

Optimización de las etapas de pretratamiento (NF) y concentración (OARO) como procesos clave para la adecuada valorización de salmueras

Autores: Ángel Rivero Falcón (Titulado Superior del Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), ariverof@itccanarias.org), Yanira López López (Titulada Superior del Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), ylopez@itccanarias.org), Baltasar Peñate Suárez (Jefe del Departamento de Agua, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), baltasarp@itccanarias.org)

Resumen:

Las Islas Canarias (España), que albergan la mayor densidad de plantas desaladoras por superficie a nivel mundial, ofrecen un entorno único para el desarrollo de tecnologías de tratamiento y valorización de salmueras. En este contexto, el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) ha implementado un banco de ensayos abierto para la valorización de salmueras en sus instalaciones de Pozo Izquierdo (Gran Canaria), como parte de la plataforma DESAL+ LIVING LAB.

Este estudio se centra en la purificación y concentración de salmueras, etapas clave en la valorización de los efluentes de plantas desaladoras de agua de mar. Se evaluó un sistema que combina Ósmosis Inversa (RO), Nanofiltración (NF) y Ósmosis Inversa Osmóticamente Asistida (OARO), utilizando agua de mar atlántica como alimentación. Se ensayaron dos salmueras distintas: una proveniente de una planta piloto de ósmosis inversa de una etapa (40% de conversión) y otra de una planta comercial de ósmosis inversa consistente de dos etapas (55% de conversión), logrando aumentar las capacidades de experimentación de las plantas piloto de pretratamiento (NF) y concentración (OARO).

La nanofiltración genera una corriente rica en iones monovalentes con purezas de NaCl cercanas al 98% de los sólidos totales disueltos (STD) y un rechazo significativo de iones divalentes (SO_4^{2-} >99,5%; Mg^{2+} >94,0%; Ca^{2+} >75%). La corriente rica en iones monovalentes sirve de alimentación a la planta de concentración de salmueras (OARO), alcanzando concentraciones cercanas a los 250 g/L a presiones de operación inferiores a 70 bar. En conjunto, el sistema logra una recuperación de agua cercana al 75%. Al mismo tiempo, el magnesio, elemento de suma importancia estratégica en la Unión Europea, multiplicó su concentración por cinco en la corriente rica en iones divalentes en comparación con su concentración en el agua de mar.

La flexibilidad en la configuración de las plantas piloto permite múltiples estrategias operativas, generando corrientes con características específicas, que abren oportunidades para colaborar con empresas en la prueba y optimización de tecnologías innovadoras y disruptivas orientadas a la valorización de salmueras, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles en el tratamiento y aprovechamiento de residuos salinos provenientes de plantas desaladoras.

Palabras clave: Ósmosis inversa (RO), minería del concentrado, valorización de salmueras, nanofiltración (NF), ósmosis inversa osmóticamente asistida (OARO), plantas piloto, banco de ensayos, datos reales.

Abstract:

The Canary Islands (Spain) host the highest density of desalination plants per surface area worldwide, providing a unique environment for developing desalination brine valorisation technologies. In this context, the Canary Islands Institute of Technology (ITC) has implemented a brine valorisation open testbed at its facilities in Pozo Izquierdo (Gran Canaria), as part of the DESAL+ LIVING LAB platform.

This study focuses on the purification and concentration of the RO brine, key steps in the valorisation of seawater desalination plant effluents. A system combining Reverse Osmosis (RO), Nanofiltration (NF), and Osmotically Assisted Reverse Osmosis (OARO) was evaluated using Atlantic seawater as feed. Two distinct brines were tested: one from a single-stage RO pilot plant (40% recovery rate) and another from a two-stage commercial RO plant (55% recovery rate). This work enabled enhanced operation of NF and OARO pilot plants, achieving promising results.

The nanofiltration process produced a monovalent-rich stream with a NaCl purity close to 98% of the total dissolved solids (TDS) and a high rejection of divalent ions (SO_4^{2-} >99.5%; Mg^{2+} >94.0%; Ca^{2+} >75%). The monovalent-rich stream was further concentrated in the OARO process, reaching salinity levels up to 250 g/L at operating pressures below 70 bar. Overall, the system achieved approximately 75% water recovery. Simultaneously, magnesium, one of the critical raw materials for the European Union, was concentrated fivefold in the divalent-rich stream relative to its seawater concentration.

The flexibility in the pilot plants configuration allows for multiple operational strategies, generating streams with tailored characteristics, enabling opportunities for collaboration with companies in testing and optimising innovative and disruptive technologies related to brine valorisation contributing to the development of sustainable solutions for the treatment and utilisation of saline waste from desalination plants.

Keywords: Reverse Osmosis (RO), brine mining, brine valorisation, nanofiltration (NF), osmotically assisted reverse osmosis (OARO), pilot plants, testbed, real data.

1 INTRODUCCIÓN

La desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa (RO) se ha consolidado como una solución clave para satisfacer la creciente demanda de agua potable en regiones con estrés hídrico (Ayaz et al., 2022). Sin embargo, uno de los principales desafíos asociados a esta tecnología es la gestión de la salmuera, un subproducto hipersalino, que si no se vierte adecuadamente, podría ocasionar impactos negativos en el medio ambiente. En este contexto, la valorización de salmueras ha emergido como una alternativa prometedora, innovadora y sostenible, al permitir la recuperación de recursos valiosos, como sales y minerales, y reducir el volumen de efluentes potencialmente dañinos (Gil-Trujillo y Alonso, 2023).

Para que la valorización de salmueras sea eficiente y económicamente viable, es fundamental emplear procesos que minimicen el consumo energético y maximicen la recuperación de los compuestos disueltos en ella. Dentro de este contexto, existen dos etapas clave: el pretratamiento y la concentración de la salmuera. La etapa de pretratamiento tiene como objetivo la reducción de iones que pudieran causar incrustaciones o ensuciamiento en etapas posteriores. Sin embargo, la etapa de concentración se centra en incrementar la salinidad de la salmuera de manera controlada, facilitando la recuperación de sales como el cloruro sódico (NaCl) y otros minerales de interés.

Este estudio implementa el pretratamiento de salmuera mediante nanofiltración (NF), una tecnología de membranas eficaz en el rechazo selectivo de iones divalentes y otros compuestos que pueden obstaculizar las etapas subsiguientes. La NF es particularmente útil para eliminar calcio, magnesio y sulfatos, entre otros, mejorando la eficiencia de las fases posteriores en el proceso de valorización de salmueras, y evitando problemas de incrustaciones y ensuciamiento de membranas (Rivero-Falcón et al., 2025).

En la etapa de concentración, se emplea un sistema de ósmosis inversa osmóticamente asistida (OARO), el cual presenta ventajas significativas en comparación con la ósmosis inversa convencional. La tecnología OARO permite alcanzar altos niveles de concentración de salmuera con un consumo energético reducido, gracias a su operación a menores presiones y al aprovechamiento de las presiones osmóticas del proceso (Peters y Hankins, 2019). Esto convierte al sistema OARO en una opción atractiva para la valorización de salmueras, pues permite mediante tecnología de membranas obtener una salmuera de alta salinidad con menor demanda energética en comparación con tecnologías basadas en energía térmica.

En conclusión, este trabajo se enfoca en evaluar la combinación NF y OARO como una estrategia integrada en las fases de pretratamiento y concentración para la optimización de la valorización de salmueras provenientes de plantas desaladoras de agua de mar. La sinergia entre ambas tecnologías mejora significativamente la eficiencia del proceso, al mismo tiempo que maximiza la potencial recuperación de sales y otros componentes valiosos presentes en la salmuera. Con esta combinación, se trata de lograr la implementación de soluciones tecnológicas que sean sostenibles y aporten valor añadido al proceso de desalación (Al-Amoudi et al., 2023).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta una descripción general de la configuración experimental, detallando las condiciones de alimentación y el sistema propuesto con los equipos y la instrumentación utilizada.

2.1 Caso de estudio

Las Islas Canarias, un archipiélago español ubicado en el océano Atlántico Norte, tienen una destacada trayectoria en la desalación de agua de mar (Veza, 2001). Su historia comenzó con la instalación de la primera planta desaladora de Europa, establecida en Lanzarote en 1964. Desde entonces, la infraestructura de desalación en el archipiélago ha crecido significativamente, superando las 300 plantas desaladoras en la actualidad (Gómez-Gotor et al., 2018).

Los ensayos del presente estudio se han llevado a cabo en el **Banco de Ensayos de Valorización de Salmueras** en las instalaciones del ITC en Pozo Izquierdo - Gran Canaria (ITC, 2024), integrado en el marco de la plataforma DESAL+ LIVING LAB – www.desalinationlab.com. Esta área experimental distintiva permite probar diferentes plantas piloto en condiciones reales, con el objetivo de optimizar tecnologías de vanguardia y fomentar la economía circular y la innovación.

En este estudio, se ha evaluado una planta piloto NF como etapa de pretratamiento y una planta piloto OARO como etapa de concentración de salmuera. Ambas instalaciones han sido probadas utilizando **salmuera real** derivada de un proceso de ósmosis inversa a partir de agua de mar. Las pruebas incluyeron el uso de salmuera de la planta piloto de ósmosis inversa DESAL+ como alimentación, así como salmuera de una planta desaladora comercial de doble etapa (55% conversión), ubicada a 200 metros de dichas plantas piloto.

2.2 Configuración de las plantas piloto

La configuración experimental utilizada en este estudio se muestra en la Figura 1. Primeramente, se dispone de un pozo costero en la zona sureste de la Isla de Gran Canaria, donde se capta el agua de mar (SDI < 3; 36-38 g/L TDS) que alimenta una planta desaladora piloto contenerizada de ósmosis inversa. La salmuera obtenida (40% conversión) es pretratada por una planta piloto contenerizada de NF. A continuación, la corriente rica en iones monovalentes se impulsa hacia la alimentación de la planta piloto contenerizada de concentración de salmueras (BC), la cual consiste en un tubo de presión de ósmosis inversa que incrementa la recuperación global de agua producto, y tres etapas OARO, que finalmente permiten la obtención de una salmuera concentrada de 170-250 g/L.

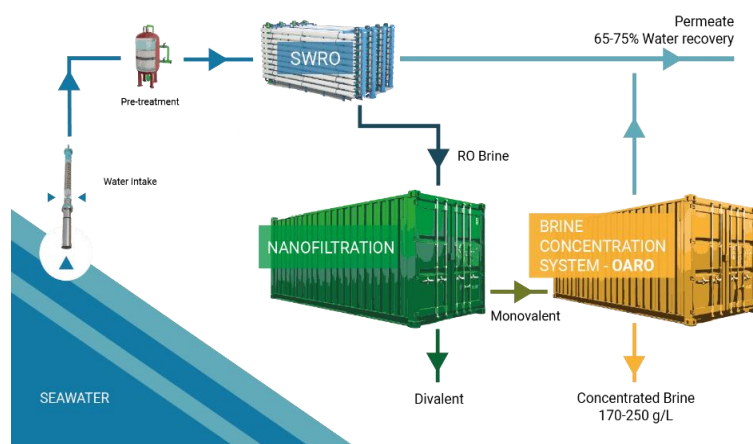


Figura 1. Esquema básico de la configuración experimental de las plantas piloto utilizadas en el presente estudio.

Además, como se ha dicho anteriormente, como alternativa se dispone de una tubería con la salmuera procedente de una planta comercial de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa de doble etapa (55% conversión), la cual sirve de alimentación directa a la planta piloto NF.

En la planta piloto NF ha sido evaluado el rendimiento de siete membranas NE8040-40. Estos elementos de alta productividad, proporcionados a través de un acuerdo de colaboración con Toray Advanced Materials Korea Inc., presentan un bajo rechazo de iones monovalentes. Las membranas son de poliamida con una configuración en espiral, de 8 pulgadas de tamaño, con un área activa de 37,2 m². Además, estas membranas de NF son capaces de operar a una presión máxima de 41,4 bar y a una temperatura máxima de 45°C.

Por otro lado, la planta piloto OARO concentra la corriente rica en iones monovalentes que proviene de la planta piloto NF, a valores cercanos a los límites de saturación utilizando tecnología de membranas. Este sistema consta de un tubo de presión con 8 membranas de ósmosis inversa de Suez AD-440 de 8 pulgadas, cuya corriente de rechazo alimenta al sistema OARO, que consiste en un tren de tres etapas con la configuración de membranas 3-2-2 (7 elementos). Para este proceso, se han empleado membranas de fibra hueca de 11 pulgadas de Toyobo (FB10155S3EI).

Todos los equipos utilizados en las plantas piloto son productos comerciales disponibles en el mercado para uso en plantas a gran escala, por lo que el sistema NF-OARO propuesto para la valorización de salmueras es **potencialmente escalable**.

2.3 Metodologías analíticas

La composición química de las muestras recogidas ha sido analizada por un laboratorio externo certificado con el objetivo de caracterizar las propiedades físicas y químicas del agua de mar, la solución de alimentación de NF (salmueras de SWRO), las dos corrientes de salida de la NF (monovalente y divalente), así como el producto deseado del sistema BC (salmuera concentrada). Para lograr esto, se recolectaron varias muestras a diferentes porcentajes de conversión de NF y a diversas concentraciones del producto final deseado (salmuera concentrada).

El estudio integral incluye un total de 20 parámetros: Conductividad eléctrica a 20°C analizado mediante medidor de conductividad; pH por electrómetro; TDS por cálculo matemático; TOC evaluado por FTIR. Los elementos Ba, B and Sr se han determinado por ICP-OES; mientras que Br⁻, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻ y la dureza se han analizado por cromatografía. Los compuestos F⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ y SiO₂ se han medido a través de espectroscopía UV-Vis; y el HCO₃⁻ se ha cuantificado mediante valoración.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección ofrece una descripción detallada de los resultados obtenidos durante el proceso experimental. Se hace especial hincapié en la gran selectividad de las membranas NF seleccionadas y el alto rendimiento de las membranas OARO para concentrar la salmuera rica en iones monovalentes procedente de la NF, en condiciones variables.

3.1 Planta piloto NF

Los ensayos en la planta de nanofiltración se han realizado a diferentes porcentajes de conversión que oscilan entre 38% y 70% cuando la alimentación correspondía con la salmuera de una etapa OI (DESAL+), y a conversiones en un rango entre el 20 y el 65% con la salmuera de segunda etapa OI (SURESTE).

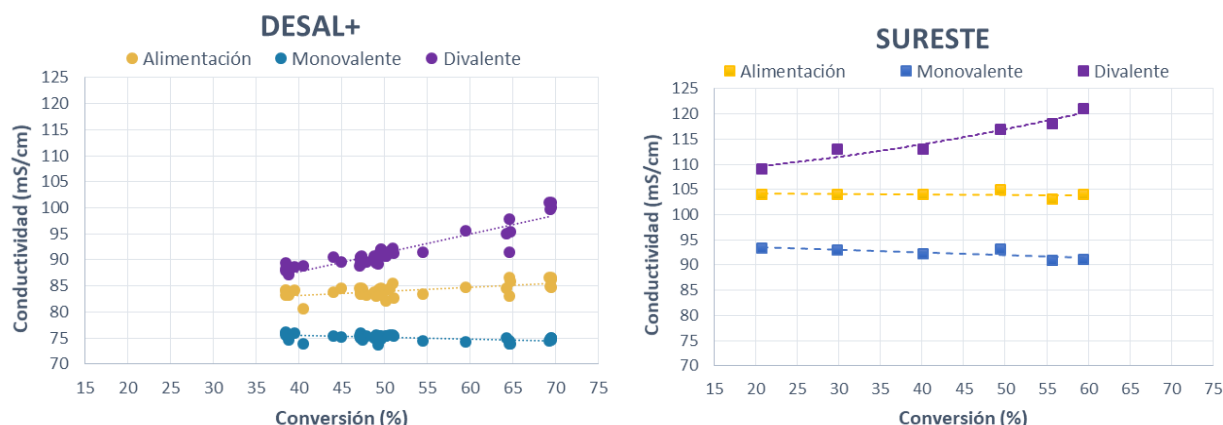


Figura 1. Representación de la conductividad de las distintas corrientes del proceso NF, tomando como alimentación salmuera de una etapa (DESAL+) y de dos etapas OI (SURESTE).

Al comparar los ensayos realizados con ambos tipos de salmuera, se observaron tendencias similares en los parámetros analizados. En el caso de la conductividad eléctrica (Figura 1), para ambas corrientes de alimentación del sistema NF la conductividad permanece prácticamente constante en la corriente rica en monovalentes, mientras que se incrementa en la corriente rica en iones divalentes. Este comportamiento se debe a la selectividad de las membranas NF, las cuales presentan un mayor rechazo de iones divalentes, permitiendo al mismo tiempo, el paso de una fracción significativa de iones monovalentes. Como resultado, los iones divalentes + monovalentes se acumulan en la corriente concentrada, incrementando su conductividad.

Por otro lado, se compara el rendimiento de las membranas NF al tratar las dos salmueras de alimentación (DESAL+ y SURESTE) con distinta concentración de sales. Se registraron valores de un menor flux y una menor permeabilidad de la membrana para la salmuera más concentrada, correspondiente a la de segunda etapa OI, como se puede observar en la Figura 2. Este comportamiento se puede deber, principalmente, al aumento de la presión osmótica del lado de la alimentación, puesto que al estar más concentrada, disminuye así el flujo de permeado y se traduce en una menor permeabilidad aparente.

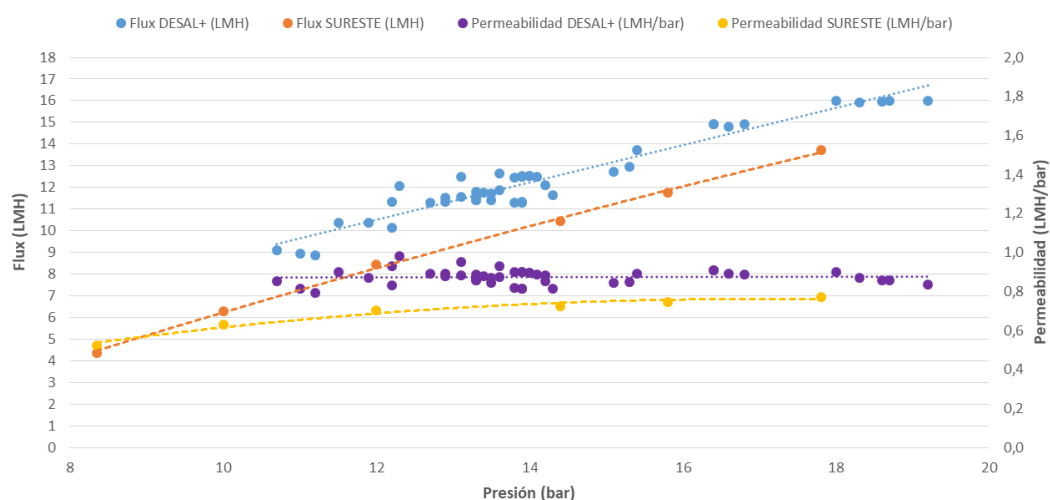


Figura 2. Representación del flux y la permeabilidad de las membranas de nanofiltración a distintas presiones de operación, tomando como alimentación salmuera de una etapa (DESAL+) y de dos etapas (SURESTE).

Además, se ha observado un ligero incremento de presión de operación en aproximadamente 1 bar (Figura 3), para el caso de la salmuera de segunda etapa con respecto a la salmuera de una etapa, para un mismo porcentaje de conversión del sistema. En una corriente de alimentación más concentrada, implica una presión osmótica mayor, lo que se traduce en un ligero incremento de la presión aplicada en el sistema, para la obtención del correspondiente flujo de permeado que se establezca inicialmente (% conversión NF).

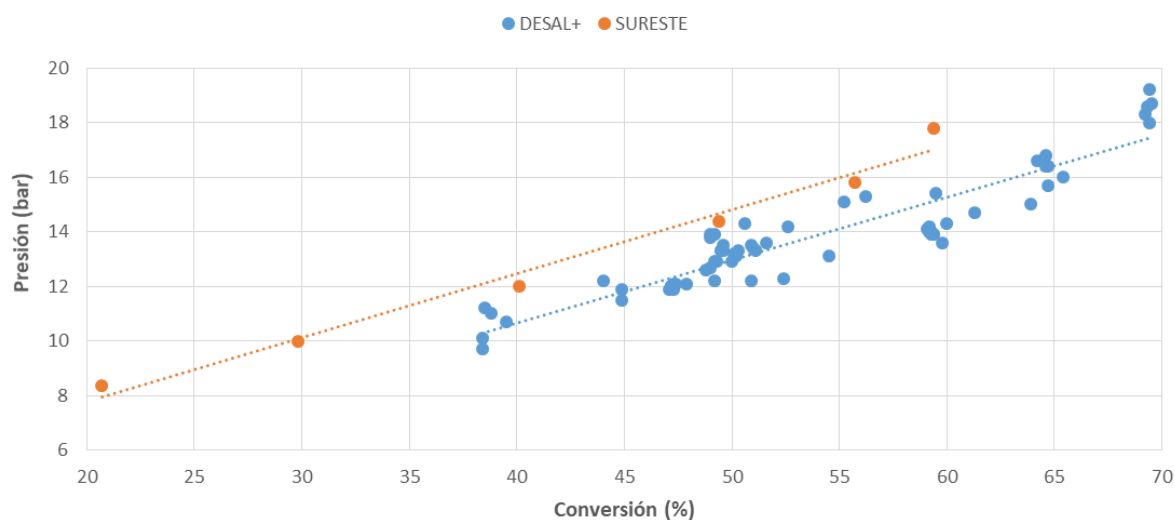


Figura 3. Representación de la presión de operación de la planta piloto de nanofiltración a distintas conversiones, para la alimentación de salmuera de una (DESAL+) y dos etapas (SURESTE).

Consecuentemente, el consumo energético específico (SEC) muestra un comportamiento similar para los ensayos realizados con ambos tipos de salmuera de alimentación, a distintos porcentajes de conversión del sistema, con una diferencia máxima aproximada de 0,2 kWh/m³ monovalente. Se alcanzaron valores óptimos de SEC de 1,25 kWh/m³ monovalente para la salmuera de una etapa, operando a conversiones superiores a 60%, y 1,43 kWh/m³ monovalente, para el caso de la salmuera generada por dos etapas OI (Figura 4).

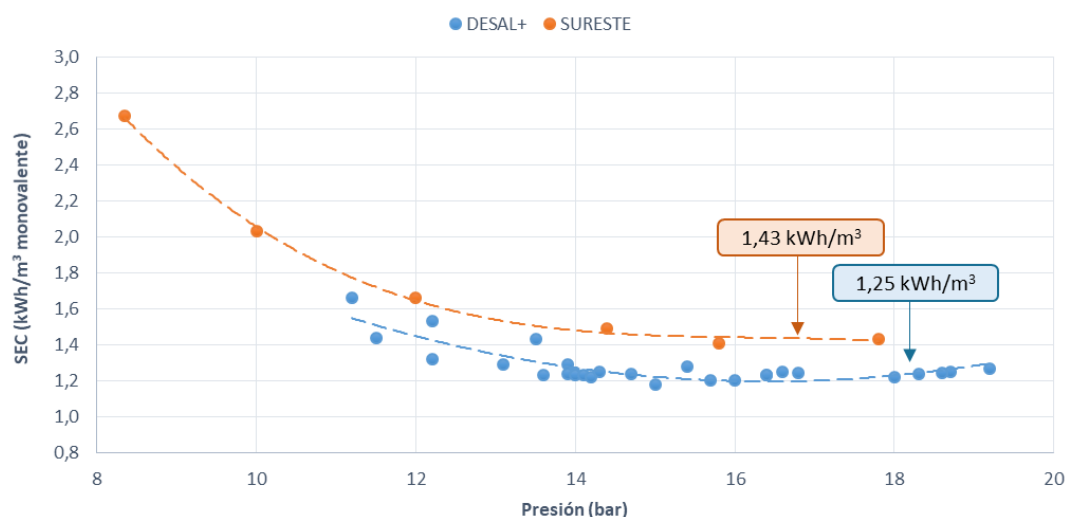


Figura 4. Representación del consumo energético específico del proceso de nanofiltración con respecto a la presión del sistema NF, tomando como alimentación salmuera de una (DESAL+) y dos etapas (SURESTE).

3.3 Proceso global (SWRO+NF+OARO)

El proceso general de valorización de salmueras presentado en este estudio se interpreta de manera más precisa mediante el análisis de las características físico-químicas de las distintas corrientes implicadas. A partir de estos datos, se concluye una alta selectividad de las membranas NF y un elevado ratio de concentración de la etapa OARO. Esto demuestra la viabilidad de un sistema combinado conceptual (SWRO+NF+OARO) exitoso, capaz de separar los iones monovalentes y divalentes, y concentrar salmueras de 55-70 g/L hasta los 250 g/L.

Adicionalmente, el proceso integrado global aumenta la producción de agua producto desde el 40% de un sistema convencional de ósmosis inversa, hasta un 65-75% en el proceso global que incluye NF y OARO para la valorización de salmuera. Por último, se obtiene una salmuera concentrada con un elevado contenido de $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ($\approx 98\%$ pureza), una corriente altamente valorizable para industrias que requieran de esta solución como materia prima, como pueden ser las farmacéuticas o la industria cloro-álcali.

En conjunto, este enfoque promueve un sistema de mínima o nula descarga de vertidos (MLD o ZLD), alineado con los principios de sostenibilidad y economía circular.

Tabla 1. Principales propiedades físico-químicas de las distintas corrientes del proceso de valorización de salmuera de este estudio (Proceso: SWRO al 40% conversión, NF al 60% y 192 g/L producto final OARO).

Parámetro	Unidades	Agua de mar (DESAL+)	Salmuera de SWRO	NF corriente rica en monovalentes	NF corriente rica en divalentes	OARO Salmuera concentrada
Conductividad a 20°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	52.100	79.400	71.300	89.500	263.600
pH	U. pH	7,22	7,36	7,14	7,20	7,33
STD	mg/L	37.900	64.874	55.004	83.164	192.325
Cloruros	mg/L	20.945	36.178	33.416	42.487	116.701
Sodio	mg/L	11.300	19.753	20.472	19.878	72.254
Sulfatos	mg/L	3.100	4.920	22	12.547	94
Magnesio	mg/L	1.522	2.372	139	5.728	286
Calcio	mg/L	472	769	166	1.677	428
Potasio	mg/L	387	652	637	676	2.388
Sílice	mg/L	30	63	66	64	92

3.4 Futuras investigaciones

Para dar continuidad a la investigación establecida en este artículo, los autores consideran esencial profundizar en los siguientes temas y orientar los esfuerzos futuros hacia:

3.1.1 Nuevas membranas

Es posible evaluar y comparar una extensa variedad de membranas de NF, RO y OARO en función de su rendimiento. Esta evaluación incluiría tanto nuevas membranas disponibles comercialmente de varios fabricantes, como nuevos desarrollos en su fabricación, que permitan optimizar su uso dentro del marco de la valorización de salmueras de agua de mar.

3.1.2 Dispositivos de recuperación de energía (ERD)

Los fabricantes comerciales están desarrollando dispositivos innovadores de recuperación de energía para plantas piloto y aplicaciones de baja presión y bajo caudal. La implementación de estos sistemas tiene el potencial de reducir significativamente el consumo energético del proceso y facilitar una mejor evaluación de su impacto en sistemas a gran escala para reducir el SEC.

3.1.3 Integrar procesos de cristalización y/o conversión de salmueras

La optimización del sistema global debe estar alineada con los procesos posteriores, como una etapa adicional de purificación, cristalización o conversión de salmuera para la corriente final de salmuera concentrada final del sistema OARO, además de encontrar un método de extracción de minerales para la corriente enriquecida en iones divalentes.

4 CONCLUSIONES

En este estudio se ha evaluado la combinación de las tecnologías de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa osmóticamente asistida (OARO) como un enfoque conjunto y eficiente para la valorización de salmueras provenientes de plantas desaladoras de agua de mar. Los resultados obtenidos confirman que la optimización de las etapas de pretratamiento y concentración es esencial para maximizar la recuperación de recursos valiosos en la salmuera, al tiempo que se minimizan los impactos ambientales negativos asociados al proceso de desalación.

La implementación de NF en la etapa de pretratamiento demuestra ser particularmente eficaz para reducir la presencia de iones divalentes como el calcio, el magnesio y los sulfatos, minimizando así los riesgos de incrustación y ensuciamiento en las membranas de OARO. Gracias a esta mejora en la calidad del efluente, se consigue una mayor concentración de la salmuera con un consumo energético menor, evidenciando así la eficiencia de esta configuración tecnológica para la valorización de salmueras de agua de mar. En consecuencia, esta combinación se posiciona como una solución prometedora para abordar los desafíos asociados a la gestión de salmueras en el contexto de la desalación, con un enfoque tanto en la sostenibilidad como en la eficiencia de recursos.

Futuras investigaciones deberían enfocarse en la evaluación a escala industrial de esta combinación tecnológica, así como en la integración de tecnologías adicionales para la recuperación de productos de alto valor. Esta línea de estudio permitiría avanzar hacia una gestión de recursos hídricos más sostenible y eficiente, particularmente en regiones de escasez de agua, y contribuiría a la implementación de procesos industriales más responsables medioambientalmente, además de impulsar el desarrollo económico local.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido cofinanciado por el programa europeo Horizon Europe a través del proyecto SOL2H2O (GA Nº 101079305); y por fondos FEDER, Programa Interreg MAC 2021-2027, el marco del Proyecto IDIWATER (1/MAC/1/1.1/0022).

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Amoudi, A. S., Ihm, S., Farooque, A. M., Al-Waznani, E. S., & Voutchkov, N. (2023). Dual brine concentration for the beneficial use of two concentrate streams from desalination plant - Concept proposal and pilot plant demonstration. *Desalination*, 564. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116789>
- Ayaz, M., Namazi, M., Din, M. A., Ershath, M. M., Mansour, A., & M. Aggoune, e.-H. (2022). Sustainable seawater desalination: Current status, environmental implications and future expectations. *Desalination*, 540. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116022>
- Davenport, D. M., Deshmukh, A., Werber, J., & Elimelech, M. (2018). High-Pressure Reverse Osmosis for energy-efficient hypersaline brine desalination: Current status, design considerations, and research needs. *Environmental Science & Technology Letters*, 5, 467-475.
- Gil-Trujillo, A., & Alonso, J. J. (2023). Evaluation of brine management strategies from the perspective of the sustainable development goals: Application in the Canary Islands. *Desalination*, 554. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116483>
- Gómez-Gotor, A., Del Río-Gamero, B., Prieto Pardo, I., & Casañas, A. (2018). The history of desalination in the Canary Islands. *Desalination*, 428, 86-107. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.051>
- Interreg-Mac 2014-2020. (2017-2020). *DESAL + Project*. Retrieved from <https://proyectedesalplus.desalinationlab.com/es/>
- ITC. (2024). *Brine Valorisation Open TestBed*. Retrieved from <https://www.desalinationlab.com/wp-content/uploads/2024/05/Brine-Valorisation-Open-Testbed-Brochure.pdf>
- Peters, C. D., & Hankins, N. P. (2019). Osmotically Assisted Reverse Osmosis (OARO): Five approaches to dewatering saline brines using pressure-driven membrane processes. *Desalination*, 458. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.01.025>
- Rivero-Falcón, A., López-López, Y., Peñate-Suárez, B., & Melián-Martel, N. (2025). Performance evaluation of nanofiltration membranes for SWRO brine valorisation: Insights from a pilot plant under real conditions. *Separation and Purification Technology*, 359. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130774>
- Veza, J. (2001). Desalination in the Canary Islands: an update. *Desalination*, 133(3), 259-270. doi:[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00106-0)