

Caracterización del paisaje sonoro asociado a la comunidad de aves como una propuesta para el establecimiento de un Corredor Biológico Interurbano en la microcuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica.

Proyecto de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales.

B.Sc. Roberto José Vargas Masís

**Campus Omar Dengo
Heredia, 2021**



“

Si no puedes volar entonces corre, si no puedes correr entonces camina, si no puedes caminar entonces arrástrate, pero sea lo que sea que hagas, sigue moviéndote hacia adelante

- (Martin Luther King Jr.)



Pandion haliaetus

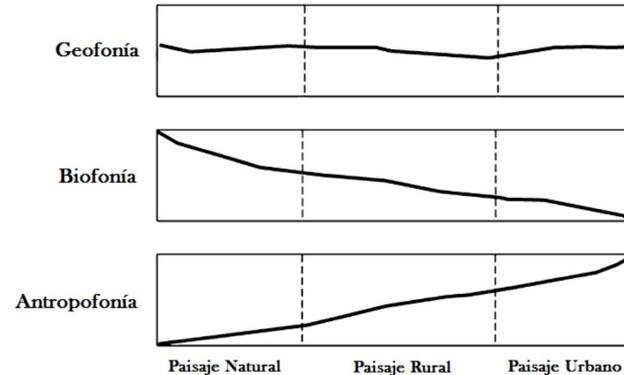
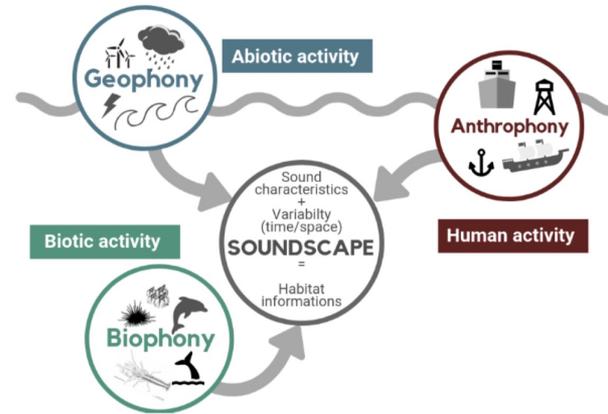
Introducción

- ◎ Presiones por contaminación atmosférica y sónica (Weber y Litschke, 2008).
- ◎ Eventos que afectan la composición y estructura de la avifauna (Peris y Montelongo, 2014).
- ◎ Corredor Biológico Interurbano (CBI) es una “Extensión territorial ... que interconecta microcuencas, tramos verdes de las ciudades ... y/o áreas silvestres protegidas” (Decreto 40043-MINAE, 2016).
- ◎ El monitoreo acústico de la avifauna surge como una técnica de alto valor ecológico (Blumstein et al., 2011).



Introducción

- En un ecosistema la comunidad biológica se relaciona en un medio natural biótico y abiótico en el que el ambiente acústico forma parte fundamental (Armenteras et al., 2016).
- Las aves son consideradas bioindicadoras dada su interacción con los recursos bióticos y abióticos del ecosistema (Gregory et al., 2003; Herrando, Weiserbs, Quesada, Ferrer y Paquet, 2012).



Ecología acústica (Oro-Blanco, 2017)

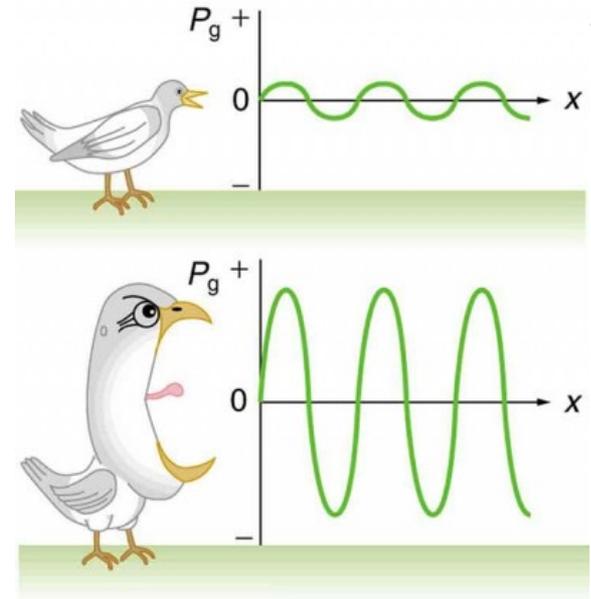
Planteamiento del problema

- © ¿La caracterización del paisaje sonoro asociado a la comunidad de aves en la microcuenca del río Bermúdez puede ser de utilidad para brindar recomendaciones en el establecimiento de un CBI?



Justificación

- ⦿ Papel de las aves al mantener una alta riqueza y diversidad en las áreas urbanas (Peris y Montelongo, 2014).
- ⦿ Mecanismos de adaptación a ambientes complejos en las áreas urbanas (Bermúdez-Cuamatzin, Ríos-Chelén, Gil y García, 2009).
- ⦿ Establecimiento de Corredores Biológicos Interurbanos (CBI) en la GAM (Romero-Vargas, Piedra-Castro, Villalobos-Chacón, Marín-Monge, y Núñez-Obando, 2011; Trujillo-Acosta et al., 2017; Solano-Monge, 2017).
- ⦿ Legislación inexistente en la regulación de parámetros acústicos que afecte a la fauna.



Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la comunidad de aves con relación al paisaje sonoro mediante índices biológicos y acústicos como una propuesta para el establecimiento de un Corredor Biológico Interurbano en la microcuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica.



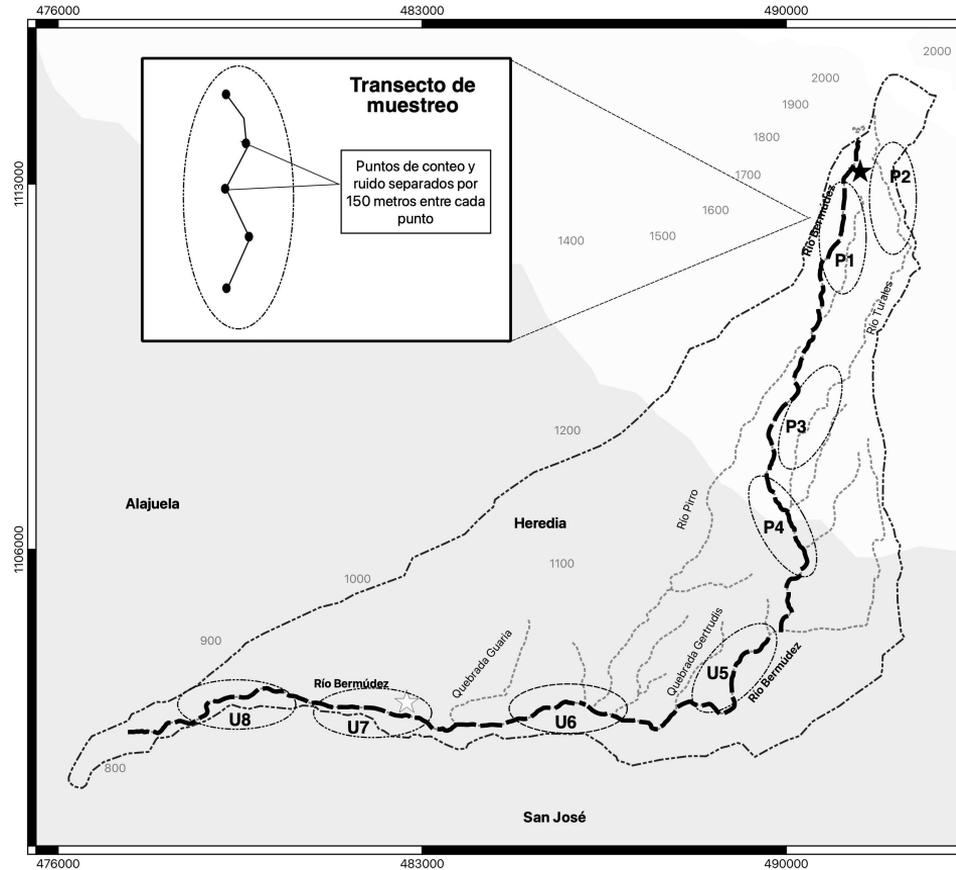
Setophaga fusca

Objetivos específicos:

- Caracterizar el paisaje sonoro de la zona urbana y periurbana asociadas a la comunidad de aves de la microcuenca del río Bermúdez.
- Analizar la variación de la riqueza y abundancia de la comunidad de aves a lo largo de la microcuenca del río Bermúdez.
- Establecer la relación de las variaciones en riqueza y abundancia asociadas a la comunidad de aves y las características del paisaje sonoro en la microcuenca del río Bermúdez.
- Aportar recomendaciones sobre el uso del paisaje sonoro en el proceso de establecimiento y evaluación de Corredores Biológicos Interurbanos.

Sitio de Estudio

Nombre	Código	Zona	Altitud
Monte de la Cruz	P1	Periurbana	1731
Turales	P2	Periurbana	1853
Cafetal 1	P3	Periurbana	1317
Cafetal 2	P4	Periurbana	1220
La Valencia	U1	Urbana	1107
Universidad Nacional	U2	Urbana	977
Pedregal 1	U3	Urbana	903
Pedregal 2	U4	Urbana	906



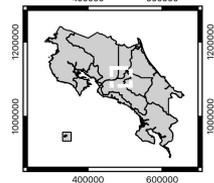
- Simbología**
- Río Bermúdez
 - - - Afluentes del río Bermúdez
 - Microcuenca del río Bermúdez
 - Anillo Urbano
 - Provincias
 - Transectos de muestreo
- Periurbano
- P1 --> Monte de la Cruz
 - P2 --> Turales
 - P3 --> Cafetal 1
 - P4 --> Cafetal 2
- Urbano
- U1 --> La Valencia
 - U2 --> Universidad Nacional
 - U3 --> Pedregal 2
 - U4 --> Pedregal 1

Proyección CRTM05
Datum WGS84

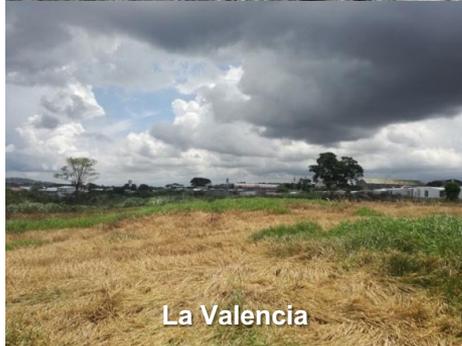
Ríos 1:500000 (Atlas 2014)
Relieve (Atlas 2014)
Anillo Urbano (PRUGAM 2014)
Provincias (Atlas 2014)

Elaborado por:
Roberto Vargas Masís
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

Abril, 2021



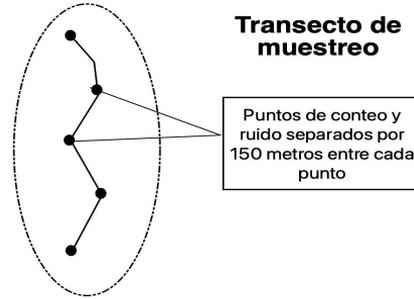
Zona Periurbana



Zona Urbana

Metodología

- 6 visitas de campo de junio 2018 a febrero 2019.
 - 5:00 – 8:00 a.m. → orden aleatorio por sitio y por punto
- Conteos de aves – Metodología de doble observador - 10 min (Nichols et al., 2000; Bibby et al., 1992; Ralph et al., 1997; Sutherland, 2006).
- Grabación del paisaje a 44.1 kHz y resolución de 16 bits - 10 min (Blaze, 2009; Retamoza-Izaguirre et al., 2018).
- Medición de ruido (Bermúdez-Cuamatzin et al., 2009; Decreto 32692-S, 2005).



Metodología

Indicadores biológicos

- ⊙ Riqueza específica
- ⊙ Abundancia
- ⊙ Índice de diversidad Shannon (H')
- ⊙ Índice de dominancia de Simpson (D')
- ⊙ Índice de similitud de Jaccard (J')



Protonotaria citrea

Indicadores acústicos

- ⊙ Índice de complejidad acústica (ACI) (Pieretti et al., 2011).
- ⊙ Índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro (NDSI) (Kasten et al., 2012).
- ⊙ Índice de bioacústica (BIO) (Boelman et al., 2007).
- ⊙ Índice de diversidad acústica (ADI) (Villanueva-Rivera et al., 2011).
- ⊙ Índice de paridad (AEI) acústica (Villanueva-Rivera et al., 2011).
- ⊙ Entropía total (TE) (Retamoza-Izaguirre et al., 2018).
- ⊙ Mediana envolvente de la amplitud (MAE) (Retamoza-Izaguirre et al., 2018).
- ⊙ Número de picos (NP) (Retamoza-Izaguirre et al., 2018).
- ⊙ Ruido ambiental (Alfaro-Rojas et al., 2020).

Análisis

- ◎ Supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas para cada índice.
- ◎ Los índices acústicos fueron analizados utilizando el paquete Soundecology (Pijanowski et al., 2011; Villanueva-Rivera et al., 2011). → Paquete Sinax (Ramírez-Alán, 2019).
 - 10 min → promedio → segmentos de 1 min
- ◎ Correlaciones de Spearman entre los índices biológicos con los índices acústicos mediante un ajuste con el método de Bonferroni



Trogon collaris



Resultados

Caracterización de la avifauna

- ◎ 171 especies
- ◎ 41 familias
 - Tyrannidae (22), Parulidae (15), Trochilidae (11) y Thraupidae (9)
- ◎ 1920 minutos muestreo visual/auditivo
 - 240 minutos por sitio
- ◎ 120 especies residentes
 - 18 especies endémicas
- ◎ 33 especies migratorias
- ◎ 18 especies residentes/migratorias (2 inciertas)



Ptylogonys caudatus

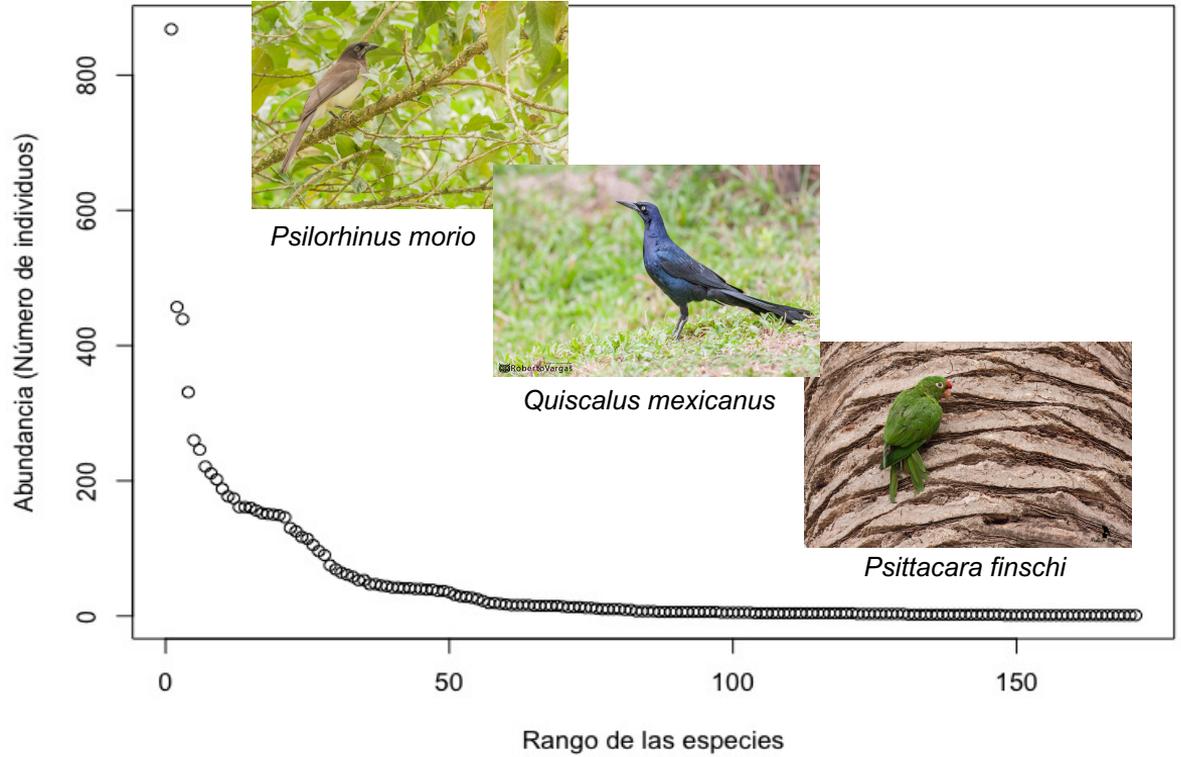


Troglodytes ochaceus



Selasphorus scintilla

Resultados



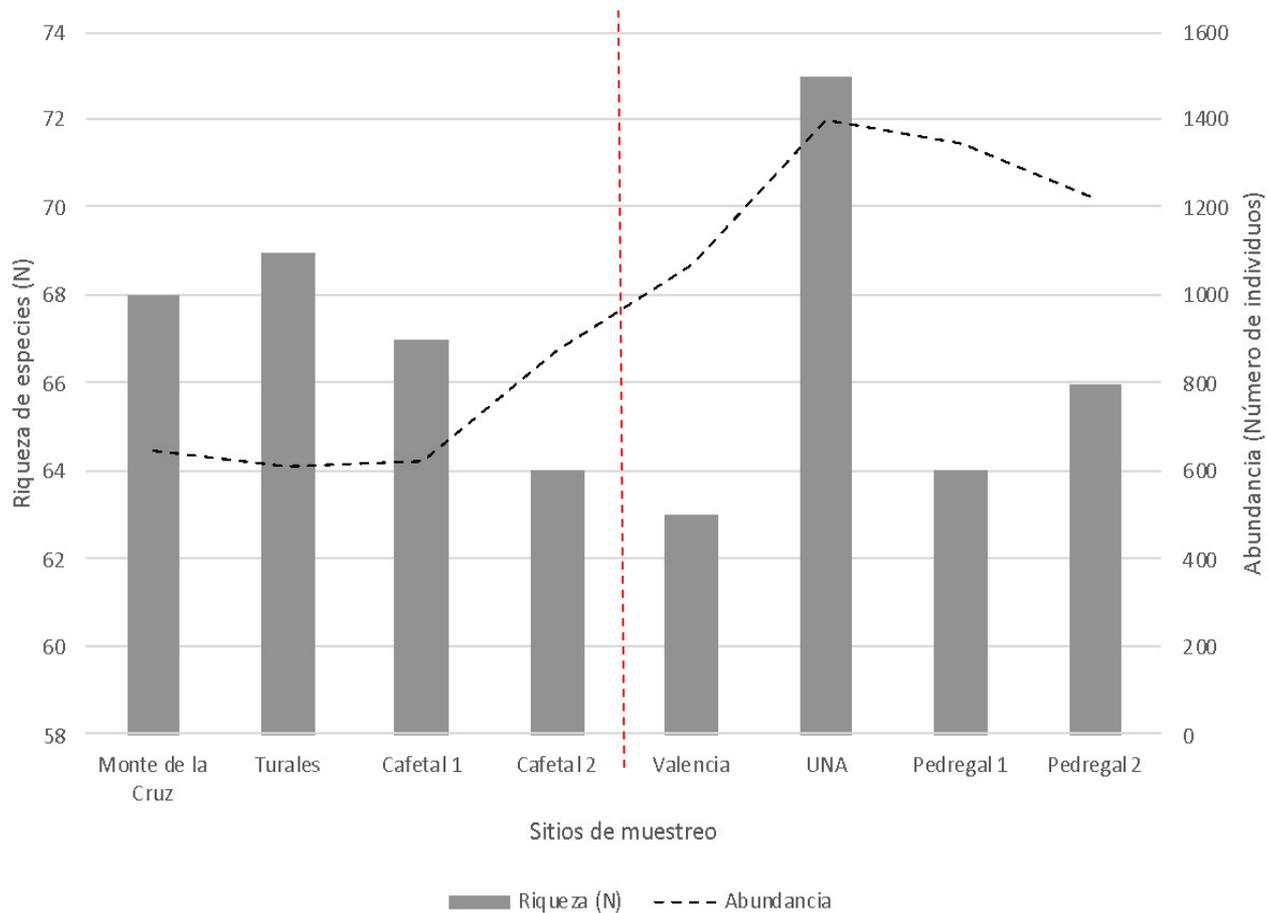
Abundancia de especies según el rango estimado en la microcuenca de río Bermúdez.

Sitio	Riqueza (N)	Índice de Shannon (H')	Índice de Simpson (D')	Índice de Jaccard (J')
Monte de la Cruz	68	3.48537	0.95002	0.82601
Turales	69	3.31228	0.92937	0.78229
Cafetal 1	67	3.61171	0.95893	0.85897
Cafetal 2	64	3.23367	0.91710	0.77753
Valencia	63	3.45086	0.95607	0.83291
UNA	73	3.45972	0.94017	0.80637
Pedregal 1	64	3.24070	0.93250	0.77922
Pedregal 2	66	3.34260	0.93878	0.79782

Zona	Riqueza (N)	Índice de Shannon (H')	Índice de Simpson (D')	Índice de Jaccard (J')
Periurbana	136	4.200687	0.9778415	0.8550747
Urbana	107	4.015173	0.9751232	0.8592597

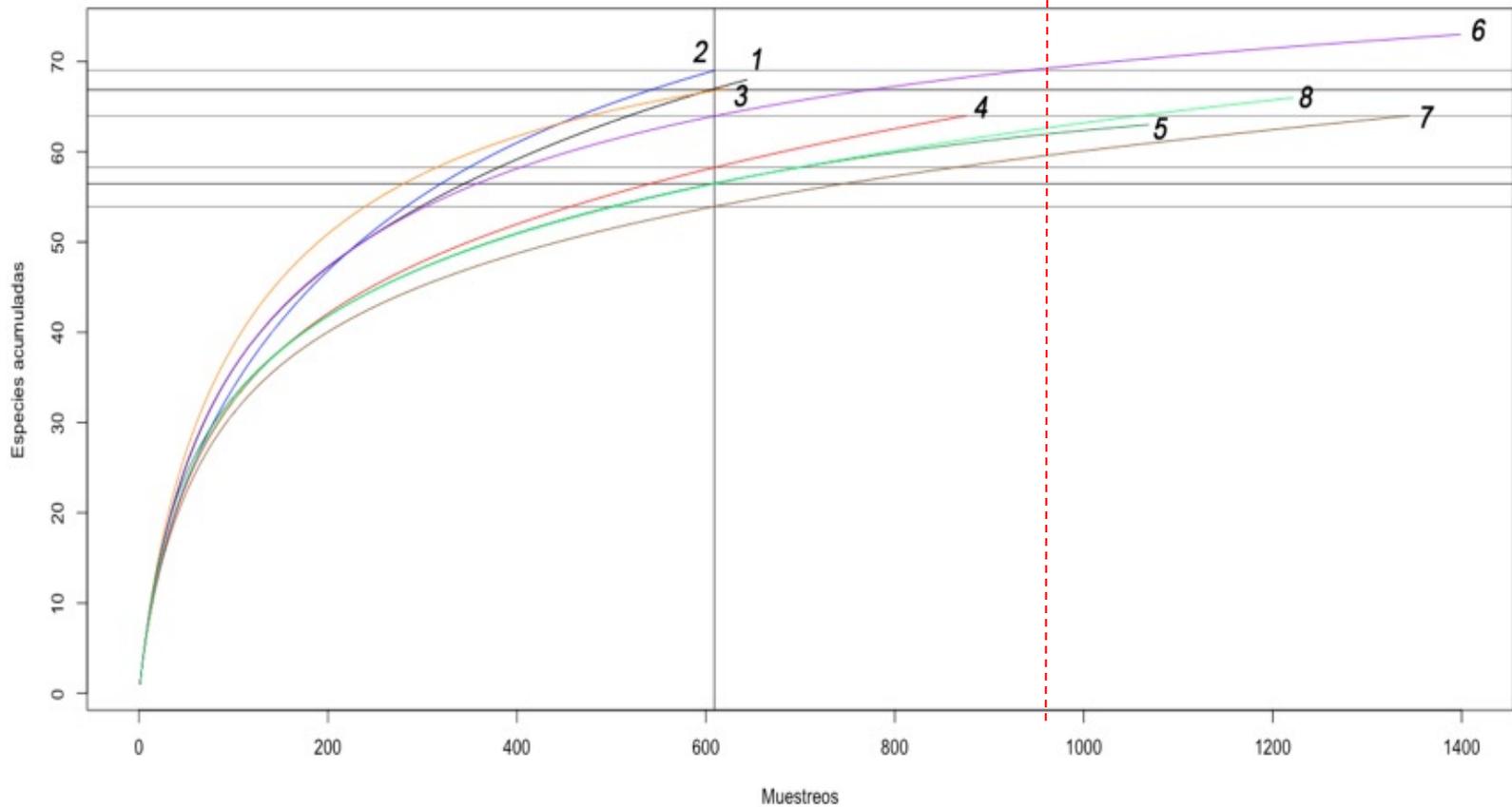


Melanerpes hoffmannii

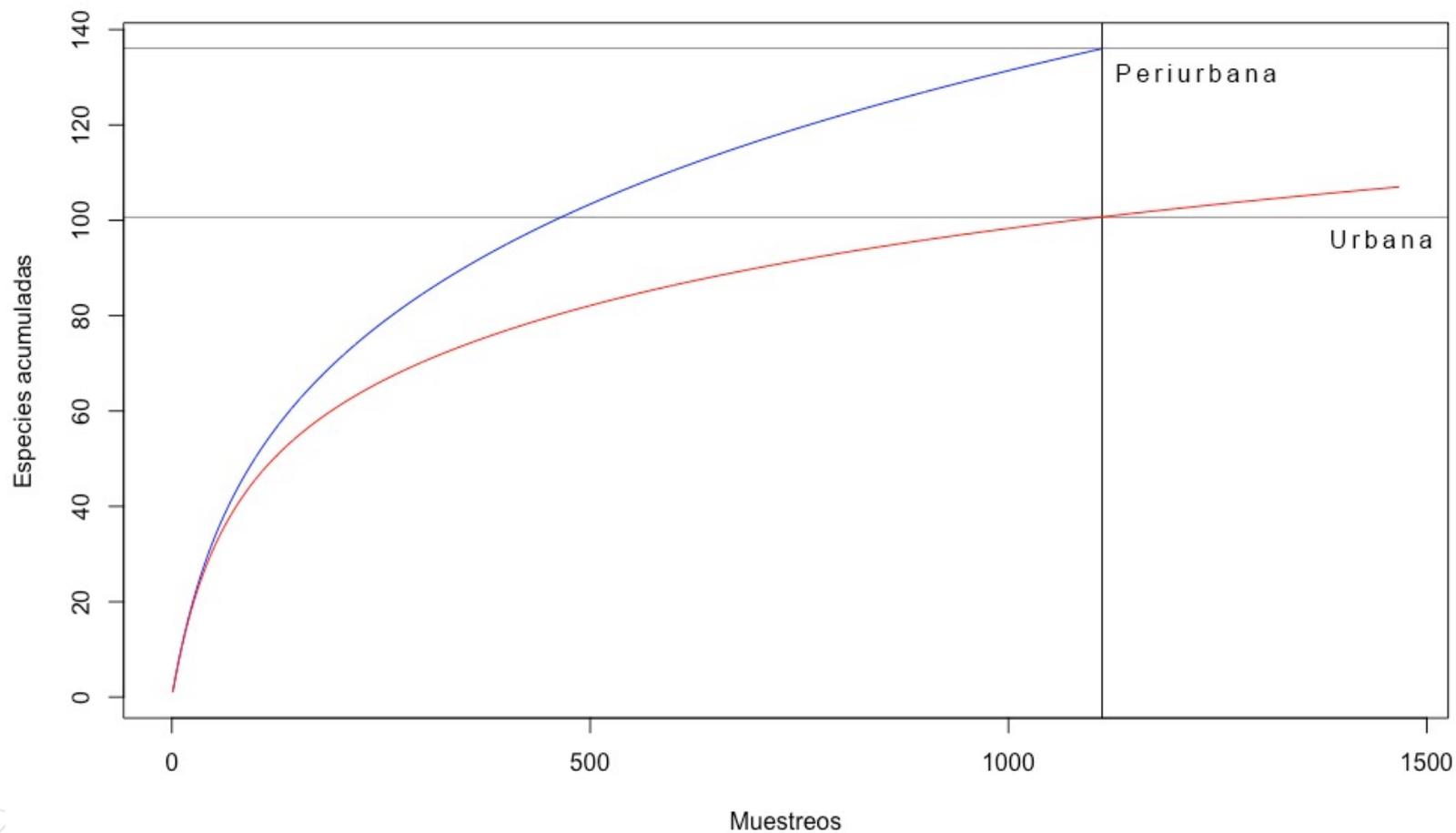


Herpetotheres cachinnans

Relación entre la riqueza de especies y la abundancia de individuos por sitio en la microcuenca del río Bermúdez.



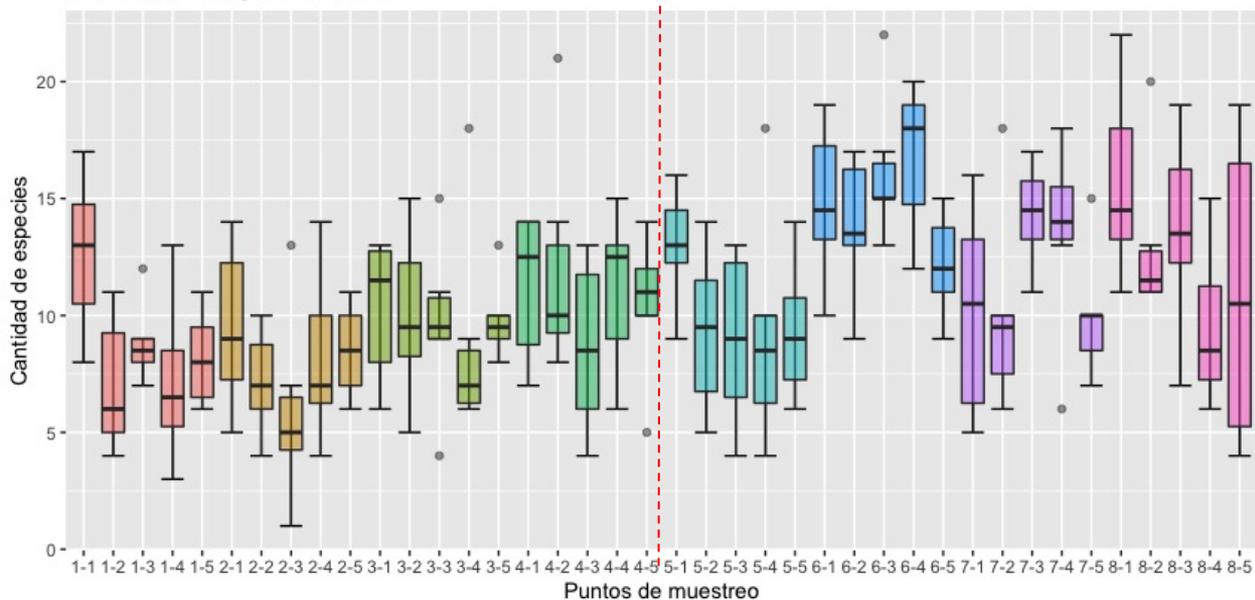
Curva de acumulación de especies por sitio en la microcuenca del río Bermúdez.



Curva de acumulación de especies por zona en la microcuenca del río Bermúdez.

Cantidad de especies por sitio de muestreo

KW = 94, df = 39, p-value = 2e-06



Nombre

- Monte de la Cruz
- Turales
- Cafetal 1
- Cafetal 2
- La Valencia
- UNA
- Pedregal 1
- Pedregal 2



Cantorchilus modestus



Amazilia tzacatl



Parkesia noveboracensis



Índice	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
ACI	781.311	38.899	0.049 %
NDSI	0.081	0.304	3.753 %
BIO	3.759	1.52	0.404 %
ADI	0.713	0.797	1.118 %
AEI	0.747	0.23	0.308 %
TE	0.558	0.208	0.373 %
MAE	0.015	0.055	3,667 %
NP	29.461	10.089	0.342 %
Ruido	53.451	11.868	0.222 %



Butorides virescens



Colibri cyanotus



Buteo jamaicensis

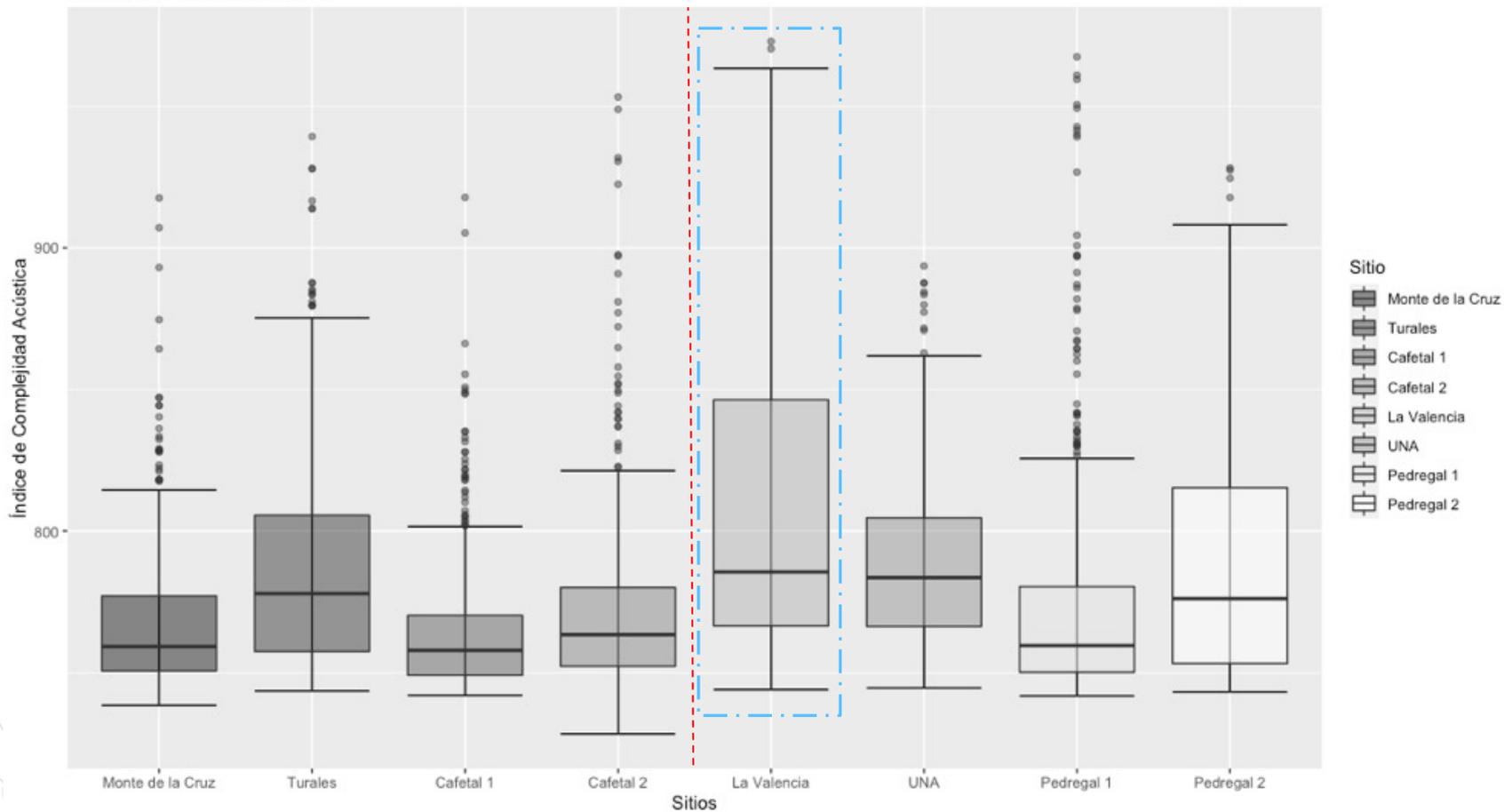


Sayornis nigricans

→ Coeficiente de variación $\leq 80\%$
 Media aritmética es representativa
 del conjunto de datos

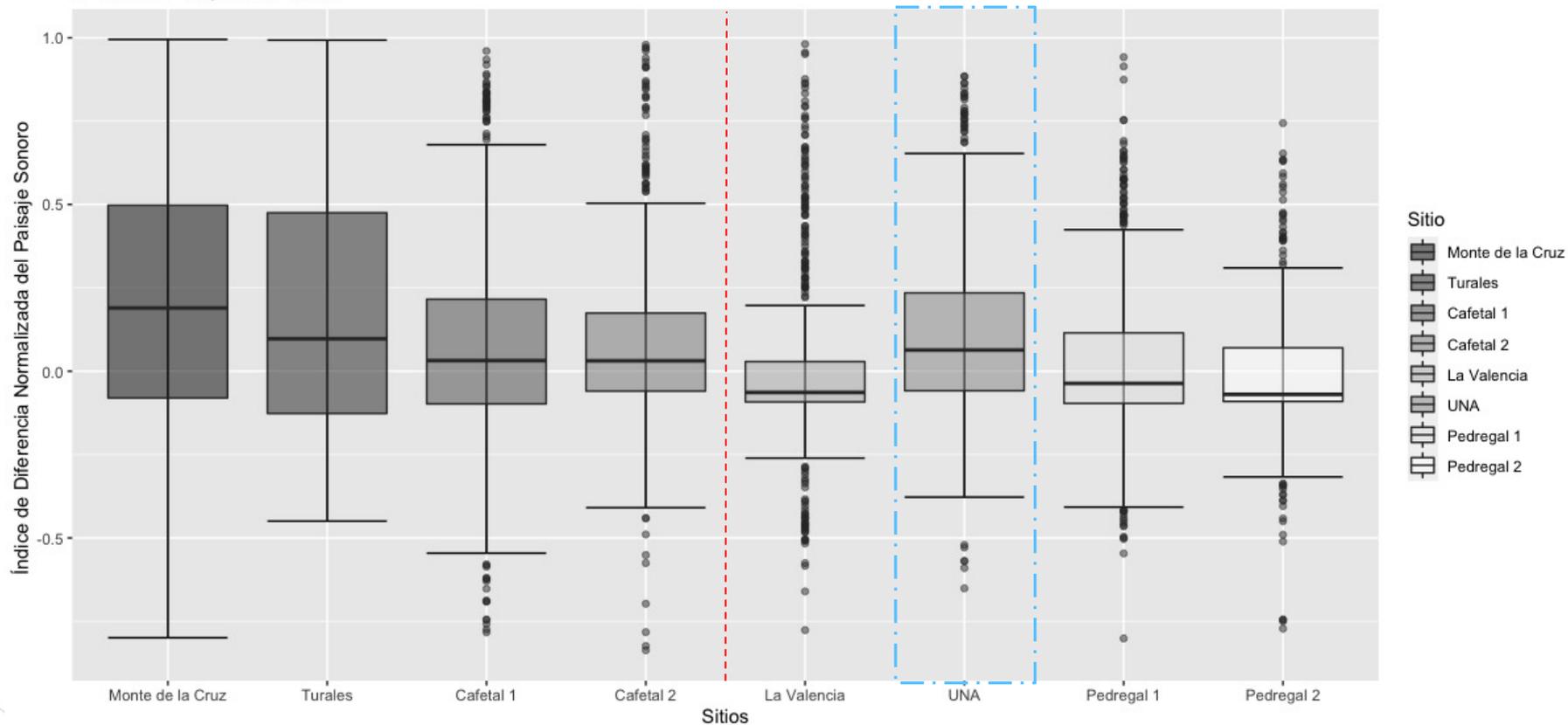
Índice de Complejidad Acústica por sitio de muestreo

H = 672, df = 7, p-value <2e-16



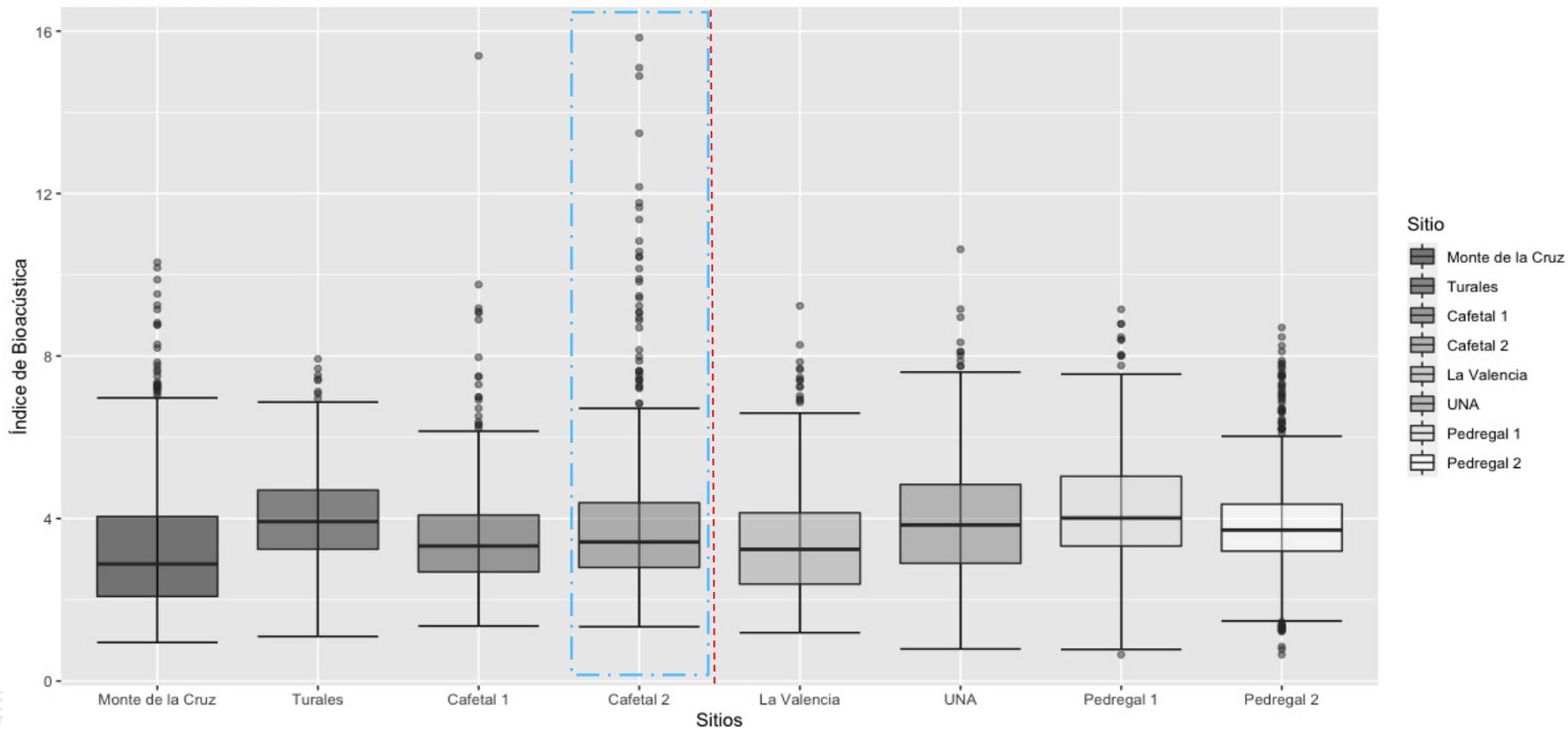
Índice de Diferencia Normalizada del Paisaje Sonoro por sitio de muestreo

H = 268, df = 7, p-value <2e-16



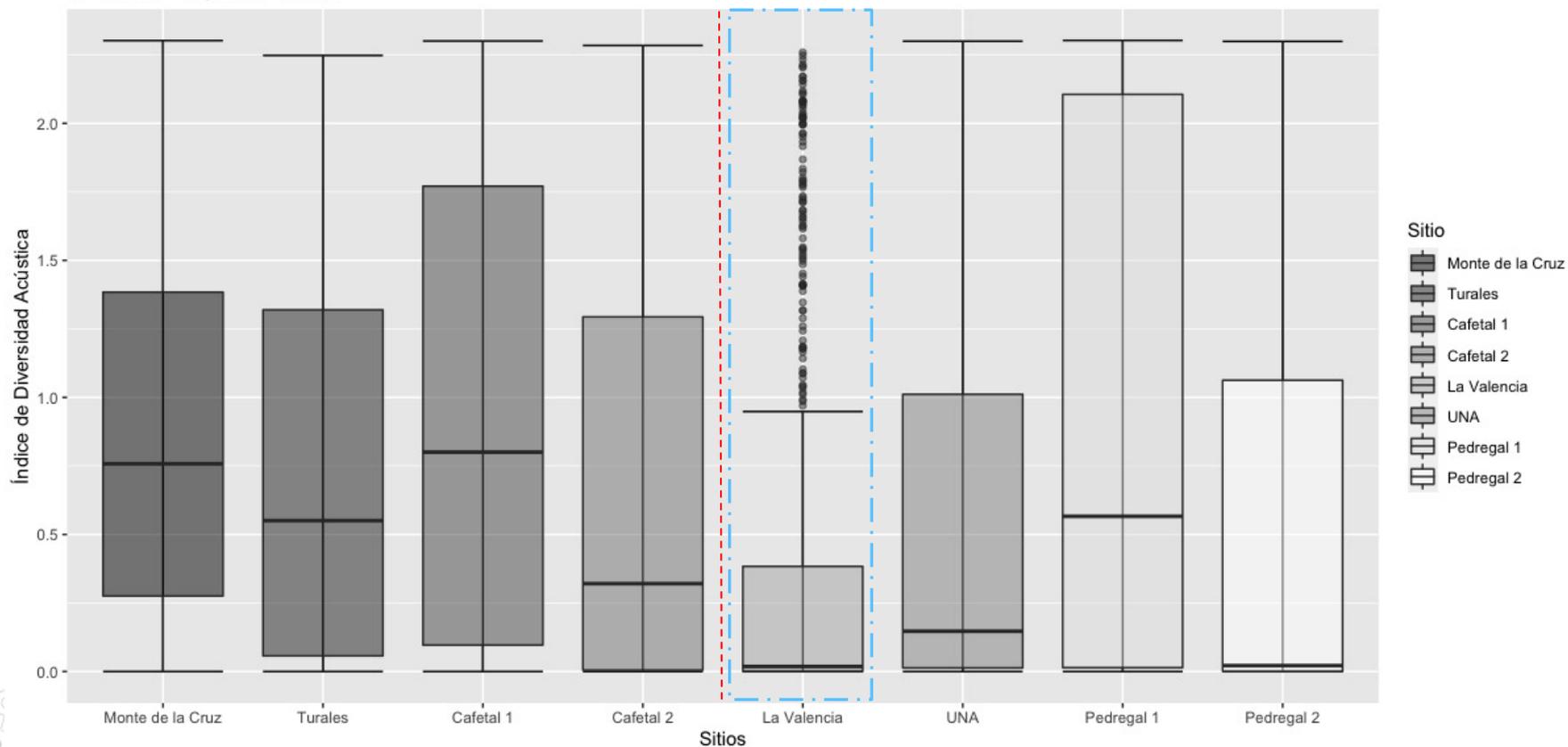
Índice de Bioacústica por sitio de muestreo

H = 269, df = 7, p-value <2e-16



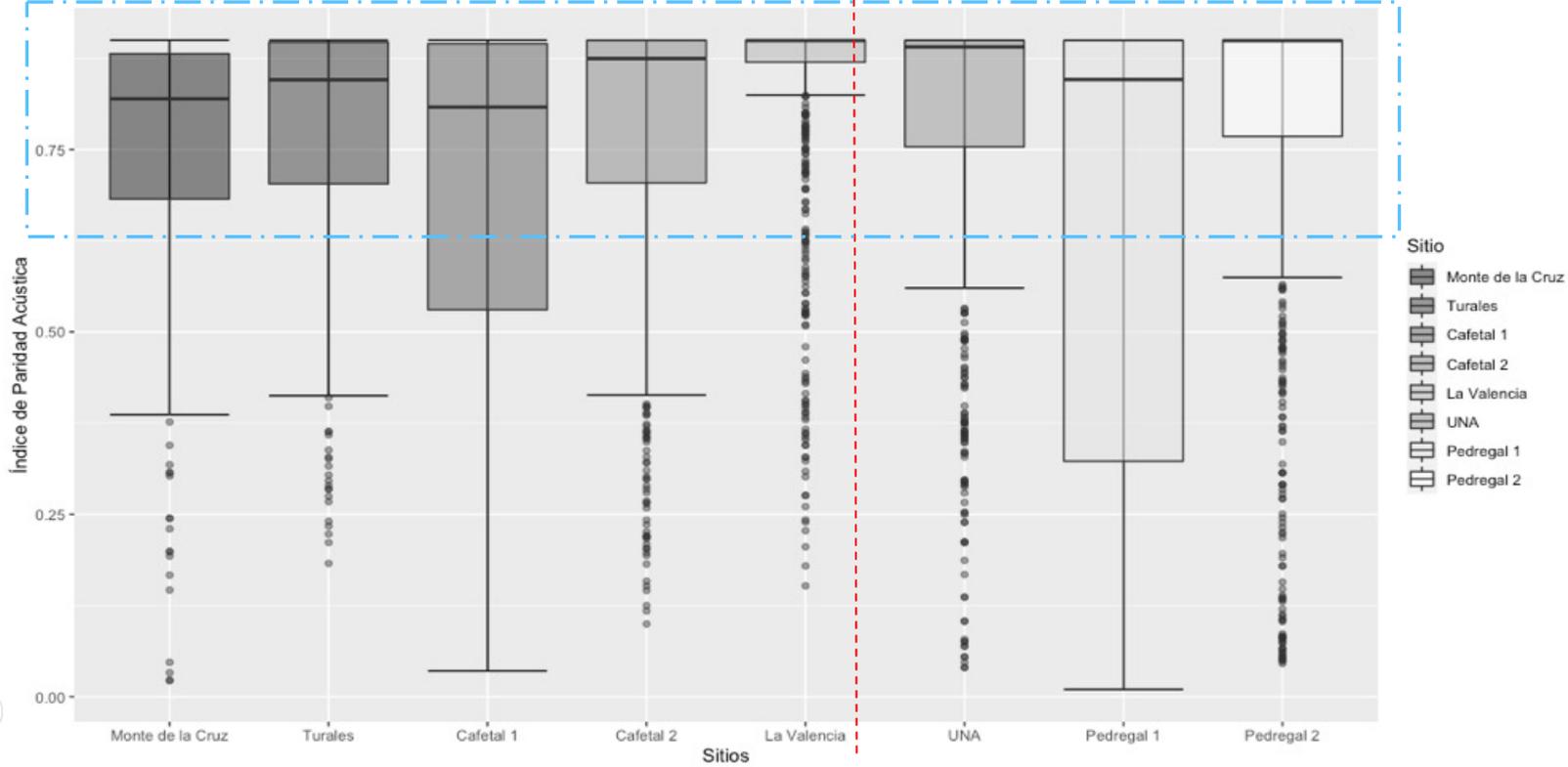
Índice de Diversidad Acústica por sitio de muestreo

H = 404, df = 7, p-value <2e-16



Índice de Paridad Acústica por sitio de muestreo

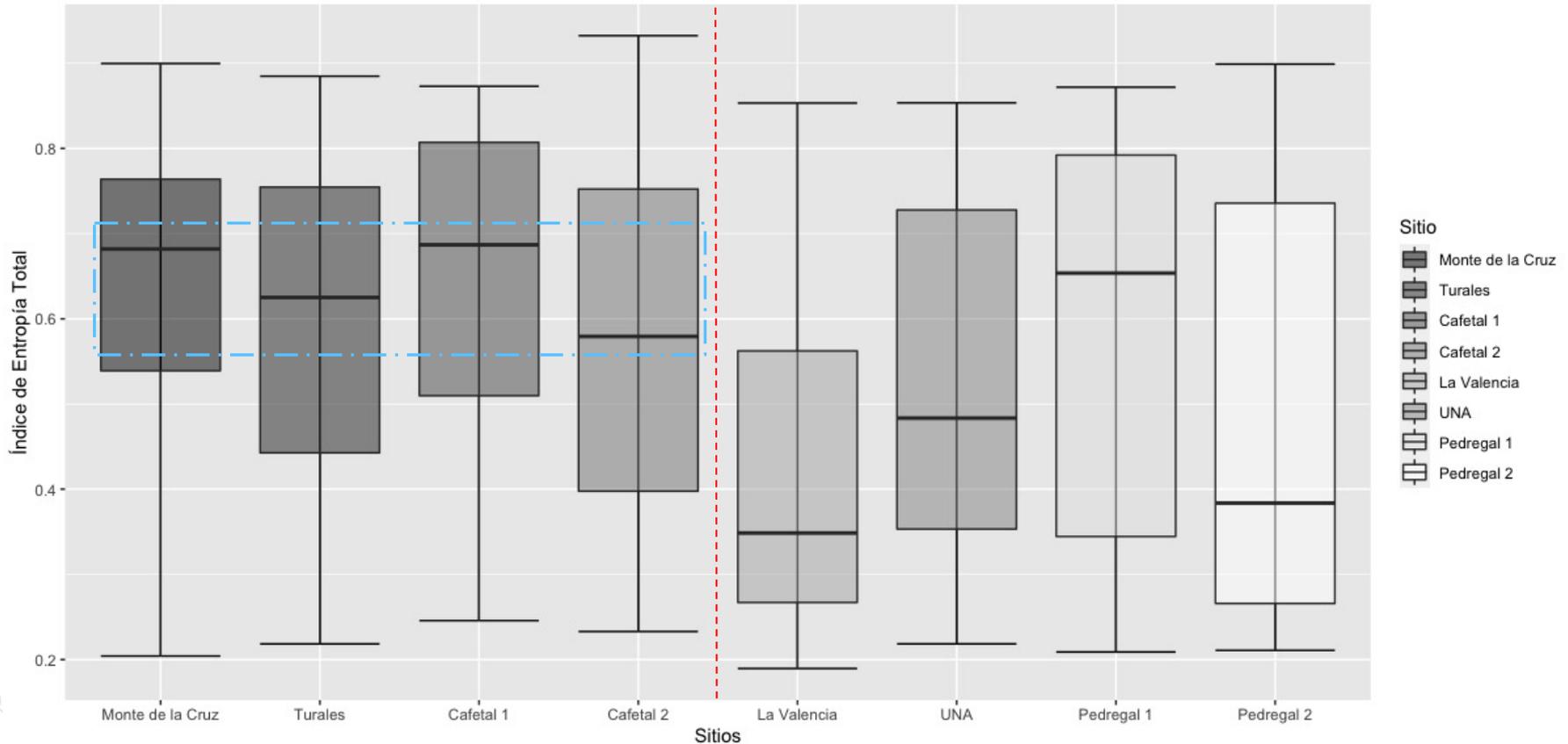
H = 403, df = 7, p-value <2e-16



Sitio	Índice de Jaccard (J')
Monte de la Cruz	0.82601
Turales	0.78229
Cafetal 1	0.85897
Cafetal 2	0.77753
La Valencia	0.83291
UNA	0.80637
Pedregal 1	0.77922
Pedregal 2	0.79782

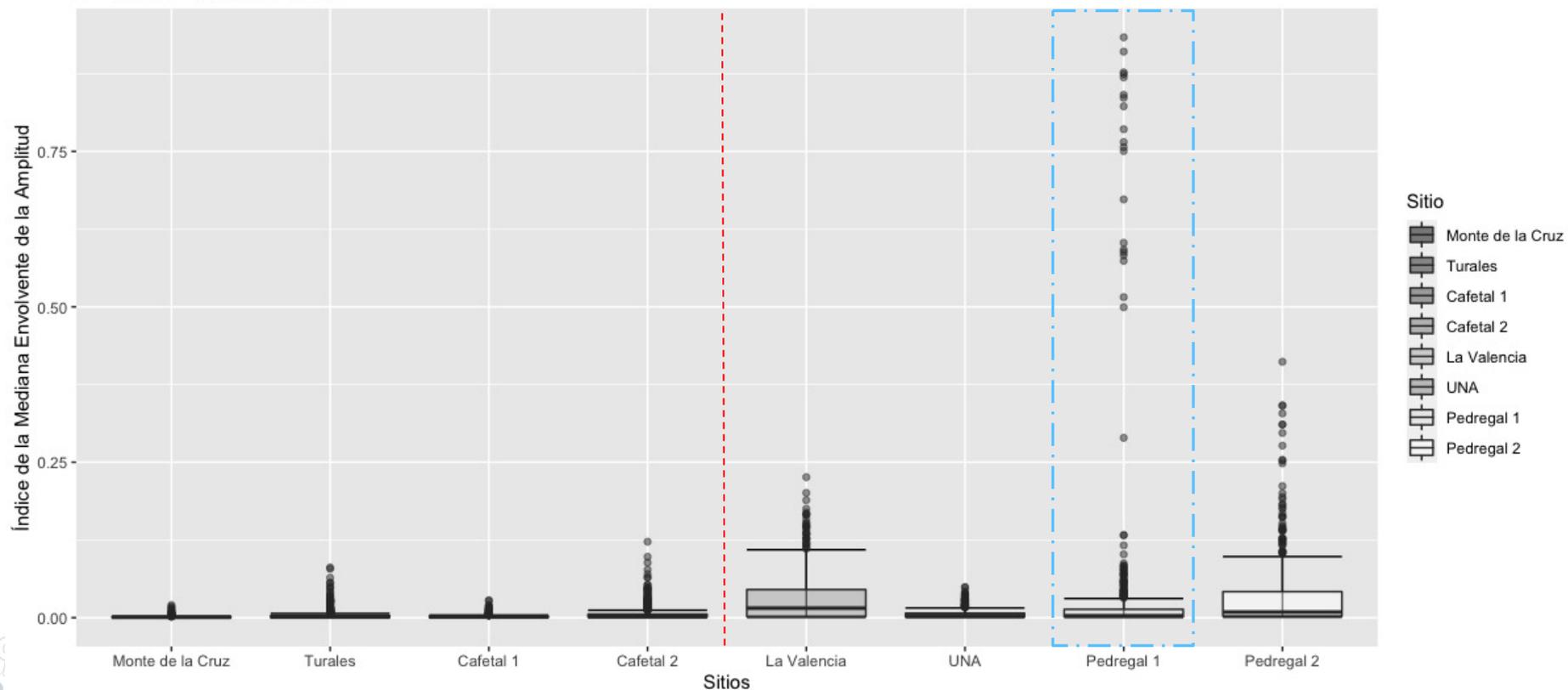
Índice de Entropía Total por sitio de muestreo

H = 565, df = 7, p-value <2e-16



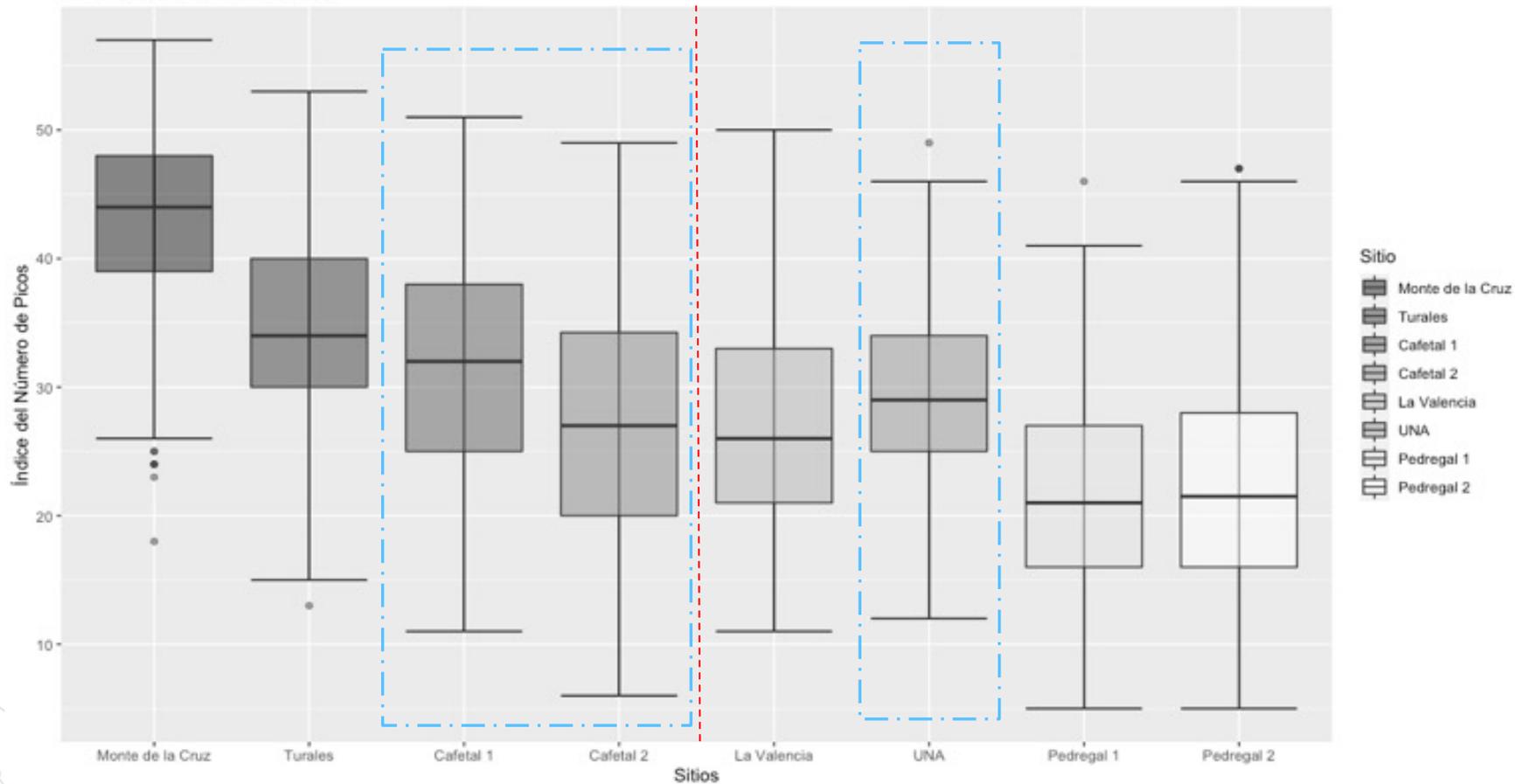
Índice de la Mediana Envolvente de la Amplitud por sitio de muestreo

H = 268, df = 7, p-value <2e-16



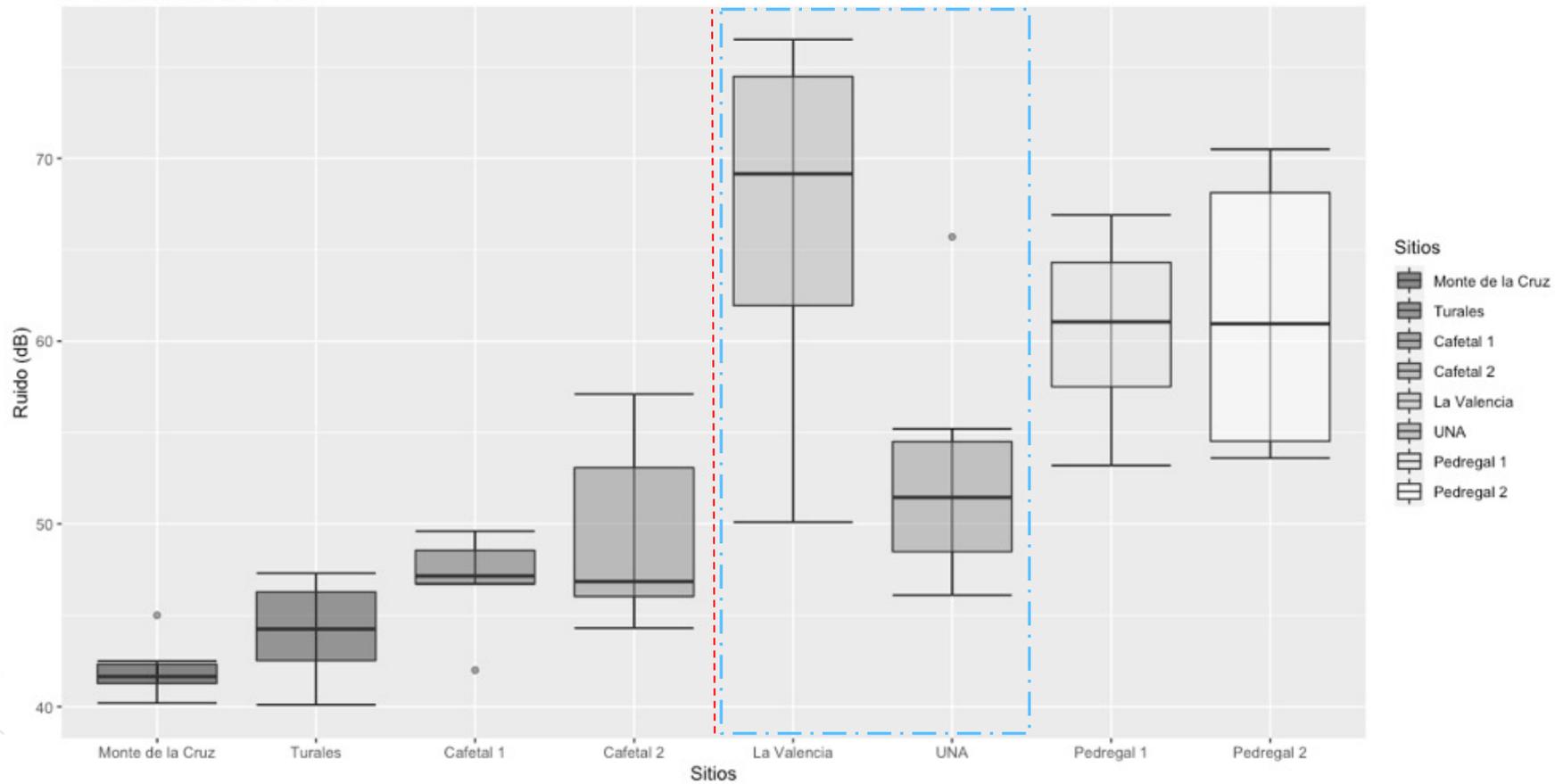
Índice del Número de Picos por sitio de muestreo

H = 1836, df = 7, p-value <2e-16



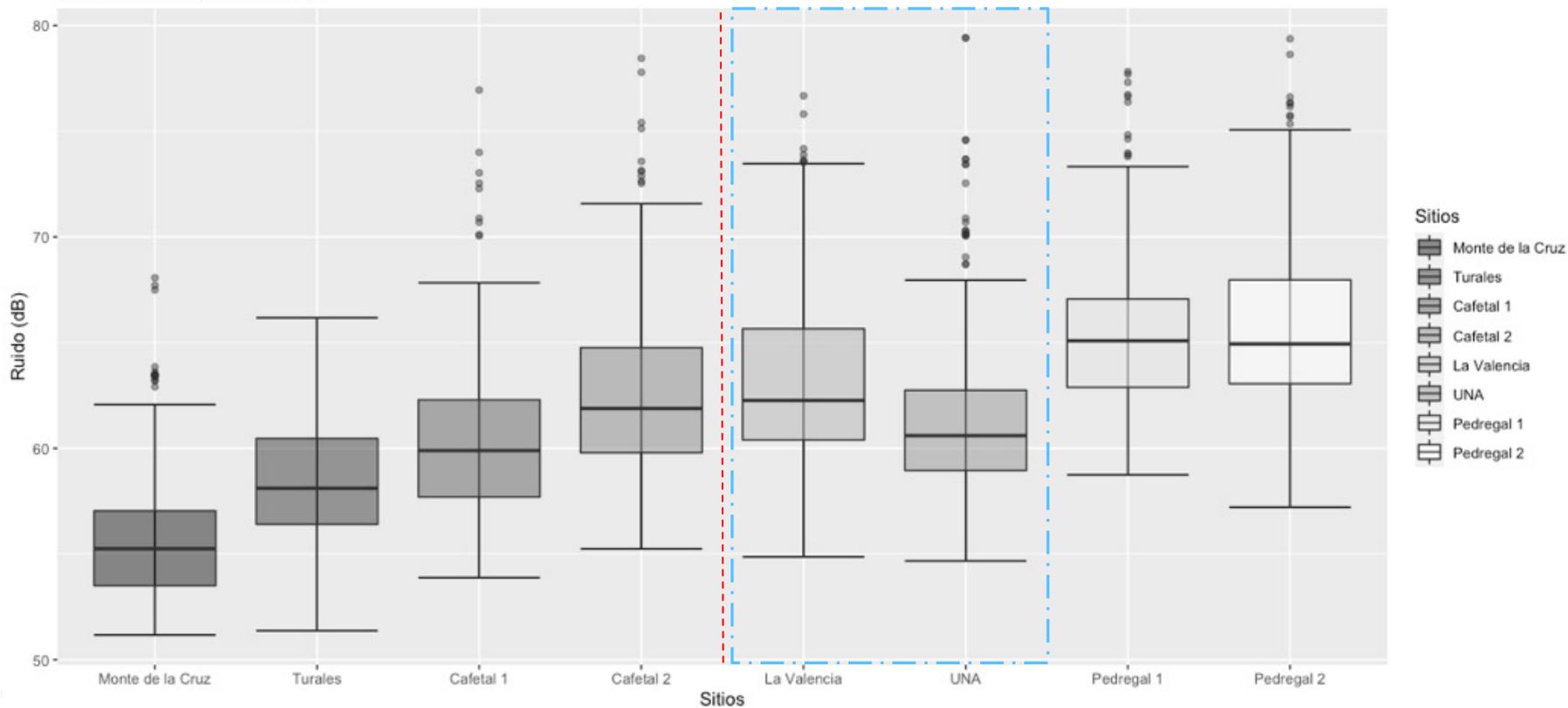
Ruido del sonómetro por sitio de muestreo

H = 36, df = 7, p-value = 7e-06



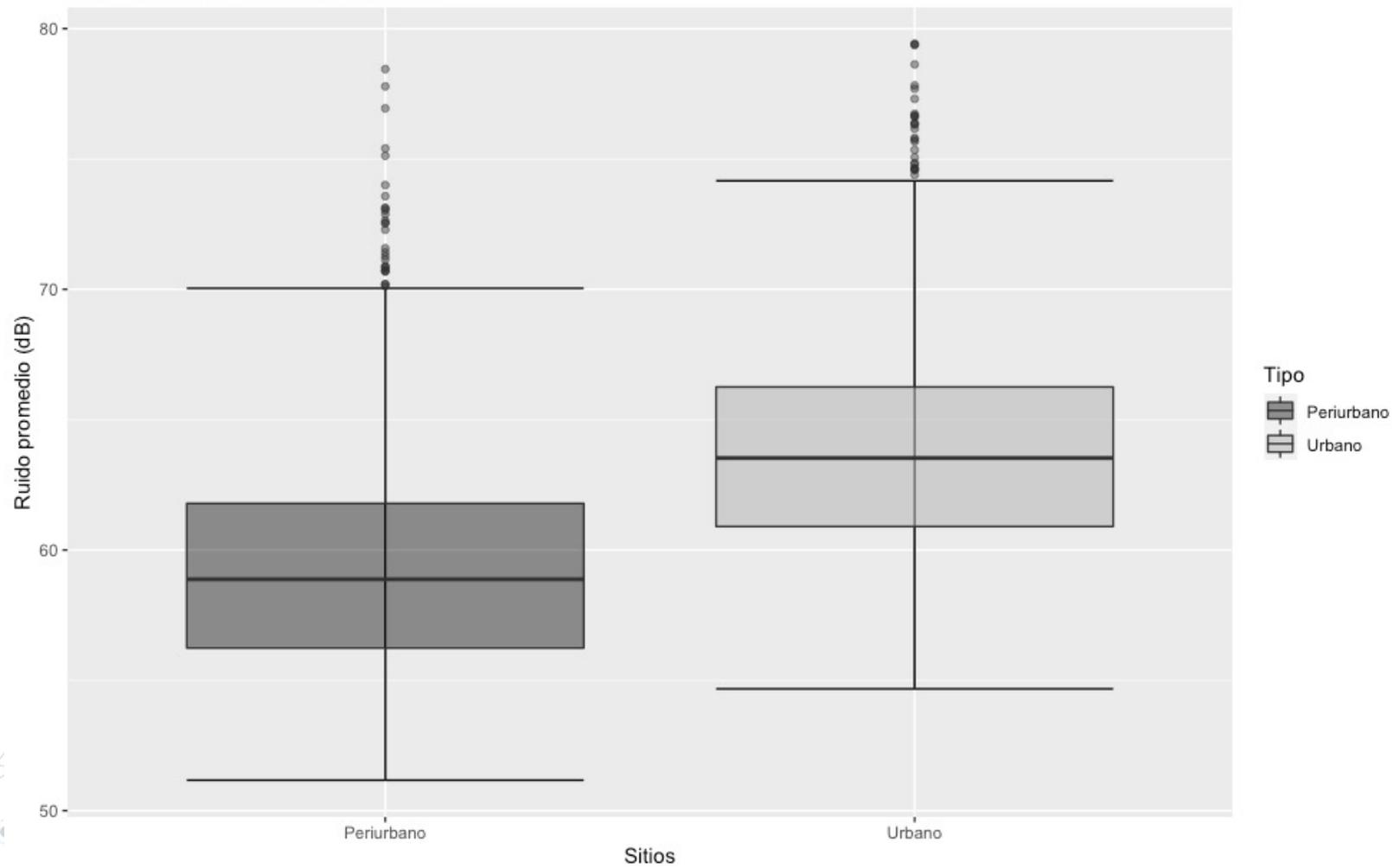
Ruido de las grabaciones por sitio de muestreo

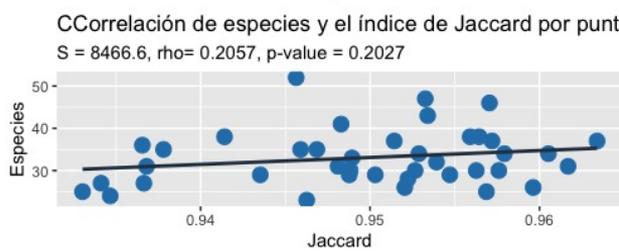
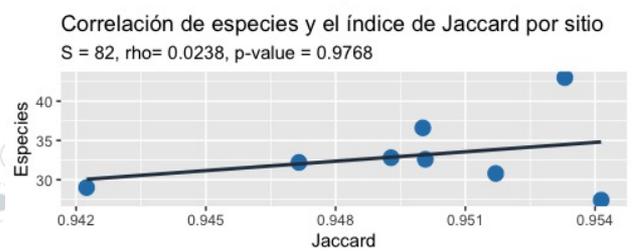
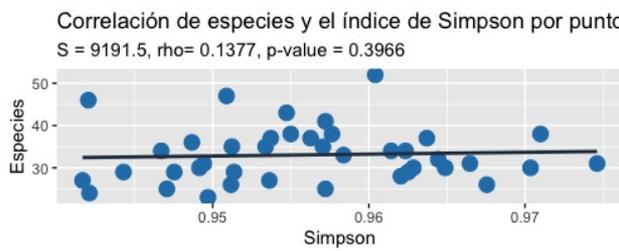
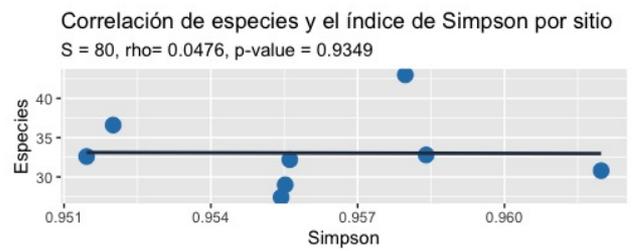
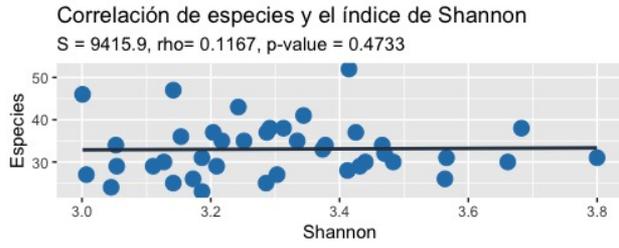
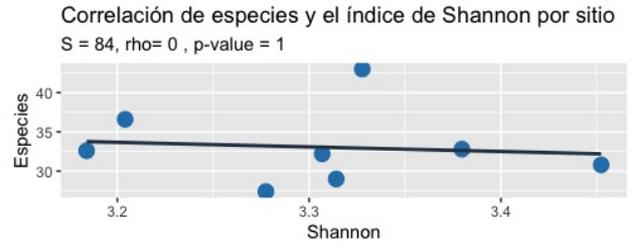
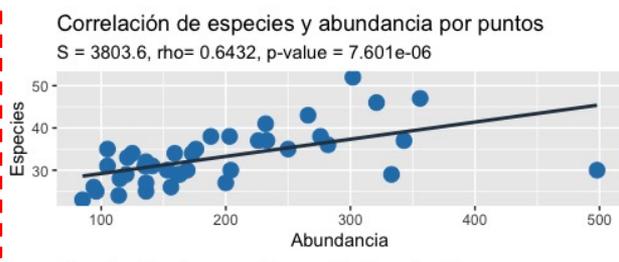
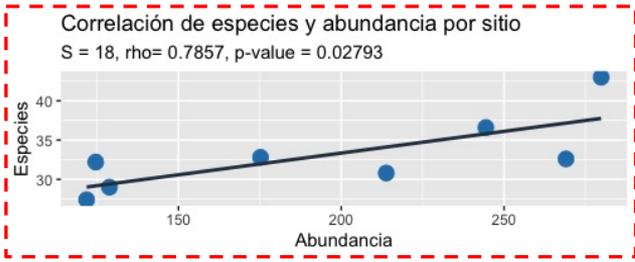
H = 2348, df = 7, p-value <2e-16



Ruido promedio (dB)

KW = 1267.3, df = 1, p-value < 2.2e-16

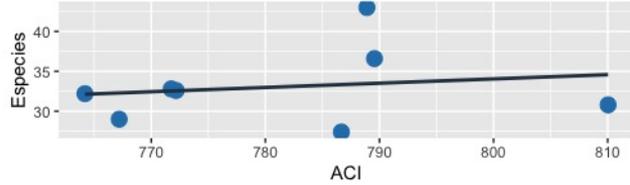




Aulacorhynchus prasinus

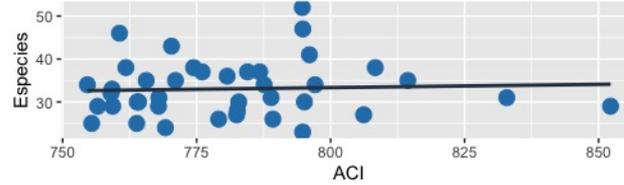
Correlación de especies y el índice ACI por sitio

S = 64, rho= 0.2381, p-value = 0.5821



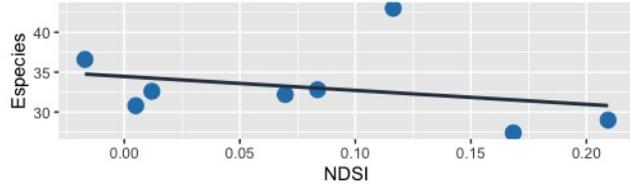
Correlación de especies y el índice ACI por puntos

S = 9401.5, rho= 0.1181, p-value = 0.4681



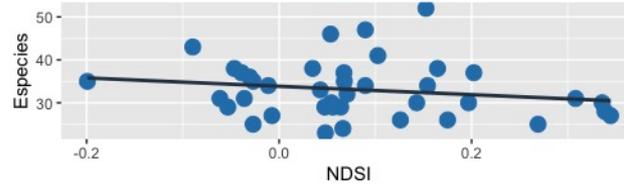
Correlación de especies y el índice NDSI por sitio

S = 118, rho= -0.4047, p-value = 0.3268



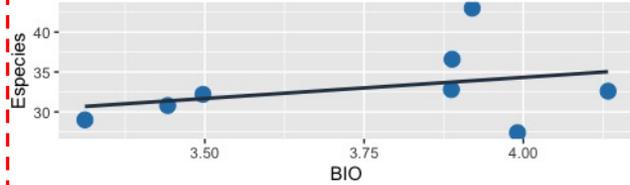
Correlación de especies y el índice NDSI por puntos

S = 12633, rho= -0.1851, p-value = 0.2529



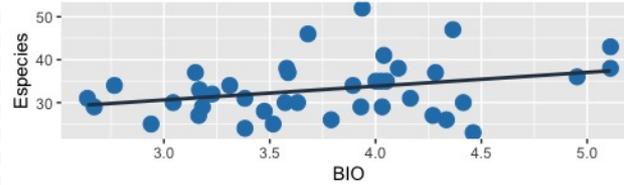
Correlación de especies y el índice BIO por sitio

S = 60, rho= 0.2857, p-value = 0.5008



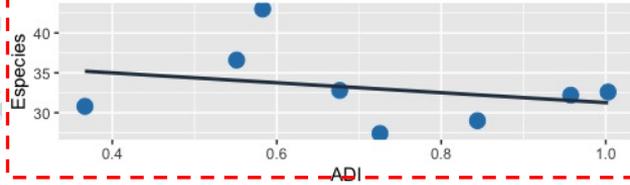
Correlación de especies y el índice BIO por puntos

S = 7589.8, rho= 0.2880, p-value = 0.07152



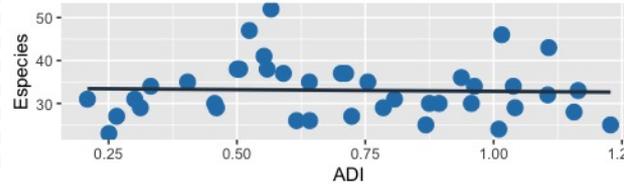
Correlación de especies y el índice ADI por sitio

S = 108, rho= -0.2857, p-value = 0.5008



Correlación de especies y el índice ADI por puntos

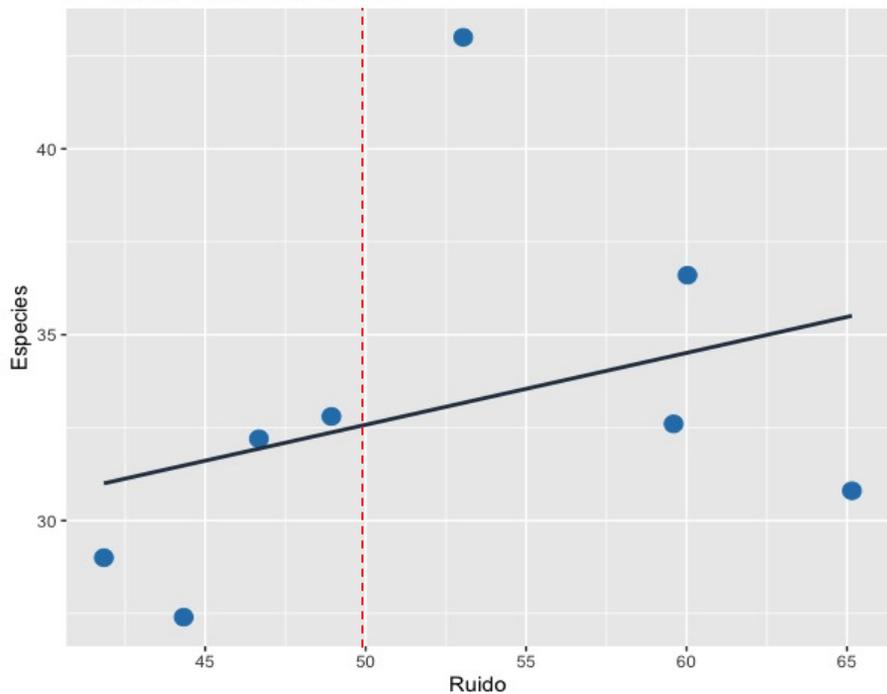
S = 11388, rho= -0.0683, p-value = 0.6752



Accipiter bicolor

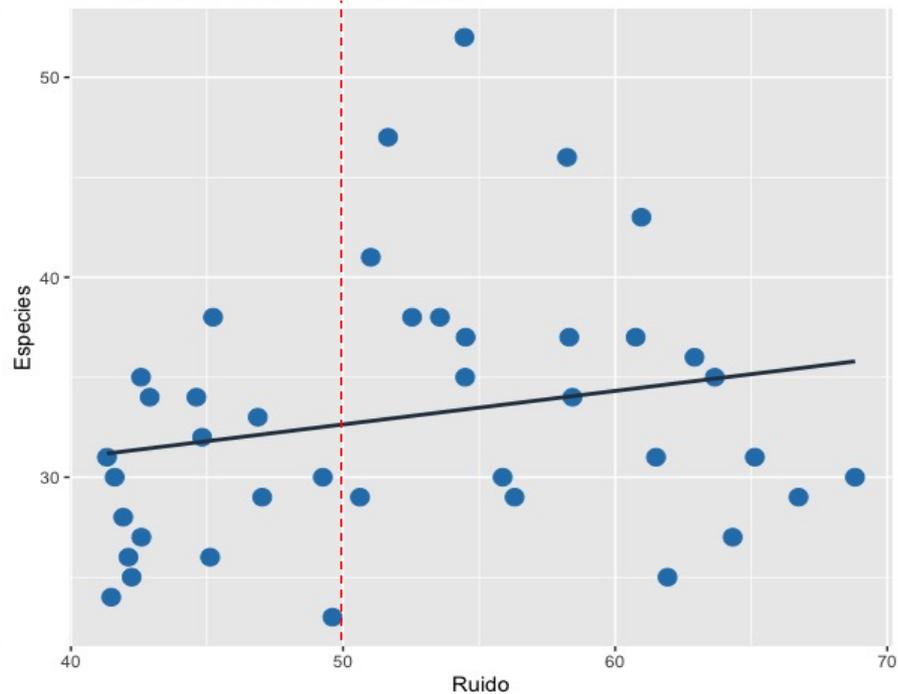
Correlación de especies y el Ruido Ambiental por sitio

S = 42, rho= 0.5, p-value = 0.2162



Correlación de especies y el Ruido Ambiental por puntos

S = 7950.5, rho= 0.2542, p-value = 0.1135



Objeto	Atributo clave	Indicador	Consideraciones	Referencia
Aves	Riqueza	Número de especies	Mide la cantidad de especies en un sitio. Es un buen indicador tanto para áreas urbanas y periurbanas. Se debe considerar que la riqueza dependerá de múltiples factores por lo que es importante no tratarlo como un indicador aislado sino como un complemento y destacar especies claves en ecosistemas particulares que sirvan para monitorear cambios en estos espacios.	Larsen, Sorace, y Mancini, 2010; Trujillo-Acosta, Peraza-Estrella, Marina-Hipólito, y Boraschi, 2017; Suri et al., 2017.
	Abundancia	Cantidad de individuos	Mide el número de individuos tanto por especie como en su totalidad en la comunidad. Es un indicador que debe de ser tratado con cuidado principalmente ya que es sensible a factores como la estacionalidad, recursos alimenticios, sitios de percha, entre otros. La cobertura verde se encuentra fuertemente relacionado al número de individuos de una especie y de la comunidad de aves.	Puan et al., 2019; Schulze, Leidinger, Paces y Páez, 2019.
	Especies	Especie clave	Dado a que la riqueza y abundancia varían por múltiples factores es importante destacar especies claves tanto por su uso de hábitat, así como su historia natural que permitan realizar monitoreos de cambios en el ecosistema. Estas especies deben proveer información total o parcialmente como indicadora de los sistemas ecológicos de manera precisa y sencilla.	Salvador-Rodríguez, 2019.
		Estatus	Describe el estatus como especie residente, migratoria o endémica. La proporción de cada una en el ecosistema puede ser un importante descriptor de la comunidad de aves que permita apoyar la justificación para la protección de los hábitats tanto en distintos períodos del año dados los movimientos altitudinales y latitudinales de las especies así la importancia de protección en el caso de las especies endémicas.	Vargas-Masís, Piedra-Castro y Bravo-Chacón, 2017; Rodríguez y Granados, 2017.



Melospiza cabanisi



Momotus lessonii



Grallaria guatemalensis



Cistothorus platensis

Discusión

- ⊙ Alta riqueza de aves
 - CBI Río Torres – 169 sp. (Sánchez-Sibaja, Valle-Hidalgo, Feoli-Boraschi y Murillo-Muñoz, 2016).
 - Microcuenca Río Pirro – 40 sp. (Ovares-Campos y Cordero-Ardón, 2012).
 - Parques urbanos – 40 sp. – 82 sp. (Fallas-Solano, 2017; Obando-Calderón et al., 2014).
- ⊙ Avifauna decrece hacia la zona urbana. → Sitio UNA (Proppe et al., 2013).
- ⊙ Varios microhábitats concentrados vrs microhábitats dispersos → Hipótesis de heterogeneidad del hábitat (Servat et al., 2018; Kennedy y Marra, 2010).



Thripadectes rufobrunneus

Discusión

- ◎ Tipo de cobertura
 - Bosques, potreros, cafetales, pastizales, cultivos y usos urbanos
 - Cafetales y tacotales → mayor riqueza de aves comparado con áreas abiertas, agrícolas o urbanas (Arendt, Tórrez y Vílchez, 2012).
- ◎ Establecimiento de CBI´s se consideran múltiples variables: biológicas, físicas, sociales, económicas, entre otras.
- ◎ Variable Biofísica → Sonido
 - Ruido enmascara las señales acústicas, interfiere en la comunicación y la detectabilidad (LaZerte et al. 2015).



Pitangus sulphuratus

Discusión

- ◎ Relación índices biológicos y acústicos continúa en estudio → valor relacionado a la actividad vocal (no considera especies que no vocalizan).
- ◎ ACI → Turales, Valencia y UNA - valores de riqueza
 - Ruido antropogénico y viento degradan y enmascaran las biofonías (Farina, Pieretti y Malavasi, 2014).
- ◎ NDSI → Gradiente de disminución en valores al acercarse al núcleo urbano.
 - Correlación significativa y positiva con la sonidos antropogénicos y geofónicos (Fairbrass et al., 2019).
- ◎ BIO → Tendencia a valores más altos donde la riqueza de aves fue mayor, sin un patrón marcado.
 - Ruido ambiental proveniente de geofonías como el viento (de Camargo-Barbosa, Rodewald, Ribeiro y Jahn, 2020).



Turdus grayi

Discusión

- ◎ ADI → Poca diversidad acústica (especies)
 - Umbral de -50 dB. Afectado por geofonías y antropofonías (Villanueva-Rivera et al., 2011; Sagastume-Pinto, 2018).
- ◎ AEI → Valores promedio equitativos similar a los mostrados en el índice de Jaccard.
 - Efecto por las geofonías y las antropofonías (Villanueva-Rivera et al., 2011; Bolaños-Sittler y Villatoro-Paz, 2016).
- ◎ TE → Valores más altos en sitios periurbanos. Acorde a la heterogeneidad biológica.
 - Afectado por sonidos en el rango de las vocalizaciones de las aves (Suer et al., 2008; Fuller et al., 2015; Caycedo-Rosales y González, 2018).



Piranga rubra

Discusión

- ◎ MAE → Valores altos y fuera del promedio donde la riqueza fue menor.
 - Útil para reflejar niveles de ruido ambiental (Depraetere et al., 2012; Retamosa-Izaguirre et al., 2020).
- ◎ NP → Menor cantidad de picos de frecuencias hacia el gradiente urbano.
 - Útil para identificar disturbios específicos (Gasc et al., 2013; Gómez, Isaza y Daza, 2018).
- ◎ Ruido → Aumento de ruido hacia la zona urbana.
 - Valores entre 45.2 y 67.9 dB en bosques expuestos a ruido urbano y valores entre 57.4 a 74.8 dB en espacios verdes de áreas urbanas (Duarte et al., 2015; LaZerte et al., 2015).



Oreothlypis peregrina

Conclusiones

- ⦿ La riqueza y abundancia de aves sigue siendo un indicador importante para establecer sitios de importancia de conservación a lo largo de la microcuenca.
- ⦿ El sitio UNA presentó la mayor riqueza y abundancia de especies a lo largo del río Bermúdez. Características ecológicas particulares dentro de la matriz urbana pudieron influir en este aporte a la microcuenca.
- ⦿ Geofonías como el viento y la corriente de agua presentes en la mayoría de los sitios pudieron afectar el desempeño de algunos índices.



Doryfera ludovicae

Conclusiones

- ① ACI, ADI, AEI son útiles para describir el ambiente acústico a lo largo de la microcuenca, ya que están asociados al rango de frecuencias de las vocalizaciones de las aves.
- ① BIO y NDSI relacionan la proporción de sonidos biofónicos y antropofónicos en el ambiente. Considerados índices útiles para caracterizar la microcuenca.
- ① MAE, NP y Ruido son indicadores útiles en caso de evaluar el ruido de origen antropogénico a lo largo de la microcuenca y permiten identificar eventos acústicos extremos



Vireo flavifrons

Conclusiones

- © Los índices acústicos evaluados aportaron evidencias que respaldan las hipótesis del gradiente acústico y biológico desde la zona alta (boscosa) hasta la zona urbana.
- © Tanto el estudio de la comunidad de aves como del paisaje sonoro pueden ser herramientas útiles y complementarias para el establecimiento de CBI río Bermúdez ya que evalúan la perspectiva biofísica el ambiente.



Vanellus chilensis

Recomendaciones

- ⦿ Colocar la(s) grabadora(s) a una distancia de al menos 50 metros de la orilla del río para evitar la sobresaturación por el ruido del agua.
- ⦿ Monitorear mediante repeticiones en cada una de las coberturas presentes en el CBI.
- ⦿ Variar los horarios de muestreo para lograr captar la mayoría de la variación acústica del sitio.
- ⦿ Considerar que algunos de los índices evaluados poseen una relación con los rangos de frecuencia de las vocalizaciones de las aves.
- ⦿ Ampliar a una mayor cantidad de sitios de estudio a lo largo del gradiente altitudinal y urbano que permita identificar puntos estratégicos para la conservación.



Glaucidium brasilianum

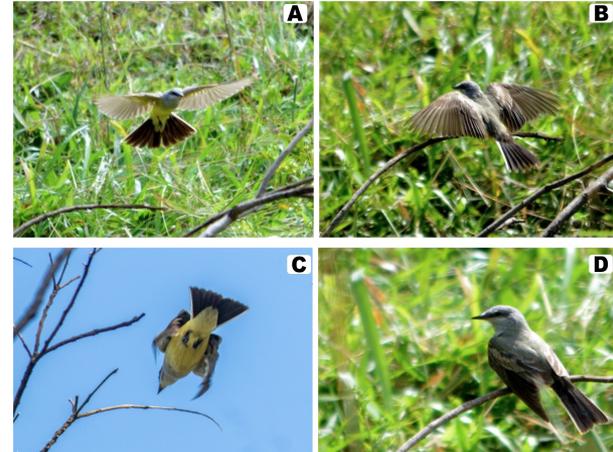


Recomendaciones

- ⦿ Promover investigaciones sobre el efecto del ruido en las vocalizaciones en el gradiente altitudinal y urbano que aporten medidas de conservación las especies en la microcuenca.
- ⦿ Generar actividades de participación ciudadana que fomente la conservación de las especies y su interacción con el paisaje sonoro circundante.
- ⦿ Considerar la inclusión de los indicadores acústicos como parte de la propuesta de un CBI en la microcuenca del río Bermúdez y sus afluentes.



Tyrannus melancholicus



Tyrannus verticalis

Agradecimientos

- ① - A mis padres quienes me dieron todas las herramientas para estar aquí.
 - ① - A Tania Bermúdez Rojas, Héctor Perdomo Velázquez y Jorge Castro Castro por el aprendizaje y apoyo.
 - ① - A la Asociación Ornitológica de Costa Rica por el apoyo mediante la beca del Fondo Alexander Skutch.
 - ① - Al proyecto “Estrategia de manejo para las áreas de protección y áreas verdes en la microcuenca del río Bermúdez y sus afluentes Pirro-Quebrada Seca-Burío, como contribución a la gestión ambiental del ecosistema urbano presente en el río Grande de Tárcoles.
- ① - A Jean Karl Mc Queen Blanco por todo el apoyo durante esta tesis y el aprendizaje en cada gira que compartimos.
 - ① - A Don William Brenes Gerente de Geología en Pedregal y al señor Mannil dueño de la finca Motilonia por permitirnos el ingreso a sus propiedades.
 - ① - A todas las personas, amigos y colegas que en este camino me motivaron de muchas maneras a continuar en el camino de la investigación y este proceso.



Dedicatoria especial

A Oscar Ramírez Alán como la persona que más influencia tuvo en mi pasión por las aves y la bioacústica, así como en mi formación en biología.



Gracias por su atención



Dendrocygna autumnalis