



Universidad
Católica del Norte

N°7
2020

Programa de Mejoramiento
Institucional en Recursos Hídricos

BOLETÍN VIGILANCIA TECNOLÓGICA

DESALINIZACIÓN DE AGUA PARA LA AGRICULTURA Y
TECNOLOGÍAS EMERGENTES



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.....	4
Publicaciones científicas.....	6
Patentes.....	9
Patentes en Chile.....	13
Referencias.....	14

Desalinización de aguas para la agricultura y tecnologías emergentes.

A nivel mundial se producen 77,4 millones de m³/día de agua desalinizada mediante osmosis inversa (RO¹) y el 2% es utilizado en agricultura, España utiliza el 22% de 1,4 millones m³/día, Kuwait el 13% de 1 millón de m³/día, Arabia Saudita el país que más produce agua desalinizada, destina para riego agrícola el 0,5%, Italia el 1,5% de 64.700 m³/día, Bahrain el 0,4% de 620.000 m³/día, Qatar 0,1% y EE.UU 1,3% (Desaldata, 2012). Las limitantes de la desalinización con RO en agricultura son su alto costo de inversión, alta demanda energética, requiere de tecnologías complementarias para remover compuestos específicos como el boro y es necesario contemplar un sistema de manejo del agua de descarte ya que, según las exigencias ambientales de países como Australia, este residuo debe disponerse adecuadamente para mitigar efectos negativos en el medioambiente. A pesar de esto, ha habido experiencias rentables en cultivos de naranjas y plátanos bajo manejos previos exhaustivamente optimizados, ambientes controlados y con una alta eficiencia en el uso del agua (Zarzo *et al.*, 2012; Barron *et al.*, 2015; Burn *et al.*, 2015). Según Service (2006) se han instalado más de 15.000 plantas en 125 países, esta masificación del sistema de OR ha generado una disminución en los costos de producción de agua desalinizada desde US\$2/m³ a US\$0,5/m³, entre 1990 y 2005 (Hoang *et al.*, 2009).

Por otra parte, existen otras tecnologías frecuentemente usadas en agricultura, tales como la nanofiltración, que se ha ocupado principalmente como etapa de pre-tratamiento para sistemas de RO, la electrodiálisis inversa (EDR²) puede disminuir los TDS³ con menos cantidad de insumos químicos que la RO, la cual no se ve afectada por la presencia de sílice en el agua, es más selectiva en la remoción de iones como nitratos, con una recuperación del 85%. Además, se ha utilizado para tratar agua de descarte de RO con una recuperación de 92% (Zarzo *et al.*, 2012). Si bien, en algunos casos es una alternativa más económica que la RO (FAO, 2006), es menos versátil ante diferentes tipos de aguas de alimentación (Burn *et al.*, 2015), presenta limitantes asociadas a etapas de diseño más complejas, las membranas de la EDR poseen menos vida útil por la corrosión generada por iones cloruros, requiere de labores de desgasificación ya que, el oxígeno y el hidrógeno en estado gaseoso, se acumulan en los electrodos, aumentando los costos de mantenimiento y por ende de agua tratada a lo largo del tiempo (Gurtler *et al.*, 2008).

En cuanto a tecnologías emergentes, la Capacitive Deionization (CDI) remueve especies cargadas del agua utilizando una diferencia de potencial eléctrico a través de dos electrodos porosos (AlMarzooqi *et al.*, 2014; Suss *et al.*, 2015). Otra modalidad de tratamiento es la aplicación de campos magnéticos al agua de riego para modificar parámetros como solubilidad, pH, punto de fusión, viscosidad, conductividad, índice de refracción y reducción de la tensión superficial (Grewal y Maheshwari, 2011), adicionalmente la influencia magnética debilita los puentes de hidrógeno entre grandes grupos de moléculas de agua, haciéndolos más pequeños y fortaleciendo sus enlaces internos, adquiriendo forma hexagonal, lo cual facilita el paso a través de las membranas celulares de las plantas (Wang *et al.*, 2013). Estas alteraciones han mejorado la absorción de nutrientes y han disminuido la demanda hídrica en plantas de trigo (Mousa *et al.*, 2013). En cultivos de tomate se han reportado mejoras en el crecimiento y rendimiento aplicando campos magnéticos en riegos con agua dulce y agua de descarte agrícola (El-Zawily *et al.*, 2019), también se ha identificado mayores porcentajes de

¹ OR: Osmosis reverse.

² EDR: Electrodialysis reversal

³ TDS: Total dissolved solids

germinación en semillas de maíz con agua con CE 4 dS/m, y si bien, el aumento de rendimiento en papas no ha sido significativo en comparación con el tratamiento control, el riego con agua salina tratada bajo la influencia de campos magnéticos mejoró la absorción de N, P y K en tejidos vegetales, redujo la CE y el contenido de Na^+ y Cl^- en el suelo (Hachicha *et al.*, 2018).

En Chile, se han implementado sistemas de intercambio iónico en el valle de Yuta para remover boro presente en aguas superficiales, logrando disminuir concentraciones desde 39 mg/L a menos de 0,5 mg/L, produciendo 32 m³/día (FIA, 2009). Actualmente, CEITSAZA se encuentra evaluando la implementación de una planta de RO e intercambio iónico en el cultivo de Limón de Pica, que permiten remover gran parte de las sales y el boro presente en el agua de riego, para posteriormente evaluar diferentes mezclas entre agua tratada y de pozo.

En relación al número de estudios científicos publicados entre 2014 y 2019 asociadas a plantas de tratamiento de aguas para fines agrícolas, se observa una disminución entre 2018 y 2019. No obstante, se destaca la generación de al menos 15 publicaciones anuales en este tema (Figura 1).

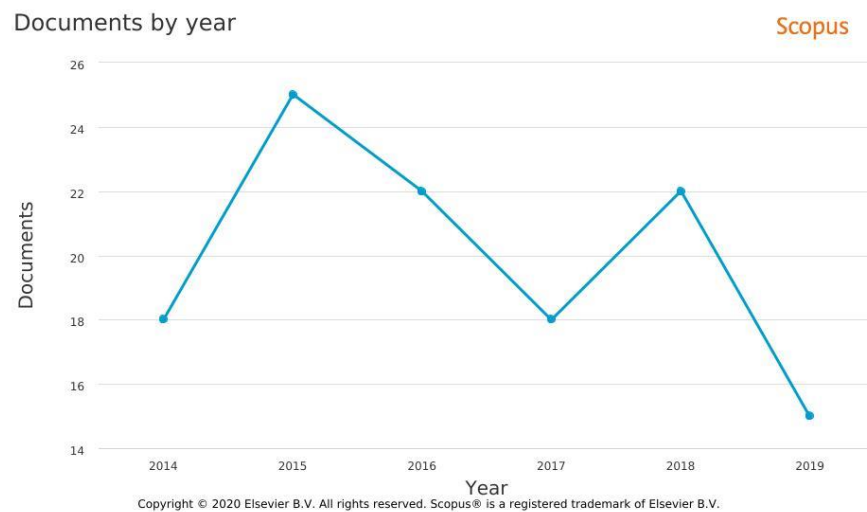


Figura 1. Publicaciones científicas relacionadas con tratamiento de agua como osmosis inversa para la agricultura por año (2014-2019).

Los países que lideran en cuanto cantidad de documentos dentro de este periodo son Estados Unidos, España, Australia, India, Corea del Sur, Reino Unido, Canadá, Brasil, Alemania y Holanda (Figura 2)

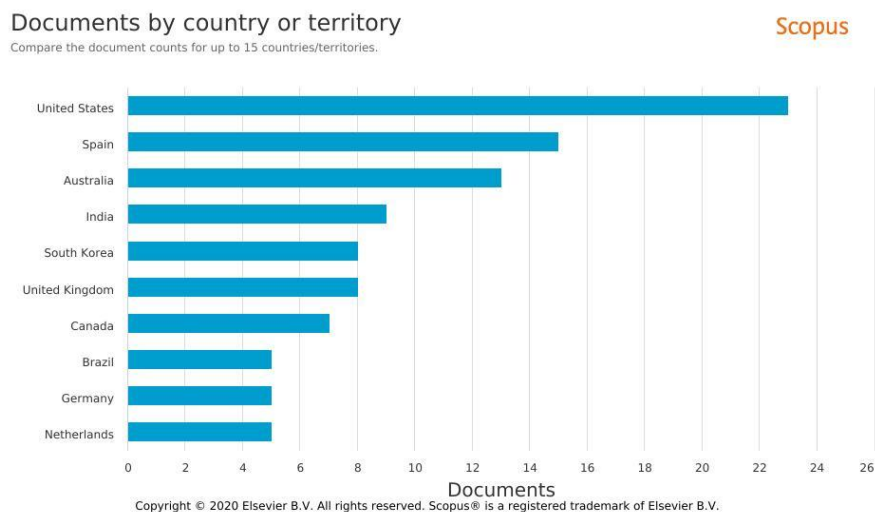


Figura 2. Países con mayor número de publicaciones científicas relacionadas con tratamiento de agua como osmosis inversa para la agricultura durante 2014 y 2019.

Desalinización de agua salobre para agricultura en invernadero: Comparación de costos de RO, CCRO, EDR, y EDR monovalente-selectiva (Publicado en octubre de 2019)

Cada vez más invernaderos agrícolas se están implementando con sistemas de desalinización de agua. Sin embargo, no han sido reportados previamente los requerimientos industriales ni evaluaciones económicas de las tecnologías de desalinización. Se entrevistaron diversos operadores de invernaderos que utilizan sistemas de desalinización en norte américa para identificar especificaciones claves en el diseño. Se realizó una comparación de los detalles de costo de las principales tecnologías: osmosis inversa (RO), osmosis inversa con circuito cerrado (CCRO), electrodiálisis inversa (EDR) y electrodiálisis inversa monovalente-selectiva (MS-EDR). Se calculó el capital de inversión, demanda de energía, costos de reemplazo de membranas, ahorros en los costos de agua de alimentación al operar a una mayor recuperación y potenciales ahorros en fertilizantes usando MS-ERD. Para menos de 10 ha de invernaderos, la RO es la tecnología más conveniente económicamente. Para más de 10 ha, la MS-EDR es económicamente competitiva si pudiera retener al menos un 20% de calcio y magnesio necesario para el crecimiento vegetal y que las membranas tuvieran una vida útil mayor a 7 años. La CCRO es competitiva si la suma de los costos de agua de alimentación y eliminación de la salmuera fueran mayores a US\$0,24/m³. Si estos costos fueran \$0,32/m³, inversión adicional sobre OR para CCRO, EDR y MS-EDR, podría amortizarse en 2,4, 3,4 y 2,1 años. En el condado de Ventura donde los costos municipales de agua son de \$1,05/m³, OR, CCRO, EDR y MS-EDR tuvieron periodos de recuperación de 7,1, 8,4, 7,8 y 8,2 meses. (Leer artículo completo)

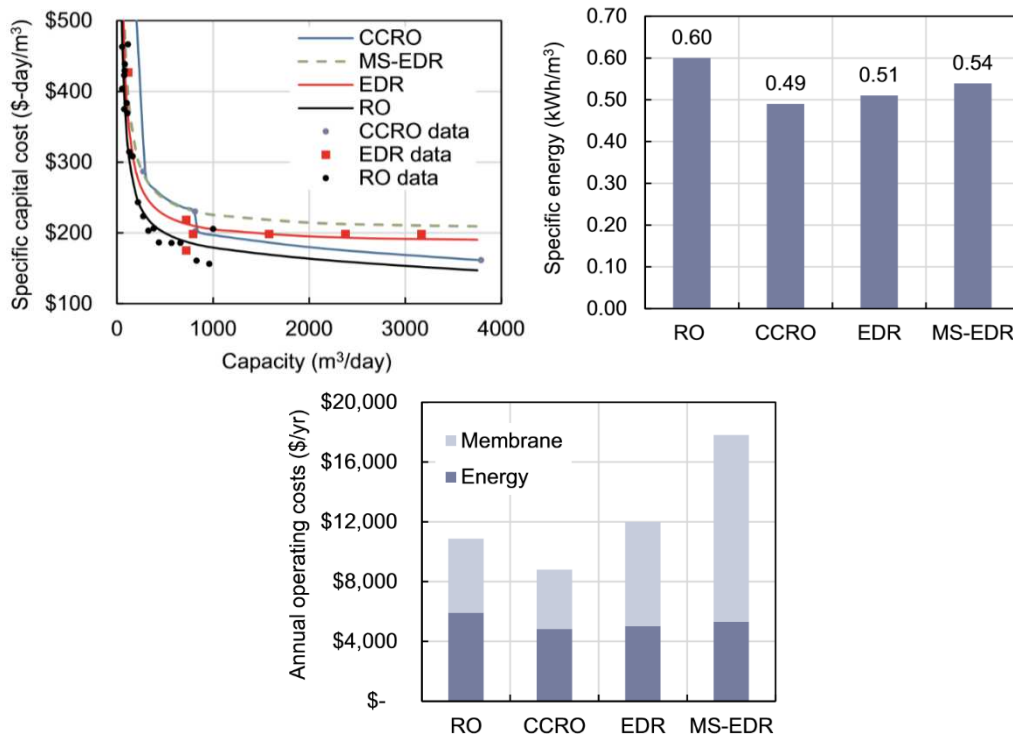


Figura 3. Costos específicos de inversión; Consumo específico de energía para un agua de alimentación con una salinidad de 850 ppm; Costos anuales de operación en energía y reemplazo de membranas para las tecnologías de OR, CCRO, EDR y MS-EDR.

Efecto del tratamiento electromagnético de agua salina sobre el suelo y cultivos. (Publicado en abril de 2016)

Dos experimentos fueron llevados a cabo para estudiar el efecto del tratamiento electromagnético de agua salina sobre la germinación de semillas de maíz, la respuesta del suelo y del cultivo de papas. El experimento se realizó bajo condiciones controladas con diferentes calidades de agua y texturas de suelo. El tratamiento electromagnético fue aplicado utilizando el dispositivo de tratamiento físico Aqua-4D. Los resultados mostraron un aumento significativo de la tasa de germinación de las semillas de maíz embebidas con agua salina electromagnéticamente tratada (EC 4 dS/m), particularmente cuando el agua fue expuesta a campos magnéticos durante 15 minutos. El experimento realizado con el cultivo de papas usando dos texturas de suelo diferentes, mostró aumentos significativos en el rendimiento utilizando agua tratada. También se observó una disminución significativa de la salinidad del suelo, con menores contenidos de Na^+ y Cl^- en los suelos regados con agua salina con tratamiento electromagnético en comparación el agua sin tratar, se identificó un aumento significativo en la absorción de N, K, y P en los tejidos de papas y una disminución de los efectos negativos del agua salina. En base a estos resultados, el tratamiento electromagnético puede reducir los efectos negativos del agua salina en la germinación de semillas de maíz y en el cultivo de papas, aumentando el rendimiento en un 10% según los ensayos realizados. (Leer artículo completo)

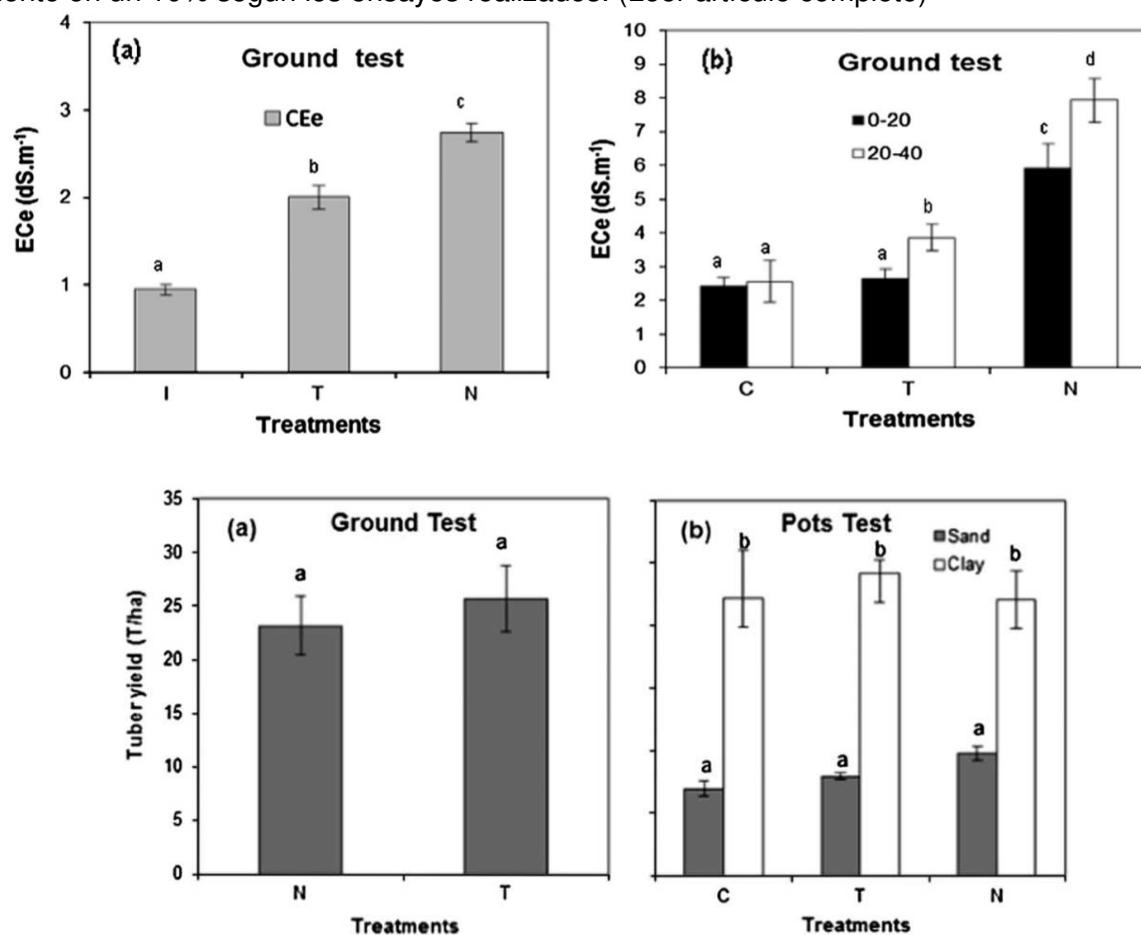
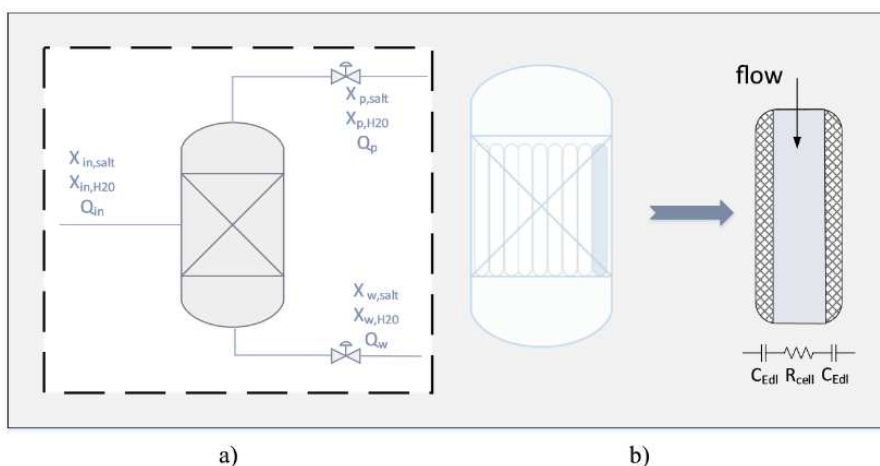


Figura 4. Efecto sobre la EC del suelo y el rendimiento del cultivo de papa en campo y maceta bajo riego con agua con tratamiento electromagnético.

Desalinización de agua salobre a bajo costo mediante Capacitive Deionization (CDI) – Implicancias para riego agrícola (Publicado en diciembre de 2018)

Las investigaciones en desalinización de aguas subterráneas para agricultura en Australia se han enfocado en la viabilidad de sistemas de osmosis inversa a gran escala. La Capacitive – Deionization (CDI) es un método alternativo de desalinización que ha sido demostrado ser efectivo para desalinizar aguas salobres en estudios pilotos y que puede ser abastecido por un sistema de energía fotovoltaico. Utilizando un modelo a escala de campo acoplado a un sistema de CDI, se han identificado potenciales aplicaciones en diferentes tipos de cultivo y con diferentes configuraciones del sistema para su optimización. Se modelaron escenarios para cultivos de uvas, naranjas, almendras, manzanas y tomates, donde se calculó la tasa interna de retorno (TIR) y las ganancias anuales (AUD\$/ha/año). Se identificaron los umbrales de salinidad de aguas subterráneas a partir de los cuales el tratamiento con CDI no es factible, 4,2 dS/m para uvas, 5,5 dS/m para naranjas, 4,4 dS/m para almendras, 14 dS/m para manzanas y 8,5 dS/m para tomates en 60 ha de cultivo con una inversión evaluada a 10 años. Los costos de desalinizar agua a partir de CDI, fueron menores a AUD\$1/kL, dependiendo del escenario. El sistema de desalinización CDI fue económicamente viable y podría ser explorado más a fondo como una opción para mejorar aspectos de seguridad alimentaria. (Leer artículo completo)



	Grapes	Oranges	Almonds	Apples ^a	Tomatoes
Bore salinity threshold (dS/m) (60 ha)	4.2	5.5	4.4	13.9 (9.3)	8.5
Minimum applied water (ML/ha/yr)	7	7	7	4.5 (5)	5
Minimum area (ha)	26	32	6	8 (16)	20
Optimised on crop salinity (dS/m)	1.5	1.7	1.5	1.0	2.5
Optimised water application rate (ML/ha/yr)	8	8	12.5	7	8
Maximum IRR (%), 60 ha (water applied, ML/ha/yr)	18.7, (8)	26.9, (8)	20.7, (12.5)	130 (62.5), (7.5)	46.2, (8.5)
Maximum annualised profit (AUD\$/ha/yr), 60 ha (water applied, ML/ha/yr)	\$12,900, (8)	\$19,600, (8)	\$19,800, (12.5)	\$78,000 (\$37,700), (7.5)	\$31,700, (8.5)
Minimum return period (yr), 60 ha (water applied, ML/ha/yr)	5, (8)	4, (8)	5, (12.5)	1 (2), (7.5)	3, (8.5)

Figura 5. a) Esquema del proceso de un módulo CDI individual y b) Vista en detalle de una de las células dentro del módulo; Tabla de límites umbrales de salinidad y rentabilidad optimizada para todos los cultivos.

Patentes

Patentes sobre desalinización de agua para agricultura y tecnologías emergentes.

La búsqueda de patentes se realizó en la base de datos de Patentscope de World Intellectual Property Organization WIPO, considerando las patentes publicadas entre 2011 y 2020.

Los países que han liderado la obtención de patentes durante el último tiempo, han sido Estados Unidos, PCT y Australia (Figura 6).

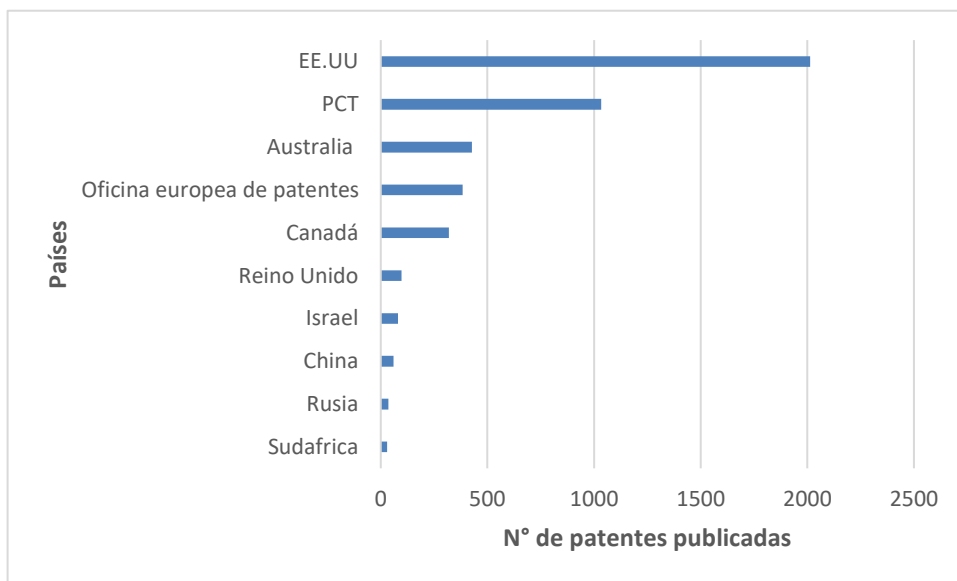


Figura 6. Número de patentes publicadas por país solicitante (2011 - 2020).

Patentes

Entre el periodo de 2015 y 2019 se publicaron 1337 patentes en tecnologías asociadas a la desalinización de agua, algunas de estas invenciones con aplicaciones en la agricultura. Desde 2017 a 2019, hubo un aumento en las solicitudes de patente en este ámbito, alcanzando un valor máximo de 364 solicitudes este último año.

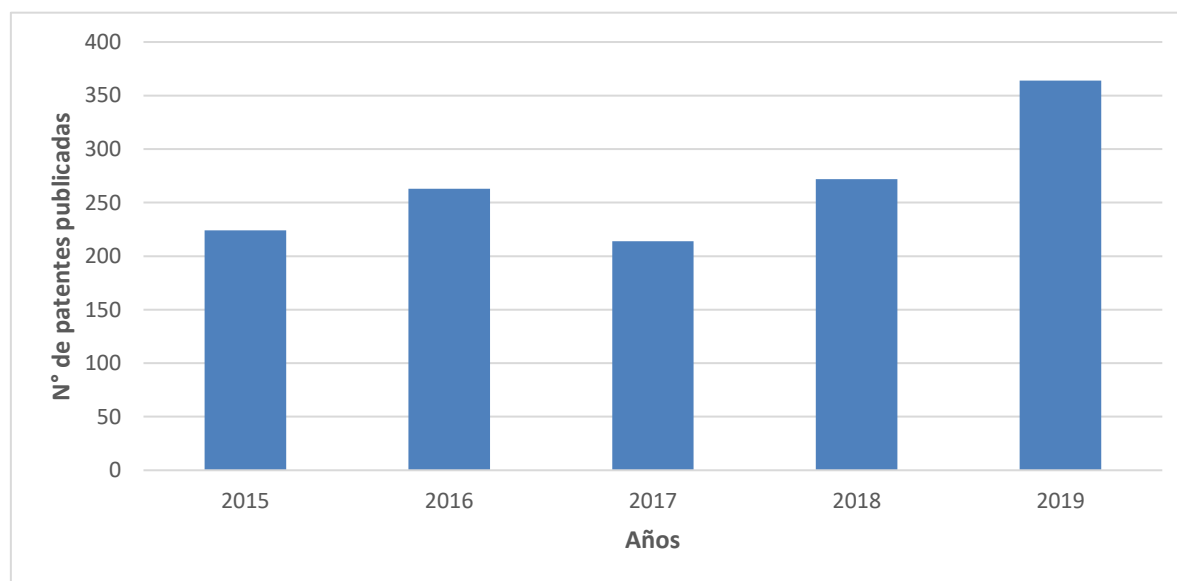


Figura 7. Número de patentes publicadas por año.

Desalinización de agua salina, concentración y cristalización.

Ben Harrison Cantrell

Fecha de publicación: (15 de junio de 2018)

Número de solicitud/publicación: US20180162758A1

Esta invención obtiene agua dulce y solo residuos sólidos de agua de descarte. Este resultado se conoce comúnmente como desalinización con descarga de líquido cero (ZLD). Utiliza cualquier proceso de desalinización común como destilación, osmosis inversa, electrodiálisis, etc. seguido por una recuperación y cristalización de salmuera que se basan ambos en la evaporación de agua. Esta invención proporciona una alternativa a los procesos de recuperación y cristalización de salmuera comúnmente utilizados para producir solamente residuos sólidos. Los componentes principales son (a) nuevo proceso de concentración iónica; (b) combinaciones de procesos de desalinización de la técnica anterior y nuevos procesos de concentración iónica para producir agua dulce y agua salina casi saturada (c) otra combinación de desalinización de la técnica anterior y nuevos procesos de concentración iónica para producir agua dulce y agua salada súper-saturada (d) sistema de precipitación de los sólidos del agua salada súper-saturada. (Leer artículo [completo](#))

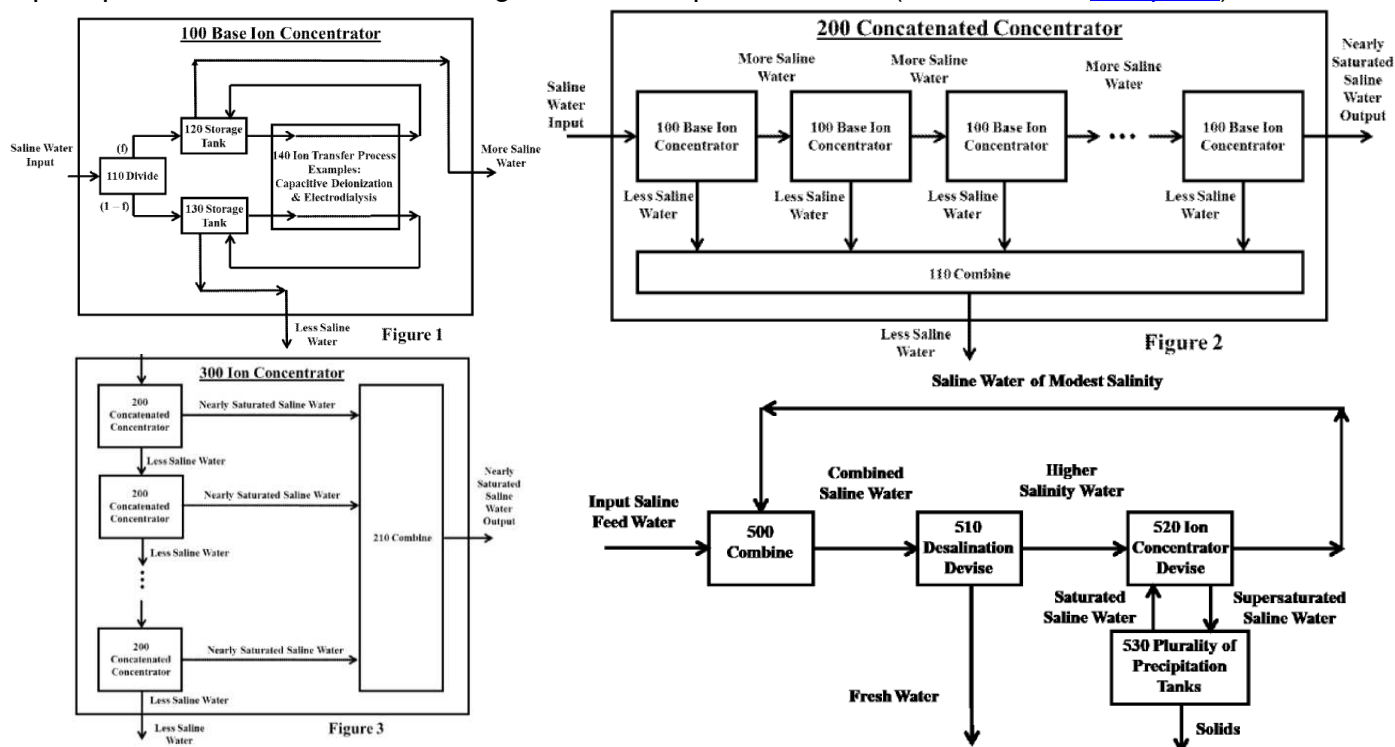


Figura 6. Diagramas conceptuales del proceso de desalinización de agua, recuperación y cristalización de sales.

Patentes

Sistemas y métodos para acondicionamiento y desalinización de agua.

Steve John Stroncsek; Melvin Hilmar Kott

Basic Water Solutions, LLC

Fecha de publicación: 21 de julio de 2018

Número de solicitud/publicación: WO/2018/111604

Sistema de desalinización que incluye un dispositivo de tratamiento para tratar agua con un campo electromagnético, proporcionando de esta manera un agua activada, el dispositivo de tratamiento incluye un conducto que comprende una entrada de agua de alimentación y una salida para agua activada, un transductor que comprende una bobina de alambre colocada alrededor de la parte externa del conducto, y un controlador acoplado eléctricamente al transductor, en donde el controlador está configurado para proporcionar una corriente alterna al transductor. Luego, un intercambiador de cationes con su medio de intercambio acoplado con el dispositivo de tratamiento. (Leer artículo [completo](#))

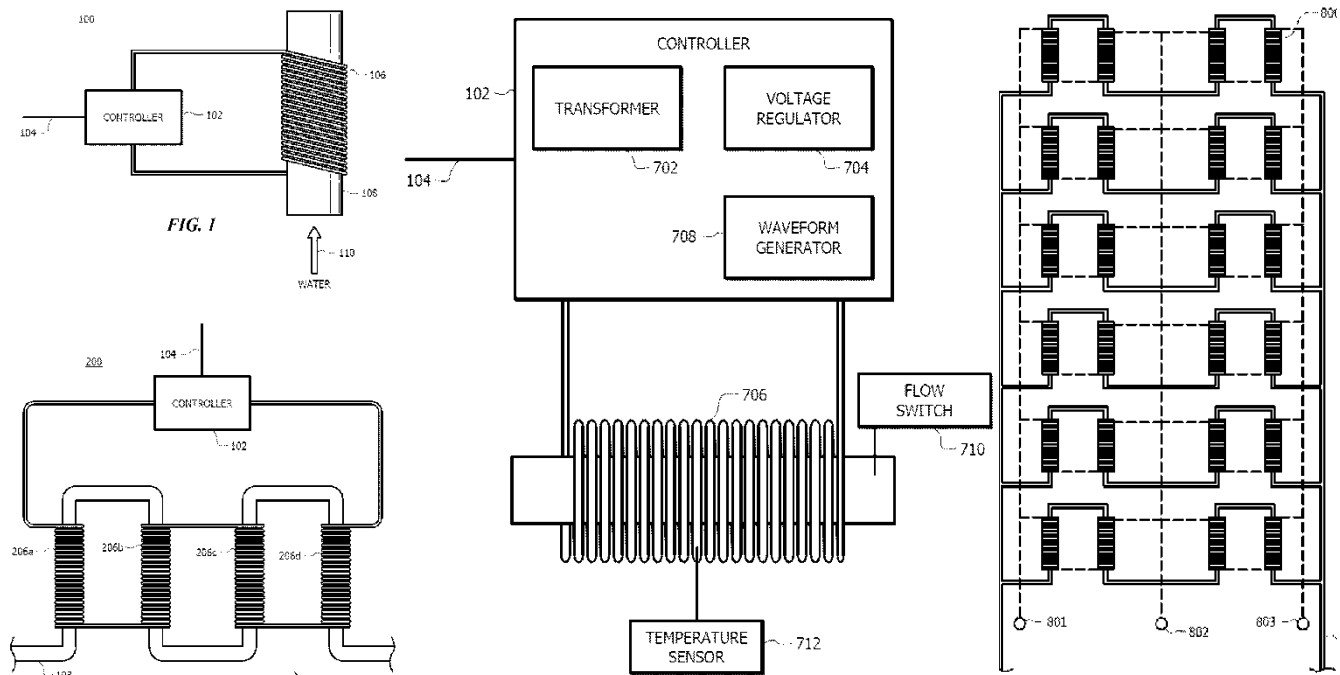


Figura 7. Diseño del sistema de tratamiento de agua mediante campo electromagnético.

Patentes en Chile

En el buscador de patentes del sitio web del Instituto Nacional de Propiedad Industrial INAPI (www.inapi.cl), se encontró una solicitud de patente relacionada con dispositivo para desalinizar agua a partir de presión hidrostática de pozos de agua. Sin embargo, es una patente antigua y que se encuentra en estado de desistida.

Título de Patente: APARATO DE DESALINIZACIÓN DE AGUA QUE UTILIZA UNA CARGA DE PRESIÓN GRAVITATORIA POR MEDIO DE POZOS PROFUNDOS PARA HACER OPERAR ELEMENTOS DE OSMOSIS INVERSA

Este invento corresponde a un sistema de desalinización que usa la presión hidrostática formada en un pozo de mina vertical para hacer funcionar membranas de osmosis inversa, instaladas con una plomería, tal que el agua infiltrada proveniente de la última membrana es agua de entrada a la siguiente. La presión hidrostática fuerza a la salmuera proveniente de la primera membrana, casi hasta la superficie de la tierra. La segunda salmuera tiene el potencial de utilizarse como agua potable. El agua producto final, es lo suficientemente pura para ser utilizable en agricultura.

Estado: Desistida

Tipo: Patente de invención

Fecha de publicación: Julio de 1997

Solicitante: DDSAL INC.

País: Estados Unidos

Comuna: Las Condes

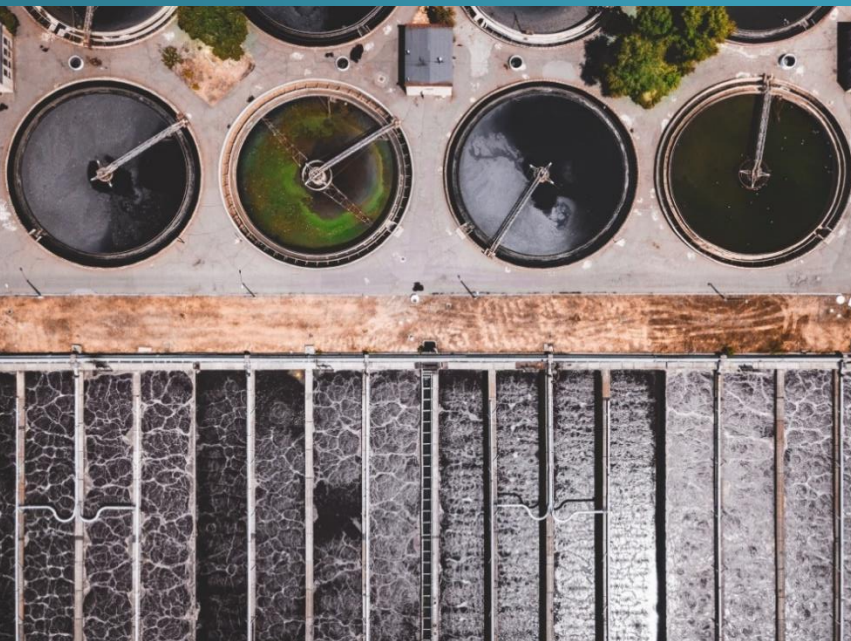
Referencias

- AlMarzooqi, F., A. Ghaferi, I. Saadat & Hilal, Nidal. (2014). Application of Capacitive Deionization in water desalination: A review. *Desalination* (342) 3-15. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916414001052>.
- Barron, O., R. Ali, G. Hodgson, D. Smith, E. Qureshi, D. McFarlane, E. Campos & D. Zarzo. (2015). Feasibility assessment of desalination application in Australian traditional agriculture. *Desalination* (364) 33-45. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916414004056>.
- Bales, C., P. Kovalsky, J. Fletcher & D. Waite. (2019). Low cost desalination of brackish groundwaters by Capacitive Deionization (CDI) – Implications for irrigated agriculture. *Desalination*. (453) 37-53. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916418317107>.
- Burn, S., M. Hoang, D. Zarzo, F. Olewniak, E. Campos, B. Bolto & O. Barron. (2015). Desalination techniques – A review of the opportunities for desalination in agriculture. *Desalination* (364) 2-16. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916415000600>.
- Desaldata. (2012). Global desalination Market GWIRetrieved October 30rd, 2012, from Desaldata: www.desaldata.com.
- El-Zawily, A., M. Meleha, M. El-Sawy, E. El-Attar, Y. Bayoumi & T. Alshaal. (2019). Application of magnetic field improves growth, yield and fruit quality of tomato irrigated alternatively by fresh and agricultural drainage water. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (181) 248-254. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651319306566>.
- FAO. (2006). Water desalination for agricultural applications. Proceedings for the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agricultural Applications 26-27 April 2004, Rome. Land and water discussion paper 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 56 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0494e.pdf>.
- FIA. (2009). Resultados y Lecciones en Reducción de Boro en Aguas de Riego Proyecto de Innovación en XV Región de Arica y Parinacota. Serie de Experiencias en Innovación para el emprendimiento Agrario (44). Fundación para la Innovación Agraria Ministerio de Agricultura, Chile. 30 p. Disponible en: https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75559_archivo_01.pdf.
- Grewal, H. & Maheshwari, B. (2011). Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics* (32) 58-65.
- Gurtler, B., T. Vetter, E. Perdue, E. Ingall, J. Koprivnjak & Pfromm, P. (2008). Combining reverse osmosis and pulsed electrical current electro dialysis for improved recovery of dissolved organic matter from seawater. *Journal of Membrane Science* (323) 328-336. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738808005747>.
- Hachicha, M., B. Kahlaoui, N. Khamassi, E. Misle & Jouzdan, O. (2018). Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (17) 154-162. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X16000023>.
- Hoang, M., B. Bolto, & Tran, T. (2009). Desalination by capacitive deionisation. *Water* (36) 132-135. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287738547_Desalination_by_capacitive_deionisation.
- Mousa, E., D. Selim, M. Abdelsalam & Gendy, A. (2013). Physio-anatomical responses of salinity stressed wheat plants to magnetic field. *Menoufia J. Agric. Res.* (38) 31-41.
- Nayan, K. & Lienhard, J. (2020). Brackish water desalination for greenhouse agriculture: Comparing costs of RO, CCRO, EDR, and monovalent-selective EDR. *Desalination* (475) 114188. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001191641931032X>.
- Service, R. (2006). *Desalination Freshens Up*. *Science* (313) 1088-1090. Disponible en: <https://science.sciencemag.org/content/313/5790/1088.full>.
- Suss M., S. Porada, X. Sun, P. Biesheuvel, J. Yoon & Presser, V. (2015). Water desalination via capacitive deionization: what is it and what can we expect from it?. *Energy & Environmental Science* (8) 2296-2319. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/EE/C5EE00519A#divAbstract>.
- Wang, Y., B. Zhang, Z. Gong, K. Gao, Y. Ou & Zhang, J. (2013). The effect of a static magnetic field on the hydrogen bonding in water using frictional experiments. *Journal of Molecular Structure* (1052) 102-104. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022286013006972>.
- Zarzo, D., E. Campos & Terrero, P. (2012). Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalination and water treatment*, DOI: 10.1080/19443994.2012.708155. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2012.708155>.



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
Página Web:
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
Página Web:
ditt.ucn.cl



Dirección de Innovación y
Transferencia Tecnológica