



Universidad  
Católica del Norte

N°4  
2020

Programa de Mejoramiento  
Institucional en Recursos Hídricos

# BOLETÍN VIGILANCIA TECNOLÓGICA

USO DE DIVERSAS TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA  
AUTOPSIA DE MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA



Dirección de Innovación y  
Transferencia Tecnológica

# Vigilancia Tecnológica ¿Qué es?



La vigilancia tecnológica (VT) es una de las herramientas de los sistemas de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I+D+i), esta herramienta de manera sistemática detecta, analiza, difunde, comunica y explota las informaciones técnicas útiles para la organización, su propósito es alertar sobre las innovaciones científicas y técnicas susceptibles de crear oportunidades y amenazas para la misma. (UNE 166006 EX, 2006).

A nivel mundial la VT es una herramienta muy utilizada por organizaciones independientes, privadas y/o estatales que dentro de su funcionamiento tengan integrado un sistema de gestión I+D+i y/o realicen proyectos de I+D+i.

## Programa de Mejoramiento Institucional en Recursos Hídricos UCN 1795

El Programa de Mejoramiento Institucional PMI en Recursos Hídricos 1795 busca dar continuidad y sustentabilidad en el tiempo a los Programas priorizados por el PMI UCN1302, consolidando competencias y capacidades en torno a un recurso estratégico, como lo es el recurso hídrico en la Región de Antofagasta.

La propuesta de trabajo se orienta a fortalecer la articulación académica y la vinculación con el medio, trabajando articuladamente con la industria y los servicios públicos, con la finalidad de fortalecer las líneas de investigación en recursos hídricos, a través del desarrollo de I+D+i y la formación de cursos de capacitación y postgrado.

# Índice de Contenidos

- Introducción.....3
- Publicaciones Científicas.....6
- Patentes.....8
- Patentes en Chile.....12
- Referencias.....13

# Autopsia de membranas



En las últimas décadas la ósmosis inversa ha surgido como una tecnología para purificar agua altamente reconocida, ofreciendo una versatilidad en la aplicación comercial de convertir agua no adecuada para el consumo o uso humano en agua adecuada. En esta tecnología el componente más crítico es la la membrana ya que frecuentemente está sujeta a degradación prematura y deterioro de su rendimiento, resultando en pérdida del flujo de permeabilidad, vida de

membrana menor, costos de operación mayores, entre otros<sup>1-3</sup>. La disminución en el rendimiento de las membranas es usualmente causada por daño químicos y/o físicos, ya sea por ensuciamiento biológicos y/o deposición de partículas en las membranas o en sus poros. Para determinar el motivo de la disminución de rendimiento de la membrana, y examinar la disminución en su eficacia entre otros, la autopsia de membrana puede otorgar toda esa información necesaria.

La autopsia de membrana es un procedimiento destructivo probado para determinar en que condiciones está la membrana en estudio y diagnosticar el motivo de su pérdida de rendimiento<sup>4</sup>. En resumen, este procedimiento de autopsia de membrana consta de una inspección física visual de la membrana en la parte exterior, disección de la misma y examinación de su parte interior, luego distintas pruebas químicas físicas y microbiológicas son aplicadas en la membrana y los depósitos superficiales para identificar distintos tipos de defectos de la membrana y de sus depósitos. Los resultados de estos análisis entregará información sobre soluciones de problemas, remediación y mejoras en la operación de la planta de tratamiento. A pesar de los beneficios, la autopsia de membranas no ha sido suficientemente utilizada, ya que su uso significa la destrucción de la muestra, sus costos son relativamente altos, y su tiempo demora las operaciones de las plantas, entre otros<sup>5</sup>. En los últimos años, las técnicas analíticas han mejorado permitiendo mayor exactitud, resultados más rápidos y con costos menores.

Las técnicas analíticas utilizadas para realizar las autopsias de membranas se describen brevemente a continuación<sup>3</sup>:

1. Prueba Fujiwara: esta es una prueba colorimétrica usada para verificar el daño oxidativo en la superficie de la membrana. Con esta técnica es posible verificar el daño causado especialmente por compuestos desinfectantes con contenidos halogenados.
2. Microscopía electrónica de barrido (SEM) con detección de espectroscopía de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDX): Con esta técnica se puede observar en detalle la superficie de membranas, con la que se puede visualizar rupturas o modificaciones en la configuración al nivel nanométrico. Cuando la microscopía de barrido es acoplado con la espectroscopía EDX se posibilita la detección y cuantificación de su composición química, cambios en la composición, identificación de ensuciamiento, y un mapeo en la distribución elemental en lugares específicos.
3. Espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS): Esta es una técnica

analítica cualitativa y cuantitativa para estudiar la superficie química de distintos materiales. Esta herramienta permite medir la composición elemental y cambios si es que existieran, calcular las formulas empíricas, estados químicos y electrónicos que existen en la superficie del material.

4. Espectroscopía infraroja con transformada de Fourier (FTIR): Esta técnica es utilizada para obtener información respecto a la estructura química de la membrana o superficie depositada. Cuando esta técnica es combinada con la reflectancia total atenuada (ATR) es posible identificar presencia y ausencia de grupos funcionales y cambios en los enlaces químicos que ocurren en la superficie de la membrana. Estos cambios son identificados por cambios en los peaks de absorbancia que son característicos para cada grupo funcional.
5. Pérdida de peso por ignición (WLOI): esta prueba es bastante usada y aceptada para obtener información del contenido de humedad, distribución de compuestos orgánicos/inorgánicos que puedan estar depositados en la superficie y estimaciones de tipos de ensuciamientos que contribuyen a una disminución del rendimiento
6. Análisis de termogravimetría (TGA): por medio de está, de forma muy similar a WLOI, es posible observar la pérdida de masa producto de la pirolisis de las membranas y su ensuciamiento. La gran diferencia entre TGA y WLOI es que con la primera técnica analítica los cambios temperaturas pueden ser controlados tanto en temperatura como en tiempo, pudiendo realizar gradientes de temperaturas en un ambiente inerte. Esta característica permite la determinación de compuestos depositados en superficies de manera más precisa.
7. Conteo microbiológico (TMC): si es posible contar microorganismos es un indicio de la presencia biológica depositada en la superficie de la membrana, lo que podría indicar una contaminación microbiana.

Existen otras técnicas que también has sido usadas por algunos laboratorio, tales como:

1. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), con la cual es posible identificar algunos de los compuesto orgánicos.
2. Equipo analizador de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX), con el que se utiliza una doble columna y el método de agitación (Batch) para adsorber los compuestos. También es posible determinar el parámetro EOX (halógenos orgánicos extraíbles).
3. Cromatografía de gases (GC), con la cual podrá determinarse y cuantificarse compuestos volátiles y semivolátiles.
4. Cromatografía iónica (IC), con la que se podrían determinar cationes y aniones que se puedan extraer desde las membranas.
5. Microscopía de fuerza atómica (AFM), se utiliza para la determinación de la rugosidad de la superficie de las membranas. El parámetro de la rugosidad, es útil porque está relacionado con el ensuciamiento de las membranas. Como más rugosa es una membrana, más tendencia tendrá a ensuciarse.

# Autopsia de membranas

Se realizó un análisis de las publicaciones científicas desde 2016 a 2019, utilizando la plataforma Scopus de Elsevier. Se encontraron alrededor 405 publicaciones científicas en este periodo (Figura 1). El interés en este tema es relativamente bajo, destacándose sobre un promedio anual de 81 publicaciones, por otra parte, en 2018 disminuyeron levemente estas publicaciones siendo su valor de 86 publicaciones.

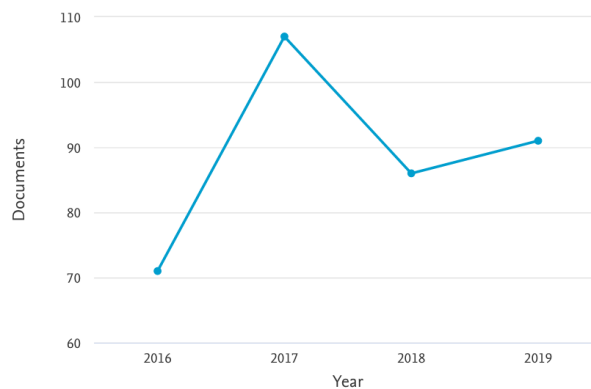


Figura 1. Número de publicaciones por año relacionadas con la autopsia de membranas

Las revistas del área de las ciencias ambientales presentaron la mayor cantidad de estudios, de las cuales se destacan “Journal of membrane science y Desalination” con 100 artículos en total, “Desalination and water treatment” con 31 artículos, “Water research” con 23 artículos, y “Chemical engineering journal” con 9 artículos, el resto se divide en otros ámbitos interdisciplinarios (Figura 2).

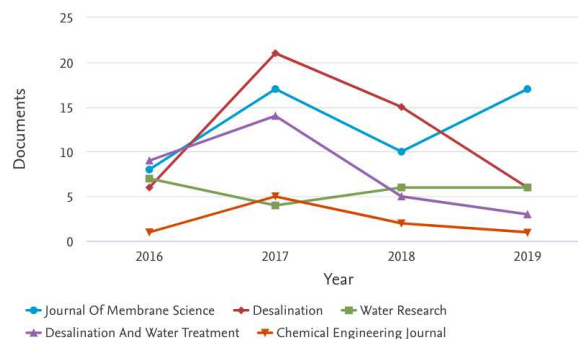


Figura 2. Revistas con mayores publicaciones en temas relacionados con autopsia de membranas.

A continuación, este boletín entrega información seleccionada de los últimos 4 años de publicaciones científicas y patentes relacionadas con la autopsia de membranas de osmosis reversa.

# Publicaciones Científicas

## Biosorción de metales pesados en aguas residuales industriales usando cáscaras de maní como un adsorbente eficiente y de bajo costo.<sup>3</sup>

La osmosis reversa (OR) ha emergido exitosamente en las últimas décadas como una técnica para purificar agua y ser utilizadas para distintos tipos de consumos. Los elementos de las membranas de osmosis reversa están sujetos a degradación prematura y deterioro de su rendimiento, impactando adversamente la mantención y operación de las plantas de OR. La autopsia de membranas es un procedimiento bien probado y devaluado que permite determinar de manera eficiente la condición de la membrana y el por que existe una pérdida en su rendimiento. En este artículo se provee con las metodologías generales usadas comercialmente para realizar la membrana de autopsia, el se muestran tres casos de estudio para demostrar de manera explícita el valor agregado de la autopsia de membrana en (1) análisis y fallas y problemas. (2) optimización operacional y monitoreo de rutina, y (3) beneficios del maneja y mejoras en la mantención. (Leer artículo: doi: 10.2166/wpt.2018.020).

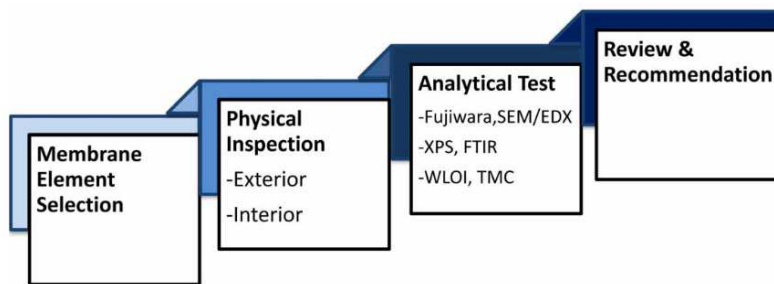


Figura 3. Flujo para ilustrar las metodologías en la autopsia de membranas.

## Autopsia de membranas de osmosis reversa en tratamiento de aguas residuales de industria química del carbón <sup>6</sup>.

A pesar de que el ensuciamiento en las membranas de osmosis reversa (RO) han sido ampliamente estudiadas, pocos estudios existen respecto de las industrias químicas del carbón donde la osmosis reversa es indispensable para el reuso de agua. La complejidad de las aguas residuales es la falta de conocimiento para entender el mecanismo sinérgico entre ensuciamiento inorgánico y orgánico. Además, la heterogeneidad del ensuciamiento en diferentes posiciones de la membrana necesita mayor investigación. Este estudio analizó muestras de dos etapas en la planta de osmosis, y para ellos se analizaron por medio de microscopía electrónica equipada con un espectrometro de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (SEM-EDS), por medio de espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), por medio de espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS), espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier combinada con la reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), microscopía confocal (CLSM), matriz tridimensional de excitación-emisión (3D-EEM) y secuenciación 16S fueron aplicadas. Los resultados mostraron que el ensuciamiento disminuyó gradualmente en dirección axial de los elementos. Adicionalmente, desde la etapa 1 a la 2 el ensuciamiento inorgánico aumentó mientras el ensuciamiento biológico fue reducido junto con la comunidad y diversidad microbiana. La estructura de la comunidad microbiana también varió, el cual se debió a la selectividad entregada por la alta salinidad del influente en la segunda etapa y la captura de algunas especies en la primera etapa. Además, la evidencia experimental mostró el efecto del enlace de Ca2p y polisacáridos, como también el efecto sinérgico de materia orgánica y sílice en el ensuciamiento. En este estudio los análisis detallados del ensuciamiento en muestras reales de membranas pueden entregar las bases para mejorar las estrategias de control de ensuciamiento en la industria química del carbón. (Leer artículo completo: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118964>).

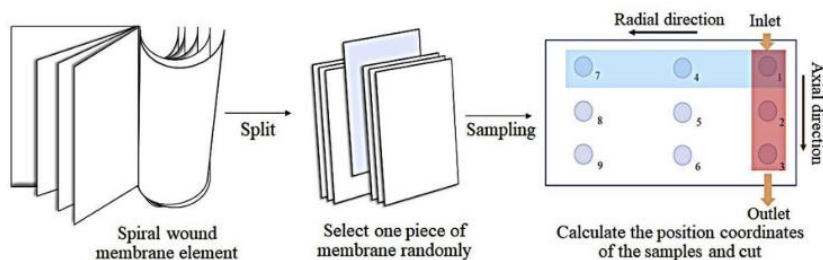


Figura 4. Método de muestreo de membranas y la posición de cada muestra enumerada.

## Estudio de autopsia del ensuciamiento de una membrana de osmosis reversa usada para la producción de agua ultrapura.<sup>7</sup>

Este estudio investigó el ensuciamiento y limpieza de las membranas de osmosis reversa (RO) en un sistema a escala de laboratorio para la producción de agua ultrapura (UPW) por medio de una autopsia de membranas, caracterización de materia orgánica disuelta (DOM) y de su ensuciamiento. La mayor parte de el DOM se remueve efectivamente por filtros de MFC, con la excepción de el peak a 150 Da. Las membranas de RO fueron efectivas en reducir la conductividad, DOM, y nitrógeno total (TN), y concentración ultravioleta A (UVA 254nm); La etapa de pulido usando el filtro IER resultó en niveles ultra-traza de todos estos parámetros requeridos para la fabricación de semiconductores ( $> 18.2 \Omega\text{M}$ ). La cantidad de ensuciamiento que se desorbe desde las membranas de RO, en términos de carbono orgánico disuelto (DOC), varió considerablemente dependiendo del tipo de agente de desorción  $0.1 \text{ N NaCl}$  ( $65.12 \text{ mgC m}^{-2}$ )  $>$   $0.1 \text{ N NaOH}$  ( $46.14 \text{ mgC m}^{-2}$ )  $>$  agua desionizada ( $25.39 \text{ mgC m}^{-2}$ )  $>$   $0.1 \text{ N HCl}$  ( $15.95 \text{ mgC m}^{-2}$ ). La alta eficiencia de limpieza de la solución salina ( $0.1 \text{ N NaCl}$ ), se atribuyó a la desorción eficiente de ensuciamiento DOM hidrofílico desde las superficies de las membranas de RO. Estos resultados demostraron que la limpieza con sal puede entregar una opción prometedora para recuperar el rendimiento de las membranas de RO ensuciadas principalmente con fracciones DOM hidrofílicas. (Leer artículo completo: <https://doi.org/10.3390/w11061116>)

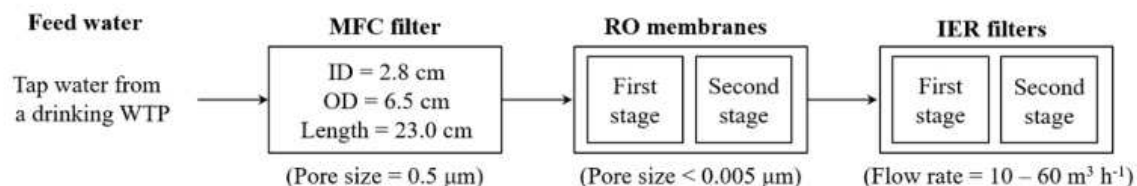


Figura 5. Diagrama del sistema de producción UPW que comprende a los filtros MFC, membranas de RO e IER.

# Patentes

La búsqueda de patentes sobre la autopsia de membranas de osmosis reversa se ha realizado mediante la base de datos de la plataforma Lens.org y patentscope, la cual abarca patentes de EEUU, China, Europa y Australia, entre otros. No se consideró rango de tiempo para la búsqueda de patentes.


## Patente sobre autopsia de membranas de osmosis reversa.


Se analizaron los resultados obtenidos observándose dos patentes cuyos solicitantes son de China y España (Figura 6). Esta patente fue solicitada por University Zhejiang Technology, y la Universidad de Cádiz.

Modification Method For Improving Boron Removal Rate Of Aromatic Polyamide Reverse-osmosis Membrane

Published: Dec 21, 2018   Earliest Priority: Aug 29 2018   Family: 1   Cited Works: 4   Cited by: 0   Cites: 7

Additional Info: [Cited Works](#)


Patent Application  CN 109046027 A

 188-939-129-772-889


(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual  
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional  
28 de mayo de 2015 (28.05.2015)



(10) Número de Publicación Internacional  
**WO 2015/075282 A1**



**1. WO2015075282 - DISPOSITIVO DE MUESTREO EXTRAÍBLE PARA LA REALIZACIÓN DE AUTOPSIAS NO DESTRUCTIVAS EN MEMBRANAS DE CONFIGURACIÓN ESPIRAL**

Figura 6. Encabezado patentes relacionadas con autopsia de membranas

# Patentes

---

## **Método de modificación para mejorar la remoción de boro de membranas de osmosis reversa de poliamidas aromáticas <sup>8</sup>.**

**Univ Zhejiang Technology (29.08.2018)**

**N° de solicitud/publicación de patente: CN 109046027 A**

La invención muestra un método de modificación para mejorar la remoción de boro de una membrana de osmosis reversa de poliamida aromática. El método de modificación consiste en los siguientes pasos: adición de ácidos grasos a una mezcla de metanol y agua, agitación, disolución, lavado de la membrana de osmosis reversa en la solución, presurización, y modificación. La remoción desde la membrana de osmosis reversa de poliamida aromática modificada usando el método de esta invención para 5 ppm de ácido bórico, mejoró 24.4% y el flujo de agua pudo ser reducido a 79% antes del tratamiento. La concentración de el metanol en el tratamiento pudo mejorar, el flujo de agua mejoró comparado antes del tratamiento, la remoción del boro también aumentó, y la remoción del boro mejoró sin reducir el flujo de agua. (Leer documento [completo](#))

# Patentes

---

## **DISPOSITIVO DE MUESTREO EXTRAÍBLE PARA LA REALIZACIÓN DE AUTOPSIAS NO DESTRUCTIVAS EN MEMBRANAS DE CONFIGURACIÓN ESPIRAL<sup>9</sup>.**

**UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (28.05.2015)**

**Nº de solicitud/publicación de patente: WO/2015/075282**

Dispositivo de muestreo extraíble para la realización de autopsias no destructivas en membranas de configuración espiral. El ensuciamiento de las membranas de desalinización supone un grave problema para la industria del tratamiento del agua. Para identificar el nivel de ensuciamiento de las membranas se ha desarrollado un dispositivo que permite obtener muestras significativas de membranas para su análisis en laboratorio, sin necesidad de extraer, trasladar y sacrificar uno o varios elementos de membrana del sistema. Su distribución en distintos puntos de una instalación permite llevar un control preventivo y correctivo del ensuciamiento. Está compuesto por un tubo de plástico hueco perforado a su alrededor, que podrá ser abierto por sus dos extremos cuando sustituya al interconector con salida al exterior, o cerrado por uno de ellos cuando sustituya al tapón de un extremo del colector de permeado, una malla de permeado, una membrana polimérica, un espaciador y un plástico impermeable. (Leer documento [completo](#))

# Patentes en Chile

---

En el buscador de patentes del sitio web del Instituto Nacional de Propiedad Industrial INAPI ([www.inapi.cl](http://www.inapi.cl)), no se encontró ninguna patente relacionada con la autopsia de membranas.

# Referencias

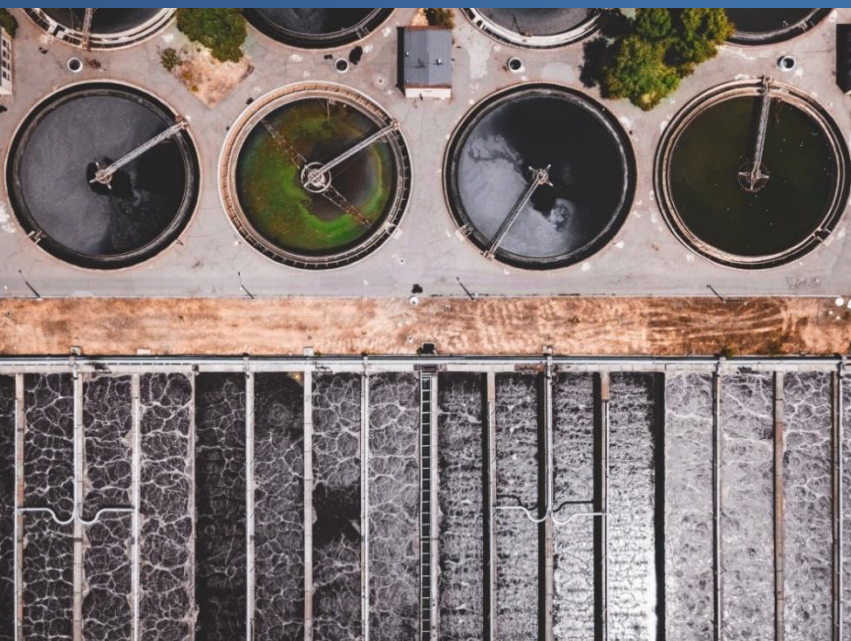
---

1. Karime, M., Bouguecha, S. & Hamrouni, B. RO membrane autopsy of Zarzis brackish water desalination plant. *Desalination* **220**, 258–266 (2008).
2. Ahmed, S. & Al-Amoudi, M. Farooque, Autopsy of membranes. in *In: 3rd Acquired. Experience Symposium, Al-Jubail, Saudi Arabia* (2002).
3. Liu, G., Pattanayak, S., Navaneethakrishnan, P. & Woodling, R. Role of membrane autopsy in enhancing reverse osmosis plant operation. *Water Pract. Technol.* **13**, 106–114 (2018).
4. Stephen, P. C., Nuria, P., Silvia, G., Maqsood, F., Matthew, W. A. & Fernando, D. V. Results from 99 seawater RO membrane autopsies. in *IDA World Congress – Perth Convention and Exhibition Centre (PCEC), Perth* (2011).
5. Nuria, P., Fernando, D. V., Stephen, C., Matthew, A., Rachel, W. & Max, F. A study of the physical and chemical damage on reverse osmosis membranes detected by autopsies. in *The International Desalination Association World Congress on Desalination* (2013).
6. Li, Y., Li, M., Xiao, K. & Huang, X. Reverse osmosis membrane autopsy in coal chemical wastewater treatment: Evidences of spatially heterogeneous fouling and organic-inorganic synergistic effect. *J. Clean. Prod.* **246**, 118964 (2020).
7. Rho, H., Chon, K. & Cho, J. An autopsy study of a fouled reverse osmosis membrane used for ultrapure water production. *Water (Switzerland)* **11**, (2019).
8. Yong, Z., Yunhao, L. & Congjie, G. Modification Method For Improving Boron Removal Rate Of Aromatic Polyamide Reverse-osmosis Membrane. (2018).
9. Lopez ramirez, j. A. Dispositivo de muestreo extraíble para la realización de autopsias no destructivas en membranas de configuración espiral. (2015).



Programa de Mejoramiento Institucional en Recursos  
Hídricos  
Universidad Católica del Norte  
Pabellón E2 / Av. Angamos 0610, Casilla 1280, Antofagasta  
Fono:  
(55) 2651740 / (55) 2355044  
E-Mail:  
[ceitsaza@ucn.cl](mailto:ceitsaza@ucn.cl)  
Página Web:  
[www.ceitsaza.cl](http://www.ceitsaza.cl)

Proyecto de Consolidación de Oficinas de Transferencia  
y Licenciamiento  
Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica  
Universidad Católica del Norte  
E-Mail:  
[Innovacion.vridt@ucn.cl](mailto:Innovacion.vridt@ucn.cl)  
Página Web:  
[ditt.ucn.cl](http://ditt.ucn.cl)



Dirección de Innovación y  
Transferencia Tecnológica