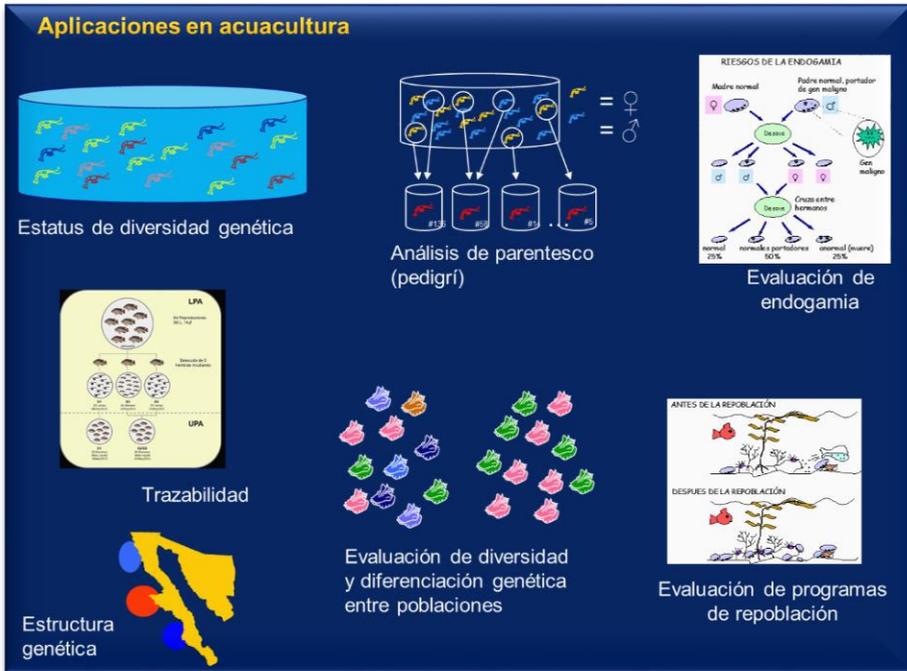


Figura 1. Ejemplos de aplicación de los principios de la genética de poblaciones en la acuicultura.

Conceptos básicos

Antes de abordar ejemplos de las aplicaciones mencionadas, es necesario describir de manera general los conceptos generales de la genética de poblaciones, entendida ésta como la disciplina que estudia la variación de las características genética de las poblaciones en el tiempo y las fuerzas evolutivas que intervienen (Hartl y Clark, 1997). Para ello se requiere analizar la composición genética de la población a través de las frecuencias alélicas, representadas por las frecuencias relativas de las variantes genéticas (alelos) en un(os) sitio(s) determinado(s) del genoma (locus/loci). Esta información permite realizar estimaciones de diversidad genética a través de índices tales como el número de alelos por locus, número efectivo de alelos por locus, heterocigosidad observada y heterocigosidad esperada

[esta última en función del modelo dado por el Equilibrio de Hardy-Weinberg (EHW)]. La descripción matemática de dichos índices y del modelo de EHW no es materia del presente trabajo, pero pueden consultarse en Hartl y Clark (1997). La composición genética permite además realizar análisis comparativos entre dos o más poblaciones de cultivo y hacer inferencias sobre la similitud entre ellas (Fig. 2).

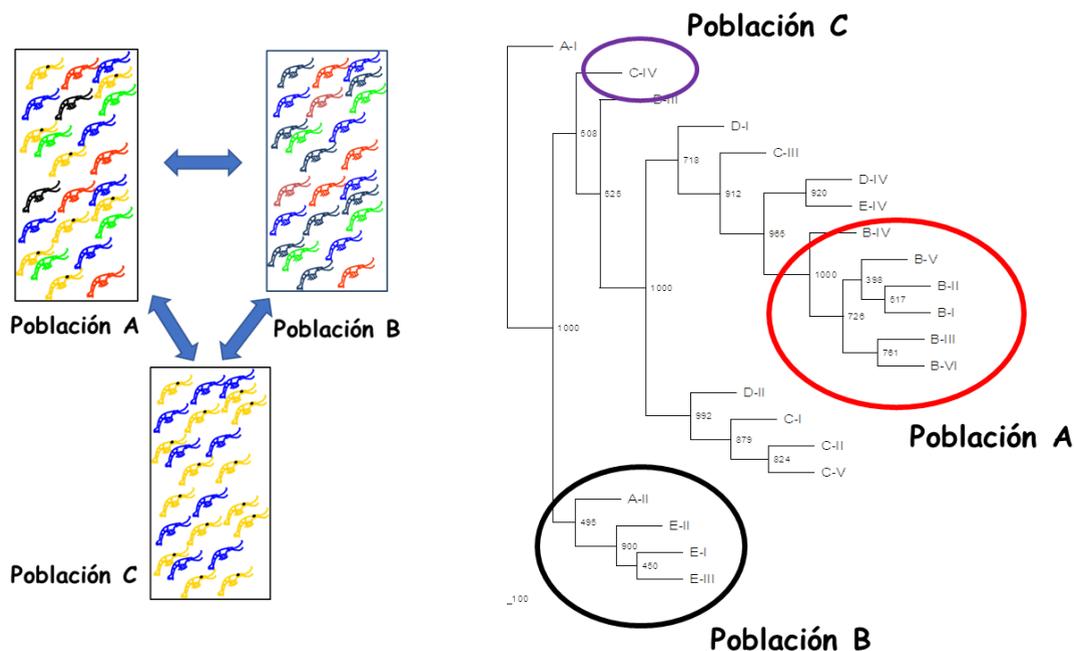


Figura 2. Ejemplificación de composición y diferenciación genética de poblaciones.

La reducción de la diversidad genética en una población puede dar como resultado escenarios que pueden tener consecuencias indeseables en las poblaciones de cultivo: la reducción de la capacidad de adaptación a cambios en el medio ambiente y en el incremento de la probabilidad de entrecruzamiento de organismos emparentados, es decir, un incremento de la consanguinidad o endogamia. Ambos casos que pueden traducirse en la pérdida de la eficacia biológica (Freeland, 2005). De manera específica, cuando la reducción en el desempeño de una población proviene de la consanguinidad, se refiere a un fenómeno de depresión por endogamia. Este fenómeno ha sido ampliamente descrito en diversas especies acuícolas; a manera de ejemplos, se han reportado que niveles de endogamia por arriba del 20% han originado decrementos en la tasa de eclosión y sobrevivencia larvaria de camarón *L. vannamei* (Moss et al., 2008), en rendimiento por familia, crecimiento individual y sobrevivencia en la ostra *Crassostrea gigas* (Evans et al., 2004) y en diversos parámetros en salmónidos (p. ej. sobrevivencia larvaria, peso, número de huevos, entre otros; Wang et al., 2002). Se considera que este fenómeno es

más recurrente en poblaciones de cultivo sujetas a selección si ésta no se realiza tomando en consideración el grado de parentesco dentro del grupo de entrecruzamiento.

Marcadores genéticos

Los estudios de genética se basan en la utilización de marcadores genéticos o moleculares, que son genes, fragmentos de ADN o bases nucleotídicas ubicados en sitios específicos del genoma (llamado locus). Entre los marcadores más comunes se tienen los Polimorfismos de Longitud de Fragmentos de Restricción (RFLP por sus siglas en inglés) de ADN mitocondrial, los microsatélites y los Polimorfismos de Nucleótido Sencillo (SNPs por sus siglas en inglés), siendo los SNPs los más utilizados en la actualidad y con mayor potencial de aplicación. De manera breve, un SNP es un variación de una sola base nucleotídica en un sitio determinado; sus características más importantes es que son muy abundantes y se encuentran dispersos en todo el genoma, son co-dominantes y se heredan biparentalmente (siguiendo las leyes de Mendel) y se pueden encontrar tanto en regiones neutrales (es decir que no codifican), como asociados a genes y regiones codificantes (Fig. 3).

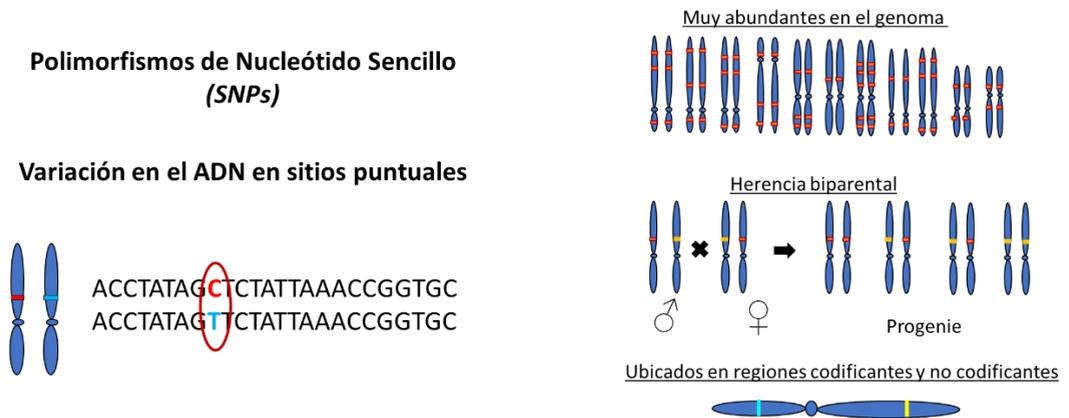


Figura 3. Ilustración de Polimorfismo de Nucleótido Sencillo y sus características principales. En el ejemplo de la izquierda, el genotipo es heterocigoto C/T.

El requerimiento básico para un estudio de caracterización genética es la extracción de ADN de cada uno de los individuos de una muestra de una población, obtenido a partir de un fragmento de tejido (aleta, músculo, sangre o hemolinfa, etc.) y la determinación del genotipo para un conjunto de SNPs (Figura 3). Algunas técnicas utilizadas para la genotipificación se basan en la secuenciación de fragmentos de restricción (RAD, 2bRAD, ddRAD; Robledo et al., 2018), la genotipificación por miles (GT-Seq; Campbell et al., 2015), la amplificación selectiva tipo KASP™ (Biosearch Technologies), el uso de microarreglos Infinium (Illumina), entre otros. Hay una amplia variación en cobertura del

genoma entre ellas, sin embargo, todas coinciden en ser de alto costo para su aplicación masiva y rutinaria en la acuicultura.

Aplicaciones en la acuicultura

En esta sección se presentan ejemplos de los trabajos realizados por el grupo de trabajo del autor en diversos aspectos de la genética poblacional enfocados principalmente al camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y a peces marinos y dulceacuícolas.

Se mostró que las poblaciones silvestres de camarón blanco en el Pacífico tropical del continente americano, se encuentran genéticamente diferenciadas en la escala continental (México, Guatemala, Panamá; Valles-Jiménez et al., 2005, 2006), pero sin diferenciación en la escala regional, particularmente para lagunas costeras del estado de Sinaloa, México (Pérez-Enríquez et al., 2018a). Asimismo, se observaron niveles de diversidad genética notablemente mayores en el medio silvestre que en líneas de cultivo, pero con desviaciones del EHW que pueden ser resultado de la interacción entre el cultivo y la población silvestre (Pérez-Enríquez et al., 2018b). La caracterización de las líneas de cultivo en México utilizadas durante la primera década de los 2000 mostró la existencia de niveles de endogamia relativamente elevados (aprox. 18%) en varias de las líneas (Pérez-Enríquez et al., 2009), mismas que fueron sustituidas a partir del 2013 por líneas importadas de EE.UU. (con origen del Ecuador), Centro y Sudamérica. Estas líneas presentaron mayores niveles de diversidad genética y una composición genética altamente diferenciada (Pérez-Enríquez et al., 2018c). De este trabajo, y de manera colateral, se encontró un SNP ligado al sexo, con el cual se desarrolló una técnica para la identificación de sexo (Pérez-Enríquez et al., 2020), cuyo principio puede ser utilizado para desarrollar marcadores de sexo en otras especies acuícolas.

Por otro lado, se ha mostrado la utilidad de los marcadores genéticos para la determinación de la dinámica reproductiva en peces marinos. Para el caso de dos lotes de cultivo utilizados en un programa de repoblación de la brema roja *Pagrus major*, se determinó, mediante análisis de paternidad, el número de reproductores que participaron en la producción de la progenie de la siguiente generación y la diferencia en la contribución de descendencia por progenitor, que permitió estimar los niveles de endogamia derivados de dicho programa y diseñar mejores estrategias de reproducción (Pérez-Enríquez et al., 1999). En el pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*, los análisis de parentesco de un lote de cultivo permitieron determinar la dinámica reproductiva de hembras y machos durante una temporada de reproducción, observándose que sólo dos de las 4 hembras del lote participaron en los desoves, pero que prácticamente los 6 machos del mismo tuvieron una participación más homogénea (Pérez-Enríquez et al., 2020).

Por otra parte, se mostró la utilidad de los marcadores para estudios de trazabilidad. En un programa de repoblación de abulón proveniente de un laboratorio de cultivo se hizo uso de la herramienta para

demostrar que la siembra de larva no es efectiva para aumentar el tamaño de la población en los sitios de liberación (Gutiérrez-González y Pérez-Enríquez, 2005). Asimismo, se puso en relevancia la importancia de considerar los principios de la genética para la minimización de potenciales efectos negativos de los programas de repoblación, no sólo de abulón sino de otras especies (Pérez-Enríquez et al., 2013). Finalmente, se mostró la posibilidad de dar seguimiento a lotes de cultivo de tilapia producidos en un laboratorio a las instalaciones de una unidad de engorda (Valdez-Domínguez 2013).

CONCLUSIONES

El diseño de estrategias de manejo, reproducción y cruza en la producción de larvas y postlarvas requiere la aplicación de los principios de la genética poblacional.

Es importante considerar que el manejo genético de lotes de reproductores es factible no sólo para grandes productores acuícolas, sino también para pequeños, los cuales debido a restricciones de espacio o tamaño de los lotes de reproducción, pueden ser más propensos a los problemas asociados con la endogamia.

Si bien existen marcadores genéticos y tecnologías de análisis genómico para muchas especies de cultivo, aun el costo de su aplicación práctica y de manera rutinaria es poco factible.

Finalmente, en el ámbito de los programas de repoblación, éstos deben elaborarse sobre bases genéticas bien establecidas con la finalidad de que, por una parte, sean exitosos y, por la otra, se minimice el efecto genético negativo que pudieran tener por un diseño incorrecto.

De esta manera, la aplicación de la genética y genómica enfocados al desarrollo de la acuicultura debe enfrentar diversos retos. Entre ellos los principales son los siguientes:

Concientizar y capacitar a productores acuícolas y tomadores de decisiones en temas relacionados con la genética tanto de poblaciones como cuantitativa.

Lograr el incremento de la inversión en I+D+i para desarrollar tecnologías de análisis de perfiles genéticos de costo accesible, así como de recursos genéticos (genomas, marcadores específicos) para las especies acuícolas.

REFERENCIAS

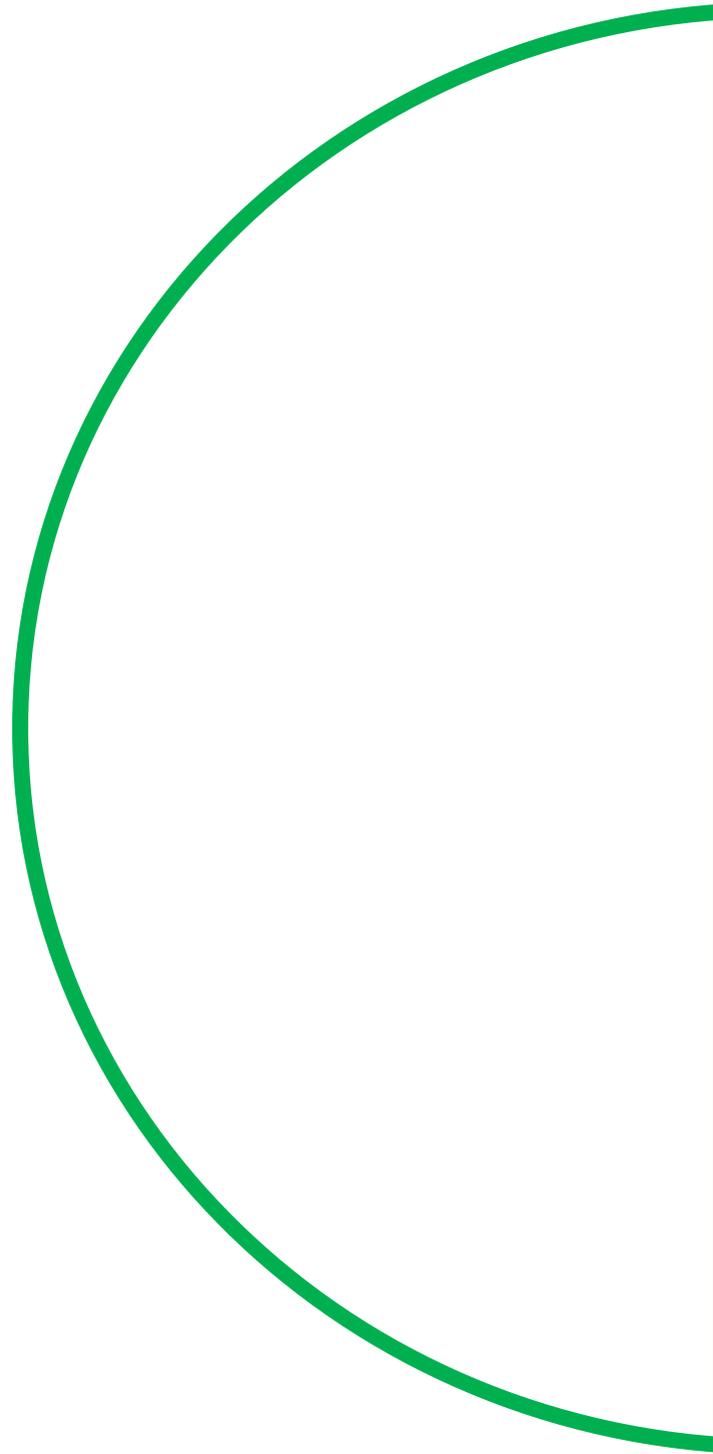
Campbell N.R., Harmon S.A., Narum S.R. (2015). Genotyping-in-Thousands by sequencing (GT-seq): A cost effective SNP genotyping method based on custom amplicon sequencing. *Molecular Ecology Resources*, 15: 855-867.

- Evans F., Matson S., Brake J., Langdon C. (2004). The effects of inbreeding on performance traits of adult Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 230: 89–98.
- Freeland J.R. (2005). *Molecular Ecology*. John Wiley & Sons, Ltd. 388 pp.
- Gutierrez-Gonzalez J.L., Perez-Enriquez R. (2005). A genetic evaluation of stock enhancement of blue abalone *Haliotis fulgens* in Baja California, Mexico. *Aquaculture*, 247: 233-242.
- Hartl D.L., Clark A.G. (1997). *Principles of Population Genetics*. 3rd edition. Sinauer Associates, Inc. 542 pp.
- Moss D.R., Arce S.M., Otoshi C.A., Moss S.M. (2008). Inbreeding Effects on Hatchery and Growout Performance of Pacific White Shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39: 467-476.
- Perez Enriquez R., Takagi M., Taniguchi N. (1999). Genetic variability and pedigree tracing of a hatchery reared stock of red sea bream (*Pagrus major*) used for stock enhancement, based on microsatellite DNA markers. *Aquaculture*, 173: 411-421.
- Perez-Enriquez R., Hernández-Martínez F., Cruz P. (2009). Genetic diversity status of White shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* broodstock in Mexico. *Aquaculture*, 297: 44-50.
- Pérez-Enríquez R., P. Cruz-Hernández, C.J. Saucedo-Barrón (2013). Liberación de juveniles para la repoblación de cuerpos de agua, consideraciones y recomendaciones de manejo para minimizar los riesgos de impacto genético negativo. *Industria Acuícola*, 9(5): 18-23.
- Perez-Enriquez R., Millán-Márquez A.M., Cruz-Hernández P. Saucedo-Barrón C.J. (2018a). Genética poblacional de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89: 290-297.
- Perez-Enriquez R., Medina-Espinoza J.A., Max-Aguilar A., Saucedo-Barrón, C.J. (2018b). Genetic tracing of farmed shrimp (Decapoda, Penaeidae) in wild populations from a main aquaculture region in Mexico. *International Journal of Tropical Biology*, 66(1): 381-393.
- Perez-Enriquez R., Robledo D., Houston R.D., Llera-Herrera R. (2018). SNP markers for the genetic characterization of Mexican shrimp broodstocks. *Genomics*, 110: 423-429.
- Perez-Enriquez R., Llera-Herrera R., Galindo Torres P., Avila S. (2020). A fast sex detection method for the Whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* by post-PCR high resolution melting (HRM).

Aquaculture, 520: 734784.

- Perez-Enriquez R., Valadez-Rodríguez J.A., Max-Aguilar A., Dumas S., Diaz-Viloria N. (2020). Parental contribution in a cultivated stock for the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) estimated by newly developed microsatellite markers. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48: 247-256.
- Robledo D., Palaiokostas C., Bargelloni L., Martínez P., Houston R. (2018) Applications of genotyping by sequencing in aquaculture breeding and genetics. *Reviews in Aquaculture*, 10: 670-682.
- Valdez Domínguez C.L. (2013). Verificación de un sistema de trazabilidad de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en instalaciones acuícolas por medio de microsatélites de ADN. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Mazatlán, México. 92 pp.
- Valles-Jimenez R., Cruz P., Perez-Enriquez R. (2005). Population genetic structure of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from México to Panama: microsatellite DNA variation. *Marine Biotechnology*, 6(5): 475-484.
- Valles-Jimenez R., Gaffney P.M., Perez-Enriquez R. (2006). RFLP analysis of the mtDNA -control region in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) populations from the Eastern Pacific. *Marine Biology*, 148: 867-873.
- Wang S., Hard J.J., Utter F. (2002). Salmonid inbreeding: a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 11: 301–319.





BIOTECNOLOGÍA Y BIOPRODUCTOS

Avaliação do efeito da redução de sal e aplicação de extrato de casca de pinheiro sobre o tempo de armazenamento de carapau fumado (*Trachurus trachurus*)

Diana Barros, Manuela Vaz-Velho **970-987**

Genome association study for molecular differentiation of Neotropical catfishes *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus grosskopfii*

José Gregorio Martínez, Edna Judith Márquez **988-999**

Looking for molecular IDs to discriminate the Neotropical catfishes *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus yuma*

José Gregorio Martínez, Edna Judith Márquez **1000-1010**

Avaliação do efeito da redução de sal e aplicação de extrato de casca de pinheiro sobre o tempo de armazenamento de carapau fumado (*Trachurus trachurus*)

Evaluación del efecto de la reducción de sal y aplicación de un extracto de corteza de pino sobre el tiempo de almacenamiento del jurel ahumado (*Trachurus trachurus*)

Diana Barros^{1,2}, Manuela Vaz-Velho²

¹Universidade Santiago de Compostela, Escuela de Doctorado Internacional de la USC, Santiago de Compostela, Espanha.

²CISAS - Centro de Investigação e Desenvolvimento em Sistemas Agroalimentares e Sustentabilidade, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 4900-347 Viana do Castelo, Portugal.

 Diana Barros () E-mail: dib@ipvc.pt

RESUMO | Pretende-se com este estudo a valorização de espécies de pescado de baixo valor comercial, através da aplicação de técnicas inovadoras a processos de transformação tradicionais, concretamente na fumagem de pescado. A fumagem é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos. O processo geralmente compreende uma combinação de etapas de salga, secagem, aquecimento e fumagem. Atualmente, a salga e a fumagem são utilizadas principalmente para conferir sabor, sendo o efeito conservante secundário. Além disso, a redução da ingestão de sal é um objetivo importante de saúde pública e, atualmente, tanto a indústria alimentar como os serviços de alimentação procuram meios para reduzir o teor de sal nos produtos, mantendo a segurança e as características organolépticas dos produtos. A redução do sal em carapau fumado fortificado com ingredientes naturais é o principal objetivo deste estudo.

Palavras-chave: Pescado, fumagem, redução de sal, antioxidantes.

ABSTRACT | The aim of this study is to apply innovative techniques to traditional transformation processes, specifically in the smoking of fish, aiming at the valorization of species of low commercial value. Smoking is one of the oldest methods of preserving food. The whole process usually consists of a combination of salting, drying, heating and smoking steps. Nowadays, salting and smoking are mainly used to add flavor, with a secondary preservative effect. In addition, reducing salt intake is an important public health objective and today food industry and food services are looking for means to reduce the salt content of products without affecting safety and sensory properties. The reduction of salt in smoked horse mackerel fortified with natural ingredients is the main objective of this study.

Keywords: Fish, smoking, salt reduction, antioxidants.

INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO), o consumo mundial de peixe per capita aumentou em média de 9,9 kg na década de 1960 para 14,4 kg na década de 1990 e 19,7 kg em 2013, com estimativas para 2014 e 2015 apontando para um crescimento superior a 20 kg (FAO, 2016). A deterioração de peixes refrigerados é atribuída principalmente à atividade microbiana (Gram & Huss, 1996). Prolongando o tempo de vida útil através da aplicação de tecnologias de processamento e / ou embalagem adequadas, permitirá aumentar o valor comercial do pescado (Tsironi & Taoukis, 2018).

A sobre-exploração de recursos marinhos obriga ao desenvolvimento de estratégias que facilitem o escoamento de espécies de pescado menos valorizadas. Estas estratégias passam pela promoção destas espécies através de novas aplicações culinárias. O peixe fresco é um produto altamente perecível devido à sua composição química e à carga microbiana que se encontra na sua superfície. O peixe, além de possuir grande quantidade de água no músculo, possui pH próximo da neutralidade, alto teor de nutrientes e de lípidos insaturados, rápida autólise de enzimas naturalmente presentes nos tecidos e uma alta atividade metabólica.

O músculo destas espécies selvagens de baixo valor comercial apresenta características que se adequam ao processamento por fumagem. A fumagem de alimentos é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos (Vaz-Velho, 2003; Vaz Velho, Cappel, & Gibbs, 1998), mas hoje em dia os únicos objetivos deste processo são obter cor, aroma e sabor, e o efeito conservante é esquecido (Mahmud *et al.*, 2018; Vaz-Velho, 2003). Os produtos podem ser expostos diretamente ao fumo natural ou podem ser adicionados aromas de fumo (fumo líquido). O uso de fumo líquido com outros temperos evita o risco de ocorrência de partículas tóxicas e cancerígenas (Chatzikyriakidou & Katsanidis, 2012; Vaz-Velho, 2003). Apesar de não ser um produto tradicional em Portugal, a procura de peixe fumado tem aumentado consideravelmente com o consequente aumento do seu valor. Normalmente são utilizadas espécies ricas em ácidos gordos ómega-3. O processo de fumagem geralmente ocorre em temperaturas abaixo da pasteurização e os produtos têm um prazo de validade de 5 a 6 semanas. Vários surtos de *Listeria monocytogenes* e, consequentemente, vários métodos de bio preservação, foram estudados (Todorov, LeBlanc, de Melo Franco, & Vaz-Velho, 2012).

A permanente promoção do consumo de pescado, assente nas suas vantagens nutricionais, tem vindo a promover hábitos alimentares neste domínio. Porém, consequência de um ritmo acelerado de vida quotidiana a apresentação de soluções diversificadas e convenientes, passa por disponibilizar diferentes espécies de peixe, eventualmente já preparado pronto a comer ou a cozinhar.

Por outro lado, o consumidor atual procura alimentos com alto valor nutricional e mais naturais, com benefícios biológicos e para a saúde (Falguera, Aliguer, & Falguera, 2012; Ruggeri, Straniero,

Pacífico, Aguzzi, & Virgili, 2008). Atenção especial tem sido dada à adição aos alimentos de compostos bioativos com atividade antioxidante e antimicrobiana (Bahar & Ren, 2013; Pinelo, Rubilar, Sineiro, & Núñez, 2004; Vieito, Pires, Fernandes, & Velho, 2019).

O sal é um termo comum para designar o cloreto de sódio (5 g de sal equivalem a 2 g de sódio). A Organização Mundial de Saúde recomendou a redução do consumo de sal para <2 g/ de sódio diário (WHO, 2012) e são conhecidas estratégias e ações nacionais de redução do consumo de sal em Portugal, compreendendo um compromisso alargado com os setores da indústria alimentar e distribuição para a reformulação de alguns produtos alimentares. Atualmente os processos de salga e fumagem são usados principalmente para conferir sabores característicos, sendo os efeitos conservantes do sal e do fumo secundários.

O desenvolvimento de novos métodos de processamento de pescado (por exemplo, alta pressão hidrostática, desidratação osmótica, luz pulsada de alta intensidade) e métodos de embalagem (por exemplo, atmosferas modificadas, embalagem ativa e inteligente) ou novas combinações de tecnologias existentes é procurado pela indústria na busca de produzir produtos alternativos, alcançando extensão do prazo de validade e gestão e redução do desperdício alimentar (Tsironi, Houhoula, & Taoukis, 2020).

Alguns compostos bioativos possuem uma ampla gama de propriedades fisiológicas, incluindo atividades antibacterianas, antivirais, anti-carcinogénicas, anti-inflamatórias e também na prevenção de doenças cardiovasculares (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006; Seabra, Dias, Braga, & de Sousa, 2012).

Subprodutos da indústria florestal, como a casca do pinheiro, são fontes de extratos fenólicos, com reconhecida atividade antioxidante e antimicrobiana, apresentando grande potencial de aplicação em alimentos (Chupin *et al.*, 2015; Vieito, Fernandes, Vaz Velho, & Pires, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

Extração e condições de aplicação

Para extração de compostos fenólicos, com propriedades antioxidantes, da casca do pinheiro (*Pinus pinaster* Aiton subsp. *atlantica*), foi utilizado um equipamento ETHOS X (Milestone, Itália) e condições de operação: 1600 W, 110 °C por 30 minutos, e uma mistura de água e etanol como solvente. O extrato foi aplicado na etapa de salmoura, na concentração de 0,5 mg/mL.

Preparação e fumagem do pescado

Com o objetivo de avaliar a redução de sal, foram desenvolvidas três formulações protótipos de

carapau fumado: (i) carapau defumado com salmoura concentrada, (ii) carapau defumado com salmoura reduzida e (iii) carapau defumado com salmoura reduzida e aplicação de extrato bioativo (fluxograma fig. 1). Os peixes foram filetados e separados em três lotes: salmoura 20 g NaCl/L H₂O + 5% de fumo líquido (RS), salmoura 20 g NaCl/L H₂O + 5% fumo líquido + 0,5 mg / mL Extrato (EB) e salmoura 60 g NaCl/L H₂O + 5% fumaça líquida (C) e mantidos a 4 - 5°C por 16 horas. Em seguida, foram retirados e escorridos por 10 minutos, passando à secagem a 70°C por 4 horas com choque final de temperatura a 90°C durante uma hora. A secagem ocorreu num fumeiro mecânico (Maxi AFOS MK, Inglaterra). Posteriormente, foram refrigerados num abatedor de temperatura, embalados a vácuo e armazenados sob refrigeração durante 45 dias. As amostragens para determinação dos diferentes parâmetros decorreram nos dias 0, 7, 15, 23, 30, 38 e 45.

Caracterização nutricional

Para a caracterização nutricional das diferentes formulações determinou-se o teor de proteína bruta pelo método de Kjeldhal (NP 4488, 2009), teor de matéria gorda total pelo método Soxhlet (NP 1974, 2009), teor de hidratos de carbono pelo método DNS (James, 1995), teor de açúcares totais baseada na técnica de Munson e Walker (NP 1419, 1987), teor de fibra bruta (AOAC 962.09, 1995), teor de cloretos (NP 2929, 2009) e o teor de cinza total (NP 2032, 2009).

Estabilidade química

Na avaliação da estabilidade química ao longo do tempo de armazenamento (4 °C) avaliaram-se os seguintes parâmetros: teor de humidade (NP2282, 2009), atividade da água (LabTouch-aw, Novasina, Suíça), pH (CRISON pH 25+, Spain), índice de ácido tiobarbitúrico (TBA) pelo método espectrofotométrico (NP 3356, 2009) e índice de peróxidos pelo método iodométrico (visual) (ISO 3960, 2017). A atividade antioxidante foi determinada pelo método ABTS (baseado nas técnicas de Re *et al.* (1999) e Porter (2012)) e pelo método DPPH (baseado nas técnicas de Brand-Williams, Cuvelier, and Berset (1995) e Porter (2012)). Estas determinações foram realizadas em triplicado em todos os pontos de amostragem.

Barros E Vaz-Velho

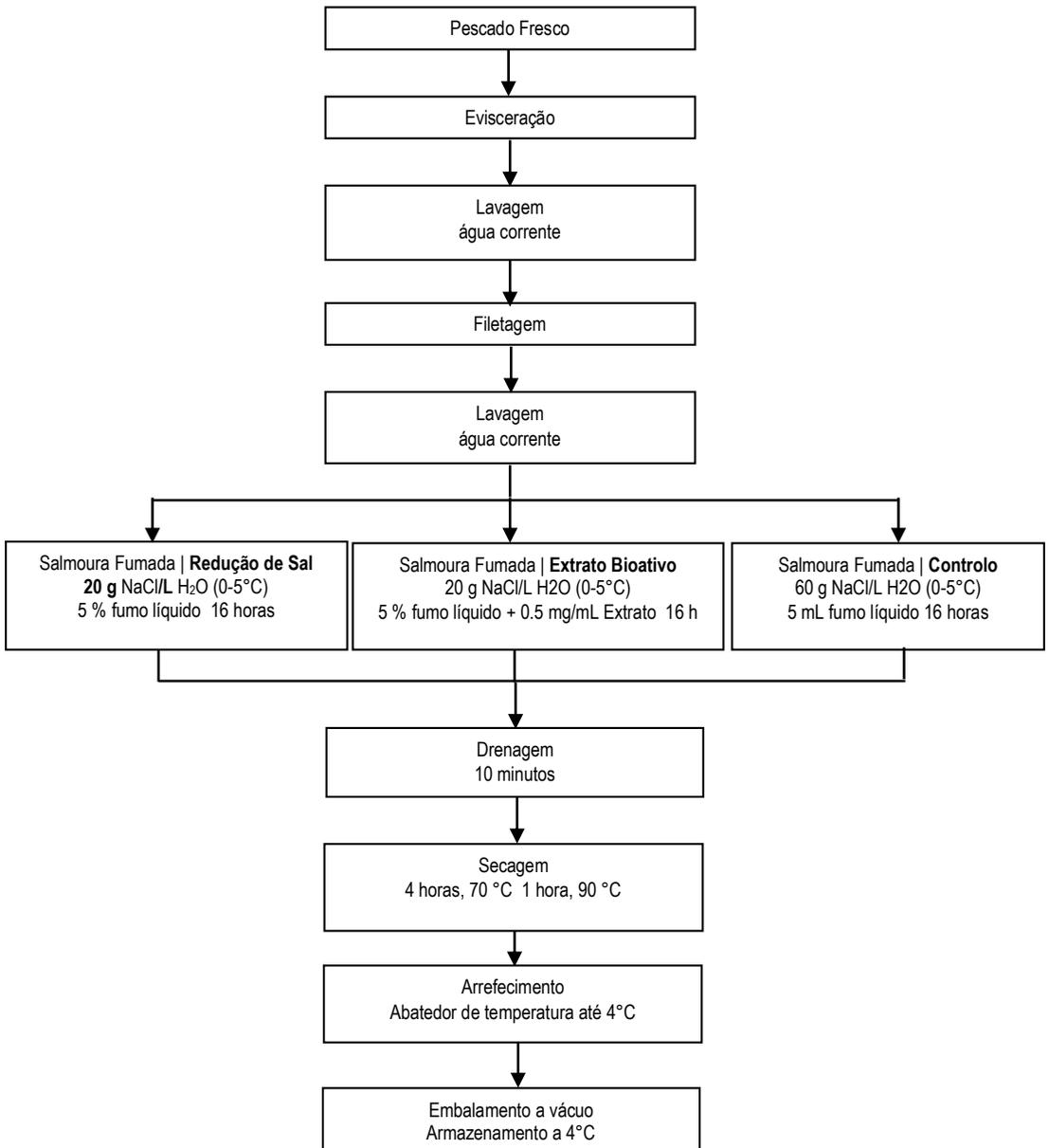


Figura 1. Fluxograma do processo de fumagem líquida com redução de sal realizada nas três formulações de carapau fumado.

Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no laboratório de Análise Sensorial da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, numa sala com oito cabinas de prova individualizadas, seguindo a metodologia da norma ISO 8587:2006 (ISO 8587, 2006). O painel de provadores, constituído por 7 provadores semi-treinados, definiu os principais atributos, as escalas e as âncoras verbais que resultou na ficha de prova de perfil sensorial. Os atributos sensoriais considerados foram: aparência, cheiro, textura e sabor, avaliados numa escala hedónica não estruturada de nove pontos. Em cada sessão de prova foram apresentados ao painel de provadores três amostras de filetes de carapau fumado de cada uma das formulações, ao longo do armazenamento.

Análise estatística dos dados

Para todos os resultados físico-químicos e da análise sensorial, a média e o desvio padrão foram determinados para realizar uma análise geral dos dados. Uma análise de variância (ANOVA) foi realizada para detetar quaisquer diferenças significativas ($p < 0,05$) nas amostras durante o período de armazenamento e entre elas para o mesmo tempo de amostragem. O teste t de Tukey foi realizado para identificar as diferenças observadas entre as amostras nos diferentes parâmetros. Com o objetivo de avaliar quais as variáveis que tinham maior influência nas características sensoriais das diferentes formulações e quais as semelhanças ou diferenças entre as amostras, foi realizada uma Análise de Componentes Principais.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterização nutricional

Na Figura 2, é possível observar os resultados da caracterização nutricional no tempo 0 dias de armazenamento para as três formulações estudadas: Controlo (C), Redução de Sal (RS) e Extrato Bioativo (EB).

Através da análise dos resultados, verificou-se que relativamente ao teor de hidratos de carbono, as três formulações não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre elas. Pelo contrário, no caso do teor de açúcares totais, proteína, gordura total, fibra bruta e cloretos, verificaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as formulações.

Barros E Vaz-Velho

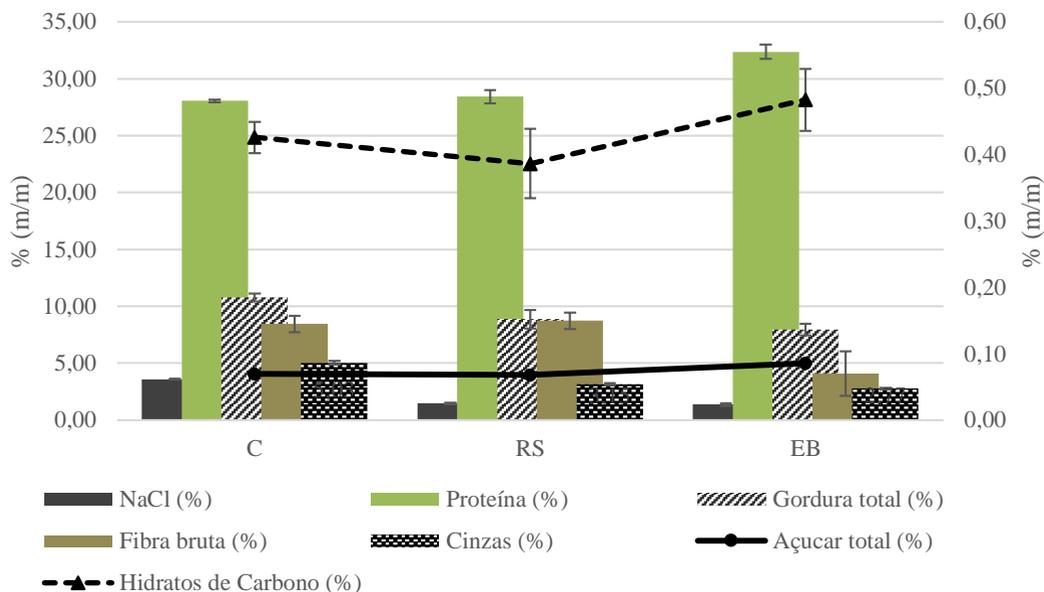


Figura 2. Caracterização nutricional, expressa em % (m/m), das três formulações em estudo, C – Controlo, RS – Redução de Sal e EB – Extrato Bioativo, aos 0 dias de armazenamento. Valores médios \pm desvio padrão de três repetições.

Relativamente ao teor de hidratos de carbono, verificou-se que a amostra C contém cerca de $0.43 \pm 0.02\%$, a RS contém $0.39 \pm 0.05\%$ e o EB contém $0.48 \pm 0.05\%$. Segundo o teste de diferenças de médias estes produtos não apresentam diferenças entre si ($p > 0,05$). Os valores de açúcares totais neste tipo de produto são relativamente baixos, como é esperado, mas a formulação com EB contém maior teor de açúcares totais ($0.09 \pm 0.00\%$). As formulações C e RS apresentaram o mesmo valor com $0.07 \pm 0.00\%$.

Relativamente ao teor de proteína as formulações C ($28.05 \pm 0.13\%$) e RS ($28.42 \pm 0.60\%$), pelo teste de diferenças de médias, não diferiam significativamente entre si ($p > 0,05$). A formulação com EB, comparando com as restantes formulações, apresentou um valor superior ($32.38 \pm 0.65\%$).

A formulação C foi a que apresentou maior teor de gordura, $10.78 \pm 0.34\%$, e a formulação com EB apresentou o menor valor, $7.94 \pm 0.50\%$. A formulação RS apresentou um teor de $8.88 \pm 0.81\%$. Foram observados valores similares no estudo efetuado por Özden (2010), com um máximo e mínimo de 17,37 a 12,26%, respetivamente. Segundo Ackman (1989), os peixes podem ser classificados em função do teor de gordura em quatro classes distintas, nomeadamente peixes magros, com menos de 2% de gordura; peixes ligeiramente gordos de 2% a 4% de gordura; peixes semi-gordos com 4% a 8% de

gordura; muito gordos com mais de 8% de gordura, fazendo parte dessa última categoria a espécie em estudo *Trachurus trachurus*.

Quanto ao teor de fibra notou-se, claramente, que a formulação com EB ($11.05 \pm 0.78\%$) apresentou um teor elevado em relação às restantes. As formulações C ($3.64 \pm 0.78\%$) e RS ($3.13 \pm 1.57\%$) apresentaram teores de fibra próximos, não demonstrando diferenças significativas entre si ($p > 0,05$).

Para o teor de sal, expresso em % de cloreto de sódio, as formulações RS e C apresentaram valores muito próximos, de $1.47 \pm 0.07\%$ e $1.36 \pm 0.10\%$, respetivamente. A formulação C, como esperado, é o produto que contém a teor de sal mais elevado, $3.59 \pm 0.04\%$. A OMS recomenda no plano de ação 2013-2020 o consumo até 5g de sal para a prevenção de doenças cardiovasculares por dia (Graça, 2013).

Existiram diferenças significativas ($p < 0,05$) no teor de cinzas entre as três formulações em estudo. A formulação C apresentou o teor mais elevado com $5.03 \pm 0.15\%$, seguindo-se a formulação RS com $3.15 \pm 0.11\%$ e por último, com menor valor, a formulação EB com $2.77 \pm 0.07\%$.

Estabilidade química

Relativamente ao teor de cloretos, através da análise dos resultados (Figura 3) verificou-se que sofreu variações significativas ($p < 0,05$) ao longo dos 45 dias de armazenamento para as formulações em estudo. Claramente entre as três formulações a amostra C destacou-se pelos valores superiores apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$) em todos os pontos de amostragem, comparando com às outras formulações.

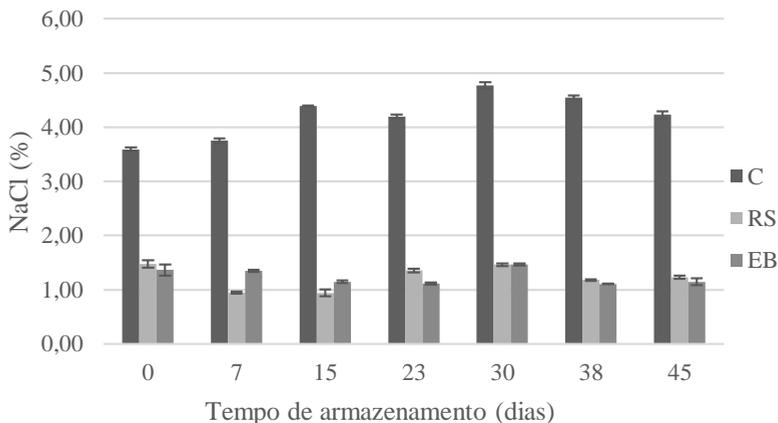


Figura 3. Variações do teor cloretos ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudados: C - Controlo, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

A atividade da água (Figura 4) apresentou variações significativas ($p < 0,05$) para cada formulação ao longo dos 45 dias de armazenamento. Comparando as três formulações, para cada tempo de amostragem, a C apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação às formulações RS e EB.

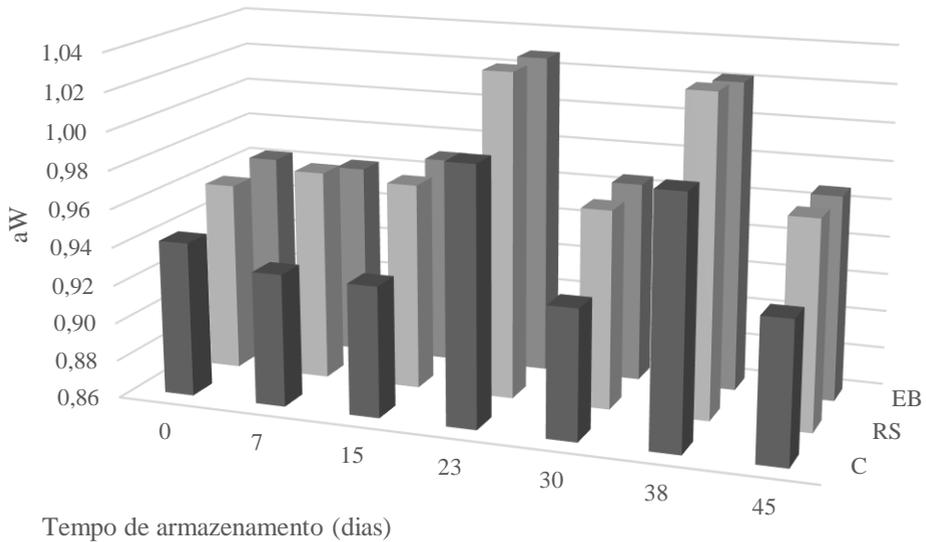


Figura 4. Variações atividade da água ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudados: C - Controlo, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

Para o parâmetro pH (Figura 5) no ponto 7, 38 e 45 dias não se observam diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as três formulações, no entanto observa-se que a formulação C apresenta diferenças significativas ($p < 0,05$) no ponto 0, 15 e 23 dias, e a formulação EB aos 30 dias. Ao longo do tempo cada formulação apresenta algumas variações. Em alguns estudos onde foram utilizados exemplares da mesma espécie de carapau obtiveram-se valores de pH na amostra fresca entre 6,20 e 6,90 (Alfaro, Hernández, Baliño-Zuazo, & Barranco, 2013; Orban *et al.*, 2011). Segundo Orban *et al.* (2011) este parâmetro sofre alterações em função da época sazonal. Farouk and Swan (1998) relataram que a interação entre teor de sal nos músculos e lípidos contribui para que os aminoácidos livres aumentem o pH.

Redução de sal e aplicação de extrato bioativo em carapau fumado

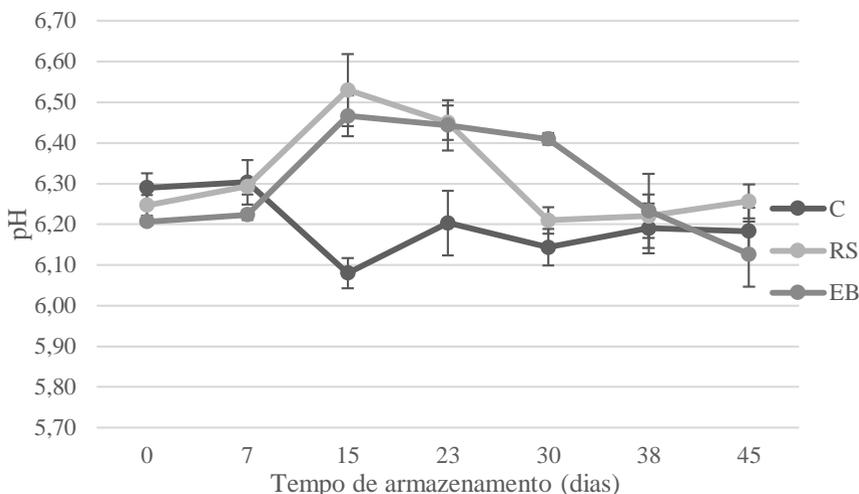


Figura 5. Variações do pH ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudados: C - Controlo, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

Relativamente ao teor de humidade e observando a Figura 6 verificou-se que as três formulações apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre elas nos pontos 0, 15, 23, 38 e 45 dias. Nos pontos 7 e 30 dias as formulações C e EB não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$). Para cada formulação observaram-se algumas variações significativas ao longo do período de armazenagem.

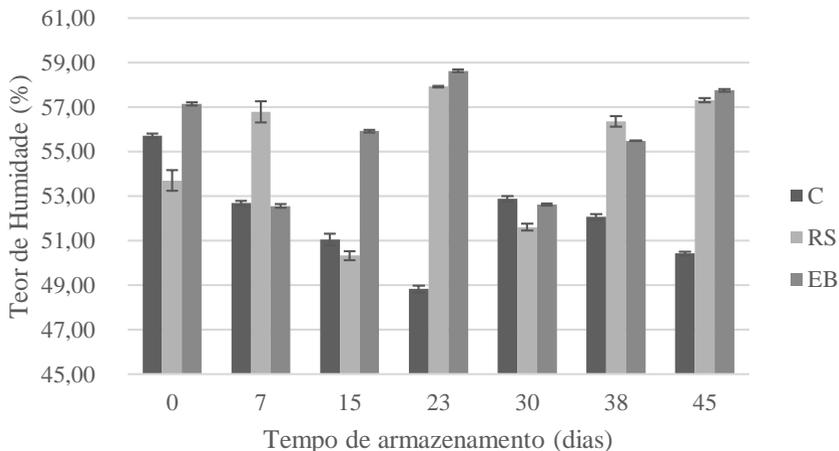


Figura 6. Variações do teor de humidade ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudados: C - Controlo, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

Ao longo dos 45 dias de armazenamento, relativamente ao índice de ácido tiobarbitúrico (TBA) (Figura 7), observaram-se algumas variações significativas ($p < 0,05$) nas três formulações em estudo. Comparando as diferentes formulações verificaram-se diferenças significativas entre elas, exceto nas formulações C e EB no tempo 0, e nas formulações C e RS aos 45 dias.

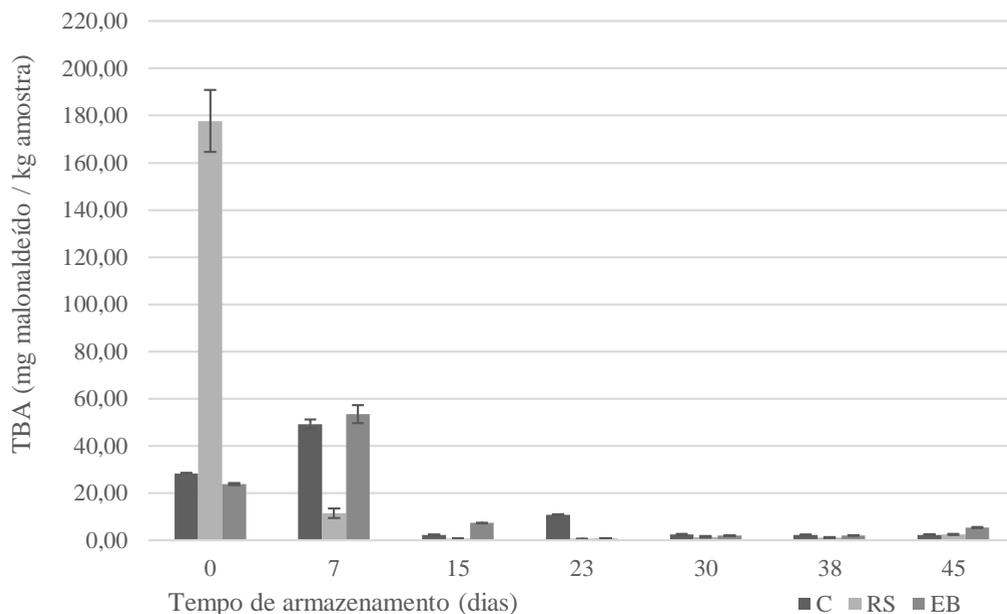


Figura 7. Variações do ácido tiobarbitúrico ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudadas: C - Controlo, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

Para o índice de peróxidos (Figura 8) verificou-se que a formulação C apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) ao longo dos 23 dias de armazenamento. Claramente na formulação RS o único ponto de amostragem onde as diferenças foram significativas foi o tempo 0. Na formulação EB nos dois primeiros pontos de amostragem (0 e 7 dias) observaram-se diferenças significativas em relação aos pontos seguintes. Entre as três formulações verificou-se diferenças ($p < 0,05$) nos 7, 15 e 23 dias de armazenamento.

Redução de sal e aplicação de extrato bioativo em carapau fumado

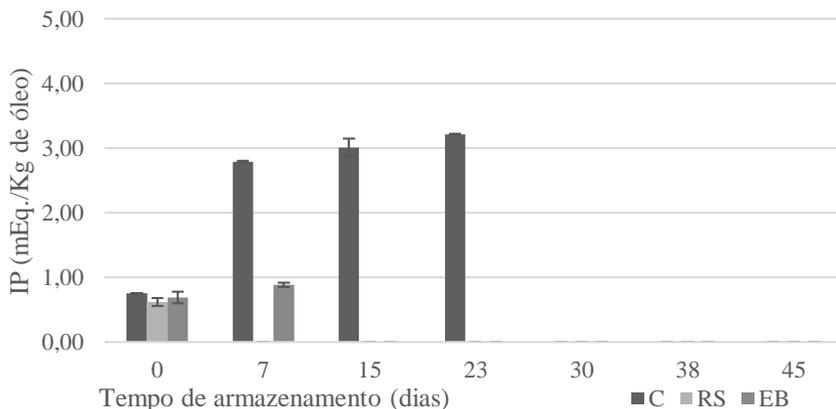


Figura 8. Variações do índice de peróxidos ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudadas: C - Controle, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

Na análise da atividade antioxidante por DPPH (Figura 9) verificou-se que nos tempos 0, 30, 38 e 45 dias a formulação C foi a que revelou valores ligeiramente superiores. Em contrapartida, a formulação EB apresentou valores superiores nos tempos 7, 15 e 23 dias de amostragem. Observaram-se algumas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as três formulações estudadas, nomeadamente, nos tempos 7, 23, 30 e 45 dias.

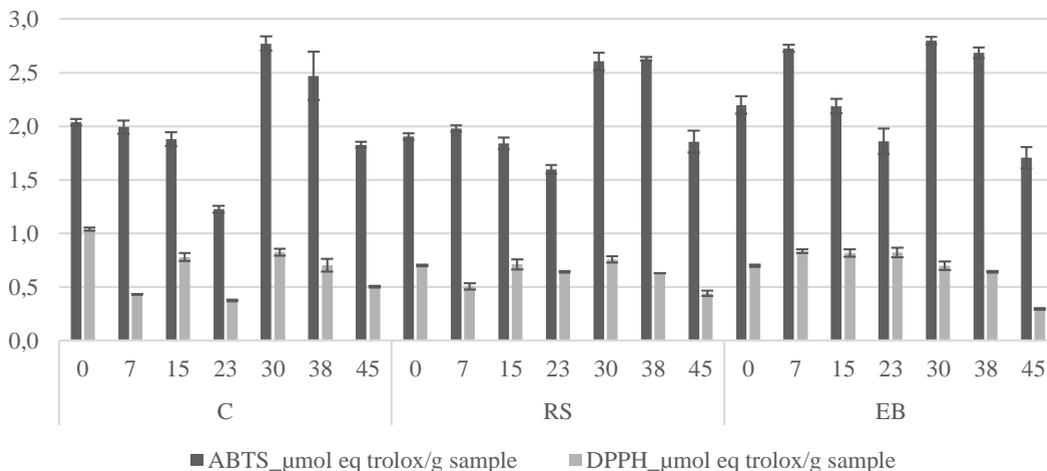


Figura 9. Variações da atividade antioxidante ABTS e DPPH ao longo do tempo de armazenamento para as três formulações em estudadas: C - Controle, RS - Redução de Sal e EB - Extrato Bioativo. Valores médios \pm desvio padrão de três réplicas. Barras verticais indicam intervalos de confiança de 0,95.

Observando os resultados obtidos na atividade antioxidante por ABTS (Figura 9), verificou-se que a formulação com EB apresenta valores ligeiramente superiores comparando com as restantes formulações. Ao longo do tempo de armazenamento verificou-se em cada uma das diferentes formulações variações significativas. Entre formulações não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) nos tempos 0, 30, 38 e 45 dias.

Análise sensorial

Analisando os dados obtidos através da análise sensorial, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) nas diferentes formulações nos diversos tempos de amostragem.

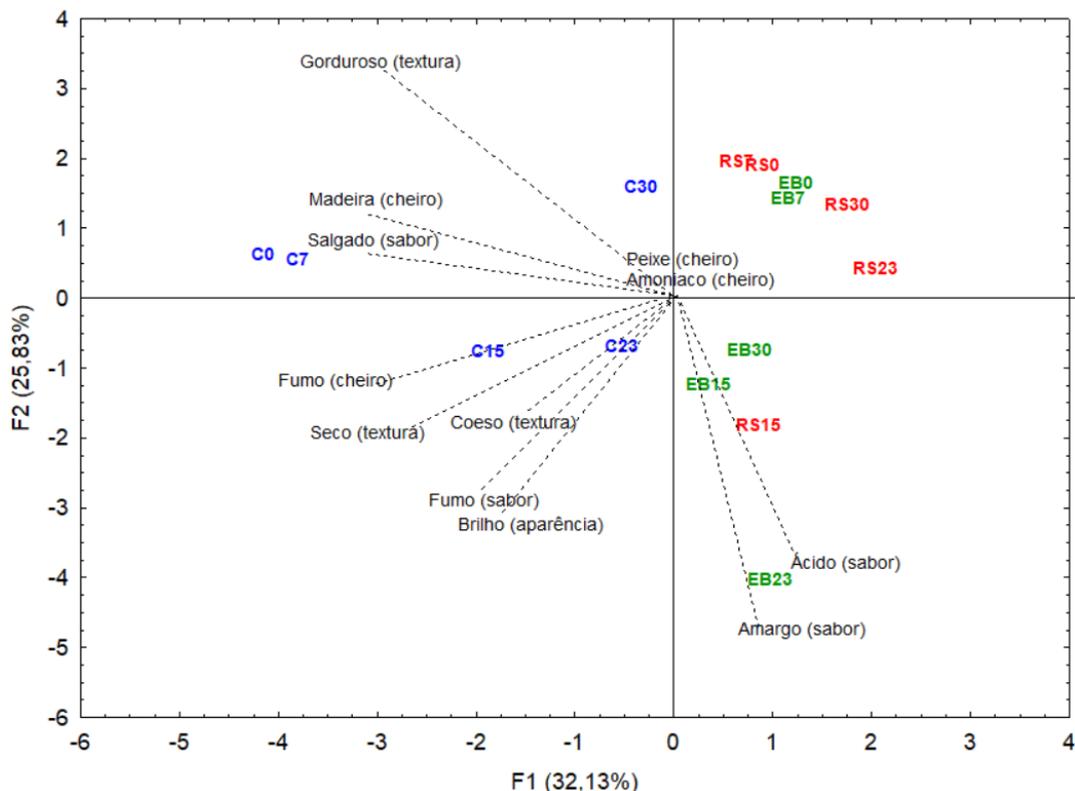


Figura 10. Análise de componentes principais dos parâmetros sensoriais (fator1 vs fator2 – 32,13% vs 25,83%). C (azul) – formulação Controlo; RS (vermelho) – formulação Redução de Sal; EB (verde) – formulação com aplicação de Extrato Bioativo, para o tempo de amostragem 0, 7, 15, 23 e 30 dias.

Através da Análise de componentes principais (Figura 10), observou-se que, de uma forma geral, a formulação C apresenta valores superiores em todos os atributos analisados, exceto no sabor ácido e amargo. O painel de provadores, aos 23 dias, apontou que a formulação com EB apresenta um sabor

ligeiramente mais ácido e amargo que pode dever-se ao facto de o extrato de casca de pinheiro intensificar ligeiramente o sabor. Apesar da formulação RS na análise de componentes principais se afastar de forma ténue da amostra C esta formulação foi sempre bem apreciada pelos provadores.

Aos 38 dias de estudo, e em concordância com o painel de provadores, a prova sensorial foi anulada devido ao produto não se apresentar conforme, apresentando características depreciativas, designadamente perda de coloração, formação de pequenos depósitos de gordura com indícios de rancificação, odor ligeiro a amoníaco e perda do odor característico a peixe fumado.

CONCLUSÕES

A redução de sal neste tipo de produtos apresentou resultados positivos pois os produtos com redução de sal foram bem cotados pelos provadores até aos 30 dias de armazenamento. Não foram detetadas diferenças significativas na atividade antioxidante da formulação com aplicação de extratos de casca de pinheiro no presente estudo, mas o teor de fibra foi significativamente superior nesta formulação. Estudos microbiológicos serão necessários para estabelecimento do tempo de vida dos produtos desenvolvidos.

Agradecimientos

Este trabalho é apoiado por uma bolsa de doutoramento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (Bolsa SFRH/BD/146720/2019) e pelo projeto Mobilizador VALORMAR_024517_PPS1 (SI I&DT)/FEDER/COMPETE.

REFERÊNCIAS

- Ackman, R. G. (1989). Nutritional composition of fats in seafoods. *Prog Food Nutr Sci*, 13(3-4): 161-289.
- Alfaro, B., Hernández, I., Baliño-Zuazo, L., & Barranco, A. (2013). Quality changes of Atlantic horse mackerel fillets (*Trachurus trachurus*) packed in a modified atmosphere at different storage temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(9): 2179-2187. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6025>.
- AOAC 962.09 (1995). Fibre Crude in animal feed and pet food. Official Methods of Analysis. AOAC INTERNATIONAL.
- Bahar, A. A., & Ren, D. (2013). Antimicrobial peptides. *Pharmaceuticals (Basel)*, 6(12): 1543-1575. <https://doi.org/10.3390/ph6121543>.

- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1): 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1): 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Chatzikiyriakidou, K., & Katsanidis, E. (2012). Effect of Liquid Smoke Dipping and Packaging Method on the Keeping Quality of Raw and Cooked Chub Mackerel (*Scomber japonicus*) Fillets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 21(5): 445-454. <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.608918>.
- Chupin, L., Maunu, S. L., Reynaud, S., Pizzi, A., Charrier, B., & Charrier-El Bouhtoury, F. (2015). Microwave assisted extraction of maritime pine (*Pinus pinaster*) bark: Impact of particle size and characterization. *Industrial Crops and Products*, 65: 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.052>.
- Falguera, V., Aliguer, N., & Falguera, M. (2012). An integrated approach to current trends in food consumption: Moving toward functional and organic products? *Food Control*, 26(2): 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.01.051>
- FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016*. Paper presented at the Contributing to food security and nutrition for all, Rome.
- Farouk, M. M., & Swan, J. E. (1998). Effect of Muscle Condition Before Freezing and Simulated Chemical Changes During Frozen Storage on the pH and Colour of Beef. *Meat Sci*, 50(2): 245-256. doi: [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00036-9](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00036-9).
- Graça, P. (2013). *Estratégia para a redução do consumo de sal na alimentação em Portugal*. Retrieved from DGS: <https://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/estrategia-para-a-reducao-do-consumo-de-sal-na-alimentacao-em-portugal-relatorio-pdf.aspx>
- Gram, L., & Huss, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1):121-137. doi:[https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01134-8](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01134-8).
- ISO 3960 (2017). Animal and vegetable fats and oils — Determination of peroxide value — Iodometric (visual) endpoint determination. International Organization for Standardization.

- ISO 8587 (2006). Sensory analysis — Methodology — Ranking. International Organization for Standardization.
- James, C. S. (1995). *Analytical Chemistry of Foods*: Blackie Academic & Professional. ISBN: 9780751401967.
- Mahmud, A., Abraha, B., Samuel, M., Mohammedidris, H., Abraham, W., & Mahmud, E. (2018). Fish preservation: a multi-dimensional approach. *MOJ Food Processing & Technology*, 6(3), 303–310. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00180>.
- NP 4488 (2009). *Produtos da pesca e da aquicultura; Determinação do teor de azoto total e cálculo do teor de proteína bruta*. Instituto Português da Qualidade.
- NP 1974 (2009). *Produtos da pesca e da aquicultura; Determinação do teor de matéria gorda total*. Instituto Português da Qualidade.
- NP 1419 (1987). Frutos, produtos hortícolas e seus derivados. Determinação dos açúcares totais, dos açúcares redutores e dos açúcares não redutores (sacarose). Técnica de Munson e Walker. Processo de referência.
- NP 2929 (2009). *Produtos da pesca e da aquicultura; Determinação do teor de cloretos*. Instituto Português da Qualidade.
- NP 2032 (2009). *Produtos da pesca e da aquicultura; Determinação do teor de cinza total*. Instituto Português da Qualidade.
- NP 3356 (2009). *Produtos da pesca e da aquicultura; Determinação do índice de ácido tiobarbitúrico (TBA); Método espectrofotométrico*. Instituto Português da Qualidade.
- NP 2282 (2009). *Produtos da pesca e da aquicultura; Determinação da humidade; Processo de referência*. Instituto Português da Qualidade.
- Orban, E., Di Lena, G., Navigato, T., Masci, M., Casini, I., & Caproni, R. (2011). Proximate, unsaponifiable lipid and fatty acid composition of bogue (*Boops boops*) and horse mackerel (*Trachurus trachurus*) from the Italian trawl fishery. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(8):1110-1116. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.03.009>.
- Özden, Ö. (2010). Micro, macro mineral and proximate composition of Atlantic bonito and horse mackerel: a monthly differentiation. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(3):

578-586. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02170.x>.

- Pinelo, M., Rubilar, M., Sineiro, J., & Núñez, M. J. (2004). Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food Chemistry*, 85(2): 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.06.020>.
- Porter, Y. (2012). Antioxidant properties of green broccoli and purple-sprouting broccoli under different cooking conditions. *Bioscience Horizons*, 5, hzs004-hzs004. <https://doi.org/10.1093/biohorizons/hzs004>.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3).
- Ruggeri, S., Straniero, R., Pacifico, S., Aguzzi, A., & Virgili, F. (2008). French marine bark extract pycnogenol as a possible enrichment ingredient for yogurt. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4484-4491. *Doi:10.3168/jds.2008-1250*.
- Seabra, I. J., Dias, A. M. A., Braga, M. E. M., & de Sousa, H. C. (2012). High pressure solvent extraction of maritime pine bark: Study of fractionation, solvent flow rate and solvent composition. *The Journal of Supercritical Fluids*, 62, 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2011.10.016>.
- Todorov, S. D., LeBlanc, J. G., de Melo Franco, B. D. G., & Vaz-Velho, M. (2012). Bacteriocin-producing lactic acid bacteria for biopreservation: Example of application in raw and processed salmon. 65-92. In: *Lactobacillus: Classification, Uses and Health Implications*, Editors: Alba I. Perez Campos and Arturo Leon Mena, 367p, Bacteriology Research Developments series, Nova Biomedical. New York, USA. ISBN-13: 978-162081151-1; ISBN-10: 1620811510.
- Tsironi, & Taoukis. (2018). Current Practice and Innovations in Fish Packaging. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(10), 1024-1047. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1532479>.
- Tsironi, T., Houhoula, D., & Taoukis, P. (2020). Hurdle technology for fish preservation. *Aquaculture and Fisheries*, 5(2), 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.02.001>.
- Vaz-Velho, M. (2003). Smoked Foods | Production. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 5302-5309). Oxford: Elsevier - Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01373-0>.
- Vaz Velho, M., Cappel, C., & Gibbs, P. (1998). Cured, Smoked and Dried Fish. In R. A. Lawley & P.

Gibbs (Eds.), *Fish and Seafood* (Vol. 3, pp. 119-155). Leatherhead: Leatherhead Food RA. ISBN: 9780905748412/0905748417

Vieito, C., Fernandes, É., Vaz Velho, M., & Pires, P. (2018). The Effect of Different Solvents on Extraction Yield, Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Extracts from Pine Bark (*Pinus pinaster* subsp. *atlantica*). *Chemical Engineering Transactions*, 64, 127-132. <https://doi.org/10.3303/CET1864022>

Vieito, C., Pires, P., Fernandes, É., & Velho, M. (2019). Chemical characterization of pine bark (*Pinus pinaster* Aiton subsp. *atlantica*), antioxidant properties and phenolic profile of its extracts. *Millenium*, 2(8), 79-87. <https://doi.org/10.29352/mill0208.07.00197>.

WHO. (2012). Guideline: sodium intake for adults and children *Direção Geral de Saúde - Programa nacional para a Promoção da alimentação saudável*. Geneva: World Health Organization.



Genome association study for molecular differentiation of Neotropical catfishes *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus grosskopfii*

Estudio de asociación genómica para la diferenciación molecular de los bagres neotropicales *Pimelodus crypticus* y *Pimelodus grosskopfii*

José Gregorio Martínez^{1,2}, Edna Judith Márquez²

¹Grupo de Investigación Biociencias, Facultad de Ciencias de la Salud, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.

²Grupo de Investigación en Biotecnología Animal, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

✉ José Gregorio Martínez () E-mail: jose.martinez@colmayor.edu.co

RESUMEN | Algunas especies de bagres del género *Pimelodus* son utilizadas en la acuicultura continental en Colombia. Aunque *Pimelodus crypticus* y *Pimelodus grosskopfii* son especies válidas, su identificación basada en características morfológicas externas es problemática debido a sus grandes similitudes fenotípicas. Con el fin de identificar marcadores genómico-moleculares tipo SNPs para la discriminación de ambas especies, se construyeron 32 librerías RADseq y se secuenciaron por la tecnología Illumina-HiSeq. Las lecturas se procesaron con RADproc/STACKS para la genotipificación *de novo* y generación de SNPs no ligados. Los análisis de datos incluyeron el cálculo de coeficientes de co-ancestría en STRUCTURE para validar la existencia de dos entidades biológicas (*P. crypticus*/*P. grosskopfii*), la estimación de los estadísticos Fisher's P y LOD-scores en STACKS y la construcción de un diagrama de dispersión de Manhattan para revelar SNPs significativamente asociados a las especies, así como su identidad en BLAST. Con base en un total de 31 SNPs no ligados, 6 individuos correspondieron a *P. crypticus* y 26 a *P. grosskopfii*. Seis SNPs estuvieron significativamente asociados a las especies [$-\log_{10}(p)=10$; LOD-score>200]: locus 6546, 9329, 11072, 13438, 27226 y 31311. De estos, cinco poseían alelos recíprocamente exclusivos: 6546 [*P. crypticus*: (T); *P. grosskopfii*: (C)], 9329 [*P. crypticus*: (T); *P. grosskopfii*: (C)], 11072 [*P. crypticus*: (G); *P. grosskopfii*: (T)], 27226 [*P. crypticus*: (A); *P. grosskopfii*: (G)] y 31311 [*P. crypticus*: (A); *P. grosskopfii*: (G)]. El locus restante presentó un alelo exclusivo para apenas una de las especies: 13438 [*P. crypticus*: (A ó G); *P. grosskopfii*: (G)]. Los loci 9329, 11072 y 31311 correspondieron a regiones exónicas de los genes FNDC7 (morfología craneal), NR4A3 (homeostasis/metabolismo de la glucosa) y MYO18AA (desarrollo muscular), respectivamente. Estos loci representan marcadores moleculares potenciales que podrían ser aplicados en acuicultura o genética poblacional mediante técnicas basadas en PCR.

Palabras clave: Peces, genómica, SNPs diagnósticos, cuenca Magdalena-Cauca.

ABSTRACT | Some catfish species of the genus *Pimelodus* are used in freshwater aquaculture in Colombia. Although *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus grosskopfii* are valid species, its identification based on external morphological characteristics is problematic due to its great phenotypic similarities. Aiming to identify genomic-molecular

markers (SNPs type) for the discrimination of both species, 32 RADseq libraries were built and sequenced by Illumina-HiSeq technology. The reads were processed with RADproc/STACKS for *de novo* genotyping and generation of unlinked-SNPs. Data analyses included the calculus of co-ancestry coefficients in STRUCTURE to validate the existence of two biological entities (*P. crypticus*/*P. grosskopfii*), the estimation of Fisher's P and LOD-scores statistics in STACKS and the construction of a Manhattan Plot to reveal SNPs significantly associated with the species, as well as their identity on BLAST. Based on 31 unlinked-SNPs, 6 individuals corresponded to *P. crypticus* and 26 to *P. grosskopfii*. Six SNPs were significantly associated to the species [$-\log_{10}(p)=10$; LOD-score>200]: loci 6546, 9329, 11072, 13438, 27226 and 31311. Of these, five had reciprocally exclusive alleles: 6546 [*P. crypticus*: (T); *P. grosskopfii*: (C)], 9329 [*P. crypticus*: (T); *P. grosskopfii*: (C)], 11072 [*P. crypticus*: (G); *P. grosskopfii*: (T)], 27226 [*P. crypticus*: (A); *P. grosskopfii*: (G)] and 31311 [*P. crypticus*: (A); *P. grosskopfii*: (G)]. The remaining locus presented exclusive allele only for one of the two species: 13438 [*P. crypticus*: (A or G); *P. grosskopfii*: (G)]. Loci 9329, 11072 y 31311 corresponded to exonic regions of the genes FNDC7 (skull morphology), NR4A3 (transcriptional control of glucose homeostasis/metabolism) and MYO18AA (muscle development), respectively. These loci represent potential markers that can be applied in aquaculture or population genetics using PCR-based techniques.

Keywords: Fishes, genomics, diagnostics SNPs, Magdalena-Cauca basin.

INTRODUCCIÓN

According to the Organisation for Economic Co-operation and Development -OECD (2016), the Colombian aquaculture produced almost 88,000 and 100,000 tonnes of fishes for exportation and local consumption in 2013 and 2014, respectively. Although the inland freshwater pisciculture and small-scale farmers produced about a third of the total volume of the aquaculture production, only three species account for the bulk of freshwater production: silver and red tilapia, rainbow trout and white and black pacu.

The diversification of aquaculture in Colombia through the inclusion of native species is not only necessary to alternative plans of management but also for the long-term conservation of these species (Froehlich *et al.*, 2017). Colombia has native species with high potential for production, being the catfishes *Pimelodus grosskopfii* and *Pimelodus crypticus* two interesting models. Also known as barbudos (Maldonado-Ocampo *et al.*, 2005), these catfish species belong to the family Pimelodidae, have omnivorous eating habits (Lopez Casas and Jimenez Segura, 2007; Ramirez and Pinilla, 2012) and are distributed in the Cauca River (*Pimelodus crypticus*) and Magdalena/Cauca River (*Pimelodus grosskopfii*), being eventually in sympatry at the upper Cauca River drainage (Villa-Navarro, Arturo Acero, and Cala, 2017).

In Colombia, a growing commercial interest has been generated for species of the order

Siluriformes, especially from this family, because of the good commercial acceptance of their meat, its high market value and its importance in the aquarium hobby (Valbuena-Villarreal *et al.*, 2010). The Siluriformes, according to their size, have been grouped into large, medium and small size. Within this last group, these two species are among the most emblematic, being considered in the list of the five species of greatest commercial interest for the Magdalena-Cauca basin (Lasso *et al.*, 2011). Additionally, *P. grosskopfii* has been declared a critically threatened species due to the decrease in its catches and sizes in this basin, because of overfishing and environmental deterioration in the red list of threatened species of the International Union for Conservation of Nature -IUCN- (Villa-Navarro *et al.*, 2016).

In Colombia, the cultivation of catfish has not been commercially developed due in part to technological limitations for the stable and continuous production of fingerlings, by artificial reproduction methods (Valbuena-Villarreal *et al.*, 2010). The development of this technology must overcome problems in the different stages of this process, such as the selection and management of breeders. The latter will largely depend on the morphological identification and (systematics) classification of the specimens from their capture at natural source or in captivity (Teletchea, 2016).

Although *P. grosskopfii* and *P. crypticus* are valid species (Villa-Navarro *et al.*, 2017), problems persist in differentiating them phenotypically by biologists, farmers and zootechnicians. In fact, there has been evidence of systematics misidentification of some individuals of these two species within the Magdalena-Cauca basin by biologists: individuals of *P. crypticus* being often misidentified as *P. grosskopfii* and vice versa (Márquez, pers. comm.). Some phenotypic characters (*e. g.* long adipose fin) are not sufficiently differentiated to discriminate individuals of both species (Villa-Navarro *et al.*, 2017), requiring a greater degree of expertise in relation to the morphological taxonomy of this group of Siluriformes by the identifier.

Despite of their external morphological similarity, most diverged species and reproductively isolated, are separable with molecular data, even occurring in sympatry (Bickford *et al.*, 2007). Several genomics portions are expected to become exclusive for each species, due to intraspecific selection (Duranton *et al.*, 2018) or by random fixation of alleles by mutation-drift (Martin and Jiggins, 2017) during its evolutionary history. Given that these exclusive regions are good candidates to develop molecular markers utile for the discrimination of these species, this study identified genomic-molecular markers (SNPs variants) for the discrimination of the non-model *P. crypticus* and *P. grosskopfii* species, using a RADseq approach and Genome Wide Association Study statistical methods, for *de novo* SNP discovery, genotyping and metrics calculations. These markers would be applied in aquaculture or wild populations of both species, using PCR-based techniques.

MATERIAL AND METHODS

Obtention of RADseq libraries

A RAD-seq library was prepared for 32 individuals representing two putative morphospecies of *Pimelodus* (*P. crypticus* and *P. grosskopfii*) from Magdalena-Cauca River basin. Genomic DNA was extracted from ethanol-preserved muscle tissues using Qiagen DNeasy Blood & Tissue kits. RAD libraries preparation and single-end sequencing were conducted by Floragenex Inc. (<http://floragenex.com>) on one lane of an Illumina HiSeq 2000 machine.

RADseq data analysis

After Illumina sequencing of genomic libraries, the resulting single-end reads were de-multiplexed by barcode, quality-filtered, and efficiently de novo loci constructed using RADproc v3, to produce a catalog of RAD-seq tag loci, alleles and SNPs from the raw NGS reads. The final raw data had a Phred Score base quality threshold > 20 .

Then, we used STACKS v2.53 (Catchen *et al.*, 2013) to generate output files for population analyses. The minimum percentage of individuals in a population required to process a locus for that population was set to 90% ($-r = 0.9$). All other parameters for analysis were kept as default. Finally, we obtained VCF output files containing the final dataset of unlinked SNPs.

Next, the existence of two biological entities (*P. crypticus*/*P. grosskopfii*) in the panel of processed samples, was validated estimating a co-ancestry analysis was performed in STRUCTURE v.2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000) using the obtained SNPs dataset. We conducted 20 independent runs for $K=1$ to $K=4$ using 1,000,000 Markov Chain Monte Carlo (MCMC) steps, and a burn-in of 100,000 iterations. STRUCTURE Harvester (Earl and VonHoldt, 2011) was used to extract the Q values from each run for each K value, and then, summarized in the program CLUMPP 1.1.2 (Jakobsson and Rosenberg, 2007). Finally, DISTRUCT v.1.1 (Rosenberg, 2004) was used to plot and visualize the obtained Q-matrix containing the ancestry probability of each individual in each predefined species population. The “Evanno” method (Evanno, Regnaut, and Goudet, 2005) was used to infer the most likely number of biological groups (K).

Once each panel sample was assigned to one or another biological entity, interspecific analyzes were performed again in STACKS (POPULATION module) for the generation of SNPs-statistics between species individuals: LOD-scores (Limit of Detection) and Fisher’s P. The LOD-score is a statistical estimate that if two genes, or a gene and a trait (phenotype/species), are likely to be found close to each other on a chromosome and therefore are likely to be inherited together (Page, Amos, and Boerwinkle, 1998). A LOD score of 3 or higher means that two genes are close to each other on the

chromosome, or in other words, are associated (linkage-disequilibrium). Finally, Manhattan-Plot Analysis was used in R statistical software v3.4.1 (R Development Core Team, 2011) using the Fisher's P values on the "qqman" package v0.1.4 (<https://CRAN.R-project.org/package=qqman>) to reveal SNPs significantly associated with the species, as well as their identity using BLAST algorithm in Genbank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) matching against catfishes references genomes.

RESULTS

As a result, 31 unlinked-SNPs were recovered for the panel of individuals. According to STRUCTURE analysis, the more likely K-biologicals groups was 2 [mean Ln P (data)=-362.69]. Of the 32 individuals, 6 corresponded to *P. crypticus* and 26 corresponded to *P. grosskopfii*, with ancestry levels higher than 99% (Figure 1).

Based on LOD score statistics, 10 SNPs were identified as candidates to be considered linked to the species, showing values higher than 3. However, the Manhattan Plot Analysis showed that only six of them were significantly associated to the species, exceeding the maximum threshold for the detection analysis [$-\log_{10}(p) > 8.3$] (Figure 2).

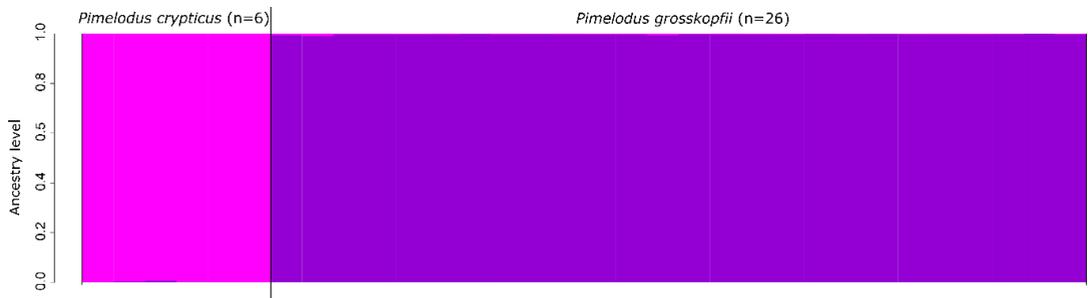


Figure 1. STRUCTURE results for 32 individuals of *Pimelodus* from the Magdalena-Cauca basin. Each vertical bar indicates the probability of an individual belong to that genetic/biological group either *Pimelodus crypticus* or *Pimelodus grosskopfii*, represented by pink and purple colors, respectively.

Since exclusive/fixed alleles are needed to our species discrimination purpose, these six SNPs were selected as very strong candidates, because they fulfilled this criterion, showing a complete probability of association to the species [$-\log_{10}(p) = 10$]: locus 6546, 9329, 11072, 13438, 27226 and 31311. Of these, five had reciprocally exclusive alleles: 6546 [*P. crypticus*: (T); *P. grosskopfii*: (C)], 9329 [*P. crypticus*: (T); *P. grosskopfii*: (C)], 11072 [*P. crypticus*: (G); *P. grosskopfii*: (T)], 27226 [*P. crypticus*: (A); *P. grosskopfii*: (G)] and 31311 [*P. crypticus*: (A); *P. grosskopfii*: (G)]. The remaining locus presented alleles that were not reciprocally exclusive but had high frequency or fixation for only one of the two species: 13438 [*P. crypticus*: (A or G); *P. grosskopfii*: (G)]. BLAST analysis against catfishes

genomes (e. g. *Ictalurus punctatus*) showed that the *loci* 9329, 11072 y 31311 corresponded to exonic regions of the genes **Fibronectin type III domain-containing protein 7** - FNDC7 (skull morphology), **Nuclear receptor subfamily 4 group A member 3** - NR4A3 (transcriptional control of glucose homeostasis/metabolism) and **Myosin XVIIIa** - MYO18AA (muscle development), respectively.

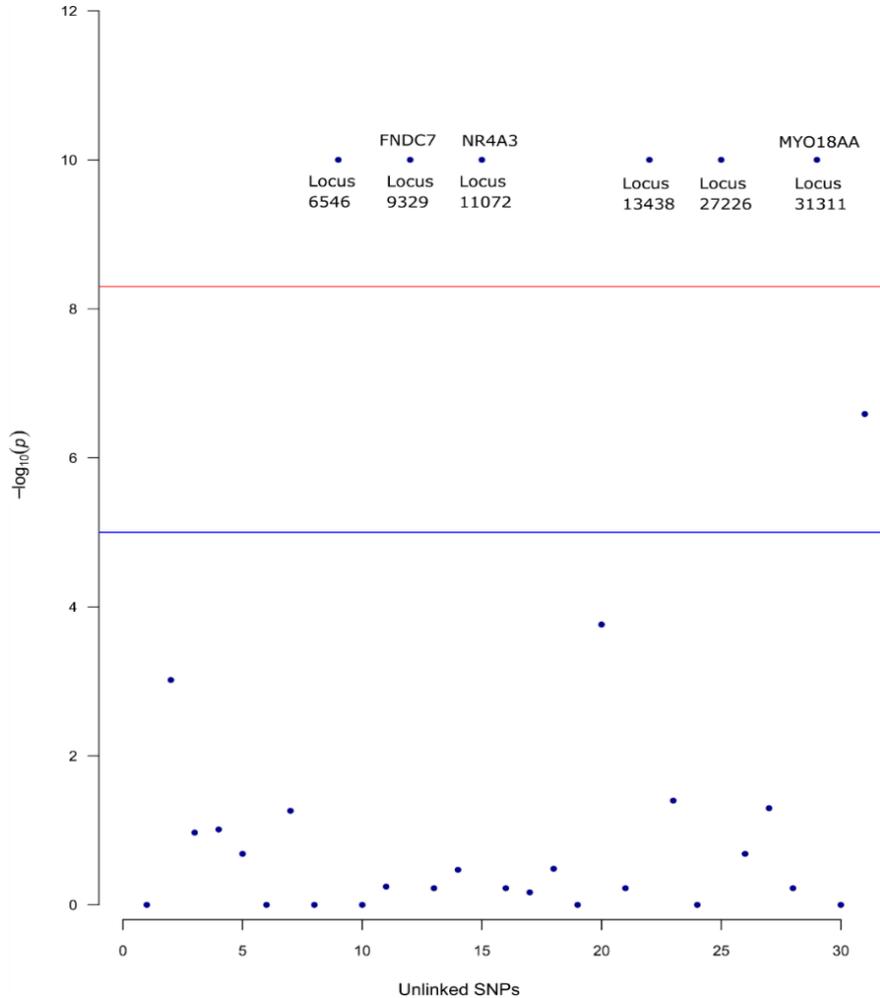


Figure 2. Manhattan plot between *P. crypticus* and *P. grosskopfii*. The plot shows on the y-axis the negative log-base-10 of the P value for each of the 31 polymorphisms (unlinked-SNPs) found by *de novo* genotyping of the partial genome RADseq library (along the x-axis), when tested for differences in frequency between species by Fisher's test. The blue and red lines are showing the threshold for a suggestive ($P < 1 \times 10^{-5}$) and genome-wide significance ($P < 5 \times 10^{-9}$), respectively.

DISCUSSION

Here, SNPs were identified for the first time to discriminate the species *P. gosskopfii* and *P. crypticus*. Although six of them presented strong association to the species, only five of them presented exclusive alleles (in a state of homozygosity respectively for each species) that discriminated 100% of the individuals in the panel, without exception. For purely practical effects of species discrimination using PCR-based methods, these last would turn out to be the most appropriate, since the presence or absence of the amplicon (*e.g.* by Single-base extension/selective primers), fluorescence (*e.g.* TaqMan/qPCR or KASP) or other one alternative technique, could adequately diagnose the assignment of individuals to one or another biological entity. Although other nuclear markers (microsatellites) have already been developed recently for *P. gosskopfii* and related species as *P. yuma* (Restrepo-Escobar and Márquez, 2020; Joya-Barrera *et al.*, in press), they have had other objectives such as the study of the population and conservation genetics; being this the first study of comparative genomics for species of the genus with morphology discrimination objectives. However, mitochondrial markers such as COI have shown the capacity for discrimination of these two species, being observed a well-supported reciprocal monophyly (Martínez *et al.*, in prep.).

Although morphologically these two species have a detailed description (Villa-Navarro *et al.* 2017), some similar characteristics persist, and may eventually be confusing to quickly identify them by direct observation by non-specialists. For instance, the phenotype overlapping observed in the percent predorsal length (% LPD) vs. standard length (% SL) in *P. crypticus* compared to *P. gosskopfii* in Villa-Navarro *et al.* (2017). One of the probable explanations consists of the retention of ancestral characters, not only due to common ancestry or convergence, but also as a product of natural phenomenon such as the introgression, which is apparently a common event into the *Pimelodus* (Martínez *et al.*, in prep.). This was one of the main concerns for the development of these markers, since, as is known, introgression events tend to homogenize the allelic frequencies (Rifkin *et al.*, 2019). However, it is surprising to find that SNP variants were found not only at anonymous loci (3), but also at loci that were part of coding regions (3). Similar findings have also been obtained by Syaifudin *et al.*, (2019) for four species of tilapia; and similarly with our study, using partial genome sequencing methods (ddRADseqs) instead of whole genome sequencing. The authors find between 12 and 24 species-specific SNP markers based on a total panel of 1371 analyzed. In that way, RAD methods (ddRAD or RADseq), which cover only a small portion of the genome of the animal species analyzed, prove to be an efficient and important tool to develop this type of species-specific markers.

Some regions of the genome, responsible for the phenotype, may eventually interact by macroecological variables acting on more than one time-related gene and/or pleiotropy (Kim and Rieseberg, 1999). In this study, three SNPs were found in coding regions. Two of the genes on which the discriminant SNPs were located, are involved in the development of the external morphology: (a)

extracellular matrix formation during skull morphologies development (Lencer *et al.*, 2017) and (b) functions in the adhesion process that maintains the stable attachment of myofibers to ECM (extracellular matrix) and muscle integrity during early development (Cao *et al.*, 2014); while the remaining one is involved in physiology aspects such as the transcriptional control of glucose homeostasis/metabolism on liver or adipocytes during fasting and refeeding (Pei *et al.*, 2006). All of those morphological functions seem to be related with the current differential phenotype observed between the species, specially muscle/body development and skull size. For instance, *P. crypticus* differs from *P. grosskopfii* in having a longer predorsal distance (37.5–40.7% SL vs. 33.0–37.3% SL) and a longer head (26.4–30.4% SL vs. 22.8–25.9% SL) (Villa-Navarro *et al.*, 2017).

In other hand, ecologically differential aspects explaining physiology variations between the two species such as the control of glucose homeostasis/metabolism on liver or adipocytes during fasting and refeeding, may be related to their altitudinal distribution and migration events dynamics. For example, within the Cauca River, we can see a wide upstream-downstream distribution for *P. grosskopfii*; and a more local upstream distribution for *P. crypticus* (Villa-Navarro *et al.*, 2017). During its wider-more spread migratory journey for reproduction or feeding along the Cauca River, certainly, a more robust and efficient bioenergetic system regulation is required by *P. grosskopfii* to move bi-directionally downstream↔upstream, allowing it reach environments of floodplain system (at sedimentary basin) and environments of high altitudes within the River Cauca canyon. It is known that populations that make long or difficult migrations are more efficient in their use of energy reserves than populations that make shorter migrations (Bernatchez and Dodson, 1987).

Finally, it is important suggest that more ecological genetics/genomics studies are needed in natural populations of fishes, since the basic knowledge of this main source of species, is important for aquaculture diversification and conservation genetics; being a crucial step to understand how to improve zootechnical variables, and hence economic results, in our production systems. For instance, if the action of natural selection and adaptive consequences of the SNPs found (at this study) into coding regions is proven in future studies, it could be suggested not only as a promising marker for genetic improvement programs focused on hardiness or resistance to variable environmental conditions, but also as a molecular marker to monitor adaptive changes of natural populations of this and other congeners in response to climate change: the novelty ecological-climate change association modeling for species. Gotelli and Stanton-Geddes (2015) consider that the major ecological research program in this new millennium is to understand the consequences of global climate change for populations and communities; being the building species distribution models the main focus to predict the probability of occurrence of a species in contemporary climatic and geographical space.

CONCLUSIONS

At least six putative SNPs *loci* can be considered as candidate molecular markers to discriminate *P. crypticus* and *P. groskopffii* species. However, five of them were more promissory for our purposes, because they have reciprocally fixed SNP alleles for each species (loci 6546, 9329, 11072, 27226 and 31311). These markers can be applied using PCR-based techniques in the traditional areas such as aquaculture and conservation genetics as species-specific identifiers.

Acknowledgements

This research was supported by *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia*, Grant FCS-2017 “*Delimitación de Unidades Evolutivas Significativas para la conservación de especies de peces del género Pimelodus en los Andes colombianos: una aproximación genómico-poblacional y filogenómica para la cuenca Magdalena-Cauca*” and Grant FCSA20, both developed in cooperation with the *Universidad Nacional de Colombia* (Hermes 40096).

This study was further funded by the scientific cooperation agreement between *Universidad Nacional de Colombia and Integral S.A.*, on 19th September 2013; *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín and Empresas Públicas de Medellín*, Grant CT-2013-002443 “*Variación genotípica y fenotípica de poblaciones de especies reófilas presentes en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Ituango*”, and the Grant CT-2019-000661 “*Variabilidad genética de un banco de peces de los sectores medio y bajo del río Cauca*”.

REFERENCES

- Ashton, D.T., Ritchie, P.A., and Wellenreuther, M. (2017). Fifteen years of quantitative trait loci studies in fish: challenges and future directions, *Molecular Ecology*, 26: 1465–1476.
- Bernatchez, L., and Dodson, J.J. (1987). Relationship between Bioenergetics and Behavior in Anadromous Fish Migrations, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44: 399–407.
- Bickford, D., Lohman, D.J., Sodhi, N.S., Ng, P.K.L., Meier, R., Winker, K., Ingram, K.K., and Das, I. (2007). Cryptic species as a window on diversity and conservation., *Trends in ecology & evolution*, 22: 148–55.
- Cao, J., Li, S., Shao, M., Cheng, X., Xu, Z., and Shi, D. (2014). The PDZ-containing unconventional Myosin XVIIIa regulates embryonic muscle integrity in zebrafish, *Journal of Genetics and Genomics*, 41: 417–428.

- Catchen, J., Hohenlohe, P.A., Bassham, S., Amores, A., and Cresko, W.A. (2013). Stacks: An analysis tool set for population genomics, *Molecular Ecology*, 22: 3124–3140.
- Durantón, M., Allal, F., Fraïsse, C., Bierne, N., Bonhomme, F., and Gagnaire, P.A. (2018), The origin and remolding of genomic islands of differentiation in the European sea bass, *Nature Communications*, 9, 1–11.
- Earl, D. a., and VonHoldt, B.M. (2011). STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method, *Conservation Genetics Resources*, 4: 359–361.
- Evanno, G., Regnaut, S., and Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study., *Molecular ecology*, 14: 2611–20.
- Froehlich, H.E., Gentry, R.R., and Halpern, B.S. (2017). Conservation aquaculture: Shifting the narrative and paradigm of aquaculture’s role in resource management, *Biological Conservation*, 215: 162–168.
- Goddard, M.E., and Hayes, B.J. (2009). Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes, *Nature Reviews Genetics*, 10: 381–391.
- Gotelli, N.J., and Stanton-Geddes, J. (2015). Climate change, genetic markers and species distribution modelling, *Journal of Biogeography*, 42: 1577–1585.
- Gutierrez, A.P., Yáñez, J.M., Fukui, S., Swift, B., and Davidson, W.S. (2015). Genome-Wide association study (GWAS) for growth rate and age at sexual maturation in atlantic salmon (*Salmo salar*), *PLoS ONE*, 10: 1–15.
- Hoekstra, H.E., Hoekstra, J.M., Berrigan, D., Vignieri, S.N., Hoang, A., Hill, C.E., Beerli, P., and Kingsolver, J.G. (2001). Strength and tempo of directional selection in the wild, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98: 9157–9160.
- Jakobsson, M., and Rosenberg, N. a (2007). CLUMPP: a cluster matching and permutation program for dealing with label switching and multimodality in analysis of population structure., *Bioinformatics (Oxford, England)*, 23: 1801–6.
- Kim, S.C., and Rieseberg, L.H. (1999). Genetic architecture of species differences in annual sunflowers: Implications for adaptive trait introgression, *Genetics*, 153: 965–977.

- Lasso, C.A., Gutiérrez, F. de P., Morales-Betancourt, M.A., Córdoba, E.A., Ramírez-Gil, H., and Ajiaco-Martínez, R.E. (2011). II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico, 1st ed., Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. 304 pp.
- Lencer, E.S., Warren, W.C., Harrison, R., and McCune, A.R. (2017). The *Cyprinodon variegatus* genome reveals gene expression changes underlying differences in skull morphology among closely related species, *BMC Genomics*, 18: 1–34.
- Lopez Casas, S., and Jimenez Segura, L.F. (2007). REPRODUCCIÓN Y HÁBITOS ALIMENTICIOS DEL NICURO, *Pimelodus blochii* (VALENCIENNES, 1840) (PISCES: PIMELODIDAE), EN LA CIÉNAGA DE CACHIMBERO, RÍO MAGDALENA, COLOMBIA, *Actualidades Biológicas*, 29: 199–207.
- Maldonado-Ocampo, J.A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F.A., Prada-Pedrerros, S., Rodríguez Ardila, C., and Calle, J.C. (2005). Peces de los Andes de Colombia. 346 pp.
- Martin, S.H., and Jiggins, C.D. (2017), Interpreting the genomic landscape of introgression, *Current Opinion in Genetics and Development*, 47: 69–74.
- Organisation for Economic Co-operation and Development -OECD (2016). Fisheries and Aquaculture in Colombia. 30 pp.
- Page, G.P., Amos, C.I., and Boerwinkle, E. (1998). The quantitative LOD score: Test statistic and sample size for exclusion and linkage of quantitative traits in human sibships, *American Journal of Human Genetics*, 62: 962–968.
- Pei, L., Waki, H., Vaitheesvaran, B., Wilpitz, D.C., Kurland, I.J., and Tontonoz, P. (2006). NR4A orphan nuclear receptors are transcriptional regulators of hepatic glucose metabolism, *Nature Medicine*, 12: 1048–1055.
- Pritchard, J.K., Stephens, M., and Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data, *Genetics*, 155: 945–959.
- Ramirez, A., and Pinilla, G. (2012). Hábitos alimentarios, morfometría y estados gonadales de cinco especies de peces en diferentes periodos climáticos en el río sogamoso, *Acta Biológica Colombiana*, 17: 241–258.

- Restrepo-Escobar, N., and Márquez, E.J. (2020). Microsatellite loci development for three catfish species from Northwestern South America, *Neotropical Ichthyology*, 18: 1–16.
- Rifkin, J.L., Castillo, A.S., Liao, I.T., and Rausher, M.D. (2019). Gene flow, divergent selection and resistance to introgression in two species of morning glories (*Ipomoea*), *Molecular Ecology*, 28: 1709–1729.
- Rosenberg, N.A. (2004). Distruct: a program for the graphical display of population structure, *Molecular Ecology Notes*, 4: 137–138.
- Syaifudin, M., Bekaert, M., Taggart, J.B., Bartie, K.L., Wehner, S., Palaiokostas, C., Khan, M.G.Q., Selly, S.L.C., Hulata, G., D’Cotta, H., Baroiller, J.F., McAndrew, B.J., and Penman, D.J. (2019). Species-Specific Marker Discovery in *Tilapia*, *Scientific Reports*, 9: 1–11.
- Teletchea, F. (2016). Systematics and Aquaculture: What Could They Bring to Each Other?, *Journal of Life Sciences*, 10: 240–244.
- Valbuena - Villarreal, R.D., Zapata-Berruecos, B.E., and Cruz-Casallas, P.E. (2010). Reproducción inducida de Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) con extracto de hipófisis de carpa: reporte preliminar TT - Induced breeding of Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) with carp pituitary extract: preliminary report, *Orinoquia*, 14: 133–139.
- Villa-Navarro, F.A. (2002). Diferenciación entre poblaciones de *Pimelodus clarias* y *Pimelodus grosskopfii* (Siluriformes: Pimelodidae) en la cuenca de río Magdalena (Colombia). Trabajo de grado (Maestría en Ciencias-Biología), Universidad del Valle. 188 pp.
- Villa-Navarro, F.A., Usma-Oviedo, J.S., Mesa-Salazar, L., and Sanchez-Duarte, P. *Pimelodus grosskopfii* The IUCN red list of threatened species 2016: eT49829828A61473588. [Internet]. IUCN Red List Threat Species 2016 2016:e.T49829828A61473588. Available from: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T49829828A61473588.en>.
- Villa-Navarro, F.A., Arturo Acero, P., and Cala, P.C. (2017). Taxonomic review of Trans-Andean species of *Pimelodus* (Siluriformes: Pimelodidae), with the descriptions of two new species, *Zootaxa*, 4299, 337–360.



Looking for molecular IDs to discriminate the Neotropical catfishes *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus yuma*

Buscando marcadores moleculares para discriminar los bagres neotropicales *Pimelodus crypticus* y *Pimelodus yuma*

José Gregorio Martínez^{1,2*}, Edna Judith Márquez²

¹Grupo de Investigación Biociencias, Facultad de Ciencias de la Salud, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.

²Grupo de Investigación en Biotecnología Animal, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

 José Gregorio Martínez¹ () E-mail: jose.martinez@colmayor.edu.co

RESUMEN | *Pimelodus crypticus* y *Pimelodus yuma* son especies de bagre con potencial para la acuicultura continental colombiana. Aunque taxonómicamente son especies válidas, persisten problemas para discriminarlas fenotípicamente por parte de biólogos y productores. Aquí fueron identificados marcadores genómicos (SNPs) para la diferenciación de ambas especies. Fueron construidas 16 librerías RADseq y secuenciadas en Illumina. Las lecturas fueron procesadas con RADproc/STACKS para la genotipificación *de novo* y generación de SNPs no ligados. Para validar la existencia de dos entidades biológicas (*P. crypticus*/*P. yuma*) en el panel de muestras procesadas, fue realizado un análisis de co-ancestría en STRUCTURE. Una vez que cada muestra del panel fue atribuida a una u otra entidad biológica, fueron realizados análisis interespecíficos en STACKS para la generación de los estadísticos Fisher's P y LOD-scores. Adicionalmente, un diagrama de dispersión de Manhattan fue utilizado para revelar SNPs significativamente asociados a las especies, así como su identidad en BLAST. Basados en 32 SNPs no ligados recuperados para el panel de individuos, STRUCTURE determinó que 6 correspondieron a *P. crypticus* y 10 a *P. yuma*. Seis SNPs estuvieron significativamente asociados a las especies [$-\log_{10}(p) > 5$; LOD-score > 200]: locus 1604, 3812, 4879, 12177, 13438 y 34486. De estos, cuatro poseían alelos recíprocamente exclusivos: 1604 [*P. crypticus*: (A); *P. yuma*: (T)], 3812 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (T)], 4879 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (G)] y 34486 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (T)], los cuales son considerados útiles para fines de diferenciación. Los *loci* 1604 y 34486, correspondieron a regiones exónicas de los genes AP5M1 (control del transporte endosomal) y MYO18AA (desarrollo muscular), respectivamente. Estos marcadores poseen potencial de aplicación en acuicultura mediante técnicas basadas en PCR.

Palabras clave: Estudio de asociación genómica, SNPs, cuenca Magdalena-Cauca, acuicultura, genómica comparativa.

ABSTRACT | *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus yuma* are catfish species with potential for Colombian continental aquaculture. Although taxonomically are valid species, problems persist in discriminating them phenotypically by biologists and producers. Here genomic markers (SNPs) were identified for the differentiation of both species. Sixteen RADseq libraries were built and sequenced in Illumina. The reads were processed with RADproc / STACKS for *de novo* genotyping and generation of unlinked SNPs. To validate the existence of two biological entities (*P. crypticus*/*P. yuma*) in the panel of samples, an ancestry analysis was performed in STRUCTURE. Once each panel sample was attributed

to one or another biological entity, interspecific analyzes were performed in STACKS for the generation of Fisher's P and LOD-scores statistics. Additionally, a Manhattan scatterplot was used to reveal SNPs significantly associated with species, as well as their identity in BLAST. Based on 32 unlinked SNPs recovered for the panel of individuals, STRUCTURE determined that 6 corresponded to *P. crypticus* and 10 to *P. yuma*. Six SNPs were significantly associated with species [$-\log_{10}(p) > 5$; LOD-score > 200]: locus 1604, 3812, 4879, 12177, 13438 and 34486. Of these, four had reciprocally exclusive alleles: 1604 [*P. crypticus*: (A); *P. yuma*: (T)], 3812 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (T)], 4879 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (G)] and 34486 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (T)], which are considered useful for differentiation purposes. Loci 1604 and 34486 corresponded to exonic regions of the AP5M1 (control of endosomal transport) and MYO18AA (muscle development) genes, respectively. These markers have potential for application in aquaculture using PCR-based techniques.

Keywords: Genome association study, SNPs, Magdalena-Cauca basin, aquaculture, comparative genomics.

INTRODUCTION

According to the Organisation for Economic Co-operation and Development -OECD (2016), the colombian aquaculture produced almost 88,000 and 100,000 tonnes of fish for local consumption/export in 2013 and 2014, respectively. The sector is largely dominated by inland freshwater pisciculture, and small-scale farmers produced about a third of the total volume. However, only three species account for the bulk of freshwater production: silver and red tilapia, rainbow trout and white and black cachama (pacu).

The diversification of aquaculture through the inclusion of new native species is not only necessary to increase competitiveness, but also for the long-term conservation of these species (Froehlich *et al.*, 2017). In Colombia, the catfishes *Pimelodus yuma* and *Pimelodus crypticus* could be excellent models to consider for that purpose. These catfish species, also known as barbudos (Maldonado-Ocampo *et al.*, 2005), belong to the family Pimelodidae, have omnivorous eating habits (Lopez Casas and Jimenez Segura, 2007; Ramirez and Pinilla, 2012) and are distributed in the upper Cauca River (*Pimelodus crypticus*) and Magdalena/Cauca River floodplains (*Pimelodus yuma*), living in allopatry (Villa-Navarro *et al.*, 2017).

A growing commercial interest has been generated in Colombia for species of this family, due to the good commercial acceptance (Valbuena-Villarreal *et al.*, 2010). These two species are among the most emblematic, being considered in the list of the five species of greatest commercial interest for the Magdalena-Cauca basin (Lasso *et al.*, 2011). Additionally, due to the fact that they are new species, recently described in 2017, there is a great gap in basic information (molecular and ecological data) that makes them more vulnerable to anthropic threats such as overfishing and environmental pollution.

Cultivation of catfish has not been commercially developed due in part to technological limitations for the continuous production of fingerlings (Valbuena - Villarreal *et al.*, 2010). The development of this technology has problems in different stages of the process, such as the selection and management of the broodstock. This issue will largely depend on the morphological identification and classification, via systematic methods, of the specimens from the capture in the natural environment, or in captivity (Teletchea, 2016).

Although taxonomically they are valid species (Villa-Navarro *et al.*, 2017), problems persist in differentiating them phenotypically by biologists, farmers and zootechnicians. In fact, until 2017, they were considered the same species (*P. blochii*); in other words, there were two hidden species under the same name: cryptic species (Villa-Navarro *et al.*, 2017). Some phenotypic characters are not sufficiently differentiated to discriminate individuals of both species (Villa-Navarro *et al.*, 2017), requiring a greater degree of expertise in relation to the morphological taxonomy of this group of Siluriformes by the identifier.

Most of diverged species and reproductively isolated, are separable with molecular data, despite of their superficially morphological similarity (Bickford *et al.*, 2007), as in the case of *P. crypticus* and *P. yuma*. Several genomic portions are expected to become exclusive for each species, due to intraspecific selection (Duranton *et al.*, 2018) or by random fixation of alleles by mutation-drift (Martin and Jiggins, 2017) during its evolutionary history. Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) are subject of these evolutionary forces, and they can be used as molecular markers for the phenotypic discrimination of these species. Current SNP discovery technologies (next generation sequencing) provide better tools for the identification of quantitative loci and specific markers associated with traits of interest. Advances in genomic research have significantly improved the tools available for the study of ecologically and commercially important traits using quantitative (QTL) or discrete traits loci analyses in teleost fishes (Ashton, Ritchie, and Wellenreuther, 2017).

The objective of this study was to identify genomic-molecular markers (SNPs variants) for the discrimination of the non-model *P. crypticus* and *P. yuma* species, using a RADseq approach and Genome Wide Association Study statistical methods. These markers would be applied in aquaculture or wild populations of both species, using PCR-based techniques.

MATERIAL AND METHODS

RADseq libraries construction

A RAD-seq library was prepared for 16 individuals representing two morphospecies of *Pimelodus* (*P. crypticus* and *P. yuma*) from Magdalena-Cauca River basin. Genomic DNA was extracted from ethanol-preserved muscle tissues using Qiagen DNeasy Blood & Tissue kits. At least, 0.5 µg of high

molecular weight DNA was employed to prepare RAD libraries using a 6-bp restriction enzyme (*Pst*I) for digestion, followed by sonication. Finally, a single-end sequencing step was conducted by Florgenex inc. (<http://florgenex.com>) on one lane of an Illumina HiSeq 2000 instrument.

RADseq data analysis

After Illumina sequencing of genomic libraries, the resulting single-end reads were de-multiplexed by barcodes, quality-filtered, and efficiently *de novo* loci constructed using RADproc v3, to produce a catalog of RAD-seq tag loci, alleles (Phred Score > 20, coverage depth = 3). Then, we used STACKS v2.53 (Catchen *et al.*, 2013) to generate output files for population analyses. The minimum percentage of individuals in a population required to process a locus for that population was set to 100% ($-r = 1$). All other parameters for analysis were kept as default. Finally, we obtained VCF output files containing the final dataset of unlinked SNPs.

Next, the existence of two biological entities (*P. crypticus*/*P. yuma*) in the panel of processed samples was validated estimating the ancestry coefficients in STRUCTURE v.2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000) using the obtained SNPs dataset. We conducted 20 independent runs for $K=1$ to $K=4$ using 500,000 Markov Chain Monte Carlo (MCMC) steps, and a burn-in of 100,000 iterations. STRUCTURE Harvester (Earl and VonHoldt, 2011) was used to extract the Q values from each run for each K value, and then, summarized in the program CLUMPP 1.1.2 (Jakobsson and Rosenberg, 2007). Finally, DISTRUCT v.1.1 (Rosenberg, 2004) was used to plot and visualize the obtained Q-matrix containing the ancestry probability of each individual in each predefined species population. The “Evanno” method (Evanno, Regnaut, and Goudet, 2005) was used to infer the most likely number of biological groups (K).

Once each panel sample was assigned to one or another biological entity, interspecific analyzes were performed again in STACKS (POPULATION module) for the generation of SNPs statistics between species individuals: LOD-scores (Limit of Detection) and Fisher’s P. The LOD-score is a statistical estimate that if two genes, or a gene and a trait (phenotype/species), are likely to be found close to each other on a chromosome and therefore are likely to be inherited together (Page, Amos, and Boerwinkle, 1998). A LOD score of 3 or higher means that two genes are close to each other on the chromosome, or in other words, are associated (linkage-disequilibrium). Finally, Manhattan-Plot Analysis was used in R statistical software v3.4.1 (R Development Core Team, 2011) using the Fisher’s P values on the “qqman” package v0.1.4 (<https://CRAN.R-project.org/package=qqman>) to reveal SNPs significantly associated with the species, as well as their identity using BLAST algorithm in Genbank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) matching against catfishes references genomes.

RESULTS

As a result, 32 unlinked-SNPs were recovered for the panel of individuals. According to STRUCTURE analysis, the more likely K-biologicals groups was 2 [mean Ln P (data)=-362.69]. Of the 16 individuals, 6 corresponded to *P. crypticus* and 10 corresponded to *P. yuma*, with ancestry levels higher than 99% (Figure 1).

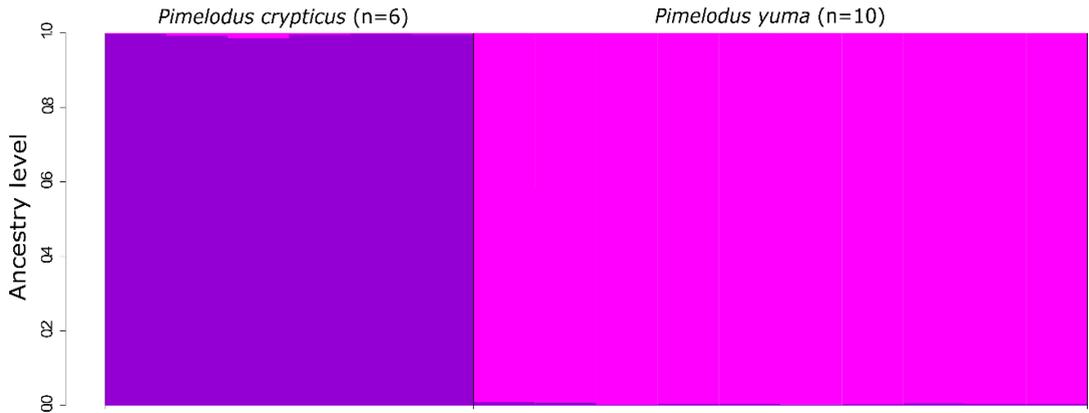


Figure 1. Ancestry analysis implemented in STRUCTURE software for all 16 individuals of the *Pimelodus crypticus* and *Pimelodus yuma* species. Each vertical bar indicates the probability of an individual belong to that genetic/biological group either *P. crypticus* or *P. yuma*, represented by pink and purple colors, respectively.

Accordingly, LOD score statistics and Manhattan Plot analysis, only six SNPs were significantly associated to the species [LOD-score > 200; $-\log_{10}(p) > 5$]. (Figure 2).

Of these, four had reciprocally exclusive alleles: 1604 [*P. crypticus*: (A); *P. yuma*: (T)], 3812 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (T)], 4879 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (G)] and 34486 [*P. crypticus*: (C); *P. yuma*: (T)]. The remaining locus presented alleles that were not reciprocally exclusive, but had high frequency or fixation for only one of the two species: 12177 [*P. crypticus*: (C or T); *P. yuma*: (T)] and 13438 [*P. crypticus*: (A or G); *P. yuma*: (G)]. According to the BLAST analysis against catfishes genomes (*e. g. Ictalurus punctatus*), the loci 1604 and 34486 corresponded to exonic regions of the genes **Adaptor Related Protein Complex 5 Subunit Mu 1 – AP5M1** (control of endosomal transport and cell death) and **Myosin XVIIIaA - MYO18AA** (muscle development), respectively.

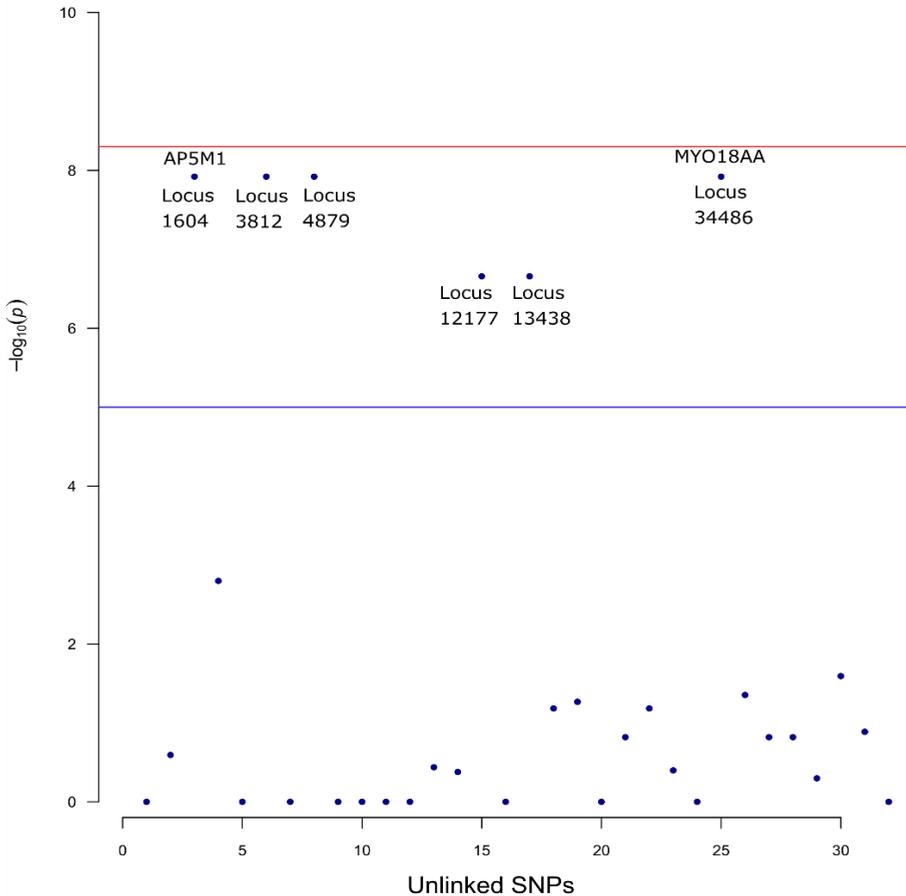


Figure 2. Manhattan plots between *P. cryticus* and *P. yuma*. The plot shows on the y-axis the negative log-base-10 of the P value for each of the 32 polymorphisms (unlinked-SNPs) found by *de novo* genotyping of the partial genome RADseq library (along the x-axis), when tested for differences in frequency between species by Fisher’s test. The blue and red lines are showing the threshold for a suggestive ($P < 1 \times 10^{-5}$) and genome-wide significance ($P < 5 \times 10^{-9}$), respectively.

DISCUSSION

In this study, SNPs were identified for the first time to discriminate the species *P. cryticus* and *P. yuma*. Although six of them presented strong association to the species, only four of them presented exclusive alleles that discriminated 100% of the individuals between species. For purely practical effects of species differentiation using PCR-based methods, these last would turn out to be the most appropriate, since the presence or absence of the amplicon (*e. g.* by Single-base extension/selective primers), fluorescence (*e.g.* TaqMan/qPCR or KASP) or other one alternative technique, could

adequately diagnose the assignment of individuals to one or another biological entity. Although other nuclear markers (microsatellites) have already been developed recently for related species as *P. grosskopfii* and properly for *P. yuma* (Restrepo-Escobar and Márquez, 2020; Joya-Barrera *et al.*, in press), they have had other objectives such as the study of the population and conservation genetics; being this the first study of comparative genomics for species of the genus with morphology discrimination objectives. However, mitochondrial markers such as COI have shown the capacity for discrimination of these two species, being observed a well-supported reciprocal monophyly (Martínez *et al.*, in prep.).

Although morphologically these two species have a detailed description (Villa-Navarro *et al.* 2017), some similar characteristics remain. For instance, Villa-Navarro *et al.*, mentions that “*P. crypticus* differs from all trans-Andean *Pimelodus* species except *P. yuman. sp.*, in having a uniform color pattern, without spots or stripes on the body, fins, the dorsal surface of the head and supraoccipital process (vs. dark spots present)”. However, it is surprising to find that SNP variants were found not only at anonymous loci (4), but also at loci that were part of coding regions (2). Similar findings have also been obtained by Syaifudin *et al.*, (2019) for four species of tilapia; and similarly with our study, using partial genome sequencing methods (ddRADseqs) instead of whole genome sequencing. The authors find between 12 and 24 species-specific SNP markers based on a total panel of 1371 analyzed. In that way, RAD methods (ddRAD or RADseq), which cover only a small portion of the genome of the animal species analyzed, prove to be an efficient and important tool to develop this type of species-specific markers.

Some regions of the genome, responsible for the phenotype, may eventually interact by macroecological variables acting on more than one related gene (polygenic selection) and/or by pleiotropy (Kim and Rieseberg, 1999). In this study, two SNPs were found in coding regions, and their characteristics can be associated to the allopatric occurrences in ecologically differentiated environments (upper/canyon of Cauca Vs lower/floodplain of Magdalena-Cauca). For instance, one of the genes on which a discriminant SNPs was located (AP5M1), is associated with adaptors proteins (AP) complexes that are involved in endosomal sorting, and which has links with hereditary spastic paraplegia (Hirst *et al.*, 2011), which generate muscle weakness and muscle tightness. The remaining one (MYO18AA) is involved in functions such as the adhesion process that maintains the stable attachment of myofibers to ECM (extracellular matrix) and muscle integrity during early development (Cao *et al.*, 2014). Those two genes fulfill morphological functions related to muscle development and stability. Certainly, a more robust and strong musculoskeletal system is needed by *P. crypticus* to move within steeper and higher altitude environments within the upper Rio Cauca. *P. yuma*, on the other hand, cannot reach the middle or upper part of Cauca (Villa-Navarro *et al.* 2017), possibly because this is a more rugged environment: a high mountain region, within a rocky bed canyon, sloping and practically devoid of floodplains (Restrepo *et al.*, 2006). Currently, a differentiated phenotype is observed between

the species, specially body size development. For instance, *P. crypticus* differs from *P. yuma* in having a longer standard length (176.1 mm vs. 134.9 mm) (Villa-Navarro *et al.*, 2017).

Finally, it is important suggest that the SNPs found into coding regions could be useful not only as a promising marker for genetic improvement programs focused on hardiness or resistance to variable environmental conditions, but also as molecular markers for conservation genetics, and to monitor adaptive changes of natural populations of this and other congener species, in response to climate/environment change (Gotelli and Stanton-Geddes, 2015).

CONCLUSIONS

At least six putative SNPs *loci* can be considered as candidates for molecular markers to discriminate *P. crypticus* and *P. yuma* species. However, four of them were more promissory for our purposes, because they have reciprocally fixed SNP alleles for each species (*loci* 1604, 3812, 4879 and 34486). These markers can be applied using PCR-based techniques in the traditional areas such as aquaculture as species-specific identifiers and/or in genetic improvement programs.

Acknowledges

This research was supported by *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia*, Grant FCS-2017 “*Delimitación de Unidades Evolutivas Significativas para la conservación de especies de peces del género Pimelodus en los Andes colombianos: una aproximación genómico-poblacional y filogenómica para la cuenca Magdalena-Cauca*” and Grant FCSA20, both developed in cooperation with the *Universidad Nacional de Colombia* (Hermes 40096).

This study was further funded by the scientific cooperation agreement between *Universidad Nacional de Colombia and Integral S.A.*, on 19th September 2013; *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín and Empresas Públicas de Medellín*, Grant CT-2013-002443 “*Variación genotípica y fenotípica de poblaciones de especies reófilas presentes en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Ituango*”, and the Grant CT-2019-000661 “*Variabilidad genética de un banco de peces de los sectores medio y bajo del río Cauca*”.

REFERENCES

- Ashton, D.T., Ritchie, P.A., and Wellenreuther, M. (2017). Fifteen years of quantitative trait loci studies in fish: challenges and future directions, *Molecular Ecology*, 26, 1465–1476.
- Bickford, D., Lohman, D.J., Sodhi, N.S., Ng, P.K.L., Meier, R., Winker, K., Ingram, K.K., and Das, I. (2007). Cryptic species as a window on diversity and conservation., *Trends in ecology &*

evolution, 22, 148–55.

- Cao, J., Li, S., Shao, M., Cheng, X., Xu, Z., and Shi, D. (2014). The PDZ-containing unconventional Myosin XVIIIa regulates embryonic muscle integrity in zebrafish, *Journal of Genetics and Genomics*, 41, 417–428.
- Catchen, J., Hohenlohe, P.A., Bassham, S., Amores, A., and Cresko, W.A. (2013). Stacks: An analysis tool set for population genomics, *Molecular Ecology*, 22, 3124–3140.
- Durantón, M., Allal, F., Fraïsse, C., Bierne, N., Bonhomme, F., and Gagnaire, P.A. (2018), The origin and remolding of genomic islands of differentiation in the European sea bass, *Nature Communications*, 9, 1–11.
- Earl, D. a., and VonHoldt, B.M. (2011). STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method, *Conservation Genetics Resources*, 4, 359–361.
- Evanno, G., Regnaut, S., and Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study., *Molecular ecology*, 14, 2611–20.
- Froehlich, H.E., Gentry, R.R., and Halpern, B.S. (2017). Conservation aquaculture: Shifting the narrative and paradigm of aquaculture’s role in resource management, *Biological Conservation*, 215, 162–168.
- Gotelli, N.J., and Stanton-Geddes, J. (2015). Climate change, genetic markers and species distribution modelling, *Journal of Biogeography*, 42, 1577–1585.
- Hirst, J., Barlow, L., Francisco, G.C., Sahlender, D.A., Seaman, M.N.J., Dacks, J.B., and Robinson, M.S. (2011). The fifth adaptor protein complex, *PLoS Biology*, 9, e1001170.
- Jakobsson, M., and Rosenberg, N. a (2007). CLUMPP: a cluster matching and permutation program for dealing with label switching and multimodality in analysis of population structure., *Bioinformatics (Oxford, England)*, 23, 1801–6.
- Kim, S.C., and Rieseberg, L.H. (1999). Genetic architecture of species differences in annual sunflowers: Implications for adaptive trait introgression, *Genetics*, 153, 965–977.
- Lasso, C.A., Gutiérrez, F. de P., Morales-Betancourt, M.A., Córdoba, E.A., Ramírez-Gil, H., and Ajiaco-Martínez, R.E. (2011). II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico, 1st ed., Instituto de

Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

- Lopez Casas, S., and Jimenez Segura, L.F. (2007). REPRODUCCIÓN Y HÁBITOS ALIMENTICIOS DEL NICURO, *Pimelodus blochii* (VALENCIENNES, 1840) (PISCES: PIMELODIDAE), EN LA CIÉNAGA DE CACHIMBERO, RÍO MAGDALENA, COLOMBIA, *Actualidades Biológicas*, 29, 199–207.
- Maldonado-Ocampo, J.A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F.A., Prada-Pedrerros, S., Rodríguez Ardila, C., and Calle, J.C. (2005). Peces de los Andes de Colombia.
- Martin, S.H., and Jiggins, C.D. (2017). Interpreting the genomic landscape of introgression, *Current Opinion in Genetics and Development*, 47, 69–74.
- Organisation for Economic Co-operation and Development -OECD (2016). Fisheries and Aquaculture in Colombia.
- Page, G.P., Amos, C.I., and Boerwinkle, E. (1998). The quantitative LOD score: Test statistic and sample size for exclusion and linkage of quantitative traits in human sibships, *American Journal of Human Genetics*, 62, 962–968.
- Pritchard, J.K., Stephens, M., and Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data, *Genetics*, 155, 945–959.
- Ramirez, A., and Pinilla, G. (2012). Hábitos alimentarios, morfometría y estados gonadales de cinco especies de peces en diferentes periodos climáticos en el río sogamoso, *Acta Biológica Colombiana*, 17, 241–258.
- Restrepo-Escobar, N., and Márquez, E.J. (2020). Microsatellite loci development for three catfish species from Northwestern South America, *Neotropical Ichthyology*, 18, 1–16.
- Restrepo, J.D., Kjerfve, B., Hermelin, M., and Restrepo, J.C. (2006). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: The Magdalena River, Colombia, *Journal of Hydrology*, 316, 213–232.
- Rosenberg, N.A. (2004). Distruct: a program for the graphical display of population structure, *Molecular Ecology Notes*, 4, 137–138.
- Syaifudin, M., Bekaert, M., Taggart, J.B., Bartie, K.L., Wehner, S., Palaikostas, C., Khan, M.G.Q., Selly, S.L.C., Hulata, G., D’Cotta, H., Baroiller, J.F., McAndrew, B.J., and Penman, D.J. (2019).

Species-Specific Marker Discovery in Tilapia, *Scientific Reports*, 9, 1–11.

Teletchea, F. (2016). Systematics and Aquaculture: What Could They Bring to Each Other?, *Journal of Life Sciences*, 10, 240–244.

Valbuena-Villarreal, R.D., Zapata-Berruecos, B.E., and Cruz-Casallas, P.E. (2010). Reproducción inducida de Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) con extracto de hipófisis de carpa: reporte preliminar TT - Induced breeding of Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) with carp pituitary extract: preliminary report, *Orinoquia*, 14, 133–139.

Villa-Navarro, F.A., Arturo Acero, P., and Cala, P.C. (2017). Taxonomic review of Trans-Andean species of *Pimelodus* (Siluriformes: Pimelodidae), with the descriptions of two new species, *Zootaxa*, 4299, 337–360.



Biodiversidad, conservación y evaluación de recursos

Densidad y biomasa de la ostra plana *Isognomon alatus* (Bivalvia; Pterioidea), de la Ensenada de Toporo, Parque Nacional Mochima, Venezuela

[📄\(ver\)](#) 

Dwight Arrieche, Dilimar F Fermin, Edgar Zapata-Vívenes, Vanessa Acosta-Balbás, Natividad García, Antulio Prieto-Arcas, Sergio González-Peláez

 Dwight Arrieche E-Mail: darriech@yahoo.com

Detectando el efecto de los huracanes con métricas de diversidad taxonómica [📄\(ver\)](#)

Norberto Capetillo Piñar, Arturo Tripp Quezada, Alexander Lopeztegui Castillo, Abel Betanzos Vega, Juan Carlos Hernández Padilla

 Norberto Capetillo Piñar E-Mail: norbertcap@yahoo.com

Evaluación de la biología y pesquería de la pepitona *Arca zebra* en la península de Araya, estado Sucre, Venezuela [📄\(ver\)](#)

Katiana Cedeño, Hilda Marval, Fidel Duarte

 Katiana Cedeño E-Mail: katianac7@gmail.com

Evaluación de riesgo por ciguatera en un área susceptible de la región centro sur de Cuba [📄\(ver\)](#)

Lisbet Díaz Asencio, Gabriel L. Rojas Abrahantes, Donaida Chamero Lago, Miguel Gómez Batista, Joan I. Hernández Albernas, Marie Yasmine Dechraoui Botteín, Carlos M. Alonso Hernández

 Lisbet Díaz Asencio E-Mail: ldasencio@gmail.com

Áreas de distribución y ocurrencia de bivalvos (molusco) de interés comercial de las costas rocosas del estado Sucre, Venezuela [📄\(ver\)](#)

Johanna Fernández M., Mayre Jiménez P., Siolíz Villafranca

 Johanna Fernández M. E-Mail: johnannafer@gmail.com

Monogeneos parásitos en la barracuda *Sphyraena ensis* (Jordan & Gilbert, 1882) (Perciforme: Sphyraenidae) procedente del terminal pesquero Villa Maria del Triunfo, Lima, Perú [↗ \(ver\)](#)

Katherin Dalia Ferré Alcántara, José Alberto Iannacone Oliver, Lorena Alvaríño Flores, David Minaya Angoma

 Katherin Dalia Ferré Alcántara E-Mail: daliaferre.1992@gmail.com

Efecto embarbascante de *Jacquinia armillaris* (Jacq) influenciado por saponinas sobre peces Guppy (*Poecilia reticulata*) [↗ \(ver\)](#)

Willian Celestino Henríquez Guzmán, Rosibel Bermúdez, Heber Arcia, Hellen Bruzual, Vilma Lanza Castillo, Lolymar Romer

 Willian Celestino Henríquez Guzmán E-Mail: whenriquez66@gmail.com

Talla mínima legal del pepino de mar *Holothuria mexicana* en Cuba: su aplicación en el manejo de la pesquería [↗ \(ver\)](#)

Aracely Hernández Betancourt, Braulio Freyre Corrales, Rafael Palma

 Aracely Hernández Betancourt E-Mail: yeyi.hernandezpaula@gmail.com

The Settlement of the invasive *Mytilus galloprovincialis* in Southern Brazil: A New Threat to Bivalve Aquaculture [↗ \(ver\)](#)

Daniel Lins, Rosana Rocha

 Daniel Lins E-Mail: lins.miranda@gmail.com

Registros de ictioplancton mesopelágico en aguas de la fosa de Cariaco como indicador de potencial nuevo recurso [↗ \(ver\)](#)

Baumár Marín (✉), José Nuñez

 Baumár Marín E-Mail: baumarm@gmail.com

¿Genera la cría de tortugas marinas patrones migratorios anómalos cuando son liberados al medio natural? [↗ \(ver\)](#)

Felix Moncada Gavilán, Gonzalo Nodarse Andreu, Yanet Forneiro Martín-Viaña

 Felix Moncada Gavilán E-Mail: felixmoncada2306@gmail.com

Patrones de distribución de desove y juveniles de peces de importancia comercial del Golfo de Paria y Plataforma Deltana, Venezuela [↗ \(ver\)](#) 

Johanna Carolina Rondón Rojas, Baumar Marín Espinosa (✉), Alan Martínez, Katiana Cedeño, Esther Enriquez, Luz Marciano, Ydelmar Narváez, Sofía Alderete

 Johanna Carolina Rondón Rojas E-Mail: rondonjohannac@gmail.com

Dinâmica populacional de *Anomalocardia flexuosa* (L. 1767) na Baía da Ribeira (Angra dos Reis/RJ), Brasil [↗ \(ver\)](#) 

Fausto Silvestri, Sandro Ricardo Da Costa, Genaro Barbosa Cordeiro, André Luiz De Araújo, Thaís Vilas Boas Dias, Paulo Márcio Santos Costa

 Fausto Silvestri E-Mail: fsilvestri9@gmail.com

Population structure, growth and recruitment of the clam *Macra stultorum* (Bivalvia: Mactridae) from a high energy, temperate beach in the Ebro Delta – NW Mediterranean Sea [↗ \(ver\)](#) 

Marco A. Solís, Marc Baeta, Manuel Ballesteros

 Marco A. Solís E-Mail: msolisbenites@gmail.com

Algunas relaciones entre la surgencia de la región Nor-oriental del Venezuela con índices de abundancia del pulpo *Octopus vulgaris* (Cuvier 1797), el calamar *Loligo plei* (Blainville 1823) y la almeja *Amusium papiraceus* (Gabb 1873), deriva [↗ \(ver\)](#) 

Juan Federico Urich Portet

 Juan Federico Urich Portet E-Mail: acropora22649@gmail.com

Evaluación poblacional de la pepitona *Arca zebra* (Swainson, 1833), en los bancos de Chacopata y Caimancito, costa norte del estado Sucre, Venezuela [↗ \(ver\)](#) 

Roger Velásquez, Baumar Marín (✉), Luís Ariza, José Núñez

 Roger Velásquez E-Mail: roger.cieg@gmail.com

Biología, fisiología y ecología de especies

Dieta de juveniles de *Thunnus thynnus* (L.,1758) de edad 0 en el mediterráneo occidental [↗ \(ver\)](#)

Esther Asensio Regidor Asensio Regidor, Edurne Blanco, Aurelio Ortega, Antonio Medina, José Luis Varela

 Esther Asensio Regidor Asensio Regidor E-Mail: esther.asensio@uca.es

Aumento de la temperatura en nidos de tortugas marinas en Cuba, ¿Es el manejo de sombra una solución? [↗ \(ver\)](#)

Julia Azanza Ricardo, Claudia Cabrera Guerra, Ryan Betancourt Ávila, Fernando Bretos Trelles, Pedro Pérez Álvarez

 Julia Azanza Ricardo E-Mail: julia_dragmarino@yahoo.es

Efecto de las diferentes frecuencias de alimentación sobre el rendimiento productivo, metabolismo y estrés de la lubina *Dicentrarchus labrax* [↗ \(ver\)](#)

Mireia Canet Chaqués, Jose Cabello Gómez, Iria Iglesias Prado, Juan Miguel Mancera Romero, Juan Antonio Martos Sitcha

 Mireia Canet Chaqués E-Mail: mcanetcha@gmail.com

Diel Vertical Migration of *Nannocalanus minor* and *Eucalanus inermis* (COPEPODA: Calanoidea) associated with the Oxygen Minimum Zone in northern Chile [↗ \(ver\)](#)

Richard Alejandro Cobo Intriago, Pamela Hidalgo Díaz, Víctor Aguilera, Pamela Fierro, Paula Ruz Moreno

 Richard Alejandro Cobo Intriago E-Mail: richard.cobo@utm.edu.ec

Abundancia y riqueza de moluscos del litoral rocoso, en el eje costero Arapito-Playa Colorada, estado Sucre, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Mayre Milagros Jimenez Prieto, Johanna Raquel Fernández Malave, Sioliz Margarita Villafranca, Thays Coromoto Allen Peña

 Mayre Milagros Jimenez Prieto E-Mail: mayrej@gmail.com

Sistemas de defensa antioxidantes e índices moleculares (ARN/ADN y proteína/ADN de la ostra perla *Pinctada imbricata* en un ambiente costero del nororiente de Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Yelipza Del Carmen Longart-Rojas, Dwight Arrieche, Edgar Zapata-Vívenes, Vanessa Acosta

 Yelipza Del Carmen Longart-Rojas E-Mail: yelipzalongart@gmail.com

35 años de cambio en densidad y biomasa del megazoobentos del golfo de Batabanó, Cuba: implicaciones para la langosta *Panulirus argus*  [\(ver\)](#) 

Alexander Lopeztegui Castillo, Diana Martínez Coello, Leonardo Andrés Abitia Cárdenas

 Alexander Lopeztegui Castillo E-Mail: alopeztegui@yahoo.com

Micromalacofauna de los sedimentos blandos en los bancos explotados de *Arca zebra*, al norte del estado Sucre, Venezuela  [\(ver\)](#) 

Claribeth del Carmen Malavé Blondell, Sioliz Villafranca, Baumar Marín (†)

 Claribeth del Carmen Malavé Blondell E-Mail: claribethmalave@gmail.com

Tasa de predación de gastrópodos por *panulirus argus* en dos zonas pesqueras al sur de Cuba  [\(ver\)](#) 

Diana Martínez Coello, Alexander Lopeztegui Castillo, Ulises Amador Marrero, Leonardo Andrés Abitia Cárdenas

 Diana Martínez Coello E-Mail: dianita.mcoello@gmail.com

Space-time variations of megazoobenthos subject to natural and anthropogenic impacts in two Cuban bays: evidence of recovery?

 [\(ver\)](#) 

Beatriz Martínez Daranas, Alexander Lopeztegui Castillo, Norberto Capetillo Piñar, Abel Betanzos Vega, Diana Martínez Coello, Leonardo Andrés Abitia Cárdenas

 Beatriz Martínez Daranas E-Mail: alopeztegui@yahoo.com

Determinación de especies y delimitación de poblaciones del pargo rojo (*Lutjanu sp.*) en el Atlántico Occidental  [\(ver\)](#) 

Angel Marval Rodríguez, Ximena Renán, Gabriela Galindo Cortes, Hectorina Rodulfo, Lourdes Jiménez Badillo, Saraí Acuña Ramírez, Marcos De Donato

 Angel Marval Rodríguez E-Mail: avgelo7@gmail.com

Bioencapsulación de nauplios de *Artemia* con la cepa de *Streptomyces* sp. RL8 y estudio de su resistencia contra vibrios patógenos [↗ \(ver\)](#)

Pável Ossorio Álvarez, Milagro García Bernal, Ricardo Medina Marrero, José Manuel Mazón-Suástegui, Osmani Marrero Chang

[✉](#) Pável Ossorio Álvarez E-Mail: milagariabernal@gmail.com

Contenido de Echinocromo A y proteínas totales del fluido celómico del erizo de mar *Arbacia stellata* en relación al desarrollo gonadal

[↗ \(ver\)](#) 

Javier José Palma Chávez, Jorge Sonnenholzner Varas, Edgar Zapata Vivenes

[✉](#) Javier José Palma Chávez E-Mail: javierpalmachavez@gmail.com

Stable isotope analyses reveal major nutritional deficiencies in captive vs. field juvenile individuals of *Pinna nobilis* [↗ \(ver\)](#)

Patricia Prado, Pep Cabanes, Sebastián Hernandis, Jose Rafael García-March, José Tena

[✉](#) Patricia Prado E-Mail: patricia.prado@irta.cat

Evaluación ecológica del ictioplancton en la zona central del Parque Nacional Mochima, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Mariana Rosalyth Rondón Ramos, Baumar José Marín Espinoza(✉), José Gregorio Nuñez Peñalver

[✉](#) Mariana Rosalyth Rondón Ramos E-Mail: marirond95@gmail.com

Early nutritional regulation of genes involved in the biosynthesis of very long-chain (>C24) polyunsaturated fatty acids (VLC-PUFA) in *Sparus aurata* and *Solea senegalensis* [↗ \(ver\)](#)

Miguel Torres Rodríguez, Juan Carlos Navarro Tárrega, Oscar Monroig Marzá, Inmaculada Varó, Francisco Hontoria Danés

[✉](#) Miguel Torres Rodríguez E-Mail: migueltorres307@hotmail.com

Estrategia reproductiva de *Oreochromis mossambicus* en la Laguna de los Patos, Cumaná, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Trinidad Urbano, Raquel Salazar, Patricia Velásquez

[✉](#) Trinidad Urbano E-Mail: trinidadurbano@yahoo.es

Anormalidades morfológicas en peces registrados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) durante sus investigaciones científicas en el mar peruano [↗ \(ver\)](#)

Fabiola Bessy Zavalaga Talledo, Jacqueline Palacios León, Keny Kanagusuku Gondo

 Fabiola Bessy Zavalaga Talledo E-Mail: fabiolazavalaga@gmail.com

Biotecnología y bioproductos

Actividad antibacteriana de extractos de huevos del erizo de mar *Arbacia dufresnii* [↗ \(ver\)](#)

Marisa Avaro, Melania Fernandez, Cynthia Sequeiros, Mercedes Vera-Piombo, Tamara Rubilar

 Marisa Avaro E-Mail: tamararubilar@gmail.com

Concentración de Espinocromas (1,4-naftoquinonas polihidroxiladas) en huevos del erizo de mar *Arbacia dufresnii* en sistemas de cultivo sustentable [↗ \(ver\)](#)

Marisa Gladis Avaro, Mercedes Vera-Piombo, Jimena Pía Fernández, Lucas Sepúlveda, Tamara Rubilar

 Marisa Gladis Avaro E-Mail: marisavaro@yahoo.com.ar

Producción de luteína a partir de las microalgas *Muriellopsis* sp. Reisigl, 1964 y *Chlorella sorokiniana* shihira & r.w. krauss 1965 [↗ \(ver\)](#)

Dialys C. Bastardo V., Roraysi J. Cortez M., Miguel A. Guevara A., Rafael G. Pinto H., Elvira M. Hernández R.

 Dialys C. Bastardo V. E-Mail: dialysbastardo58@gmail.com

Producción de clorofila a por la microalga *Chlorella sorokiniana* shihira & R.W. Krauss 1965, bajo condiciones de cultivo [↗ \(ver\)](#)

Dialys C. Bastardo V., Elvira M. Hernández R., Roraysi J. Cortez M., Miguel A. Guevara A., Rafael G. Pinto H.

 Dialys C. Bastardo V. E-Mail: ariviehernandez85@gmail.com

Evaluación de nitrógeno amoniacal total (TAN) y fosfatos totales en efluentes de un cultivo acuícola empleando microalgas [↗ \(ver\)](#)

Santiago David Demera Centeno, Marjorie Armenia Idrovo Vishuete, Juan Carlos Vélez Chica

 Santiago David Demera Centeno E-Mail: santiago_demera@hotmail.com

Efecto de la inclusión de *Nannochloropsis gaditana* sobre la funcionalidad digestiva en juveniles de dorada [↗ \(ver\)](#)

Alba Galafat Díaz, María Isabel Sáez Casado, María Dolores Ayala Florenciano, Antonio Jesús Vizcaíno Torres, Elena Chaves, Marta Arizcun Arizcun, Francisco Javier Alarcón López, Tomás Francisco Martínez Moya

 Alba Galafat Díaz E-Mail: albagalafat@gmail.com

Efecto de la inclusión de dos aditivos basados en microalgas sobre la funcionalidad digestiva en dorada [↗ \(ver\)](#)

Alba Galafat Díaz, María Isabel Sáez Casado, Erick Perera, Antonio Jesús Vizcaíno Torres, Juan Miguel Mancera, Juan Antonio Martos-Sitcha, Tomás Francisco Martínez Moya, Francisco Javier Alarcón López

 Alba Galafat Díaz E-Mail: albagalafat@gmail.com

Evaluación de un preparado funcional d microalgas y fitasa para la alimentación de lubina [↗ \(ver\)](#)

Alba Galafat Díaz, María Isabel Sáez Casado, Tomás Francisco Martínez Moya, Judith Macías, Ramón Marqués, Elisa Rojas-Crespo, Juan Antonio Martos Sitcha, Antonio Jesús Vizcaíno Torres

 Alba Galafat Díaz E-Mail: avt552@ual.es

Avances en el desarrollo de un fotobiorreactor para cultivo de microalgas productoras de Astaxantina y Fucoxantina: Compuestos con alto valor agregado en la industria cosmética y nutracéutica [↗ \(ver\)](#)

Antonela Martelli, Mercedes Vera Piombo, Ximena Garralda, Cecilia Castaños, Lucas Sepulveda, Tamara Rubilar

 Antonela Martelli E-Mail: antonelamartelli@gmail.com

Aislamiento y caracterización de *Bacillus velezensis* d-18 como posible probiótico para la lubina europea en el ámbito de la acuicultura [↗ \(ver\)](#)

Luis Monzón Atienza, Félix Acosta Arbelo, Jimena Bravo, Daniel Montero, José Ramón Vivas, Jorge Galindo-Villegas

 Luis Monzón Atienza E-Mail: luis.monzon104@alu.ulpgc.es

Impacto de resistencia antimicrobiana, sistemas de adicción y biopelículas en piscicultura [↗ \(ver\)](#)

Adriana Ochoa Sánchez, Daniela Ibarra Flores, Hectorina Rodulfo

 Adriana Ochoa Sánchez E-Mail: a01701435@itesm.mx

Aplicación de tecnologías de fabricación para la valorización eficiente y responsable de conchas de *Mytilus galloprovincialis* [↗ \(ver\)](#)

Gabriel Pereiro López, Charo Limia Sánchez

 Gabriel Pereiro López E-Mail: imasd.gmg@gmail.com

El guishe de *Agave lechuguilla* como materia prima para la formulación de aditivos alimenticios para camarón: Biotecnología para transitar hacia una Economía Circular” [↗ \(ver\)](#)

Ana G. Reyes Alvarado, Alberto Peña Rodríguez, Zoé Pelleitier Morreeuw, Jazmín García Luján, Laura Guzmán Villanueva, Cristina Escobedo Fregoso, Carmen Rodríguez Jaramillo, Daniel Tovar Ramírez

 Ana G. Reyes Alvarado E-Mail: agalvarado@cibnor.mx

Recursos microbianos marinos y su potencial biotecnológico para una bioeconomía sostenible [↗ \(ver\)](#)

Emilio Joaquín Sordo Cruz, Juan Carlos Camacho Chab, Juan Enrique Pereañez Sacarías, Benjamín Otto Ortega Morales

 Emilio Joaquín Sordo Cruz E-Mail: emiliosordo95@gmail.com

Efectividad en el tiempo de la hipófisis del caribe o piraña (*Pygocentrus cariba*) como inductor reproductivo de las cachamas (*Colossoma macropomum* y *Piaractus orinoquensis*) [↗ \(ver\)](#)

Rafael Jose Valera Navas

 Rafael Jose Valera Navas E-Mail: pescacont@gmail.com

Influencia de la corriente y densidad de cultivo en la producción de carotenos en el erizo de mar *Arbacia dufresnii* [↗ \(ver\)](#)

Mercedes Vera Piombo, Lucas Roberto Sepúlveda, Marisa Avaro, Jimera Pía Fernández, María Florencia Chaar, Tamara Rubilar

 Mercedes Vera Piombo E-Mail: mercedes.verapiombo@gmail.com

Efecto de *Pseudomonas* sp. RGM2114 en la mortalidad de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) provocada por *Flavobacterium psychophilum* [↗ \(ver\)](#)

José Miguel Vidal, Pamela Ruiz, Alexis Fonseca, Carlos Carrasco, Daniela Sepúlveda, Ricardo Saavedra, Homero Urrutia, Nathaly Ruiz-Tagle

 José Miguel Vidal E-Mail: pamelaruizm@gmail.com

Valorización del alga *Rugulopteryx okamurae* como ingrediente en piensos de acuicultura [↗ \(ver\)](#)

Antonio Jesus Vizcaíno Torres, Alba Galafat Díaz, María Isabel Sáez Casado, Tomás Francisco Martínez Moya, Félix López Figueroa, Juan Miguel Mancera, Juan Antonio Martos Sitcha, Francisco Javier Alarcón López

 Antonio Jesus Vizcaíno Torres E-Mail: avt552@ual.es

Aislamiento e identificación de una bacteria probiótica del tracto intestinal de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* para el desarrollo de un alimento funcional [↗ \(ver\)](#)

Ana Antonia Zapata, Myrna Leticia Bravo-Olivas, Rosa Chávez –Dagostino, Ruth López-Alcántara, Maurilio Lara-Flores

 Ana Antonia Zapata E-Mail: atapaz2020@gmail.com

Cambio climático

Impact of the Gloria Storm on the commercial wedge clam (*Donax trunculus*) and its associated community inhabiting shallow waters of NW Mediterranean Sea [↗ \(ver\)](#)

Arnau Garcia Tort, Carlota Escarré Ramos, Laura Claramonte, Marco A Solís, Marc Baeta, Manuel Ballesteros

 Arnau Garcia Tort E-Mail: claramonte.laura@gmail.com

Efecto de la variación de pH en el crecimiento y consumo de nutrientes en la diatomea *Phaeodactylum tricornutum* [↗ \(ver\)](#)

Carlos Alejandro Pérez Rojas, Carlos Alonso Martínez -Martínez, María Concepción Lora Vilchis, Elena Mechetnov Palacios-

 Carlos Alejandro Pérez Rojas E-Mail: crojas@pg.cibnor.mx

Contaminación y efectos antrópicos

Cuantificación de coliformes totales y fecales en la cadena de producción del pulpo *Octopus insularis* en el Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México [↗ \(ver\)](#)

Sarai del Valle Acuña Ramirez, María de Lourdes Jiménez Badillo, Gabriela Galindo Cortes, Hectorina Rodulfo, Angel Marval Rodríguez, Marcos De Donato

 Sarai del Valle Acuña Ramirez E-Mail: acua.sarai@gmail.com

Efectos del cadmio sobre respuestas moleculares y daños en las gónadas del erizo de mar *Echinometra lucunter* (linnaeus, 1758) [↗ \(ver\)](#)

María Alpino Cabrera, Edgar Zapata Vívenes, Dwight Arrieche

 Maria Alpino Cabrera E-Mail: edgar.zapata@utm.edu.ec

Estudio de las aguas y el sedimento de la bahía de Manatí, Las Tunas, Cuba [↗ \(ver\)](#)

Gustavo Arencibia Carballo, Yoelvis Bolaños Alvarez, Gerardo Suárez Alvarez, Rafael Tizol Correa, María A. Pus Ramírez, Mayelin Alvarez Vazquez, Abel J. Betanzos Vega

 Gustavo Arencibia Carballo E-Mail: garen04@gmail.com

Distribución de mercurio y composición isotópica de sedimentos superficiales de una zona de pesca del Golfo de Guacanayabo, Cuba [↗ \(ver\)](#)

Yoelvis Bolaños Alvarez, Gustavo Arencibia Carballo, Abel Betanzos Vega, Alejandro García Moya, Kirenia Cos Negret, Carlos Manuel Alonso Hernández

 Yoelvis Bolaños Alvarez E-Mail: yoelvisely@gmail.com

Afectación socioambiental en los ríos del estado Cojedes, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Carmelina Lanza, Arturo Arreaza, Yalexí Laya

 Carmelina Lanza E-Mail: aixeca@gmail.com

Caracterización físico-química del agua de la laguna Boca Galafre, provincia de Pinar del Río, Cuba [↗ \(ver\)](#)

María Aurora Pis Ramírez, Abel J. Betanzos Vega, Josefina Diez Valdes-Basán

 María Aurora Pis Ramírez E-Mail: mapis5512@gmail.com

Microplásticos muestreados en una playa de Cumaná-Venezuela (mayo 2019): Análisis por espectroscopia FTIR [↗ \(ver\)](#)

Blanca Rojas de Gascue, Ivis Fermin, Lilianny Vallejo, Valentina Gonzalez, Joselyn Acosta, Edgar García, Arnaldo Ramírez, Maiker Patiño

 Blanca Rojas de Gascue E-Mail: blanca.gascue@gmail.com

Ensilado biológico de residuos de pescado para alimentación animal utilizando consorcio microbiano [↗ \(ver\)](#)

Osmicar Manuel Vallenilla Gonzalez, Humberto Gil, Maria Mejias, Crismary Valdiviezo

 Osmicar Manuel Vallenilla Gonzalez E-Mail: osmicaruptos@gmail.com

Microplásticos en tres playas arenosas de la costa central del Perú [↗ \(ver\)](#)

Maxwell Zarate, José Iannacone

 Maxwell Zarate E-Mail: joseiannacone@gmail.com

Cultivo de crustáceos

Resistencia a antimicrobianos en cepas de *Vibrio* aisladas granjas camaroneras del noroeste de México [↗ \(ver\)](#)

Luz Elena Díaz Ávila, Ricardo Sánchez Díaz, Hectorina Rodulfo, José C. Ibarra Gámez, Ashutosh Sharma, Marcos De Donato

 Luz Elena Díaz Ávila E-Mail: marcosdedonato@yahoo.com

Diseño zootecnico de granjas camaroneras semi intensivas [↗ \(ver\)](#)

Miguel Jover Cerdá

 Miguel Jover Cerdá E-Mail: mjover@dca.upv.es

Aislamiento de bacterias marinas antagonicas a *Vibrio Parahaemolyticus* ahpnpatógeno de camaron [↗ \(ver\)](#)

Zinnia Judith Molina-Garza, Gabriel Enrique Cázares Jaramillo, José Cuauhtémoc Ibarra Gámez, Lucio Galaviz -Silva

 Zinnia Judith Molina-Garza E-Mail: molinazinnia@hotmail.com

Compuestos bioactivos altamente diluidos mejoran desempeño en el cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* [↗ \(ver\)](#)

Claudia Morales Sánchez, José Manuel Mazón Suastégui, Arturo Tripp Quezada, Fabiola Guadalupe Arcos Ortega

 Claudia Morales Sánchez E-Mail: clamosa@hotmail.com

Genes relacionados al crecimiento compensatorio en el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* [↗ \(ver\)](#)

Alberto Peña Rodríguez, María de Jesús Cota Quintero, Regina Elizondo González, Julián Gamboa Delgado

 Alberto Peña Rodríguez E-Mail: apena@cibnor.mx

Cultivo de moluscos

Perspectivas de estudios del crecimiento del caracol *Melongena melongena* en áreas de confinamiento en la laguna de Bocaripo, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Daniela del Valle Rendón Martínez , Roger Alexander Velasquez Arenas, Baumar José Marín Espinoza (✉), Aulo Aponte

 Daniela del Valle Rendón Martínez E-Mail: rendondanna@gmail.com

Influencia de las variables ambientales en la calidad de las medias perlas (mabé) producidas por la concha nácar *Pteria sterna* (gould, 1851), en las costas ecuatorianas [↗ \(ver\)](#)

Luis Freites, Franklin Jara, María Gregori, Adrián Márquez, Daniel Rodríguez-Pesantes, Cesar Lodeiros

 Luis Freites E-Mail: lfreitesv@gmail.com

Análisis transcriptómico de la respuesta inmune de juveniles de almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*) a compuestos bioactivos altamente diluidos [↗ \(ver\)](#)

Jesús Antonio López Carvallo, José Manuel Mazón-Suástegui, Fabiola Arcos Ortega, Daríel Tovar Ramírez, Miguel Ángel Hernández Oñate, Fernando Abasolo Pacheco

 Jesús Antonio López Carvallo E-Mail: alopezcarvallo@gmail.com

Ensamblaje de novo y anotación del transcriptoma de la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) para el descubrimiento de genes del sistema inmune [↗ \(ver\)](#)

G.B. Mendoza-Maldonado, G. Diarte-Plata, R. Escamilla-Montes, J.A. Fierro-Coronado, A. Luna-González

 G.B. Mendoza-Maldonado E-Mail: aluna@ipn.mx

Crecimiento y supervivencia de una cohorte de semillas de la ostra *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793) sembradas a diferentes tallas bajo condiciones de cultivo suspendido [↗ \(ver\)](#)

Gema Miranda Cuaboy, Cindy Polif Alvarado, Luis Treviño, Jorge Velez Falcones, Cesar Lodeiros

 Gema Miranda Cuaboy E-Mail: gemita178@hotmail.com

Parámetros productivos y diferencias en el crecimiento de bacterias del género *Vibrio* en larvas y juveniles del ostión *Argopecten purpuratus* alimentadas con dietas basadas en microalgas con distintos niveles de HUFAs [↗ \(ver\)](#)

Isis Rojas, José Rengel, Michael Araya, Gonzalo Álvarez, Claudia Cárcamo, Paulina Schmitt, Katherina Brokordt

 Isis Rojas E-Mail: isisrojas93@gmail.com

Índice de condición, crecimiento y supervivencia osmótica del ostión de mangle, *Crassostrea rhizophorae* [↗ \(ver\)](#)

Gerardo Suarez, Teresita De Jesús Romero, Abel Betanzos-Vega

 Gerardo Suarez E-Mail: gerardoeloy650@gmail.com

Raíces de *Rhizophora mangle*: un sustrato natural para el asentamiento de moluscos bivalvos de interés pesquero en la zona oriental de Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Sioliz Villafranca Vilafranca, Mayré Jiménez, Johanna Fernández

 Sioliz Villafranca Vilafranca E-Mail: svillafranca@yahoo.com

Propuesta del cultivo del mejillón *Perna perna*, en sistema lineal suspendido, en la comunidad de La Fragata, estado Sucre, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Elvis Villarroel, Maira Mago, Enrique Ortiz, Osmicar Vallenilla, Cesar Graziani, Rosmary Bolívar, Andrés Montes, Trinidad Urbano

 Elvis Villarroel E-Mail: ariamago@gmail.com

Cultivo de otros organismos acuáticos

Evaluación del crecimiento de esporofitos de *Chondracanthus chamissoi* procedente de un cultivo a partir de carpósporas bajo distintas concentraciones de un fertilizante agrícola [↗ \(ver\)](#)

Maria-Lourdes Avalos Vasquez, Paul Baltazar Guerrero, Max Castañeda Franco, Samuel Arbaiza Quispe

 Maria-Lourdes Avalos Vasquez E-Mail: malu_avalos09@hotmail.com

Efecto de los Medios BG11 y CHU a diferentes concentraciones sobre el crecimiento de *Nostoc punctiforme* cultivado en condiciones de laboratorio [↗ \(ver\)](#)

Esther Dánica Echevarría López, Paul M. Baltazar Guerrero

[✉ Esther Dánica Echevarría López E-Mail: dani.echev.1991@gmail.com](mailto:dani.echev.1991@gmail.com)

Fauna acompañante en sistemas de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* San Andrés, Pisco Perú, Julio 2019 [↗ \(ver\)](#)

Arturo Joel Mires Reyes, Paul Martín Baltazar Guerrero

[✉ Arturo Joel Mires Reyes E-Mail: arthur.mires24@gmail.com](mailto:arthur.mires24@gmail.com)

Cultivo de coral en dispositivos impresos en 3D, a partir de una estrategia de división forzada de pólipos de *Mussismilia hartii* [↗ \(ver\)](#)

María Gabriela Moreno Ávila, Amanda Lucena dos Santos, Pedro Vitor Vasconcelos Silva, Ranilson De Souza Bezerra, Rudã Fernandes Brandão Santos

[✉ María Gabriela Moreno Ávila E-Mail: gabriela.morenoavila@ufpe.br](mailto:gabriela.morenoavila@ufpe.br)

Efecto de tres dietas formuladas sobre el crecimiento y supervivencia del erizo de mar negro *Arbacia stellata* [↗ \(ver\)](#)

Jonathan Eduardo Pincay Espinoza, Jorge Ignacio Sonnenholzner Varas, Fernando Isea León, Mathew Cedeño Avellán

[✉ Jonathan Eduardo Pincay Espinoza E-Mail: jona.eduar@hotmail.com](mailto:jona.eduar@hotmail.com)

Efecto de parámetros abióticos sobre tetrasporofitos germinantes de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing [↗ \(ver\)](#)

Luis Fernando Rios Cruz, Paul Martin Baltazar Guerrero

[✉ Luis Fernando Rios Cruz E-Mail: luisfrc9@gmail.com](mailto:luisfrc9@gmail.com)

Efecto de la temperatura y salinidad sobre el crecimiento poblacional de copépodos (Copepoda: Cyclopoida), en condiciones *in-vitro* [↗ \(ver\)](#)

Adriana Rodríguez Forero, Katrina Medina Lambraño, Leda Silvana Pabón Caro

[✉ Adriana Rodríguez Forero E-Mail: arodriguezf.ingpesquera@gmail.com](mailto:arodriguezf.ingpesquera@gmail.com)

Determinación de Condiciones de Cultivo y Manejo de *Noctoc verrucosum* (Vaucher) en Condiciones Controladas [↗ \(ver\)](#)

Adriana Fernanda Soria Garcia, Jose Gino Aguirre Villarroel, Mirtha Cadima Fuentes, Paul M. Baltazar Guerrero

 Adriana Fernanda Soria Garcia E-Mail: fsoria241@gmail.com

Cultivo de peces

Efectividad de biocidas en la erradicación de biofilms de γ -*proteobacteria* patógenas en instalaciones de acuicultura [↗ \(ver\)](#)

Félix Acosta, Maria Soledad Izquierdo, Luis Monzon-Afienza, Daniel Montero, Jorge Galindo-Villegas

 Félix Acosta E-Mail: felix.acosta@ulpgc.es

Estado socio-económico de los piscicultores de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en Ecuador [↗ \(ver\)](#)

Lenin Cáceres-Farías, Yanis Cruz-Quintana, Lorena Belén Cáceres-Farías, A.M. Santana-Piñeros

 Lenin Cáceres-Farías E-Mail: caceres_lenin@hotmail.com

Reproducción en cautividad del alburejo (*Chelon auratus*) [↗ \(ver\)](#)

Juan Antonio Calderón, Zuriñe Hermosilla, Rebeca Pajuelo, Oscar Elías, Miguel A. Carrascosa, Ignacio Algarin, Carlos Burgos

 Juan Antonio Calderón E-Mail: juan.calderon.edu@juntadeandalucia.es

Detección de *Myxobolus* sp. (Sporozoa: Cnidospora) en peces cachamote (cachama x morocoto) cultivados en el estado sucre, Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Luisa Carmen Centeno Albino, Génesis Cermeño Montes, Raquel Salazar Lugo, Humberto Gil, Jorge Maza

 Luisa Carmen Centeno Albino E-Mail: luisac.centenoalbino@gmail.com

Crecimiento de crías F1 de tilapia *Oreochromis niloticus* en dos frecuencias de alimentación [↗ \(ver\)](#)

Luis Daniel Espinosa Chaurand, Alfonso Maeda Martínez, Alejandro Cortés Sánchez, Rodolfo Garza Torres, Ricardo García Morales, Rosa Morelos Castro

[✉](#) Luis Daniel Espinosa Chaurand E-Mail: lespinosa@cibnor.mx

Respuesta productiva en juveniles de baunco (*Girella laevis*), a cuatro niveles de proteína en dieta, en condiciones de laboratorio [↗ \(ver\)](#)

Marie Anne Gálvez Escudero, Paul M. Baltazar Guerrero, César Cruz Castellón, Jessie Vargas Cárdenas

[✉](#) Marie Anne Gálvez Escudero E-Mail: mariegalvez.mg@gmail.com

Propuesta de cultivo experimental de tilapia roja en tanques, en la empresa socialista pesquera industrial del alba, s.a. (PESCALBA), Venezuela [↗ \(ver\)](#)

C. Graziani, R. Bolívar, R. Marchán, J. Martínez

[✉](#) C. Graziani E-Mail: cesargrazianip@gmail.com

Crecimiento de la trucha arco iris con piensos ecologicos [↗ \(ver\)](#)

Miguel Jover Cerdá, Eslam Tefal, Luis Lagos, Andrés Moñino, Raquel Monge, Ana Tomas Vidal, David Sánchez Peñaranda, Silvia Martínez Llorens

[✉](#) Miguel Jover Cerdá E-Mail: mjover@dca.upv.es

Streptococcosis por *Lactococcus garvie* en trucha arcoiris de México [↗ \(ver\)](#)

Cesar Ortega, Jesica Castrejón-Nájera, Benjamín Valladares-Carranza, Raúl Fajardo, Simón Martínez-Castañeda, Rute Irgang, Ruben Avendaño-Herrera

[✉](#) Cesar Ortega E-Mail: cesarinortega@gmail.com

Evaluación del uso de hidrolizados de microalgas en piensos sobre los parámetros de calidad organoléptica del filete de dorada (*S. aurata* L.) de crianza [↗ \(ver\)](#)

María Isabel Sáez Casado, Alba Galafat Díaz, Luis Hidalgo Oller, Antonio Jesús Vízcaíno Torres, Silvana Teresa Tapia Paniagua, Juan Antonio Martos Sitcha, Francisco Javier Alarcón López, Tomás Francisco Martínez Moya

[✉](#) María Isabel Sáez Casado E-Mail: msc880@ual.es

Vacuna contra nodavirus inactivada con BEI: diferentes métodos de administración en lenguado [↗ \(ver\)](#)

Yulema Valero, José Gabriel Oliveira, Carmen López-Vázquez, Carlos Dopazo P., Isabel Bandín

 Yulema Valero E-Mail: yulema.valero@usc.es

Alimento artesanal para peces en las comunidades rurales del estado Sucre. Venezuela [↗ \(ver\)](#)

Osmicar Vallenilla, Luis Bravo, Maria Mejias, Jose Fariñas, Simón Barreto, Enrique Ortiz

 Osmicar Vallenilla E-Mail: osmicaruptos@gmail.com

Epigenetics of Nile tilapia domestication [↗ \(ver\)](#)

Ioannis Konstantinidis, Pål Sætrom, Marine Brieuc, Kjetill Jakobsen, Hannes Liedtke, Caroline Pohlmann, Thomais Tsoulia, Jorge Fernandes

 Ioannis Konstantinidis E-Mail: ioannis.konstantinidis@nord.no

Mercado y mercadeo de productos acuícolas

Elaboración de productos pesqueros a partir de especies cultivadas [↗ \(ver\)](#)

Bertha Elena Figuera García, Ana Mercedes Cabello, Osmicar Vallenilla

 Bertha Elena Figuera García E-Mail: berthafiguera2014@gmail.com

Pesca y administración pesquera

Situación actual y proyecciones futuras de las pesquerías multiespecíficas de peces en la región Suroriental de Cuba [↗ \(ver\)](#)

Romina Alzugaray, Rafael Puga, Servando Valle, Aracely Hernández, Eduardo Boné, Kristin Kleisner, Tracey Manguin, Kendra Karr

 Romina Alzugaray E-Mail: romina.am@gmail.com

Análisis de la cadena de valor del camarón de cultivo en Cuba: Propuestas de mejora [↗ \(ver\)](#)

Dayana Dellundé Granja, Gustavo Arencibia Carballo, Blanca Blanco Campins

 Dayana Dellundé Granja E-Mail: ddellunde22@gmail.com

Caracterización de la pesquería de *Callinectes sapidus* en el Lago de Maracaibo [↗ \(ver\)](#)

Randy J. Guerrero-Rios, Nancy Teresa Hernández Pulgar, Glenys Andrade de Pasquier

 Randy J. Guerrero-Rios E-Mail: Randyguerrero@gmail.com

Evaluación espacio temporal de la distribución y abundancia de tres especies de gasterópodos marinos asociados a la pesquería en el eje Punta Araya-Chacopata, estado Sucre [↗ \(ver\)](#)

Diosmary Del Valle Maiz Maestre, Mariela Narvaez, Baumar Marin (✉)

 Diosmary Del Valle Maiz Maestre E-Mail: diosmarymaiz1@gmail.com

Evaluación del reclutamiento de la langosta (*P. argus*) en la región suroriental de Cuba [↗ \(ver\)](#)

Ofelia Morales Fadragas, Romina Alzugaray Martínez, Nazario Luis Bante

 Ofelia Morales Fadragas E-Mail: ofelia2005@gmail.com

Estandarización de la CPUE del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) de la flota Palangrera Venezolana en el Mar Caribe y Atlántico suroeste (1991-2018) [↗ \(ver\)](#)

Mariela Narvárez Ruiz, Mayra Jennifer Alarcón, Eucaris Evaristo, Jesús Marcano, Xiomara Gutiérrez, Freddy Arocha

 Mariela Narvárez Ruiz E-Mail: mnarvaezruiz@gmail.com

Programa de ingeniería pesquera. UNEFM [↗ \(ver\)](#)

Marcos Antonio Núñez Chirinos

 Marcos Antonio Núñez Chirinos E-Mail: profmanuchi3011@gmail.com

Sustentabilidad de explotación y acuicultura

Avances para implementar la acuicultura marina multitrófica integrada de granjas comerciales a escala de paisaje en el sur de Chile [↗ \(ver\)](#)

Stefany Aurora Camelo-Guarín, Carlos Molinet Flores, Doris Soto Benavides

 Stefany Aurora Camelo-Guarín E-Mail: scameloguarin@gmail.com

Estudio de las comunidades bacterianas presentes en un sistema acuícola integrado de la macroalga *Ulva lactuca* y camarón blanco *Litopenaeus vannamei* [↗ \(ver\)](#)

Regina Elizondo González, Alexia Omont, Eduardo Quiroz Guzmán, Alberto Peña Rodríguez

 Regina Elizondo González E-Mail: relizondo@cibnor.mx

Effects of novel feed formulations in growth performance, oxidative and immune response in Atlantic salmon [↗ \(ver\)](#)

Ana Margarida Fernandes, Luis E.C Conceição, Gabriella V. Pereira, Guilia Micallef, Johan Johansen, Prabhugouda Siriyappagouder, Jorge M.O. Fernandes

 Ana Margarida Fernandes E-Mail: amrvf95@gmail.com

Evaluando la bioseguridad en instalaciones de acuicultura [↗ \(ver\)](#)

Arnaldo Figueredo

 Arnaldo Figueredo E-Mail: arnaldo.jose.figueredo@gmail.com

Sistemas sostenibles para el desarrollo acuícola [↗ \(ver\)](#)

Mercedes Isla Molleda, Herbert Benedicto Loria Souza, Jorge Arturo Tello Cetina, Eduardo Raúl Flores Gutiérrez

 Mercedes Isla Molleda E-Mail: merislamo40@gmail.com

EXTRUMAR: innovaciones y desarrollo en acuicultura [↗ \(ver\)](#)

Grupo Quintá

 Grupo Quintá E-Mail: irene.lodeiros@gmail.com

Calibración y ajuste de un modelo de capacidad de carga para acuicultura marina en viveros flotantes del litoral mediterráneo español [↗ \(ver\)](#)

Francisca Romero Peral, Pablo Sánchez Jerez, Gloria Martínez Milán, Victoria María Fernández González, María Del Mar Agraso Martínez, Kilian Toledo Guedes

 Francisca Romero Peral E-Mail: frp13alu.ua@gmail.com

La acuicultura integrada multitrófica como estrategia para el cultivo de pepino de mar *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867) [↗ \(ver\)](#)

Lorena Monserrat Sosa Basto, Miguel Ángel Olvera Novoa

 Lorena Monserrat Sosa Basto E-Mail: loresosabasto@gmail.com

Caracterizacion morfometrica del camaron de salmuera *Artemia de Cuba* (ver)

Rafael Tizol Correa

 Rafael Tizol Correa E-Mail: rafael.tizol@gmail.com

Exploration of circRNA , miRNA and mRNA expression to identify their role in growth regulation in Nile tilapia (ver)

Golam M Rabbani, Artem Nedoluzhko, Prabhugouda Siriyappagouder, Joost Andre M Raeymaekers, Jorge Galindo-Villegas, Jorge Manuel de Oliveira Fernandes

 Golam M Rbbani E-Mail: golam.rbbani@nord.no



Consulte ediciones anteriores en:

VII FIRMA, 2014 <https://doi.org/10.5281/zenodo.4732656>

IX FIRMA, 2019 <https://doi.org/10.5281/zenodo.5162401>



**Foro
Iberoamericano
de los
Recursos
Marinos y la
Acuicultura**

*Sinergia entre ciencia e industria para el
desarrollo y la sostenibilidad*

Memorias en extenso
Proceedings **2021**

ISBN: 978-84-09-32773-7

