



# DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR PARA AGRICULTURA **EN CONTEXTO**



Síguenos en nuestras redes:



@aladyr\_asoc



ALADYR



@aladyr\_asociacion

[www.aladyr.net](http://www.aladyr.net)  
[publicaciones@aladyr.net](mailto:publicaciones@aladyr.net)

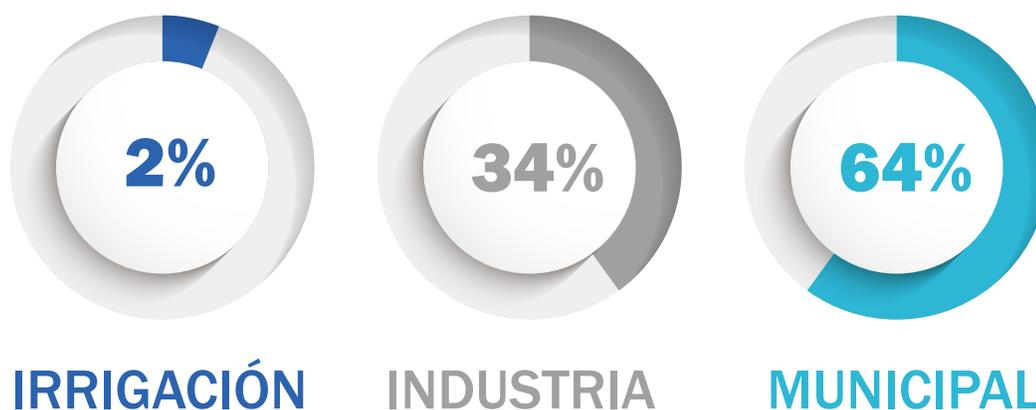
Latinoamérica enfrenta una reducción del agua disponible en la mayoría de sus ciudades principales y áreas aisladas debido a factores como el cambio climático, estrés hídrico de las fuentes naturales, contaminación, crecimiento poblacional y el aumento de la actividad económica, entre otros. Esto otorga mayor relevancia a la discusión sobre las alternativas para garantizar el acceso al recurso.

La necesidad de diversificar las fuentes de agua y aumentar la disponibilidad, ha motivado el crecimiento del uso de ósmosis

inversa (tecnología de membranas) para el tratamiento de agua. Actualmente, se produce agua desalinizada en todo el mundo, con más de 20.000 instalaciones de diferentes tamaños.

El agua potable disponible proveniente de fuentes naturales se usa principalmente en el sector agrícola. En el caso del agua de mar desalinizada, la mayoría se emplea en los sectores industrial y municipal.

## USO FINAL DEL AGUA DESALINIZADA



**El costo de desalinizar agua de mar es más alto que el de tratar aguas superficiales o aguas subterráneas, pero al final “el agua más costosa es el agua que no se tiene”.**

*Juan Miguel Pinto, presidente de ALADYR.*

A efectos de este papel no se tomarán en cuenta los costos de transporte y distribución dado que estos varían de acuerdo a los requerimientos y características de cada proyecto. Entonces, sólo se usará el costo de producir agua desalinizada a boca de mar.

En este papel también se analizarán los factores que pueden afectar los costos de producir agua para uso agrícola a partir de la desalinización. Estos costos de producción se pueden dividir en tres áreas: Costo de Capital (CAPEX), Costo de Operación (OPEX) y Costo financiero.

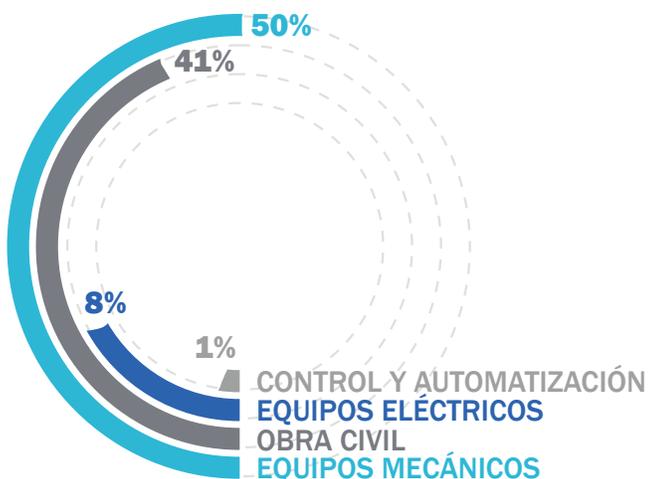
## Costo de capital (CAPEX)

Son todas las inversiones de capital que se utilizan para obtener bienes físicos que aumenten la capacidad productiva y que se vuelven propiedad de la empresa generando beneficios. En el caso específico de la desalinización, es la inversión completa para la compra de activos, terrenos y otros necesarios para la construcción de la planta desalinizadora.

En los últimos años, los costos de construcción han sido reducidos debido a varios factores:

- Reducción en los costos de los componentes que se usan en la construcción de las plantas desalinizadoras debido a la aparición de más proveedores.
- La madurez de la desalinización como tecnología permitió optimizar el costo de los componentes.
- Un mercado cada día más competitivo, motiva a las empresas constructoras a optimizar todos los costos de construcción.

### CAPEX



## Costo de Operación (OPEX)

Son todos los costos relacionados con la operación de la planta de ósmosis inversa. Estos costos incluyen repuestos para equipos mecánicos como bombas, repuestos para membranas, personal de operación, costos de operación y el costo energético.

El costo energético es el costo operativo más alto para una planta desalinizadora, el mismo puede ser cerca del 40-50% del costo de operación de la planta.

En los últimos años, los costos de operación han sido reducidos debido a varios factores:

- Reducción del costo de la electricidad mediante la utilización de energías renovables.
- Nuevas tecnologías que permiten aumentar la vida útil de los componentes.
- Smartwater - Permite optimizar la operación de los sistemas.
- Productos con mayor eficiencia mecánica.
  - \* Recuperadores de energía isobáricos con eficiencias de hasta un 98%
  - \* Bombas de alta presión de alta eficiencia.
    - a) Bombas centrifugas para altos caudales de operación.
    - b) Bombas de desplazamiento positivo para pequeños caudales de operación.

## Costos Financieros:

Los costos financieros son el conjunto de desembolsos en términos de unidades monetarias por concepto de intereses, comisiones y otros que se originan por la obtención de préstamos ante entidades financieras o capital privado para financiar un proyecto. Éstos se distribuyen normalmente entre el capital privado, que desembolsan las empresas constructoras y el capital aportado por entidades financieras.

Los costos financieros dependerán de varios factores, entre ellos:

- Riesgo país de la ubicación del proyecto.
- Tipo de contrato.
- Estabilidad económica de la empresa que construirá el proyecto.
- Estabilidad económica de la empresa que contrata la producción de agua.

## Costo del agua desalinizada

Debido a todas estas variables (CAPEX + OPEX + Costo Financiero), los costes de producción del agua desalinizada son muy complejos y las diferencias entre proyectos pueden ser grandes o pequeñas. Los costos de producción de 1 m<sup>3</sup> de agua desalinizada pueden ser de 0.50 USD/m<sup>3</sup> para un proyecto grande en el medio oriente (400,000 m<sup>3</sup>/

día) o pueden ser de 0.89 USD/M3 para un proyecto grande en México (380,000 m<sup>3</sup>/día). La misma diferencia es aplicable entre el tamaño del proyecto debido a la escala de la economía. Los costos para un proyecto pequeño pueden variar desde 1.50 USD/m<sup>3</sup> en México a 3 USD/m<sup>3</sup> en el Caribe donde el costo energético puede ser 5 veces más alto que en Latinoamérica.

Los costos de la desalación han disminuido constantemente en los últimos 40 años. Al comienzo de la desalinización de agua de mar, la tecnología más usada era la destilación Multietapa (MSF) con un costo estimado de 10 USD/m<sup>3</sup>, hoy día la desalinización con ósmosis inversa puede tener un costo menor de 0.50 USD/m<sup>3</sup>.

Para la comparación de costos se utilizará como referencia precios de proyectos de gran escala en diferentes partes del mundo y su promedio. El promedio de los proyectos en la *tabla 1.0* es 0.63 USD/m<sup>3</sup>

Entonces, teniendo en cuenta la reducción de los costos de desalinizar agua de mar por los factores antes mencionados, ahora se prosigue a comparar los requerimientos de tratamiento entre el agua potable y el agua para el riego, aspecto necesario para determinar la viabilidad de la desalación para la agricultura.

Tabla 1.0 - **Proyectos de desalinización modalidad BOOT**

Ubicación	Nombre	Capacidad (m <sup>3</sup> /día)	Modelo de I&C	USD/m <sup>3</sup>	
Medio Oriente	Rabigh	650,000	BOOT	0.55	<b>* BOOT</b> (Build - Own - Operate - Transfer) Es el costo del agua acordado por contrato, generalmente estipulado a varios años.
Medio Oriente	Taweelah	900,000	BOOT	0.49	
Medio Oriente	Shuqaiq 3	450,000	BOOT	0.52	
Australia	Melbourne	450,000	BOOT	0.89	
Asia	Tuas 3	136,000	BOOT	0.54	
Latinoamerica	México - Rosarito	380,000	BOOT	0.89	
Europa	Chipre - Paphos	15,000	BOOT	0.51	

## Requerimientos normativos:

Los requerimientos normativos internacionales para que el agua sea apta para la agricultura no son tan estrictos como para uso potable, por lo que el gasto en tratamiento es menor. En este sentido se expondrán algunas diferencias tomando en cuenta el trabajo de Antonio Ordoñez y Belén Gutiérrez titulado “*El éxito de la utilización del agua desalada para la producción agrícola*”; junto a la tesis doctoral “*Diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento para la eliminación de boro en vertidos industriales*” (2000) de la Universidad Politécnica de Madrid.

A diferencia del agua potable, en la agricultura:

- La desinfección no suele ser un requisito por las características del agua permeada.

- La remineralización, en este caso, además de la protección de las redes de distribución y depósitos (fundición, acero, hormigón), se aplica para incrementar la alcalinidad, el contenido en Ca y el ajuste del pH.

- La salinidad total y concentración de determinados elementos dependen de la clasificación del cultivo según su contenido de boro.

\* Los cultivos pueden clasificarse, atendiendo a la concentración máxima permitida de boro en el agua de riego, en tres categorías por orden de tolerancia creciente:

a) Cultivos sensibles (0,30-1,00  $\mu\text{g B/ml}$ ): manzano, cerezo, limonero, naranjo, peral, melocotonero, pomelo, aguacate, olmo, albaricoquero, higuera, vid, ciruelo y judías.

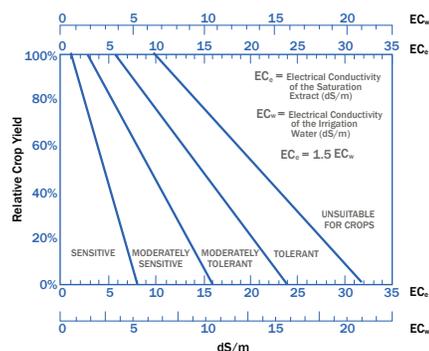
b) Cultivos semitolerantes (1,00-2,05  $\mu\text{g B/ml}$ ): cebada, alfalfa, repollo, zanahoria, lechuga, cebolla, patata, calabaza, espinaca, tabaco, olivo, rosal, tomate y trigo.

c) Cultivos tolerantes (2,05-4,00  $\mu\text{g B/ml}$ ): espárrago, arándano, algodón, pepino, gladiolo, sésamo, tulipán, remolacha, haba, pasto, menta y centeno.

- Necesidad de incrementar el contenido en elementos como el Ca, Mg y Sulfatos. La remineralización convencional en desaladoras incrementa solamente el contenido en Ca y la alcalinidad del agua.

Antes de entrar a detalle en los costos de agua para agricultura, es necesario mencionar que según estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a menor salinidad del agua aumenta el rendimiento del cultivo, lo que se denota en el siguiente gráfico tomado de una publicación del organismo internacional.

**Gráfico 1 - Relación entre salinidad del agua y Rendimiento de cultivo**



Para poder hacer una evaluación cuantitativa que permita determinar la viabilidad económica del riego a partir de agua desalinizada, la siguiente tabla compara las variables:

**Huella hídrica:** es un indicador propuesto por Water Foot Print, iniciativa de la ONU, que mide el consumo de agua usada en el proceso de producción clasificándola en tres grupos. Agua gris (cantidad de agua contaminada); agua verde (agua de lluvia que se aprovecha) y agua azul (agua extraída de fuentes naturales como ríos y acuíferos).

A efectos de este trabajo sólo se tomará el agua azul usada en el proceso de producción de los productos a presentarse en la tabla. Este renglón se denominó “huella hídrica azul”.

**Costo de agua desalada:** esta variable representa lo que costaría la cantidad de agua usada en la producción del bien si se usase el agua de mar desalinizada en vez de agua de fuentes convencionales. El costo del agua no incluye transporte de la fuente al usuario final.

**Costo agua superficial:** esta variable está determinada por el costo de la cantidad de agua extraída de fuentes convencionales. El costo del agua no incluye transporte de la fuente al usuario final.

**Delta:** es el valor diferencial entre el costo de agua desalada y el costo de agua superficial. Está expresado en dólares americanos.

**Precio:** está determinado por el precio final que paga el consumidor en Chile.

Tabla 2.0 - Análisis del costo de agua para cultivos

Producto	Huella hídrica azul (lt/kg)	Costo agua desalada (USD/l)	Costo agua superficial (USD/l)	Delta (USD)	Precio (USD/kg)	% de incremento de costo
 Naranja	112	\$0,0706	\$0,0112	\$0,0594	1,29	5%
 Manzana	131,52	\$0,0829	\$0,0132	\$0,0697	1,8	4%
 Tomate	64,2	\$0,0404	\$0,0064	\$0,0340	1,54	2%
 Lechuga	28	\$0,0176	\$0,0028	\$0,0148	1,02	1%
 Papa	31,57	\$0,0199	\$0,0032	\$0,0167	1,46	1%
 banana	94,8	\$0,0597	\$0,0095	\$0,0502	1,05	5%
 arroz	499,4	\$0,3146	\$0,0499	\$0,2647	1,3	20%
 palta/aguacate	283	\$0,1783	\$0,0283	\$0,1500	4,72	3%

Huella Hídrica azul, fuente: Water Foot Print - Los costos de los artículos por kilo fueron tomados de datos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) - Costo con Agua desalinizada 0.63 USD/m<sup>3</sup> - Costo con Agua superficial 0.10 USD/m<sup>3</sup>

Como se analiza en la tabla anterior, con baja huella hídrica y alto precio de venta de mercado, sí es económicamente viable utilizar desalinización de agua de mar. Sin embargo, en aquellos cultivos

Adicionalmente al factor costo, la desalinización es una alternativa que puede combinarse con otras opciones para procurar una mayor seguridad hídrica y descargar el estrés sobre las fuentes naturales.

**Comparación tomate vs arroz** - El traslado del aumento del precio de venta al consumidor sería de 2% en el caso del tomate y 20% en el arroz.



En la siguiente tabla tomada del curso “**Desalación para la Agricultura**” dictado por Domingo Zarzo, presidente de la *Asociación Española de Desalación y Reúso de Agua* (AEDyR), se aprecian otros factores relevantes a la hora de adoptar esta alternativa.

**Ventajas de la desalación para agricultura:**

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASPECTOS DIFERENCIALES
Recurso de agua adicional	Mayor precio del agua	Menores requerimientos en salinidad del producto y post-tratamiento; permite mezclas.
Agua de mar, recurso inagotable que no depende del clima	El agua deber estar iónicamente equilibrada (SAR)	Menores requerimientos de mano de obra, químicos, automatización, etc.
Incremento en productividad y calidad del producto	Requerimientos especiales de calidad: Boro, SAR, etc.	Capacidad para regular la producción (almacenamiento)
Menor consumo de agua	Posible agotamiento de acuíferos para desalación de agua salobre.	Simplicidad en obras civiles y equipos
Recuperación de suelos salados o degradados	Problema de gestión de las salmueras en interior	Tecnologías; RO (agua de mar), RO, NF, EDR (agua salobre)

En conclusión, es posible afirmar que la aplicación de la desalinización como fuente de agua en la agricultura es económicamente viable debido a los avances tecnológicos y mejoras en los costos. Además, se puede asegurar que dicha viabilidad económica está supeditada a las características particulares de cada cultivo, para lo que se debe tomar en cuenta la huella hídrica del mismo y su precio en el mercado.

Ya existen experiencias exitosas y bien documentadas de la desalinización para la agricultura. Para países como Arabia Saudita, Israel y Kuwait, la desalación es imprescindible para el desarrollo de la industria agrícola. Otros ejemplos pueden ser encontrados en Australia, Chile, España, Estados Unidos, Italia y México.



Autor: Juan Miguel Pinto. Presidente de ALADYR.

Revisado por: Ivo Radic.

Todos los derechos reservados.

2019