



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Medioambiente

Ingeniería Ambiental

**EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL PARA EL
FUNCIONAMIENTO DE PLANTAS DESALINIZADORAS QUE OPEREN EN LA
REGIÓN DE VALPARAÍSO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: IGNACIO VALDÉS VELÁSQUEZ

PROFESORA GUÍA: ROMINA ÁLVAREZ ALARCÓN

VALPARAÍSO, 2022

Resumen

El acelerado crecimiento que ha experimentado la humanidad sumada a la grave crisis climática del planeta ha ocasionado que los cuerpos de agua continentales cada vez sean más escasos y la Región de Valparaíso no es ajena a ello. Gran parte de las fuentes de agua dulce de la región han comenzado a secarse y con ello afectando la calidad de vida de las personas. Como reacción a estos dos fenómenos es que en los últimos años ha existido un auge en la tecnología de desalinización del agua de mar para utilizarla para consumo humano y también en otros ámbitos. Las plantas desalinizadoras ya se emplean actualmente en el mundo en países como Australia o Israel, sin embargo, como aún no están masificadas del todo, los impactos negativos al medio ambiente que pueden generar a futuro sus procesos de captación de agua y sobre todo la descarga de salmuera al mar, no han sido considerados lo suficientemente en detalle para asegurar que estos procesos no serán un problema en las décadas venideras. Para evaluar ello, se determinó primero que en la región de Valparaíso es en la bahía de Quintero-Puchuncaví que estas industrias, de acuerdo al ordenamiento territorial, pueden implementarse. Luego se caracterizó los ecosistemas marino-costeros y las actividades humanas aledañas al lugar, con el fin de tomar estos factores como criterios para seleccionar las tecnologías de menor impacto ambiental, determinando así los grupos de organismos que existen en las distintas zonas del océano. Luego de una evaluación de cada una de las tecnologías estudiadas para cada proceso en cuestión, se determinó que la captación abierta sumergida y el vertido líquido cero son las tecnologías más indicadas para utilizarse en la captación de agua de mar y en la descarga de residuos, respectivamente, en la bahía de Quintero-Puchuncaví, permitiendo de esta forma el menor daño ambiental al ser utilizadas por las plantas desalinizadoras en esta zona.

Índice General

1.	Introducción.....	1
1.1	Crisis Hídrica.....	3
1.2	Métodos de Desalinización del Agua de Mar	6
1.3	Impactos Ambientales.....	10
1.4	Normativa chilena vigente aplicable	14
2.	Problema	17
3.	Objetivos.....	18
4.	Metodología.....	19
4.1	Caracterización del Ecosistema Marino-Costero y las Comunidades Aledañas a la Bahía de Quintero-Puchuncaví	19
4.2	Selección de la Tecnología que Permita el Menor Impacto Ambiental en Operaciones de Captura de Agua de Plantas Desalinizadoras.....	21
4.3	Selección de la Tecnología que Permita el Menor Impacto Ambiental en la Descarga de Residuos de Plantas Desalinizadoras	23
5.	Resultados	25
5.1	Caracterización del ecosistema marino-costero y de comunidades aledañas a la bahía de Quintero-Puchuncaví	25
5.1.1	Fauna	25
5.1.2	Algas.....	31
5.1.3	Comunidades humanas aledañas.....	31
5.2	Selección de la tecnología que permite el menor impacto ambiental en operaciones de captura de agua en plantas desalinizadoras	33
5.2.1	Descripción de las tecnologías para captación de agua de mar.....	33
5.2.2	Evaluación de las tecnologías para captación de agua de mar	40
5.3	Selección de la tecnología que permite el menor impacto ambiental en la descarga de residuos de plantas desalinizadoras	41

5.3.1 Descripción de tecnologías para tratamiento de descarga de residuos.....	41
5.3.2 Evaluación de tecnologías para tratamiento de descarga de residuos	47
6. Discusión.....	48
7. Conclusión	51
8. Bibliografía.....	53
9. Anexos	60

Índice de Figuras

Figura 1.1: Proporción de acumulación de agua en embalses respecto a máxima capacidad.	3
Figura 1.2: Decretos de escasez hídrica vigentes marzo 2022.	4
Figura 1.3: Distribución de demanda consuntiva de agua a nivel nacional 2015.	5
Figura 1.4: Distribución de demanda consuntiva de agua actual - V Región de Valparaíso.	6
Figura 1.5: Esquema de desalinización por compresión mecánica de vapor.....	7
Figura 1.6: Procesos de desalinización mediante MSF.	7
Figura 1.7: Procesos de Destilación Multiefecto (MED).	8
Figura 1.8: Esquema general de una planta de ósmosis inversa.....	9
Figura 1.9: Esquema general de una planta de electrodiálisis.	10
Figura 4.1: Área de estudio en la bahía de Quintero-Puchuncaví.	19
Figura 4.2: Zonificación de Bahía de Quintero-Puchuncaví.	20
Figura 5.1: Esquema sistema de captación abierta sumergida.	33
Figura 5.2: Esquema Sistema de captación abierta elevada.	34
Figura 5.3: Esquema sistema de captación abierta directa.	35
Figura 5.4: Esquema de pozo vertical de playa.	37
Figura 5.5: Esquema general del sistema de captación pozos horizontales.	38
Figura 5.6: Esquema de captación mediante galerías de Infiltración.....	39
Figura 5.7: Esquema laguna de evaporación.....	41
Figura 5.8: Esquema de pozo de inyección profunda.	43
Figura 5.9: Esquema de vertido superficial con difusores.	44
Figura 5.10: Esquema de disposición de salmuera en alcantarillado hacia plantas de tratamiento de residuos.....	45
Figura 5.11: Diagrama de cristalización de salmuera.	46

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Impacto de la salmuera de desalinización en la salud marina.	12
Tabla 1.2: Composición química del agua de mar y de la salmuera.	14
Tabla 4.1: Criterios de selección de tecnología de menor impacto ambiental para captación de agua de mar en plantas desalinizadoras.	21
Tabla 4.2: Criterios de selección de tecnología de menor impacto ambiental en descarga de residuos de plantas desalinizadoras.	23
Tabla 5.1: Macrobentos submareales de sustrato blando identificados en estaciones de muestreo. .	26
Tabla 5.2: Macrobentos intermareales de sustrato blando identificados en estaciones de muestreo.	28
Tabla 5.3: Listado de aves encontradas en el monitoreo terrestre y marino, Proyecto Aconcagua.....	29
Tabla 5.4: Invertebrados bento-demersales identificados en puerto de Quintero.	30
Tabla 5.5: Algas identificadas en puerto de Quintero.	31
Tabla 5.6: Número de trabajadores por rubro en comunas de Quintero y Puchuncaví.....	32
Tabla 5.7: Evaluación de tecnologías de menor impacto en captación de agua de mar.	40
Tabla 5.8: Costos de construcción de tecnologías para eliminación de salmuera.	47
Tabla 5.9: Selección de tecnología de menor impacto en descarga de salmuera.....	47

Listado de Acrónimos

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

GORE: Gobierno Regional.

CPI: Consejo de Políticas de Infraestructura.

DGA: Dirección General de Aguas.

NRDC: *Natural Resources Defense Council* (Consejo para la Defensa de Recursos Naturales).

DFL: Decreto con Fuerza de Ley.

DS: Decreto Supremo.

PSU: Unidades Prácticas de Salinidad.

SEGPRES: Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

BCN: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.

MGD: *Million gallons per day* (millones de galones por día).

FPS: *Feet per second* (pie por segundo).

MM: Millones.

USD: Dólares estadounidenses.

1. Introducción

En la Región de Valparaíso y en general en todo el territorio nacional, existe una profunda crisis hídrica provocada por una parte por la falta de lluvias y, por otro lado, al uso indiscriminado del recurso agua por parte de los seres humanos, sobre todo en el sector agrícola que, de acuerdo al primer informe de la Mesa Nacional del Agua del Ministerio de Obras Públicas, publicado en enero del año 2020, la agricultura tiene una demanda hídrica del 72,3% a nivel nacional. Estos fenómenos han causado que fuentes de agua dulce, ya sean artificiales como el Lago Peñuelas o la Laguna de la Luz, o cuerpos de agua naturales como el río Petorca, desaparezcan o reduzcan su volumen de forma considerable. Según un informe publicado el 7 de febrero de 2022 por la empresa de servicios sanitarios Esval S.A. en su sitio web, la Región de Valparaíso presenta un déficit del 75% de lluvias y un 100% de nieve acumulada.

La Región de Valparaíso se abastece de agua potable principalmente a través de embalses artificiales o de represas construidas sobre ríos y/o esteros como, por ejemplo, el embalse Los Aromos, construido sobre el estero Limache. La empresa Esval S.A. que distribuye agua potable y realiza tratamiento de aguas servidas en la mayor parte de la Región de Valparaíso, presenta como solución a la sequía que sufre la región el uso de este embalse que actualmente se encuentra en proceso de ampliación. Este embalse, al igual que todos los anteriormente mencionados, depende principalmente de la lluvia y considerando el contexto ambiental actual, no es una solución a largo plazo para abastecer las necesidades de las personas en cuanto al recurso hídrico. El continuo crecimiento de las ciudades obligatoriamente se traducirá en un aumento de la demanda hídrica, por lo que se hace necesario buscar nuevas fuentes de agua potable que no sean escasas como lo son actualmente las aguas continentales.

Teniendo en cuenta lo anterior es que en los últimos años se ha considerado en diversas partes del mundo la instalación de plantas desalinizadoras, ya sea por entes públicos o privados, para abastecer de agua potable a las comunidades e industrias, siendo la futura planta desalinizadora en la Región de Atacama del proyecto llamado “Enapac Distribuidora Norte” la más grande de Latinoamérica para uso industrial (Montes, 2018). En la Región de Valparaíso, de acuerdo a planes reguladores hoy por hoy se permite solo en las comunas de Puchuncaví y Quintero la instalación de industrias en la zona costera y ya existen proyectos de instalación de plantas desalinizadoras en el sector (GORE Valparaíso, 2014). Asimismo, la Universidad de Playa Ancha realiza un proyecto de analizar la factibilidad de instalación

de una planta desalinizadora en Laguna Verde, comuna de Valparaíso, obteniendo el agua de acuíferos costeros que reciben aportes tanto de agua dulce como de agua salada (González, 2022).

Las plantas desalinizadoras operan, en simples palabras, recogiendo principalmente el agua del mar para posteriormente convertirla en agua potable para el consumo humano. Existen diferentes tipos de procesos de desalinización de agua de mar, siendo la ósmosis inversa la más común de todas. Por este método, se hace pasar el agua por membranas semipermeables aplicando presión sobre la zona de mayor concentración, logrando que el agua con más concentración salina pase a la menos concentrada. Posteriormente, el agua que no pasa por la membrana -denominada salmuera- es devuelta al océano (Romero, 2019).

Si bien las plantas desalinizadoras comienzan a consolidarse como la opción más popular para abastecer a los seres humanos de agua potable a largo plazo debido a la abundante disponibilidad en comparación con las fuentes de agua dulce, al ser una tecnología que se está masificando recientemente, no se consideran en detalle sus posibles impactos ambientales a futuro. El impacto en la captación del agua de mar se genera porque el tubo que succiona el agua arrastra fauna y algunas algas que, si bien son filtradas y devueltas al mar posteriormente, el simple hecho de ser arrastradas puede causar la muerte de estos organismos. Por el lado de los residuos generados por la planta, la salmuera que es devuelta al mar disminuye el nivel de oxígeno del agua, afectando a su vez a diversas especies de peces y crustáceos (Jano, 2022).

A continuación, se hará una revisión del estado del arte respecto a la crisis hídrica en nuestro país, las diversas tecnologías de desalinización existentes a nivel mundial y los efectos que pueden tener sobre el medioambiente en cuanto a sus etapas de captación de agua de mar y descarga de residuos de las plantas desalinizadoras.

1.1 Crisis Hídrica

Como se mencionó anteriormente, la crisis hídrica de Chile se produce principalmente por dos fenómenos bien determinados. En primera instancia está la sequía provocada por el cambio climático y por otro lado está el consumo desenfrenado de agua por parte de los seres humanos, ya sea para uso domiciliario o para uso industrial (especialmente del sector agrícola).

Los embalses de agua dependen fuertemente de las precipitaciones y la sequía ha provocado la disminución del volumen de estos de forma considerable, como se puede ver en la figura 1.1 en donde se ilustran los principales embalses del país y el agua acumulada respecto a su máxima capacidad.

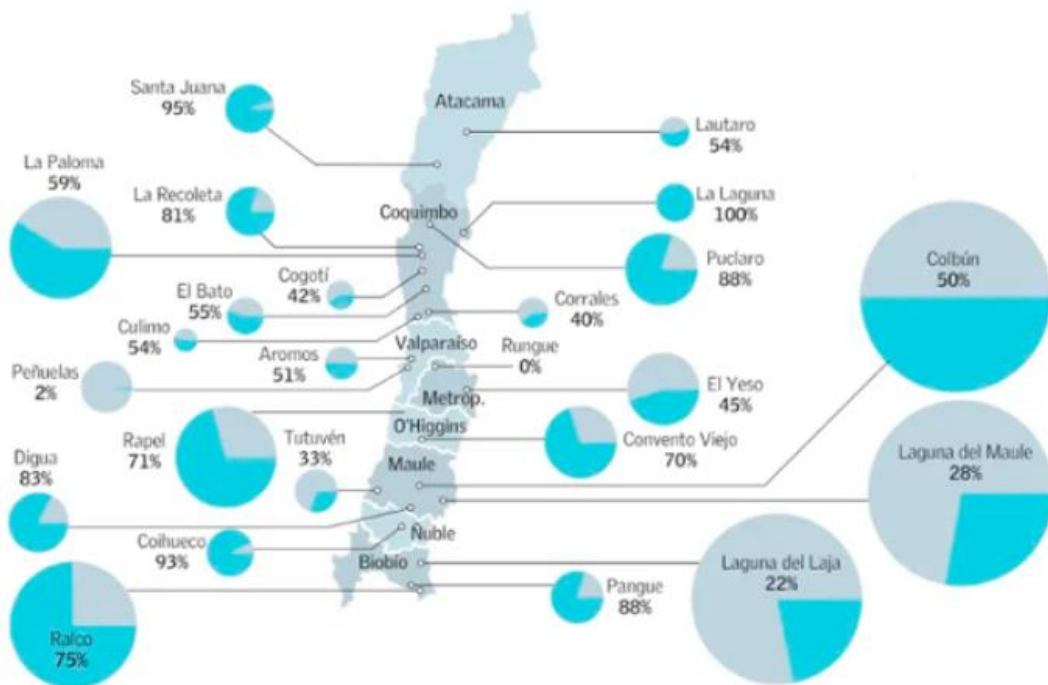


Figura 1.1: Proporción de acumulación de agua en embalses respecto a máxima capacidad. Fuente: CPI, 2019.

Para el caso de la Región de Valparaíso, los embalses Peñuelas y Los Aromos presentan un déficit de acumulación de agua bastante preocupante, especialmente el primero que está prácticamente seco, mientras que el segundo está con poco más de la mitad de su capacidad y se encarga en parte de abastecer al Gran Valparaíso (Esval S.A., 2021).

El Ministerio de Obras Públicas tiene como una de sus herramientas para combatir las consecuencias generadas por la escasez hídrica implementar los llamados “Decretos de Escasez Hídrica”, los cuales se

pueden aplicar en comunas, provincias y regiones del país y tienen una vigencia máxima de un año que puede ser prorrogado previo informe de la Dirección General de Aguas.

Observando el mapa de la figura 1.2, se puede evidenciar que las zonas de Chile que presentan decretos de escasez hídrica son en su mayoría en la zona central y del norte chico, con algunos decretos en la zona sur del país. Esto deja en evidencia cómo las bajas precipitaciones a lo largo de los años han provocado estragos en la población, llegando al punto del racionamiento en algunas localidades.

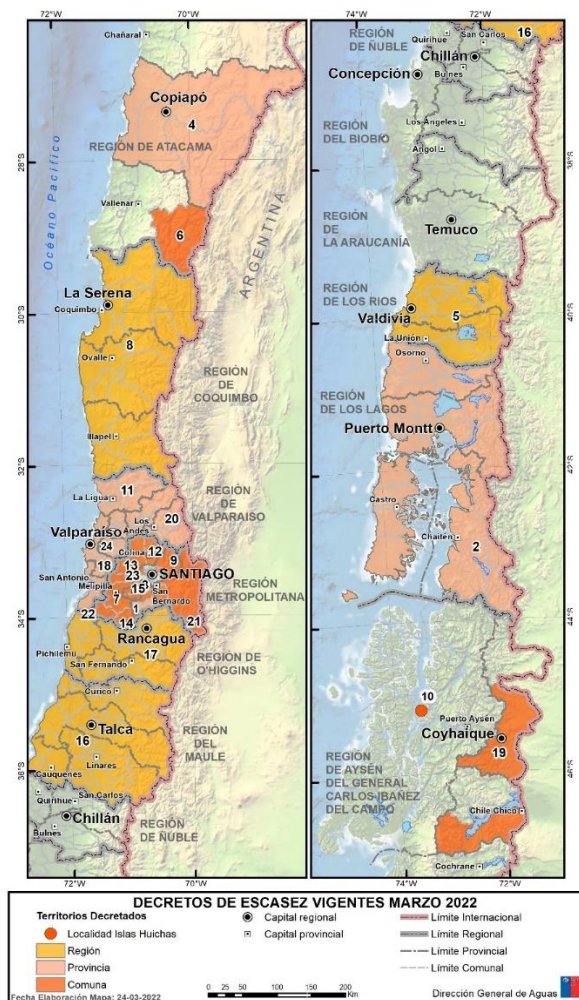


Figura 1.2: Decretos de escasez hídrica vigentes marzo 2022. Fuente: DGA, 2022.

Los decretos que se encuentran vigentes en la Región de Valparaíso son en las Provincias de Petorca, San Antonio, Valparaíso, San Felipe de Aconcagua, Marga-Marga, Quillota y Los Andes, es decir, la región casi en su totalidad se encuentra con decretos de escasez hídrica, exceptuando solo la provincia de Isla de Pascua (DGA, 2022).

La demanda de agua por parte de los seres humanos es otro factor que ha agudizado la crisis hídrica tanto a nivel nacional como regional. En la figura 1.3 se desglosa la demanda consuntiva del agua, esto es, el agua que es utilizada y no se devuelve al medio donde se capta, a nivel nacional. La agricultura es por lejos la actividad que más demanda hídrica posee en todo el país.

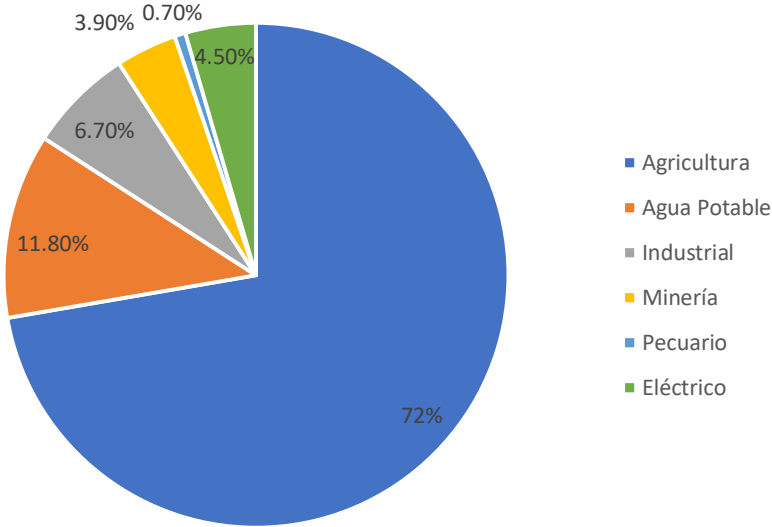


Figura 1.3: Distribución de demanda consuntiva de agua a nivel nacional 2015. Fuente: MOP, 2020.

Analizando las figuras 1.3 y 1.4, se puede observar que, para la Región de Valparaíso, la agricultura disminuye un poco su demanda respecto a la del país, pero sigue liderando entre todas. En cambio, en el caso de la generación de energía eléctrica, a nivel nacional, su demanda es de apenas el 4,5%, mientras que en la Región de Valparaíso aumenta bastante su porcentaje quedando en el segundo lugar con casi el 21%.

Sin embargo, se debe que tener en cuenta los usos de cada embalse. Por ejemplo, a pesar de que como se señala en la figura 1.4, el uso de agua potable (urbana más rural) en la Región de Valparaíso es de 10,4%, si se analiza al embalse Peñuelas que es artificial y se nutre única y exclusivamente de precipitaciones, este hasta hace un par de años se utilizaba para abastecer de agua potable a los sectores de Placilla y Curauma en la ciudad de Valparaíso, un uso mayoritariamente residencial por lo que para este caso en específico, la falta de precipitaciones y el crecimiento habitacional que

experimentan estos sectores provocaron que el lago se secase casi por completo, sin presentar una actividad agrícola fuerte en la zona.

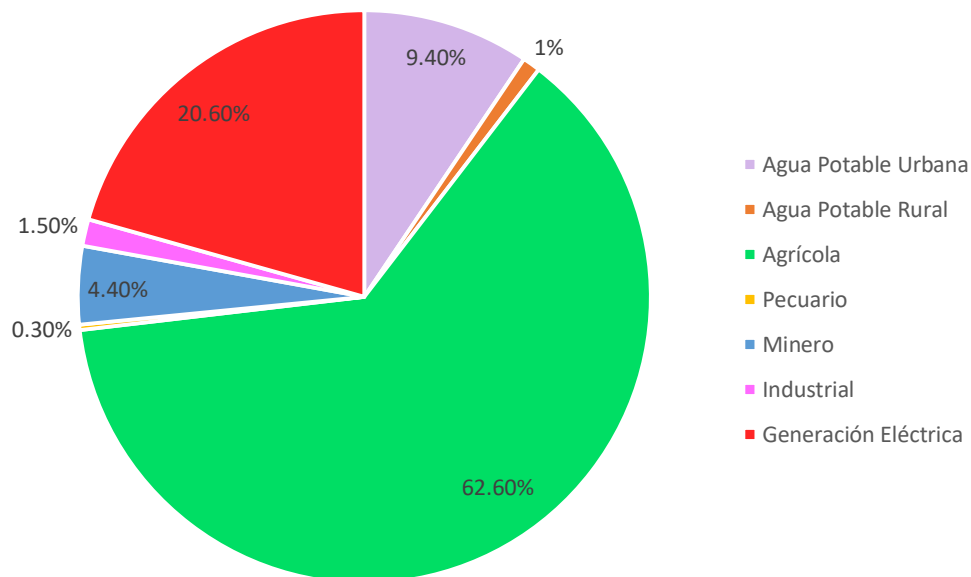


Figura 1.4: Distribución de demanda consuntiva de agua actual - V Región de Valparaíso. Fuente: DGA, 2017.

1.2 Métodos de Desalinización del Agua de Mar

Existen diferentes tipos de procesos para la desalinización del agua de mar y en general se dividen en dos subgrupos: sistemas térmicos y sistemas por membranas. A continuación, se explicarán algunos de ellos.

Sistemas Térmicos

Destilación por Compresión Mecánica de Vapor (MVC)

Este tipo de desalinización condensa el vapor de agua comprimiéndolo sobre una superficie intercambiadora de calor, transfiriendo el calor de este vapor de agua a la salmuera que se encuentra al otro lado, consiguiendo que esta se evapore con menor cantidad de sales tal como se muestra en la figura 1.5 (Cipollina, 2005; Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

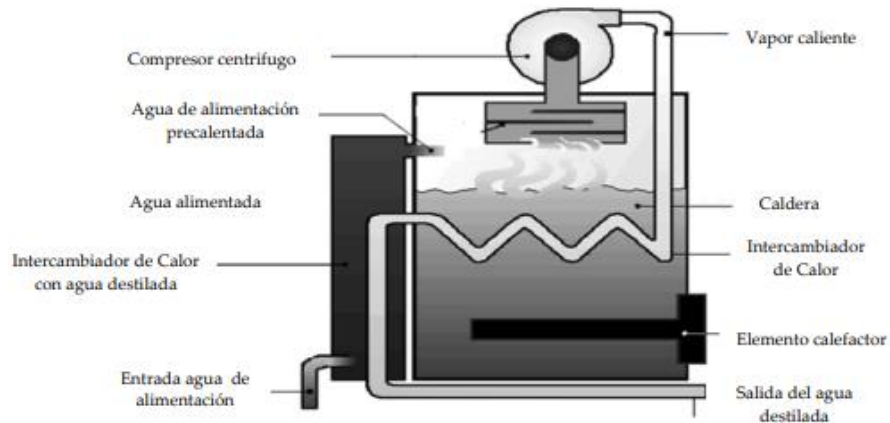


Figura 1.5: Esquema de desalinización por compresión mecánica de vapor. Fuente: Dévora-Isiordia *et al.*, 2013.

Destilación Flash Multietapa (MSF)

En este proceso que se muestra en la figura 1.6, el agua de mar es calentada en un tanque por medio de un serpentín o tubos en paralelo que contienen algún fluido caliente, posteriormente se pasa a otro tanque, llamado “etapa”, donde la presión reducida permite que el agua ebulle. Posteriormente, el agua vaporizada es enfriada y condensada para obtener el producto. El calor latente liberado en la condensación del vapor es utilizado para calentar la salmuera en otra etapa y el producto destilado se colecta en cascada, en cada uno de los tanques posicionados en paralelo con la salmuera y se bombea a un tanque de almacenamiento (Khawaji, 2008; Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

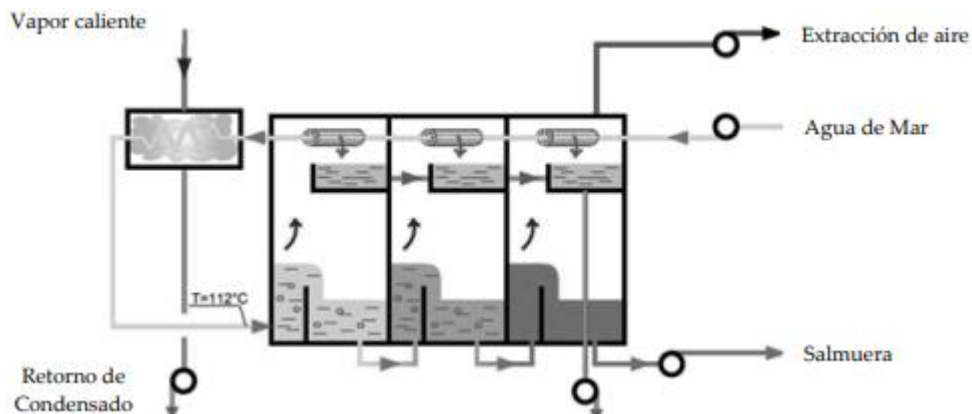


Figura 1.6: Procesos de desalinización mediante MSF. Fuente: Dévora-Isiordia *et al.*, 2013.

Destilación Multiefecto (MED)

La destilación multiefecto es, como se puede evidenciar en la figura 1.7, una evaporación por etapas configurada con tubos horizontales o verticales. Mientras que por un lado del tubo el vapor se condensa, esto genera que el agua salada se evapore en el otro extremo del tubo. Esta agua salada evaporada se distribuye por la superficie exterior de los tubos calientes. Para cada destilación se rocía agua de mar fresca sobre grupos de tubos intercambiadores de calor, mientras que el vapor dentro de los tubos se convierte en agua purificada al condensarse (Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

En el exterior de los tubos, la delgada película de agua de mar ebulle mientras va absorbiendo el calor del vapor. El vapor que resulta atraviesa eliminadores de rocío que atrapan gotas de salmuera remanentes antes de que el vapor sea introducido en los tubos siguientes de los efectos próximos de la planta (Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

Se va reduciendo la presión de manera secuencial en cada efecto mientras se va disminuyendo la temperatura y se va proporcionando más calor a cada etapa, con el objetivo de aumentar la eficiencia (Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

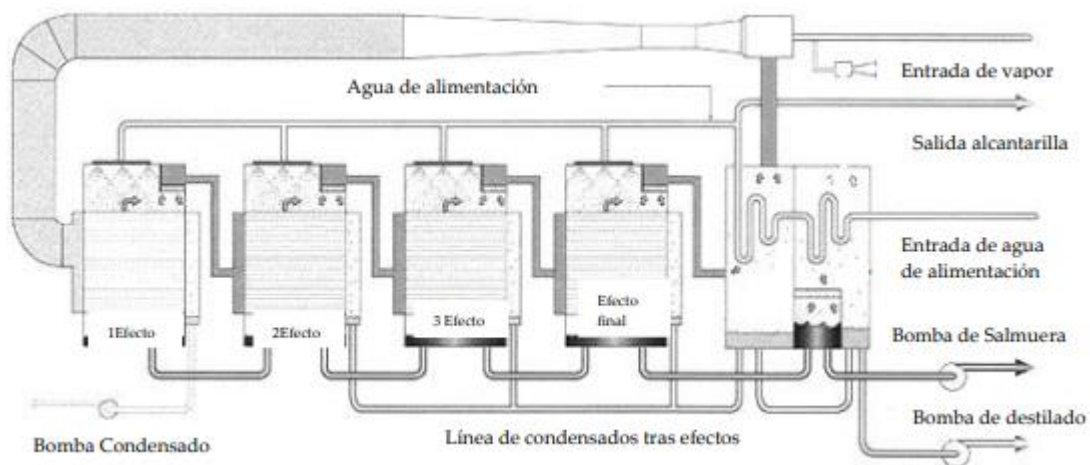


Figura 1.7: Procesos de Destilación Multiefecto (MED). Fuente: Dévora-Isiordia *et al.*, 2013.

Sistemas por Membranas

Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa es el método de desalinización de agua de mar más común de todos y se realiza aplicando una alta presión en el agua de mar, haciéndola pasar por membranas semipermeables que separan el agua purificada de la salmuera.

Primero el agua marina es captada para llevarla a un pretratamiento de filtros de arena y carbón activado, para llegar hasta los bastidores de membranas de ósmosis inversa, en los cuales se aplican químicos que regularán el pH del agua de alimentación y se añaden antiincrustantes para evitar depósitos de sal en las membranas. Una vez que el agua es desalinizada, se conecta un tren de postratamiento para desinfectar el agua producto usando lámparas UV, cloración y ozonización que permite asegurar la calidad del agua en líneas de distribución y almacenamiento, mientras que la salmuera es devuelta al océano por un emisario submarino (Dévora-Isiordia *et al.*, 2013). En la figura 1.8 se muestra un esquema de los pasos generales de una planta desalinizadora de ósmosis inversa.

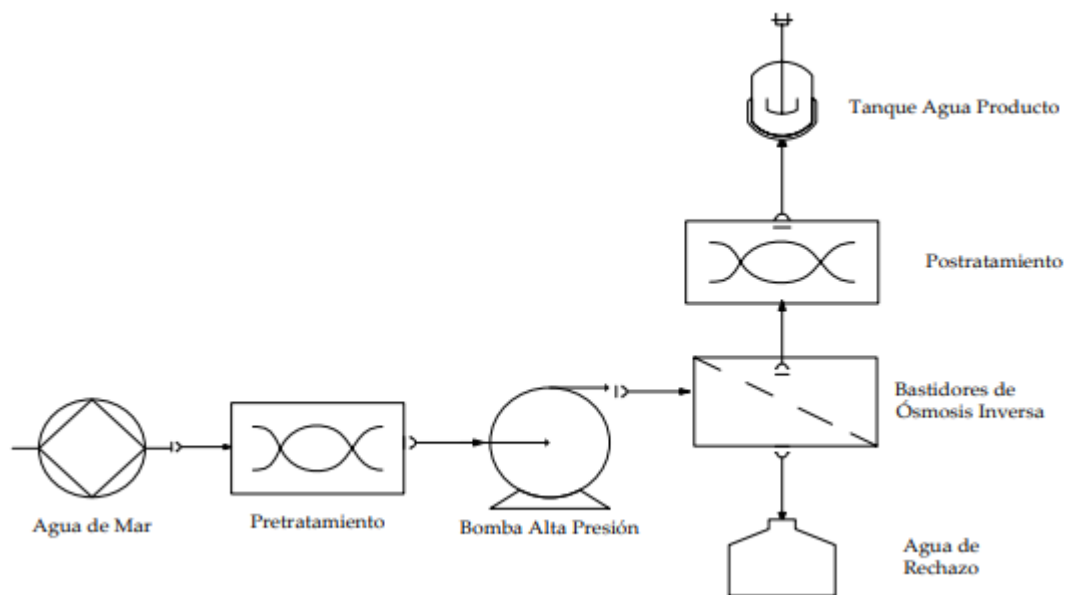


Figura 1.8: Esquema general de una planta de ósmosis inversa. Fuente: Dévora-Isiordia *et al.*, 2013.

Electrodiálisis

La electrodiálisis es un proceso electroquímico donde iones se transfieren por membranas de intercambio iónico, por medio de un campo de corriente continua como se muestra en la figura 1.9 (Belfort, 1984; Mani, 1991; Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

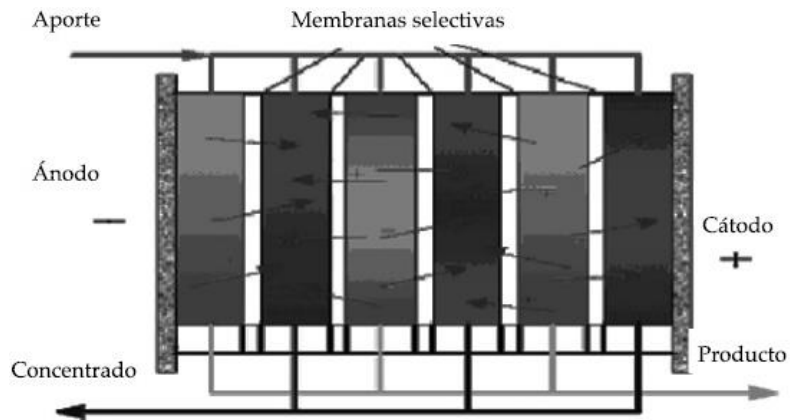


Figura 1.9: Esquema general de una planta de electrodiálisis. Fuente: Dévora-Isiordia *et al.*, 2013.

Las sales ionizadas disueltas van a atravesar las membranas, eliminando así las partículas con carga eléctrica; la reducción de la salinidad es del alrededor del 40%. Para realizar una determinada reducción se dispone de una cascada de células de electrodiálisis (Dévora-Isiordia *et al.*, 2013).

1.3 Impactos Ambientales

Las plantas desalinizadoras generan sus impactos negativos al medioambiente principalmente en dos procesos de su funcionamiento, la captación del agua de mar y, por otro lado, la descarga de sus residuos al océano.

Captación de agua de mar

En el proceso de capturar el agua de mar, dependiendo de la tecnología que se use, estos impactos pueden ser mayores o menores. En captaciones de agua en mar abierto, al momento de succionar el

agua esto puede llegar a matar más de 70 miles de millones de larvas de huevos de peces, peces adultos, y otros tipos de organismos en los ecosistemas marinos (NRDC, 2014).

La fauna de tamaño mediano a grande como lo son aves, mamíferos, peces adultos o invertebrados mueren en la pantalla de captación de agua. Los organismos de tamaño menor como lo es el plancton, peces pequeños, larvas y huevos logran ser succionados y mueren durante el procesamiento del agua salada. Los organismos que son arrastrados por el tubo captador de agua son posteriormente devueltos al océano descomponiéndose, lo que puede causar disminución del oxígeno en el agua donde son vertidos. Más concretamente, quienes más se ven afectados por este proceso son especies jóvenes, afectando la etapa de reproducción de peces que son valiosos económicamente y verse impactados de tal forma que no son capaces de reproducirse con la rapidez suficiente para reemplazar a los muertos (Brining *et al.*, 1981; Edinger, 2000; Berkun, 2016).

Descarga de residuos

Para el proceso de descarga de residuos de las plantas desalinizadoras, la salmuera que estas vierten al océano contiene el doble de sal que el agua de mar en condiciones normales, siendo la salinidad promedio del agua de mar 35 g/L. Esta salmuera contiene los compuestos utilizados en las fases de pretratamiento y tratamiento del agua salada, los cuales algunos de ellos pueden ser nocivos para los organismos marinos, como lo son por ejemplo el cloro y el cobre. La salmuera tiende a acumularse en las áreas bentónicas cercanas en donde el emisario submarino las expulsa, siguiendo luego por la barimetría del fondo marino hacia aguas más profundas, por lo que las descargas afectarían mayoritariamente a comunidades bentónicas (Sola *et al.*, 2019).

En animales vertebrados e invertebrados, en experimentos para determinar los efectos de la descarga de salmuera en algunas especies de peces y almejas, los resultados arrojaron que a partir de una salinidad de 50 ppt —*parts per thousand* (partes por mil)—, individuos jóvenes del pez Dorada (*Sparus aurata*) fueron afectados en menos de treinta minutos, oscureciendo su color, mientras que el primero en morir fue después de transcurridas 24 horas y para individuos jóvenes al aumentar a 70 ppt murieron luego de una hora de exposición. Para el caso de la eclosión de huevos de Platija (*Platichthys flesus*), con salinidad de 60 ppt se ralentizó su eclosión y para 100 ppt la eclosión se detuvo por completo (Iso *et al.*, 1994; Omerspahic *et al.*, 2022). En la tabla 1.1 se muestra un resumen de varios estudios realizados en el Medio Oriente sobre la descarga de salmuera al océano y su efecto en la fauna.

Tabla 1.1: Impacto de la salmuera de desalinización en la salud marina. Fuente: Omerspahic *et al.*, 2022.

Sensibilidad							
Fauna	Temperatura (°C)	Salinidad (ppt)	pH	Contaminantes	Impacto	País	Referencia
Corales, plancton y peces.	27,5	-	5,8 ± 0,25	-	Reducción y ausencia de varias especies de peces. Corales y plancton estuvieron ausentes del área.	Egipto	Mabrook, 1994.
Fitoplancton.	10 más que ambiente.	~40	-	Fe, antiincrustante de polifosfato, HCl, NaOH, bisulfato de sodio, CaCO ₃ , nitrato y ácido silícico.	El número de células se redujo al aumentar temperatura y salinidad.	Israel	Drami <i>et al.</i> , 2011.
Fauna bentónica.	25,23	-	5,9	-	Baja de abundancia de especies en estaciones de impacto respecto a estación control.	Argelia	Belatoui <i>et al.</i> , 2017.
Bacteria bentónica heterótrofa.	-	5-20% más que control	-	-	60% de reducción en abundancia de bacterias.	Israel	Frank <i>et al.</i> , 2017.
Microorganismos eucariotas y bacterianos.	-	-	-	Hidróxido de hierro, polifosfatos.	Cambios fisiológicos y composicionales con reducción de diversidad.	Israel	Belkin <i>et al.</i> , 2017.

Continuación tabla 1.1: Impacto de la salmuera de desalinización en la salud marina. Fuente: Omerspahic *et al.*, 2022.

Sensibilidad							
Fauna	Temperatura (°C)	Salinidad (ppt)	pH	Contaminantes	Impacto	País	Referencia
<i>Acropora tenuis</i> , <i>Stylophora pistiliata</i> y <i>Pocillopora verrucosa</i> .	26,4	10% más que control (44-45)	8,2	0,2 mg/L polifosfato.	Reducción de bacterias heterótrofas simbióticas y blanqueamiento.	Israel	Petersen <i>et al.</i> , 2018.
Arrecife de coral.	31,633	42,353 ± 0,006	7,081	Alto magnesio en agua desechada.	65% muertos.	Marsa Humira, Egipto	Nasr <i>et al.</i> , 2019.
Arrecife de coral.	33,36	43,210 ± 0,139	7,887 ± 0,085	Alto fosfato, dióxido de silicio, Fe y Mg.	Blanqueamiento	Shalateen, Egipto	Nasr <i>et al.</i> , 2019.
Foraminífera.	18,8-26,8 (5-6 más que control).	40,9-44,9	-	-	La abundancia y diversidad disminuyó en la zona de descarga de salmuera, específicamente para los foraminíferos bentónicos aglutinados con cemento orgánico.	Israel	Kenigsberg <i>et al.</i> , 2020.
<i>Patella rustica</i> .	16,06	40,65	8,24	Ácidos químicos de limpieza.	Aumento de la biotransformación y de la actividad enzimática de defensa antioxidante. Daño molecular por genotoxicidad en lapas.	Argelia	Benaissa <i>et al.</i> , 2020.

En la pradera marina los efectos del incremento de la salinidad por salmuera son en su morbilidad y mortalidad, reducción del desarrollo de sus raíces, potenciales hídricos negativos, aumento de osmorreguladores como aminoácidos y una baja de concentraciones de iones potasio y calcio (Cambridge *et al.*, 2017; Omerspahic *et al.*, 2022).

En la tabla 1.2 se muestra la composición química del agua de mar y de la salmuera, esto de acuerdo con la Asociación Chilena de Desalinización (ACADE), la cual contienen componentes no contemplados en el D.S. 90/2000 del SEGPRES, incluyendo también la salinidad que está medida en PSU.

Tabla 1.2: Composición química del agua de mar y de la salmuera. Fuente: López, W. y del Campo, M., 2021.

Ión	Agua de Mar (mg/L)	Salmuera (mg/L)
Calcio (Ca ²⁺)	453	847
Magnesio (Mg ²⁺)	1.164	2.175
Sodio (Na ⁺)	12.446	23.216
Potasio (K ⁺)	533	994
Amonio (NH ₄ ⁺)	0	0
Bario (Ba ²⁺)	0	0
Estroncio (Sr ²⁺)	6	12
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	1	15
Bicarbonato ([HCO ₃])	140	261
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	4.182	7.814
Cloro (Cl ⁻)	20.700	38.616
Flúor (F ⁻)	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	-	-
Boro (B ³⁺)	5	8
Anhídrido Silícico (SiO ₂)	-	-
Dióxido de Carbono (CO ₂)	9	1
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	39.630	73.956
pH	7,90	8,44
Salinidad (PSU)	38.636	67.632

1.4 Normativa chilena vigente aplicable

En la actualidad existen diferentes cuerpos normativos que son aplicables a las plantas desalinizadoras en Chile, los cuales abarcan desde el proceso de captación de agua de mar hasta la descarga de salmuera. A continuación, se enlista la normativa chilena vigente que se aplica a las plantas desalinizadoras:

- Constitución Política de la República de Chile.
 - Esta señala en el inciso 8 de su artículo 19 que todas las personas tienen el derecho a vivir en un medioambiente libre de contaminación y que es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza.

- Como se señala anteriormente, el Estado deberá asegurar que, en este caso, el funcionamiento de una planta desalinizadora no afecte la garantía constitucional de las personas de vivir en un medioambiente libre de contaminación.
- Decreto Ley N°2.222/1978 “Sustituye Ley de Navegación”.
 - En el título IX sobre Contaminación que prohíbe arrojar lastre, escombros o basuras y derramar petróleo, aguas de relave de minerales u otras materias nocivas, que ocasionen o puedan ocasionar daños o perjuicios a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional y en puertos, ríos y lagos.
- D.F.L. N° 340/1960 “Sobre Concesiones Marítimas”.
 - Establece en su segundo artículo que es facultad privativa del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina, conceder el uso particular en cualquier forma, de las playas y terrenos de playas fiscales dentro de una faja de 80 metros de ancho medidos desde la línea de más alta marea de la costa del litoral; como asimismo la concesión de rocas, fondos de mar, porciones de agua dentro y fuera de las bahías, esto entre otros bienes públicos.
 - Para instalar y operar una planta desalinizadora, el privado debe solicitar una concesión marítima al Ministerio de Defensa.
- D.S. N°90/2000 “Norma de Emisión Descarga Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales”.
 - Este decreto establece la concentración máxima permitida de contaminantes para residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras (en este caso la planta desalinizadora), a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales de la República de Chile.
- Ley N°19300/1994 “Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente”.
 - Otorga contenido concreto y desarrollo jurídico a la garantía constitucional de vivir en un medioambiente libre de contaminación.
 - En su artículo 10 enlista cuáles son los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
 - Para el caso de las desalinizadoras, deberán ingresar por el inciso o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios,

emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.

- Luego de acuerdo al artículo 11 de esta ley, se deberá evaluar para cada caso específico si deben ingresar al SEIA como una Declaración de Impacto Ambiental o como un Estudio de Impacto Ambiental.
- Ley N°20417/2010 “Crea el ministerio, el servicio de evaluación ambiental y la superintendencia del medio ambiente”.
 - Modifica a la ley 19.300. El Servicio de Evaluación Ambiental asume como un servicio público dependiente del Ministerio del Medio Ambiente, la administración del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, así como la coordinación de los organismos del Estado involucrados en el mismo, para los efectos de obtener los permisos.
- D.S. N°40/2013 “Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental”.
 - Está relacionado con la ley 19.300 puesto que este reglamento establece las disposiciones por las cuales se regirá el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y la Participación de la Comunidad en el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

2. Problema

Las plantas desalinizadoras son una tecnología que rápidamente se ha estado expandiendo a lo largo del mundo debido a la urgencia por encontrar nuevas fuentes para obtener agua potable y como consecuencia de ello, no se han tomado en cuenta las repercusiones negativas que la implementación de esta tecnología generará a corto y largo plazo. La instalación y operación de plantas desalinizadoras sin un estudio detallado de sus impactos ambientales en el ecosistema marino y costero puede desencadenar un daño muy elevado a este. En los sectores de Quintero y Puchuncaví de la Región de Valparaíso se han presentado proyectos de plantas desalinizadoras que han sido fuertemente cuestionados por la ciudadanía debido a que dichas comunas desde hace varios años han enfrentado diversos conflictos socioambientales, esto por la fuerte actividad industrial presente en ellas y sus consecuencias en el medio, como han sido derrames de petróleo, entre otros. En octubre del año 2021, la Corte Suprema ordenó someter a una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al proyecto “Módulos de Desalación de Agua de Mar, Ventana N°3”, de la Empresa Eléctrica Ventana S.A., proyecto que previamente había sido ingresado por la empresa al Servicio de Evaluación Ambiental con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), declaración que es poco exigente y rigurosa (Poder Judicial, 2021). Tras emitir este fallo, la empresa desistió de realizar el proyecto.

Las plantas desalinizadoras pueden ser la solución a la crisis hídrica que existe hoy en día, pero esto debe ir de la mano de asegurar el menor impacto ambiental posible, por lo que es indispensable que se estudien mecanismos y se desarrollen tecnologías complementarias a las desalinizadoras con el fin de que durante la captación del agua de mar se evite dañar durante el arrastre a fauna y algas del sitio de emplazamiento y por otra parte, buscar métodos o técnicas alternativas que permitan reutilizar los residuos (salmuera) de la planta en lugar de solo devolverla al océano.

3. Objetivos

General:

- Evaluar tecnologías que permitan un bajo impacto ambiental en operaciones de captura de agua y descarga de residuos de plantas desalinizadoras para la Región de Valparaíso.

Específicos:

- Caracterizar el ecosistema marino-costero y las comunidades aledañas a la Bahía de Quintero-Puchuncaví.
- Seleccionar la tecnología que permita el menor impacto ambiental en operaciones de captura de agua de plantas desalinizadoras.
- Seleccionar la tecnología que permita el menor impacto ambiental en la descarga de residuos de plantas desalinizadoras.

4. Metodología

4.1 Caracterización del Ecosistema Marino-Costero y las Comunidades Aledañas a la Bahía de Quintero-Puchuncaví

Se tomó como referencia de área de estudio a la sección amarilla indicada en la figura 4.1 de la bahía de Quintero y la bahía de Puchuncaví, área que, de acuerdo con lo establecido en el Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso en el Área Metropolitana y Satélite Quintero-Puchuncaví, es en la zona morada de la figura 4.2 que se permite la instalación de industrias en el borde costero (GORE Valparaíso, 2014).



Figura 4.1: Área de estudio en la bahía de Quintero-Puchuncaví. Fuente: elaboración propia.

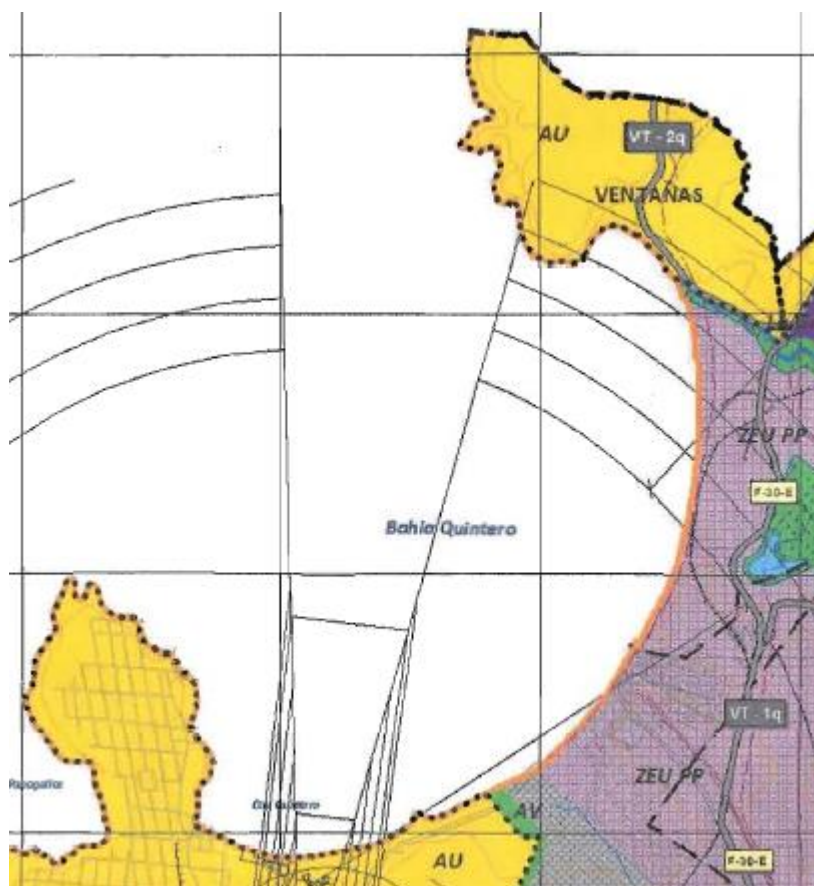


Figura 4.2: Zonificación de Bahía de Quintero-Puchuncaví. Fuente: GORE Valparaíso, 2014.

La caracterización del ecosistema marino-costero de la bahía de Quintero-Puchuncaví se realizó a través de una revisión bibliográfica de principalmente un estudio de impacto ambiental de un proyecto emplazado en la zona a caracterizar, del cual se explicó a grandes rasgos los métodos para identificar a la fauna existente en la costa y en el mar. También para la identificación de ciertos invertebrados y de las algas presentes se utilizaron datos del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, el cual posee anuarios que recopila las especies desembarcadas en puertos, regiones y a lo largo del país de forma anual.

Para el caso de las comunidades aledañas, se identificaron las actividades económicas que se desarrollan en la comuna de Quintero y también en la de Puchuncaví a través de datos de la Biblioteca del Congreso Nacional, la cual tiene recopilaciones anuales de indicadores de las comunas del país. Estas actividades fueron analizadas de tal forma que se identificaron cuáles son las que efectivamente

se pueden ver afectadas por los procesos de captación de agua y/o la descarga de residuos por parte de las plantas desalinizadoras.

4.2 Selección de la Tecnología que Permita el Menor Impacto Ambiental en Operaciones de Captura de Agua de Plantas Desalinizadoras

Mediante una revisión bibliográfica de documentos, libros, revistas y artículos científicos, tesis, entre otros, se identificó primero que existen dos grandes grupos de tecnologías para capturar agua de mar por parte de plantas desalinizadoras. De estos dos grupos, se seleccionaron tres tecnologías de cada uno para ser descritas de forma general su funcionamiento, requerimientos de construcción, impactos ambientales, capacidad de succión de agua marina y sus costos.

Luego para seleccionar cuál de estas tecnologías era la de menor impacto ambiental, se utilizó la tabla 4.1 que engloba cinco criterios relacionados con la captación de agua de mar.

Tabla 4.1: Criterios de selección de tecnología de menor impacto ambiental para captación de agua de mar en plantas desalinizadoras. Fuente: elaboración propia.

Criterio	1	2	3	Ponderación
Impacto arrastre	La tecnología genera un impacto alto al arrastrar organismos.	La tecnología genera un impacto intermedio a bajo al arrastrar organismos.	La tecnología no genera impacto de arrastre.	40%
Capacidad captación de agua	Permite captar agua solo para plantas pequeñas.	Permite captar agua para plantas intermedias o menores.	Capacidad infinita; depende exclusivamente del diámetro de la tubería.	20%
Impacto lugar de emplazamiento	Genera alto impacto en el lugar de emplazamiento.	Genera impacto intermedio a bajo en lugar de emplazamiento.	No genera impacto.	20%
Requisitos implementación	Exige condiciones muy específicas para implementarse.	Tiene condiciones, pero son más generales.	Poca o nula exigencia de implementación.	15%
Costos	Bajo.	Intermedio.	Alto.	5%

A cada criterio se le asignó un valor ponderado de decisión y se evaluó cada una de las seis tecnologías con “notas” del 1 al 3, siendo la nota ‘3’ el valor ideal o máximo y ‘1’ el mínimo. Para decidir la tecnología seleccionada, se multiplicó la nota asignada a cada criterio con su respectivo puntaje de ponderación, esto con las seis tecnologías y la que sumara la nota más alta, es la tecnología escogida.

Para efectos de entendimiento de la tabla mencionada anteriormente, se consideró el tamaño de plantas desalinizadoras de la forma:

- Caudal de ingreso inferior a 200 L/s, planta pequeña.
- Caudal de ingreso entre 200 L/s y 600 L/s, planta intermedia.
- Caudal de ingreso mayor a 600 L/s, planta grande.

Para el caso del impacto de arrastre, se consideró como niveles de este de la forma:

- Alto impacto, cuando la captación ocurre en una zona donde existe gran cantidad de seres vivos y además está emplazada directamente en el sedimento marino.
- Impacto intermedio, cuando existe arrastre en zona de gran cantidad de seres vivos, pero sin estar emplazado en el sedimento o, está emplazado en sedimentos, pero en una zona donde existe menor presencia de organismos.
- Bajo impacto, cuando no existe impacto por arrastre.

En el impacto por lugar de emplazamiento, se consideró lo siguiente:

- Alto impacto, cuando se interviene el terreno de forma destructiva para instalarlo y además su funcionamiento puede afectar negativamente el entorno generando aún más impacto en el terreno adyacente.
- Impacto intermedio, cuando existe un daño elevado al instalar y construir la tecnología, pero su funcionamiento no tiende o no genera daños colaterales.
- Bajo impacto, cuando la intervención para instalar la tecnología pasa prácticamente desapercibida, sin generar mayores daños.

Respecto a los costos de construcción, al realizar la revisión bibliográfica no se encontró valores numéricos para todas las tecnologías, la literatura revisada le otorga normalmente valores cualitativos, catalogándolos como costo bajo, medio y alto, sin mencionar números específicos para una generalidad.

4.3 Selección de la Tecnología que Permita el Menor Impacto Ambiental en la Descarga de Residuos de Plantas Desalinizadoras

Mediante una revisión bibliográfica de documentos, libros, revistas y artículos científicos, tesis, entre otros, se recopilaron e identificaron cinco distintas tecnologías que disponen la descarga de residuos (salmuera) de plantas desalinizadoras.

Primeramente, se describió de forma general el funcionamiento de las tecnologías estudiadas, los requisitos necesarios para ser implementadas, sus posibles impactos ambientales y también sus costos de implementación.

Luego con las descripciones realizadas anteriormente, se evaluó cada una de estas tecnologías para determinar cuál de ellas era la de menor impacto ambiental, utilizando la tabla 4.2 la cual engloba cinco criterios relacionados con la descarga de salmuera de plantas desalinizadoras.

Tabla 4.2: Criterios de selección de tecnología de menor impacto ambiental en descarga de residuos de plantas desalinizadoras. Fuente: elaboración propia.

Criterio	1	2	3	Ponderación
Destino salmuera	Descarga la salmuera al mar.	Descarga la salmuera al mar, pero con menos concentración.	No descarga la salmuera al mar.	30%
Requisito implementación	Exige condiciones muy específicas para implementarse.	Tiene condiciones, pero son más generales.	Tiene poca o nula exigencia de implementación.	10%
Impacto ambiental	La tecnología genera impactos marinos.	La tecnología no genera impactos marinos, pero si terrestres o atmosféricos.	La tecnología no genera impactos ambientales.	20%
Valorización	La tecnología no permite valorizar la salmuera.	La tecnología permite valorizar parte de la salmuera.	La tecnología permite valorizar la salmuera por completo.	35%
Costos	Bajo (menor o igual a 2 USD MM/MGD).	Intermedio (entre 2 y 10 USD MM/MGD).	Alto (mayor o igual a 10 USD MM/MGD).	5%

Tal como se realizó en la sección anterior, a cada criterio se le asignó un valor ponderado de decisión y se evaluó cada una de las seis tecnologías con “notas” del 1 al 3, siendo la nota 3 el valor ideal o máximo. Para decidir la tecnología seleccionada, se multiplicó la nota asignada a la tecnología con el valor ponderado de esta y la tecnología que sumó el valor más alto con todos sus criterios fue la elegida.

5. Resultados

5.1 Caracterización del ecosistema marino-costero y de comunidades aledañas a la bahía de Quintero-Puchuncaví

Para la caracterización del ecosistema marino-costero de la Bahía de Quintero-Puchuncaví, se recopiló la información del estudio de impacto ambiental del Proyecto Aconcagua de Aguas Pacífico SpA que consiste en la construcción y operación de una planta desalinizadora en la zona. Se utilizó también para algunos invertebrados y algas los datos del Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura año 2021 del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, utilizando la plantilla de desembarque total de especies por mes, región y puerto.

En el caso de las comunidades aledañas, se utilizaron los indicadores económicos de los reportes comunales de la Biblioteca del Congreso Nacional, quienes los recopilan a través del Servicio de Impuestos Internos.

5.1.1 Fauna

5.1.1.1 Macrobentos submareales de sustrato blando

Se considera como comunidades de macrobentos submareales de sustrato blando a aquellos invertebrados marinos que pueden ser retenidos por una malla con un orificio de 1 milímetro, como lo son cangrejos, camarones, entre otros (Lalli & Parsons, 1997; Fuentes, 2017).

El análisis de la fauna determinó la presencia de cinco diferentes filos a lo largo de 14 estaciones de muestreo, las cuales se enlistan en la tabla 5.1 junto al resto de sus respectivas categorías taxonómicas (Fuentes, 2017).

La metodología empleada en el estudio de impacto ambiental del proyecto Aconcagua para la identificación de esta fauna se encuentra en el Anexo 1.

Tabla 5.1: Macrobentos submareales de sustrato blando identificados en estaciones de muestreo. Fuente: Fuentes, 2017.

Especie/Género/Familia	Clase	Filo
Amphinomidae	Polychaeta	Annelida
Capitellidae		
Cirratulidae		
<i>Cirratulus</i> sp.		
<i>Eranno chilensis</i>		
<i>Eteone</i> sp.		
Glyceridae		
Hesionidae		
<i>Ampelisca</i> sp.	Crustacea	Arthropoda
<i>Blepharipoda spinimana</i>		
<i>Cancer setosus</i>		
<i>Cleantis chilensis</i>		
Corophiidae		
Cumacea		
Cylindroleberididae		
Decapoda (megalopa)		
Diastylidae		
<i>Edotia dahl</i>		
<i>Eudervenopus gracilipes</i>		

Continuación tabla 5.1: Macrobentos submareales de sustrato blando identificados en estaciones de muestreo. Fuente: Fuentes, 2017.

Especie/Género/Familia	Clase	Filo
<i>Gomeza serrata</i>	Crustacea	Arthropoda
<i>Macrochiridothea setifer</i>		
<i>Metharpinia longirostris</i>		
<i>Microphoxus cornutus</i>		
Ostracoda 15		
<i>Pagurus edwardsi</i>		
<i>Phoxocephalopsis zimmeri</i>		
<i>Pinnixa chiloensis</i>		
<i>Pseudocorystes sicarius</i>		
<i>Serolis</i> sp.		
Stomatopoda	Pycnogonida	
Callipallenidae		
<i>Branchiostoma</i> sp.	Leptocardii	Chordata
Ophiuroidea indet.	Ophiuroidea	Echinodermata
<i>Cyamiomactra chilensis</i>	Bivalvia	Mollusca
<i>Cyclocardia compressa</i>		
<i>Eurhomalea lenticularis</i>		
<i>Gari salida</i>		
<i>Mulinia edulis</i>		
<i>Mysella molinae</i>		
<i>Linucula pisum</i>		
<i>Protothaca thaca</i>		
<i>Tagelus dombeii</i>		
<i>Aeneator fontainei</i>	Gastropoda	
<i>Agathatoma ordinaria</i>		
<i>Crassilabrum crassilabrum</i>		
<i>Homalopoma cunninghami</i>		

Continuación tabla 5.1: Macrobenos submareales de sustrato blando identificados en estaciones de muestreo. Fuente: Fuentes, 2017.

Espece/Género/Familia	Clase	Filo
<i>Mitrella unifasciata</i>	Gastropoda	Mollusca
<i>Nassarius gayii</i>		
<i>Oliva peruviana</i>		
<i>Tegula luctuosa</i>		
<i>Tegula tridentata</i>		
<i>Turritella cingulata</i>		
<i>Xanthochorus cassidiformis</i>		
Nematoda indet.		Nematoda
Nemertea Indet.		Nemertea

5.1.1.2 Macrobenos intermareales de sustrato blando

Son aquellos invertebrados marinos asociados al sedimento de la playa que se encuentre entre la línea de alta mar y baja mar, los cuales pueden ser contenidos en una malla de una abertura de 1 milímetro (Lalli & Parsons, 1997; Fuentes, 2017).

El análisis realizado en el estudio de impacto ambiental logró identificar a seis especies y a una familia en la zona de muestreo, las cuales se enlistan en la tabla 5.2 (Fuentes, 2017).

La metodología empleada por el estudio de impacto ambiental del proyecto Aconcagua se encuentra en el Anexo 2.

Tabla 5.2: Macrobenos intermareales de sustrato blando identificados en estaciones de muestreo. Fuente: Fuentes, 2017.

Espece/Familia	Clase	Filo
<i>Euzonus heterocirrus</i>	Polychaeta	Annelida
<i>Excirolana braziliensis</i>	Crustacea	Arthropoda
<i>Emerita analoga</i>		
Eusiridae		
<i>Excirolana hirsuticauda</i>		
<i>Lepidopa chilensis</i>		
<i>Ochestoidea tuberculata</i>		

5.1.1.3 Avifauna

En la tabla 5.3 se enlistan las especies de aves que fueron identificadas en las observaciones terrestres y marinas. Si bien en el estudio de impacto ambiental se identificaron aves de hábitat terrestre, estas fueron descartadas para el presente trabajo ya que no se ven afectadas por los procesos de captación de agua de mar ni por la descarga de residuos, ya que no tienen contacto directo con el mar (Fuentes, 2017).

La metodología para la observación e identificación de avifauna empleada por el estudio de impacto ambiental del proyecto Aconcagua se encuentra en el Anexo 3.

Tabla 5.3: Listado de aves encontradas en el monitoreo terrestre y marino, Proyecto Aconcagua. Fuente: Fuentes, 2017.

Familia	Especie (nombre común)	Hábitat
Ardeidae	<i>Egretta thula</i> (garza chica)*	Acuático
Charadriidae	<i>Charadrius nivosus occidentalis</i> (chorlo nevado)*	Costero
Haematopodidae	<i>Haematopus palliatus</i> (pilpilén)	Costero
Hydrobatidae	<i>Oceanites oceanicus</i> (golondrina de mar)	Pelágico-Marino
Laridae	<i>Larus dominicanus</i> (gaviota dominicana)	Costero-Marino
	<i>Leucophaeus modestus</i> (gaviota garuma)	Costero-Marino
	<i>Leucophaeus pipixcan</i> (gaviota de Franklin)*	Costero
	<i>Larosterna inca</i> (gaviotín monja)	Costero-Marino
	<i>Sterna hirundinacea</i> (gaviotín sudamericano)**	Costero-Marino
Pelicanidae	<i>Pelecanus thagus</i> (pelicano)	Costero-Marino
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax bougainvillii</i> (guanay)**	Costero-Marino
	<i>Phalacrocorax brasilianus</i> (yeco)	Acuático
	<i>Phalacrocorax gaimardi</i> (lile)**	Costero-Marino
Procellariidae	<i>Ardenna grisea</i> (fardela negra)**	Marino
Recurvirostridae	<i>Himantopus melanurus</i> (perrito)*	Costero
Scolopacidae	<i>Calidris alba</i> (playero blanco)*	Costero
	<i>Numenius phaeopus</i> (zarapito)	Costero-Marino
Spheniscidae	<i>Spheniscus humboldti</i> (pingüino de Humboldt)**	Costero-Marino
Sulidae	<i>Sula variegata</i> (piquero)**	Costero-Marino

* = especie avistada solo en la observación terrestre.

** = especie avistada solo en la observación marítima.

5.1.1.4 Invertebrados bento-demersales

El Anuario Estadístico de Pesca del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), contiene el desembarque total de especies en el puerto de Quintero y también del resto del país. El desembarque total se define como la sumatoria del desembarque industrial, artesanal, cosechas de centros de acuicultura, recolección y capturas de barcos fábrica (SERNAPESCA, 2021a).

Se utilizó el anuario correspondiente al año 2021 que está disponible en el sitio web de SERNAPESCA, del cual se obtiene la tabla 5.4 que muestra a los invertebrados bento-demersales capturados y luego desembarcados en el puerto de Quintero (SERNAPESCA, 2021b).

Tabla 5.4: Invertebrados bento-demersales identificados en puerto de Quintero. Fuente: SERNAPESCA, 2021b.

Especie	Invertebrado
Bacalao de profundidad	Peces
Caballa	
Cabinza	
Cabrilla común	
Cojinoba del norte / piafri	
Congrio colorado	
Congrio negro	
Corvina	
Jurel	
Lenguado de ojos grandes	
Lisa	
Merluza común	
Pejegallo	
Sierra	
Vidriola, palometa, dorado o toremo	
Jibia o calamar rojo	Moluscos
Lapa negra	
Loco	
Ostión del norte	
Camarón nailon	Crustáceos
Gamba	
Jaiba limón	
Jaiba mora	

Continuación tabla 5.4: Invertebrados bento-demersales identificados en puerto de Quintero. Fuente: SERNAPESCA, 2021b.

Especie	Invertebrado
Jaiba peluda o pachona	Crustáceos
Langostino amarillo	
Langostino colorado	
Picoroco	
Erizo	Equinodermos
Piure	Ascidias

5.1.2 Algas

De acuerdo al Anuario Estadístico de Pesca del SERNAPESCA del año 2021 para desembarco total en puerto de Quintero, se identificó a seis especies de algas las cuales son las que están establecidas en la tabla 5.5 con su nombre común y su nombre científico.

Tabla 5.5: Algas identificadas en puerto de Quintero. Fuente: SERNAPESCA, 2021b.

Especie (nombre científico)
Cochayuyo (<i>Durvillaea antarctica</i>)
Huiro (<i>Macrocystis pyrifera</i>)
Huiro negro o chascón (<i>Lessonia nigrescens</i>)
Huiro palo (<i>Lessonia trabeculata</i>)
Liquen gomoso (<i>Gymnogongrus furcellatus</i>)
Pelillo (<i>Gracilaria chilensis</i>)

5.1.3 Comunidades humanas aledañas

De acuerdo a datos que dispone la Biblioteca Nacional del Congreso de Chile, el reporte comunal de Quintero y Puchuncaví para indicadores económicos que se observa en la tabla 5.6 muestra que de entre todas las actividades económicas que se desarrollan en ambas comunas, solo la de pesca es la que se podría ver afectada por la captación de agua de mar al succionar animales y la descarga de salmuera que puede ser tóxica en grandes cantidades, afectando de la misma forma a los organismos.

Tabla 5.6: Número de trabajadores por rubro en comunas de Quintero y Puchuncaví. Fuente: BCN, 2021.

Rubro	Quintero			Puchuncaví		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	1.094	447	384	62	47	42
Explotación de minas y canteras	0	7	10	7	4	6
Industria manufacturera	346	325	365	77	70	86
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	4	1	4	1	4	4
Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	14	20	39	10	12	12
Construcción	3.501	3.046	3.200	115	121	119
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	757	805	715	518	542	565
Transporte y almacenamiento	416	291	369	94	93	103
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	368	450	559	145	185	205
Información y comunicaciones	39	25	28	6	11	11
Actividades financieras y de seguros	7	5	5	29	28	31
Actividades inmobiliarias	124	114	50	49	63	65
Actividades profesionales, científicas y técnicas	55	188	305	28	47	49
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	246	950	354	25	39	45
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	878	968	1.007	1	1	1
Enseñanza	360	446	415	6	8	7
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	40	48	46	2	2	4
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	50	65	48	13	19	16
Otras actividades de servicios	68	62	67	103	96	82
Sin información	4	2	2	5	8	9
Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares	0	0	0	0	0	0
Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0	0	0	0	0

Los datos que entrega la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile incluyen a la pesca junto con otras actividades diferentes, por lo que el número de trabajadores de dicha actividad es menor al que se señala en la tabla.

5.2 Selección de la tecnología que permite el menor impacto ambiental en operaciones de captura de agua en plantas desalinizadoras

5.2.1 Descripción de las tecnologías para captación de agua de mar

Tomas Abiertas Marítimas

Las tomas abiertas de agua de mar son aquellas que captan el agua directamente desde el océano, utilizando principalmente los siguientes componentes: estructura de entrada (cámara de captación); tubería o canal de transporte del agua de origen que conecta la estructura de entrada a una cámara de pantalla de hormigón en tierra conocida como sentina; y pantallas finas mecánicas en la cámara. Dependiendo de la ubicación de la estructura de entrada, las tomas pueden ser de tipo terrestre o marino. Las tomas en alta mar con estructuras de entrada verticales son las más utilizadas para proyectos de desalinización de agua de mar (WaterReuse Association, 2011a). A continuación, se describirán de forma general tres tipos de tomas a mar abierto.

Captación sumergida

Un tipo de captación abierta de agua de mar es la captación sumergida, en la cual como se muestra en la figura 5.1, la tubería que traslada el agua está anclada en el fondo marino (también puede estar enterrada) en que el agua ingresa por la cámara con rejillas para después acumularse en una sentina y luego llevarse hasta la planta desalinizadora (Orostizaga, 2018).

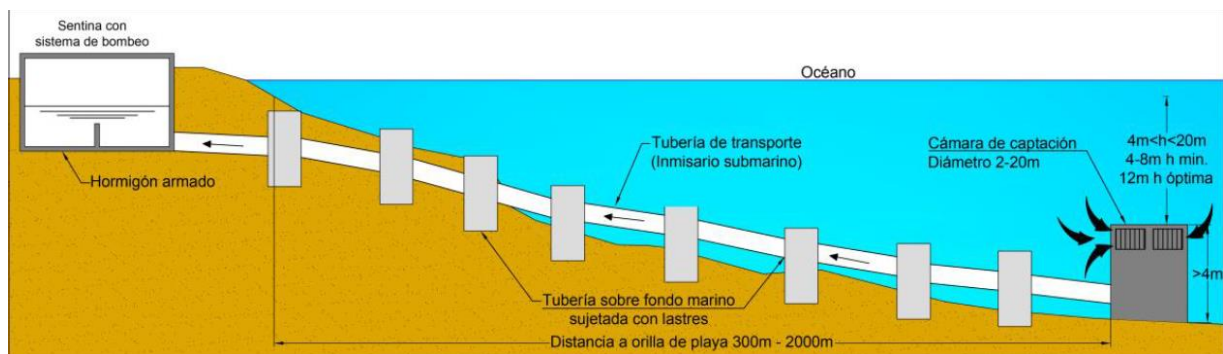


Figura 5.1: Esquema sistema de captación abierta sumergida. Fuente: Orostizaga, 2018.

Este tipo de captación puede succionar una cantidad de agua proporcional al tamaño de la tubería y de la cámara, por lo que se considera como una captación de capacidad infinita. El impacto de arrastre de esta tecnología depende fuertemente del tipo de pantalla en la cámara de entrada, de la velocidad y

ubicación de succión y se considera un impacto de nivel intermedio porque a pesar de estar ubicada en el sedimento del fondo marino, está lejos de la zona de mayor luminosidad. El impacto por emplazamiento también es bajo puesto que solo se posiciona la tubería a lo largo del fondo marino y se interviene una mínima área de la playa para el sistema de bombeo. Asimismo, no presenta condiciones específicas para construirse (Orostizaga, 2018). De acuerdo con WateReuse Association, su costo relativo es de nivel bajo.

Captación elevada

En este tipo de captación abierta, la tubería de succión se encuentra por sobre la superficie del océano. Esta captación requiere que se construya cuando existe un muelle abandonado o alguna estructura similar que se pueda reutilizar como se muestra en la figura 5.2, esto con el fin de disminuir los costos y también del impacto ambiental en el fondo marino al construir. Cuenta con una cámara de captación con las mismas características que la captación sumergida y cuenta también con una sentina de bombeo (Orostizaga, 2018).

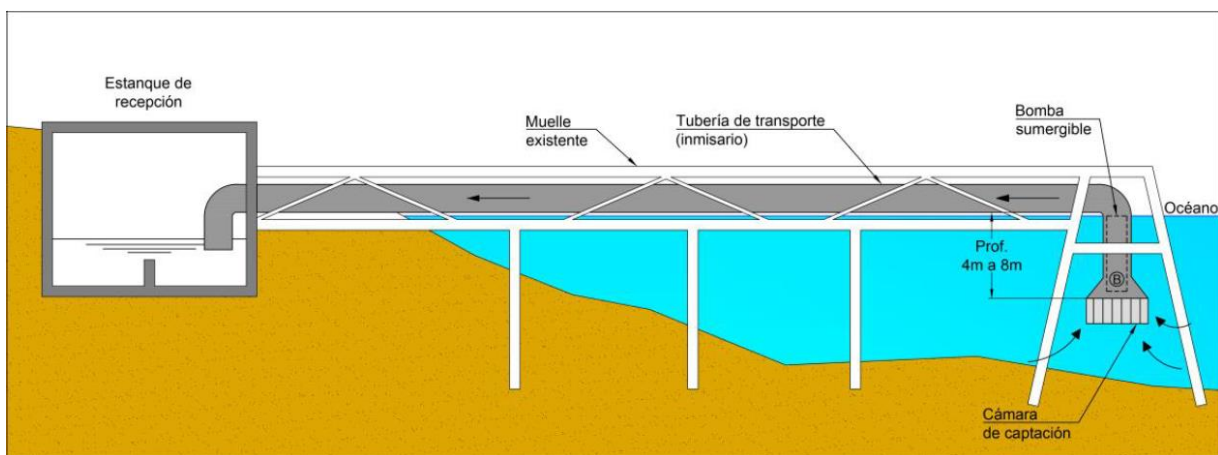


Figura 5.2: Esquema Sistema de captación abierta elevada. Fuente: Orostizaga, 2018.

Si bien la captación de agua al igual que la toma sumergida es proporcional al diámetro de la tubería, en este caso está condicionado a la estructura de soporte puesto que debe aguantar el peso de la tubería y de la cámara, por lo que se le considera de capacidad intermedia. El impacto de arrastre se considera intermedio puesto que la succión se encuentra de manera superficial en la zona fótica donde hay más seres vivos, pero está lejos de la fauna asociada a los sedimentos (Orostizaga, 2018). Al igual que la captación sumergida, WateReuse Association le asigna un costo relativo bajo.

Captación directa

En este tipo de captación abierta se tiene un depósito cuadrado o circular que se excava debajo de la cota del agua de mar en el terreno y se conecta con el océano a través de un túnel horizontal, el cual puede ser natural o artificial, como se muestra en la figura 5.3. En la entrada del depósito se instala una rejilla para evitar el ingreso de vida marina (Orostizaga, 2018).

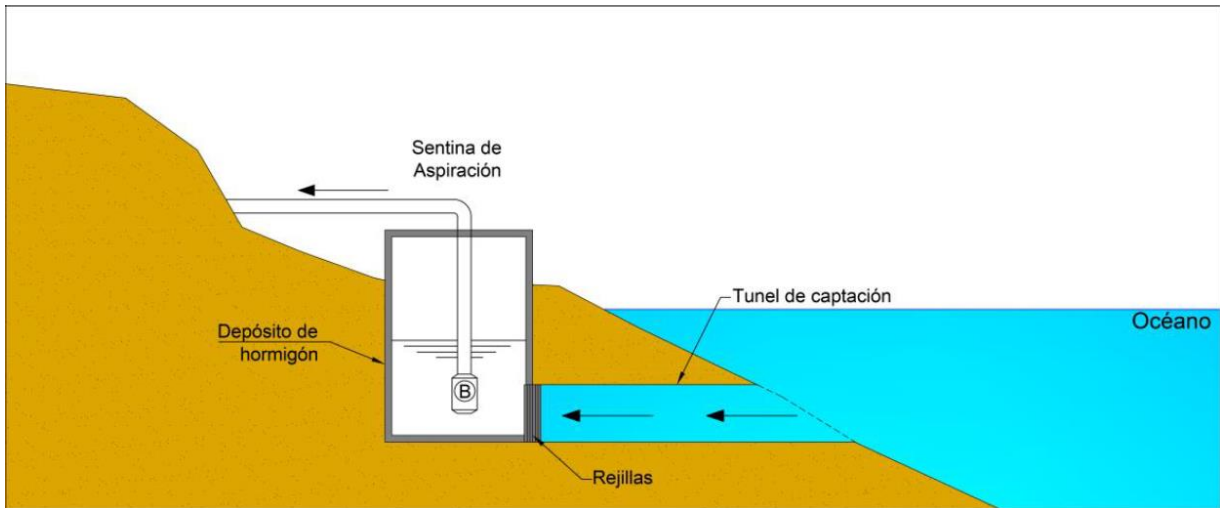


Figura 5.3: Esquema sistema de captación abierta directa. Fuente: Orostizaga, 2018.

Dada sus condiciones estructurales, la capacidad de captar agua de esta tecnología es menor que las de la captación sumergida y elevada, pero sigue siendo mayor que las tomas subterráneas, por lo que es intermedia. Su impacto en el ecosistema marino es alto puesto que interviene directamente los sedimentos cercanos a la zona fótica, succionando fauna supramareal e intermareal. Si bien no exige requerimientos específicos para su instalación, si se recomienda hacerlo en costas rocosas porque es muy sensible al oleaje y los sedimentos en fondos rocosos no se ven afectados fuertemente por las olas. Sus costos son similares a los de las otras captaciones abiertas, llegando incluso a veces a ser más barato para grandes caudales (Orostizaga, 2018).

Tomas en el Subsuelo

En las tomas desde el subsuelo o también llamadas captaciones cerradas, el agua se obtiene desde la orilla de la playa o en sectores cercanos mediante lechos de arena saturada u otros estratos subterráneos permeables. Estos tipos de captación están condicionados por las formaciones geológicas de la zona, a diferencia de las tomas abiertas (Orostizaga, 2018).

El agua que es captada de forma subterránea pasa por un proceso de pretratamiento natural mediante una lenta filtración por medio del suelo oceánico que es típicamente arenoso. Como consecuencia de ello, este flujo de agua marina viene con bajos niveles de sólidos, aceite y grasa, contaminantes orgánicos naturales, y organismos acuáticos. Para el caso en que se capte agua a través de tomas del subsuelo desde un acuífero en la costa, la salinidad de esta suele ser más baja que el agua marina ambiental. En cambio, en una toma subterránea que se recolecta agua desde un acuífero aluvial, este flujo puede presentar concentraciones bajas de oxígeno y altos niveles de hierro, sulfuro de hidrógeno, manganeso y otros contaminantes que pueden generar daños adversos en el rendimiento de la membrana en la ósmosis inversa de una planta desalinizadora, en costos de producción de agua y en la calidad del agua de descarga (WaterReuse Association, 2011a).

Pozos verticales de playa

Este tipo de captación subterránea tiene el requisito para ser implementada de que debe existir la presencia de una formación de acuífero costero que sea permeable y que esté conectado hidráulicamente al mar, permitiendo que el agua del océano se infiltre (Orostizaga, 2018). Son generalmente utilizados para suministrar agua a plantas desalinizadoras pequeñas que tienen una capacidad de 45 L/s o menos (WaterReuse Association, 2011a).

Este tipo de pozo playero es perforado verticalmente hacia la roca subyacente o hacia el sistema de acuífero costero no consolidado. En general, se construye por una perforación seguida de la instalación de una tubería que sirve para sostener. Luego de terminar la perforación se instala un entubado, el cual se compone de una tubería superior unida a otra tubería que contiene cribas. Entre la tubería de sostenimiento y el entubado se rellena con un empaque de grava seleccionada que actúa como medio filtrante, para finalmente retirar la tubería de sostenimiento. Entre la grava y la superficie se rellena con un sello sanitario, generalmente de hormigón, para prevenir la contaminación de la superficie (Orostizaga, 2018).

En la figura 5.4 se muestra un esquema de un pozo playero vertical y sus componentes.

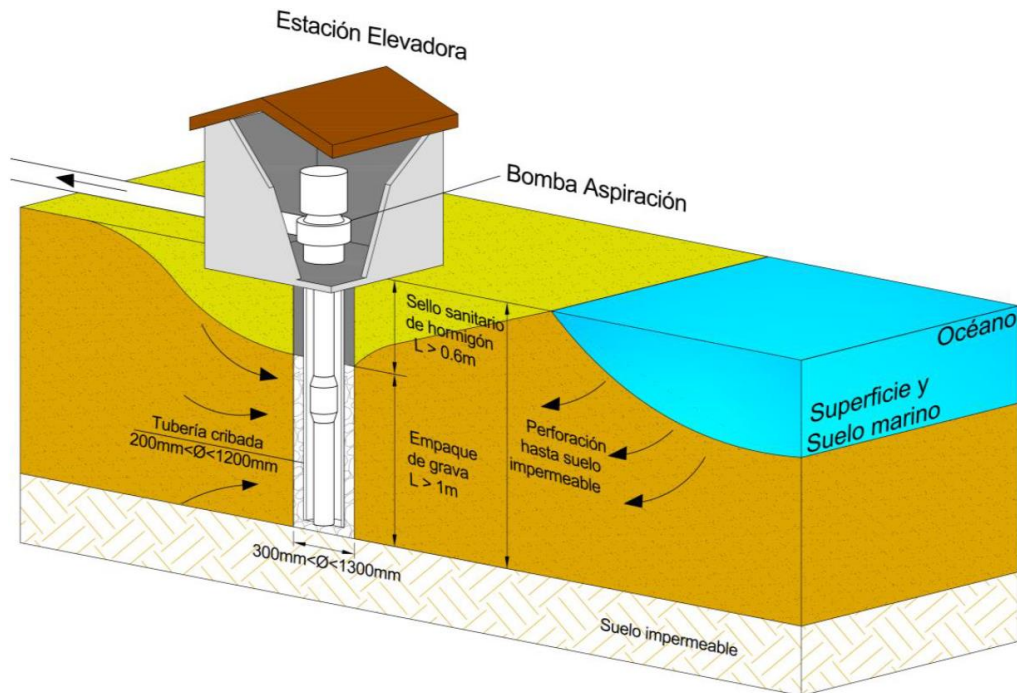


Figura 5.4: Esquema de pozo vertical de playa. Fuente: Orostizaga, 2018.

De manera general, los pozos playeros verticales pueden captar 50 L/s, llegando a 100 L/s en ciertas condiciones de alto rendimiento. El mayor impacto generado es al construir el pozo, ya que se debe intervenir la playa, mientras que este tipo de tecnología al ser subterránea elimina el impacto por arrastre. Aun así, el impacto en el lugar de emplazamiento puede aumentar porque estos pozos pueden afectar las cuencas subterráneas al succionar agua dulce de acuíferos costeros, por lo que se debe considerar como impacto alto (Orostizaga, 2018). WateReuse Association le asigna un costo relativo bajo a esta tecnología.

Pozos horizontales de playa

Los pozos horizontales constan de dos partes fundamentales: un pozo vertical de hormigón armado y fondo de hormigón en masa, y un conjunto de drenes horizontales ubicados en uno o más niveles, conectados con el pozo vertical en el cual desaguan a través de válvulas de compuerta. Tal como ocurre con los pozos verticales, los pozos horizontales pueden ser ubicados cercanos a la línea costera, sin embargo, los drenes pueden ser proyectados fuera de la zona de influencia de la playa y la anteplaya, permitiendo que el porcentaje de agua de mar que es extraído sea maximizado (Orostizaga, 2018).

Generalmente, en la construcción de este tipo de captación se utiliza el método de entubado inicio-fin. Este método consiste en hincar secciones de tuberías prefabricadas de hormigón armado, una a una.

La excavación se realiza desde dentro del entubado, de manera que a medida que el suelo se va extrayendo el entubado de hormigón se va hincando por efecto de su propio peso. A continuación, se van colocando sobre ese entubado nuevas secciones de tubería. Este proceso continúa hasta que la primera sección del entubado (la cual contiene los puertos para conectar los drenes) alcanza la elevación de diseño seleccionada para el emplazamiento de los drenes. En ese momento, se sella con hormigón el fondo del entubado para evitar que entre agua al sistema. Finalmente, los drenes horizontales se extienden hacia fuera a través de los puertos de montaje de la pared de la sección inferior del entubado central (Orostizaga, 2018).

A continuación, en la figura 5.5 se muestra un esquema de un pozo horizontal de playa.

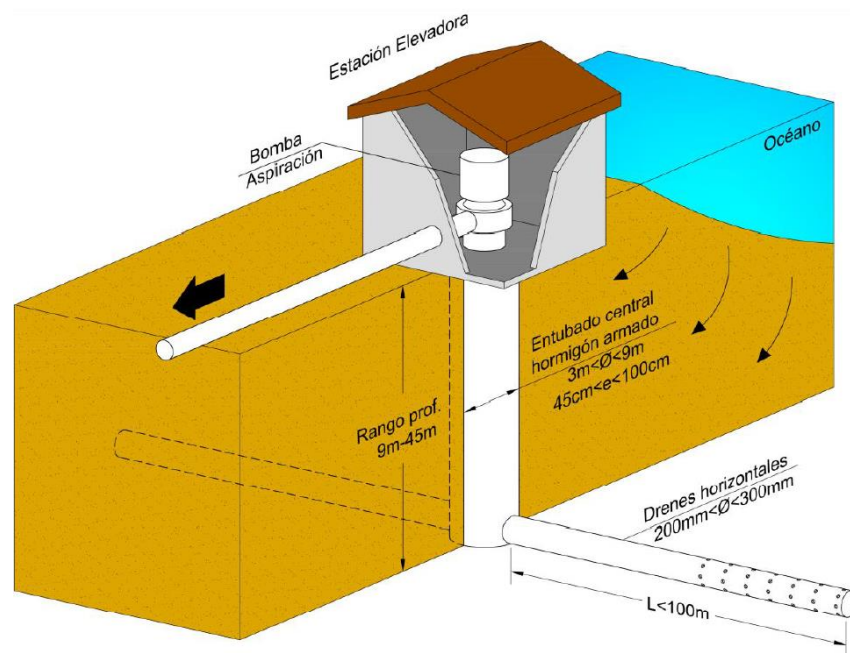


Figura 5.5: Esquema general del sistema de captación pozos horizontales. Fuente: Orostizaga, 2018.

Con este tipo de tecnología se puede captar agua en zonas del acuífero de mayor eficiencia hidráulica que dependerá del diámetro y el largo de los drenes utilizados, logrando una succión que puede superar los 200 L/s de agua. El impacto ambiental generado es similar al del pozo vertical, pero no es susceptible a afectar las cuencas y tampoco genera impacto por arrastre (Orostizaga, 2018). Su costo relativo según WateReuse Association es intermedio.

Galerías de infiltración con cama filtrante

Esta tecnología consiste en un lecho de filtración de arena que está sumergida, ubicado en la parte inferior de la masa de agua superficial del mar. Para construirse se excava el suelo sedimentario no consolidado que está conformado por grava, arcilla, cantos rodados y capas de arena y luego se instala una serie de tuberías con ranuras conectadas a un manifold. Por último, se va a rellenar con un medio poroso para que se forme un filtro artificial sobre los tubos con ranuras (Orostizaga, 2018).

Este tipo de captación subterránea es implementada generalmente cuando no es posible hacer captaciones de pozos debido a las condiciones hidrológicas. Un ejemplo de ello sería cuando el espesor de los sedimentos de la playa es insuficiente para instalar un pozo tradicional o cuando la permeabilidad de subsuelo es relativamente baja. Las galerías de infiltración pueden ser implementadas en el borde costero o bajo el lecho marino. Ambas alternativas producen un impacto ambiental durante la construcción inicial pero no afecta posteriormente, así como tampoco genera impacto por arrastre (Orostizaga, 2018).

En la figura 5.6 se muestra un esquema de una galería de infiltración con cama filtrante típica.

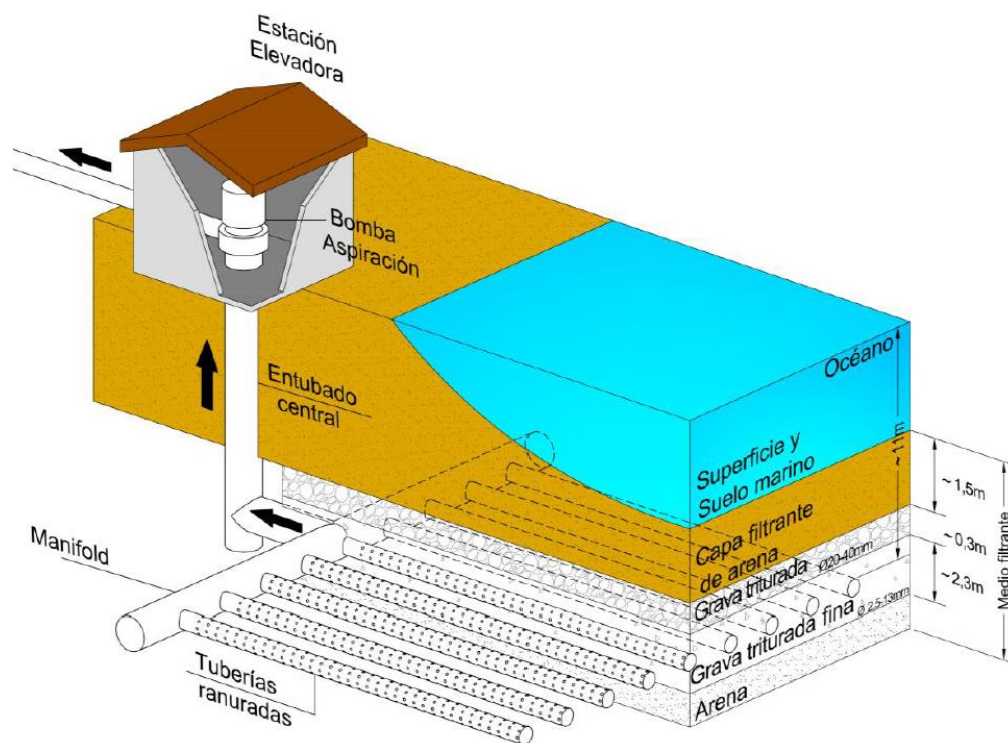


Figura 5.6: Esquema de captación mediante galerías de Infiltración. Fuente: Orostizaga, 2018.

La capacidad de captación de esta tecnología es mayor que las de pozos, moviéndose en un rango general de entre 250 a 580 L/s, por lo que se puede considerar como una captación intermedia (Orostizaga, 2018). Tanto WateReuse Association como Orostizaga, 2018 le asignan un costo elevado de implementación.

5.2.2 Evaluación de las tecnologías para captación de agua de mar

Luego de la descripción de las tecnologías mencionadas en la sección anterior, se procede a utilizar la tabla 4.1 de la sección 4.2 para escoger la tecnología de menor impacto ambiental en captación de agua de mar para plantas desalinizadoras, evaluando cada criterio según lo explicado.

A continuación, en la tabla 5.7 se muestran las notas por criterio asignadas a cada una de las seis tecnologías analizadas y su puntaje ponderado.

Tabla 5.7: Evaluación de tecnologías de menor impacto en captación de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.

Criterio Tecnología	Impacto arrastre	Capacidad captación de agua	Impacto lugar emplazamiento	Requisitos implementación	Costos instalación	Puntaje ponderado
Sumergida	2	3	3	3	3	2,60
Elevada	2	3	3	2	3	2,45
Directa	1	2	2	2	3	1,65
Pozo vertical	3	1	1	1	3	1,90
Pozo horizontal	3	2	2	1	2	2,25
Galería	3	2	2	2	1	2,35

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, los criterios establecidos previamente señalan que la tecnología más adecuada es la de captación abierta sumergida.

5.3 Selección de la tecnología que permite el menor impacto ambiental en la descarga de residuos de plantas desalinizadoras

5.3.1 Descripción de tecnologías para tratamiento de descarga de residuos

Lagunas de evaporación

Las lagunas de evaporación o también llamadas estanques de evaporación, son cuencas de tierra superficial revestida, similares a piscinas, en las que la salmuera es depositada y mediante la acción del sol, el agua se evapora obteniendo los cristales de sal como precipitado (Pinto, 2021).

En la figura 5.7 se puede ver un esquema simple de una laguna de evaporación.

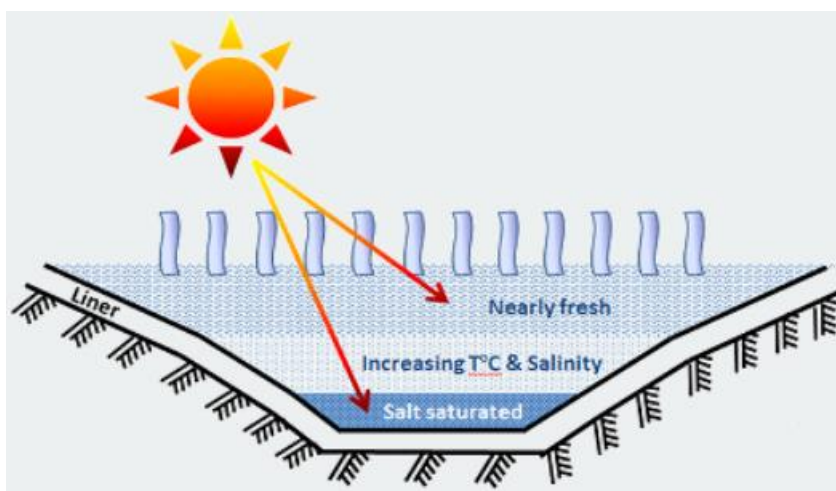


Figura 5.7: Esquema laguna de evaporación. Fuente: Charisiadis, 2018.

Usualmente esta tecnología es factible en climas cálidos y secos, implementándose en terrenos amplios y de tierra de bajo costo. Para ello, los requisitos para ejecutar una laguna de evaporación es tener una tasa de evaporación anual mayor a 1 m/año y una tasa de precipitación anual menor a 0,3 m/año (Pinto, 2021).

La humedad ambiental también es un indicador relevante en su aplicabilidad puesto que, a mayor humedad, menor será la tasa de evaporación de la salmuera, por lo que en general cuando la humedad anual promedio es mayor al 60%, no se recomienda el uso de estas lagunas. Por otra parte, la tasa de

evaporación disminuye a medida que los niveles de sólidos y salinidad incrementan en los estanques, por lo tanto, la minimización del volumen de salmuera es beneficioso (Charisiadis, 2018).

Para construir las lagunas de evaporación se sigue un patrón básico de concentradores de poca profundidad que son seguidos luego por estanques de cristalización. Para no contaminar el sitio donde se emplazan estas piscinas, el revestimiento de los estanques debe ser el adecuado para que no existan filtraciones. La tasa de evaporación de la salmuera será la que determine el tamaño de las lagunas que se deban construir (Pinto, 2021).

El uso de estas lagunas de evaporación se puede aprovechar para generar electricidad a través de intercambiadores de calor que se conectan con estanques de gradiente solar, producir betacaroteno, en la acuicultura, recoger sales, entre otras aplicaciones (Pinto, 2021).

El revestimiento que se utilice para los estanques, el volumen de la salmuera y su concentración de sal, el valor del terreno y los trabajos que en este se realicen para construir son esencialmente los factores que determinarán el costo de esta tecnología (Pinto, 2021).

Inyección profunda

Esta tecnología se basa en inyectar y aislar los residuos descargados por las plantas desalinizadoras en formaciones geológicas porosas y permeables, en las que el fluido inyectado permanezca confinado de una manera segura. Para implementar un pozo de inyección profunda se requiere de acuíferos confinados de gran capacidad de almacenamiento con buena transmisividad del suelo, se debe evitar sitios con alta actividad sísmica y/o con fallas geológicas, esto con el fin de que no se conecten de forma hidráulica el almacenamiento de la salmuera con el acuífero de agua fresca (Charisiadis, 2018).

Los pozos de eliminación de salmuera generalmente constan de tres o más capas concéntricas de tubería: revestimiento de superficie, revestimiento de sarta larga y tubería de inyección. Un pozo de inyección profunda consta de un cabezal de pozo (equipado con bomba, si es necesario) y un eje de pozo forrado protegido por múltiples capas de revestimiento y lechada (Charisiadis, 2018).

A continuación, en la figura 5.8 se ve un esquema de un pozo de inyección profunda.

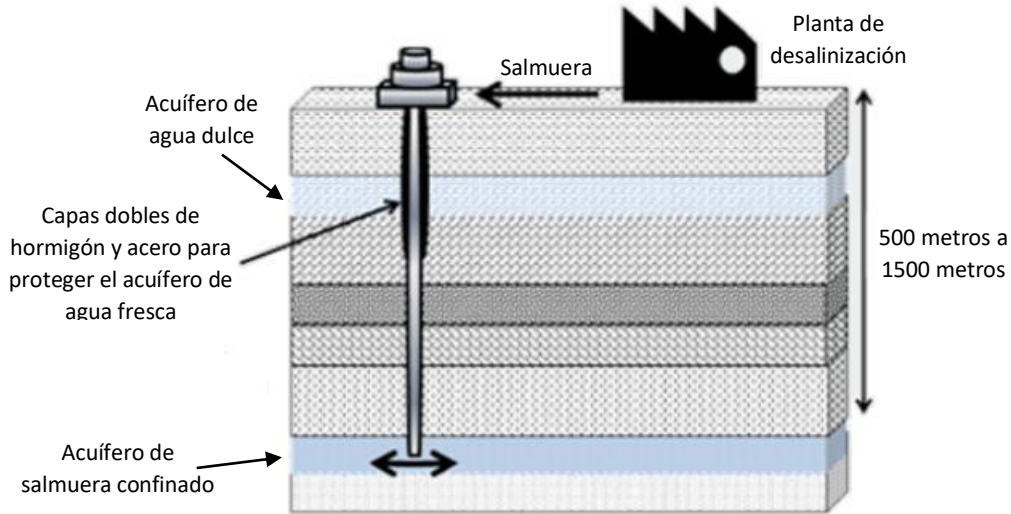


Figura 5.8: Esquema de pozo de inyección profunda. Fuente: Charisiadis, 2018.

Vertido superficial directo

El vertido superficial directo es un método de eliminación de la salmuera que consiste en la descarga directa de este residuo en ríos, lagos, lagunas, océanos, entre otros cuerpos de agua. La salmuera se traslada al sitio de disposición donde es descargada en el cuerpo de agua receptor a través de una estructura llamada emisario de salmuera (Panagopoulos *et al.*, 2019).

Los emisarios de salmuera están diseñados para descargar el concentrado con el objetivo de minimizar el tamaño de la zona en la que la salinidad se eleva más allá de la tolerancia de sólidos totales disueltos del ecosistema acuático (Charisiadis, 2018).

Esto se realiza acelerando la mezcla de salmuera con el agua del cuerpo de agua receptor mediante:

1. La capacidad de mezcla de la zona de marea local (oleaje).
2. Descargar la salmuera más allá de la zona de mareas e instalar difusores al final de la tubería de descarga para mejorar la mezcla.

El oleaje cercano a la costa tiene una capacidad reducida para transportar y disminuir la concentración de sal, por lo que, si la carga salina excede esta capacidad de transporte de la zona de mareas, la sal en exceso se irá acumulando generando daños al ecosistema acuático que no será capaz de aguantar un aumento muy elevado de la salinidad (Charisiadis, 2018).

En general, las plantas desalinizadoras pequeñas utilizan un emisario construido como una tubería con extremo abierto que se extiende hasta el cuerpo de agua receptor y se espera que la turbulencia de mezcla de la zona de mareas disipe la salmuera y reduzcan la salinidad a las condiciones normales del medio. Para el caso de las plantas desalinizadoras grandes, la descarga de la salmuera se extiende mar adentro y sus tuberías presentan difusores que evitan que la columna de agua de salina se acumule en el fondo del océano (Charisiadis, 2018).

En la figura 5.9 se puede ver un esquema de un vertido superficial utilizando difusores.

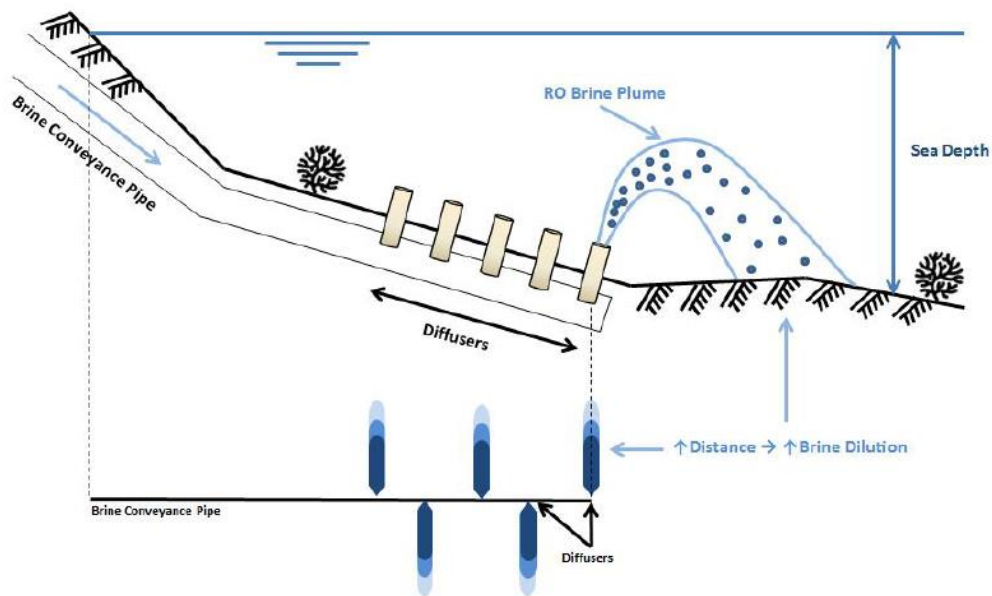


Figura 5.9: Esquema de vertido superficial con difusores. Fuente: Charisiadis, 2018.

Descarga en alcantarillado

Este es un método de disposición en que se descarga la salmuera en el sistema de aguas residuales más cercano. La salmuera descargada debe ser en volúmenes bajos y en plantas de tratamiento de aguas residuales de gran capacidad debido a que el alto contenido de sólidos disueltos totales de la salmuera puede afectar negativamente a las operaciones de la planta de tratamientos receptora. En general, se ve afectado el tratamiento biológico de la planta residual porque la concentración de la salmuera puede incluso superar los 55 000 mg/L y la concentración de sólidos disueltos totales del afluente de la planta de tratamientos es de 3000 mg/L. Además, si la salinidad del efluente final de aguas residuales se vuelve demasiado alta, pueden surgir problemas ambientales y regulatorios durante la disposición final.

Además, se puede imponer un pretratamiento básico, como la neutralización del pH o cualquier otro requisito, ya que la salmuera puede contener trazas de metales pesados. Esto asegura la infraestructura y el proceso de tratamiento, así como la calidad del efluente final de aguas residuales. Es por ello que es un método raramente usado y es adecuado para plantas desalinizadoras pequeñas (Charisiadis, 2018; Panagopoulos *et al.*, 2019).

En la figura 5.10 se ve un esquema de la descarga de salmuera en alcantarillado que posteriormente llega hasta la planta de tratamiento de residuos.

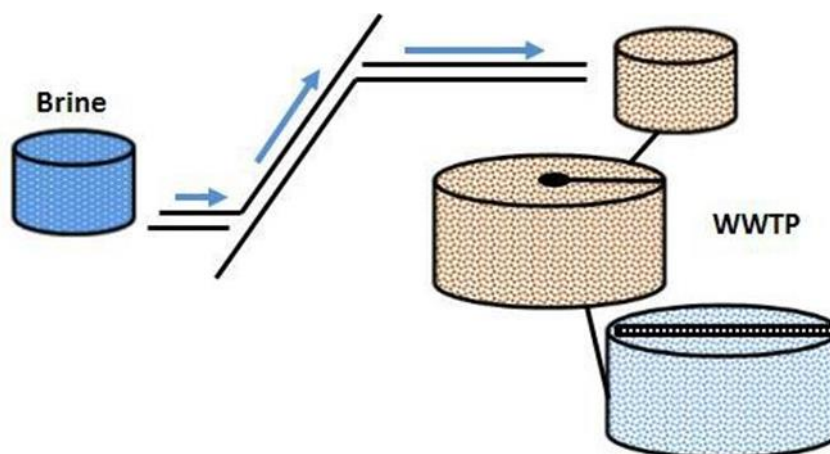


Figura 5.10: Esquema de disposición de salmuera en alcantarillado hacia plantas de tratamiento de residuos. Fuente: Charisiadis, 2018.

Vertido líquido cero

Al vertido líquido cero se le puede definir como una combinación de tecnologías de desalinización que tienen como objetivo producir agua dulce de alta calidad sin descargar residuos líquidos del sistema, generando únicamente un residuo sólido comprimido que puede ser valorizado (Charisiadis, 2018; Panagopoulos *et al.*, 2019).

Existen diversos sistemas de vertido líquido cero dependiendo de qué tecnologías se utilicen, sin embargo, se identifican tres procesos generales para cada sistema: preconcentración, evaporación y cristalización. La preconcentración es muy importante puesto que ello reduce los costos de los dos pasos siguientes y esta se logra a través de tecnologías a base de membranas como la ósmosis inversa. Para los procesos de evaporación y cristalización se utilizan las tecnologías de base térmica, entre las cuales está la cristalización de salmuera (Panagopoulos *et al.*, 2019).

Los cristalizadores de salmuera son diseñados generalmente como cilindros verticales con entrada de calor de una fuente de vapor disponible o de un compresor de vapor. El más común para tratar la salmuera es el cristalizador de circulación forzada. En esta tecnología, la salmuera se introduce inicialmente en el sumidero del cristalizador. Luego, la salmuera entrante se mezcla con la salmuera circulante y después se bombea a un intercambiador de calor de carcasa y tubos donde se hierve con el vapor del compresor de vapor. Dado que los tubos del intercambiador de calor están sumergidos, la salmuera está bajo presión y no se evapora. La salmuera recirculante se inserta en ángulo en el cuerpo de vapor del cristalizador y se arremolina en un vórtice. Una pequeña porción de la salmuera se evapora, formando cristales. Una gran cantidad de salmuera se recircula al calentador mientras que una pequeña corriente del circuito de recirculación se transfiere a una centrífuga o filtro para eliminar el agua restante de los cristales. El vapor se comprime en un compresor de vapor y calienta la salmuera recirculante a medida que se condensa en el intercambiador de calor. Finalmente, se recolecta agua dulce gran calidad y se produce un residuo sólido seco valorizable (Panagopoulos *et al.*, 2019).

En la figura 5.11 se muestra un diagrama del método de cristalización de salmuera.

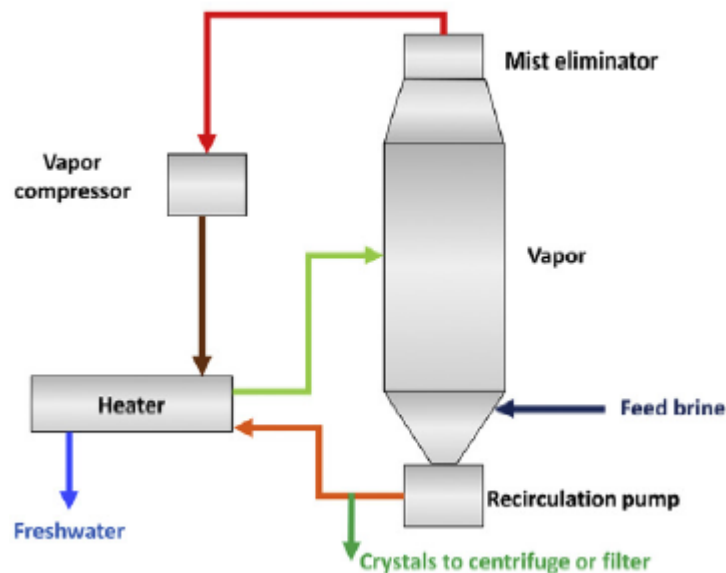


Figura 5.11: Diagrama de cristalización de salmuera. Fuente: Panagopoulos *et al.*, 2019.

Costos de construcción de tecnologías

De acuerdo con WateReuse Association y Panagopoulos *et al.*, 2019 los costos de implementación de las tecnologías para descarga de residuos de plantas desalinizadoras fluctúan en los valores que se pueden ver en la tabla 5.8. Para poder comparar cada tecnología y asignarle un puntaje al momento de evaluar cada una, se calculó un promedio del rango de valor de cada tecnología.

Tabla 5.8: Costos de construcción de tecnologías para eliminación de salmuera. Fuente: WateReuse Association, 2012.

Tecnología	Costos (USD MM/MGD)	Promedio (USD MM/MGD)
Laguna evaporación	3 – 9,5	6,25
Inyección profunda	2,5 – 6	4,25
Vertido superficial (con difusores)	2 – 5,5	3,75
Descarga en alcantarillado	0,3 – 2	1,15
Vertido líquido cero	5,5 – 15	10,25

5.3.2 Evaluación de tecnologías para tratamiento de descarga de residuos

Luego de la descripción de las tecnologías mencionadas en la sección anterior, se procede a utilizar la tabla 4.2 de la sección 4.3 para escoger la tecnología de menor impacto ambiental en descarga de residuos de plantas desalinizadoras.

A continuación, en la tabla 5.9 se muestran las notas por criterio asignadas a cada una de las seis tecnologías analizadas y su puntaje ponderado.

Tabla 5.9: Selección de tecnología de menor impacto en descarga de salmuera. Fuente: elaboración propia.

Criterio Tecnología	Destino salmuera	Impacto ambiental	Valorización	Requisitos implementación	Costos construcción	Puntaje ponderado
Laguna evapora.	3	2	2	1	2	2,20
Vertido directo (difusores)	2	2	1	3	2	1,75
Inyección prof.	3	2	1	1	2	1,85
Alcantarillado	2	2	1	3	3	1,80
Vertido líq. cero	3	2	3	3	1	2,7

Como se puede ver en la tabla anterior, de acuerdo a los criterios establecidos previamente la tecnología más adecuada es la del sistema de vertido líquido cero.

6. Discusión

Las distintas tecnologías descritas anteriormente pueden afectar (o no) de forma diferente a cada grupo de comunidades identificadas en la zona de estudio.

En primera instancia tenemos los pozos playeros verticales y horizontales a los cuales durante la evaluación de las distintas tecnologías se les asignó a ambos una nota tres (ideal) en impacto de arrastre, puesto que este tipo de captación no tiene contacto directo con el océano si no que obtienen el agua a partir de un acuífero que recibe por infiltración el agua de mar y, por consiguiente, no tienen contacto con las comunidades de organismos de la zona. El impacto que estos pozos generan ocurre al momento de su construcción ya que se necesita intervenir la playa para poder conectar el pozo con la planta desalinizadora, asignándole al pozo horizontal una nota dos y al pozo vertical nota uno, esto porque este último puede generar alteración de las cuencas cercanas. Por otra parte, a ambos pozos se les asignó una nota uno en requisitos de implementación debido a que necesitan obligatoriamente de un estudio hidrogeológico para determinar si existen las condiciones necesarias para su instalación, como lo es un acuífero costero permeable. La galería de infiltración con cama filtrante es muy similar en su evaluación a los pozos playeros, pero tiene la ventaja de que no exige condiciones hidrogeológicas tan específicas y además tiene levemente mayor capacidad para captar agua.

Para el caso de las captaciones abiertas directas, estas tienen la evaluación más baja en el criterio del impacto por arrastre debido a que este tipo de tecnología está emplazada entre la zona intermareal y zona supramareal, teniendo mayor contacto con la primera de estas. Como se explicó en la sección de resultados, las comunidades intermareales están normalmente asociadas al sedimento y esta tecnología impacta directamente esta área por lo que el impacto de arrastre es bastante alto.

En la tecnología de captación abierta elevada, se diferencia únicamente con la captación abierta sumergida en que necesita una estructura para ser implementada. Sin embargo, su ubicación es un factor que es determinante también puesto que al estar elevada como dice su nombre, succiona agua desde la zona más superficial del océano en donde existe mayor luminosidad y por ende mayor biota marina. En esta zona además existe gran presencia de fitoplancton que es una de las bases de la cadena trófica y al ser un organismo tan diminuto, es muy difícil evitar la succión de estos organismos. Además, la zona más superficial del océano suele presentar mayor presencia de contaminantes que las aguas más profundas por lo que la calidad del agua succionada es, teniendo que ser tratada más cuidadosamente en las etapas posteriores.

La captación abierta sumergida es la ideal para generar el menor impacto de arrastre y a su vez succionar grandes cantidades de agua. Si bien esta tecnología genera un impacto de arrastre leve, existen formas de reducir este impacto a través de ciertos ajustes a la captación abierta. De acuerdo con lo que indica Nikolay Voutchkov para WateReuse Association, comparando un estudio del año 2008 de la Junta de Control de Recursos Hídricos del Estado de California sobre el impacto y arrastre de las plantas de energía costeras en ese estado, el autor señala que una planta desalinizadora que capta 110 MGD de agua de mar genera un impacto promedio de 2 libras diarias de organismos, lo que equivale a la mitad de impacto que genera un pelícano diariamente como dieta, por lo que el daño ambiental no sería tan alarmante. El mayor impacto se genera al succionar huevos o larvas, sin embargo, esto se puede solucionar ubicando el tubo de succión lejos de las zonas de desove de los organismos. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos considera que extender la tubería de succión 125 metros fuera de la zona litoral es una buena estrategia para disminuir el impacto de arrastre. La velocidad de succión también es un factor importante ya que mientras más rápido succione, más difícil le será a los organismos escapar de ello, por lo que la misma agencia estadounidense recomienda un mínimo de 0,15 m/s como velocidad de succión para disminuir impactos. Esto se puede realizar cambiando la dirección de succión desde vertical hacia horizontal poniendo una tapa sobre el tubo de succión, reduciendo enormemente la velocidad y, por ende, el impacto por arrastre.

Evaluando ahora las tecnologías para descarga de salmuera, primero se tiene a las lagunas de evaporación. Esta tecnología el mayor problema que tiene son sus requisitos para ser implementada. Para que pueda utilizarse se necesita gran extensión de terrenos, una tasa de evaporación anual mayor a 1 m/año y una tasa de precipitación menor a 0,3 m/año y en la Región de Valparaíso no existen tales condiciones, por ejemplo, de acuerdo con datos de la Biblioteca Nacional del Congreso, la tasa de precipitación costera anual que existe es del 0,45 m/año, por lo que ya no es una tecnología factible de implementar en la zona.

La tecnología de vertido directo con difusores es la más utilizada en las plantas desalinizadoras porque es sencilla de implementar y no tiene costo muy elevado, sin embargo, esta tecnología no permite valorizar la salmuera por lo que recibe una calificación de uno en ese criterio. Por consiguiente, la salmuera es vertida al mar y si bien se reduce su concentración, esta suele acumularse en el fondo del mar en donde existen los organismos bentónicos. Este tipo de tecnología afectará principalmente a estos animales por lo que se le asignó una nota dos en criterio de impacto.

El pozo de inyección profunda si bien es una tecnología que no devuelve la salmuera al océano, aun así, no permite valorizarla y lo que hace es trasladar el residuo de un lugar a otro que puede terminar contaminándolo también, además de que exige condiciones geológicas específicas para ser implementado como acuíferos y zonas de baja actividad sísmica, contrario a las características que Chile presenta.

La descarga en alcantarillado y posterior mezcla en plantas de tratamientos de residuos es un método de eliminación de la salmuera sencillo y barato, pero no soluciona el problema de descarga de salmuera al mar, puesto que va a ser vertido igualmente a este por la planta residual además de que solo se puede utilizar en plantas desalinizadoras pequeñas por lo que no es un método recomendado.

El sistema de vertido líquido cero es el mejor evaluado de acuerdo a los criterios de selección y el óptimo para ser implementado en la bahía de Quintero-Puchuncaví puesto que permite valorizar por completo la salmuera, genera agua potable de gran calidad y no necesita de muchos requisitos para ser implementada. Su principal contra es el alto costo que tiene y además es una tecnología que consume mucha energía, por lo que puede contribuir al efecto invernadero contaminando la atmósfera. Sin embargo, la utilización de energías renovables no convencionales son una buena manera de compensar y prevenir estos impactos atmosféricos, generando de esta forma un desarrollo sustentable en la zona que lleva mucho tiempo con conflictos socio ambientales.

Por último, las actividades humanas que pueden verse afectadas por ambos procesos (captación de agua y descarga de residuos) como lo es la pesca, ha ido disminuyendo considerablemente a través de los años en la zona de estudio. Si bien existen otros factores que afectan aquello, la elección de tecnologías de menor impacto en la vida marina del sector asegura que las plantas desalinizadoras no serán un elemento extra que perjudique a este rubro.

7. Conclusión

La crisis hídrica que afecta a nuestro país y al mundo ha impulsado la búsqueda de nuevas formas de obtener agua para satisfacer nuestras necesidades y las plantas desalinizadoras han tomado un rol protagónico en ello. Es de vital importancia que para no volver a repetir lo que nos llevó a esta situación, conocer bien cómo funcionan estas nuevas tecnologías y sus posibles impactos ambientales en el futuro.

La caracterización del ecosistema marino-costero de la bahía de Quintero-Puchuncaví que corresponde a la zona de la región de Valparaíso en que se pueden instalar industrias en la costa, fue un factor decisivo en la elección de cuál tecnología era la más apta para cada proceso. Al estudiar qué especies de peces, algas, aves, crustáceos y otras formas de vida presentes en la zona permitió que se pudiera evaluar de forma más precisa el impacto que cada una de las distintas tecnologías pueden causar a las diferentes comunidades marinas. La diferencia que existe entre captar agua en la zona fótica en lugar de hacerlo en el fondo del océano es muy alta, así como también lo es descargar la salmuera al mar o disponerla en tierra y buscar una forma de valorizarla.

Al evaluar cada tecnología para captar agua de mar se evidenció que la posición, velocidad y tamaño de las rejillas de succión son factores determinantes en la elección de esta. Considerando estos factores sumados a las características de la biodiversidad del lugar, se tiene que la captación abierta sumergida es la más apta para implementarse porque tiene la posibilidad de ser adaptada para que su estructura de succión disminuya el impacto por arrastre reduciendo la velocidad, ubicándola en un lugar de poca presencia de vida disminuyendo así al máximo posible el impacto por arrastre, contribuyendo a la protección del ecosistema marino así como también interferir lo menor posible en actividades como la pesca que se ha visto afectada en los últimos años.

Las tecnologías de tratamiento de la salmuera se vieron fuertemente afectadas por los factores abióticos puesto que varias de ellas requieren de ciertas condiciones específicas que la región de Valparaíso no presenta, como el caso de la laguna de evaporación que requiere clima seco y árido. La descarga líquida cero fue escogida la más apta puesto que entrega un rendimiento muy alto en la producción de agua potable y además es capaz de eliminar por completo los residuos líquidos, logrando que no se devuelva la salmuera al mar y en su lugar pueda ser valorizada dándole otros usos.

Las plantas desalinizadoras sin duda han llegado para quedarse y la bahía de Quintero-Puchuncaví puede ser el sector pionero de Chile en la adecuada implementación de esta moderna forma de generar

agua para el consumo humano. Sin duda hubo muchos factores y consideraciones que no fueron analizadas o fueron pasadas en alto durante este informe, sin embargo, es un primer acercamiento a lo que podría ser la instalación de una planta desalinizadora con el menor impacto ambiental posible en una zona del país que a lo largo de los años se ha visto involucrada en diversas controversias medioambientales, todo esto en el contexto de la grave sequía que afecta a nuestro país y al mundo entero.

8. Bibliografía

- BCN (2021). *Reportes Comunales Quintero y Puchuncaví: Indicadores Económicos*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <<https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunal.html?unidad=Comunales&anno=2021>> [consulta: 19 de julio de 2022].
- BCN. *Clima y vegetación Región de Valparaíso*. Biblioteca Nacional del Congreso de Chile. <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm>> [consulta: 30 de octubre de 2022].
- Belatoui, A., Bouabessalam, H., Hacene, O., de-la-Ossa-Carretero, J., Martínez-García, E. y Sanchez-Lizaso, J. (2017). Environmental Effects of Brine Discharge From Two Desalination Plants in Algeria (South Western Mediterranean). *Desalination And Water Treat* 76, 311–318. doi: 10.5004/dwt.2017.20812
- Belfort, G. (1984). *Synthetic membrane processes, fundamentals and water applications*. Nueva York, Estados Unidos de América: Editorial Academic Press. <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=gUWs1M5_sP4C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Synthetic+membrane+processes,+fundamentals+and+water+applications&ots=8gn9yT6NCu&sig=BpRQmiya3Z3kF2leNDA58C5G3L4#v=onepage&q=Synthetic%20membrane%20processes%2C%20fundamentals%20and%20water%20applications&f=false> [consulta: 6 de junio de 2022].
- Belkin, N., Rahav, E., Elifantz, H., Kress, N. y Berman-Frank, I. (2017). The Effect of Coagulants and Antiscalants Discharged With Seawater Desalination Brines on Coastal Microbial Communities: A Laboratory and In Situ Study From the Southeastern Mediterranean. *Water Research*, 110, 321–331. doi: 10.1016/j.watres.2016.12.013
- Benaissa, M., Rouane-Hacene, O., Boutiba, Z., Habib, D., Guibbolini-Sabatier, M. y Risso-De Faverney, C. (2020). Ecotoxicological Effects Assessment of Brine Discharge From Desalination Reverse Osmosis Plant in Algeria (South Western Mediterranean). *Regional Studies in Marine Science*, 39, 101407. doi: 10.1016/j.rsma.2020.101407
- Berkün, M. (2016). *Environmental impacts of desalination plant intakes and discharges and hydraulic planning*. Estambul, Turquía. <https://www.researchgate.net/publication/307593276_Environmental_Impacts_of_Desalination_Plant_Intakes_and_Discharges_and_Hydraulic_Planning> [consulta: 8 de junio de 2022]

- Bibby, C., Burgess, N., Hill, D. y Mustoe, S. (2000). *Bird Census Techniques*. 2^a ed. Inglaterra. Editorial Academic.
- Blake, B., Dixon, T., Jones, P. y Tasker, M. (1984). *Counting Seabirds at Sea from Ships: A Review of Methods Employed and a Suggestion for a Standardized Approach*. 101(3).
- Bourgeois, S., Brining, D., Jesse, W., Lester, W., O'leary, D. y Salam, M. (1981). Development of environmental standards for combined desalination/power generating stations in the Arabian Gulf region. *Desalination*, 39, 255-260. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916400861299>> [consulta: 8 de junio de 2022].
- Cambridge M., Zavala-Perez A., Cawthray G., Mondon J. y Kendrick G. (2017). Effects of High Salinity From Desalination Brine on Growth, Photosynthesis, Water Relations and Osmolyte Concentrations of Seagrass *Posidonia Australis*. *Mar. Pollut. Bull.* 115, 252–260. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.066
- Charisiadis, C. (2018). Brine Zero Liquid Discharge (ZLD) Fundamentals and Design. <<https://www.lenntech.com/Data-sheets/ZLD-booklet-for-Lenntech-site-min-L.pdf>> [consulta: 2 de noviembre de 2022].
- Cipollina, A., Micale, G. & Sommariva, C. (2005). Efficiency increase in thermal desalination plants by matching thermal and solar distillation: theoretical analysis. *Desalination*, 183(1-3), 127-136. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405004947>> [consulta: 5 de junio de 2022].
- Consejo Políticas de Infraestructura (2019). Mapa de la sequía en Chile por región: caudal del río La Ligua está 94% bajo su promedio histórico y embalse Peñuelas solo acumula el 2% de su capacidad total. Chile. <<https://www.infraestructurapublica.cl/mapa-la-sequia-chile-region-caudal-del-rio-la-ligua-esta-94-promedio-historico-embalse-penuelas-solo-acumula-2-capacidad-total/>> [consulta: 15 de mayo de 2022].
- Constitución Política de la República de Chile (1980). <https://www.camara.cl/camara/doc/leyes_normas/constitucion_politica.pdf> [consulta: 4 de mayo de 2022].
- Decreto 40 de 2013 [Ministerio del Medio Ambiente]. *Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental*. 12 de agosto de 2013. <<http://bcn.cl/2reuv>> [consulta: 25 de marzo de 2022].

- Decreto 90 del 2000 [Ministerio Secretaría General de la Presidencia]. *Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales*. 30 de mayo de 2000. <<http://bcn.cl/303xo>> [consulta: 15 de mayo de 2022].
- Decreto con Fuerza de Ley N°340 de 1960 [Ministerio de Hacienda]. *Sobre concesiones marítimas*. 6 de abril de 1960. <<http://bcn.cl/323yo>> [consulta: 26 de abril de 2022].
- Decreto Ley 2222 de 1978 [Ministerio de Defensa Nacional]. *Sustituye Ley de Navegación*. 31 de mayo de 1978. <<http://bcn.cl/32jvx>> [consulta: 10 de mayo de 2022].
- Dévora-Isiordia, G., González-Enríquez, R. & Ruiz-Cruz, S. (2012). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnologías y Ciencias del Agua*, 4(3), 27-46. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000300002> [consulta: 5 de junio de 2022].
- Dirección General de Aguas (2017). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile*. Ministerio de Obras Públicas. Santiago de Chile. <<https://dga.mop.gob.cl/Estudios/04%20Resumen%20Ejecutivo/Resumen%20Ejecutivo.pdf>> [consulta: 26 de mayo de 2022].
- Dirección General de Aguas (2022). *Decretos de Escasez Hídrica Vigentes marzo 2022*. Chile. <https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Decretos_vigentes.jpg> [consulta: 1 de abril de 2022].
- Dami, D., Yacobi, Y., Stambler, N. y Kress, N. (2011). Seawater Quality and Microbial Communities at a Desalination Plant Marine Outfall A Field Study at the Israeli Mediterranean Coast. *Water Research*, 45, 5449–5462. doi: 10.1016/j.watres.2011.08.005
- Edinger, J. y Kolluru, V. (2000). Power plant intake entrainment analysis. *Journal of Energy Engineering*, 126(1), 1-14. <[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(2000\)126:1\(1\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9402(2000)126:1(1))> [consulta: 8 de junio de 2022].
- Esva (2022). *Reporte de Esva revela impacto de la mega sequía en el estado de los principales embalses* [en línea]. Valparaíso, Chile. <<https://www.esva.cl/personas/noticias/listado-de-noticias/reportes-esva-estado-de-embalses/>> [consulta: 15 de marzo de 2022].
- Esva S.A., (2021). *Embalse Los Aromos alcanzó los 22 millones de metros cúbicos de llenado*. Esva Sociedad Anónima. Concón, Chile. <<https://www.esva.cl/personas/noticias/listado-de-noticias/embalse-los-aromos-alcanzo-los-22-millones-de-metros-cubicos-de-llenado/>> [consulta: 15 de marzo de 2022].

- Frank, H., Rahav, E. y Bar-Zeev, E. (2017). Short-Term Effects of SWRO Desalination Brine on Benthic Heterotrophic Microbial Communities. *Desalination* 417, 52–59. doi: 10.1016/j.desal.2017.04.031
- Fuentes, S. (2017). *Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto Aconcagua*. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Chile. <https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2132346285> [consulta: 11 de julio de 2022].
- González, C. (2022). *Desaladoras para la Región de Valparaíso: las alternativas que propone la ciencia para abordar la crisis hídrica en la zona*. País Circular. Chile. <<https://www.paiscircular.cl/crisis-hidrica/desaladoras-para-la-region-de-valparaiso-las-alternativas-que-propone-la-ciencia-para-abordar-la-crisis-hidrica-en-la-zona/>> [consulta: 10 de junio de 2022].
- Iso S., Suizu S. y Maejima A. (1994). The Lethal Effect of Hypertonic Solutions and Avoidance of Marine Organisms in Relation to Discharged Brine From a Destination Plant. *Desalination* 97, 389–399. doi: 10.1016/0011-9164(94)00102-2
- Jano, S. (2022). Los daños ambientales irreversibles que pueden generar las plantas desalinizadoras. Ladera Sur. <<https://laderasur.com/articulo/los-danos-ambientales-irreversibles-que-pueden-generar-las-plantas-desalinizadoras/>> [consulta: 19 de abril de 2022].
- Kenigsberg, C., Abramovich, S. y Hyams-Kaphzan, O. (2020). The Effect of Long-Term Brine Discharge From Desalination Plants on Benthic Foraminifera. *PloS One*, 15(1), e0227589. doi: 10.1371/journal.pone.0227589
- Khawaji, A., Kutubkhanah, I. y Wie, J. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221(1-3), 47-69. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407006789>> [consulta: 5 de junio de 2022].
- Lalli, C. y Parsons, T. (1997). *Biological Oceanography: An Introduction*. 2ª ed. Canadá, Editorial ELSEVIER.
- Ley 19300 de 1994 [Ministerio Secretaría General de la Presidencia]. *Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente*. 1 de marzo de 1994. <<http://bcn.cl/32mxg>> [consulta: 1 de junio de 2022].
- Ley 20417 de 2010 [Ministerio Secretaría General de la Presidencia]. *Crea el ministerio, el servicio de evaluación ambiental y la superintendencia del medio ambiente*. 26 de enero de 2010. <<http://bcn.cl/2m768>> [consulta: 22 de abril de 2022].

- López, W. y del Campo, M. (2021). Consumo de Energía e Impacto de la descarga de salmuera de Plantas desalinizadoras. Asociación Chilena de Desalinización A.G. (ACADE). Chile. <<https://www.acades.cl/wp-content/uploads/2022/04/Comite-Tecnico-Primera-Sesion-02.08.2021.pdf>> [consulta: 9 de junio de 2022].
- Mabrook, B. (1994). Environmental Impact of Waste Brine Disposal of Desalination Plants, Red Sea, Egypt. *Desalination* 97(1–3), 453–465. doi: 10.1016/0011-9164(94)00108-1
- Mani, K. (1991). Electrodialysis water splitting technology. *Journal of Membrane Science*, 58(2), 117-138. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376738800824503>> [consulta: 8 de junio de 2022].
- Ministerio de Obras Públicas (2020). *Primer Informe Mesa Nacional del Agua*. Santiago de Chile. <https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Energia.pdf> [consulta: 26 de marzo de 2022].
- Montes, C. (2018). *La desaladora más grande del país*. La Tercera. Santiago de Chile. <<https://www.latercera.com/tendencias/noticia/la-desaladora-mas-grande-del-pais/379642/>> [consulta: 18 de marzo de 2022].
- Nasr, H., Yousef, M. y Madkour, H. (2019). Impacts of Discharge of Desalination Plants on Marine Environment at the Southern Part of the Egyptian Red Sea Coast (Case Study). *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*, 4(3), 66. doi: 10.11648/j.ijee.20190403.12
- Natural Resources Defense Council (2014). *Proceed with Caution: California's Drought and Seawater Desalination*. Nueva York, Estados Unidos de América. <<https://www.nrdc.org/sites/default/files/ca-drought-seawater-desalination-IB.pdf>> [consulta: 8 de junio de 2022].
- Omerspahic, M., Al-Jabri, H., Siddiqui, S. y Saadaoui, I. (2022). Characteristics of Desalination Brine and Its Impacts on Marine Chemistry and Health, With Emphasis on the Persian/Arabian Gulf: A Review. *Frontiers in Marine Science*, 9. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.845113/full>> [consulta: 8 de junio de 2022].
- Orostizaga, E. (2018). *Diseño preliminar de captaciones costeras de agua de mar – Aplicación en la costa central y norte de Chile*. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Valparaíso, Chile. Universidad Técnica Federico Santa María. <<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23242/3560900257122UTFSM.pdf>> [consulta: 7 de septiembre de 2022].

- Panagopoulos, A., Haralambous, K. y Loizidou, M. (2019). Desalination brine disposal methods and treatment technologies - A review. *Science of The Total Environment*, 693. <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.351>> [consulta: 25 de octubre de 2022].
- Petersen, K., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., et al. (2018). Impact of Brine and Antiscalants on Reef-Building Corals in the Gulf of Aqaba – Potential Effects From Desalination Plants. *Water Research*, 144, 183–191. doi: 10.1016/j.watres.2018.07.009
- Pinto, P. (2021). *Uso de estanques de evaporación para tratar el rechazo proveniente de una planta desalinizadora (análisis energético, ambiental y económico)*. Memoria para optar al título de ingeniera civil mecánica. Santiago de Chile. Universidad de Chile. <<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180089>> [consulta: 15 de octubre de 2022].
- Poder Judicial (2021). *Corte Suprema Causa Rol No 22.356-2021*. Tercera Sala Corte Suprema. Santiago de Chile. <<https://www.pjud.cl/prensa-y-comunicaciones/noticias-del-poder-judicial/60927>> [consulta: 30 de mayo de 2022].
- Romero, J. (2019). *Planta desalinizadora de agua de mar mediante ósmosis inversa. proyecto de I+D+I para la recuperación de energía de la salmuera mediante ósmosis directa*. Asociación Latinoamericana de Desalación y Reúso de Agua. <<https://aladyr.net/planta-desalinizadora-de-agua-de-mar-mediante-osmosis-inversa-proyecto-de-idi-para-la-recuperacion-de-energia-de-la-salmuera-mediante-osmosis-directa/>> [consulta: 12 de abril de 2022].
- SERNAPESCA (2021a). *Glosario*. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. <http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/2021_0103_glosario_y_simbologia.pdf> [consulta: 15 de julio de 2022].
- SERNAPESCA (2021b). *Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura*. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. <<http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura>> [consulta: 18 de julio de 2022].
- Sola I., Sánchez-Lizaso, J., Muñoz, P., García-Bartolomei, E., Sáez, C. y Zarzo, D. (2019). Assessment of the Requirements within the Environmental Monitoring Plans Used to Evaluate the Environmental Impacts of Desalination Plants in Chile. *Water* 11(10), 2085. <<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2085/htm>> [consulta: 8 de junio de 2022].
- WateReuse Association (2011a). *Overview of Desalination Intake Alternatives*. <https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/10/Intake_White_Paper.pdf> [consulta: 29 de agosto de 2022].

- WateReuse Association (2011b). *Desalination Plant Intakes: Impingement and Entrainment Impacts and Solutions*. <https://www.researchgate.net/publication/301635876_Desalination_Plant_Intakes_-_Impingement_and_Entrainment_-_Impacts_and_Solutions> [consulta: 12 de septiembre de 2022].
- WateReuse Association (2012). *Seawater Desalination Costs*. <https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/10/WateReuse_Desal_Cost_White_Paper.pdf> [consulta: de 2022].

9. Anexos

Anexo 1: Metodología empleada para identificación de macrobentos submareales de sustrato blando

Metodología y datos obtenidos

El estudio de impacto ambiental identificó a las especies de macrobentos submareales de sustrato blando a través de 14 estaciones de muestreo a lo largo de la Bahía de Quintero-Puchuncaví, las cuales se pueden observar en la figura 9.1 y sus coordenadas en la tabla 9.1 (Fuentes, 2017).



Figura 9.1: Red de estaciones oceanográficas en el área de monitoreo, proyecto Aconcagua. Fuente: Fuentes, 2017.

Tabla 9.1: Coordenadas de las estaciones oceanográficas establecidas para la recolección de sedimentos submareales.
Fuente: Fuentes, 2017.

Estación	Coordenadas UTM, Datum WGS-84, Zona 19 H	
	Este (m)	Norte (m)
E-1	266.878	6.372.343
E-2	266.535	6.372.433
E-3	266.143	6.372.492
E-4	265.836	6.372.488
E-5	266.967	6.372.750
E-6	266.600	6.372.846
E-7	266.284	6.372.930
E-8	265.955	6.372.994
E-9	267.035	6.373.265
E-10	266.771	6.373.273
E-11	266.446	6.373.271
E-12	266.096	6.373.288
Control Norte	266.350	6.374.260
Control Sur	263.637	6.370.465

Para tomar las muestras, en el EIA se utilizó una draga modelo Van Veen que tomó dos réplicas independientes. Dichas muestras fueron dispuestas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas, y fijadas con formalina diluida en agua de mar al 4% para posteriormente ser transportada a las instalaciones de la empresa de estudios ambientales EcoTecnos en Viña del Mar, donde se realizó su análisis. Cabe señalar que se tomó una muestra en estación de invierno el 23 de agosto de 2016 y otra en verano el día 11 de enero de 2017 (Fuentes, 2017).

Anexo 2: Metodología empleada para identificación de macrobentos intermareales de sustrato blando

Metodología y datos obtenidos

Para identificar estas especies se tomaron muestras de siete transectas perpendiculares a la línea de costa entre el muelle de Oxiquim y el muelle de Ventanas como se ve en la figura 9.2, cada una con 10 estaciones de muestreo tomando muestras por duplicado en cada una de ellas. Las coordenadas de estas transectas están resumidas en la tabla 9.2 (Fuentes, 2017).



Figura 9.2: Ubicación geográfica de las transectas intermareales en el área de monitoreo, Proyecto Aconcagua. Fuente: Fuentes, 2017.

Tabla 9.2: Coordenadas de las transectas intermareales en el área de monitoreo, Proyecto Aconcagua. Fuente: Fuentes, 2017.

Transecta	Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona 19 H	
	Este	Norte
T1	267.181	6.373.531
T2	267.183	6.373.179
T3	267.190	6.372.895
T4	267.155	6.372.685
T5	267.129	6.372.432
T6	267.064	6.372.188
T7	266.926	6.371.894

Las muestras fueron extraídas con un *corer* de PVC de 10,5 cm de diámetro y 86,6 cm² de sección transversal, el cual fue enterrado en la arena a 15 cm de profundidad. Se determinó los sectores de intermareal superior, medio e inferior para luego tomar las muestras y depositarlas en bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas, y fijadas con formalina diluida en agua de mar al 4%, para posteriormente ser transportada a las instalaciones de EcoTecnos en Viña del Mar, donde se procedió a su análisis (Fuentes, 2017).

Anexo 3: Metodología empleada para observación e identificación de avifauna

Metodología de observación por tierra

Las observaciones en invierno se realizaron los días 23 y 24 de agosto de 2016, mientras que en verano los días 4 y 5 de enero de 2017. El reconocimiento de aves se realizó con una transecta continua de ancho de observación de 100 metros y una longitud de 3,1 kilómetros, obteniéndose un área de 310.000 metros cuadrados. El recorrido en invierno inició a las 7:30 de la mañana y en verano a las 8:00 también de la mañana, que es el horario en que la marea está baja. La figura 9.3 muestra el recorrido de observación y la tabla 9.3 las coordenadas de inicio y término del mismo (Fuentes, 2017).



Figura 9.3: Punto de inicio y fin, junto a la transecta efectuada para los avistamientos de aves por tierra, Proyecto Aconcagua. Fuente: Fuentes, 2017.

Tabla 9.3: Coordenadas de los puntos de inicio y fin de transecta de observación de aves por tierra, Proyecto Aconcagua.

Fuente: Fuentes, 2017.

Transecta	Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona 19 H	
	Norte (m)	Sur (m)
Inicio	6.374.325	267.013
Término	6.371.423	266.692

Las especies dentro del área de muestreo fueron observadas e identificadas utilizando binoculares y cámaras fotográficas (Bibby *et al.*, 2000; Fuentes, 2017).

Metodología de observación por mar

La observación por mar se realizó con una transecta de navegación continua en la bahía de Quintero-Puchuncaví, con el recorrido que se visualiza en la figura 9.4 utilizando binoculares y cámaras fotográficas. Para realizar ello se efectuó un transecto de 100 metros por lado, a dos bandas, totalizando una franja de 200 metros de ancho y 100 metros desde la proa, según la metodología propuesta por Tasker *et al.* (1984), como se ve en la figura 9.5. Las observaciones se realizaron dentro de un radio de 90° por banda, a dos bandas, totalizando 180°, lo que permitió detectar aves en áreas con baja densidad de individuos (Fuentes, 2017).



Figura 9.4: Transecto de navegación para el avistamiento de aves por mar, Proyecto Aconcagua. Fuente: Fuentes, 2017.

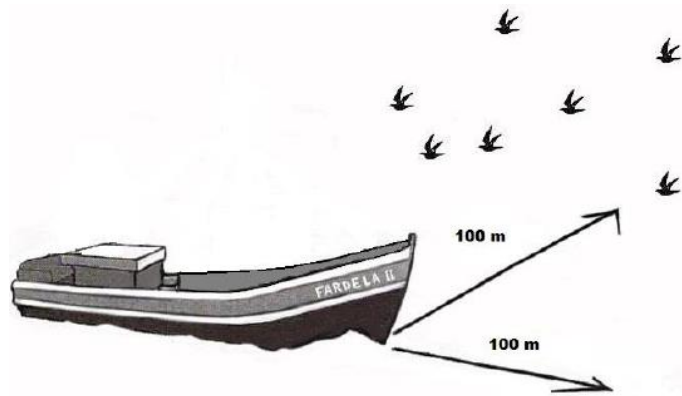


Figura 9.5: Esquema de la metodología de conteo de transecto continuo, Proyecto Aconcagua. Fuente: Tasker *et al.*, 1984; Fuentes, 2017.