

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA EN EL
CENTRO-SUR DE CHILE, ALIMENTADA POR ENERGÍA SOLAR.**

AUTOR

TOMÁS IGNACIO MUÑOZ VARGAS

PROFESOR GUÍA

MARÍA PILAR GÁRATE CHATEAU

PROFESOR CO-REFERENTE

GONZALO DAVID AMNÉSTICA HERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE, 10 DE SEPTIEMBRE, 2025.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA EN EL CENTRO-SUR DE CHILE, ALIMENTADA POR ENERGÍA SOLAR.

Nombre del candidato(a): Tomás Ignacio Muñoz Vargas

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial

Campus: Santiago Vitacura ; Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, María Pilar Gárate Chateau, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 03-10-2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03-10-2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen Ejecutivo.

La presente memoria aborda el problema de crisis hídrica que está afrontando Chile, centrándose en la macrozona Centro-Sur donde se destaca la región de O'Higgins como una de las más afectadas. Se plantea analizar la factibilidad técnica y económica de una desalinizadora destinada a agua de riego, para evidenciar la viabilidad de este tipo de proyectos como una fuente hídrica alternativa.

Mediante un análisis técnico, se definió como caso de estudio un pequeño predio agrícola con un requerimiento hídrico de aproximadamente $2.690 \frac{m^3}{día}$, para lo cual se consideraron los equipos de desalinización, transporte, almacenamiento y generación eléctrica, siendo esta última la principal fuente de autogeneración sustentable. A este diseño se sumó la estimación de los gastos operacionales asociados a los equipos, junto con la dotación de personal necesaria para la operación, mantención y administración de la planta. Todo lo anterior fue evaluado bajo el marco legal aplicable a proyectos de alto impacto ambiental (Ley 19.300), que regula actividades como la captación, el vertido y la calidad del agua a utilizar en la zona.

Finalmente, la rentabilidad se evaluó mediante la proyección de un flujo de caja descontado, utilizando como indicador principal el VAN. El resultado fue negativo, evidenciando que, debido al alto costo de inversión y operación, el precio requerido para el agua resultaría muy superior al valor que actualmente se paga en el sector agrícola.

Se concluye que, pese a la condición hídrica que experimenta el país, un proyecto de desalinización de las dimensiones propuestas no logra ser rentable económicamente. Es posible expandir el alcance del proyecto a un ámbito urbano, disponiendo de agua potable para comunidades con escasez crítica, pero bajo las condiciones actuales el agua de riego no representa un elemento lo suficientemente valorizado, como para justificar una desalinizadora.

Abstract

The present thesis addresses the problem of the water crisis currently affecting Chile, focusing on the south-central macrozone, where the O'Higgins region stands out as one of the most affected. The study analyzes the technical and economic feasibility of a desalination plant intended for irrigation water, in order to assess the viability of this type of project as an alternative water source.

Through a technical analysis, a small agricultural property was defined as the case study, with a water demand of approximately $2,690 \frac{m^3}{day}$. The design considered desalination equipment, transport, storage, and power generation systems, with the latter being the main source of sustainable self-generation. This design was complemented by the estimation of operating expenses associated with the equipment, together with the staffing required for plant operation, maintenance, and administration. All of the above was evaluated under the legal framework applicable to high environmental impact projects (Law 19,300), which regulates activities such as water intake, discharge, and quality standards in the area.

Finally, profitability was assessed through the projection of a discounted cash flow, using Net Present Value (NPV) as the main indicator. The result was negative, showing that due to the high investment and operating costs, the price required for water would be far above the current value paid in the agricultural sector.

It is concluded that, despite the water crisis affecting the country, a desalination project of the proposed dimensions is not economically viable for agricultural use. However, its scope could be expanded to an urban setting, providing potable water to communities facing critical scarcity. Under current conditions, irrigation water does not represent a sufficiently valued resource to justify a desalination plant for this purpose.

Contenido

1. Problema de Investigación.....	9
2. Objetivos	11
2.1. Objetivo General	11
2.2. Objetivos Específicos.....	11
3. Alcance.....	12
4. Marco Teórico.....	13
4.1. Escenario Mundial.....	13
4.2. Situación en Chile.....	14
4.2.1. Desalinización en Chile	15
4.3. Proceso de Desalación	16
4.3.1. Multi-Etapa Flash (MSF).....	16
4.3.2. Múltiple Efecto (MED)	18
4.3.3. Electrodialisis	19
4.3.4. Osmosis Inversa	20
4.3.5. Manipulación de Salmuera.....	22
4.3.6. Captación de Agua de Mar	24
4.3.7. Calidad del Agua de Captación.....	25
4.3.8. Calidad del Agua Desalinizada	26
4.4. Requerimientos Energéticos	28

4.4.1.	<i>Energía Solar Fotovoltaica</i>	29
4.5.	Situación Hídrica en Regiones del Centro-Sur de Chile.	30
4.6.	Disponibilidad de Energías	31
4.6.1.	<i>Disponibilidad de Energía Solar</i>	32
4.7.	Limitaciones Legales	33
4.7.1.	<i>Condiciones para Extracción de Agua de Mar</i>	34
4.7.2.	<i>Condiciones para Desecho de Salmuera</i>	36
4.7.3.	<i>Limitantes en Generación de Energía: Paneles fotovoltaicos</i>	37
4.7.4.	<i>Marco Legal para el Estado del Agua Desalinizada</i>	39
4.7.5.	<i>Limitaciones Sociales y Territoriales</i>	40
4.8.	Relevancia de Indicadores para Evaluación	42
4.8.1.	<i>Indicadores de Rentabilidad Económica</i>	42
4.8.2.	<i>Indicadores de Beneficio Social</i>	43
5.	Metodología	45
5.1.	Identificación de Ubicación del Estudio	45
5.1.1.	<i>Antecedentes Hídricos</i>	45
5.1.2.	<i>Situación Hídrica Región de O'Higgins</i>	48
5.2.	Propuesta del Proyecto	50
5.2.1.	<i>Caracterización de la Zona</i>	52
5.2.2.	<i>Restricciones Urbanísticas y Ambientales</i>	53

5.2.3.	<i>Disponibilidad de Energía</i>	56
5.2.4.	<i>Requerimiento Hídrico</i>	57
5.2.5.	<i>Ubicación de la Planta</i>	61
5.3.	Definición de Capacidad de Planta	63
5.3.1.	<i>Capacidad Operacional</i>	66
5.4.	Maquinaria requerida en el proyecto	68
5.5.	Equipos de Osmosis Inversa	69
5.5.1.	<i>Descripción de Equipos</i>	71
5.5.2.	<i>Balance de Caudales y Solidos Disueltos</i>	72
5.5.3.	<i>Costos de Inversión y Mantenimiento Equipos de Osmosis</i>	73
5.5.4.	<i>Consumo Energético Equipos de Osmosis</i>	75
5.6.	Sistema de Transporte de Agua	76
5.6.1.	<i>Costo de Inversión y Mantenimiento del Sistema de Transporte</i>	81
5.6.2.	<i>Consumo de Energía Bombas</i>	83
5.7.	Tuberías de Extracción	84
5.7.1.	<i>Costo de Inversión y Mantenimiento Sistema de Extracción</i>	86
5.7.2.	<i>Consumo de Energía Sistema de Extracción</i>	90
5.8.	Tuberías de Vertido	91
5.8.1.	<i>Costo de Inversión y Mantenimiento Sistema de Vertido</i>	93
5.9.	Sistema de Generación	94

5.9.1. <i>Paneles Fotovoltaicos</i>	94
5.9.2. <i>Baterías</i>	98
5.9.3. <i>Costo de Inversión y Mantenimiento Sistema de Generación</i>	99
5.10. Estanque de Almacenamiento de Agua	100
5.11. Resumen de costos	101
5.11.1. <i>Costos de Inversión en Equipos</i>	101
5.11.2. <i>Costos Anuales</i>	102
5.12. Consideraciones Legales	103
5.12.1. <i>Ley 19.300</i>	103
5.12.2. <i>Decreto 90</i>	108
5.12.3. <i>Decreto 340</i>	112
5.12.4. <i>Ley 21.435</i>	113
5.12.5. <i>Ley 18.410</i>	117
5.13. Parámetros de Evaluación.	118
5.13.1. <i>Horizonte de Evaluación.</i>	118
5.13.2. <i>Capital de Trabajo</i>	118
5.13.3. <i>Tasa de Descuento</i>	119
5.13.4. <i>Evaluación de Rentabilidad</i>	120
5.14. Constitución de Empresa.	120
5.14.1. <i>Costo de Constitución</i>	123

5.15. Personal Operacional	124
5.15.1. Cálculo de Remuneraciones	126
5.16. Estimación de Ingresos	129
5.16.1. Venta de Agua	129
5.16.2. Venta de Excedentes	137
5.17. Depreciación	144
5.17.1. Tabla de Depreciación	146
5.18. Flujo de Caja	148
5.19. Análisis de Rentabilidad	149
5.19.1. Análisis del Flujo de Caja	149
5.20. Propuestas de Mejora	152
5.20.1. Propuestas Sin Cambio de Ubicación	152
5.20.2. Propuesta con cambio de Ubicación	156
6. Conclusiones	158
7. Recomendaciones	161
8. Anexos	163
9. Referencias	169

1. Problema de Investigación

Una de las problemáticas que enfrenta Chile en la actualidad, es la escasez hídrica que ha afectado principalmente al Centro-Sur del país, con ciertas zonas que han presentado sequías severas en algunas de sus comunas en un 90-100 % de su territorio. (Dirección Meteorológica de Chile, 2023). Esto ha generado una reducción generalizada de las fuentes de agua superficiales y subterráneas, lo cual ha implicado la búsqueda de soluciones que van desde políticas de racionamiento hasta la aplicación de nuevas tecnológicas de extracción que permitan abastecer a la población, ya sea para el consumo o en actividades con dependencia hídrica.

Ante esto, surge como solución la implementación de tecnologías desalinizadoras, cuyo inconveniente actualmente es su utilización centrada mayoritariamente en producción a gran escala y particularmente en Chile, ubicadas en las zonas con requerimientos mineros. En respuesta a esto, se plantea la implementación de una planta con foco en el ámbito comercial, teniendo un menor requerimiento de recursos e inversión que las utilizadas en el entorno industrial (UNESCO, 2013). La razón de elección de este tipo de planta para el estudio es su relativamente bajo uso energético en relación con otras desalinizadoras con elevados requerimientos térmicos por sobre los eléctricos, lo cual permite su implementación en las zonas del Centro-Sur, que no cuentan con una gran disponibilidad de energía solar que es la generalmente utilizada por las plantas en el país.

El principal elemento que define la producción de agua desalinizada es la disponibilidad energética, la cual debe provenir de fuentes renovables, si se desea mantener el proyecto de forma sustentable y con un impacto ecológico relativamente bajo. Ante esto, se plantea vincular un medio de generación usualmente destinado a la zona norte, correspondiente al uso de paneles fotovoltaicos, los cuales, dada la ubicación sugerida, tienen variaciones en disponibilidad dependiendo de la ubicación específica y meses en que se realice la operación (Codell Muñoz y

Pereira Pereira, 2014), por condiciones climáticas adversas que se suelen presentar en los distintos periodos estacionales. Esta situación ya se ha evaluado en el país, desde una producción industrial en el norte, hasta pequeñas desalinizadoras en el sur encargadas de abastecer a caletas de pescadores con un reducido requerimiento hídrico, lo que ha demostrado la factibilidad de implementación de plantas de diversas dimensiones de producción, las que pueden variar entre 1.000-100.000 litros por día, dependiendo de la cantidad de beneficiarios que tenga como objetivo el proyecto (ALADYR, 2019).

A pesar del beneficio social que puede ser asociado a la disponibilidad hídrica generada, se debe evaluar la rentabilidad que posee este tipo de plantas, dado que en la actualidad aún se considera de alto costo, tanto en aspectos de inversión como operacionales, a lo que se le suma lo referente al traslado de agua desalinizada desde zonas costeras al interior del país (Zuñiga Oyanadel, 2017). Este resultado es relevante al momento de analizar qué medidas de gestión hídrica se implementarán, donde la desalinización puede pasar a segundo plano por sus elevados costos económicos.

Ante esto, surgen las siguientes interrogantes: ¿Es factible la implementación de este tipo de tecnologías en el Centro-Sur del país? ¿La fuente energética renovable propuesta es suficiente para suplir los requerimientos de la desalinizadora? ¿Es técnicamente factible implementar una desalinizadora en el lugar propuesto? ¿Es posible obtener rentabilidad económica positiva si se implementara el proyecto?

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Analizar la factibilidad de implementar una planta de desalinización por osmosis inversa, alimentada por energía solar, para abastecer a zonas del Centro-Sur de Chile que se encuentren con escasez hídrica, mediante un análisis técnico-económico orientado a identificar la rentabilidad del proyecto.

2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información respecto a los elementos técnicos a considerar en plantas de desalinización por osmosis inversa, basándose en antecedentes de otros estudios y aplicaciones.
- Recopilar información sobre aspectos técnicos referentes a los medios de generación solar basándose en antecedentes de funcionamiento en condiciones adversas, aplicables en las zonas contempladas.
- Identificar áreas factibles para la implementación de la desaladora, según las limitantes sociales, ambientales y urbanísticas que deban ser consideradas tanto para la construcción de la planta, como para la extracción (desecho) del agua de mar y lo referente al medio de generación eléctrica (solar fotovoltaica).
- Analizar información de aspectos legales a considerar en las zonas factibles, para temas de plantas desalinizadoras e implementación de paneles fotovoltaicos, con el fin de identificar restricciones adicionales que pueden afectar el desarrollo del proyecto.
- Analizar teóricamente la implementación de una planta desalinizadora en la ubicación seleccionada.
- Realizar una evaluación económica, con el fin de evaluar la rentabilidad del proyecto.

3. Alcance

Se han establecido ciertas condiciones impuestas a la evaluación:

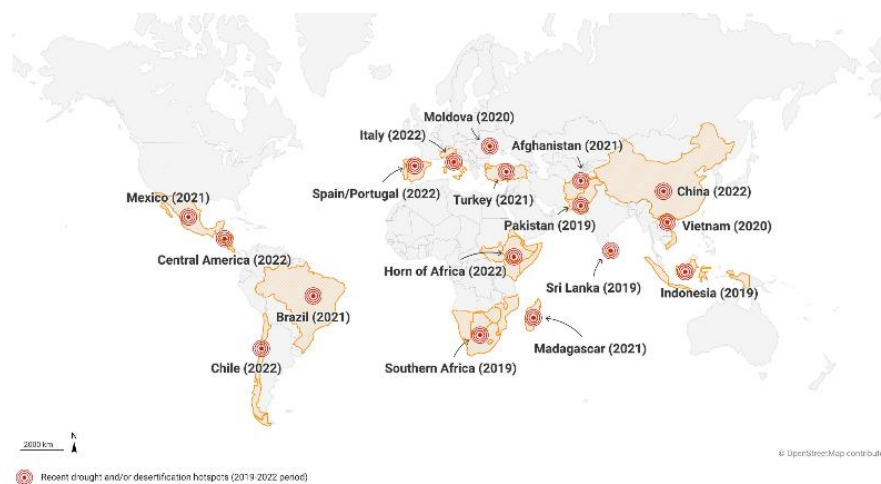
- La moneda utilizada en el estudio económico corresponde al dólar estadounidense (USD).
- Se utilizará una tasa de cambio fija de USD a CLP de $933,42 \frac{CLP}{USD}$, reconocida por el Banco Central para la apertura del día 01 de Julio del 2025.
- Se utilizará una tasa de cambio fija UF a CLP de 39.383,07 CLP/UF, reconocida por el Servicio de Impuestos Internos para la apertura del día 31 de Agosto del 2025.
- El agua producida por la planta será vendida en su totalidad al consumidor designado en el estudio. En caso de presentar una producción excedente, es factible realizar la venta a otros consumidores cercanos sin presentar acciones adicionales.
- La venta de excedentes eléctricos atribuibles al sistema de generación eléctrica designado será vendida a un precio estándar establecido, sin considerar bloqueos por congestión de la red.
- La capacidad productiva de la planta desalinizadora es plena, sin presentarse detenciones por temas particulares (feriados o similares).
- Las predicciones futuras en relación con precios e insumos para la producción presentarán un comportamiento estable según las estimaciones definidas.
- Los estudios realizados serán de forma específica en la ubicación definida para el proyecto, sin extrapolar resultados a otras zonas.

4. Marco Teórico

4.1. Escenario Mundial

En conjunto al crecimiento de la población mundial, se han acrecentado los requerimientos hídricos y a su vez se ha evidenciado una disminución de la disponibilidad de agua por el creciente efecto del cambio climático (World Bank Group, 2023). Esto ha generado que alrededor de un 66% de la población haya enfrentado en algún instante un estrés hídrico y se estima que la disponibilidad empeore progresivamente, afectando a una mayor cantidad de regiones y con consecuencias aún mayores tanto para la población como para las industrias con dependencia hídrica (Figura 1).

Figura 1: Principales países en el mundo donde se han presentado considerables problemas hídricos por condiciones climáticas.



Fuente: (World Bank Group, 2023).

Esta problemática ha sido principalmente evidenciada en ciertas regiones donde el agua disponible por persona ha disminuido en un porcentaje considerable. En América Latina se evidencia una disminución del 22%, en Asia un 27 % y en África Subsahariana un 41 % (Naciones Unidas, 2020). Esto ha generado una alarma en el mundo, incentivando un aumento de las políticas de protección hídrica e intensificado la búsqueda de soluciones a la problemática, donde destacan

las incursiones en la desalinización de agua de mar, especialmente por países desarrollados (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022), en busca de la utilización de un recurso tan abundante como es el agua de los océanos.

Ante esto, se recalca la problemática que existe en Chile, el cual se encuentra en el puesto 16 de los países con un estrés hídrico alto (Kuzman et al., 2023), superando la línea base del estrés en un 80%, reflejando la grave problemática existente que inevitablemente traerá consecuencias en la industria minera, agricultura y el consumo humano.

4.2. Situación en Chile

Basándose en el informe presentado en Día Mundial del Agua 2022 (Alvarado y de la Vega Planet, Universidad de Chile, 2022), se ha identificado que Chile tiene una gran problemática hídrica, generada por diversos factores, en donde resalta los problemas de gestión del agua (44% de impacto), a lo cual se le han sumado los factores ambientales (12% impacto) y el crecimiento tanto de la industria como de la población en el país.

Esto ha generado que en ciertas áreas, principalmente del centro-sur del país, entren en una fase de emergencia, lo cual ha producido una disminución de las actividades agrícolas y ganaderas, lo que en un futuro se expandirá a más zonas del territorio, afectando otros sectores productivos según el Grupo Medioambiental del Sistema de las Naciones Unidas (SNU, 2021). Esto se ha atribuido principalmente a la disminución de los niveles de almacenamiento de agua tanto en lagos como estanques, además de la reducción progresiva de los flujos de agua de manera superficial y recursos hídricos subterráneos.

Ante esto, existe debate respecto de la forma en que se debe afrontar la crisis, presentándose diferencias en cuanto al impacto de las políticas planteadas, relacionadas ya sea al aumento de disponibilidad o la adecuada asignación de recursos. Esto en referencia a los dichos de la profesora

María Cristhina Fragkou (Alvarado y de la Vega Planet, Universidad de Chile, 2022), la cual reconoce que el modelo de integración de nuevos métodos como la desalinización no resultan sostenibles en la actualidad, mientras que otros autores consideran la relevancia de la desalinización especialmente como medio de diversificación del consumo, en especial en lo referente al uso en la industria, actualmente en la minería o su uso futuro en otros ámbitos (Iagua, 2022).

4.2.1. Desalinización en Chile

Como tal, Chile se ha visto interesado en la desalinización como un medio alternativo de obtención de agua, especialmente en lo referente a la utilización en la industria minera, con preferencias en las zonas del norte del país con una baja disponibilidad hídrica y cercanía a las costas para el uso del agua de mar directamente. Actualmente, existen 23 plantas desalinizadoras en diversos ámbitos, y se proyecta un interés relevante de las empresas en el crecimiento de esta industria en el futuro (Portal Minero , 2023), con el fin de no requerir la utilización del escaso suministro de agua existente y a la vez evitar el problema social que genera el uso de agua que podría ser tratada para consumo humano.

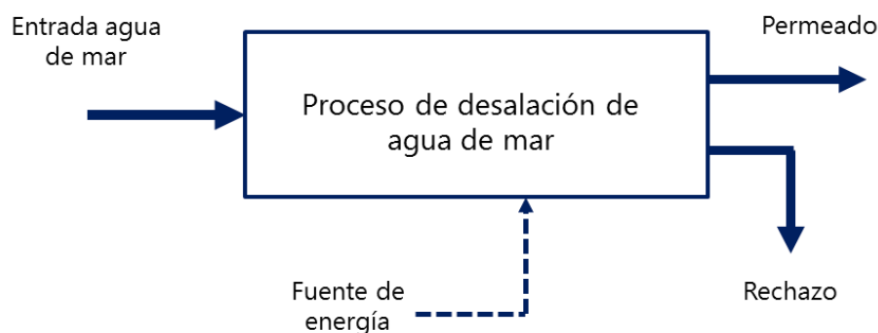
A pesar de que las solicitudes de construcción de plantas han aumentado en un 8 % entre el 2021 y 2022, únicamente un 1 % es destinado para el consumo humano, lo cual remarca la necesidad de una mayor implementación en sectores donde la disponibilidad para las personas es deficiente (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022). La desalinización ya ha demostrado su factibilidad, logrando abastecer incluso a pequeñas localidades, dado lo variable que pueden resultar en tamaño las plantas desalinizadoras, permitiendo que estas se ajusten a los requerimientos específicos que se tengan, dada las relativamente bajas necesidades de maquinaria en el proceso, siendo el principal problema la dependencia energética para la realización de los

procesos de desalación (ALADYR, 2019), en conjunto a los problemas que implica el desecho de los residuos resultantes del proceso.

4.3. Proceso de Desalación

La desalinización es una tecnología que se ha diversificado e implementado en múltiples países en el mundo, la cual es definida por la Asociación Internacional de Desalación (IDA), como el proceso de eliminación de sales disueltas en el agua, produciendo de este modo el agua dulce a partir del agua de mar o agua salobre, tal como se ve en la Figura 2 (IDA, 2011).

Figura 2: Representación general de los procesos de desalación, independiente del tipo de tecnología utilizada.



Fuente: (Cabero García, 2015).

Como tal, las tecnologías de desalación son variadas, dependiendo de los procesos requeridos en la operación, donde se diferencian principalmente entre los que requieren cambios de estado, como los procedimientos de compresión de gases, multiefectos, multietapa flash, y los sin cambios de estado centrados en membranas, refiriéndose a los de electrodiálisis y la osmosis inversa (Cabero García, 2015). Cada una de las distintas tecnologías tienen como principal diferenciador la inversión y especialmente los requerimientos de energía para su funcionamiento, por lo cual se debe mencionar las características que son relevantes en cada una.

4.3.1. Multi-Etapa Flash (MSF)

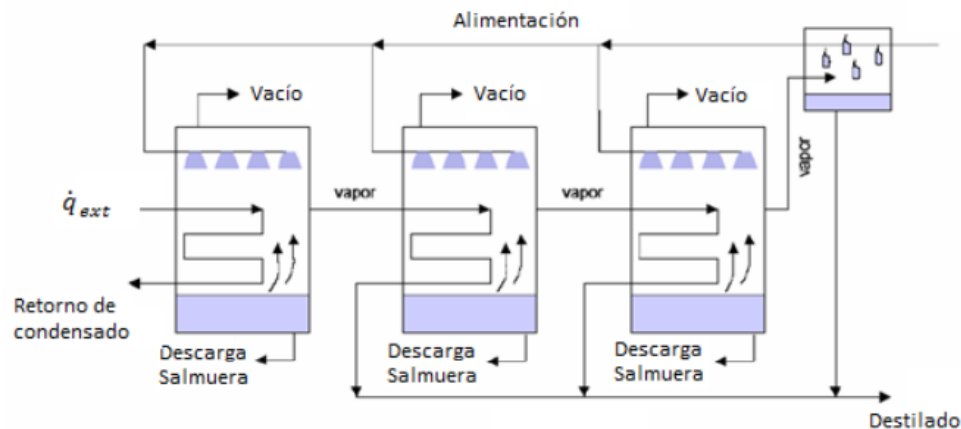
de 40 veces (etapas), con la finalidad de lograr que el agua se encuentre en condiciones óptimas para su uso.

A pesar de que el método es altamente utilizado en el Medio Oriente, resulta más eficiente cuando se desalinizan grandes cantidades de agua, requiriéndose cantidades de energía que rondan los $3-5 \frac{kWh}{m^3}$ y para los procesos se requiere calor entre los $250-330 \frac{kJ}{kg}$ (Cánovas, 2016). Ante esto, se deben evaluar otros métodos óptimos al contemplarse una producción más acotada que las generadas por este tipo de plantas, dado que se establece preliminarmente un requerimiento hídrico medio, implicando que la producción no alcanzara los niveles de las grandes plantas.

4.3.2. Múltiple Efecto (MED)

Similar al proceso MSF, se presentan una serie de etapas que buscan realizar cambios de estado del agua, evaporando y condensando esta para reducir su nivel de sales (Figura 4).

Figura 4: Diagrama del proceso de desalinización mediante el proceso MED.



Fuente: (Cánovas, 2016).

El proceso consiste en precalentar el agua de entrada (salinizada), mediante intercambiadores de calor, permitiendo la evaporación del agua, logrando separar la parte con mayores concentraciones de sal (salmuera). Este proceso se puede repetir unas 16 veces,

reduciendo progresivamente la presión existente en cada una de las cámaras, permitiendo la evaporación a temperaturas menores.

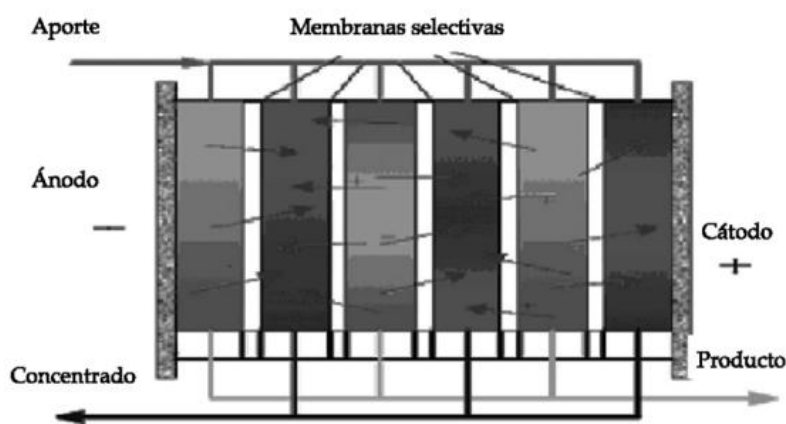
Cabe mencionar que, en cada uno de los procesos se reutiliza una porción del calor. Esto permite una menor pérdida de energía, permitiendo la optimización de la energía calorífica necesaria, implicando un menor requerimiento de calor proveniente de fuentes externas (Cánovas, 2016).

La ventaja de este método es que permite un tamaño de producción medio y unos costos de operacionales menores a los requeridos en el caso de MSF. El problema es que los requerimientos de inversión resultan considerablemente más altos por la maquinaria involucrada. Además, si se desea reutilizar la energía calorífica del proceso, se debe tener en consideración un mayor aumento en el capital, lo cual puede resultar problemático para este tipo de proyectos.

4.3.3. *Electrodiálisis*

Correspondiente a un método de desalinización sin cambios de estado, centrando en el intercambio iónico y filtrado de membranas, mediante la utilización de energía eléctrica para la activación de los iones (Figura 5).

Figura 5: Esquema que representa el proceso general de la electrodiálisis.



Fuente: (Muñoz Castillo, 2020).

En el proceso, se disponen de membranas catiónicas y aniónicas de forma sucesiva, las cuales permitirán que iones positivos o negativos, fluyan por estas permitiendo la separación en cada sector. Para esto, se disponen de membranas de poli electrolitos con carga negativa, que se encarga de atraer los cationes de carga positiva y rechazan los de carga negativa. El proceso es realizado con múltiples membranas con carga positiva o negativa, permitiendo la separación progresiva de los minerales presentes en el flujo.

Con esto se logra una separación de los fluidos, presentándose por un lado una concentración salina que se ve reducida en la zona de disolución y una que aumenta en la zona de concentración, donde este último corresponde al desecho del proceso.

Como tal, este método resulta útil para el proceso de desalación al no requerir una mayor cantidad de etapas y resulta bajo en sus costos operacionales. El problema surge cuanto se presenta un agua de ingreso (salinizada) con una dureza alta, generando que se produzca una acumulación de minerales en las membranas, lo cual afecta negativamente la producción (Lifeder, 2020).

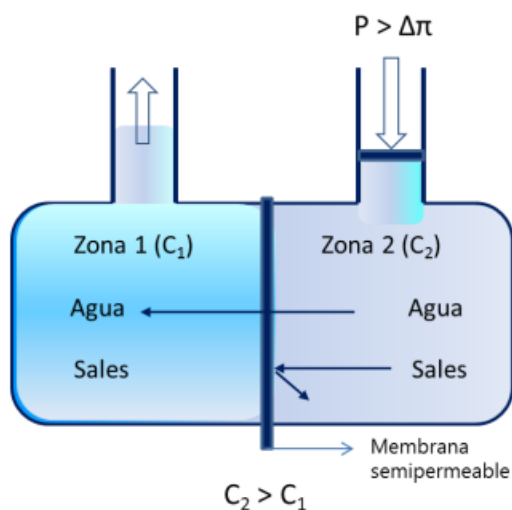
4.3.4. *Osmosis Inversa*

La osmosis inversa es la tecnología de desalinización que se centra en el uso de membranas como medio para la separación de los sólidos presentes en el fluido. Esto ocurre por el proceso de difusión que ocurre entre fluidos a distinta concentración (presencia de minerales), las cuales se encuentran separadas por una membrana semipermeable, permitiendo únicamente el paso del agua hasta que se equiparen las presiones en ambos lados de una forma natural (Figura 6).

Lo particular de la osmosis inversa, es la aplicación de una presión externa que permita el traspaso de forma constante del agua a través de la membrana, mientras se retiran los residuos sólidos (salmuera) y el agua parcialmente desalinizada (Cabero García, 2015). El grado de minerales y el pH resultante en el agua parcialmente desalinizada, dependerá de las condiciones

de pretratamiento efectuadas sobre el agua ingresada en términos químicos y preparación de condiciones, además de los postratamientos realizados para disponer de esta según las necesidades que se tenga.

Figura 6: Representación proceso de Osmosis Inversa.



Fuente: (Cabero García, 2015).

Para el funcionamiento de este proceso se necesita agua en distintas concentraciones separadas por una membrana semipermeable, permitiendo el traspaso de agua por la presión externa.

Esta tecnología tiene una alta esperanza de crecimiento, dado los aumentos en productividad, generado por las mejoras en los materiales utilizados (membranas), disminución de precios por masificación de proceso y capacidad de adaptación para la obtención de una mayor cantidad de agua o mejoras en la calidad del agua por incorporación de múltiples membranas, que permiten la desalinización según los fines que se tengan (Pardo Lillo, 2021).

Evidentemente, para la obtención de agua desalinizada, se obtienen productos que son considerados como desechos, los cuales no pueden ser utilizados directamente en otros procesos

y por ende deben ser desechados, ya sea directamente o luego de un adecuado tratamiento para reducir su impacto ecológico.

4.3.5. Manipulación de Salmuera

El rechazo o salmuera corresponde a agua con alta presencia de minerales (sales) que resultan del proceso de desalinización, cuya cantidad e impacto variará según la eficiencia del proceso de desalación y los tratamientos previos que se realicen para disminuir los residuos perjudiciales. Esta salmuera puede corresponder al 30-70 % del flujo de agua ingresado al proceso de desalinización, la cual al momento de ser desechada presenta una concentración 1,3-1,7 veces el agua de mar sin tratamiento (Pardo Lillo, 2021).

El manejo de la salmuera tiende a ser económicamente costoso y difícil de realizar, dada la necesidad de procesos para su tratamiento, además que su utilización en otros ámbitos tiende a ser reducida, implicando que no existe una industria con el suficiente interés para adquirir estos desechos (Pardo Lillo, 2021), al menos en las cantidades que se producen. Ante esto, es común observar que las plantas viertan el residuo directamente al mar sin un tratamiento previo, lo cual, dependiendo de la calidad, cantidad y frecuencia del flujo, puede implicar efectos en la estructura ecológica de la zona (Edward Jones, 2019).

Esta situación resulta relevante en las zonas de vertido directo, donde el hecho de agregarse 1 gramo de sal por litro de agua de mar puede resultar en cambios considerables en la diversidad marina, lo cual al largo plazo es perjudicial por la expansión de la zona afectada por esta práctica (Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia, 2021). A pesar de que este método es uno de los más utilizados, no se ha logrado determinar concretamente el efecto que tiene en los ecosistemas en forma general, viéndose casos en donde no existen efectos y otros en los que sí, dependiendo de la zona en particular o especies que estén siendo estudiadas. Por esto, el método de vertido sigue

siendo uno de los más utilizados comercialmente, aunque su uso es mal visto por la población, lo cual debe ser contemplado al momento de utilizar esta forma de descarga de residuos.

Existen otros medios de desecho, que en general implican mayores costos de inversión, pero logrando una reducción en sus efectos ambientales (Asociación Española de Desalación y Reutilización , 2019) . Algunos de estos son:

- Emisario Submarino: El sistema consiste en la instalación de una tubería oceánica que puede encontrarse enterrada o a lastras sobre la superficie marina. Por medio de puntos de liberación ubicados a lo largo de este, se puede ajustar su liberación de salmuera en distintas zonas, permitiendo su dilución de forma óptima.
- Dilución previa: El sistema consiste en mezclar la salmuera con agua de mar extraída en forma previa. De esta forma, se reduce el efecto que tienen los residuos al ser vertidos de forma directa al mar, generando un menor efecto en los ecosistemas circundantes.
- Vertido en conjunto a otras aguas: Similar a la dilución previa, consiste en mezclar la salmuera, pero con agua desechada por otros procesos, como fuentes urbanas o de otras industrias, como la refrigeración de centrales térmicas.

Dado que las plantas desalinizadoras se encuentran en aumento, se han buscado nuevos métodos para aprovechar sus desechos. Esto hace referencia a su intento de comercializar la salmuera para el consumo humano o para la preparación de otros productos de venta, pero aún no se ha logrado definir una forma segura de lograr estos procedimientos en una escala considerable (Asia Pacífico, 2021).

Si se está hablando de desalinización y sus desechos, se debe contemplar la fuente desde donde se están obteniendo los recursos para la operación. Evidentemente esto considera el proceso de extracción del agua de mar y sus condiciones según la política chilena.

4.3.6. *Captación de Agua de Mar*

El insumo base que es utilizado para los procesos corresponde al agua de mar que será desalinizada, con el fin de obtener agua óptima para su utilización en los diferentes contextos industriales, agricultura o de consumo humano. Para esto, se debe contemplar tanto el estado en que se encuentra el agua (composición química) y la forma en que se realizará la extracción desde la fuente oceánica (Orostizaga Salinas, 2018).

Respecto a la forma de extracción, dependerá del caudal requerido, las condiciones del punto de extracción y la capacidad de inversión disponible para el proyecto. En forma general, existen dos grupos de extracción que varían en los métodos empleados para obtener el agua salinizada (Instituto de Investigaciones Agropecuaria, 2022). Los grupos mencionados corresponden a:

- Captación Cerrada: Se destaca el estado inicial del agua por esta fuente, presentando bajos niveles de ensuciamiento, oxígeno disuelto y presencia de elementos biológicos. Entre sus desventajas se recalca la posibilidad de presentar metales o contaminantes y dependencia del estado del terreno donde se realiza la extracción, variando en permeabilidad y acumulación de agua subterránea. Los métodos de captación cerrados corresponden a:
 - Pozos Verticales
 - Pozos Playeros Horizontales
 - Pozos Inclinaados
 - Pozos Radiales Horizontales
 - Galerías de Infiltración con Cama Filtrante
- Captación Abierta: Se destaca la capacidad de extracción de mayores caudales de agua y menor posibilidad de aparición de metales pesados, respecto a la captación cerrada. Entre

sus desventajas se encuentra una mayor cantidad de residuos, ya sean sólidos en suspensión, otros elementos químicos y materiales orgánicos, a lo que se le suma la presencia de oxígeno disuelto y mayores costos operacionales en temas de mantención.

Los métodos de captación abiertos corresponden a:

- Sumergida
- Abierta Directa
- Abierta Elevada

Sin perjuicio de lo anterior, no se han mencionado la totalidad de métodos de captación existente, seleccionando solamente una muestra definida en el manual técnico (Instituto de Investigaciones Agropecuaria, 2022), que reflejan las opciones más accesibles según el alcance del proyecto a evaluar en el caso.

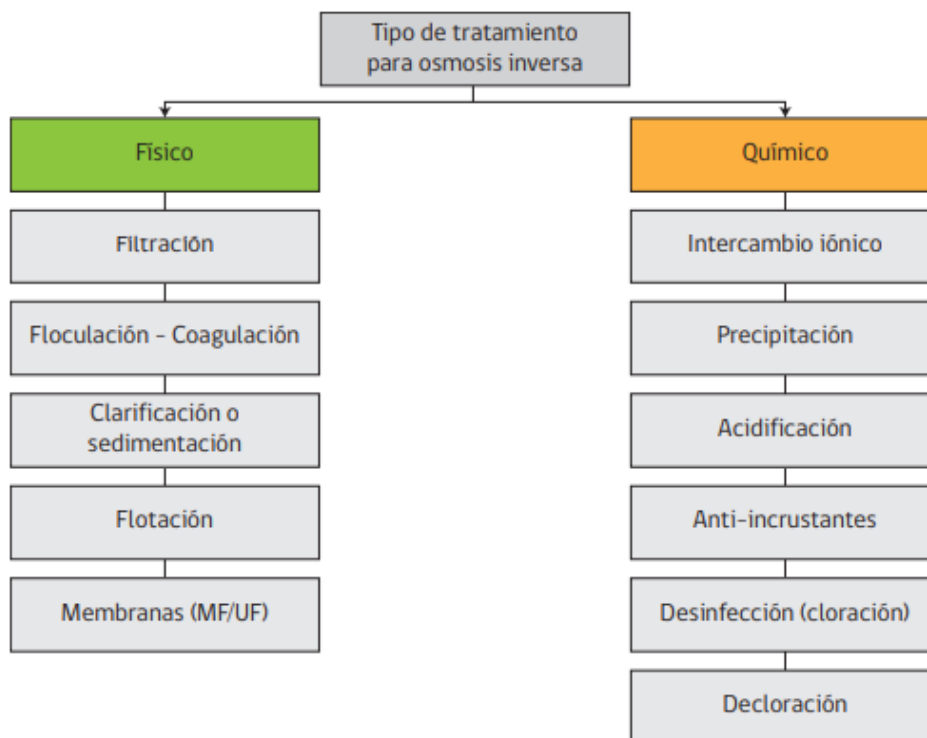
Además de la extracción del agua de mar, se debe contemplar el estado en que se encuentra está para su utilización en la planta, priorizando que no existan elementos que no puedan ser procesados de forma óptima para el consumidor o que puedan afectar negativamente la maquinaria implicada en las actividades de la desalinizadora.

4.3.7. Calidad del Agua de Captación

El pretratamiento es un elemento clave para el funcionamiento de las plantas, en donde existirán ciertos requerimientos específicos según el tipo de tecnología de desalinización y captación de agua utilizados. Este tratamiento previo, resulta de vital importancia para evitar tanto problemas en la maquinaria, como condicionar los costos de mantención y de inversión que se tendrá en la operación (Instituto de Investigaciones Agropecuaria, 2022).

Dado lo diversos que pueden ser los pretratamientos, se consideran algunos de los aplicados en la tecnología de mayor uso en referencia a la osmosis inversa, en donde los procedimientos pueden ser clasificados según su naturaleza química o física (Figura 7).

Figura 7: Resumen pretratamientos típicos en planta de osmosis inversa.



Fuente: (Instituto de Investigaciones Agropecuaria, 2022).

Para determinar el uso de los procedimientos mencionados u otros adicionales, se deben realizar estudios específicos en la zona de captación de agua, difiriendo en gran medida según la localización geográfica y variables estacionales.

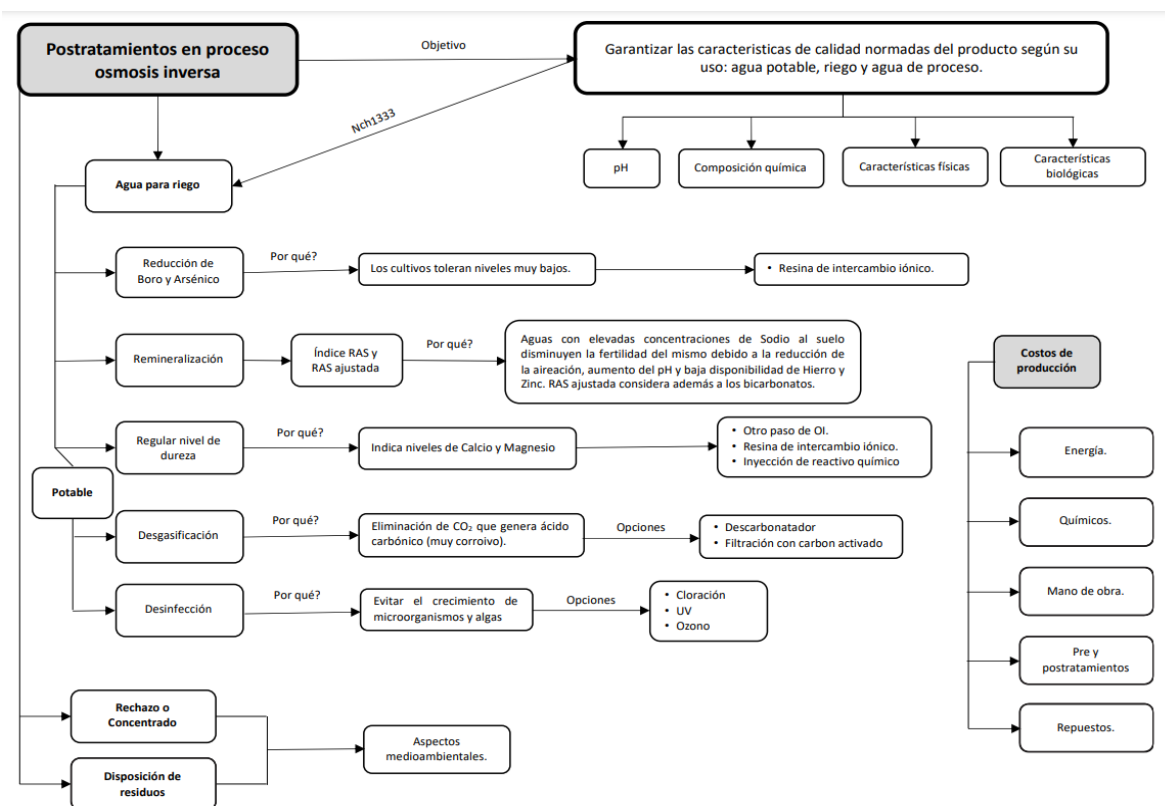
Evidentemente, el objetivo final de la captación de agua de mar es su tratamiento para obtener finalmente agua desalinizada. Esta debe presentar ciertas condiciones, las cuales dependerán de las exigencias que se tenga según el tipo de consumidor definido.

4.3.8. Calidad del Agua Desalinizada

A pesar de que los procesos de desalinización se encargan de reducir la concentración de sales para su uso, no logra eliminar la totalidad de componentes no deseados o en caso contrario elimina algunos minerales que son necesarios, especialmente hablando del agua para consumo y riego.

Esto genera que, el agua resultante deba recibir un postratamiento que se encarga de retirar o agregar minerales, según la finalidad que se tenga (Figura 8). Esto implica un aumento en los costos, debido a la maquinaria, personal y recursos necesarios, lo cual debe ser contemplado en cada unidad de agua desalinizada.

Figura 8: Representación general de postratamientos al utilizar la tecnología de osmosis inversa para la desalinización de agua.



Fuente: (Saavedra Fenoglio y otros, 2022).

Las características que debe tener el agua dependen de su uso, cuyos estándares se encuentran definidos según las normas chilenas correspondientes, las cuales definen temas como

presencia de minerales, nivel de conductividad eléctrica (CE), de acidez (pH), y máximo de contaminantes (Saavedra Fenoglio y otros, 2022).

En los procesos de desalación, se suele utilizar un indicador que engloba gran número de los elementos mencionados, correspondiente a la cantidad de sólidos totales disueltos o TDS según sus siglas en inglés, el cual suele ser utilizado para decir si el agua está salinizada o no. Este indicador puede ser relacionado con la conductividad eléctrica (CE), lo cual permite identificar de manera preliminar la calidad del agua que se está obteniendo del proceso. Utilizando como referencia el agua destinada para riego (Apera Instruments, 2018), se ha establecido un factor que relaciona a ambos indicadores, lo cual queda definido por (Ec.(1)):

$$TDS = 0,64 * CE \quad (1)$$

Se requiere establecer de forma precisa cuáles son los procedimientos necesarios, se deben realizar estudios del agua pertinentes en la zona de extracción, y medir de forma regular los cambios en las condiciones. Con esto se pueden definir los requerimientos de pre y postratamiento que se deban aplicar según la finalidad que se le vaya a dar al agua procesada.

Para la obtención del agua desalinizada, se debe realizar el proceso de desalinización correspondiente, el cual requiere una gran cantidad de energía, ya sea térmica o eléctrica según el tipo de tecnología utilizada, por lo que se debe mencionar las fuentes de obtención de esta.

4.4. Requerimientos Energéticos

A pesar de que la tecnología de desalinización ha resultado de utilidad, principalmente en los sectores mineros con escasez y baja disponibilidad hídrica en sus operaciones, se debe tener en consideración la dependencia que existe entre la producción de agua desalada y los requerimientos energéticos, cuya relevancia puede generar que el problema hídrico resulte siendo finalmente un problema de energía (Dirección de Estudios y Políticas Públicas, 2020). Esto no solo incluye directamente al proceso de desalación, sino que también el de transporte de agua de mar, la cual,

al ser requerida principalmente en terrenos al interior, debe recorrer una considerable distancia para su uso, implicando costos energéticos que deben ser considerados (Pardo Lillo, 2021).

Utilizando la información de la Asociación Internacional de Desalación, se ha definido que las plantas de osmosis inversa pueden tener como requerimiento entre 3-4 kWh por cada metro cúbico de agua ingresada al sistema, lo cual sumado a las dimensiones de la planta, son los factores determinantes de la producción (ALADYR, 2019), por lo que se debe tener en consideración la disponibilidad eléctrica y en especial la forma de generación.

Ante esto, resultan relevantes las energías renovables no convencionales, que corresponden a formas de generación con un bajo impacto ambiental, utilizando recursos presentes de forma natural, sin la necesidad de una excesiva invasión de zonas naturales. Pese a la existencia de múltiples tipos de estas fuentes energéticas, se priorizará aquella a ser utilizada en el proyecto en referencia a la energía obtenida por generación solar fotovoltaica.

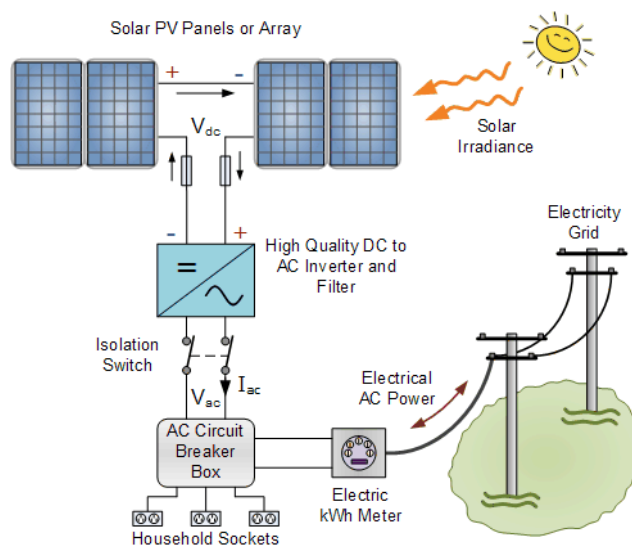
4.4.1. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar es el recurso que aprovecha la radiación de la luz del sol para generación de calor y electricidad, donde cada una de estas requiere la utilización de maquinaria en específico. Ante esto se destaca la energía eléctrica generada a través de paneles fotovoltaicos los cuales, por medio de celdas constituidas usualmente por silicio mezclado con otros materiales como el fósforo, permiten la separación de carga positiva y negativa en el panel, con una liberación energética que puede ser aprovechada.

Esto permite que se pueda diferenciar entre la energía lumínica y eléctrica, donde está última puede ser capturada inicialmente en forma de corriente continua. Posteriormente, esta corriente puede ser transformada mediante un inversor, convirtiéndola en corriente altera (Figura

9), la cual puede ser usada para su consumo, ya sea en ámbitos industriales o en los hogares (Iberdrola , 2023).

Figura 9: Representación de sistema generación fotovoltaica.



Fuente: (Alternative Energy, 2025)

Se debe tener en consideración el principal recurso de esta fuente, correspondiente a la radiación solar, cuya disponibilidad es el principal factor que define la eficiencia del sistema, requiriéndose evaluar las condiciones ambientales en el lugar si se desea una generación consistente.

Un segundo factor preliminar que afecta el uso de estas tecnologías es el espacio, ya sea refiriéndose a la ubicación de la planta desalinizadora o paneles fotovoltaicos. Esto hace principal referencia al efecto que puede tener el uso de cañerías para el transporte de agua en la desalinización, y en el caso de generación eléctrica, la utilización de los paneles en una gran área, en conjunto a los medios de transmisión de energía, que pueden tener un efecto ambiental considerable.

4.5. Situación Hídrica en Regiones del Centro-Sur de Chile.

Ante la mayor crisis hídrica que ha enfrentado Chile en los últimos 50 años, una de las principales zonas que se ha visto afectada es la zona centro sur, generando considerables consecuencias en las actividades de agricultura y ganadería, remarcando aún más el problema existente por el cambio climático y especialmente la mala gestión de los recursos hídricos (Paul, 2019). Esta crisis se ha generado por la escasa disponibilidad hídrica debido a la falta de precipitaciones en las zonas, con una disminución que va desde el 25-100 % de reducción en las zonas del centro sur y sur, lo cual implica una disminución constante del agua disponible en los medios de obtención común, como lo son los embalses, ríos y aguas subterráneas, que en el estado actual de las políticas hídricas, se verán constantemente reducidas agravando la crisis existente (Dirección Meteorológica de Chile, 2023).

Ante este problema, se busca analizar las zonas que tienen un mayor requerimiento, a la vez que permiten la integración de la desalinización como medio de obtención secundario del recurso hídrico. Con esto se busca evidenciar si es óptimo utilizar esta tecnología en zonas donde las fuentes hídricas se encuentran sobreexplotadas y que cada vez se reducen en disponibilidad, buscando disminuir la carga sobre estas.

Por esto, se plantea como ubicación principal ciertas zonas del centro sur, caracterizadas por su escasez. Pese a que se estima que la disponibilidad solar no tiene el mismo nivel que el norte del país, existen proyectos que evidencian que aún es adecuada para este tipo de generación, pero se debe elegir la ubicación óptima para esto.

4.6. Disponibilidad de Energías

Un elemento que caracteriza a las plantas desalinizadoras por osmosis inversa es su alto requerimiento energético, lo cual limita la capacidad de agua que la planta puede entregar. A su vez, la fuente del recurso energético es un elemento que resulta de suma relevancia para esta

industria, ya que el origen del recurso podría tener un impacto ambiental aún mayor que el beneficio buscado por el proceso de desalinización, que no solo tiene el objetivo de entregar agua para su uso, teniendo también un bajo nivel de contaminación, que no puede ser logrado si se utilizan combustibles fósiles, que son mayoritariamente utilizados para la generación eléctrica (Naciones Unidas, 2023).

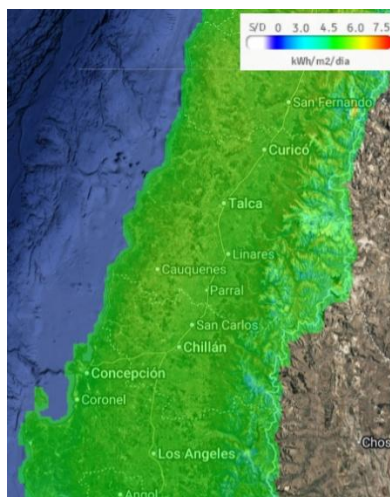
Ante esto, se plantea el uso de un recurso ampliamente utilizado, especialmente en el norte del país, encontrándose siempre disponible en cierta medida, en referencia a la radiación solar. Evidentemente, este recurso se encuentra sujeto a las condiciones climáticas de la zona, presentándose variaciones estacionales que reducen o aumentan su disponibilidad. Se debe elegir la zona que presenta las mejores características generales, que permitan optimizar la generación energética requerida.

4.6.1. Disponibilidad de Energía Solar

La energía solar captada por los paneles fotovoltaicos, permiten obtener energía eléctrica a partir de la radiación solar incidente. La capacidad de producción se encuentra principalmente limitada por el tiempo e intensidad de radiación que se recibe, lo cual tiene estrecha relación con la posición relativa del Sol en los distintos meses del año. Esta radiación no es constante en el día, acrecentándose desde el amanecer hasta el mediodía, donde comienza a reducirse la intensidad incidente en el lugar.

Existen una serie de fuentes donde se indica la radiación solar estimada en las distintas ubicaciones del país, destacándose en este caso el explorador solar del ministerio de energía (Ministerio de Energía, 2025). Evidentemente, se deben considerar aspectos generales como el clima y las variaciones estacionales que afectan el tiempo e intensidad con que se percibe la luz solar, pero esta suele tener un comportamiento estimable (Figura 10).

Figura 10: Intensidad de la radiación solar existente en diferentes zonas, entregada por explorador solar.



Fuente: (Ministerio de Energía, 2025).

Dado que el Sol se encuentra en movimiento durante el día y que estacionalmente cambia su ubicación, se debe contemplar el uso de paneles fotovoltaicos que puedan ser ajustados de forma automática o manual, para captar la mayor intensidad de radiación posible, logrando la máxima eficiencia en la obtención de energía por este medio. Debido a que en Chile las estaciones se encuentran altamente diferenciadas, se presentan distintos periodos de luz diarios, teniéndose en la zona geográfica del estudio aproximadamente 10 horas en luz en invierno, llegando hasta las 15 horas en verano. Sumado a esto, se observa un comportamiento similar respecto a la intensidad lumínica que incide en el territorio, el cual tiende a aumentar en los meses cálidos y disminuir en los fríos, teniendo efectos considerables en la energía que puede ser generada.

Además de considerar temas como uso de espacio y disponibilidad de radiación, se presentan una serie de limitantes para la instalación de paneles fotovoltaicos, entre las que destacan las limitaciones legales tanto en términos de instalación como estudios para su conexión a la red.

4.7. Limitaciones Legales

Dado que los proyectos de plantas desalinizadoras tienen un impacto ambiental, ya sea por la extracción de recursos, desechos o uso de espacios naturales, se debe tener en consideración la regulación gubernamental aplicable para el caso. Históricamente en Chile, se ha tenido foco en regular lo relacionado con el uso de la desalinización principalmente en el ámbito minero, pero progresivamente se ha ido ampliando el alcance de las leyes hasta un ámbito más poblacional, incluyéndose su utilización para temas de consumo y agricultura a lo largo del país (Urtubia, 2017). Esto determina la posibilidad de llevar a cabo el proyecto y, a su vez, la capacidad que se tendrá en la producción, la cual se encuentra sujeta a las libertades que se tengan para la operación.

Ante esto, se debe tener evaluar las limitaciones que aplican para las plantas desalinizadoras, tanto para la obtención de agua (salada), desecho y la posterior utilización del agua, en conjunto a las fuentes de generación eléctrica que se ven involucradas en el proceso.

4.7.1. Condiciones para Extracción de Agua de Mar

Dado que el proceso de desalinización requiere agua salinizada para su posterior tratamiento, se consideran elementos que limitan la extracción de este recurso proveniente del mar. Esto no se encuentra completamente regido en Chile, evidenciándose una serie de vacíos legales al momento de analizar las leyes que comprenden la extracción de agua del mar, existiendo una serie de artículos (leyes, códigos y decretos) que hacen referencia a este tema, los cuales definen los recursos naturales como un bien de uso público, además de limitar las zonas de extracción según los permisos otorgados por la localidad donde se implemente el proyecto (Urtubia, 2017).

Esto genera que se deba evaluar inicialmente la viabilidad del proyecto, dependiendo de la disponibilidad de permisos, especialmente en lo referente a concesiones por parte de las autoridades y limitaciones existentes según el marco legal aplicable para el caso.

Se debe tener en consideración las leyes, normativas y concesiones que deban ser otorgadas por las entidades gubernamentales pertinentes, en referencia a la Dirección General de Aguas (DGA), Armada de Chile y el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile (SEA) (Ministerio de Ciencia & Comité, 2022), además de otras organizaciones que pueden diferir según la ubicación geográfica que corresponda, refiriéndose al gobierno regional o municipios. Los principales elementos legales relevantes en el caso son:

- **Ley 21.435 (Código de Aguas):** Establece “agua como bien nacional de uso público”, considerando el uso del agua de mar según el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas. A su vez, entrega atribuciones al DGA en lo que respecta a términos de fiscalización del uso del agua y sanciones en caso de incumplimiento de las limitaciones establecidas por la ley (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).
- **Ley 19.300:** Establece la obligatoriedad de inscripción en el SEA, cuando se presenten proyectos de extracción de agua de mar o desalinización, dependiendo del caudal de captación utilizado. El SEIA (evaluación del SEA), establece limitaciones en lo que respecta al impacto ambiental generado por las actividades en la zona marítima involucrada (Biblioteca de Congreso Nacional de Chile, 1994).
- **D.F.L. 340:** Establece la autorización necesaria para el uso de borde costero o mar territorial, en donde se comprende que afectarían las tareas de captación de agua de mar o vertido de desechos, mediante maquinaria destinada a este fin (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1960).

Las limitaciones existentes en términos legales para la captación, aún no se encuentran completamente desarrolladas, dependiendo en gran medida del caudal requerido según el tipo de

planta a implementar. A pesar de esto, se ha regulado el resultante de la desalinización, en referencia a la salmuera o agua con alta concentración de sales que usualmente es vertida al mar.

4.7.2. Condiciones para Desecho de Salmuera

Existen una serie de normativas que pueden ser consideradas para el desecho de salmuera proveniente de la desalinización, donde se especifican las condiciones que esta debe tener para ser desechada y las cantidades que son admitidas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023). Lo anterior priorizando una reducción en los efectos ambientales que esto puede tener en los ecosistemas, especialmente en lo referido a los vertidos al mar.

Las entidades que se encuentran relacionadas con los desechos de esta índole corresponden al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de la Armada de Chile (Directemar), Dirección General de Aguas (DGA), entre otros organismos principalmente ministeriales. Las leyes, normativas y reglamentos más relevantes para el estudio corresponden a:

- **D.F.L. N°2.222:** Correspondiente a la Ley de Navegación, establece el marco legal para la navegación en zonas costeras territoriales, con el objetivo de que no se presenten riesgos para las embarcaciones, definiendo su aprobación bajo lo determinado por Directemar según las regulaciones establecidas en ese momento (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1978).
- **D.S. N°1:** En referencia al Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática, el cual establece normas sanitarias para el control de contaminantes de aguas oceánicas o subterráneas (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1992).

- **D.S. N°430:** Concentra leyes implicadas en lo referente a pesca y acuicultura, considerando elementos a regir en el manejo de desechos (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1992).
- **D.S N°90:** Establece la norma sobre emisiones de residuos descargados en fuentes marinas y continentales superficiales, estableciendo límites en las componentes presentes en estas (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2001).

Sin perjuicio de lo anterior, existen otras leyes o normas relevantes en el contexto del desecho de residuos de esta índole, pero se encuentran principalmente regidos por los reglamentos territoriales particulares de la zona en cuestión, teniéndose que evaluar cada caso para obtener los permisos de los organismos evaluadores implicados.

Además de considerar la utilización de los océanos como fuente de agua de mar y usualmente para el vertido de desechos, se debe evaluar el elemento restrictivo general para las plantas de desalinización, correspondiente a la utilización de energía para los procesos.

4.7.3. Limitantes en Generación de Energía: Paneles fotovoltaicos

Pese a que en forma general la generación solar no tiene un impacto ambiental considerable, se presentan una serie de normativas que se deben cumplir tanto para la instalación de los paneles fotovoltaicos, como para la conexión al sistema. Se prioriza principalmente que el sistema de generación se encuentre bajo un reglamento y revisión de seguridad, priorizando que no existan riesgos significativos de fallas, ya sea para el usuario o efectos dañinos en la red que se encuentre conectada.

Las entidades que se encuentran involucradas corresponden a Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), Comisión Nacional de Energía (CNE), Ministerio de Energía

y Distribuidores Eléctricos (según zona). Los principales elementos legales que son aplicables para la utilización de paneles fotovoltaicos son:

- **D.S. N°08:** Se establece las normas de seguridad y condiciones técnicas básicas que se deben cumplir en instalaciones eléctricas para consumo residencial, comercial e industrial. Incluye ciertos elementos implicados en la conexión interna con paneles fotovoltaicos de autoconsumo y puede ser ampliado en caso de tener conexión a la red eléctrica. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019).
- **NCh Elec N°4:** Norma técnica exigida para la aprobación del SEC, donde se especifican las condiciones de seguridad que debe tener la instalación, tanto en la fase de diseño, construcción y mantenimiento, centrado en redes de baja tensión (Superintendencia de Electricidad y Combustible, 2003).

En complemento a lo anterior, las leyes y normas más relevantes al momento de considerar la conexión a la red de distribución eléctrica son las siguientes:

- **Ley 21.118:** Reconocida como ley de Generación Distribuida o Net Billing, la cual establece la posibilidad de venta de excedentes de generación renovable hasta los 300 kW. Se considera el pago de una tarifa eléctrica, la cual será reducida en el consumo de la residencia o industria que haya contribuido (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2018).
- **NTCO:** Correspondiente a la Norma Técnica de Conexión y Operación, la cual especifica los requisitos de instalación y operación que deben cumplir los sistemas de generación que se encuentren conectados a la red de distribución eléctrica (Comisión Nacional de Energía, 2024).

Existen otros elementos legales, especialmente decretos, que tienen relación con la generación por paneles fotovoltaicos, pero son utilizados para complementar leyes como la mencionada ley 20.571. Adicionalmente, pueden existir otras condiciones según la ubicación del proyecto, pero tienden a depender de la cercanía con lugares naturales protegidos, teniéndose que evaluar el lugar geográfico en específico.

Una vez considerados los elementos para el proceso de desalinización, en términos de insumo, desecho y energía, se debe mencionar cuáles son las condiciones que debe tener el producto resultante de la actividad, en referencia al agua desalinizada.

4.7.4. Marco Legal para el Estado del Agua Desalinizada

Las normas definidas para la calidad del agua en Chile se encuentran divididas según el tipo de consumidor, separando estas en las destinadas a uso agrícola o consumo humano. En estas se especifican detalladamente cuáles son las condiciones en términos de minerales, pH, presencia de contaminantes y bacterias, entre otros elementos específicos que pueden ser perjudiciales en su uso (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2022). Algunas de las más relevantes corresponden a:

- **NCh N°409:** Establece los requisitos de calidad del agua potable que debe tener el agua para consumo humano en el territorio nacional (Instituto Nacional de Normalización, 2006).
- **NCh N°1.333:** Establece los criterios según la finalidad específica del consumo, ya sea humano, animal, vida acuática, riego o recreación, definiendo aspectos químicos y físicos (Instituto Nacional de Normalización, 1987).

- **D.F.L. N°382:** Establece el marco legal en lo referente a la explotación y distribución de agua potable, además de reconocer la fiscalización de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2014).

Sin perjuicio de lo anterior, en caso de que el agua resultante tenga como objetivo otros fines tales como industriales, comerciales privados, entre otros, se tendrá que evaluar estándares aplicables según sea el caso.

Además de la mención de los elementos legales que tienen efecto en el proceso productivo, se debe reconocer un elemento básico a definir al momento de implementar la planta desalinizadora según su ubicación, haciendo referencia a las limitaciones sociales y territoriales existentes en la zona en cuestión.

4.7.5. Limitaciones Sociales y Territoriales

Un elemento que se debe tener en consideración al construir una planta de desalinización, son las restricciones territoriales que puedan existir en la ubicación. Esto hace referencia principalmente a leyes de protección natural, indígena y a su vez los planes urbanísticos comunales que limitan la actividad en ciertas zonas (Zuñiga Oyanadel, 2017). Esto dependerá exclusivamente de la designación geográfica seleccionada y se deberá evaluar de forma particular si aplica alguna condición específica.

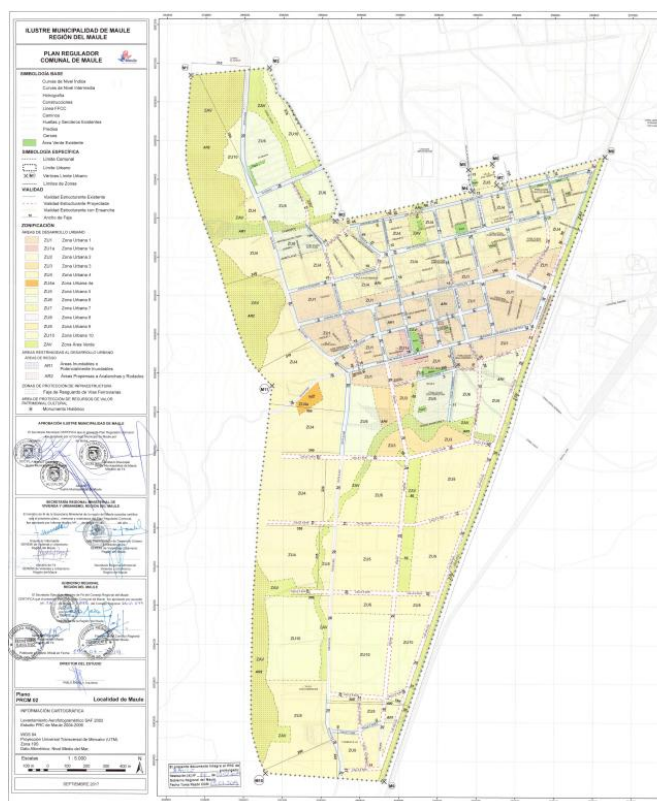
Las principales leyes que pueden tener incidencia, ya sea por protección natural o de zonas indígenas, corresponden a:

- **Ley 18.892:** A pesar de encontrarse refundida en el Decreto N°430, se mantiene el reconocimiento de la actividad pesquera artesanal, requiriéndose la aprobación de la población relacionada en la pesca en la zona comprendida (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1989)

- **Ley 20.249:** La cual define el espacio costero marino de los pueblos originarios, protegiendo su uso y entregando autoridad a las comunidades pertinentes (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2008).
- **Ley 19.253:** Con relación a la protección de los derechos de los pueblos originarios, lo cual vincula la protección de su espacio histórico (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1993).

Además, utilizando como ejemplo la región del Maule, existe un plan regulador específico para cada una de las regiones (Figura 11), el cual posteriormente puede ser detallado según las comunas pertenecientes a la agrupación geográfica definida.

Figura 11: Plan Regulador Comunal del Maule.



Fuente: (Gobierno Regional del Maule, 2019).

En términos sociales, se debe considerar la opinión pública respecto a la construcción, especialmente por antecedentes existentes con pesqueros locales en las costas utilizadas para la captación y vertido de agua (Ñancuan y otros, 2022). A pesar de la existencia de regulaciones como la Ley 20.500 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2011) respecto a la participación ciudadana, puede existir una oposición particular en la zona que no es posible cuantificar directamente sin estudios más exhaustivos.

Una vez considerado todo el marco legal, se deben mencionar los elementos que definen las razones de evaluar la construcción de una planta de desalinización, en referencia a cómo se medirá si es rentable su construcción, ya sea en ámbitos económicos o sociales.

4.8. Relevancia de Indicadores para Evaluación

Dado que el estudio se encuentra analizando la viabilidad de implementación de un proyecto de una planta desalinizadora, se debe evaluar el resultado esperado que puede entregar este, para lo cual se deben utilizar indicadores objetivos.

Este enfoque puede ser realizado desde dos perspectivas, correspondiente a la económica centrada principalmente en el retorno sobre la inversión y, por otro lado, los centrados en el beneficio social, los cuales miden el beneficio de aumentar la disponibilidad de un recurso básico y de derecho para los ciudadanos como lo es el agua.

4.8.1. Indicadores de Rentabilidad Económica

Los indicadores económicos permiten evaluar la viabilidad y rentabilidad económica que se obtiene desde un proyecto con a base a la inversión inicial realizada y los retornos provenientes de la operación. Mediante estos, se puede determinar si es conveniente la realización del proyecto, determinado si los indicadores se encuentran en valores adecuados y/o si las exigencias propias de

los inversionistas son cubiertas de forma satisfactoria (Villegas, 2024). Algunos de los indicadores clave corresponden a:

- **Valor Actual Neto (VAN):** Utilizado para estimar la rentabilidad de un proyecto, utilizando los costos y beneficios actualizados a valor presente, mediante una tasa de descuento que sea acorde a las exigencias de los inversionistas.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Correspondiente a la tasa de descuento que genera que el valor de los ingresos o pérdidas esperadas, actualizadas a valor presente se iguale a los costos de inversión. En términos simples, es la tasa que al ser utilizada en el VAN este resulta con valor 0.

Sin perjuicio de lo anterior, en caso de requerirse mayor detalle respecto a la rentabilidad se pueden utilizar indicadores más específicos como lo son análisis de sensibilidad, análisis de riesgo probabilístico (Monte Carlo) u otros similares, pero dependerá de la etapa del proyecto que se esté evaluando y profundidad del análisis que se realice.

Una vez mencionado los indicadores estándar en los proyectos de inversión, se deben reconocer aquellos que no tienen un enfoque centrado en lo económico, siendo casi en su totalidad de inversión pública, priorizando el beneficio a la población o al estado, utilizándose indicadores propios para esto.

4.8.2. Indicadores de Beneficio Social

A pesar de que es usual decir que un proyecto es únicamente rentable cuando se obtiene un retorno para el inversionista, se debe considerar que un proyecto puede implicar un retorno económico negativo y aun así ser factible para su implementación, ya que puede ser finalmente rentable ante la comunidad que se esté viendo beneficiada por este (Instituto profesional IAAC,

2015). Para esto, es relevante el interés de fuentes de financiamiento público, que pueden disponer de recursos sin centrarse exclusivamente en los resultados económicos.

Este es el caso de las desalinizadoras que se encuentran destinadas para la entrega de agua a la población, el cual al ser un recurso básico y a su vez no encontrarse disponible por el problema hídrico existente, puede ser valorizado de una forma distinta al ámbito económico requiriéndose el uso de indicadores especializados en esta índole (Gentile & López, 2024).

Para esto existen ciertos valores para los indicadores, siendo entregados por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, los cuales dependerán de la finalidad del proyecto para establecer las exigencias para estos. El indicador más útil para proyectos públicos corresponde a la Tasa Social de Descuento con un valor definido del 5,5% (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2024), el cual tiene estrecha relación con la TIR social obtenida. Otros indicadores que pueden resultar relevantes según el Ministerio corresponden el Valor Actual de Costos (VAC) y Costo Anual Equivalente (CAE), según las necesidades que tenga el estudio para su implementación.

En adición a lo anterior, si el proyecto es de inversión exclusivamente pública, se pueden considerar los mismos indicadores económicos mencionados, pero serán definidos como “sociales” y sus valores esperados dependerán del beneficio entregado por este.

5. Metodología

5.1. Identificación de Ubicación del Estudio

El enfoque del estudio se encuentra destinado para sectores de la macrozona Centro-Sur de Chile, lo cual comprende las regiones del O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío. Los análisis para la elección pueden ser clasificados como principal y secundarios, difiriendo en la relevancia que se consideró para estos al momento de definir la ubicación particular para el estudio.

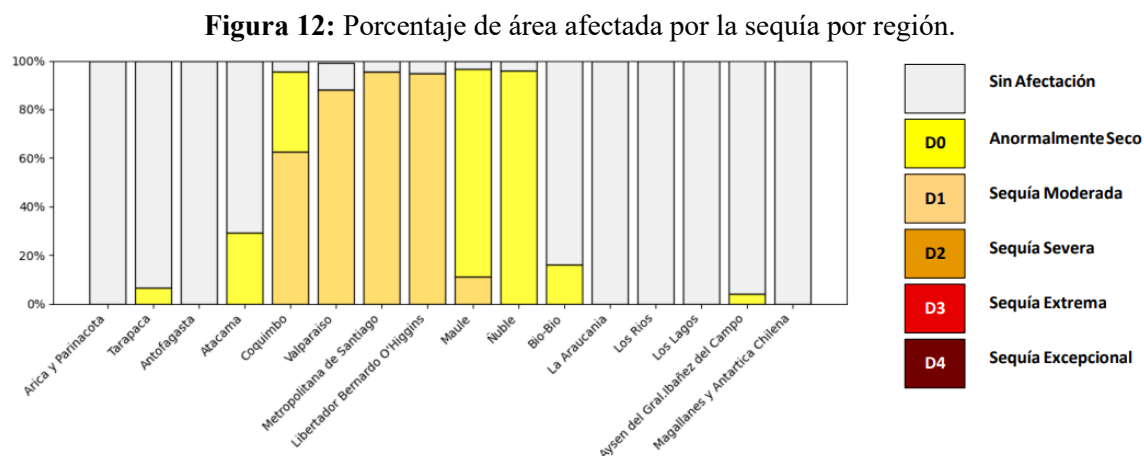
El elemento principal del estudio se centra en analizar la factibilidad de implementación en zonas que se evidencie mayor escasez hídrica, ya sea en términos históricos, o que en un futuro se verán afectados en mayor medida por esta situación. Esto considera especialmente a sectores en donde se haya identificado un impacto a las personas, ya sea en su forma de vida (racionamiento hídrico) o en las actividades que desempeñen, especialmente en el ámbito de la agricultura que suele ser de mayor requerimiento de agua por su abundancia geográfica.

En cuanto a elementos secundarios, se considera la disponibilidad existente en la zona, en referencia a capacidad de instalación de generadores de energía (solar), capacidad legal para instalar evitando zonas protegidas o tierras indígenas, y acceso a la costa para temas de captación de agua de mar y vertido de desechos. Estos elementos, a pesar de ser relevantes, pueden ser modificados al haber sido definida la localidad específica para la evaluación, pudiéndose mover el proyecto a la zona más factible dentro de esta misma, buscando la mejor opción tanto en términos legales como económicos.

5.1.1. *Antecedentes Hídricos*

El elemento principal que refleja la situación hídrica en las zonas corresponde a la sequía, identificada por una reducción en las fuentes de agua, generado usualmente por bajas precipitaciones en el territorio, que afecta en primera instancia el agua superficial y en el largo

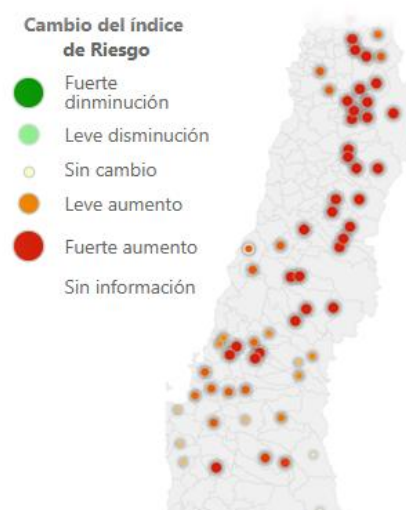
plazo las aguas subterráneas. Para medir esto, existe una serie de informes y mapas elaborados por entidades especializadas generalmente relacionadas con el gobierno, que se encargan de medir progresivamente la situación en el territorio nacional.



Fuente: (Dirección Meteorológica de Chile, 2025)

El Boletín de Sequía correspondiente a mayo del 2025 (Figura 12), elaborado por la Dirección Meteorológica de Chile, permite clasificar la macrozona Centro – Sur como una de las más afectadas por la sequía. Se recalca el caso de la región de O'Higgins, donde se presenta un nivel de sequía moderada en el 95% de su territorio, en conjunto a las regiones Metropolitana y Valparaíso con niveles similares. Los boletines de sequía son presentados de forma mensual, variando el impacto existente en cada región, pero con un comportamiento recurrente, agudizándose los problemas de escasez especialmente en los meses de verano.

Figura 13: Mapa de riesgo de cambio futuro de sequía por comunas.

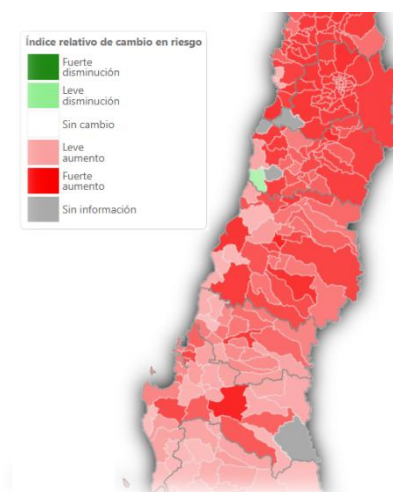


Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2020).

Mediante el uso de mapas predictivos (Figura 13), se puede identificar el comportamiento futuro esperado de la sequía en las distintas comunas de las regiones analizadas. Se observa que el mayor riesgo se encuentra en ciertas zonas territoriales al interior, con tendencia a encontrarse en la zona centro del país.

En general, Chile ha enfrentado graves problemas de sequía en el pasado, presentándose periodos de alrededor de una década con bajas precipitaciones, especialmente en lo que corresponde a la zona centro y norte. El último gran periodo fue denominado como “mega sequía”, la cual fue registrado a partir del 2010, llegando una situación crítica entre los años 2019-2022, generado que en múltiples comunas se implementaran racionamientos hídricos, afectado tanto a la población como a la actividad económica, generando pérdidas especialmente a los agricultores de las zonas afectadas. La situación ha comenzado a regularizarse luego de este periodo, pero se estima que es altamente probable que en un futuro vuelvan a ocurrir casos similares, por lo que se deben buscar soluciones previas a esto, ya sea con medidas de gestión hídrica y lo que compete en este caso que es la desalinización.

Figura 14: Mapa de riesgo de cambio futuro de la seguridad hídrica domestica urbana por comunas.



Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2020).

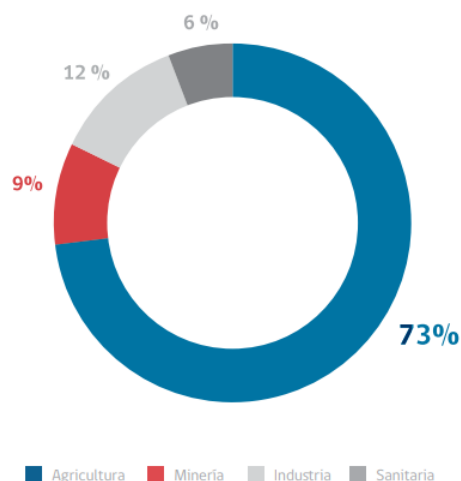
Utilizando un mapa predictivo centrado en el riesgo hídrico futuro que afecta a la población urbana (Figura 14), se observa cuáles son las comunas que tendrán más problemas para sus habitantes en este aspecto. Dado el foco del estudio, se recalca el norte de la región de O'Higgins, la cual además de presentar un mayor riesgo para su población en un futuro, se encuentra colindante a otras zonas del centro con problemas como las regiones de Valparaíso y Metropolitana, correspondientes a las regiones más densamente pobladas del país, siendo por consecuencia las que más utilización tienen en el consumo humano.

Sin perjuicio de lo anterior, existen otros mapas que reflejan la situación de la sequía en Chile, como lo son el Monitor de Sequías de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, y el Observatorio de Sequía para la Agricultura y la Biodiversidad de Chile (ODES). Independientemente de la fuente utilizada, se observa un comportamiento generalizado de la sequía existente y como es esperable que en un futuro la situación observada en otras crisis hídricas vuelva a ocurrir, incluso afectando en mayor medida a zonas del sur que no solían ser tan perjudicadas.

5.1.2. Situación Hídrica Región de O'Higgins

Una de las principales críticas que ha recibido la región de O'Higgins respecto a la situación hídrica, ha sido los fines con que se utiliza el agua en la zona. Se han registrado múltiples situaciones de escasez hídrica que han afectado el consumo humano y las actividades agrícolas.

Figura 15: Distribución de los usos consuntivos del agua en Chile.



Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2013).

Se estima que el comportamiento del agua en Chile se ha mantenido con variaciones mínimas, en donde se destaca el caso de O'Higgins la cual ha sido caracterizada por ser una región centrada en la agricultura (Figura 15), llegando a tener más de un 90% de su uso de agua destinado a la agricultura (Ministerio de Agricultura, 2023).

Disponer tanto porcentaje de agua a agricultura, y a la vez en otras actividades industriales (incluidas ganaderas), genera que el porcentaje utilizado para consumo humano sea sumamente reducido. Esto ha sido una problemática en los distintos periodos de sequía extrema, donde se ha criticado la necesidad de racionamiento de la población cuando gran parte del agua mantiene su finalidad de riego para la agricultura.

5.1.2.1. Medidas Aplicadas

El 2020, bajo el contexto de una escasez hídrica crítica, se aplicaron una serie de medidas para sopesar la situación, entre las que se destaca la elaboración del Plan Regional de Recursos Hídricos 2020 – 2029 (Secretaría Regional Ministerial de Agricultura, 2020), el cual aún se encuentra en implementación. En esta, se detallan propuestas de gestión del agua, proyección de nuevos embalses y recarga artificial de acuíferos, destacándose este último por reflejar la situación del agua acumulada de forma subterránea. Los acuíferos de la región se encuentran suministrados por los principales ríos de la región, los cuales en el periodo se habían visto considerablemente afectados reduciendo sus caudales alrededor de un 72%, afectando con el tiempo a las reservas subterráneas tanto por su excesiva extracción como reducción de recarga natural.

A pesar de las medidas utilizadas por el gobierno para regular el agua superficial y aumentar la disponibilidad existente en los acuíferos, la situación no parece solucionada en su totalidad. Así lo reflejan una serie de restricciones que ha impuesto la Dirección General de Aguas (DGA) en julio del 2024, prohibiéndose la exploración de aguas en múltiples sectores hidrológicos como lo son Polcura, Caleta Matanza, Quebrada Honda, Estero Topocalma y otras 13 fuentes de agua subterránea (Ministerio de Obras Públicas, 2025).

En términos económicos, se ha generado una amenaza futura para los agricultores, los cuales, en caso de verse afectados por la sequía, no podrían realizar nuevas exploraciones para la obtención de agua, dependiendo en gran medida de las medidas implementadas por el gobierno regional. Además, restringir el acceso de una de las fuentes más abundantes geográficamente, como lo son los acuíferos, limita la incorporación de nuevos agricultores, afectando negativamente el crecimiento económico en este rubro.

5.2. Propuesta del Proyecto

Actualmente en Chile los proyectos de desalinización se encuentran destinados a abastecer a comunidades sin acceso hídrico o con fines industriales, especialmente en zonas mineras. Debido a esto, se propone explorar el uso de esta tecnología para uno de los rubros de mayor consumo hídrico en referencia a la agricultura, especialmente en una de las zonas con mayor espacio destinado a esta actividad, como lo es la región de O'Higgins.

Existe amplia literatura que refleja el uso del suelo en la región, como lo son los censos agrarios y castros frutícolas, los cuales indican los cultivos predominantes en la región. A pesar de esto, por motivos de confidencialidad, los agricultores suelen no hacer públicos la cantidad de suelo (medido en hectáreas), que utilizan para sus actividades, siendo complejo para entidades no gubernamentales obtener datos.

Ante esto, se plantea utilizar como referencia una empresa que ha publicado sus dimensiones de cultivo, la cual se ubica en la comuna de La Estrella colindando con la comuna de Litueche, bajo el nombre de Agrícola Pobeña S.A. Esta es una empresa mediana especializada en el cultivo de olivos en 9 variedades, los cuales posteriormente son destinados a la elaboración de aceite de oliva bajo la etiqueta de Alonso Olive Oil (Alonso Olive Oil , 2025).

Actualmente disponen de aproximadamente 400 hectáreas reconocidas para su uso continuo, priorizando el cultivo de olivos destinados a la producción de aceite y en menor medida lo referente a olivo de mesa. No se ha proporcionado información específica respecto a la cantidad de hectáreas dispuestas para cada tipo de cultivo, pero centrándose en el consumo hídrico, las especies utilizadas corresponden a variedades de consumo bajo, medio y alto. Ante esto, se estima adecuado generalizar los cultivos en la especie más común utilizada en este tipo de producción, que a la vez presenta un consumo intermedio de agua, siendo una normalización adecuada.

Pese a la elección particular de una empresa, se espera que el proyecto pueda ser considerado para abastecer a otros productores en la zona, especialmente si se vuelve a presentar periodos de alta sequía que ya han afectado a los agricultores en el pasado.

5.2.1. Caracterización de la Zona

El área de cultivo objetivo se encuentra en la comuna de La Estrella en la región de O Higgins, a aproximadamente 27 km desde la costa (Figura 16). Adicionalmente, en dirección noreste a aproximadamente 4,5 km en línea recta, se encuentra el mayor asentamiento urbano de la comuna, correspondiente a la ciudad de la Estrella.

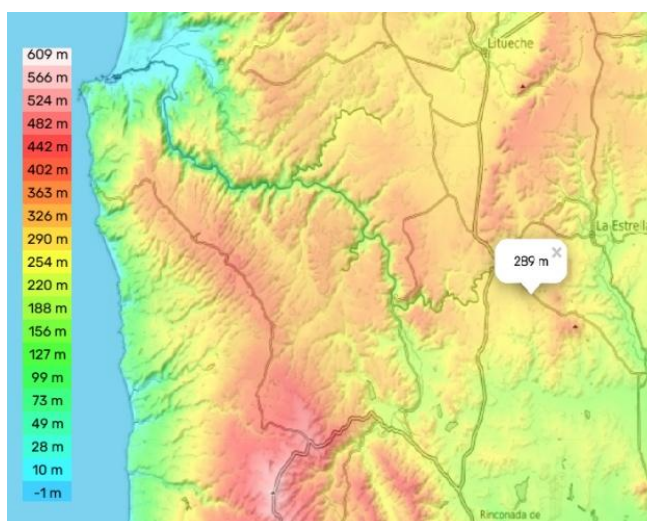
Figura 16: Zona geográfica del proyecto.



Figura: (Google, 2025)

La principal particularidad geográfica en la zona es la presencia de la cordillera de la costa, que es considerable para el traslado de agua desde la costa hasta el lugar objetivo. El predio agrícola se encuentra en una zona que ronda la altura de los 290 m sobre el nivel del mar.

Figura 17: Mapa topográfico.



Fuente: (topographic-map.com, 2025)

La altura de la cordillera en la zona es variable, llegando hasta los 400 m en la zona central, aumentando este límite en dirección al sur, llegando hasta aproximadamente los 600 m (Figura 17). A pesar de esto, se observan múltiples caminos rurales (no urbanizados), que permiten el tránsito de vehículos por la zona cordillerana. Esto permite identificar caminos sin presencia de quebradas considerables, indicando la posibilidad de establecer una ruta óptima de cañerías que conecten la zona costera y territorial interna.

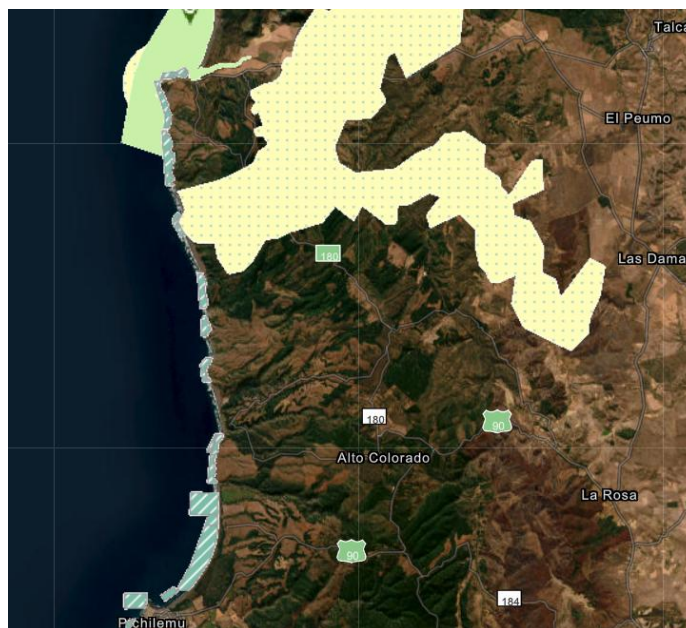
No se registran asentamientos urbanos o rurales significativos en dirección a la costa, lo cual representa óptimo para identificar lugares para la instalación de la planta. Igualmente, al realizarse la exploración de zonas factible, se prioriza mantener una distancia adecuada (al menos 1 km) de cualquier vivienda que pueda ser reconocida por este medio.

5.2.2. Restricciones Urbanísticas y Ambientales

Por razones de acceso a recursos y disminución de costos de traslado de agua, el proyecto debe ubicarse cerca de la costa, al sector oeste de la cordillera. La principal institución que se encarga de evaluar proyectos con impacto ambiental es el Servicio de Evaluación Ambiental

(SEA), el cual dispone del mapa de Análisis Territorial para Evaluación (Figura 18), en donde se recopilan zonas protegidas, ya sea de carácter natural, histórico o indígena.

Figura 18: Análisis territorial para evaluación.



Fuente: (SEA, 2025).

Se reconocen tres elementos relevantes para el caso, siendo estas las zonas naturales de interés, correspondientes a:

- Santuario de la naturaleza Piedra del Viento Topocalma (color verde claro): Correspondiente a una zona natural que se encuentra protegida bajo el Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, siendo considerada una zona de alto interés en términos de biodiversidad (Consejo Nacional de Monumentos, 2021).
- Sitio Prioritario, Estrategia Regional de Biodiversidad (color amarillo): Zona caracterizada por su representatividad ecosistémica y presencia de especies amenazadas, regulándose las actividades humanas.
- Zona de Recursos Bentónicos (color verde oscuro): Correspondiente a zonas costeras con alta presencia de organismos marinos adheridos a la superficie, las cuales se

encuentran destinadas para el uso prioritario de pescadores artesanales locales en la zona.

A pesar de las zonas prioritarias para pescadores locales, no se detecta la presencia de caletas de pescadores o pueblos costeros, interpretándose que el uso es mayoritariamente deportivo. En términos de pueblos originarios, no se observa la presencia de zonas protegidas o poblaciones de esta índole, no teniendo incidencia preliminarmente en el estudio.

En términos urbanísticos, el elemento que define las actividades que se pueden realizar en una comuna es el plan regulador. Para la zona observada, se consideran relevantes dos comunas, correspondiendo a Litueche en la zona norte y Pichilemu en el centro sur (Figura 19).

Figura 19: Comunas de interés, región de O'Higgins.



Fuente: (Rulamahue, 2025)

Pese a ser parte de las comunas mencionadas, la zona no se encuentra considerada en ninguno de los planes reguladores. El terreno visualizado es considerado rural, por lo que no se tiene contemplado ampliar la zona urbana en el corto plazo, permitiendo que las actividades industriales puedan ser realizadas con relativa libertad, a menos que sea promulgada una prohibición particular por parte de la municipalidad correspondiente.

5.2.3. Disponibilidad de Energía

Para evitar el uso de energía de la red eléctrica externa y el impacto ambiental que se suele atribuir a las plantas desalinizadoras respecto al uso de energía, se considera óptimo utilizar como fuente exclusiva para la operación de la planta la energía solar fotovoltaica. Para esto se deben tener en consideración las características propias de la zona, lo cual definirá la capacidad de generación disponible a ser utilizada.

La herramienta utilizada para medir la radiación solar, que posteriormente puede ser utilizada por los paneles fotovoltaicos, corresponde al Explorador Solar entregado por el Ministerio de Energía (Figura 20).

Figura 20: Intensidad solar promedio diaria, según explorador solar.



Fuente: (Ministerio de Energía, 2025).

No se logran observar puntos particulares de interés, presentándose intensidades de radiación global entre los $5,0 - 5,4 \frac{kWh}{m^2 \cdot dia}$, siendo valores relativamente bajos, pero aceptables

para la implementación de paneles fotovoltaicos. Se debe hacer mención, que en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto se presenta la menor intensidad promedio con valores entre los $2,2 - 3,0 \frac{kWh}{m^2 \cdot día}$, caso contrario en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero donde se alcanzan los valores más altos entre $8,1 - 8,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot día}$.

5.2.4. *Requerimiento Hídrico*

Para el caso del estudio, se consideran 400 hectáreas destinadas exclusivamente para el cultivo de olivo. Se desconoce específicamente la especie de olivo y la cantidad de cultivos por hectárea que utiliza la empresa seleccionada, por lo que se considerarán valores estándar para el caso. Las especificaciones mencionadas corresponden a:

- Especie Olivo: **Arbequina española**. Especie más utilizada a nivel nacional, correspondiendo cerca del 60% de los cultivos (ViLab, 2025).
- Forma de cultivo: **Intensivo, utilización de $500 \frac{olivo}{hectárea}$, marco de $20 m^2$** . Forma utilizada para producción industrial media, priorizando un uso equilibrado del suelo.
- Forma de riego: **Goteo**. Más utilizada por su rendimiento y la sostenibilidad buscada por empresas agricultoras en Chile. Mediante el censo frutícola 2024 en la región de O'Higgins se registra un 82,5% de uso, siendo prácticamente un 100% para el cultivo de olivos
- Periodo de crecimiento: **Adulto, completamente desarrollado**. La empresa tiene más de 9 años de operación, siendo el tiempo estándar de crecimiento del olivo.

Se utilizará como referente el Manual de Manejo de Huerto de Olivo, el cual se encuentra disponible en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Quiroz & Gonzáles, 2017). El elemento de interés para el caso corresponde exclusivamente al cálculo del requerimiento hídrico diario del olivo, en donde se utilizará la siguiente fórmula (Ec.(2)):

$$NRD = \frac{(ET_o * Kc * A.U.* P.S.)}{Ef_{met}} \quad (2)$$

Donde:

- NRD: Necesidades de riego diario por árbol ($\frac{L}{\text{árbol} * \text{día}}$).
- ET_o: Evapotranspiración potencial ($\frac{mm}{\text{día}}$).
- Kc: Coeficiente de cultivo.
- A.U.: Distancia de plantación ($\frac{m^2}{\text{árbol}}$).
- P.S.: Porcentaje de sombreado.
- Ef_{met}: Eficiencia del método de riego utilizado

Los elementos de la ecuación dependen del tipo de cultivo, forma de plantación y características de la zona analizada. El manual utilizado para el olivo dispone de algunos elementos para el cálculo, los que, pese a no ser iguales para todas las especies, se pueden considerar como estándar, siendo buenos referentes para el caso en estudio.

Tabla 1: Coeficiente de cultivo del olivo según mes del año.

Meses	Coeficiente de Cultivo (Kc)
Julio	0,45
Agosto	0,45
Septiembre	0,5
Octubre	0,55
Noviembre	0,6
Diciembre	0,65
Enero	0,65
Febrero	0,6
Marzo	0,55
Abril	0,5
Mayo	0,45
Junio	0,45

Fuente: (Quiroz & Gonzáles, 2017).

Adicional a los valores usuales del coeficiente de cultivo (Tabla 1), se tiene una generalidad en la literatura que estima que el riego por goteo tiene una $E_{f_{met}}$ del 90 %, el cual puede ser mejorado con el uso de nuevas técnicas de riego.

El porcentaje de sombreadamiento (P.S.), tiene relación con la forma que poseen los árboles en el lugar que se encuentren siendo cultivados, lo cual puede ser calculado por la Ec.(3):

$$P.S. = \frac{\text{Área de la copa del arbol}}{\text{Área unitaria por arbol}} = \frac{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2}{AU} \quad (3)$$

El diámetro (D), varía según la etapa de crecimiento del olivo y la regularidad de poda que tenga establecido el agricultor, aunque se acepta como valor estándar para cultivos adultos de carácter comercial un valor de $D=3$ m. El área unitaria por árbol es especificada por la forma de cultivo del predio, en donde se consideró 500 árboles por hectárea, siendo usual para el caso que se tenga destinado un $AU=20 \text{ m}^2$. Considerando esto, el Porcentaje de Sombreamiento queda definido como Ec. (4):

$$P.S. = \frac{\pi * \left(\frac{3}{2}\right)^2}{20} = 0,3534 \sim 35,34\% \quad (4)$$

La evapotranspiración potencial (ET_o), hace referencia a las características propias que tiene la zona donde se encuentra la plantación, combinando principalmente los elementos de precipitaciones y temperatura. La información puede ser encontrada en las distintas estaciones de la Dirección General de Aeronáutica Civil, particularmente aquellas que son controladas por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Aun así, gran parte de las estaciones se encuentran desactivadas o sus mediciones son irregulares, por lo que se busca aquella que presente suficientes datos, utilizándose una considerablemente al noroeste, ubicada en El Asiento en la comuna de Alhué en la región Metropolitana (Tabla 2). Se utiliza esta estación, al ser la más

cercana con datos recurrentes, y presentar condiciones climáticas similares a las observadas en la zona evaluada en la comuna de la Estrella.

Tabla 2: Evapotranspiración diaria estación El Asiento.

Día	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	5,03	5,02	4,69	3,98	2,08	1,64	1,55	1,85	1,20	1,08	3,35	3,15
2	5,00	5,24	4,84	3,70	2,07	0,85	1,22	1,80	1,03	1,46	2,45	3,82
3	5,10	4,89	4,20	2,47	2,06	1,13	1,54	1,92	1,35	1,95	4,03	4,37
4	5,27	4,74	4,61	3,68	1,89	1,46	1,64	1,95	0,91	3,16	3,70	4,46
5	4,52	4,48	4,42	2,59	2,08	1,78	1,57	0,79	0,84	2,89	2,98	3,52
6	4,32	4,35	3,85	2,59	0,83	1,11	1,28	1,79	0,83	2,02	3,69	4,41
7	4,98	4,22	4,17	3,65	1,85	1,33	0,87	1,11	1,81	3,13	4,00	4,71
8	5,06	4,38	4,21	3,63	2,29	0,91	0,97	1,64	1,92	3,31	4,06	4,57
9	4,71	4,90	4,09	3,27	2,28	0,75	1,14	0,85	1,21	3,37	3,06	4,69
10	3,55	4,88	4,18	3,40	1,73	1,11	1,45	0,96	0,90	2,04	0,92	5,04
11	4,60	4,87	4,20	3,06	2,18	1,02	0,84	1,55	2,69	3,27	1,15	3,84
12	4,58	4,88	4,04	1,85	2,41	1,29	1,16	1,85	2,00	3,35	1,86	4,61
13	4,97	4,93	3,53	1,69	2,22	1,36	1,48	1,57	1,62	3,33	3,66	4,71
14	4,75	4,79	4,07	1,92	2,02	1,28	0,97	2,00	2,85	3,53	3,21	4,54
15	4,98	4,80	4,07	2,62	1,54	1,44	0,82	0,75	3,26	3,44	3,54	4,57
16	4,79	4,60	4,13	2,39	1,90	1,41	1,47	1,18	2,75	3,35	3,82	2,78
17	4,41	4,58	3,94	2,54	1,07	1,44	1,34	0,92	1,00	3,64	1,40	4,36
18	4,82	4,23	4,09	2,26	1,91	0,75	1,36	1,54	1,48	3,21	3,08	4,67
19	4,20	4,62	4,27	2,97	1,83	1,38	1,44	0,60	1,12	3,07	4,26	4,21
20	5,01	4,78	3,80	2,94	1,84	0,87	1,37	0,96	1,42	1,87	3,72	4,59
21	4,83	4,76	4,06	2,35	1,15	1,14	0,72	0,85	1,79	2,19	3,39	4,77
22	5,17	4,33	4,28	2,50	1,69	0,70	0,86	1,04	1,13	1,60	3,86	4,89
23	5,07	4,75	4,29	2,21	0,92	0,57	0,76	2,04	2,46	1,68	4,50	4,47
24	5,13	4,12	4,38	2,32	1,01	0,88	1,69	2,13	3,20	3,68	4,17	4,56
25	5,07	4,38	4,11	2,23	0,78	0,80	1,59	2,25	3,02	3,75	4,18	5,00
26	4,79	4,73	3,65	2,59	1,26	0,66	1,12	2,27	3,00	3,41	3,99	4,34
27	4,98	4,99	3,36	1,88	1,71	1,07	1,70	2,40	3,08	1,41	2,59	3,19
28	5,04	4,66	3,63	1,80	1,05	0,88	1,75	1,24	2,09	1,29	3,20	1,99
29	4,93		3,46	0,83	1,81	1,57	1,97	2,49	3,24	2,70	4,39	4,65
30	4,97		3,78	1,88	1,33	1,66	1,26	2,35	3,29	2,70	4,43	2,76
31	4,95		3,93		1,72		1,82	2,14		2,70		4,46

Fuente: (Dirección General de Aerunática Civil, 2023)

Se estima que el comportamiento de la evapotranspiración se mantiene relativamente constante con los años, por lo que es adecuado el uso de los datos correspondientes al año 2023. Aquellos días en que no se hayan obtenido mediciones, se utilizará el promedio mensual entregado por la página, para evitar inconsistencias por falta de mediciones.

Con los valores mencionados, se puede estimar el requerimiento hídrico de las 400 hectáreas según el día analizado, lo cual se representa en la Tabla 3 (en $\frac{m^3}{día}$):

Tabla 3: Requerimiento hídrico diario en metros cúbicos.

Dia	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	5135,72	4731,24	4051,87	3125,88	1470,27	1159,25	1095,63	1307,69	942,48	933,05	3157,30	3216,21
2	5105,09	4938,58	4181,46	2905,97	1463,20	600,83	862,37	1272,35	808,96	1261,35	2309,07	3900,29
3	5207,19	4608,72	3628,54	1939,93	1456,13	798,75	1088,56	1357,17	1060,29	1684,68	3798,19	4461,85
4	5380,76	4467,34	3982,75	2890,27	1335,96	1032,01	1159,25	1378,37	714,71	2730,04	3487,17	4553,74
5	4615,00	4222,30	3818,61	2034,18	1470,27	1258,21	1109,77	558,42	659,73	2496,78	2808,58	3593,98
6	4410,80	4099,78	3326,16	2034,18	586,69	784,61	904,78	1265,28	651,88	1745,15	3477,74	4502,69
7	5084,67	3977,26	3602,62	2866,70	1307,69	940,12	614,97	784,61	1421,57	2704,13	3769,91	4808,99
8	5166,35	4128,05	3637,18	2851,00	1618,71	643,24	685,65	1159,25	1507,96	2859,63	3826,46	4666,05
9	4808,99	4618,14	3533,51	2568,25	1611,64	530,14	805,82	600,83	950,33	2911,47	2883,98	4788,57
10	3624,61	4599,29	3611,26	2670,35	1222,86	784,61	1024,94	678,58	706,86	1762,43	867,08	5145,93
11	4696,68	4589,87	3628,54	2403,32	1540,95	721,00	593,76	1095,63	2112,72	2825,08	1083,85	3920,71
12	4676,26	4599,29	3490,31	1452,99	1703,53	911,85	819,96	1307,69	1570,80	2894,19	1753,01	4706,89
13	5074,46	4646,42	3049,70	1327,32	1569,23	961,33	1046,15	1109,77	1272,35	2876,91	3449,47	4808,99
14	4849,83	4514,47	3516,23	1507,96	1427,85	904,78	685,65	1413,72	2238,38	3049,70	3025,35	4635,42
15	5084,67	4523,89	3516,23	2057,74	1088,56	1017,88	579,62	530,14	2560,40	2971,95	3336,37	4666,05
16	4890,67	4335,40	3568,06	1877,10	1343,03	996,67	1039,08	834,09	2159,84	2894,19	3600,27	2838,43
17	4502,69	4316,55	3403,92	1994,91	756,34	1017,88	947,19	650,31	785,40	3144,73	1319,47	4451,64
18	4921,30	3986,68	3533,51	1775,00	1350,10	530,14	961,33	1088,56	1162,39	2773,24	2902,83	4768,15
19	4288,27	4354,25	3689,02	2332,63	1293,55	975,46	1017,88	424,12	879,65	2652,29	4014,96	4298,48
20	5115,30	4505,04	3282,96	2309,07	1300,62	614,97	968,40	678,58	1115,27	1615,56	3506,02	4686,47
21	4931,52	4486,19	3507,59	1845,69	812,89	805,82	508,94	600,83	1405,86	1892,02	3195,00	4870,25
22	5278,66	4080,93	3697,65	1963,50	1194,59	494,80	607,90	735,13	887,50	1382,30	3637,96	4992,78
23	5176,56	4476,77	3706,29	1735,73	650,31	402,91	537,21	1441,99	1932,08	1451,42	4241,15	4563,95
24	5237,82	3883,01	3784,05	1822,12	713,93	622,04	1194,59	1505,61	2513,27	3179,29	3930,13	4655,84
25	5176,56	4128,05	3550,79	1751,44	551,35	565,49	1123,90	1590,43	2371,90	3239,77	3939,56	5105,09
26	4890,67	4457,92	3153,37	2034,18	890,64	466,53	791,68	1604,57	2356,19	2946,03	3760,49	4431,22
27	5084,67	4702,96	2902,83	1476,55	1208,73	756,34	1201,66	1696,46	2419,03	1218,15	2441,02	3257,05
28	5145,93	4391,95	3136,09	1413,72	742,20	622,04	1237,00	876,50	1641,48	1114,48	3015,93	2031,83
29	5033,62		2989,23	651,88	1279,41	1109,77	1392,51	1760,08	2544,69	2332,63	4137,48	4747,73
30	5074,46		3265,69	1476,55	940,12	1173,38	890,64	1661,12	2583,96	2332,63	4175,18	2818,01
31	5054,04		3395,28		1215,80		1286,48	1512,68		2332,63		4553,74

Fuente: (Elaboración propia).

Se observa que los meses con mayores requerimientos son diciembre y enero, siendo consistentemente los periodos de verano los de mayor necesidad hídrica por mayores temperaturas y menor precipitación. Se recalca para el estudio el caso del 4 de enero, con un requerimiento de $5.380,76 m^3$, el cual corresponde al día de mayor requerimiento hídrico del año, siendo en especial relevante para determinar cuál es la capacidad establecida a considerar en el estudio.

5.2.5. Ubicación de la Planta

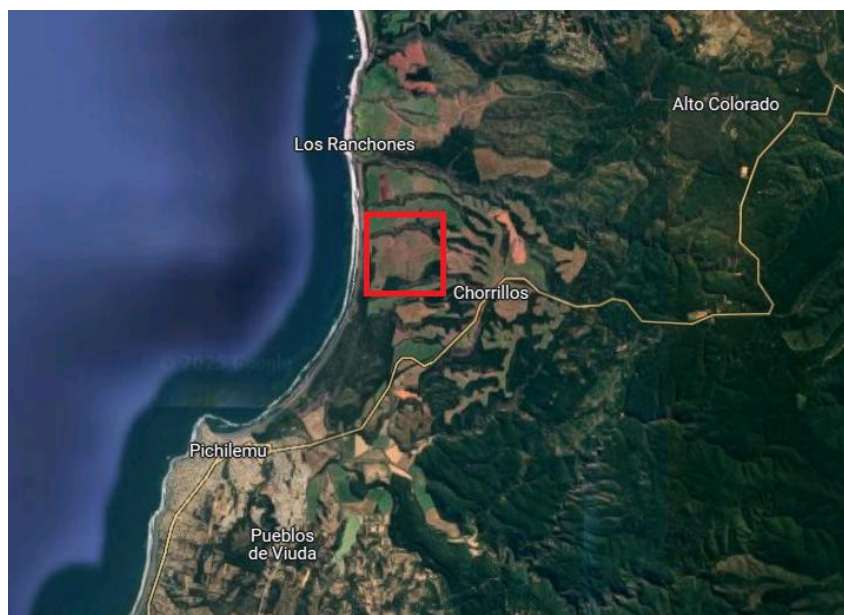
Para determinar la ubicación final de la planta, se han considerado elementos relevantes tanto en aspectos de inversión como operacionales. Estos corresponden a:

- Distancia de conexión a red eléctrica, para términos de venta de excedentes eléctricos.
- Accesibilidad para movimiento de equipos y personal en términos operacionales.

- Distancia de lugares protegidos, evitando problemas en captación de agua y desecho de salmuera, considerándose que en Chile las corrientes tienden a tener temporadas con corrientes en dirección noreste afectando las zonas costeras.

Con lo anterior, se contempla como ubicación del proyecto la zona observada en la Figura 21:

Figura 21: Ubicación considerada para el proyecto.



Fuente: (Google, 2025)

La ubicación se encuentra aproximadamente a 5 km de la ciudad de Pichilemu, con una conexión urbanizada por la Ruta 90. Las viviendas más cercanas al lugar se encuentran a 3,5 km, por lo que el proyecto no tiene incidencia preliminar en ellos.

Existe red eléctrica urbana en el camino, correspondiente al sistema interconectado central (SIC), el cual suministra a todas las comunas de la región. Dada la ubicación planificada del proyecto, la conexión más directa se encuentra en Chorrillos, siendo una línea proveniente de la estación ubicada en Marchigüe, con una línea de 23 kV que es reducida posteriormente en la subestación norte de Pichilemu.

5.3. Definición de Capacidad de Planta

Establecido el requerimiento hídrico de las 400 hectáreas de olivos, se debe considerar que la planta no estará diseñada para abastecer toda la necesidad de agua. A pesar de que se han reducido las precipitaciones y con esto el nivel de las fuentes de agua, aún existen reservas que han mantenido un nivel suficiente para seguir siendo utilizadas. Además, no se pueden menospreciar las medidas gubernamentales que se han aplicado, imponiendo restricción a la extracción, proyectos de recarga artificial de acuíferos y cursos a agricultores sobre uso sostenible.

En la zona considerada, la principal fuente superficial adicional a las precipitaciones corresponde a las cuencas de los ríos Rapel y Tinguiririca, mientras que de forma subterránea existen 2 acuíferos relevantes, siendo el Tinguiririca Inferior y el acuífero del sector estero Topocalma. Los acuíferos se encuentran marcados como zonas de prohibición, impidiendo la creación de nuevos derechos y limitando la extracción de los pozos establecidos. Esto se debe a una reducción progresiva del nivel freático de los pozos (altura de extracción), generado por una reducción de precipitaciones y bajos caudales de los ríos, que son las principales fuentes de alimentación de los acuíferos.

El acuífero Tinguiririca se abastece en forma subterránea por el río del mismo nombre. Este se ha visto considerablemente afectado por la sequía, llegando a reducir su caudal en un 59% del nivel normal, lo cual sumado a una reducción de alrededor de un 33% de las subcuencas que lo alimentan, han generado un alto riesgo para las extracciones dependientes de este río (Csiro Chile, 2021). La situación tampoco parece mejorar, reflejado por una reducción de las precipitaciones, siendo estas un 67-79% menores respecto al histórico entre 1981-2010, lo cual permite generar estimaciones para periodos futuros, entre 2010-2039 prediciendo que estas se reduzcan alrededor

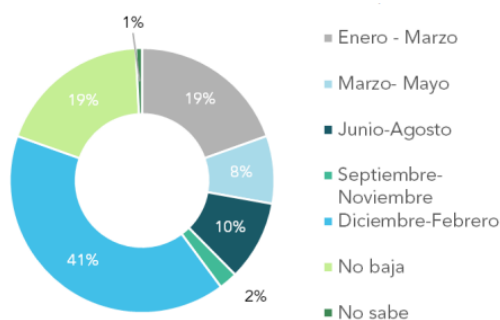
de un 7,9% más, lo cual tendrá un efecto considerable ante la baja de esorrentías hacia reservas subterráneas.

Las restricciones para extracción subterránea se han intensificado con el tiempo, iniciando con restricciones para el acuífero Tinguiririca el año 2019 (Biblioteca del Congreso Nacional, 2019) y la zona de estero Topocalma el 2024 (Ministerio de Obras Públicas, 2024), las cuales se han mantenido vigentes. Estas se originan por tres razones:

- Demanda de derechos existentes, sean definitivos o provisionales, que superan la limitación sostenible que puede mantener el acuífero.
- Perdida proyectada del 5% de volumen total acumulable en 50 años.
- Descenso sostenido de los niveles freáticos de extracciones subterráneas.

Esto genera que los agricultores establecidos deban ajustar su extracción, limitando la cantidad de agua que puedan obtener desde los pozos, evitando la expansión de las zonas de cultivo. Además, en zonas sin presencia de fuentes superficiales se imposibilita el ingreso de nuevos agricultores, al no disponer del recurso hídrico como lo es la extracción subterránea.

Aunque la situación hídrica pueda ser variable, se estima que las condiciones estacionales de las reservas pueden mantener un comportamiento estimable. Como es común, los meses de verano tienden a ser más secos, utilizándose como fuente hídrica el agua acumulada durante los meses con más lluvias, lo cual reduce considerablemente el nivel de las reservas. Esto puede ser observado basándose en la encuesta realizada por los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), los cuales informan la percepción respecto al nivel de estos (Figura 22):

Figura 22: Periodos de baja de los pozos de SSR.

Fuente: (Amulén, 2022)

A pesar de que existe un grupo que no registra reducción, un gran porcentaje menciona bajas en el nivel de los pozos durante el periodo estival (verano), siendo consistente que en esos meses haya una reducción mayor. Se debe destacar que el documento también reconoce que, en esa época, se suele requerir el uso esporádico de camiones aljibe, lo cual refleja una reducción considerable de la disponibilidad de agua que llega a afectar al consumo humano.

Adicionalmente, se puede observar cómo son las variaciones de las fuentes superficiales como las del mencionado río Tinguiririca. Cada vez se han registrado mayores reducciones estacionales, pasando de una baja histórica entorno al 65% entre los meses de verano e invierno a un 75% en años más recientes, lo cual se espera que siga intensificándose (Federación de Juntas Vecinales 6°Región, 2019). Esto puede ser atribuido al aumento progresivo de las extracciones, las cuales sumadas a las bajas precipitaciones tienen un efecto nocivo en las reservas superficiales y subterráneas.

Pese a que no existe un número definido que permita establecer cuál es el requerimiento hídrico en la zona y que recientemente el contexto hídrico ha mejorado respecto a los años 2019-2022, se ha establecido suplir el 50 % de la necesidad hídrica de la zona de cultivo en el peor día del año. Esto permite abastecer porcentajes cercanos al 50-60% de la necesidad promedio de los

meses de verano, llegando a porcentajes superiores e incluso a suplir la demanda completa en invierno.

Considerado lo anterior, se ha establecido que el peor día de la demanda hídrica anual se presenta el día 4 de enero con una demanda de $5.380,76 \text{ m}^3$, al cual se le aplicara el 50 % para definir la capacidad de planta, resultando en una producción de $2.690,38 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$.

Dado que se define una capacidad de producción, se debe considerar que la planta estará operando a ese nivel durante gran parte de su operación. Por esto, se ha decidido considerar que toda la producción será utilizada para abastecer las 400 hectáreas de olivo, mientras que los excedentes serán vendidos a otros agricultores que se encuentren en la zona.

5.3.1. Capacidad Operacional

Definido el requerimiento hídrico a abastecer, se deben reconocer las limitantes que impedirán la producción continua. En particular, son relevantes tres elementos, correspondientes a la capacidad de personal, carga de la maquinaria y disponibilidad eléctrica (energía fotovoltaica).

El primer elemento corresponde a la limitación del horario laboral aplicable en Chile, donde se restringe la máxima capacidad de horas de los trabajadores. Para esto, es crucial la Ley 21.561, en donde se especifica el máximo de horas de jornada laboral ordinaria, las cuales se encuentran en reducción progresiva, partiendo actualmente en 44 horas que serán reducidas a 42 en abril del 2026 y 40 a partir de abril del 2028. Además, se establece que semanalmente la jornada debe estar distribuida entre 4 y 6 días, sin superar las 10 horas diarias (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023).

Pese a que en el periodo considerado en el estudio aún son aplicables las 42 horas laborales, es adecuado utilizar la regulación que contempla las 40 horas. Esto es en base a la duración del

proyecto (20 años), donde la mayoría de los años se encontrarán bajo esa condición, siendo adecuado preparar la operación de la planta a ese contexto.

Otro elemento relevante corresponde a la capacidad de producción de la maquinaria. A pesar de que las máquinas se encuentren diseñadas para alcanzar un cierto nivel productivo, se debe considerar que estas no pueden operar a máxima capacidad en todo momento. Someter los equipos a una capacidad muy alta genera un desgaste excesivo de las componentes, lo cual tiene un efecto tanto en los costos de mantenimiento como en la ocurrencia de fallas, donde estas últimas pueden perjudicar en la producción aún más que el uso de las máquinas a un menor nivel.

Existe un consenso en la literatura sobre el uso en un 85-90% de la capacidad máxima de diseño (Lean Production, 2025). Se ha decidido que es adecuado utilizar el 90 % de la capacidad de la máquina, lo cual incide principalmente en el equipo de osmosis inversa, reduciendo el desgaste especialmente en las membranas claves del proceso. Esto tiene un efecto en la producción, ya que si se requieren los $2690,38 \frac{m^3}{día}$ con un uso de máquinas del 90 %, la capacidad máxima de las máquinas debe estar en el rango de $2989,31 \frac{m^3}{día}$ como mínimo.

El último elemento considerado corresponde a la disponibilidad de radiación solar en la zona. Se ha considerado que la planta será únicamente abastecida mediante paneles fotovoltaicos que utilizan la radiación solar para la generación de energía eléctrica, en donde resultan relevantes las horas de luz disponibles. Pese a que en verano el sol se encuentra presente para los paneles durante 15 horas, se produce una reducción considerable en invierno hasta las 10-11 horas. Esto implica que, si se superan las horas de luz durante la operación en los meses invernales (entre abril y agosto), se deban utilizar otras fuentes como baterías o red eléctrica externa, lo cual puede resultar muy costoso por el uso de la planta y bombas de transporte.

Considerando lo anterior, se ha decidido que es adecuado utilizar únicamente 10 horas diarias para operar la planta. Con esto, sería factible utilizar únicamente dos turnos 4 x 3 con una duración diaria de 10 horas, lo cual se encuentra dentro del límite legal, además de permitir una generación eléctrica adecuada en todos los meses del año.

Establecidos los límites en la producción, se ha realizado la cotización de la maquinaria. Con las condiciones impuestas, se requiere que estas tengan una capacidad máxima de producción de $2989,31 \frac{m^3}{día}$ lo cual debe ser distribuido en 10 horas, resultando en $298,93 \frac{m^3}{h}$ a ser utilizadas en un 90% del máximo requiriéndose producir $269,04 \frac{m^3}{h}$.

5.4. Maquinaria requerida en el proyecto

Se considerarán los equipos estándar que suelen ser utilizados en las plantas desalinizadoras, en referencia a los procesos extracción, pretratamiento, desalinización, postratamiento, almacenamiento y transporte. A esto se le suma todo lo referente a paneles fotovoltaicos y su conexión eléctrica, tanto para el autoconsumo como para la venta de excedentes eléctricos.

Se consideran los siguientes grupos de elementos que son utilizados en el estudio:

- Equipos de osmosis inversa: Capacidad de producción acorde a lo planificado, en donde se complementan equipos de pretratamiento y postratamiento requeridos para el agua de riego.
- Sistema de transporte de agua: Destinado a agua desalinizada a ser transportada desde la planta desalinizadora hasta la zona agrícola objetiva.
- Sistema de extracción de agua: Transporte de agua de mar a planta desalinizadora.
- Tuberías de vertido: Se contempla un vertido de tipo directo, requiriéndose únicamente las tuberías conectadas al lugar de desecho (océano).

- Sistema generación fotovoltaica y baterías: Se consideran tanto los paneles, convertidores de energía, baterías y todo lo referente a transmisión de energía, donde se incluyen las conexiones eléctricas pertinentes.
- Estanque de agua desalinizada: Considerado para disponibilizar el agua fuera del horario de producción de la planta según los requerimientos que tenga el productor.

No serán evaluados elementos adicionales como instalaciones para personal, priorizando los elementos clave para la producción de la planta, con costos de inversión de alto impacto económico.

5.5. Equipos de Osmosis Inversa

Tal como se ha especificado, la planta se encuentra destinada para una capacidad de producción de $298,93 \frac{m^3}{h}$ requiriéndose un equipo de osmosis inversa que pueda cumplir con ese requerimiento. Dada la magnitud de producción y que los equipos de desalinización se encuentran diseñados para producción en número estándar, se considera adecuada la evaluación de precios para una planta de $300 \frac{m^3}{h}$ de capacidad máxima.

Para establecer la adquisición de maquinaria que cumpla con un nivel adecuado de calidad del agua desalinizada, se han realizado 2 cotizaciones las cuales se diferencian principalmente por el país de origen de estas, eligiéndose para esto dos exportadores registrados en China (Anexo 1) y Estados Unidos (Anexo 2). Ambas plantas se encuentran cotizadas según sus precios FOB, es decir, no se han considerado elementos como impuestos de importación, transporte e instalación.

Se presenta la Tabla 4, para evidenciar los principales elementos a considerar para la elección:

Tabla 4: Características básicas de plantas de osmosis cotizadas.

Planta	Pure Aqua 660,000 GPD	Danfoss 2400 TPD
Empresa	Pure Aqua Inc.	Qingdao Zhongya Environmental engineering Co.
País de Origen	EE. UU.	China
Capacidad ($\frac{m^3}{h}$)	104,17	100
Rango TDS Operación (ppm)	<42.000	<35.000
Nº Membranas	168	196
Recuperador de Energía	Si	Si
Pretratamiento	Filtros y Dosificación	Filtros y Dosificación
Postratamiento	Cloro y pH	Cloro y pH
Limpieza de Membranas	Skid (Manual)	CIP(Automatizado)
Certificación	ISO - IDA	-
Costo FOB (USD)	1.275.311	777.900
Costo por Unidad de Producción ($USD * \frac{m^3}{h}$)	12.249	7.779

Fuente: (Elaboración Propia)

Ambas plantas presentan elementos suficientes para obtener agua desalinizada con el nivel de calidad requerido. Como elemento principal, se observa que la planta de origen estadounidense presenta un nivel de tolerancia de agua de mar con mayor concentración de sales, pero las características oceánicas de la zona se encuentran en rangos inferiores. Adicionalmente, esta planta presenta certificación internacional para el tratamiento de agua, pero se ha considerado irrelevante para el estudio, mientras se cumplan con los niveles de calidad requeridos por las entidades nacionales pertinentes.

Basándose tanto en el precio por la unidad y elementos automatizables, se ha decidido que la planta óptima para el estudio es la Danfoss 2400 TPD de origen chino, requiriéndose 3 unidades acopladas en forma paralela para alcanzar el nivel de producción planificado. Además, la forma de acople permite un margen de seguridad, permitiendo que se produzca de forma parcial en caso de presentarse una detención de alguna de las 3 maquinarias.

5.5.1. Descripción de Equipos

El sistema de osmosis incluye equipos de pretratamiento, tratamiento y postratamiento del agua, para uso inmediato en funciones de riego. Se mencionan los principales componentes que pueden ser de interés al momento de realizar comparación con otros equipos similares (Tabla 5), además de verificar si cuenta con las capacidades de realizar las funciones requeridas.

Tabla 5: Principales componentes equipo osmosis inversa por etapa.

Etapa	Nombre Componente	Cantidad
Pretratamiento	HSF High-Speed Filter (Innovation technology)	3 sets (2 en uso, 1 en espera)
	Antiscalant dosing system	1 set (2 bombas dosificadoras)
	Security filter $\Phi 500 \times H2580$ mm	1 set
Tratamiento	Hp pump	2 sets
	RO membranes TM820M-400	196 pcs
Postratamiento	PH adjustment dosing system	1 set (2 bombas dosificadoras, 2 tanques PE)
	Post Chlorine dosing system	1 set (2 bombas dosificadoras, 2 tanques PE)
	PH adjustment dosing pump	2 sets (1 en uso, 1 en espera)
	PH adjustment chemical tank 1000L PE	2 sets
	Post Chlorine dosing pump	2 sets (1 en uso, 1 en espera)
	Post Chlorine chemical tank 1000L PE	2 sets
Adicionales	Control box PLC Auto	1 set (PLC + HMI + componentes eléctricos)
	CIP-Chemical cleaning system	1 set (bomba, tanque 3000L, switch de nivel)
	MPE70 Energy recovery device (ERD)	2 sets

Fuente: (Elaboración Propia)

Las componentes son en su mayoría estándar en equipos de desalinización destinada a estos fines. La etapa de pretratamiento presenta una serie de filtros centrados en evitar el ingreso de elementos no deseados al sistema, que podrían presentar un daño estructural o que el producto no tenga las características adecuadas. El postratamiento tiene 2 elementos relevantes al momento de utilizar el agua, correspondiente a la regulación del pH del agua (reductor de acidez) y cloración para evitar la presencia de elementos orgánicos microscópicos.

Entre los elementos adicionales, se recalca el uso de limpiador de membranas automatizado, sin necesidad de desarme del equipo para la mantención, reduciendo el número de detenciones programadas. Adicionalmente, se incluye un equipo de recuperación de energía, lo cual reduce el consumo energético del sistema aproximadamente un 50 %, siendo significativo al determinar la necesidad eléctrica de la planta.

5.5.2. Balance de Caudales y Sólidos Disueltos

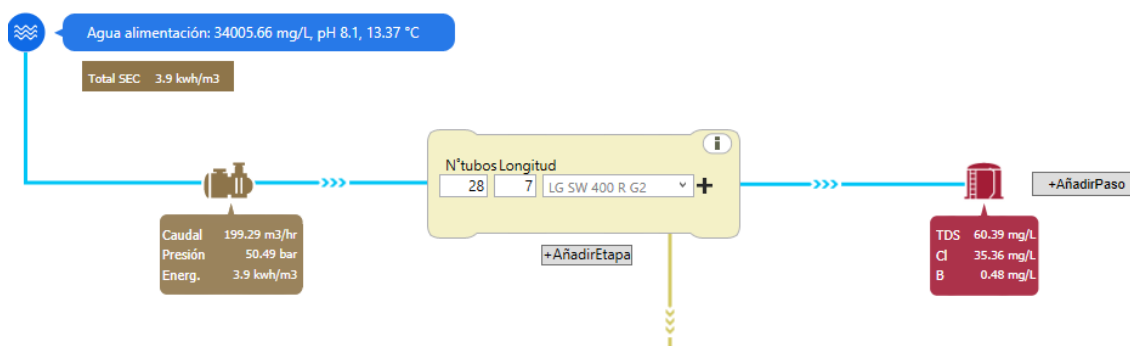
Definida la maquinaria desalinizadora a utilizar, es posible estimar cuáles son los requerimientos de materia prima (agua de mar), además de cuánto producto se puede obtener y las condiciones aproximadas de su salinidad. Evidentemente, es requerido un estudio de agua para establecer los distintos elementos que componen el agua de mar extraída, pero en base a valores típicos en zonas cercanas como lo es la costa de la ciudad de Pichilemu, se puede realizar aproximaciones.

Para esto, se ha utilizado el software LG Q+ Projection (LG CHEM, 2025), el cual presenta un simulador para sistemas de osmosis inversa de agua de mar. Mediante los datos del agua de entrada y equipos involucrados en el proceso, se puede realizar una aproximación de los flujos requeridos y sus características aproximadas.

Dada la ubicación de la planta, cerca de Pichilemu, se utilizarán datos de esa zona, en complemento a valores típicos del océano. La salinidad en la zona es de 33.880 ppm aproximado a 34.000 ppm en el simulador, con una temperatura promedio de 13,37 °C (Seatemperature.info, 2025) y un pH típico de 8,1 (común en agua de mar). En cuanto a la maquinaria, se especifica el uso de 28 tubos con 7 membranas cada uno (196 en total), donde estas últimas son de modelo Toray TM820M-400, las cuales son asemejadas a la marca LG SW 400 R G2 del simulador. Se

espera obtener un flujo de $89,68 \frac{m^3}{h}$, teniendo por parámetros de diseño de la planta, un retorno del 45% del flujo de entrada. Con la información proporcionada, se obtiene (Figura 23):

Figura 23: Proceso de desalinización, simulador de osmosis inversa LG Q+.



Fuente: (LG CHEM, 2025).

Al ser solo una simulación básica, no se presentan procesos relevantes como el pretratamiento y postratamiento, pero es una adecuada aproximación preliminar (Tabla 6):

Tabla 6: Caudales estimados entregados por el simulador.

Fuente	Caudal ($\frac{m^3}{h}$)	TDS ($\frac{mg}{L}$)
Agua de Mar	199,29	34.005,66
Agua Desalinizada	89,68	60,39
Rechazo (Salmuera)	109,61	61.794,35

Fuente: (Elaboración Propia).

El valor inicial del TDS del agua se encuentra dentro del rango de “agua sin efectos perjudiciales” ($0 - 500 \frac{mg}{L}$) establecido para el uso de agua para riego agrícola en cualquier tipo de cultivo. Respecto a los residuos en forma de salmuera, se observa un considerable aumento de concentración, llegando hasta un 81,72% sobre el nivel normal del agua de mar, lo cual debe ser considerado en estudios de impacto ecológico.

5.5.3. Costos de Inversión y Mantenimiento Equipos de Osmosis

No se dispone de la información precisa respecto al costo total de inversión del equipo, considerando otros elementos relevantes como lo son el transporte del equipo desde China hasta la ciudad de Pichilemu en Chile y la instalación de este. Por esto, se ha decidido utilizar información registrada en base a otras plantas desalinizadoras, que han hecho públicos sus costos tanto en la inversión como en su mantenimiento anual.

Para el costo de inversión se ha utilizado el documento del EPA (United States Environmental Protection Agency, 2019), donde se han considerado los costos utilizando como referencia el valor FOB de los 3 equipos de desalinización. Los valores se encuentran en la Tabla 7:

Tabla 7: Costo total de equipos de osmosis, en relación con el valor FOB.

Elementos	% Respecto FOB	Costo (USD)
Danfoss 2400 TPD (3)	100%	2.333.700
Envío	10%	233.370
Instalación	15%	350.055
Ingeniería y Supervisión	10%	233.370
Total	135%	3.150.495

Fuente: (Elaboración Propia).

Respecto a los costos de mantención del equipo, se ha utilizado como referencia un documento del Banco Mundial (World Bank Group, 2019), en donde se detallan los porcentajes de gastos estimados en la desalinización. En este se especifica que los costos O&M (Operación y Mantenimiento), se encuentran entre un 4-7 % del costo total de inversión, considerando un valor medio de 5,5% aplicado para el caso de los 3.150.495 USD calculados, resultando en un valor 173.277,23 USD anualmente.

En esta sección, únicamente se hace referencia al reemplazo de equipos claves e insumos, evaluándose posteriormente la necesidad de mano de obra y estudios que deban ser considerados

en los costos de forma anual. Ante esto, se presenta la Tabla 8 en base al porcentaje de O&M (173.277,23 USD):

Tabla 8: Costo de mantenimiento, en relación con porcentajes O&M considerados.

Componentes de mantención	% Relación O&M	Costo (USD/Año)
Químicos (Post-Pretratamiento)	12%	20.793,27
Reemplazo Membranas y Filtros	6%	10.396,63
Mantenimiento Equipos de Limpieza	15%	25.991,58
Total	33%	57.181,48

Fuente: (Elaboración Propia)

El reemplazo de filtros y membranas se considera de forma parcial, únicamente cuando existen fallas en su funcionamiento o si generan una reducción de producción considerable. El Mantenimiento de Equipos de Limpieza se relaciona con los procedimientos de pretratamiento y postratamiento, evitando la acumulación de residuos dentro del sistema generados por la limpieza realizada al agua.

5.5.4. Consumo Energético Equipos de Osmosis

El manual técnico del equipo Danfoss 2400 TPD (Anexo 1), indica un consumo de 267 kW diseñado para una capacidad de producción máxima de $100 \frac{m^3}{h}$. Ante esto, se logra determinar por la capacidad un consumo de $2,67 \frac{kW}{m^3}$, el cual al ser considerado para el requerimiento de producción diario de $2690,38 \frac{m^3}{día}$ se obtiene un valor de $7183,31 \frac{kW}{día}$.

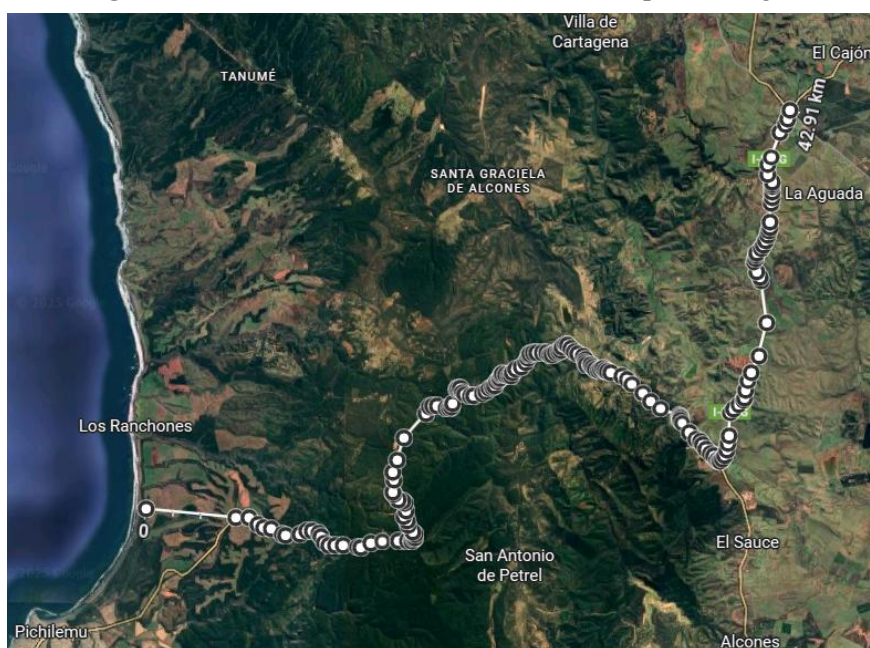
El valor obtenido por m^3 considera todos los equipos involucrados en el proceso de pretratamiento, tratamiento y postratamiento, siendo el único elemento externo la bomba de transporte de agua. El valor obtenido es bajo al promedio de $5-7 \frac{kW}{m^3}$ de otras plantas

desalinizadoras, debido al uso de un recuperador de energía de alta eficiencia que reduce el consumo en aproximadamente un 50%.

5.6. Sistema de Transporte de Agua

Dada la ubicación de la planta, se debe trasladar el agua desalinizada hasta la ubicación propuesta a aproximadamente 27 km en línea recta. El principal impedimento se presenta por una elevación progresiva de altura generada por la cordillera de la costa, que impide que se pueda utilizar la ruta más corta de traslado, por la presencia de quebradas que impedirían el uso directo de cañerías. Existe una carretera urbanizada en la zona, la cual permite evitar la aparición de quebradas relevantes o el paso por zonas habitacionales privadas, decidiéndose utilizar esta ruta para conectar la desalinizadora con el objetivo (Figura 24).

Figura 24: Ruta de instalación tuberías de transporte de agua.



Fuente: (Google, 2025).

Se obtiene como resultado una distancia aproximada de 42,91 km, que debe ser cubierta por cañerías de agua. A falta de un estudio topográfico detallado, se ha considerado que el comportamiento de las variaciones de altura tiene un carácter lineal, aumentando progresivamente

desde los 0 m en la costa hasta los 585 m en la zona cordillerana, reduciéndose finalmente hasta los 290 m donde el agua será utilizada para riego.

Dado el uso de tuberías con pérdidas naturales (fricción) y pérdidas singulares (codos) por los cambios de dirección, se requiere la altura efectiva que deben suministrar la bomba de agua, requiriéndose realizar un balance de energía entre la zona costera (1) y la zona de riego (2), utilizando la ecuación de Bernoulli, expresada por la Ec.(5):

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_b = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{V^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \quad (5)$$

Donde:

- P_1 : Presión en punto de inicio.
- P_2 : Presión en punto final.
- V_1 : Velocidad del agua en el punto de inicio.
- V_2 : Velocidad del agua en el punto final.
- z_1 : Altura del agua en el punto de inicio.
- z_2 : Altura del agua en el punto final.
- V : Velocidad del agua en la tubería.
- ρ : Densidad del agua.
- g : Aceleración de gravedad.
- f : Coeficiente de fricción de Darcy – Weisbach de la tubería.
- L : Largo de la tubería.
- D : Diámetro de la tubería.
- K : Pérdidas singulares.
- h_b : Altura efectiva de elevación de la bomba.

Preliminarmente, se ha determinado que el transporte de agua será realizado únicamente entre los dos puntos en un sistema cerrado, considerándose en todo momento un solo tipo de tubería. Ante esto, se estima que P_1 y P_2 son iguales a la presión atmosférica (con el mismo valor), mientras que V_1 y V_2 son constantes al no cambiar las dimensiones de la tubería. Utilizando lo anterior y despejando el valor de la altura efectiva, se obtiene (Ec. (6)):

$$h_b = (z_2 - z_1) + \frac{V^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \quad (6)$$

Además, considerando que el caudal y el área transversal de las tuberías se mantiene constante ($A = \frac{\pi * D^2}{4}$), se tiene la expresión (Ec.(7)):

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 Q}{\pi * D^2} \quad (7)$$

Reduciendo la altura efectiva a (Ec. (8)):

$$h_b = \Delta z + \frac{8 Q^2}{\pi^2 D^4 g} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \quad (8)$$

Los elementos conocidos, corresponde al cambio de altura entre la costa y el punto objetivo a 290 m sobre el nivel del mar, con una longitud a recorrer de 42.910 m con tuberías, densidad del agua de $999,46 \frac{kg}{m^3}$ ($13^\circ C$), viscosidad cinemática del agua $1,2 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ ($13^\circ C$), un caudal de $0,0747 \frac{m^3}{s}$ ($\sim 269,04 \frac{m^3}{h}$), con los valores típicos de pi de 3,14 y la aceleración gravedad de $9,81 \frac{m^2}{s}$. No es posible estimar exactamente el valor de las pérdidas singulares, por lo que se entregará un valor suavizado considerando 8 codos de 90° con pérdidas de 0,75 cada uno y 6 codos de 45° con pérdidas de 0,35 (Neutrium, 2012), sumando un total de 8,1. Los codos dependerán de la disponibilidad del tránsito de tuberías en la zona, requiriéndose un estudio preciso con este fin.

Para estimar los valores del diámetro y el coeficiente de fricción es necesario determinar las tuberías a utilizar, donde el tipo de material y propiedades de sus dimensiones definen los elementos mencionados. Ante esto, se ha planteado utilizar tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE), las cuales se caracterizan por su alta durabilidad, resistencia, menor espesor y peso por metro, haciéndolas ideales para proyectos de transporte de agua desalinizada.

Particularmente, se considera adecuado utilizar el tipo de polietileno PE 100, el cual se encuentra en el rango de mayor resistencia, durabilidad y niveles de presión entre las tuberías HDPE. Para generalizar, utiliza un valor estándar para obtener el factor de fricción, mediante el uso de la rugosidad absoluta con un valor de $\varepsilon = 1,52 * 10^{-6}$ m (PE100+ Association, 2024). La rugosidad puede ser relacionada con la fricción mediante la ecuación de Swamee-Jain (Ec. (9)):

$$f = \frac{0,25}{\left(\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)\right)^2} \quad (9)$$

Además:

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (10)$$

Donde:

- ν : Viscosidad cinemática del agua.
- ε : Rugosidad absoluta tuberías HDPE 100.

*La ecuación de Swamee – Jain solo aplica para flujos turbulentos con $Re > 4000$ Ec. (10), lo cual se cumple para los datos previos con diámetros inferiores a 19,81 m, siendo inviable tener tuberías de agua que lleguen a magnitudes tan elevadas (bajo el contexto analizado).

Dado que los cálculos se realizan para un sistema de bombeo, se debe considerar la tolerancia de los equipos, siendo relevante la presión que se encontraría sometido el sistema según las condiciones impuestas (Ec. (11)).

$$P = \frac{h_b * \rho * g}{100000} \quad (11)$$

Con todo lo anterior, se ha determinado que el elemento variable para determinar la altura efectiva y la presión del sistema corresponde al diámetro (D) de la tubería. Realizando pruebas con diferentes valores, presentados en la Tabla 9:

Tabla 9: Calculo de la altura y presión efectiva del sistema, según variaciones en el diámetro de las tuberías.

D (m)	V (m/s)	Re	f	h_b (m)	P(bar)
0,020	237,90	3964968	0,011991	74231724,05	7282132,13
0,025	152,25	3171975	0,011761	23860651,28	2340729,89
0,032	92,93	2478105	0,011614	6858884,64	672856,58
0,040	59,47	1982484	0,011584	2242076,36	219947,69
0,050	38,06	1585987	0,011649	739148,46	72510,46
0,063	23,98	1258720	0,011813	236256,98	23176,81
0,075	16,92	1057325	0,011995	100515,06	9860,53
0,090	11,75	881104	0,012235	41380,56	4059,43
0,110	7,86	720903	0,012550	15747,76	1544,86
0,125	6,09	634395	0,012776	8596,16	843,28
0,140	4,86	566424	0,012992	5083,66	498,71
0,160	3,72	495621	0,013263	2800,76	274,75
0,180	2,94	440552	0,013518	1710,39	167,79
0,200	2,38	396497	0,013758	1143,77	112,20
0,225	1,88	352442	0,014038	773,57	75,89
0,229	1,82	346588	0,014079	736,04	72,21
0,250	1,52	317197	0,014299	580,94	56,99
0,280	1,21	283212	0,014592	458,53	44,98
0,315	0,96	251744	0,014910	385,59	37,83
0,355	0,76	223378	0,015245	343,78	33,73
0,400	0,59	198248	0,015593	320,30	31,42
0,800	0,15	99124	0,017907	291,09	28,56
0,900	0,12	88110	0,018354	290,62	28,51
1,000	0,10	79299	0,018769	290,38	28,49

Fuente: (Elaboración Propia).

Pese a que existen tubería HDPE de distinta tolerancia de presiones, se ha decidido utilizar aquella que se encuentra reglamentada y es ampliamente utilizada para los sistemas de alta presión, correspondiendo al tipo HDPE PE 100 PN 25 SDR 7.4, la cual tiene una tolerancia de uso de 25 bar.

Como se evidencia en la Tabla 9 , no es posible alcanzar la presión requerida a menos que se usen diámetros de gran magnitud, lo cual aumenta excesivamente el costo. Ante esto, se divide el sistema en 2 secciones, requiriéndose para esto el uso de 2 bombas que impulsen el agua.

De los diámetros presentados, el de menor magnitud que cumple la condición corresponde a los 0,280 m con una presión de 22,49 bar en el sistema. Esto es realizado, dividiendo la presión presentada en la Tabla 9, lo cual implica ubicar las bombas en secciones de largo específicas que cumplan con el límite de diseño.

Sin embargo, se debe mencionar que los cálculos no consideran que exista una variación de altura considerable en la sección cordillerana de la tubería, donde se tiene un ascenso hasta los 585 m en esa zona. Esto implica, que las bombas de agua tienen como requerimiento superar esta elevación de altura, para lo cual las tuberías deben estar adecuadas a esta exigencia.

Considerando esto, se ha decidido dividir el sistema en 3 secciones donde el diámetro requerido debe ser superior a los 0,225 m. Específicamente, se ha realizado la cotización de tuberías de 0,2288 m, las cuales teóricamente deberán soportar una presión de 24,07 bar, encontrándose dentro del rango admisible.

Tal como se ha mencionado, se requieren 3 bombas que se encuentren dividiendo el sistema en 3 secciones, conectándolas en serie para cada tramo. Existe una relación directa entre la altura entregada por bomba y la presión que estas suministran a las tuberías, siendo acorde utilizar bombas de altura de trabajo de 250 m, para un caudal aproximado de $270 \frac{m^3}{h}$. Esto generaría que las tuberías se encuentren sometidas a aproximadamente 24,51 bar entre cada bomba, lo cual es aceptable para el diseño de estas.

5.6.1. Costo de Inversión y Mantenimiento del Sistema de Transporte

5.6.1.1. Tuberías de Transporte

Se ha realizado la cotización en la empresa China HEBEI ZHUOSHI PIPELINE TECHNOLOGY CO., LTD., la cual se especializa en la venta de tuberías HDPE, eligiéndose las del tipo PE 100 PN 25 SDR 7.4 con un diámetro externo de 315 mm y diámetro interno de 228,8 mm. El proveedor distribuye por medio de container de 40 HQ (40 pies), los cuales permiten transportar 752,85 m de tuberías requiriéndose 57 para el total de 42.910 metros del proyecto.

Los costos de instalación se basan en documentos especializados en analizar proyectos de uso de tuberías de agua. En estos, se estima que el costo de las tuberías es un 40 – 50 % del costo del proyecto (Maury D. Gaston, 2019), donde la instalación representa el mayor porcentaje de la inversión. Para el estudio, se considera que el costo de las tuberías representa solamente un 40 % del valor del proyecto, atribuyéndose la instalación en un 60 % de la cotización realizada (Anexo 7). Se ha estimado un costo de instalación relativamente superior, suponiendo que se tiene incluido el envío marítimo y traslado desde el puerto a la zona objetivo.

Los costos de inversión se encuentran especificados en la Tabla 10

Tabla 10: Costo de sistema de tuberías.

Elemento	Costo Unitario	% Costo total	Costo total (USD)
Tuberías	44,05 USD/m	40%	1.890.185,5
Container	725 USD/u		41.325
Instalación	-	60%	2.897.265,8
Total	-	100%	4.828.776,3

Fuente: (Elaboración Propia).

Las tuberías HDPE presentan buena durabilidad y alta esperanza de vida, por lo que sus costos de mantenimiento son bajos. Se ha decidido utilizar como costo de mantenimiento un 0,4% del costo de las tuberías en valor FOB (Dijk, 2006), aplicándolo a los 1.890.185,5 USD resultando en $7.560,7 \frac{USD}{año}$.

5.6.1.2. Bombas de Agua

Las bombas de agua requeridas se encuentran diseñadas para una capacidad de $270 \frac{m^3}{h}$, entregando una altura de 250 m. El equipo incluye la bomba, un motor eléctrico y complementos para la instalación (base y acoples). La empresa que ha realizado la cotización tiene sede en China, bajo el nombre de Milestone Pump Company teniendo reparto en los puertos de Tianjin y Shanghái, siendo de preferencia este último (Anexo 3).

El costo de envío se asocia a un contenedor de 40' el cual se encuentra incluido, teniendo un costo de transporte entre el puerto de Shanghái a Valparaíso de 3030 USD en agosto del 2023 (JKE, 2025), el cual fue ajustado a la inflación con un valor final de 3.183,31 USD (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2025).

No existe información detallada de los costos de instalación de las bombas, pero realizándose estimaciones basándose en casos de instalación doméstica y comercial, se considera adecuado un costo de 1.500 EUR o 1.734 USD (Cronoshare, 2025).

Se presenta la siguiente Tabla 11, considerando los costos de las tres bombas a ser utilizadas en el proyecto:

Tabla 11: Costo bombas de agua.

Componente	Costo Unitario (USD/u)	Costo Total (USD)
Bombas	25.702	77.106
Transporte	3.183,31	9.549,93
Instalación	1.734	5.202
Total	30.619.31	91.857,93

Fuente: (Elaboración Propia).

Pese a ser un valor elevado para el caso, se contempla que la mantención de las bombas se encuentra en el rango de un 10% del valor FOB anual (Global Pumps, 2025), donde se incluye lo referente a reemplazo de piezas y personal especializado. Considerando las tres bombas con un costo de 77.106 USD, se estima la mantención en $7.710,6 \frac{USD}{año}$.

5.6.2. Consumo de Energía Bombas

Los motores eléctricos de las bombas tienen un consumo establecido de energía en base a su diseño (Anexo 3). Según sus especificaciones, cada una tiene un consumo de 315 kW lo cual debe ser considerado para las 3 bombas durante una operación de 10 horas diarias, lo que resulta en $9.450 \frac{kW}{día}$.

5.7. Tuberías de Extracción

La extracción o succión de agua de mar, es la forma de obtener agua que será utilizada en el proceso de desalinización. Estas tuberías se encuentran sumergidas en el mar, ubicadas sobre o bajo el lecho marino, donde no reciban efectos considerables por parte de las condiciones climáticas. Se ha decidido utilizar la extracción de forma superficial, ya que a diferencia de otros tipos de extracción como la subterránea o por emisario, no presentan grandes limitaciones en la construcción y en la cantidad de flujo que puede ser extraído. Además, tienen un impacto visual y de espacio reducido, a lo que se le suma un bajo costo al ser comparado a otros métodos (Zuñiga Oyanadel, 2017).

La distancia de las tuberías respecto a la costa varía según el tipo de proyecto, con valores entorno a los 300-2000 m de profundidades, según las condiciones del lecho marino. Para este caso, se ha decidido utilizar tuberías sobre el lecho a 300 m de la costa con una profundidad aproximada de 25 m, las cuales ya fueron aplicadas en un proyecto similar, demostrando su viabilidad (Sydney Desalination Plant, 2025).

Se considera una única tubería para los 3 equipos de osmosis inversa, la cual debe ser dividida en la conexión final a estas. Para el cálculo de la presión que debe soportar la tubería, se utilizarán las ecuaciones presentadas en el cálculo del sistema de transporte de agua (Ec.(8)), variando algunos elementos.

Según las estimaciones realizadas anteriormente, el sistema de desalinización necesita $199,29 \frac{m^3}{h}$ de agua de mar cada para una de las plantas en serie (Tabla 6), sumando un total de $597,87 \frac{m^3}{h}$. La ubicación de la planta es a aproximadamente 100 metros de la costa, requiriéndose un total de 400 m de tuberías (300 m oceánicas y 100 m terrestres). En la zona existe un aumento de altura, por una quebrada que eleva la ubicación a los 50 m, a lo que se le suman los 25 m bajo la superficie oceánica, resultando que el cambio de altura natural es de 75 m. Las pérdidas singulares en este caso serán estimadas en el número cerrado 3 (adimensional), dejando una holgura aceptable para realizar la conexión pertinente con los equipos de osmosis. El último elemento corresponde a la viscosidad, cuyo valor es simplificado manteniéndose constante en $1,2 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$.

Con las variaciones establecidas, se ha elaborado la siguiente Tabla 12 para definir el tipo de tubería requerido:

Tabla 12: Calculo de altura y presión efectiva del sistema de captación.

D (m)	V (m/s)	Re	f	h _b (m)	P_Sistema
0,020	528,90	8815021	0,011692	3376856,09	331269,58
0,025	338,50	7052017	0,011361	1079155,66	105865,17
0,032	206,60	5509388	0,011077	307846,24	30199,72
0,040	132,23	4407511	0,010904	99915,20	9801,68
0,050	84,62	3526008	0,010816	32751,31	3212,90
0,063	53,30	2798419	0,010816	10454,31	1025,57
0,075	37,61	2350672	0,010877	4473,95	438,89
0,090	26,12	1958894	0,010995	1878,31	184,26
0,110	17,48	1602731	0,011181	755,24	74,09
0,125	13,54	1410403	0,011328	441,75	43,34
0,140	10,79	1259289	0,011476	287,51	28,21
0,160	8,26	1101878	0,011668	186,98	18,34
0,180	6,53	979447	0,011854	138,76	13,61
0,200	5,29	881502	0,012032	113,59	11,14
0,225	4,18	783557	0,012243	97,04	9,52
0,250	3,38	705202	0,012443	88,38	8,67
0,280	2,70	629644	0,012669	82,83	8,13
0,315	2,13	559684	0,012915	79,49	7,80
0,355	1,68	496621	0,013176	77,56	7,61
0,400	1,32	440751	0,013448	76,47	7,50
0,800	0,33	220376	0,015261	75,06	7,36
0,900	0,26	195889	0,015610	75,03	7,36
1,000	0,21	176300	0,015934	75,02	7,36

Fuente: (Elaboración Propia).

Nuevamente, las tuberías corresponden a las HDPE PE 100 solo que se han realizado variaciones en el grosor de estas, adecuando su resistencia a presiones más bajas. En este caso, se ha considerado adecuado utilizar las tuberías PN 10, con una resistencia de 10 bar de presión, lo cual reduce considerablemente el costo por metro. Como se observa en la Tabla 12 , el menor diámetro interno que cumple con lo requerido son los 0,225 m las cuales serán cotizadas.

5.7.1. Costo de Inversión y Mantenimiento Sistema de Extracción

Se ha utilizado como referencia el catálogo de precios de la empresa Petroflex Chile (Tabla 13), particularmente las tuberías HDPE PE 100 PN 10.

Tabla 13: Precios catalogo tuberías HDPE-PE100-PN 10, con tiras 6m y 12 m.

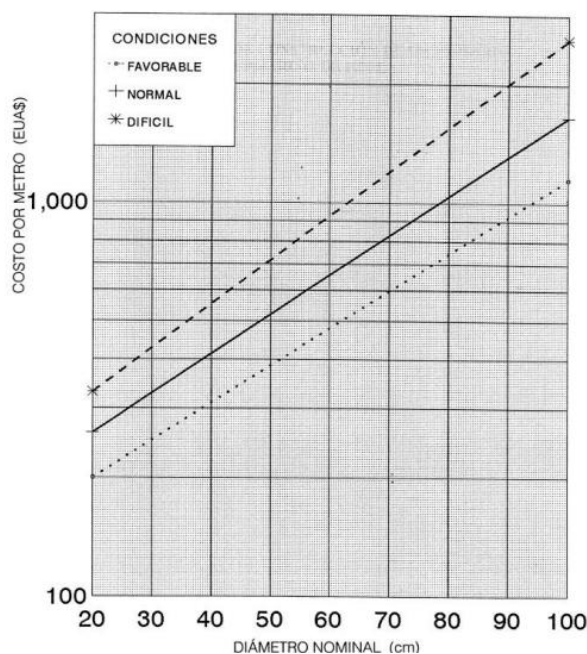
Ø Externo (mm)	PN (Bar)	PRECIO LISTA 6 m (US\$/m)	PRECIO LISTA 12 m (US\$/m)
20	16	0,6	0,6
25	12,5	0,8	0,8
32	10	1,1	1,0
40	10	1,6	1,5
50	10	2,5	2,3
63	10	3,9	3,7
75	10	5,5	5,3
90	10	8,0	7,6
110	10	11,8	11,3
125	10	15,1	14,4
140	10	19,0	18,1
160	10	24,8	23,6
180	10	31,3	29,8
200	10	38,6	36,8
225	10	49,0	46,7
250	10	60,0	57,2
280	10	75,4	71,8
315	10	95,5	91,0
355	10	121,6	115,8
400	10	153,7	146,3
450	10	194,7	185,4
500	10	240,5	229,1
560	10	301,3	287,0
630	10	381,6	363,5

Fuente: (Petroflex, 2024)

La información presentada corresponde a diámetros externos, pero se tiene un requerimiento por diseño de un diámetro interno de 225 mm (0,225 m), por lo que es adecuado utilizar un margen, considerando las de 250 mm (0,25 m) con un costo de $57,2 \frac{USD}{m}$.

Al ser una empresa ubicada en Chile, no serán contabilizados los costos de transporte de las tuberías. Toma mayor relevancia la instalación, tiendo un aumento considerable por la complejidad que representa el trabajo submarino. Para esto, se utiliza como referencia el siguiente gráfico (Figura 25):

Figura 25: Estimación de costos instalación de tuberías, según cambios en su diámetro nominal.



Fuente: (REIFF, 1986)

Se desconoce el comportamiento de la línea de costo normal, por lo que se utilizan otros documentos como fuente, los cuales estiman que con 28 cm (280 mm) se tiene un costo de $218 \frac{USD}{m}$ (Zuñiga Oyanadel, 2017). Pese a ser una aproximación básica, se ha decidido utilizar el valor mencionado como referencia, resultando aproximadamente $7,8 \frac{USD}{m}$ por cada centímetro de diámetro nominal, lo cual para 25 cm (250 mm) se obtiene $195 \frac{USD}{m}$.

Se destaca que el valor mencionado presenta una antigüedad considerable (noviembre 1986), siendo necesario convertir el costo al valor monetario actual resultando en $569,74 \frac{USD}{m}$ (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2025).

Dado que solo 300 m de los 400 m serán tuberías oceánicas, se debe considerar el costo de instalación de los 100 metros terrestres. Se utilizará la misma valorización que las tuberías de

transporte (Tabla 10), en base al 60% respecto al costo de estas. Esto resulta que, con un costo de tuberías de $57,2 \frac{USD}{m}$, la instalación resultaría en $85,8 \frac{USD}{m}$.

Para iniciar el proceso de succión, es requerido realizar el cebado de la tubería, lo que permite retirar el aire acumulado en está permitiendo el transporte de agua. Esto involucra el uso de una bomba de vacío, utilizándose la Silak Pumps de $1 \frac{1}{2}'' \times 1 \frac{1}{2}''$ de anillo líquido modelo Silak – 125, utilizada en otro estudio similar (Zuñiga Oyanadel, 2017), con un costo de 1.116.960 CLP, el cual es valorizado en la moneda del estudio resulta en 1.196,6 USD. Dado que se han utilizado bombas de vacío de una capacidad inferior, se requiere de 3 conexiones en serie, para evitar la sobrecarga de los equipos y reducir la presión interna de las tuberías.

Se presenta el siguiente resumen de los costos del sistema de succión requerido (Tabla 14):

Tabla 14: Costo sistema de extracción por sección.

Componente	Costo Unitario	Unidades	Costo Total (USD)
Tuberías	57,2 USD/m	400 m	22.880
Instalación Oceánica	569,74 USD/m	300 m	170.992
Instalación Terrestre	85,8 USD/m	100 m	8.580
Bomba de Vacío	1.196,6 USD/u	3 u	3.589,8
Total	-	-	206.041,80

Fuente: (Elaboración Propia).

Tal como en el sistema de transporte de agua, se ha decidido que el coste de mantenimiento de tuberías terrestres es de un 0,4% del valor FOB de las tuberías, resultando para 100 m en $22,88 \frac{USD}{año}$. Utilizando como base que el costo de instalación de tuberías oceánicas es 6,64 veces más que las terrestres, es adecuado un costo de mantención relacionado con ese valor. Con esto se obtiene un 2,64% del costo FOB de las tuberías como costo de mantenimiento, lo cual para 300 m resulta en $453,02 \frac{USD}{año}$.

El mantenimiento de las bombas de vacío será estimado como bombas de agua, correspondiente a un 10 % aplicado al costo FOB de estas (3.589,8 USD), resultando en 358,98

$\frac{USD}{año}$.

5.7.2. Consumo de Energía Sistema de Extracción

La empresa que vende la bomba de vacío utilizada, dispone de información sobre el consumo de sus productos (Tabla 15).

Tabla 15: Capacidad y consumo de energía bomba de vacío según tolerancia de presión.

Modelo	100 mbar (m ³ /h)	150 mbar (m ³ /h)	200 mbar (m ³ /h)	300 mbar (m ³ /h)	400 mbar (m ³ /h)	Diámetro Entrada y Salida	Caudal para bomba (L/min)	Potencia en HP
silak 12	8	9	9	10	10	½" x ½"	2	0,5
silak 12 VS	11	12	12	11	11	½" x ½"	2	0,5
silak 25	19	22	23	24	25	1" x 1"	5 a 6	1
silak 25 VS	22	23	24	25	26	1" x 1"	5 a 6	1
silak 50	40	44	48	51	52	1" x 1"	5 a 6	2
silak 50 VS	44	47	50	52	53	1" x 1"	5 a 6	2
silak 90	67	69	73	76	73	1 ½"	6 a 7	3
silak 90 VS	80	74	76	78	76	1 ½"	6 a 7	3
silak 125	89	92	97	100	110	1 ½"	7 a 8	4
silak 125 VS	111	109	106	101	110	1 ½"	7 a 8	4

Fuente: (Silak , 2025)

La bomba presenta una potencia de 4 caballos de fuerza (HP), donde se tiene por conversión de unidades que $0,7457 \frac{kW}{HP}$ resultando en un consumo de 2,98 kW.

Para determinar las horas de operación de la bomba de vacío, se debe tener en consideración la sección de la tubería que no se encuentra sumergida (terrestre), correspondiente a los 100 m que se encontrarán con aire al detenerse la operación. La tubería presenta un diámetro interno de 140 mm, por lo que el volumen total que es considerado resulta en $1,54 m^3$.

La relación del tiempo de operación puede ser estimada con la Ec. (12) (The Engineering ToolBox, 2025):

$$t = \frac{V}{Q} * N \quad (12)$$

Donde:

- V: Es el volumen de aire a evacuar.
- Q: Caudal de agua de la tubería.
- N: Factor de cambio de presión.

El factor ha sido simplificado con un valor 1, que es adecuado según literatura. El resto de los valores corresponden a los $1,54 \text{ m}^3$ para el volumen y el caudal planificado de $199,29 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ para cada sección de tubería (acumulación por tramo). Utilizando los valores mencionados, se obtiene que el tiempo de operación es de $0,0077 \frac{\text{h}}{\text{día}}$. Considerando que son 3 bombas, con un consumo de 2,98 kW cada una, se obtiene un resultado aproximado de $0,07 \frac{\text{kW}}{\text{día}}$

5.8. Tuberías de Vertido

El proceso de vertido o descarga, es la forma en que se desecha el principal residuo de la desalinización en referencia a la salmuera. Ante la falta de métodos económicamente rentables para el tratamiento, es usual utilizar el vertido directo al mar o mediante dilución previa. A pesar de que tiene un impacto ambiental considerable, las regulaciones legales aún no contemplan en su totalidad las exigencias sobre el desecho de estos residuos.

Se ha considerado utilizar el método de vertido directo mediante tuberías (emisarios submarinos), el cual se centra en liberar en el agua directamente la salmuera resultante. A pesar de que pueden existir limitaciones legales por estudios ambientales, principalmente por el SEA, se utiliza como referencia otros estudios de desalinización, donde se ha especificado que las tuberías deben encontrarse a al menos 100 m dentro del océano para el vertido sin efectos preliminares (Zuñiga Oyanadel, 2017).

El cálculo requerido es el mismo que el presentado en las tuberías de transporte variando en ciertos elementos específicos (Ec. (8)). La altura inicial donde se ubica la planta es a 50 m sobre el nivel del mar llegando hasta los 0 m, siendo el punto donde se iniciará el vertido con una tubería

de 100 m de largo. El caudal en este caso corresponde según estimaciones a $109,61 \frac{m^3}{h}$ por cada equipo (Tabla 6), sumando entre los 3 un total de $328,83 \frac{m^3}{h}$. Se utilizan las mismas propiedades del agua desalinizada, por la poca diferencia que representan para el transporte el cambio de la concentración de sales, resultando en una viscosidad a 13 °C de $1,2 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$. Se desconoce la conexión requerida entre los equipos de osmosis y la planta desalinizadora, entregándose una holgura de pérdidas singulares (K) con un valor de 3 en total.

Aunque el cambio de altura pueda resultar negativo en la ecuación, se considerará como positivo al ser un sistema cerrado, siendo el elemento de interés la presión que debe soportar la tubería. Para el caso, se contemplan tuberías HDPE PE 100 PN 10 utilizadas en la extracción de agua, obteniéndose los siguientes resultados según el diámetro (Tabla 16):

Tabla 16: Calculo de altura y presión efectiva del sistema de vertido.

D (m)	V (m/s)	Re	f	h_b (m)	P_Sistema (Bar)
0,020	290,90	4848284	0,011897	526116,10	51611,99
0,025	186,17	3878627	0,011637	169820,61	16659,40
0,032	113,63	3030177	0,011452	49126,96	4819,35
0,040	72,72	2424142	0,011381	16198,56	1589,08
0,050	46,54	1939314	0,011405	5418,48	531,55
0,063	29,32	1539138	0,011527	1784,40	175,05
0,075	20,69	1292876	0,011678	794,62	77,95
0,090	14,37	1077396	0,011886	359,37	35,25
0,110	9,62	881506	0,012168	168,42	16,52
0,125	7,45	775725	0,012374	114,44	11,23
0,140	5,94	692612	0,012573	87,65	8,60
0,160	4,55	606035	0,012824	70,04	6,87
0,180	3,59	538698	0,013060	61,51	6,03
0,200	2,91	484828	0,013284	57,02	5,59
0,225	2,30	430959	0,013545	54,05	5,30
0,250	1,86	387863	0,013790	52,48	5,15
0,280	1,48	346306	0,014065	51,46	5,05
0,315	1,17	307828	0,014363	50,85	4,99
0,355	0,92	273143	0,014678	50,49	4,95
0,400	0,73	242414	0,015005	50,28	4,93
0,800	0,18	121207	0,017179	50,01	4,91
0,900	0,14	107740	0,017598	50,01	4,91
1,000	0,12	96966	0,017987	50,00	4,91

Fuente: (Elaboración Propia)

El menor diámetro que cumple con la presión de la estructura (<10 bar) son los 0,14 m (140 mm), con una presión de 8,6 bar. Aunque se requiera utilizar el diámetro interno para la cotización, aunque por la holgura existente en la presión respecto a los 10 bar, se acepta el uso de estas tuberías directamente.

5.8.1. Costo de Inversión y Mantenimiento Sistema de Vertido

Según el catálogo de Petroflex (Tabla 13), este tipo de tuberías tiene un costo de $18,1 \frac{USD}{m}$, las cuales serán utilizadas para cada grupo, por una longitud de 100 m terrestres y 100 m oceánicos.

En el caso del sistema de extracción, se estimó que para 14 cm (140 mm) de diámetro, el costo de instalación de tuberías marinas corresponde a $569,74 \frac{USD}{m}$. Realizando una aproximación directa, se estima un costo de $22,79 \frac{USD}{m}$ por cada cm de diámetro, resultando para los 14 cm (140 mm), requeridos en $319,06 \frac{USD}{m}$. El costo de instalación de tuberías terrestres se estimó como un 60 % respecto al valor de las tuberías (40%), resultando para este caso $27,15 \frac{USD}{m}$.

Con lo anterior, se presenta la Tabla 17 con los costos del sistema:

Tabla 17: Costo de inversión sistema de vertido.

Componente	Costo Unitario	Unidades	Costo Total (USD)
Tuberías	18,1 USD/m	200 m	3.620
Instalación Oceánica	319,06 USD/m	100 m	31.906
Instalación Terrestre	27,15 USD/m	100 m	2.715
Total	-	-	38.241

Fuente: (Elaboración Propia).

Los costos de mantenimiento se estiman con relación al valor FOB de las tuberías con un porcentaje diferenciado calculado anteriormente. Las tuberías terrestres representan un 0,4% aplicado a 100 metros, resultando en $7,24 \frac{USD}{año}$. Respecto a las tuberías oceánicas de 100 m, el costo es de 2,64 % del valor FOB, resultando en $47,78 \frac{USD}{año}$.

5.9. Sistema de Generación

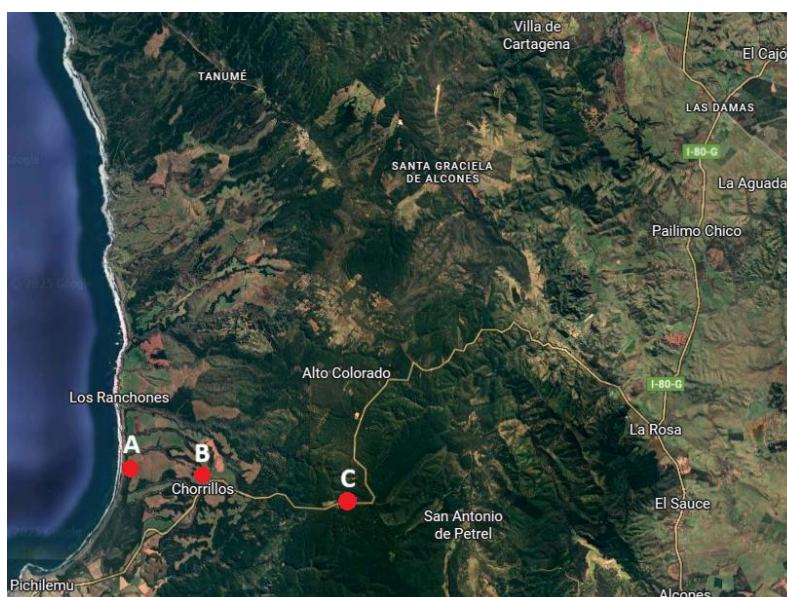
5.9.1. Paneles Fotovoltaicos

El proyecto está planificado para utilizar únicamente la generación fotovoltaica como fuente de energía eléctrica. Para evitar el uso de líneas de transmisión, se ha decidido contemplar la instalación de paneles fotovoltaicos en cada una de las ubicaciones donde se implemente la maquinaria, en referencia a:

- Ubicación A: Ubicación base de la planta, donde se instalan los equipos de desalinización ($7183,31 \frac{kW}{día}$), bomba de agua ($3.150 \frac{kW}{día}$) y bombas de vacío ($0,07 \frac{kW}{día}$).
Los tres grupos de equipos considerados consumen un total de $10.333,38 \frac{kW}{día}$.
- Ubicación B: A una distancia 3,2 km de la ubicación de la planta, con una altura aproximada de 240 m sobre el nivel del mar, dispone de 1 bomba de agua con consumo diario $3.150 \frac{kW}{día}$.
- Ubicación C: A una distancia de 9,4 km de la ubicación de la planta, a una altura aproximada de 510 m sobre el nivel del mar, dispone de 1 bomba de agua con consumo diario $3.150 \frac{kW}{día}$.

Las ubicaciones sugeridas pueden variar dependiendo de la altura efectiva real en cada uno de los tramos. Particularmente, el lugar específico de cada una se encuentra representado en la Figura 26:

Figura 26: Ubicación de maquinarias requeridas por la planta.



Fuente: (Google, 2025).

Utilizando como referencia la Guía de Sistemas de Energía (Ministerio de Energía, 2020), se establece como requerimiento base establecer la disponibilidad solar en la zona, para posteriormente diseñar el sistema de generación con los equipos y regulaciones pertinentes.

Una herramienta rudimentaria, pero ampliamente aceptada para estimar la disponibilidad solar, corresponde al explorador solar (Ministerio de Energía, 2025). Este dispone de una sección que permite calcular la generación teórica de los paneles fotovoltaicos, requiriéndose el ingreso de ciertos factores, los cuales corresponden a:

- **Modelo de Generación:** Dependiendo de la cantidad de datos disponibles y el tipo de paneles a utilizar, se puede utilizar un diferente modelo de cálculo. Al ser un estudio preliminar, se ha seleccionado el más básico correspondiendo al Monofacial Modelo Básico.
- **Capacidad Instalada:** Para estimar la capacidad de generación, se consideran los kW instalados en el arreglo de paneles. Inicialmente, se utiliza 1 kW para posteriormente estimar la cantidad a instalar para cumplir con los requerimientos de las ubicaciones.
- **Coefficiente de Temperatura del Panel:** Dada las propiedades de generación de los paneles, los aumentos de temperatura tienden a reducir la capacidad de estos. El coeficiente varía según la eficiencia y resistencia del panel, considerándose para el caso un $-0,3 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$, siendo un valor eficiente para paneles convencionales (Cambio Energético, 2025).
- **Tipo de Arreglo:** Los paneles deben ser instalados en una dirección que les permita captar mayor radiación solar, para lo cual se usan distintos tipos de ángulos y equipos para un adecuado seguimiento. Ya se ha considerado utilizar un cierto tipo de paneles,

los cuales utilizan 1 eje de instalación con sistema de seguimiento, denominándose en el explorador solar como Horizontal Single Axis Tracker (HSAT).

- **Máxima Inclinación HSAT:** Al elegir el sistema de seguimiento HSAT se debe establecer el ángulo máximo que admite la instalación. Se consideran en forma general los 45° como máximo, los cuales pueden variar según el modelo utilizado (Sandia National Laboratories, 2025).
- **Capacidad del Inversor:** Representa la energía máxima que es posible convertir en energía continua a alterna, según el tipo de instrumentos utilizados. Aunque depende de la cantidad de paneles y tipo de conversor, se considera adecuado un valor de 1,25 kW (Monje & Martínez, 2017).
- **Eficiencia del Inversor:** Porcentaje de energía continua que es convertida a alterna por el inversor. Dada la eficiencia actual de los conversores, se recomienda una eficiencia del 98%. (Ministerio de Energía, 2016)
- **Factor de Perdidas:** Porcentaje de pérdidas asociadas al sistema de generación adicional a las celdas fotovoltaicas, como lo son los cables de transmisión, suciedad de paneles y pérdidas de otros equipos. El valor puede variar según el proyecto y las pérdidas pueden aumentar con el paso del tiempo (desgaste de celdas fotovoltaicas), pero se considera adecuado utilizar un valor aproximado a 15 % de pérdidas (National Renewable Energy Laboratory, 2024).

El explorador solar permite obtener la generación promedio diaria en forma mensual, en base a la capacidad instalada en kWp (capacidad potencial). Los valores fueron calculados para cada una de las ubicaciones, obteniéndose los siguientes resultados mensuales en $\frac{kW}{kWp*día}$ (Tabla 18):

Tabla 18: Capacidad de generación diaria por cada kWp instalado.

Mes	Ubicación A	Ubicación B	Ubicación C
Enero	7,54	7,81	8,49
Febrero	6,79	7,12	7,76
Marzo	5,56	5,88	6,34
Abril	4,10	4,24	4,59
Mayo	2,63	2,71	2,73
Junio	2,39	2,42	2,38
Julio	2,49	2,52	2,46
Agosto	3,31	3,25	3,26
Septiembre	4,83	4,85	4,89
Octubre	5,98	6,03	6,26
Noviembre	7,31	7,31	7,93
Diciembre	7,74	7,96	8,62

Fuente: (Ministerio de Energía, 2025)

Se utilizará como base la generación del peor mes, correspondiente a Junio en todas las ubicaciones. Para determinar la capacidad a instalar, se utiliza la Tabla 18 la cual está diseñada en base a 1 kWp (referencial), lo que permite establecer la siguiente relación (Ec. (13)):

$$Potencia\ Instalada\ (kWp) = \frac{Potencia\ Requerida\ \left(\frac{kW}{día}\right)}{Potencia\ Generada_{Ref}\left(\frac{kW}{kWp * día}\right)} \quad (13)$$

Considerando esto, se ha determinado para cada ubicación la capacidad a instalar, resultando en:

- Ubicación A: 4.323,59 kWp
- Ubicación B: 1.301,65 kWp
- Ubicación C: 1.323,53 kWp

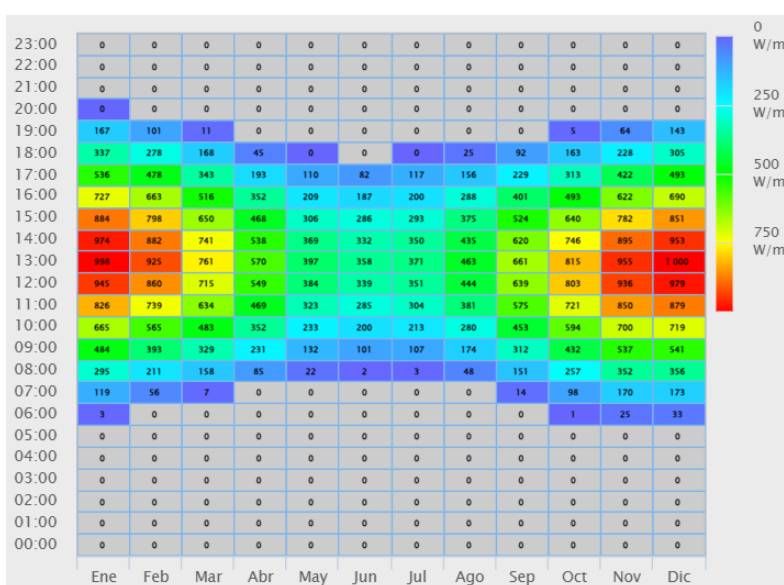
La instalación completa de paneles contempla una generación de 6.948,77 kWp a ser instalada en la ubicación que lo requiera.

5.9.2. Baterías

La planta presenta una operación continua de 10 horas diarias, teniendo un consumo constante de 16.633,38 kW considerando todos los equipos, los cuales deben estar disponibles ya sea por generación o almacenado en baterías.

Para establecer el tiempo de almacenamiento requerido, se reconoce el comportamiento de la radiación solar en la zona (Figura 27). Se utiliza como referencia el lugar con mayor capacidad instalada, correspondiente a la ubicación de la planta (Ubicación A):

Figura 27: Mapa de calor, radiación solar incidente por metro cuadrado.



Fuente: (Ministerio de Energía, 2025)

Se registra que, en el mes de Junio existe una radiación global horizontal considerablemente baja respecto a otros meses, cumpliendo con el límite de 10 horas. Particularmente, la primera hora de la mañana y la última hora de la tarde se tienen niveles de radiación considerablemente bajos, por lo que se sugiere utilizar 2 horas de baterías, las cuales en total deben acumular 33.266,76 kW durante la jornada.

5.9.3. Costo de Inversión y Mantenimiento Sistema de Generación

Se utiliza como referencia el Informe de Costos de Tecnologías de Generación y Almacenamiento de la Comisión Nacional de Energía (Comisión Nacional de Energía, 2025). En

esta se detallan múltiples costos estimados de sistemas de generación en Chile, donde se destaca el caso de la solar fotovoltaica (Figura 28).

Figura 28: Costo estimados sistemas eléctricos por fuente.

Tecnología	Costo de inversión (US\$/kW)		
	Bajo	Promedio	Alto
Almacenamiento BESS @2-3 hrs		689	
Almacenamiento BESS @4 hrs	702	814	944
Almacenamiento BESS @5-6 hrs	844	920	1.035
Solar		809	
Solar MGPE ¹	885	946	1.044
Solar + Almacenamiento @2-4 hrs/90%P _{nom}	1.168	1.371	1.578
Solar + Almacenamiento @5-8 hrs/90%P _{nom}	1.395	1.569	1.719
Eólica	1.259	1.483	1.735
Eólica MGPE		1.630	
Eólica + Almacenamiento @4-5 hrs/80%P _{nom}	1.518	1.727	1.972
Térmica Diésel		525	
Mini Hidro-Pasada		2.754	

Figura: (Comisión Nacional de Energía, 2025)

Dadas las horas de almacenamiento planificado, es adecuado utilizar el Solar +Almacenamiento @ 2hr, en el régimen de costos bajos (cota inferior), resultando en $1.168 \frac{USD}{kW}$. Considerando el requerimiento de 6.948,77 kWp a instalar, se obtiene que el costo total corresponde a 8.116.163,36 USD.

El informe de costos establece como incluido todos los equipos, estudios y personal requeridos para la instalación completa del sistema (Anexo 4). Esto permite disponer de la energía directamente para su utilización o venta al sistema conectado.

Adicionalmente, el sistema contempla un costo de mantención del 1-2% de los costos de inversión, siendo consistente a lo establecido normalmente en la literatura. Considerando que el personal operativo tiene un cálculo aparte, es adecuado utilizar el 1% lo cual resulta en $81.161,63 \frac{USD}{año}$. Esto se atribuye a estudios, ajustes y mantención, lo cual es exigido para sistemas de generación conectados a la red.

5.10. Estanque de Almacenamiento de Agua

Se establece que el tiempo de regado puede superar las horas de operación, considerándose una holgura respecto a la producción del 30% o lo que es equivalente a 3 horas de jornada normal. Esto da un margen para que el agricultor utilice el tiempo de riego que prefiera, siendo usual utilizar horas nocturnas por la reducción de temperatura en ese horario.

Utilizando como referencia otro estudio de desalinización, es adecuado el uso de un estanque de hormigón armado para almacenar agua (Nieto, 2022). En este se menciona un estanque de 750 m^3 con un costo de 426.823.200 CLP el cual incluye mano de obra, materiales y herramientas para la instalación. Bajo el supuesto que la capacidad tiene una relación directa con el costo, se obtiene $569.098 \frac{\text{CLP}}{\text{m}^3}$. El valor mencionado no se encuentra actualizado a la inflación, el cual al ser ajustado equivale a $638.528 \frac{\text{CLP}}{\text{m}^3}$ (INE, 2025) o lo equivalente a $684,07 \frac{\text{USD}}{\text{m}^3}$.

La planta tiene una producción aproximada de $269,04 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, considerando un almacenamiento de 3 horas se requieren 807.12 m^3 . Se establece que, para un estanque de hormigo de esa capacidad, se tiene un costo de 552.126,6 USD considerando todos los elementos de su instalación.

El uso de este estanque permite evitar las pérdidas de agua por evaporación o escurrimiento presente en otros tipos de almacenamiento, permitiendo ignorar este elemento. No existe información precisa del costo de mantenimiento de estanques de hormigón armado, pero suponiendo que se requieren reparaciones menores, se estiman costos entorno al 1% del costo de construcción, resultando aproximadamente en $5.521,27 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$.

5.11. Resumen de costos

5.11.1. Costos de Inversión en Equipos

Recopilación de los costos de equipos, agrupados según las funciones que lleven a cabo en el proceso de desalinización. Se considera su estado en listo para operar, donde ya se ha incluido como parte del costo la instalación completa del equipo (Tabla 19).

Tabla 19: Resumen costo de inversión equipos de la planta.

Grupo	Equipo	Costo (USD)
Desalinización	Plantas de Osmosis	3.150.495
Transporte	Tuberías + Instalación	4.828.776,3
	Bombas de agua+ Instalación	91.857,93
Succión	Tuberías + Instalación	202.452
	Bombas de Vacío	3.589,8
Vertido	Tuberías + Instalación	38.241
Generación	Sistema Fotovoltaico	8.116.163,36
Almacenamiento	Estanque Hormigón Armado	552.126,6
	Total	16.983.701,99

Fuente: (Elaboración Propia).

El sistema de generación eléctrica incluye en su costo lo referente a estudios de instalación y conexión a la red, los cuales son exigencias legales según la regulación chilena.

Las tuberías destinadas al transporte consideran estudios urbanísticos y de obra. Particularmente, aquellos centrados en reducir el impacto en la población en las zonas urbanizadas que deban ser utilizadas.

5.11.2. Costos Anuales

Únicamente son parte de los costos anuales las tareas de mantenimiento, las cuales pueden incluir el reemplazo o reparación de componentes (Tabla 20). El personal operativo será considerado externo a estas actividades, aunque estos cuentan con capacidades suficientes para la supervisión de maquinaria.

Tabla 20: Costos anuales de mantenimiento equipos.

Grupo	Equipos	Costo (USD/año)
Desalinización	Plantas Osmosis	57.181,48
Transporte	Tuberías	7.560,70
	Bombas de Agua	7.710,60
Succión	Tuberías Terrestres	22,88
	Tuberías Submarinas	453,02
	Bombas de Vacío	358,98
Vertido	Tuberías Terrestres	7,24
	Tuberías Submarinas	47,78
Generación	Sistema Fotovoltaico	81.161,63
Almacenamiento	Estanque Hormigón Armado	5.521,27
	Total	160.025,58

Figura: (Elaboración Propia).

5.12. Consideraciones Legales

Son relevantes aquellos estudios e inscripciones que se encuentran exigidos en el marco legal de Chile. En este se establecen obligaciones a diversas entidades, principalmente gubernamentales, las cuales deben supervisar el cumplimiento de reglamentos, normas y leyes establecidas.

Particularmente en una planta desalinizadora, resulta significativo la entrega de información detallada de las actividades que se realizara, priorizando el cumplimiento legal del uso de recursos, espacios y especialmente lo referente el impacto ambiental, el cual se encuentra restringido a ciertos márgenes. Esto exige la inscripción con los organismos pertinentes, los cuales entregarán la autorización inicial para operar y supervisarán regularmente el impacto que el proyecto tenga tanto en la población como en el ambiente.

Adicional a plantas desalinizadoras comunes, el proyecto planificado considera indexado en su operación lo referente a la generación y venta de excedentes de electricidad, requiriéndose estudios adicionales.

5.12.1. Ley 19.300

Ley de carácter ambiental, la cual establece el contenido jurídico general relacionado al medio ambiente, centrado en la base de que las personas puedan vivir en un espacio libre de contaminación. En esta se establece cuáles son las limitaciones que tienen las entidades para temas de efecto en la naturaleza y las personas, además de establecer obligaciones de inscripción para un seguimiento constante del proyecto (Biblioteca de Congreso Nacional de Chile, 1994).

La ley se centra en 4 principios básicos, los cuales determinan cuándo las actividades deben ser sometidas a revisión por su impacto. Estos corresponden a:

- 1) El principio preventivo: mediante esto se pretende evitar que se produzcan los problemas ambientales.
- 2) El segundo principio es el que contamina paga. El propósito es el que actualmente contamina o que lo haga en el futuro, debe incorporar en sus costos de producción todas las inversiones necesarias para evitar la contaminación. Por lo tanto, los primeros responsables por disminuir la contaminación serán los particulares.
- 3) En tercer lugar, el proyecto tiene como principio inspirador el gradualismo. La ley no pretende exigir de un día para otro los estándares ambientales más exigentes, ni someter a todas las actividades del país sin importar su tamaño, a los procedimientos de evaluación ambiental.
- 4) En cuarto lugar, el proyecto establece el principio de responsabilidad, con el cual se pretende que los responsables por los daños ambientales reparen a sus víctimas de todo daño.

En el contexto del proyecto, la ley otorga la autoridad al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) para realizar las evaluaciones correspondientes según el impacto ambiental registrado. En un primer nivel, cuando los impactos previstos son acotados, se exige la presentación de una

Declaración de Impacto Ambiental (DIA); mientras que en aquellos casos donde los efectos pueden ser significativos, se requiere un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Según lo estipulado en el Artículo 11 de la ley, se establecen las condiciones bajo las cuales un proyecto debe ser sometido a un Estudio de Impacto Ambiental, centrándose en la ocurrencia de al menos un antecedente que sea considerado de alto impacto ya sea para la población, zonas naturales protegidas o alteraciones generales de espacio contemplado.

Un proyecto de desalinización de las dimensiones propuestas, en donde se tienen uso de recursos como el agua de mar y generación de residuos con un alto impacto (salmuera), se requiere aplicar el EIA para las actividades de la planta.

En forma complementaria según el Artículo 10 de la ley, se establece la aplicación de la evaluación a “Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW”, siendo para el caso una instalación fotovoltaica con capacidad cercana a los 7 MW (7000 kW) utilizada para el autoconsumo y venta de excedentes.

5.12.1.1. Estudio de Impacto Ambiental.

Según lo estipulado en el Artículo 12 de la Ley 19.300 se establece cuáles son las consideraciones que se deben tener en el Estudio de Impacto Ambiental, correspondientes a:

- a) Una descripción del proyecto o actividad.
- b) La descripción de la línea de base, que deberá considerar todos los proyectos que cuenten con resolución de calificación ambiental, aun cuando no se encuentren operando.
- c) Una descripción pormenorizada de aquellos efectos, características o circunstancias del artículo 11 que dan origen a la necesidad de efectuar un Estudio de Impacto Ambiental.

- d) Una predicción y evaluación del impacto ambiental del proyecto o actividad, incluidas las eventuales situaciones de riesgo. Cuando el proyecto deba presentar un Estudio de Impacto Ambiental por generar alguno de los efectos, características o circunstancias señaladas en la letra a) del artículo 11, y no existiera Norma Primaria de Calidad o de Emisión en Chile o en los Estados de referencia que señale el Reglamento, el proponente deberá considerar un capítulo específico relativo a los potenciales riesgos que el proyecto podría generar en la salud de las personas.
- e) Las medidas que se adoptarán para eliminar o minimizar los efectos adversos del proyecto o actividad y las acciones de reparación que se realizarán, cuando ello sea procedente.
- f) Un plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes que dan origen al Estudio de Impacto Ambiental.
- g) Un plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable.

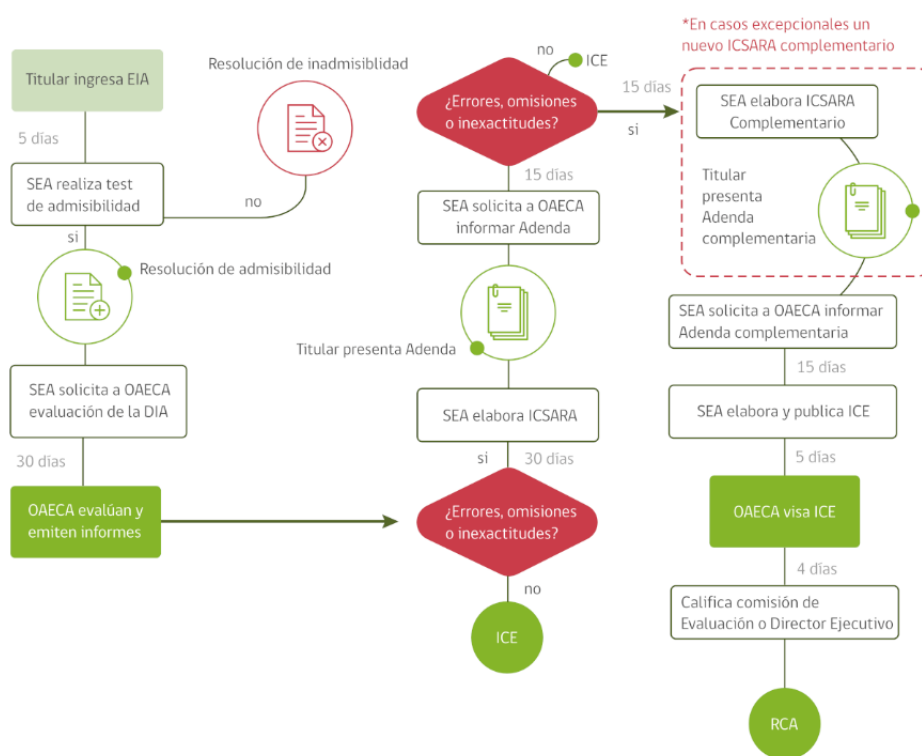
Dadas las actividades requeridas en el proyecto, se debe evaluar el efecto que tiene tanto la extracción como el vertido de desechos en el borde costero. Deben desarrollarse estudios específicos que analicen los efectos sobre los organismos marinos que pueden verse afectados por cambios en las condiciones, principalmente por cambios de salinidad que puede experimentar el agua. Adicionalmente, el agua utilizada para riego debe ser evaluada para determinar si existe un efecto dañino sobre los cultivos o el terreno en forma general, contemplando que el agua desalinizada tendrá contacto con otras fuentes naturales superficiales y subterráneas por escurrimiento.

El SEA dispone en su página web guías e instructivos donde se especifica cuáles son los procedimientos que deben ser realizados en el estudio para evaluar si se cumplen con los

requerimientos de operación. Particularmente para el caso de una desalinizadora, ya existe una guía elaborada el 2023, que establece específicamente los procedimientos a seguir para la evaluación (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

Una vez se ha realizado el envío de la información requerida, se inicia un proceso de verificación para confirmar tanto la veracidad de los datos, como si es necesario aplicar otros estudios complementarios a los entregados, según sea el caso (Figura 29).

Figura 29: Diagrama de Flujo EIA.



Fuente: (Servicio de Evaluación Ambiental, 2025).

Posterior al cumplimiento de las exigencias haya, o no operación, existe una revisión y seguimiento al iniciar actividades, con el fin de verificar el cumplimiento en el largo plazo de las medidas de mitigación que son requeridas.

5.12.1.2. Costo de Estudio de Impacto Ambiental.

Inicialmente, el estudio no tiene un costo directamente establecido por el SEA, dependiendo principalmente del tipo y dimensiones del proyecto que se esté evaluando. Con base en las exigencias de información, se requiere un equipo especializado encargado de realizar los estudios preliminares sobre los efectos que puede tener la actividad en la zona. En forma complementaria, se deben elaborar planes de manejo ambiental que permitan el adecuado seguimiento de los efectos y aplicación de las medidas de mitigación que son exigidas en las actividades de desalinización.

Utilizando como referencia un estudio similar en la provincia de Petorca (Nieto, 2022) , donde se consultó a A. Acuña, ex Director General del Servicio de Evaluación Ambiental de la región de Valparaíso, un estudio ambiental que considere un equipo profesional capacitado para las actividades requeridas tiene un costo de 100.000.000 CLP, el cual al ser convertido a la moneda de evaluación resulta en aproximadamente 107.132,91 USD.

5.12.2. Decreto 90

Decreto que establece las normas y limitantes para las emisiones de contaminantes presentes en la descarga de residuos líquidos a aguas marinas o continentales superficiales (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2001). Esto está asociado al vertido de salmuera proveniente del proceso de desalinización, el cual se encuentra planificado a ser desechado directamente al mar.

La salmuera es considerada un elemento contaminante de alto impacto, conteniendo una mayor concentración de minerales que el agua de mar previa al proceso de desalinización. Particularmente, se registran altos niveles de sal (NaCl) generando cambios considerables en el TDS del agua, lo cual puede tener un efecto perjudicial en la zona de descarga.

El decreto establece limitantes de contaminantes según una división denominada como Zona de Protección Litoral (ZPL), pudiéndose encontrar exigencias en caso de estar dentro o fuera de esta. La ZPL es una zona del borde costero, agua oceánica y superficie marítima directamente adyacente a la zona continental o insular, donde se delimita una línea imaginaria definida desde la línea de marea de sicigia, orientándose en forma paralela a esta y proyectándose hasta el fondo marítimo. El cálculo del ZPL se encuentra vigente, disponible en la página oficial de la Armada de Chile (Directamar, 2021), siendo expresado por (Ec. (14)):

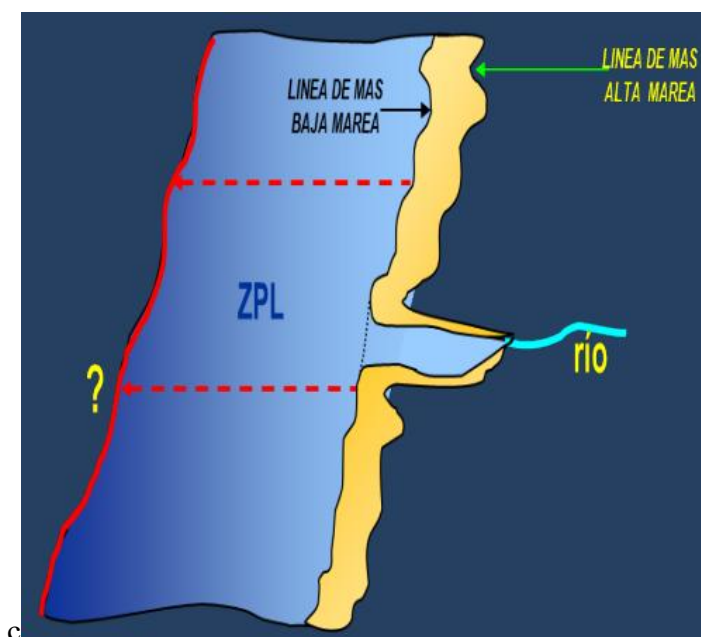
$$A = \frac{1,28 * H_b}{m} * 1,6 \quad (14)$$

Donde:

- A: Ancho de la ZPL (metros).
- H_b : Altura media de rompiente (metros) en su condición estacional desfavorable.
- m: Pendiente del fondo marino (metros).

La condición estacional desfavorable hace referencia a periodos donde se presente la mayor baja de marea, aumentando la superficie costera sin estar cubierta por agua. Una representación gráfica adecuada del ZPL corresponde a (Figura 30):

Figura 30: Representación Zona de Protección Litoral.



Fuente: (Gallegos, 2016)

En base a esto, el decreto menciona una lista de elementos que se encuentran limitados a estar presentes en el vertido en la fuente de agua. Como se especificó, existe una diferenciación en caso de estar dentro o fuera de la ZPL (Tabla 21).

Tabla 21: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro y fuera de la zona de protección litoral.

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permisible Dentro ZPL	Límite Máximo Permisible Fuera ZPL
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20	150
Aluminio	mg/L	Al	1	10
Arsénico	mg/L	As	0,2	0,5
Cadmio	mg/L	Cd	0,02	0,5
Cianuro	mg/L	CN-	0,5	1
Cobre	mg/L	Cu	1	3
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5	1
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,2	0,5
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2,5	10
Estaño	mg/L	Sn	0,5	1
Fluoruro	mg/L	F-	1,5	6
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	10	20
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV	1	2
Manganeso	mg/L	Mn	2	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,005	0,02
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1	0,5
Níquel	mg/L	Ni	2	4
PH	Unidad	pH	6,0 - 9,0	5,5 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2	1
SAAM	mg/L	SAAM	10	15
Selenio	mg/L	Se	0,01	0,03
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S SED	5	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	100	300
Sulfuros	mg/L	S2-	1	5
Zinc	mg/L	Zn	5	3

Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2001).

La descarga de salmuera se encuentra planificada a aproximadamente 100 m del borde costero, encontrándose comúnmente dentro de la ZPL requiriéndose el cumplimiento de las exigencias impuestas.

5.12.2.1. Costos de Seguimiento.

El decreto exige un seguimiento y monitoreo regular de las condiciones, requiriéndose un estudio completo del agua que evalúe los elementos mencionados. Según la cantidad de flujo vertido en forma anual, se establece la regularidad (Tabla 22):

Tabla 22: Exigencia de regularidad de seguimiento calidad del agua.

Volumen de Descarga $\frac{m^3 \cdot 10^3}{año}$	Número de Días Monitoreo Anual
< 5.000	12
5.000 – 20.000	24
> 20.000	48

Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2001).

El proyecto se encuentra planificado para generar residuos (salmuera) en un caudal de $328,83 \frac{m^3}{h}$ lo cual anualmente resulta en $1200,23 m^3 * \frac{10^3}{año}$ entrando en el rango inferior de los volúmenes mencionados. Ante esto, se estima realizar un estudio del agua en forma mensual, cumpliendo con el total de 12 días.

Se ha determinado utilizar un solo tipo de estudio del agua, el cual, pese a estar destinado para agua de riego, cumple con evaluar los elementos mencionados. Este presenta un precio referenciado en el Ministerio de Salud con un valor de 174.479 CLP con IVA incluido (Instituto de Salud Pública , 2025). Utilizando la moneda de evaluación, el costo es 186,92 USD, siendo necesario un total anual de 12 veces, resultando en $2.243,04 \frac{USD}{año}$.

5.12.3. Decreto 340

El D.F.L. N°340 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1960) regula el régimen de las concesiones marítimas en Chile. Al establecer las zonas costeras como bienes nacionales de uso público, permite otorgar concesiones de uso a instituciones privadas o públicas según la finalidad del proyecto. La facultad de concesional corresponde al Ministerio de Defensa Nacional, a través de la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas.

En el contexto de una desalinizadora, se requiere esta autorización para la instalación de obras y equipos en el borde costero, además de la extracción de agua o vertido de salmuera. Esto aplica tanto para la fase de construcción, como la inscripción de zonas que puedan afectar la libre

circulación de embarcaciones, por zonas donde se presenten tuberías marinas para las actividades de la planta.

Las concesiones se otorgan considerando la finalidad, la inversión y el impacto del proyecto, con una duración que puede alcanzar hasta 30 años, existiendo la posibilidad de renovación o reevaluación según lo determine la autoridad. No existe una tarifa determinada para las concesiones, dependiendo principalmente del tipo de proyecto que se esté evaluando y la cantidad de periodos requeridos.

En forma complementaria al decreto se estableció el D.S. N°430 que regula los procedimientos y requisitos que se deben cumplir para las concesiones marítimas (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1992) . Esto se encuentra en la página oficial de la Subsecretaria para las Fuerzas Armadas, con un manual que especifica la información requerida para la evaluación y registro de datos de la empresa solicitante (Subsecretaria para las Fuerzas Armadas, 2025). Entre las obligaciones más relevantes del registro, se establece el reconocimiento de la concesión por un plazo establecido en el Diario Oficial y Diario Regional, siendo para el caso la región de O'Higgins.

5.12.4. Ley 21.435

La Ley 21.435, correspondiente a la reforma vigente del Código de Aguas (D.F.L. N°1.122), redefine el agua bajo criterios de interés público y sustentabilidad, estableciendo que el consumo humano, el saneamiento y la preservación ambiental tienen prioridad absoluta sobre cualquier otro fin (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

Uno de los aspectos más relevantes corresponde a la transformación de los antiguos derechos de agua indefinidos en concesiones temporales, con una duración máxima de 30 años y posibilidad de renovación si se acredita su uso efectivo. Además, fortaleció a la Dirección General

de Aguas (DGA) en la fiscalización y en la protección de caudales ecológicos, humedales y reservas estratégicas.

Dado que la DGA tiene como función resguardar los caudales naturales y el abastecimiento de agua para consumo humano, el uso de agua desalinizada con fines de riego queda sujeto a su revisión en cuanto al cumplimiento de los criterios requeridos por la institución.

5.12.4.1. NCH 1.333

Complementaria a la Ley 21.435, la Dirección General de Aguas y la autoridad ambiental suelen exigir que el agua destinada a riego cumpla con estándares de calidad. Para este fin, la NCh 1.333 establece los criterios físico-químicos que el recurso debe cumplir (Instituto Nacional de Normalización, 1987). En esta se establecen particularmente los límites de ciertos minerales, además de características como presencia de partículas, conductividad y pH. Para determinar las condiciones del agua, se requieren estudios sobre esta, elaborados por empresas especializadas, requiriéndose procedimientos particulares según el tipo de característica a analizar.

Para el caso en cuestión, se consideran particularmente relevantes los elementos del agua destinada para uso de riego agrícola, en donde la norma especifica las siguientes condiciones para los elementos (Tabla 23) y la salinidad (Tabla 24):

Tabla 23: Concentraciones máximas de elementos químicos, agua de riego.

Elemento	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/l	5,00
Arsénico (As)	mg/l	0,10
Bario (Ba)	mg/l	4,00
Berilio (Be)	mg/l	0,10
Boro (B)	mg/l	0,75
Cadmio (Cd)	mg/l	0,01
Cianuro (CN-)	mg/l	0,20
Cloruro (Cl-)	mg/l	200,00
Cobalto (Co)	mg/l	0,05
Cobre (Cu)	mg/l	0,20
Cromo (Cr)	mg/l	0,10
Fluoruro (F-)	mg/l	1,00
Hierro (Fe)	mg/l	5,00
Litio (Li)	mg/l	2,50
Litio (cítricos) (Li)	mg/l	0,08
Manganeso (Mn)	mg/l	0,20
Mercurio (Hg)	mg/l	0,00
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,01
Níquel (Ni)	mg/l	0,20
Plata (Ag)	mg/l	0,20
Plomo (Pb)	mg/l	5,00
Selenio (Se)	mg/l	0,02
Sodio porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (SO ₄ =)	mg/l	250,00
Vanadio (V)	mg/l	0,10
Zinc (Zn)	mg/l	2,00

Tabla 24: Clasificación de agua para riego según salinidad.

Clasificación	Conductividad específica, c (µmhos/cm a 25°C)	Sólidos disueltos totales, s (mg/l a 105°C)
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 1987).

Otra característica de interés es el pH (alcalinidad) cuyos valores para riego se estiman entre 5,5 y 9,0 dependiendo principalmente de la tolerancia que tenga el cultivo. En los procesos de desalinización, se requiere tener en especial consideración las características del pH y salinidad,

que son los elementos básicos para determinar los equipos requeridos para la operación, los cuales tienen un cierto rango de tolerancia tanto para la generación de producto como para evitar fallas.

Teniendo como base el simulador LG Q+ Projection (Figura 23), utilizado anteriormente en el cálculo de los caudales existentes en el proceso de desalinización de la planta (Tabla 25), se puede estimar aproximadamente la presencia de los elementos minerales en cada fase (en $\frac{mg}{L}$):

Tabla 25: Estimación de cantidad de elementos presentes en el agua según el caudal analizado.

Elemento	Agua de Mar	Salmuera	Agua Desalinizada
Amonio	0	0	0
Sodio	10.237,70	18.601,08	21,42
Potasio	503,14	914,02	1,23
Magnesio	1.263,88	2.298,07	0,56
Calcio	431,04	783,75	0,19
Estroncio	7,37	13,41	0
Bario	0,01	0,02	0
Flúor	1,29	2,35	0
Cloruro	18.329,65	33.305,94	35,36
Sulfato	3.057,35	5.559,70	0,59
Nitrato	0	0	0
Carbonato	11,6	21,09	0
Bicarbonato	157,85	286,62	0,55
Boro	4,78	8,3	0,48
Bromo	0	0	0
Sílice	0	0	0
CO2	1,03	1,03	1,03
pH	8,1	8,25	6,09

Fuente: (LG CHEM, 2025)

No todos los elementos son estimados por la simulación, pero aquellos que sí aparecen se encuentran dentro de los márgenes legales. A falta de un estudio profundo, es posible decir preliminarmente que el agua está preparada para uso de riego.

Para evidenciar los elementos faltantes y cumplir la exigencia de la DGA, se requiere la realización de análisis periódicos de laboratorio que verifiquen el cumplimiento de dichos parámetros. Según lo establecido por el Instituto de Salud Pública (Instituto de Salud Pública, 2025), el costo oficial de un estudio de agua de riego corresponde a 186,92 USD. Si bien no existe una periodicidad obligatoria definida por normativa, se sugiere efectuar estos análisis de manera semestral, lo que representaría un costo aproximado de $373,84 \frac{USD}{año}$.

5.12.5. Ley 18.410

La Ley N°18.410 crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) con el objetivo de supervisar el cumplimiento de las normas legales, reglamentarias y técnicas en los sectores de electricidad, gas y combustibles líquidos, asegurando que la producción, transporte y consumo de energía se realicen bajo condiciones legales estipuladas por el organismo (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1985).

La principal atribución de la SEC es la fiscalización de las instalaciones eléctricas, la certificación de equipos y componentes, la emisión de normas técnicas complementarias y la aplicación de sanciones frente a incumplimientos o riesgos detectados. En forma general, cualquier uso de equipo eléctrico relacionado debe cumplir con los estándares establecidos.

En el caso de la planta desalinizadora que utilice energía solar fotovoltaica, ya sea para el autoconsumo o la venta de excedentes, es requerida la aprobación de la SEC tanto en términos de diseño como de instalación, principalmente para cumplir con las exigencias de conexión al Sistema Eléctrico. Uno de los principales elementos a cumplir corresponde al certificado TE1, el cual se complementa con planos y cálculos eléctricos que deben cumplir con las normas de seguridad. Adicionalmente, se requiere la instalación de equipos de monitoreo que reportan regularmente la información operativa, validando el cumplimiento de las exigencias de seguridad y permitiendo la facturación de la energía conforme a la normativa vigente.

El costo de los estudios de instalación y puesta en marcha se encuentra contabilizado en el sistema de generación fotovoltaica calculado anteriormente (Anexo 4). En caso de requerirse información complementaria, empresas distribuidoras como Enel disponen de tarifas actualizadas para Pequeños Medios de Generación Distribuida (PMGD), dependiendo de las condiciones de conexión establecidas (ENEL, 2025).

5.13. Parámetros de Evaluación.

Se establecen como elementos básicos de la evaluación de proyectos de desalinización, lo referente al plazo de evaluación y la tasa de descuento. A pesar de que estos pueden ser variables según la finalidad y financiación (pública o privada), existen leyes que son utilizadas como referencia para un estudio adecuado.

En forma complementaria, se mencionan elementos que serán presentados en el flujo de caja, los cuales no se encuentran legalmente establecidos, pero son generales en términos financieros. Además, mediante el flujo de caja es posible estimar preliminarmente la rentabilidad bajo condiciones impuestas.

5.13.1. Horizonte de Evaluación.

Se utiliza como referencia el D.F.L. N°70 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1988), definido como “Ley de Tarifas de Servicios Sanitario”, en donde se establecen las condiciones mínimas al momento de realizar la evaluación de un proyecto destinado a agua potable o alcantarillado. Pese a que el proyecto no se encuentra destinado a la potabilización de agua, es factible considerarse dentro del mismo alcance, pudiéndose modificar las condiciones del agua para adecuarla a ese fin.

En el decreto, se establece como horizonte de evaluación un periodo no menor a 15 años. Utilizando literatura complementaria, donde se han evaluado otros proyectos de desalinización, es factible considerar un periodo de 20 años, permitiendo el pleno desarrollo de las actividades de la planta, además de cumplir con el marco legal establecido para estos proyectos.

5.13.2. Capital de Trabajo

Un elemento que es requisito como estándar financiero, es el capital de trabajo, el cual corresponde a los recursos para financiar la operación del proyecto, considerando elementos clave

como personal e insumos. Esto se aplica como forma de provisionar recursos ante la posible demora de flujos de ingresos que puede experimentar la empresa al iniciar sus operaciones.

Pese a no ser una obligación legal, el capital de trabajo es un criterio financiero usualmente requerido, como forma de justificar las fuentes operacionales iniciales. No existe una única forma de realizar el cálculo, por lo que, utilizando información de otras evaluaciones de desalinizadoras, se ha decidido estimar un capital de trabajo igual a 4 meses de costos operacionales, incluyendo remuneraciones, mantención y estudios anuales. Estos elementos corresponden a los gastos anuales operacionales, siendo destinado un cuarto de estos como capital de trabajo, el cual ingresa al flujo como gasto de inversión y es recuperado al final del periodo de evaluación, al no presentar un movimiento real de activos (Montes Siña, 2011).

5.13.3. Tasa de Descuento

El proyecto no ha sido definido para ser exclusivamente de inversión privada o pública, por lo que se pueden utilizar distintas tasas de descuento según sea el caso.

En caso de inversión privada, depende principalmente del interés de inversionistas en el proyecto, relacionando el riesgo con la ganancia esperada de este. Utilizando como referencia el D.F.L. N°70 Art 5, se sugiere aplicar una tasa de retorno entregada por el Banco Central, que es relacionada con los bonos transados en moneda nacional en un plazo de 8 o más años, a lo que se le debe considerar un premio por riesgo entre los rangos del 3-3,5%. Para evitar las variaciones que puedan presentar en el transcurso del presente año (2025), se ha decidido utilizar el valor de cierre del año 2024 con un valor de 5,81% (Banco Central, 2025), a lo cual se le suma el promedio del rango de premio por riesgo (3,25%) resultando en 9,06% como tasa de descuento privada del proyecto.

En inversión pública se utiliza una menor exigencia de rentabilidad económica, atribuida al beneficio social que podrían recibir las personas en caso de llevarse a cabo el proyecto. Para esto se utiliza un indicador que se encuentra determinado por la Subsecretaría de Evaluación Social bajo el nombre de Tasa Social de Descuento (TSD) la cual se encuentra fija a partir del 2024 en 5,5 % (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2024).

5.13.4. Evaluación de Rentabilidad

Como regla financiera generalmente utilizada, se establece que el indicador preliminar que define la rentabilidad económica del proyecto es el VAN. Dado que se han fijado las tasas de retorno esperadas para cada uno de los tipos de inversión, es esperable tener como indicador base de rentabilidad un VAN positivo para cada caso.

Adicionalmente, según lo estipulado por el D.F.L. N°70 una forma de estimar la rentabilidad de los proyectos es cuando el VAN es 0 o también llamado TIR del proyecto. Ante esto, se debe evaluar si la tasa obtenida es igual o superior a la esperada, siendo en caso contrario un proyecto no rentable.

5.14. Constitución de Empresa.

Dado que el proyecto busca la venta de agua a los consumidores, se debe constituir como una empresa con inicio de actividades. Esto se debe a las obligaciones establecidas en el Código de Comercio, el cual estipula que, en caso de existir habitualidad o recursividad en la venta de un bien, la actividad debe ser considerada un acto de comercio, requiriendo la constitución como una empresa formalmente reconocida.

Esto se complementa con las exigencias del Servicio de Impuestos Internos (SII), que exige el inicio de actividades para cualquier persona natural o jurídica que desarrolle actividades económicas de manera continua, con el fin de asegurar el pago de impuestos y el registro de los

ingresos generados. La aplicación es independiente del tipo de empresa que se considere, incluyendo tanto a privados como públicos.

Aunque el proyecto se encuentra destinado a agua para riego, es posible evaluar modificaciones que permitan hacerla potable. En caso de ocurrir esto, el D.F.L. N°382, conocido como Ley General de Servicios Sanitarios (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2014), exige que la empresa sea fiscalizada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios mediante concesiones sanitarias de operación como sociedad.

En Chile se reconocen principalmente tres tipos de sociedades comerciales involucradas en los procesos de desalinización, variando principalmente en el tamaño de las plantas, siendo estas: Empresa Individual de Responsabilidad Limitada (E.I.R.L.), Sociedad Anónima (S.A.) y Sociedad por Acciones (SpA). Las dos últimas son las más adecuadas para proyectos medianos y grandes, seleccionándose en este caso una Sociedad Anónima por los altos requerimientos de inversión considerados, lo que permite la atracción de una mayor cantidad de inversionistas que puedan compensar los altos costos.

En términos legales, la Ley N°18.046 es la encargada de regular las Sociedades Anónimas, considerando aspectos como la constitución, administración y fiscalización (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1981). Independiente de si la S.A. es constituida como abierta o cerrada, se mantienen características generales correspondientes a (MisAbogados, 2021):

- Es una sociedad de capitales sin importar quiénes son los socios.
- El capital se divide en acciones. Es decir, el peso político para la toma de decisiones de la sociedad está dado por el número de acciones y no por el número de accionistas.
- Las acciones son y deben ser nominativas, en consideración a la transparencia y movimientos de las decisiones dentro de la empresa.

- Es una sociedad solemne. Esto implica que tanto para su constitución como para su modificación se requiere del cumplimiento de determinadas formalidades legales, las cuales deben ser realizadas en base a la aprobación de los accionistas.
- Tiene un sistema de administración legal. Es decir, tienen un directorio que las administra, cuyas atribuciones, facultades, derechos y obligaciones se encuentran estipuladas en la ley.
- Las acciones son nominativas y de libre "cesibilidad". Es decir, un accionista puede vender sus acciones a quien quiera. Esto es así porque la S.A. es de capital, por lo que la persona da lo mismo.
- Cualquier restricción o limitación a la transferencia de acciones es válida, siempre que no sea una prohibición. Es decir, puedo pactar requisitos, exigencias y limitaciones para la transferencia, pero jamás se pueden prohibir.
- Son siempre mercantiles, esto significa que la naturaleza jurídica de la S.A. es siempre comercial, sin embargo, siempre puede ejecutar actos civiles según las facultades estipuladas en el régimen legal de Chile.

Respecto al procedimiento de constitución de la sociedad, existe una serie de requisitos que deben ser realizados (Diario Oficial, 2025):

- Elaboración de la escritura de constitución de sociedad, la cual debe ser redactada y patrocinada por un abogado.
- Legalización de la escritura, en presencia de todos los socios que la componen con su cédula de identidad.
- Publicación del extracto de la escritura en el sitio web del diario oficial.
- Inscripción en el registro de comercio, para hacer efecto la actividad comercial a desarrollar.

5.14.1. Costo de Constitución

Existen múltiples compañías de abogados que ofrecen el servicio de apoyo al constituir una sociedad, ya sea en la preparación de la escritura como en los temas legales requeridos. Las tarifas manejadas suelen expresarse en función del porcentaje de capital aportado y en unidades monetarias reajustables a la inflación (UTM y UF), lo que permite su aplicabilidad de manera proporcional e independiente del monto de inversión y la fecha en que se realice la constitución.

A pesar de que se sugiere utilizar el capital social como referencia, el monto de la inversión del proyecto es considerablemente alto en relación con las empresas normalmente constituidas, por lo que en la práctica se aplican toques en los cobros, principalmente en los honorarios de abogados.

Para el cálculo, se utilizan los valores de cierre al 31 de agosto de 2025 con valores de UF en 39.383,07 CLP (Servicio de Impuestos Internos, 2025) y UTM en 68.647 CLP (Servicio de Impuestos Internos, 2025). Respecto al capital social de la empresa, se considera el monto invertido en los equipos de la planta, valorizados en 16.983.701,99 USD, lo cual constituye la base sobre la cual los abogados realizan sus cálculos de honorarios.

En base a lo presentado por algunas empresas de abogados, los costos de asesoramiento se distribuyen de la siguiente forma:

- Revisión de escritura y patrocinio: Considerando el pago de honorario de los abogados, se estima un monto del 0,7-4,0 % del capital social con valores mínimos de 7 UF y un máximo de 200 UF. Para el caso, se aplica el límite superior, resultando en un costo de 7.876.614 CLP u 8.438,45 USD (Alazu, 2025).
- Aprobación de escritura y extracto: Valida consistencias de la escritura, con un costo asociado del 0,1% del capital, resultando en 16.983,7 USD (Abogados del Maule, 2021).

- **Publicación de extracto en Diario Oficial:** Se permite la publicación física o en la página web. Para empresas con un capital social inferior a los 5.000 UF es gratuito, teniendo para otros casos un costo de 1 UTM que resulta en 68.647 CLP o 73,54 USD (Abogados del Maule, 2021).
- **Inscripción en Registro de Comercio:** Dependiendo del capital social, se establecen rangos topes, con valores entre 75.000 CLP y 256.000 CLP. Para el caso, el monto de inversión es superior a 128.000.000 CLP requiriéndose un pago de 256.000 CLP o 274,26 USD.

Considerando todos los costos mencionados, se obtiene un total de 25.769,95 USD a ser considerado como inversión en estudios. El monto resulta elevado, al requerirse asesoría profesional para la preparación de la escritura y estructura base de la sociedad, con el fin de que se encuentre validada legalmente.

5.15. Personal Operacional

Según lo planificado, la planta tendrá una operación continua de 10 horas, las cuales se encuentran dentro del límite laboral que puede realizar un trabajador diariamente. Ante esto, se considera adecuado preparar 2 turnos semanales con modalidad 4 x 3, con una jornada diaria de 10 horas y semanal de 40 horas.

El personal requerido debe cumplir con la formación académica y capacitación que les permita realizar las actividades operativas de la maquinaria asignada. Adicionalmente, se contempla que los trabajadores cuenten con las capacidades de realizar tareas de mantenimiento básicas, permitiendo mantener operativos los equipos críticos.

Se han designado 3 grupos básicos requeridos para la operación de la planta, los cuales corresponden a:

- 1) Operarios: Personal destinado al manejo de la planta, regulando el funcionamiento de la maquinaria de acuerdo con los requerimientos productivos. Para este caso, se reconocen 2 tipos:
 - a. Operadores de desalinización y bombas: Responsables de operar los equipos de ósmosis inversa y bombas de agua, teniendo que ajustar los parámetros según la calidad del agua de mar y requerimientos productivos, lo que incide directamente en la calidad del agua desalinizada, que posteriormente tendrá que ser transportada en base a las condiciones de esta.
 - b. Operador del sistema de generación fotovoltaica: Encargados de supervisar el funcionamiento del sistema de generación fotovoltaica conectado a la planta, priorizando el correcto funcionamiento de la conexión eléctrica requerida por los equipos y entrega de excedentes a la red.
- 2) Mantenedores: Personal destinado a realizar las mantenciones preventivas y correctivas de los equipos de la planta. Únicamente se considera necesario mantenimiento para los equipos de osmosis inversa y el sistema de tuberías (incluyendo bombas). El sistema de generación tiene un funcionamiento independiente, que puede ser cubierto por un operador capacitado.
- 3) Supervisor de Planta: Encargado de las actividades generales de la planta, coordinando y supervisando las operaciones diarias, y asegurando el cumplimiento de la producción y el mantenimiento de los equipos.

Dado que la empresa se considera de medio tamaño, el supervisor de planta es multifuncional, realizando también actividades administrativas como la gestión básica de recursos humanos, control de remuneraciones, coordinación con proveedores

(especialmente en la adquisición de repuestos) y seguimiento legal para la renovación de permisos requeridos.

Dada la disponibilidad formativa en las zonas cercanas (Pichilemu), se consideran trabajadores con nivel técnico para las distintas asignaciones, a excepción del supervisor de planta, que requiere mayor formación centrada en multifunciones.

Los puestos y formación requeridas, para el cumplimiento de 2 turnos corresponden a:

- 6 Operadores Equipos Osmosis/Bombas: Técnico de Planta Tratamiento de Agua.
- 2 Operadores Sistema de Generación: Técnico de instalación y mantenimiento de energía solar fotovoltaica.
- 2 Mantenedores Equipos de Osmosis/Bombas: Técnico mecánico industrial
- 2 Supervisores de Planta: Ingeniero Industrial.

5.15.1. Cálculo de Remuneraciones

Bajo el marco legal chileno, se han establecido 5 elementos relevantes en la mensualidad bruta de los trabajadores, correspondientes a:

- Cotización de Salud Fonasa (Chile Atiende, 2025) : 7 %.
- Cotización AFP (Superintendencia de Pensiones, 2025): 10%
- Cotización Adicional AFP Modelo (Superintendencia de Pensiones, 2025): 0,58%.
- Seguro de Cesantía:0,6%.
- Seguro de Invalidez y Sobrevivencia (Superintendencia de Pensiones, 2025): 1,88%.

El único elemento elegido de forma arbitraria corresponde a la cotización de AFP Modelo, que es a la fecha (Julio 2025), la que presenta más afiliados.

En forma complementaria, se ha estipulado un porcentaje adicional del seguro de cesantía, aplicado a contratos indefinidos, con un porcentaje del 2,4 % del sueldo imponible, siendo para

este caso el sueldo bruto. Este corresponde a un gasto adicional de la empresa, que no debe ser aplicado en el descuento del trabajador (Superintendencia de Pensiones, 2025).

Para establecer las remuneraciones se ha utilizado la página Indeed (Indeed, 2025) para cada uno de los cargos. El costo de la empresa se ha establecido en base al sueldo bruto, lo cual esta resumido en la Tabla 26:

Tabla 26: Costo de sueldo según tipo de personal.

Cargo	Cantidad	Sueldo Líquido (CLP)	Sueldo Bruto (CLP)	Costo Empresa (CLP)	Costo Total Empresa (CLP)
Operario Desalinizadora/Bombas	6	559.580	700.000	716.800	4.300.800
Operario Generación	2	643.090	804.466	823.773	1.647.546
Mantenedor Desalinizadora/Bombas	2	650.210	813.372	832.893	1.665.786
Supervisores de Planta	2	800.728	1.001.661	1.025.701	2.051.402
Total	12	2.653.608	3.319.499	3.399.167	9.665.534

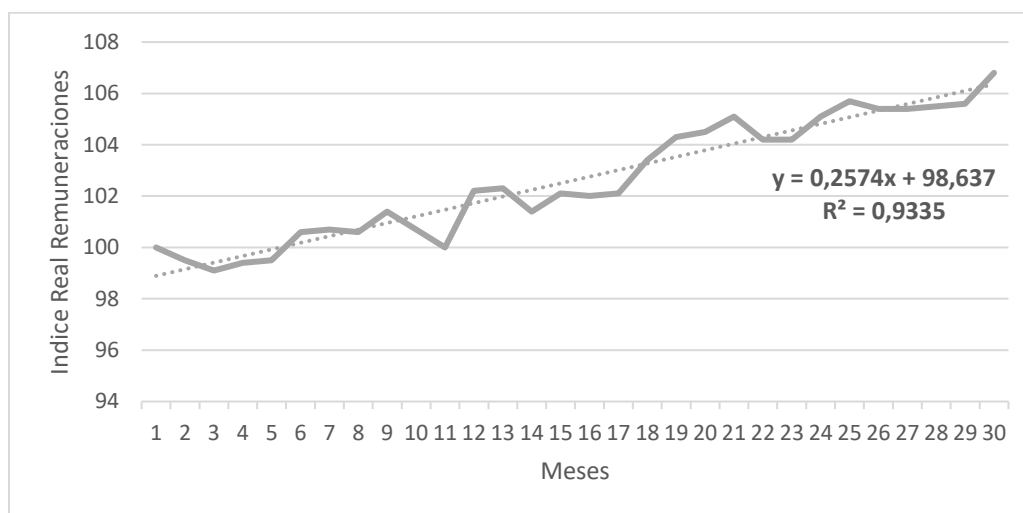
Fuente: (Elaboración Propia).

Realizando la suma del costo total del personal en forma anual, se obtienen 115.986.408 $\frac{CLP}{año}$, lo cual puede ser convertido resultando en 124.259,61 $\frac{USD}{año}$.

Se ha decidido utilizar como base para medir las variaciones el Índice Real de Remuneraciones disponible en el Banco Central (Banco Central de Chile, 2025), el cual establece como es la evolución de las remuneraciones pagadas a los trabajadores de forma real, implicando que ya se ha descontado la inflación. Este no permite realizar una segregación por sector productivo, pero mediante el cambio permite interpretar un comportamiento generalizado esperado.

El índice utiliza como base distintos años, siendo el más reciente el establecido en el año 2023, el cual es considerado como 100. El comportamiento mensual posterior puede ser observado en la Figura 31, donde el mes 1 es Enero del 2023 y el 30 es Junio del 2025:

Figura 31: Índice Real de Remuneraciones, entregado por el Banco Central.



Fuente: (Banco Central de Chile, 2025).

Pese a que existe una diferencia del valor estimado respecto a los datos reales, existe un comportamiento que puede ser considerado como lineal al largo plazo, con datos que se encuentran cercanos a una tendencia de este tipo. Para obtener el crecimiento relativo porcentual en base a los datos, se divide la pendiente de la ecuación por el promedio en los 30 meses contemplados, con un valor de 102,63 resultando en una variación porcentual del 0,2508% mensualmente. Considerando que el proyecto es evaluado en forma anual, se obtiene una variación incremental aproximada de 3,01% constante durante el periodo de evaluación.

Considerando el inicio de operaciones en el año 2026, se obtienen los siguientes costos en remuneraciones (Tabla 27):

Tabla 27: Costo de remuneraciones para la duración de evaluación del proyecto.

Año	Costo Anual (USD)
2026	127.999,82
2027	131.852,62
2028	135.821,38
2029	139.909,61
2030	144.120,89
2031	148.458,92
2032	152.927,54
2033	157.530,66
2034	162.272,33
2035	167.156,73
2036	172.188,14
2037	177.371,01
2038	182.709,87
2039	188.209,44
2040	193.874,55
2041	199.710,17
2042	205.721,45
2043	211.913,66
2044	218.292,26
2045	224.862,86

Fuente: (Elaboración Propia)

5.16. Estimación de Ingresos

Los ingresos de la planta surgen de 2 fuentes, correspondientes a la venta del agua desalinizada y excedentes eléctricos no utilizados en el proceso de desalación.

5.16.1. Venta de Agua

En la zona de cultivo no existen fuentes de agua superficiales considerables, por lo que, en base a estudios agrarios, se estima que el origen prioritario es mediante pozos. El costo de estos tiene 2 componentes: una fija por el derecho de extracción y otra variable por el costo energético que tiene el uso de una bomba de agua.

Existen 2 acuíferos que alimentan los pozos en la zona, siendo estos el Acuífero Tinguiririca Inferior y Acuífero Costeras VI (Estero Topocalma). Ambos se encuentran bajo la

condición de Zona de Prohibición, lo cual restringe la creación de nuevos puntos y limita la extracción de agua desde estos. Esto genera que exista un aumento del costo del derecho del agua, el cual únicamente puede ser obtenido adquiriéndolo desde otros propietarios.

A partir del 2022, mediante la Ley 21.435 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022), se ha establecido que los derechos de extracción se encuentran limitados a 30 años. La adquisición del derecho de agua por $\frac{L}{s}$ en el acuífero Tinguiririca Inferior se encuentra valuado en 24.174.031 $\frac{CLP}{(L/s)}$ (Agua Circular, 2025), atribuyendo el mismo valor a las zonas circundantes.

Considerando una producción diaria de 2690,38 $\frac{m^3}{día}$, realizando la conversión se obtiene un requerimiento aproximado de 31,14 $\frac{L}{s}$. Utilizando el costo del derecho de cada $\frac{L}{s}$, se estima que para cumplir con el requerimiento se requiere 752.779.325,3 CLP, el cual al ser valorizado en 30 años resulta 25.092.644,18 $\frac{CLP}{año}$. Se supone que la planta tendrá una operación anual plena, traduciéndose en 981.988,7 $\frac{m^3}{año}$, lo cual en base a la valorización del derecho anual se obtiene un aproximado de 25,55 $\frac{CLP}{m^3}$.

Según un estudio del Servicio de Evaluación Ambiental, se ha establecido que la profundidad de los pozos en la zona de Litueche y La Estrella se encuentran en rangos de 60-80 m de profundidad (Servicio de Evaluación Ambiental, 2020). Dada la antigüedad del documento y considerando que la situación hídrica empeoró durante el periodo 2020-2022, es adecuado contemplar los 80 m de profundidad. Pese a que el nivel freático de extracción puede ser en alturas superiores, se utilizara este como nivel constante de extracción durante el periodo de evaluación.

El elemento variable depende principalmente del consumo eléctrico que tiene la extracción de agua subterránea. Se requiere estimar la potencia eléctrica requerida en bombas, la cual es expresada por la Ec. (15) (Sugar Process, 2025):

$$P = \frac{\rho * g * Q * H}{\eta} \quad (15)$$

Donde:

- P: Potencia eléctrica.
- ρ : Densidad del agua.
- g: Aceleración de gravedad.
- Q: Caudal de extracción.
- H: Altura total de carga.
- η : Eficiencia del sistema.

Se utilizarán valores estándar en el caso, siendo la densidad del agua $1000 \frac{kg}{m^3}$, con una aceleración de gravedad en la zona de $9,81 \frac{m}{s^2}$ y un caudal aproximado de $31,14 \frac{L}{s}$. La altura base de extracción se supone en 80 m, pero se debe considerar una reducción del nivel por la extracción y pérdidas del sistema, utilizando para el caso un 10 % de la profundidad, resultando en 88 m de carga.

La eficiencia del sistema considera múltiples factores, en donde se incluye la eficiencia propia de la bomba y el motor, a lo que se le suman otras pérdidas que inciden en la potencia real requerida (Universidad de Arkansas, 2025). Existe gran dependencia del caudal, mantenciones y tipo de maquinaria utilizada, pero basándose en literatura los valores de eficiencia del sistema rondan los 65-90% (Sanitary Fittings, 2025), considerándose para el caso un sistema de eficiencia media con un valor de 80% (0,8), siendo un valor relativamente alto para una zona de agricultura convencional.

Utilizando la información anterior, se obtiene que la potencia requerida aproximada corresponde a 33,6 kW en total. Para el cálculo del consumo eléctrico, se puede estimar cuál es el requerimiento por cada metro cúbico extraído, expresado por (Ec. (16)):

$$\frac{kW}{(m^3/h)} = \frac{P}{Q} \quad (16)$$

Considerando que el caudal corresponde a $112,104 \frac{m^3}{h}$ ($31,14 \frac{m^3}{s}$), se obtiene un consumo aproximado de $0,3 \frac{kW}{m^3}$. Se estimó que la extracción es realizada en 24 horas para un total de $2690,38 \frac{m^3}{día}$ resultando en un consumo eléctrico de $807,114 \frac{kW}{día}$.

Los costos eléctricos dependen del tipo de servicio contratado, incidiendo tanto el consumo de energía como la potencia demandada. En Chile no existe una tarifa única y estándar, sino que estas varían según el nivel de tensión, el uso y la forma de cobro que haya acordado cada cliente con el proveedor eléctrico. Para el presente caso, se selecciona la tarifa BT-2, una alternativa regulada en baja tensión que resulta adecuada para aplicaciones agrícolas y satisface los requerimientos de potencia calculados para el sistema de extracción.

Dada la ubicación del lugar de cultivo, se estima adecuado utilizar la información de tarifas de la comuna de La Estrella. El proveedor de costos corresponde a la Compañía General de Electricidad (CGE), la cual establece las tarifas que son cobradas para cada una de las comunas dentro del grupo. Estas tarifas se son publicadas de manera mensual y se estima que una vez contratadas se mantiene un régimen constante de cobro (Compañía General de Electricidad, 2025).

Los datos por ubicación son generales, a excepción del Cargo por Servicio Público (CSP), que depende principalmente del rango de consumo mensual de energía. La clasificación va de 1-5, iniciando para consumos inferiores a 350 kWh y el límite superior para superiores a 5.000 kWh. Considerando que el consumo diario estimado es de $807,114 \frac{kWh}{día}$ y el mes con menor duración es de 28 días con un consumo de 22.599,19 kWh, es adecuado el nivel 5 de la clasificación.

Considerando las tarifas establecidas, se ha elaborado la Ec. 17 para el cálculo del costo mensual adecuado para el caso de estudio:

$$CM = CF + E (CT + CSP * 1,19 + CE) + P * (CPP + CPP_{parcial}) \quad (17)$$

Donde:

- CM: Costo mensual (\$).
- CF: Cargo fijo mensual BT2 ($\frac{\$}{cliente}$).
- E: Consumo eléctrico mensual (kWh).
- CT: Cargo por uso del sistema de transmisión ($\frac{\$}{kWh}$).
- CSP: Cargo por servicio público ($\frac{\$}{kWh}$). No incluye IVA.
- CE: Cargo por energía ($\frac{\$}{kWh}$).
- P: Potencia máxima requerida por el sistema (kW)
- CPP: Cargo por potencia presente en punta ($\frac{\$}{kW*mes}$).
- $CPP_{parcial}$: Cargo por potencia parcialmente presente en punta ($\frac{\$}{kW*mes}$).

Los costos a excepción del CSP tienen IVA incluido. El CPP y $CPP_{parcial}$ depende principalmente del horario y la cantidad de potencia que se requiera, siendo para el caso constante en 33,6 kW correspondiendo utilizar únicamente el CPP si no existen variaciones en la operación. Se ha establecido que las horas punta son aplicadas desde 01 de Abril hasta el 30 de Septiembre, en los horarios de 18:00 a 22:00 según el decreto 3T de 2023 (ENEL, 2025).

Anteriormente, se estableció que la potencia requerida es de 33,6 kW con un consumo diario de $807,114 \frac{kWh}{día}$. Las tarifas son modificadas de forma mensual (Tabla 28), requiriéndose al menos 1 año para establecer el comportamiento del costo en el estudio, para lo cual se utilizan los últimos registros iniciando en Septiembre del 2024 hasta Agosto del 2025:

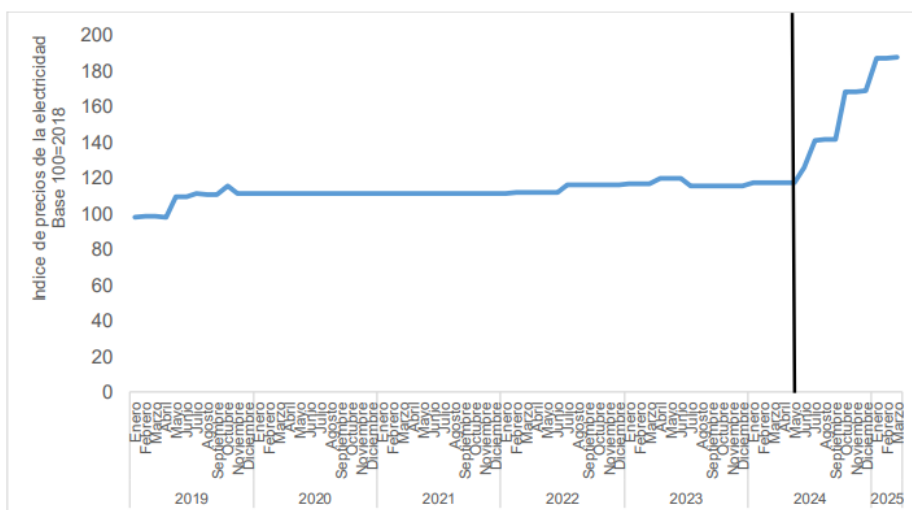
Tabla 28: Componentes del costo eléctrico establecido por el CGE.

Mes	Días	CF	CT	CSP	CE	CPP	CM (CLP)
sept-24	30	986,33	29,25	3,732	87,194	22.652,80	3.689.161,62
oct-24	31	988,83	29,25	3,732	87,194	-	3.025.598,08
nov-24	30	989,69	29,25	3,732	132,52	-	4.025.528,38
dic-24	31	999,31	29,25	3,905	132,52	-	4.164.840,27
ene-25	31	1.001,88	26,785	3,905	122,386	-	3.849.609,13
feb-25	28	999,89	26,785	3,905	122,386	-	3.477.161,28
mar-25	31	1.010,51	26,785	3,905	122,386	-	3.849.617,76
abr-25	30	1.014,44	26,785	3,905	122,386	25.251,00	4.573.906,67
may-25	31	1.019,57	26,785	3,905	122,386	25.130,50	4.694.011,62
jun-25	30	1.021,57	26,785	3,905	122,386	25.390,80	4.578.611,08
jul-25	31	1.023,57	22,965	3,905	122,386	25.265,00	4.602.956,38
ago-25	31	1.019,35	22,965	3,905	136,103	25.578,50	4.956.692,42
						Total	49.487.694,68

Fuente: (Compañía General de Electricidad, 2025).

Considerando la producción anual de $981.988,7 \frac{m^3}{año}$ se obtiene un costo aproximado de $50,40 \frac{CLP}{m^3}$. El precio de la electricidad se encuentra variando constantemente, requiriéndose actualizar este costo según la cantidad de periodos que dure el proyecto evaluado.

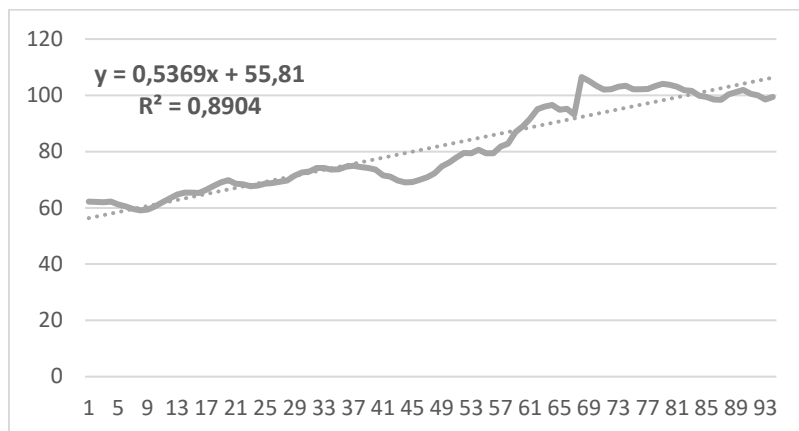
Actualmente, no existe un modelo concreto que permita realizar predicciones acordes para el precio de la electricidad (Figura 32). Esto se debe a cambios en las políticas gubernamentales y del mercado, que recientemente han generado variaciones anormales que impiden predecir con seguridad el costo en el largo plazo.

Figura 32: Registro histórico del índice de precios de la electricidad.

Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2025).

Ante la inestabilidad del precio, se ha optado por utilizar como base el Precio Medio de Mercado Sistema Eléctrico Nacional (PMM SEN), el cual recopila el precio transado al mercado mayorista. Pese a no ser directamente un valor real de los consumidores (no incluye transmisión, distribución ni impuestos), el comportamiento puede ser considerado como la variación normal del precio en un escenario normal.

El valor histórico se encuentra disponible en la Comisión Nacional de Energía, donde se informa el valor del PMM SEN de forma mensual (Comisión Nacional de Energía, 2025). El primer reporte corresponde a Diciembre de 2017 y termina en Septiembre 2025, contabilizando 94 meses, elaborándose el siguiente gráfico (Figura 33):

Figura 33: Valor PMM SEN histórico mensual en [\$/kWh].

Fuente: (Comisión Nacional de Energía, 2025)

Pese a que el comportamiento no es completamente lineal, es posible identificar una tendencia similar, presentándose periodos de aumentos y disminuciones que terminan asemejándose a este crecimiento. Se registra que el promedio de todos los meses corresponde aproximadamente a $81,32 \frac{\$}{MWh}$, el cual puede ser utilizado dividiendo la pendiente de la ecuación para 12 meses ($\frac{0,5369 \cdot 12}{81,32}$), resultando en una variación anual de 7,92%.

Esto es aplicado únicamente al costo de la electricidad calculado en $50,40 \frac{CLP}{m^3}$, al cual se le debe sumar el valor constante de la adquisición del derecho de extracción de agua de pozo de $25,55 \frac{CLP}{m^3}$. El costo eléctrico, que puede ser considerado como el ingreso por venta de agua para el periodo de evaluación, corresponde a (Tabla 29):

Tabla 29: Costo eléctrico extracción de agua.

Año	Costo Unitario (CLP/m3)	Costo Total (CLP)	Costo Total (USD)
2026	79,94	78.496.931,38	84.096,05
2027	84,24	82.726.775,29	88.627,60
2028	88,89	87.291.622,84	93.518,05
2029	93,91	92.218.006,31	98.795,83
2030	99,32	97.534.559,36	104.491,61
2031	105,17	103.272.183,41	110.638,49
2032	111,47	109.464.227,28	117.272,21
2033	118,28	116.146.681,03	124.431,32
2034	125,62	123.358.385,11	132.157,43
2035	133,55	131.141.256,16	140.495,44
2036	142,10	139.540.530,59	149.493,83
2037	151,33	148.605.027,56	159.204,89
2038	161,29	158.387.432,69	169.685,06
2039	172,04	168.944.604,30	180.995,27
2040	183,65	180.337.903,91	193.201,24
2041	196,17	192.633.552,85	206.373,93
2042	209,68	205.903.017,18	220.589,89
2043	224,26	220.223.423,09	235.931,76
2044	240,00	235.678.005,14	252.488,70
2045	256,99	252.356.590,10	270.356,96

Fuente: (Elaboración propia).

Estos valores corresponden a los ingresos máximos que podrían ser obtenidos al vender agua al mismo precio que los consumidores teóricamente estarían dispuestos a pagar. Es posible reducir marginalmente el costo para estos, con la finalidad de atraer el interés a adquirir el producto de la empresa.

5.16.2. Venta de Excedentes

La instalación de paneles solares se encuentra basada en la capacidad requerida para el peor mes de radiación solar, correspondiente a Junio, existiendo el resto de los meses un excedente que fue considerado para ser vendido a la red eléctrica. Se establecieron 3 ubicaciones (A, B, C) con su correspondiente capacidad, siendo estas A: 4.323,59 / B: 1.301,65 / C: 1323,53 kW.

Dado que la capacidad instalada es inferior a 9 MW (~ 7 MW), es considerada como un Pequeño Medio de Generación Distribuida (PMGD) permitiendo la venta de electricidad mediante un precio estabilizado. Este precio presenta un comportamiento estable de forma semestral, permitiendo estimar los ingresos recibidos a diferencia de la venta al mercado spot.

El precio estabilizado se encuentra regido por bloques de horarios con una cierta tarifa por cada kWh vendido al sistema. Estos bloques corresponden a una división de las 24 horas del día en 6 bloques de 4 horas cada uno. La tarifa más reciente corresponde a la del primer semestre del 2025, con los siguientes valores (Tabla 30):

Tabla 30: Precio estabilizado por bloque horario.

Horario	01:00 - 04:00	05:00 - 08:00	09:00 - 12:00	13:00 - 16:00	17:00 - 20:00	21:00 - 24:00
Bloque	1	2	3	4	5	6
\$/kWh	83,221	69,871	29,433	28,375	50,073	94,493

Fuente: (Comisión Nacional de Energía, 2025)

Es necesario establecer cómo es la distribución de generación diaria en cada uno de los bloques de horarios para las ubicaciones A (Tabla 31), B (Tabla 32) y C (Tabla 33). Utilizando el Explorador Solar (Ministerio de Energía, 2025), se descargan los datos de generación requeridos para los bloques de horario con disponibilidad solar (2-5), cuyo porcentaje de generación respecto al total diario corresponde a:

Tabla 31: Porcentaje de generación diario por horario en ubicación A.

Ubicación A	2	3	4	5
Enero	8,89%	32,74%	37,45%	20,92%
Febrero	7,59%	33,01%	38,46%	20,94%
Marzo	6,09%	36,18%	40,20%	17,52%
Abril	5,76%	38,08%	42,25%	13,91%
Mayo	2,34%	41,09%	45,42%	11,14%
Junio	0,00%	42,31%	47,13%	10,56%
Julio	0,00%	42,62%	45,03%	12,34%
Agosto	4,70%	39,05%	42,59%	13,67%
Septiembre	7,44%	38,03%	40,01%	14,52%
Octubre	10,35%	36,20%	38,30%	15,15%
Noviembre	11,94%	34,06%	36,87%	17,13%
Diciembre	11,55%	33,19%	36,17%	19,09%

Tabla 32: Porcentaje de generación diario por horario en ubicación B.

Ubicación B	2	3	4	5
Enero	9,55%	32,92%	36,83%	20,69%
Febrero	8,39%	33,48%	37,54%	20,59%
Marzo	6,38%	37,14%	40,05%	16,43%
Abril	6,15%	38,91%	42,25%	12,68%
Mayo	2,47%	41,47%	44,95%	11,11%
Junio	0,00%	42,82%	46,46%	10,72%
Julio	0,00%	42,82%	44,78%	12,40%
Agosto	5,03%	40,24%	43,02%	11,71%
Septiembre	7,70%	37,98%	39,57%	14,75%
Octubre	10,86%	36,25%	38,34%	14,55%
Noviembre	11,39%	34,88%	37,18%	16,54%
Diciembre	11,80%	33,62%	35,69%	18,89%

Tabla 33: Porcentaje de generación diario por horario en ubicación C.

Ubicación C	2	3	4	5
Enero	10,70%	32,87%	35,96%	20,48%
Febrero	9,60%	33,38%	36,87%	20,15%
Marzo	6,85%	36,99%	39,28%	16,88%
Abril	6,08%	38,62%	41,70%	13,61%
Mayo	0,53%	42,00%	46,15%	11,33%
Junio	0,00%	42,31%	46,95%	10,74%
Julio	0,00%	42,03%	45,09%	12,87%
Agosto	4,25%	39,96%	42,37%	13,42%
Septiembre	8,15%	37,71%	39,41%	14,73%
Octubre	11,27%	35,34%	37,93%	15,46%
Noviembre	13,12%	33,76%	36,09%	17,03%
Diciembre	12,91%	33,04%	35,15%	18,90%

Fuente: (Ministerio de Energía, 2025)

Utilizando la información de las tablas anteriores y los requerimientos que tienen las ubicaciones A (Tabla 34), B (Tabla 35) y C (Tabla 36), se puede calcular la venta de excedentes para cada uno de los meses:

Tabla 34: Generación eléctrica e ingresos por venta de excedentes en ubicación A.

Mes	Días	Requerimiento (kWh)	Generación Diaria (kWh)	Excedentes (kWh)	Ingresos Diarios (CLP)	Ingresos Mensuales (CLP)
Enero	31	10.333,38	32.599,87	22.266,49	822.717,56	25.504.244,34
Febrero	28	10.333,38	29.357,18	19.023,80	692.708,64	19.395.842,01
Marzo	31	10.333,38	24.039,16	13.705,78	480.794,99	14.904.644,72
Abril	30	10.333,38	17.726,72	7.393,34	252.724,87	7.581.746,05
Mayo	31	10.333,38	11.371,04	1.037,66	33.427,98	1.036.267,28
Junio	30	10.333,38	10.333,38	0,00	0,00	0,00
Julio	31	10.333,38	10.765,74	432,36	13.630,13	422.534,00
Agosto	31	10.333,38	14.311,08	3.977,70	134.126,76	4.157.929,60
Septiembre	30	10.333,38	20.882,94	10.549,56	369.359,05	11.080.771,48
Octubre	30	10.333,38	25.855,07	15.521,69	563.996,55	16.919.896,36
Noviembre	30	10.333,38	31.605,44	21.272,06	795.833,13	23.874.994,02
Diciembre	31	10.333,38	33.464,59	23.131,21	871.058,72	27.002.820,39
Total					5.030.378,38	151.881.690,25

Tabla 35: Generación eléctrica e ingresos por venta de excedentes en ubicación B.

Mes	Días	Requerimiento (kWh)	Generación Diaria (kWh)	Excedentes (kWh)	Ingresos Diarios (CLP)	Ingresos Mensuales (CLP)
Enero	31	3.149,99	10.165,89	7.015,89	260.835,73	8.085.907,52
Febrero	28	3.149,99	9.267,75	6.117,76	224.391,12	6.282.951,35
Marzo	31	3.149,99	7.653,70	4.503,71	157.543,06	4.883.834,85
Abril	30	3.149,99	5.519,00	2.369,00	80.763,27	2.422.898,05
Mayo	31	3.149,99	3.527,47	377,48	12.173,11	377.366,51
Junio	30	3.149,99	3.149,99	0,00	0,00	0,00
Julio	31	3.149,99	3.280,16	130,17	4.102,75	127.185,28
Agosto	31	3.149,99	4.230,36	1.080,37	36.113,24	1.119.510,29
Septiembre	30	3.149,99	6.313,00	3.163,01	111.255,58	3.337.667,27
Octubre	30	3.149,99	7.848,95	4.698,96	171.139,35	5.134.180,46
Noviembre	30	3.149,99	9.515,06	6.365,07	235.900,87	7.077.026,24
Diciembre	31	3.149,99	10.361,13	7.211,14	272.040,08	8.433.242,43
Total					1.566.258,15	47.281.770,27

Tabla 36: Generación eléctrica e ingresos por venta de excedentes en ubicación C.

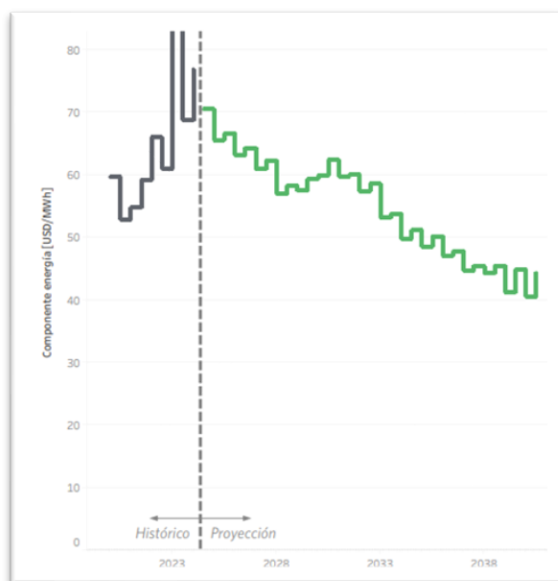
Mes	Días	Requerimiento (kWh)	Generación Diaria (kWh)	Excedentes (kWh)	Ingresos Diarios (CLP)	Ingresos Mensuales (CLP)
Enero	31	3.150,00	11.236,77	8.086,77	304.113,05	9.427.504,66
Febrero	28	3.150,00	10.270,59	7.120,59	264.059,44	7.393.664,42
Marzo	31	3.150,00	8.391,18	5.241,18	184.865,70	5.730.836,66
Abril	30	3.150,00	6.075,00	2.925,00	100.203,31	3.006.099,23
Mayo	31	3.150,00	3.613,24	463,24	14.590,42	452.303,08
Junio	30	3.150,00	3.150,00	0,00	0,00	0,00
Julio	31	3.150,00	3.255,88	105,88	3.347,44	103.770,55
Agosto	31	3.150,00	4.314,71	1.164,71	38.986,07	1.208.568,29
Septiembre	30	3.150,00	6.472,06	3.322,06	117.440,95	3.523.228,51
Octubre	30	3.150,00	8.285,30	5.135,30	188.879,48	5.666.384,54
Noviembre	30	3.150,00	10.495,59	7.345,59	278.195,61	8.345.868,44
Diciembre	31	3.150,00	11.408,83	8.258,83	315.353,86	9.775.969,77
Total					1.810.035,35	54.634.198,14

Fuente: (Elaboración Propia).

En total se obtiene un ingreso de $253.797.658,66 \frac{CLP}{año}$ el cual convertido a la moneda del estudio resulta en $271.900,81 \frac{USD}{año}$.

El precio estabilizado se encuentra variando en forma semestral, dependiendo principalmente de la situación de mercado que se esté experimentando. Según estudios, se estima que las principales fuentes que venden a precio estabilizado (solar y eólica), tiendan a reducir sus costos aumentando la participación de mercado, con una reducción en los precios de venta. Esto es consistente con el escenario actual, donde se reporta un excedente de venta en ciertos horarios generando un exceso de congestión en la red. Se utiliza como base el precio nudo de corto plazo, el cual se encuentra relacionado directamente al precio estabilizado, pero mediante una fijación de forma semestral (Figura 34).

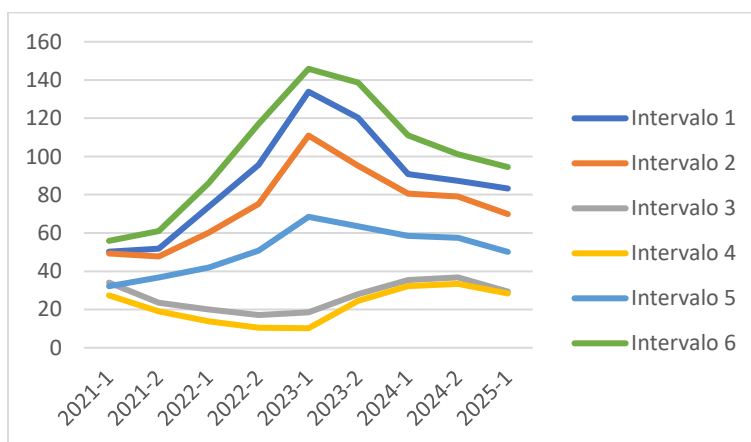
Figura 34: Proyección de Precio Nudo de Corto Plazo.



Fuente: (SPEC, 2024).

Los precios estabilizados se encuentran disponibles a partir del 2021 hasta la última publicación el 2025-1, elaborándose un gráfico que representa el comportamiento de este en el tiempo según el intervalo horario (Figura 35).

Figura 35: Precios estabilizados nudo región de O'Higgins.



Fuente: (Comisión Nacional de Energía, 2025).

A pesar de la variación positiva observada en años anteriores, se proyecta una reducción generalizada del precio estabilizado en todos los bloques horarios. Utilizando como referencia el estudio predictivo (SPEC, 2024), se estima que hacia 2035 los precios se ubiquen en torno a $50 \frac{USD}{MWh}$, valor que se empleará como referencia para el cálculo. Como punto de partida, se considera un promedio de $59,24 \frac{USD}{MWh}$ para el primer semestre de 2025, considerando todos los bloques de horarios (Tabla 30).

Basándose en una aproximación lineal, se estima una variación anual de $-1,56\%$, lo que se traduce en una reducción progresiva de los ingresos por ventas de electricidad para los Pequeños Medios de Generación. Según fuentes ministeriales, la demanda eléctrica aumentará en los próximos años (Coordinador Eléctrico Nacional, 2024), pero ante la reducción de costos de inversión se espera un aumento mayor de vendedores asociados, disminuyendo el precio para la venta.

Como resultado, se obtienen los siguientes ingresos anuales por venta de excedentes eléctricos (Tabla 37):

Tabla 37: Ingresos anuales por venta de excedentes.

Año	Ingreso Anual (USD)
2026	268.746,77
2027	265.629,30
2028	262.548,00
2029	259.502,45
2030	256.492,22
2031	253.516,91
2032	250.576,11
2033	247.669,43
2034	244.796,46
2035	241.956,82
2036	239.150,13
2037	236.375,98
2038	233.634,02
2039	230.923,87
2040	228.245,15
2041	225.597,51
2042	222.980,58
2043	220.394,00
2044	217.837,43
2045	215.310,52

Fuente: (Elaboración Propia).

5.17. Depreciación

La depreciación es el medio por el cual se refleja el desgaste real de los bienes del activo fijo, disminuyendo su valor con el tiempo. En términos contables, es una herramienta legal que permite reducir la carga tributaria (escudo fiscal), ya que ajusta la utilidad neta incorporando gastos que no implican un desembolso de efectivo.

Para el cálculo de la depreciación, se consideró un cambio lineal de la vida útil, estableciéndose que al final de esta tuvieran un valor residual nulo. El tiempo de vida legal se encuentra establecido por el Servicio de Impuestos Internos (SII) bajo el nombre de Nueva Tabla de Vida Útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado (Servicio de Impuestos Internos, 2003) dividido en distintas categorías.

Para los activos considerados en el proyecto, se entregan las siguientes vidas útiles:

- Equipos de Osmosis Inversa: No se encuentra clasificación específica, por lo que se utiliza la A-15 bajo el nombre de “Maquinarias y equipos en general” con una vida útil de 15 años.
- Tuberías de Agua: Pese a ser tuberías utilizadas con agua de origen oceánico, desalinizada para riego y salmuera, se consideran dentro del mismo grupo G-7 con el nombre “Tuberías para agua potable instaladas en predios agrícolas” con vida útil de 18 años.
- Bombas de Agua: Según su finalidad, se encuentran en la clasificación G-34.c reconocida como “Bomba Elevadora de Agua” con vida útil de 20 años.
- Bombas de Vacío: No es adecuada la clasificación directa como bombas de agua, siendo adecuado a la clasificación A-15 “Maquinarias y equipos en general” con vida útil 15 años.
- Estanque de Hormigón Armado: No existe clasificación particular para el caso, existiendo únicamente la vida útil para pozos de hormigón armado. Se utilizará el grupo A-2 “Edificios, casas y otras construcciones, con muros de ladrillos o de hormigón, con cadenas, pilares y vigas hormigón armado, con o sin losas” con vida útil de 50 años, el cual aplica para construcción de exterior como lo es un estanque.

Pese a que existe un grupo que engloba la “Generación Eléctrica”, un sistema de generación fotovoltaica con múltiples equipos, no se encuentra reconocido en ninguna clasificación específica. Pese a esto, existe una resolución del SII para un parque fotovoltaico (Aragón, 2019) y una mención en la guía de este tipo de proyectos (Ministerio de Energía, 2020), donde se reconoce adecuado utilizar una vida útil de 25 años, considerando todos los equipos como paneles, cables, convertidores, baterías y otros elementos del sistema.

5.17.1. Tabla de Depreciación

El valor por depreciar de los activos considera todos los costos asociados para disponer de la maquinaria para su uso. Esto incluye el costo base, transporte, instalación y mano de obra necesaria.

La única excepción particular en este caso corresponde al sistema de generación fotovoltaico, requiriéndose por temas legales incluir en su costo lo referente a estudios de instalación, especialmente por la conexión eléctrica necesaria.

Los equipos son depreciados de forma similar según su tipo, con esto se dice que las plantas de osmosis, bombas de agua y bombas de vacío se encuentran agrupados.

Tabla 38: Costo de equipos y vida útil depreciable.

Activo	Valor Inicial (USD)	Vida Útil (Años)
Plantas de Osmosis	3.150.495	15
Tuberías de Transporte	4.828.776,30	18
Bombas de Agua	91.857,93	20
Tuberías de Succión	202.452	18
Bombas de Vacío	3.589,80	15
Tuberías de Vertido	38.241	18
Estanque de Hormigón	552.126,60	50
Sistema Fotovoltaico	8.116.163,36	25

Fuente: (Elaboración Propia)

Para evidenciar el comportamiento de la depreciación, se presentan los primeros 5 periodos en la Tabla 39, encontrándose el resto de los años en el Anexo 5.

Tabla 39: Depreciación según grupos de activos.

Activo	Dep. Año 1	Dep. Año 2	Dep. Año 3	Dep. Año 4	Dep. Año 5
Plantas de Osmosis	210.033,00	210.033,00	210.033,00	210.033,00	210.033,00
Tuberías de Transporte	268.265,35	268.265,35	268.265,35	268.265,35	268.265,35
Bombas de Agua	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90
Tuberías de Succión	11.247,33	11.247,33	11.247,33	11.247,33	11.247,33
Bombas de Vacío	239,32	239,32	239,32	239,32	239,32
Tuberías de Vertido	2.124,50	2.124,50	2.124,50	2.124,50	2.124,50
Estanque de Hormigón	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53
Sistema Fotovoltaico	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53

Fuente: (Elaboración Propia).

La depreciación anual total por periodo se encuentra representado en la Tabla 40:

Tabla 40: Depreciación total para cada año.

Depreciación	Total (USD)
Dep. Año 1	832.191,47
Dep. Año 2	832.191,47
Dep. Año 3	832.191,47
Dep. Año 4	832.191,47
Dep. Año 5	832.191,47
Dep. Año 6	832.191,47
Dep. Año 7	832.191,47
Dep. Año 8	832.191,47
Dep. Año 9	832.191,47
Dep. Año 10	832.191,47
Dep. Año 11	832.191,47
Dep. Año 12	832.191,47
Dep. Año 13	832.191,47
Dep. Año 14	832.191,47
Dep. Año 15	832.191,47
Dep. Año 16	621.919,15
Dep. Año 17	621.919,15
Dep. Año 18	621.919,15
Dep. Año 19	340.281,96
Dep. Año 20	340.281,96

Fuente: (Elaboración Propia).

Terminado el periodo de evaluación, existen activos que no han logrado cumplir con su tiempo de vida completo, presentando un valor libro no depreciado (Tabla 41):

Tabla 41: Valor libro activos, al término del periodo de evaluación.

Activo	Valor Libro (USD)
Plantas de Osmosis	0
Tuberías de Transporte	0
Bombas de Agua	0
Tuberías de Succión	0
Bombas de Vacío	0
Tuberías de Vertido	0
Estanque de Hormigón	331.275,96
Sistema Fotovoltaico	1.623.232,67
Total	1.954.508,63

Fuente: (Elaboración Propia).

5.18. Flujo de Caja

La estructura del flujo de caja calculado para el proyecto puede ser visualizado en la Tabla 42, encontrándose el resto de los periodos en el Anexo 6.

Tabla 42: Flujo de caja proyectado.

Componentes del FC		2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030
		0	1	2	3	4	5
Ingreso Operacional	Venta Agua		\$84.096,05	\$88.627,60	\$93.518,05	\$98.795,83	\$104.491,61
	Venta Excedente Eléctrico		\$268.746,77	\$265.629,30	\$262.548,00	\$259.502,45	\$256.492,22
Gastos Operacional	Remuneraciones		-\$127.999,82	-\$131.852,62	-\$135.821,38	-\$139.909,61	-\$144.120,89
	Gasto Mantenimiento Equipos		-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58
	Gasto Estudios Anuales		-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88
Utilidad /Gasto Operacional			\$62.200,53	\$59.761,82	\$57.602,22	\$55.746,21	\$54.220,48
Reducción Fiscal	Depreciación (-)		-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47
	Perdida Ejercicio Anterior(-)			-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (-)						
Utilidad Antes de Impuestos			-\$769.990,93	-\$772.429,64	-\$774.589,25	-\$776.445,26	-\$777.970,99
Impuestos	Impuesto Renta		-	-	-	-	-
Utilidad Después de Impuestos			-\$769.990,93	-\$772.429,64	-\$774.589,25	-\$776.445,26	-\$777.970,99
Recuperación Fiscal	Depreciación (+)		\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47
	Perdida Ejercicio Anterior (+)			-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (+)						
Inversión	Inversión Activos	-\$16.983.701,99					
	Inversión Estudios	-\$132.902,86					
Capital de Trabajo	Inversión Capital de Trabajo (-)	-\$96.880,76					
	Recuperación Capital de Trabajo (+)						
Flujo de Caja Neto		-\$17.213.485,61	\$62.200,53	\$59.761,82	\$57.602,22	\$55.746,21	\$54.220,48

Fuente: (Elaboración Propia).

5.19. Análisis de Rentabilidad

Basándose en las condiciones a evaluar para determinar la rentabilidad del proyecto, es requerido el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), con las tasas de descuento correspondientes a inversión privada (9,06%) y pública (5,5%).

Tabla 43: Indicador financiero base del proyecto.

Tasa de Descuento	VAN
9,06%	\$-16.657.000,42
5,50%	\$-16.457.959,53

Fuente: (Elaboración propia)

Se observa que en ambos escenarios el VAN presenta valores negativos (Tabla 43). Esto refleja que el proyecto base no es rentable, requiriéndose reducir la tasa de descuento, con una menor exigencia de retorno del proyecto.

En forma complementaria, se realiza el cálculo de la TIR con la finalidad de evidenciar a partir de qué punto el VAN es 0, siendo el valor desde donde se reconoce una posible rentabilidad, obteniendo un resultado negativo, lo cual no es válido para proyectos de carácter económico. Esto implica que, bajo las condiciones presentadas, no es posible obtener rentabilidad o retorno económico del proyecto en la cantidad de periodos evaluados.

5.19.1. Análisis del Flujo de Caja

Dado que el proyecto no presenta una rentabilidad positiva, se analizan las componentes del flujo de caja que inciden en el resultado, con la finalidad de justificar los principales flujos y buscar elementos que puedan ser mejorados.

Existe una inconsistencia estructural respecto a los ingresos planificados, registrándose hasta el periodo 18 que las ventas de excedentes eléctricos superan la venta de agua desalinizada. Esto es un problema que se encuentra en la definición base de la ubicación del proyecto, ya que la disponibilidad de generación fotovoltaica en la zona es relativamente baja al ser comparada con

sectores del norte del país, requiriéndose la instalación de una mayor cantidad de paneles solares con un alto costo de inversión. Esto produce que el requisito eléctrico sea cubierto sin holguras en invierno, pero con un alto excedente en verano, generando la situación mencionada.

Basándose en las proyecciones de ingresos, se observa que el precio de venta de agua atribuido principalmente al costo eléctrico de extracción desde pozo logra superar los ingresos de venta de excedentes a partir del año 2043 (periodo 18). Esto reduciría la inconsistencia observada, sugiriendo que en el futuro los costos hídricos posiblemente superaran la venta de electricidad, lo cual actualmente no ocurre con los costos en la zona. Es factible evaluar cual será el costo hídrico futuro, pudiendo ser factible que el proyecto tenga mejores resultados.

Se observa que, independiente del tipo de inversión, el proyecto apenas logra obtener retornos positivos, evidenciando por el valor del VAN cercano al monto de inversión en maquinarias, estimado en 16.983.701,99 USD. En esto resulta relevante la inversión en el sistema fotovoltaico, con un costo de 8.116.163,36 USD, siendo un 48% del monto total destinado a los activos. Este es el mayor porcentaje de inversión individual de equipos, implicando que únicamente el 52% restante de la inversión de activos, es destinado para el proceso de desalinización.

Se requiere reevaluar si es adecuado utilizar esta fuente de electricidad, ya que con estos resultados el proyecto puede ser catalogado como una planta de generación fotovoltaica más que una planta desalinizadora. Dado que las tecnologías de desalinización tienen un alto consumo energético, puede ser lógica la inversión en equipos de generación eléctrica, pero utilizar un porcentaje tan inferior para el proceso de desalinización del agua, genera problemas en la finalidad general del proyecto.

En complemento, se registra que la inversión en tuberías de transporte de 4.828.776,30 USD resulta en un 28% del total. Este resulta relevante respecto a otros proyectos de desalinización que no contemplan el traslado por una distancia tan considerable (~43 km), sumado a la necesidad de bombeo para superar la alta elevación producida por la cordillera de la costa. Evaluar otras alternativas de ubicación, que no presenten grandes distancias o variaciones topográficas, podrían representar una mejora significativa.

Otro elemento de interés resulta el comportamiento de los flujos de caja netos. Hasta el periodo 8, se evidencia una reducción progresiva generada principalmente por el aumento de las remuneraciones, siendo compensada finalmente por el aumento de los ingresos por venta de agua. Esto recalca la problemática que generan los aumentos salariales, los cuales tienen un alto impacto por la elevada cantidad de personal requerido principalmente en el sistema de generación fotovoltaica.

En forma general, se observa que la principal problemática es el reducido precio que se tiene por la venta de agua, con un valor en el primer periodo de $79,94 \frac{CLP}{m^3}$ o $0,086 \frac{USD}{m^3}$ generando bajos ingresos por esta fuente. Ante esto, se realiza el cálculo con herramientas de Excel, que permiten estimar el precio que se requeriría cobrar para obtener como base una rentabilidad nula en el proyecto (Tabla 44):

Tabla 44: Precio de venta de agua, para obtener rentabilidad nula.

Tasa de Descuento	Precio Venta (CLP/m3)
9,06%	2239,51
5,50%	1660,64

Fuente: (Elaboración Propia)

Cualquier precio por sobre los montos mencionados para cada caso, resultaría en un VAN positivo, indicando preliminarmente que el proyecto es rentable.

5.20. Propuestas de Mejora.

Las mejoras pueden ser divididas en 2 opciones, dependiendo si existe un cambio de ubicación para la implementación de la planta o si se mantiene en la zona propuesta. Es posible combinar múltiples opciones de mejora, que podrían resultar beneficiosas para el proyecto, pero se encuentra fuera del alcance evaluado.

5.20.1. Propuestas Sin Cambio de Ubicación

5.20.1.1. Modificación de Consumidor Objetivo

La medida más directa para mejorar los resultados es aumentar el precio de venta de agua desalinizada. Esto no puede ser realizado de forma directa, ya que los precios generales del agua de riego son considerablemente bajos si se compara con otros fines.

Los precios para que el proyecto sea rentable son elevados, superando las tarifas que suelen ser cobradas para agua potable en las ciudades, con valores que pueden alcanzar los 950 - 1.100 $\frac{CLP}{m^3}$ según la zona (Sasipa, 2025). Esto implica evaluar el cambio del consumidor del proyecto a uno de los que tiene las tarifas más altas, en referencia al suministro por medio de camiones aljibe.

Debido a la sequía y dificultad de acceso en ciertas comunidades rurales, se ha registrado el uso de camiones aljibe en diversas comunas de la región de O'Higgins (Gobierno Regional, 2023). El precio ofrecido por estos camiones no ha sido publicado, por lo que se utilizara como referencia una localidad similar a la zona correspondiente a la provincia de Petorca en la región de Valparaíso, donde se han reportado precios fluctuantes, con valores entre 2.500 - 17.000 $\frac{CLP}{m^3}$ (Alvarado, Universidad de Chile, 2022).

En caso de vender agua dentro del rango de precios mencionado, sería factible obtener una rentabilidad superior a las exigencias privadas y públicas planificadas. Además, al corresponder

un producto de primera necesidad. el beneficio social que puede ser atribuido es mayor, incentivando la inversión pública que puede ser obtenida para el proyecto.

No es posible realizar la modificación de forma inmediata, ya que las condiciones estipuladas para el agua difieren según su finalidad. Utilizando como base las normas chilenas, para agua de riego se contempla la NCh 1.333, mientras que el agua potable se encuentra sujeta a la NCh 409 (Instituto Nacional de Normalización, 2005), con una mayor cantidad de requisitos.

Sin profundizar excesivamente en la norma, la NCh 409 presenta diferentes rangos para los elementos que pueden estar presentes en el agua. Existen límites en la presencia de contaminantes, elementos radiactivos y biológicos, junto a parámetros físicos. Aunque se requieren estudios específicos para definir la calidad del agua, se recalcan algunos que ya fueron presentados con anterioridad para el agua de riego (Tabla 23), con las correspondientes variaciones según carácter potable (Tabla 45):

Tabla 45: Elementos o sustancias no esenciales.

Elemento o sustancia	Expresado como elementos o sustancias totales	Límite máximo (mg/L)
Arsénico	As	0,01
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN ⁻	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Nitrato	NO ₃ ⁻	50
Nitrito	NO ₂ ⁻	3
Razón nitrato + nitrito	-	1
Plomo	Pb	0,05

Tabla 46: Parámetros relativos a características organolépticas.

Parámetros		Expresado como	Unidad	Límite máximo
Físicos	Color verdadero	-	Unidad Pt-Co	20
	Olor	-	-	inodora
	Sabor	-	-	insipida
Inorgánicos	Amoniaco	NH ₃	mg/L	1,5
	Cloruro	Cl ⁻	mg/L	400
	pH	-	-	6,5 < pH < 8,5
	Sulfato	SO ₄ ²⁻	mg/L	500
	Sólidos disueltos totales	-	mg/L	1 500
Orgánicos	Compuestos fenólicos	Fenol	µg/L	2

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

El elemento principal considerado corresponde al límite máximo de sólidos disueltos, con un valor de $1.500 \frac{mg}{L}$ (Tabla 46). Según la información del fabricante de los equipos de desalinización utilizados, el agua resultante presentaría un valor inferior a 600 ppm o $600 \frac{mg}{L}$ (Anexo 1). Además, se complementa la información entregada por el simulador LG Q+ Projection donde se estimó previamente la cantidad de algunos elementos relevantes que podrían estar presentes en el agua (Tabla 25), resultando estar todos dentro de la norma NCh 409.

Pese a encontrarse preliminarmente dentro de los rangos admisibles, el proceso de desalinización tiende a desmineralizar el agua o naturalmente el agua de mar no presenta componentes básicos del agua potable. Esto requiere implementar procesos adicionales, que permitan agregar los elementos que deben encontrarse previo a su consumo.

El proceso de re-mineralización del agua consiste en agregar los elementos presentes en forma natural, variando en la forma en que se realiza el procedimiento. Existe diversa literatura que ha estudiado el costo de realizar esto para agua desalinizada, con valores entre los $0,0156 \frac{EUR}{m^3}$ (Science Direct, 2025) hasta los $0,065 \frac{EUR}{m^3}$ (Science Direct, 2024) . Esto en moneda nacional, considerando la conversión de $1.137,23 \frac{CLP}{EUR}$, resulta en $17,74 - 73,92 \frac{CLP}{m^3}$.

Considerando lo anterior, sería posible la venta de agua desalinizada en reemplazo de los camiones aljibe. El costo de remineralizar el agua es considerable si se compara al precio inicial de venta de $79,94 \frac{CLP}{m^3}$, pero puede ser fácilmente compensado por el aumento de precios disponibles al disponer de agua potabilizada para la venta.

Esta propuesta es teórica, siendo adicional a los resultados del estudio. En caso de aplicarse esta medida, se requerirá investigación respecto a la maquinaria requerida, proveedores y elementos legales, principalmente por regulaciones de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

5.20.1.2. Fuentes de Inversión

Dada la importancia del agua para la industria y las personas, el gobierno ha propuesto iniciativas para la inversión tanto para el agua destinada a riego como de consumo humano.

Considerando la inversión privada, el proyecto no es factible al no tener un retorno económico. Pese a esto, el gobierno ha implementado la Ley 18.450 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1985), centrada en incentivar la inversión privada en obras de riego y drenaje.

El total de inversión requerida en el proyecto, considerando activos, estudios y capital de trabajo, es 17.213.485,61 USD. Se calcula el cambio en el precio de venta mínimo que genera que el proyecto sea rentable, manteniendo fija la tasa de retorno privada (9,06%):

Tabla 47: Variación del precio de venta de agua requerido para obtener rentabilidad nula, según el porcentaje de subsidio.

%Inversión	Precio (CLP/m3)	Variación
10%	1994,68	-
20%	1749,85	-12%
30%	1505,02	-14%
40%	1260,19	-16%
50%	1015,36	-19%
60%	797,57	-21%
70%	612,23	-23%
80%	426,86	-30%
90%	246,85	-42%
100%	66,84	-73%

Fuente: (Elaboración Propia).

Se observa que, al aumentar la cobertura de inversión con el subsidio, se va reduciendo en mayor medida el precio requerido. Pese a esto, la ley 18.450 tiene topes, alcanzado en la mejor de las situaciones un monto de 250.000 UF o 10.548.057,14 USD (Junta de Vigilancia Río Elqui, 2025), generando un precio de rentabilidad de $778,28 \frac{CLP}{m^3}$ siendo un valor inferior al cobrado normalmente por agua potable en zonas urbanas, pero requiriéndose evaluar los conceptos mencionados en la sección previa.

Las condiciones para la entrega de este subsidio exigen la unión de un gran número de agricultores de la zona beneficiada. Esto no sería factible con el monto obtenido en el mejor caso, ya que el precio de agua de riego se encuentra muy por debajo de dicho valor ($79,94 \frac{CLP}{m^3}$), generando que no haya inversionistas en el proyecto.

La única razón factible por la cual agricultores privados podrían verse interesados en invertir y cooperar para la obtención del subsidio es si se presentara un costo de oportunidad justificado, especialmente atribuido a la pérdida de cultivos por la sequía extrema. Se requiere un estudio profundo respecto a esto, que escapa del alcance de la evaluación.

Por otro lado, utilizando la propuesta mencionada anteriormente, respecto a modificar la producción de la planta de agua de riego a agua potable, es posible acogerse a los Aportes Financieros Reembolsables (AFR) establecidos en el D.F.L. N°70 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 1960), normativa que regula a las empresas sanitarias bajo supervisión de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Esto funciona como un crédito de financiamiento sin tope, a ser pagado en un máximo de 15 años, reajustado al IPC e interés corriente.

En caso de aplicar esta medida y establecerse como empresa pública, el SISS tiene una fijación de tarifas del agua que impiden el cálculo de rentabilidad con la información existente en este estudio. Además, el IPC presenta cambios difíciles de predecir en el tiempo, por lo que su reajuste puede aumentar o disminuir considerablemente las cuotas a pagar y por ende, el interés asociado a la adquisición de este crédito.

5.20.2. Propuesta con cambio de Ubicación

Como se mencionó a lo largo de la evaluación, uno de los principales problemas de la desalinización es el elevado consumo energético, siendo la generación fotovoltaica la mejor opción por su relativamente bajo impacto ecológico y costo. En Chile ya se ha evidenciado que los

proyectos de desalinización pueden ser rentables, especialmente en zonas del norte del país con alta radiación solar y opciones de venta, ya sea para consumo o para la industria minera.

La mejor opción para realizar un cambio de ubicación de la planta es en dirección al norte del país. Esto se debe al aumento general de la radiación, pasando de valores aproximados de $5,0 \frac{kWh}{m^2 \text{ dia}}$ a $7,2 \frac{kWh}{m^2 \text{ dia}}$, lo cual tiene un efecto considerable en el requerimiento de paneles fotovoltaicos.

En caso de aplicar esta medida, resulta conveniente reevaluar el consumidor objetivo del proyecto. Dada las características del agua desalinizada para riego, esta puede ser utilizada ya sea para uso agrícola como para otras industrias que acepten este nivel de calidad, como lo es la minera o similares.

En forma complementaria, es relevante evaluar la posibilidad de abastecer a consumidores que se encuentren en zonas más cercanas a la costa. Esto es significado por el elevado costo de trasladar agua, requiriéndose sistemas de bombeos y tuberías que llegan a costar $112,5 \frac{USD}{m}$ (considerando instalación), teniendo alto impacto en caso de requerir recorrer grandes distancias.

No se indagará mayormente en esta propuesta, ya que consiste en aplicar los elementos vistos con anterioridad en la evaluación, además de requerirse más información, dependiendo de la ubicación precisa que se quiera evaluar.

6. Conclusiones

En este estudio se ha evidenciado la problemática hídrica que se está experimentando en el mundo, presentándose una escasez que cada vez afectará a una mayor cantidad de población y con efectos más perjudiciales. Chile no es la excepción, registrándose mediante los boletines de sequía un gran porcentaje de territorio con alguna problemática hídrica que va empeorando con el tiempo.

Esto no se debe únicamente al descenso de las precipitaciones, sino también a una deficiente gestión de los recursos hídricos, que ha intensificado la situación actual. Esta problemática se ha evidenciado de manera considerable en la zona centro-sur del país, donde se han registrado múltiples periodos de crisis hídrica o mega sequía que han impactado tanto a la población como a sectores productivos, especialmente la industria agrícola.

Para mitigar este problema se han explorado nuevas formas de obtener el recurso hídrico, siendo la desalinización una alternativa utilizada desde hace varios años, particularmente en el ámbito minero. Este antecedente ha incentivado la investigación sobre la factibilidad de aplicar dicha tecnología con otros fines, en especial en la agricultura, una de las industrias de mayor consumo de agua en la zona central.

Existen diversas tecnologías de desalinización, la mayoría de las cuales requieren elevados niveles de energía para su funcionamiento. Considerando este aspecto, se eligió la ósmosis inversa, dado que representa la alternativa con menor impacto ambiental dentro de las opciones disponibles. Asimismo, se decidió vincular el proyecto con la generación fotovoltaica, reconocida por su bajo impacto y por el alto potencial de producción eléctrica que ofrece en el país.

Para producir agua destinada al riego es necesario realizar una serie de procedimientos de pretratamiento, que incluyen la captación y el filtrado, así como etapas de postratamiento, entre las que destacan la cloración, el ajuste del pH y el transporte del recurso hacia su destino final. No

obstante, estos procesos generan residuos con una elevada concentración de sales, los cuales representan un impacto ambiental significativo.

Considerando este contexto, se ha decidido implementar la planta en la Región de O'Higgins, la cual ha llegado a presentar escasez hídrica en cerca del 90% de su territorio. Esta elección no solo responde a la magnitud del déficit, sino también a la importancia estratégica de la región, donde la agricultura representa una de las principales actividades productivas y, al mismo tiempo, uno de los sectores con mayor demanda de agua.

Particularmente, el proyecto se enfocará en una zona agrícola de tamaño medio, compuesta por aproximadamente 400 hectáreas destinadas al cultivo de olivo. Según los antecedentes hídricos de la zona, el abastecimiento actual proviene principalmente de pozos subterráneos, recurso que se encuentra cada vez más limitado debido a la sobreexplotación y a la disminución de la recarga natural. Frente a este escenario, se ha decidido que la planta proporcione al menos el 50% del requerimiento hídrico durante el mes de mayor demanda, con el objetivo de asegurar la continuidad del cultivo y, al mismo tiempo, mitigar los riesgos asociados a la creciente escasez de agua en el futuro.

Mediante un análisis técnico, se determinó un requerimiento diario de 2.690,38 metros cúbicos de agua, volumen que será producido en 10 horas de operación diaria. Para cumplir con esta meta se proyecta la construcción de una planta desalinizadora equipada con módulos de ósmosis inversa, tuberías de transporte, bombas de agua y un estanque de almacenamiento, complementada con un sistema fotovoltaico diseñado para cubrir la totalidad de la demanda energética del proceso, además de generar excedentes a ser vendidos a la red eléctrica.

Con los resultados del estudio técnico fue posible determinar una inversión inicial en activos de 16.983.701,99 USD, junto con costos de mantención estimados en 160.025,58 USD

anuales. A ello se suma la conformación de un equipo operacional compuesto por operadores, mantenedores y administradores de planta, distribuidos en dos turnos completamente capacitados para el desarrollo de las actividades. Las remuneraciones asociadas alcanzan los 127.999,82 USD anuales, proyectadas con una tasa de crecimiento del 3,01%, en concordancia con la realidad salarial del país.

Respecto a términos legales, es de vital importancia lo referente a la ley 19.300 sobre protección ambiental. El hecho de implementar una planta desalinizadora implica un impacto ambiental considerable requiriéndose la aplicación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), que finalmente engloba todos los términos legales como lo son uso de espacios, vertido de residuos y características del agua para el uso. El seguimiento de las condiciones requiere estudios constantes, ya sea para evidenciar las condiciones de los residuos vertidos al océano como lo estipula el D.S. N°90 o los requisitos de calidad del agua requeridos por la DGA en base a la norma NCh 1.333.

Al realizar el estudio económico, se utilizó como base el flujo de caja proyectado para un periodo de evaluación de 20 años. Utilizando las tasas esperadas de retorno de 9,06 % para inversión privada y 5,5% para inversión pública, se obtiene un resultado del VAN negativo, indicando que el proyecto no es rentable.

Se ha determinado que el proyecto no es viable. El agua para riego no presenta un valor suficiente para ser de interés de inversión, menos si es mediante proyectos con un alto costo, como lo son las plantas desalinizadoras. Incluso se logró observar que el proyecto perdía su finalidad, obteniendo mayores ganancias por la venta de excedentes eléctricos que la venta de agua desalinizada.

Pese a esto, se estima que el estudio se encuentra diseñado para realizar evaluaciones con otros fines, principalmente para disponer de agua potable a zonas con escasez o prepara una alternativa ante las previsiones de sequía futura que experimentara el país, proyectado incluso un cambio de clima en la zona central que obligara la adaptación de la industria a escenarios hídricos aún más difíciles que los experimentados en el pasado.

Es adecuado realizar una comparación con otros proyectos de desalinización con variados consumidores objetivos, para evidenciar cuál fue el problema existente en este estudio. Los proyectos de desalinización de minería han logrado demostrar su viabilidad con los años por lo que no se descarta que, al complementar la información presentada, puedan realizarse cambios menores que modifiquen el resultado.

7. Recomendaciones

Uno de los principales problemas a los que se vio enfrentado el proyecto fue el uso de la generación fotovoltaica para autoabastecerse de electricidad. Se recomienda investigar otras opciones que pueden resultar más beneficiosas para la operación, en referencia a la generación eólica, biomasa o mareomotriz, donde está última no ha sido estudiada en profundidad en Chile, y el vínculo costero que comparte con la desalinizadora, puede tener un efecto beneficioso no investigado.

Algo que resultaría útil para hacer una valorización real de la tasa de retorno, es vincular el costo de oportunidad real que tienen los agricultores por el hecho de perder sus cultivos. Esto requiere estudiar específicamente a aquellos productores que se encuentren centrados en cultivos con un alto nivel de retorno por su venta, y no se encuentren dispuestos a perder su fuente de ingresos por la sequía.

Otro estudio que sería adecuado realizar, es la valorización del agua en Chile. Pese a que está estipulado que el agua es un bien de primera necesidad y que debe estar disponible para todos, no existen estudios que estimen el costo de la escasez progresiva. Un ejemplo de esto es el agotamiento de napas subterráneas, las cuales no se encuentran realmente reguladas legalmente, existiendo únicamente prohibiciones para la creación de nuevos puntos de extracción, pero sin limitar los ya existentes, pudiendo sobreexplotar puntos particulares sin consecuencias.

También vinculado a la rentabilidad económica, se recomienda aplicar el proyecto en alguna zona que no requiera el traslado de agua. El uso de cañerías y bombas tuvo alta incidencia en el proyecto, llegando a utilizar prácticamente un 50% de la electricidad requerida únicamente para este fin. Evidentemente gran parte de esto fue atribuido al cambio de altura de la cordillera de la costa, por lo que evaluar un proyecto únicamente hacia el sector costero podría mejorar los resultados.

Se recomienda aplicar el proyecto en alguna zona costera del norte del país, con la finalidad de evidenciar si resulta rentable la agricultura en ubicaciones desérticas. Dada la baja disponibilidad de agua, es posible que ofrecer nuevas fuentes que incentiven la producción de cultivos de alta rentabilidad, como lo es la uva, aceitunas, y otros adecuados para esos climas.


Es posible vincular el proyecto con asociaciones de agricultores que puedan tener interés en asegurar una fuente hídrica. Esto implicaría una reducción general del tamaño de la planta, para reducir los elevados costos de inversión, permitiendo que aumente el interés, tal como se ha realizado en pequeñas caletas de pescados o similares.

8. Anexos

Proposal- High Quality Seawater Desalination Plant: 2400TPD SWRO-H

Overview	
Model: 2400TPD SWRO-H	Product water: TDS ≤600ppm (Meet WHO)
Quantity: 1set	Power supply:380v, 50hz, 3phase
Recovery rate: ≥ 45%	Rated Power: 267KW (Frequency control)
Product water flow rate:100.0T/H	Free Chlorine<0.1ppm
Feed water temperature: 5-40°C	Operation pressure<6.0 Mpa
Feed water: TDS≤35000ppm	Control: PLC + VFD control

Anexo 1: Cotización planta osmosis, origen China.

Qty	Part No.	Description	Unit Price (\$)	Ext Price (\$)
PURE AQUA, INC.				
2230 S. Huron Dr., Santa Ana, CA 92704 USA Tel: +1 (714) 432-9996 Fax: +1 (714) 432-9898 Toll Free: +1 (844) 309-7501 sales@pureaqua.com www.pureaqua.com				
QUOTATION 151175-0 July 3, 2025 Prepared by: May Higazy				
				
Company: Tomas Ignacio Muñoz V.		Address:		
Name: tomas.imv.tg@gmail.com		Country: Chile		
Email:		Phone:		
		Fax:		
660,000 GPD Sea Water Reverse Osmosis System				
Pre-Treatment:				
1	FP	Filter Feed Pump, 380V/3Ph/50Hz.	\$42,222.00	\$42,222.00
1	BW	Back Wash Pump, 380V/3Ph/50Hz.	\$29,744.00	\$29,744.00
1	CDS48	Prechlorination Dosing System, 48 GPD, Adjustable metering pump, Polyethylene solution tank, Manual, 220V/1Ph/50Hz.	\$876.00	\$876.00
12	MLF63-A-F	63" Fiberglass Tank Multimedia Filter complete with media, Valve, 4" Pipe Size, 220V/1Ph/50Hz. (11 service, 1 duty)	\$27,867.00	\$334,404.00
1	CDS30-ORP-S	Dechlorination Dosing System, 30 GPD, Adjustable metering pump, Polyethylene solution tank, Manual, ORP Monitor, 220V/1Ph/50Hz.	\$1,942.00	\$1,942.00
1	CDS30	Antiscalant Dosing System, 30 GPD, Adjustable metering pump, Polyethylene solution tank, Manual, 220V/1Ph/50Hz.	\$742.00	\$742.00
1	PA0100-PLUS-55	Antiscalant 55 gallon pail	\$1,075.00	\$1,075.00
SWRO System:				
1	SW-672K-24780	Sea Water Reverse Osmosis System modified to produce 2,500	\$822,358.00	\$822,358.00

Anexo 2: Cotización planta osmosis, origen EE. UU.



Quotation

Milestone Pump Company

Only pump, more than pump

Quotation Date: 23/Jul/25

Quotation #:

Validity: 30 DAYS

From: Jenny Lee

Milestone Pump Company China
South Industrial Zone, Baoding, Hebei, China
Phone: +86 312 6792432
Fax: +86 312 3085383
Email: jenny@mstpump.cn

To: Tomas Munoz

tomas.imv.tg@gmail.com
Aquanova

Item	Specification	Qty	Unit Price (FOBTianjin)	Total Price (FOBTianjin)
1	Multistage Pump D280-43x6 Capacity: 270m ³ /h Head: 250m Speed: 1480rpm NPSHr: 4m Shaft sealing: Mechanical seal No of stage: 6 Pump casing: SS316 Impeller: SS316 Diffuser: SS316 Diffuser sleeve: SS316 Blance ring and Balance disc: SS316 Choma: SS316 Shaft: SS2205	1	US\$16,306	US\$16,306
2	315kw/4 electric motor, 50hz 380v 3 phase, IP55, F	1	US\$7,821	US\$7,821
3	Common base, coupling, safe guard	1	US\$1,175	US\$1,175

Total FOBTianjin US\$25,302
Total FOBShanghai US\$25,702

Anexo 3: Cotización bomba de agua 250 m.

TOTAL ESTIMADO COSTO DE INVERSIÓN (US\$)
DETALLE PARTIDAS COSTO DE INVERSIÓN (US\$)
SUMINISTRO EQUIPAMIENTO MECÁNICO GENERAL
Sistema Contra Incendio
Planta Agua Potable - Tratamiento de Agua
Otros Equipos Mecánicos Balance of Plant
INSTALACIONES PARQUE FOTOVOLTAICO
Módulos Fotovoltaicos (Paneles)
Inversores
Sistema de Seguimiento
Estación Meteorológica
Redes en Corriente Continua
SUMINISTRO BATERÍAS
Baterías
Inversor
SUMINISTRO Y MONTAJE EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO (FOB)
Transformadores
Sistema Corriente Continua: Baterías, Cargadores, Inversores
Sistemas de Iluminación y Alumbrado
Sistemas de Protecciones y Puesta a Tierra
Sistemas de Medición, Instrumentación, Control, Automatización y Comunicaciones
Sistema Generador de Emergencia diésel
Subestación Servicios Auxiliares (SSAA)
Otros Equipos Eléctricos BOP
Montaje Equipamiento Eléctrico
Montaje Medición, Instrumentación, Control, Automatización y Comunicaciones
FLETES Y SEGUROS
Fletes Internacionales y Nacionales
Seguros Transporte Internacionales y Nacionales
OBRAS CIVILES Y MONTAJE
Trabajos Previos: Movimientos de Tierra, Preparación del Sitio, Rellenos, Excavaciones
Instalaciones de Faena
Caminos, Urbanización y Cierres
Fundaciones y Obras Civiles Módulos Fotovoltaicos
Otros Edificios: Administración, Sala Eléctrica, Sala de Control
Otras Obras Civiles
Otros Montajes
COSTO INDIRECTO OCCC & MONTAJE
Costos Indirectos Construcción
Gastos Generales de Construcción
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA
Subestación de Salida
Línea de Transmisión
Paño de Conexión Subestación Sistema Interconectado
Servidumbres
GASTOS DE GESTIÓN DEL PROPIETARIO
Servicios de Ingeniería y Estudios
Servicios de Administración del Proyecto
Gestión e Ingeniería Estudio de Impacto Ambiental
Derechos de Internación / Gastos Aduaneros
Seguros Generales
Terrenos
Permisos y Concesiones
Compensaciones a la Comunidad
Gastos de Puesta en Marcha / Pruebas
Otros Gastos
IMPREVISTOS

Anexo 4: Componentes sistema generación fotovoltaico.

Activo	Dep. Año 6	Dep. Año 7	Dep. Año 8	Dep. Año 9	Dep. Año 10
Plantas de Osmosis	210.033,00	210.033,00	210.033,00	210.033,00	210.033,00
Tuberías de Transporte	268.265,35	268.265,35	268.265,35	268.265,35	268.265,35
Bombas de Agua	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90
Tuberías de Succión	11.247,33	11.247,33	11.247,33	11.247,33	11.247,33
Bombas de Vacío	239,32	239,32	239,32	239,32	239,32
Tuberías de Vertido	2.124,50	2.124,50	2.124,50	2.124,50	2.124,50
Estanque de Hormigón	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53
Sistema Fotovoltaico	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53

Activo	Dep. Año 11	Dep. Año 12	Dep. Año 13	Dep. Año 14	Dep. Año 15
Plantas de Osmosis	210.033,00	210.033,00	210.033,00	210.033,00	210.033,00
Tuberías de Transporte	268.265,35	268.265,35	268.265,35	268.265,35	268.265,35
Bombas de Agua	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90
Tuberías de Succión	11.247,33	11.247,33	11.247,33	11.247,33	11.247,33
Bombas de Vacío	239,32	239,32	239,32	239,32	239,32
Tuberías de Vertido	2.124,50	2.124,50	2.124,50	2.124,50	2.124,50
Estanque de Hormigón	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53
Sistema Fotovoltaico	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53

Activo	Dep. Año 16	Dep. Año 17	Dep. Año 18	Dep. Año 19	Dep. Año 20
Plantas de Osmosis	-	-	-	-	-
Tuberías de Transporte	268.265,35	268.265,35	268.265,35	-	-
Bombas de Agua	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90	4.592,90
Tuberías de Succión	11.247,33	11.247,33	11.247,33	-	-
Bombas de Vacío	-	-	-	-	-
Tuberías de Vertido	2.124,50	2.124,50	2.124,50	-	-
Estanque de Hormigón	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53	11.042,53
Sistema Fotovoltaico	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53	324.646,53

Anexo 5: Tablas de depreciación de activos.

Componentes del FC		2.031	2.032	2.033	2.034	2.035
		6	7	8	9	10
Ingreso Operacional	Venta Agua	\$110.638,49	\$117.272,21	\$124.431,32	\$132.157,43	\$140.495,44
	Venta Excedente Eléctrico	\$253.516,91	\$250.576,11	\$247.669,43	\$244.796,46	\$241.956,82
Gastos Operacional	Remuneraciones	-\$148.458,92	-\$152.927,54	-\$157.530,66	-\$162.272,33	-\$167.156,73
	Gasto Mantenimiento Equipos	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58
	Gasto Estudios Anuales	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88
Utilidad /Gasto Operacional		\$53.054,02	\$52.278,32	\$51.927,63	\$52.039,10	\$52.653,08
Reducción Fiscal	Depreciación (-)	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47
	Perdida Ejercicio Anterior(-)	-	-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (-)					
Utilidad Antes de Impuestos		-\$779.137,44	-\$779.913,14	-\$780.263,84	-\$780.152,37	-\$779.538,39
Impuestos	Impuesto Renta	-	-	-	-	-
Utilidad Después de Impuestos		-\$779.137,44	-\$779.913,14	-\$780.263,84	-\$780.152,37	-\$779.538,39
Recuperación Fiscal	Depreciación (+)	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47
	Perdida Ejercicio Anterior (+)	-	-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (+)					
Inversión	Inversión Activos					
	Inversión Estudios					
Capital de Trabajo	Inversión Capital de Trabajo (-)					
	Recuperación Capital de Trabajo (+)					
Flujo de Caja Neto		\$53.054,02	\$52.278,32	\$51.927,63	\$52.039,10	\$52.653,08

Componentes del FC		2.036	2.037	2.038	2.039	2.040
		11	12	13	14	15
Ingreso Operacional	Venta Agua	\$149.493,83	\$159.204,89	\$169.685,06	\$180.995,27	\$193.201,24
	Venta Excedente Eléctrico	\$239.150,13	\$236.375,98	\$233.634,02	\$230.923,87	\$228.245,15
Gastos Operacional	Remuneraciones	-\$172.188,14	-\$177.371,01	-\$182.709,87	-\$188.209,44	-\$193.874,55
	Gasto Mantenimiento Equipos	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58
	Gasto Estudios Anuales	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88
Utilidad /Gasto Operacional		\$53.813,36	\$55.567,40	\$57.966,76	\$61.067,24	\$64.929,38
Reducción Fiscal	Depreciación (-)	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47	-\$832.191,47
	Perdida Ejercicio Anterior(-)	-	-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (-)					
Utilidad Antes de Impuestos		-\$778.378,11	-\$776.624,06	-\$774.224,71	-\$771.124,23	-\$767.262,08
Impuestos	Impuesto Renta	-	-	-	-	-
Utilidad Después de Impuestos		-\$778.378,11	-\$776.624,06	-\$774.224,71	-\$771.124,23	-\$767.262,08
Recuperación Fiscal	Depreciación (+)	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47	\$832.191,47
	Perdida Ejercicio Anterior (+)	-	-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (+)					
Inversión	Inversión Activos					
	Inversión Estudios					
Capital de Trabajo	Inversión Capital de Trabajo (-)					
	Recuperación Capital de Trabajo (+)					
Flujo de Caja Neto		\$53.813,36	\$55.567,40	\$57.966,76	\$61.067,24	\$64.929,38

Componentes del FC		2.041	2.042	2.043	2.044	2.046
		16	17	18	19	20
Ingreso Operacional	Venta Agua	\$206.373,93	\$220.589,89	\$235.931,76	\$252.488,70	\$270.356,96
	Venta Excedente Eléctrico	\$225.597,51	\$222.980,58	\$220.394,00	\$217.837,43	\$215.310,52
Gastos Operacional	Remuneraciones	-\$199.710,17	-\$205.721,45	-\$211.913,66	-\$218.292,26	-\$224.862,86
	Gasto Mantenimiento Equipos	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58	-\$160.025,58
	Gasto Estudios Anuales	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88	-\$2.616,88
Utilidad /Gasto Operacional		\$69.618,81	\$75.206,56	\$81.769,64	\$89.391,41	\$98.162,15
Reducción Fiscal	Depreciación (-)	-\$621.919,15	-\$621.919,15	-\$621.919,15	-\$340.281,96	-\$340.281,96
	Perdida Ejercicio Anterior(-)	-	-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (-)					-\$1.954.508,63
Utilidad Antes de Impuestos		-\$552.300,34	-\$546.712,59	-\$540.149,50	-\$250.890,55	-\$2.196.628,44
Impuestos	Impuesto Renta	-	-	-	-	-
Utilidad Después de Impuestos		-\$552.300,34	-\$546.712,59	-\$540.149,50	-\$250.890,55	-\$2.196.628,44
Recuperación Fiscal	Depreciación (+)	\$621.919,15	\$621.919,15	\$621.919,15	\$340.281,96	\$340.281,96
	Perdida Ejercicio Anterior (+)	-	-	-	-	-
Valorización Activos	Valor Libro (+)					\$1.954.508,63
Inversión	Inversión Activos					
	Inversión Estudios					
Capital de Trabajo	Inversión Capital de Trabajo (-)					
	Recuperación Capital de Trabajo (+)					\$96.880,76
Flujo de Caja Neto		\$69.618,81	\$75.206,56	\$81.769,64	\$89.391,41	\$195.042,91

Anexo 6: Flujos de caja proyectado.

ZHUOSHI 倬实 HEBEI ZHUOSHI PIPELINE TECHNOLOGY CO.,LTD.

Address: Qilidun Village, Chenzhuang Town, Xian County, Hebei, China
 Mobile: +0086-18222118739 (WhatsApp, Wechat); Email: amy@zhuoshipe.com

Quotation Sheet

TO:Tomas Ignacio Munoz Vargas (tomas.imv.tg@gmail.com)

Date:25 July 2025

HDPE PE100 PIEP	SPEC		unit	QTY	EXW UNIT	TOTAL
	OD	Wallthick			USD	USD
HDPE PIPE SRD 7.4	315	43.1	Meter	3000	\$44.05	\$132,150.00
					Local Charge 4x40HQ container	\$2,900.00
					FOB Tianjin	\$135,050.00

Anexo 7: Cotización tuberías de agua HDPE.

9. Referencias

- IDA. (2011). *Desalination at a glance*. Desalinización a simple vista: <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2021/06/desalination-at-a-glance.pdf>
- Abogados del Maule. (01 de 2021). *Costos de construir una sociedad en Chile*. <https://www.abogadosdelmaule.cl/costos-constitucion-sociedades/>
- Agua Circular. (07 de 2025). *Precios georreferenciados*. <https://www.aguacircular.cl/precios-georreferenciados.php?>
- ALADYR. (15 de Octubre de 2019). *Desalación de Agua de Mar: Situación en Chile y en el mundo*. Asociación Latinoamericana de Desalación y Reúso de Agua: <http://bcn.cl/30q4y>
- Alazu. (08 de 09 de 2025). *Aranceles*. <https://alazuasociados.cl/aranceles/>
- Alonso Olive Oil . (07 de 2025). *Alonso Olive Oil* . Historia: <https://www.alonsoliveoil.com/nuestra-historia/>
- Alternative Energy. (07 de 2025). *Connecting your Solar System to the Grid*. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>
- Alvarado, R. (01 de 2022). *Universidad de Chile*. Desigualdad hídrica en Petorca: Estudio revela que proveedores de agua de camiones aljibe son agricultores de la misma zona: <https://uchile.cl/noticias/183979/desigualdad-hidrica-en-petorca-estudio-revela-el-circuito-del-agua>
- Alvarado, R., & de la Vega Planet, F. (22 de Marzo de 2022). *Universidad de Chile*. Chile lidera la crisis hídrica en América Latina: <https://uchile.cl/noticias/184816/dia-mundial-del-agua-chile-lidera-la-crisis-hidrica-en-america-latina>
- Amulén. (2022). *Diagnóstico Servicios Sanitarios Rurales: Desafíos y Oportunidades*. <https://www.fundacionamulen.cl/wp-content/uploads/2022/08/Estudio-Diagnostico-SSR-Pro-Ohiggins.pdf>

Apera Instruments. (29 de 01 de 2018). *Testing Conductivity*.

<https://aperainst.com/blog/cat/Conductivity%2C%2BTDS%2C%2BSalinity%2C%2BResistivity>

Aragón, C. A. (2019). *POSIBILIDAD DE CONSIDERAR COMO UN ÚNICO BIEN UNA GENERADORA ELÉCTRICA, PARA SU DEPRECIACIÓN, Y SOBRE LOS AÑOS DE VIDA ÚTIL A ESTIMAR PARA DICHO EFECTO*.

<https://portaldesoluciones.cl/?views=hnxewpxm&utm>

Asia Pacífico. (22 de Abril de 2021). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*.

<https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/efectos-desalinizacion-ecosistemas-marinos-ciencia>

Asociación Española de Desalación y Reutilización . (30 de Octubre de 2019). *Tipos de sistemas de descarga*

de salmuera de la desalación. <https://aedyr.com/tipos-sistemas-descarga-salmuera-desalacion/>

Banco Central. (09 de 2025). *Tasas de Interés*. Tasas de interés mercado secundario , bonos , en pesos

(porcentaje):

https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_TASA_INTERES/MN_TASA_INTERES_09/TMS_15/T311?cbFechaDiaria=2022&cbFrecuencia=DAILY&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=

Banco Central de Chile. (07 de 2025). *Mercado Laboral y Demografía*. Índice de remuneraciones:

https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_EI/MN_EMP_REM_DEM13/ED_IND_REM_M_2023/638532110891789445

Biblioteca de Congreso Nacional de Chile. (01 de 03 de 1994). *Ley 19300*. APRUEBA LEY SOBRE BASES

GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE: <https://bcn.cl/2eph7>

Biblioteca del Congreso Nacional. (11 de 2019). *Resolución 23*. DECLARA ZONAS DE PROHIBICIÓN PARA

NUEVAS EXPLOTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS SECTORES HIDROGEOLOGÍCOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN DENOMINADOS REQUÍNOA-ROSARIO-RENGO-QUINTA DE TILCOCO, TINGUIRIRICA INFERIOR, ESTERO LAS CADENAS-MARCHIGÜE Y ESTERO EL ROS:

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1141875&idVersion=2020-02-01>

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (05 de 04 de 1960). *DFL 340*. DECRETO CON FUERZA DE LEY N° 340 SOBRE CONCESIONES MARITIMAS: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5473>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (21 de 05 de 1978). *Decreto Ley 2222*. SUSTITUYE LEY DE NAVEGACION: <https://bcn.cl/2fk93>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (21 de 10 de 1981). *Ley 18046*. LEY SOBRE SOCIEDADES ANONIMAS: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29473>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1985). *Ley 18.450*. APRUEBA NORMAS PARA EL FOMENTO DE LA INVERSION PRIVADA EN OBRAS DE RIEGO Y DRENAJE: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29855>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (26 de 04 de 1985). *Ley 18410*. CREA LA SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29819>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (30 de 12 de 1988). *DFL 70*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=4427>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (22 de 11 de 1989). *Ley 18.892*. LEY GENERAL DE PESCA Y ACUICULTURA: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30265>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (06 de 01 de 1992). *Decreto 1*. REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION ACUATICA: <https://bcn.cl/2f7h6>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (28 de 09 de 1992). *Decreto 430*. FIJA EL TEXTO REFUNDIDO, COORDINADO Y SISTEMATIZADO DE LA LEY N° 18.892, DE 1989 Y SUS MODIFICACIONES, LEY GENERAL DE PESCA Y ACUICULTURA: <https://bcn.cl/2euy8>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1992). *Decreto 430*. FIJA EL TEXTO REFUNDIDO, COORDINADO Y SISTEMATIZADO DE LA LEY N° 18.892, DE 1989 Y SUS MODIFICACIONES, LEY GENERAL DE PESCA Y ACUICULTURA: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13315>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1993). *Ley 19.253*. ESTABLECE NORMAS SOBRE PROTECCION, FOMENTO Y DESARROLLO DE LOS INDIGENAS, Y CREA LA CORPORACION NACIONAL DE DESARROLLO INDIGENA: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30620>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (07 de 03 de 2001). *Decreto 90*. ESTABLECE NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2008). *Ley 20249*. CREA EL ESPACIO COSTERO MARINO DE LOS PUEBLOS ORIGINARIOS: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=269291>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2011). *Ley 20500*. SOBRE ASOCIACIONES Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LA GESTIÓN PÚBLICA: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1023143>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2014). *DFL 382*. LEY GENERAL DE SERVICIOS SANITARIOS: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5545>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2018). *Ley 21118*. MODIFICA LA LEY GENERAL DE SERVICIOS ELÉCTRICOS, CON EL FIN DE INCENTIVAR EL DESARROLLO DE LAS GENERADORAS RESIDENCIALES: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1125560>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2019). *Decreto 8*. APRUEBA REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1143069>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (25 de Octubre de 2022). *Antecedentes sobre plantas de desalinización en Chile*. Serie Minutas N° 74-22-22: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33792/1/N_74_22_Antecedentes_plantas_desalinizacion_en_Chile.pdf

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (25 de 03 de 2022). *Ley 21435*. <https://bcn.cl/2zhx2>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (04 de 2023). *Ley 21561. MODIFICA EL CÓDIGO DEL TRABAJO CON EL OBJETO DE REDUCIR LA JORNADA LABORAL:*
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1191554>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (05 de 2025). *Evolución del índice de precios de suministro de la electricidad : comparación con países seleccionados de América Latina.*
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/37157/1/BCN_Evolucion_Precios_Electricidad_final.pdf

Cabero García, J. (12 de 2015). *Universidad del País Vasco.* PROCESO DE DESALACION DE AGUA DE MAR MEDIANTE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA DE MUY ALTA CONVERSION EN TRES ETAPAS CON RECIRCULACION DE PERMEADO Y DOBLE SISTEMA DE RECUPERACION DE ENERGIA:
<https://addi.ehu.es/handle/10810/18530>

Cambio Energético. (2025). *Coefficiente de temperatura de un panel solar: ¿es importante tenerlo en cuenta?* <https://www.cambioenergetico.com/blog/coeficiente-temperatura-panel-solar/>

Cánovas, S. S. (2016). *Repositorio USM.* FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA ACOPLAR UNA PLANTA DESALADORA POR DESTILACIÓN A UNA CENTRAL TÉRMICA A VAPOR:
<https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/c4ccdc92-91d5-445c-bf1f-8693e497c286>

Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia. (12 de Octubre de 2021). *Cápsula climática: ¿Qué pasa si la sal que se extrae del proceso de desalinización se devuelve al mar?* <https://www.cr2.cl/capsula-climatica-que-pasa-si-la-sal-que-se-extrae-del-proceso-de-desalinizacion-se-devuelve-al-mar/>

Chile Atiende. (05 de 2025). *Afiliación a Fonasa.* <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/9715-afiliacion-a-fonasa>

Codell Muñoz, D. M., & Pereira Pereira, M. A. (2014). *“Caracterización de los recursos energéticos de las regiones del Maule y Bío-Bío”.* <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/1195>

- Comisión Nacional de Energía. (2024). *NORMA TÉCNICA DE CONEXIÓN Y OPERACIÓN DE PMGD EN INSTALACIONES DE MEDIA TENSIÓN*. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/02/NTCO-PMGD-Febrero-2024.pdf>
- Comisión Nacional de Energía. (2025). *INFORME DE COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO*. <https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/costos-de-inversion/>
- Comisión Nacional de Energía. (09 de 2025). *Precio Medio de Mercado*. <https://www.cne.cl/precio-medio-de-mercado-2/>
- Comisión Nacional de Energía. (08 de 2025). *Precios Estabilizados*. <https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/precios-estabilizados/>
- Comisión Nacional de Energía. (08 de 2025). *Precios Estabilizados*. <https://www.cne.cl/tarificacion/electrica/precios-estabilizados/>
- Compañía General de Electricidad. (08 de 2025). *Tarifa de Suministro*. <https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/tarifa-de-suministro/>
- Consejo Nacional de Monumentos. (2021). *Piedra del Viento y Topocalma*. <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/santuarios-de-la-naturaleza/piedra-viento-topocalma>
- Coordinador Eléctrico Nacional. (1 de 2024). *Proyección de Demanda de Largo Plazo del Sistema Eléctrico Nacional*: <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2024/01/Apendice-IV-%E2%80%93-Proyeccion-de-Demanda.pdf>
- Cronoshare. (08 de 2025). *¿Cuánto cuesta instalar una bomba de agua?* <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/instalar-bomba-agua?>
- Csiro Chile. (2021). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rapel*. <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2021/05/Informe-final-Gestio%CC%81n-Integrada-Cuenca-Rapel-30-04-21.pdf>

Diario Oficial. (09 de 2025). *Procedimiento de Constitucion de Sociedad.*

<https://www.diariooficial.interior.gob.cl/sociedades-web/procedimiento-de-constitucion-de-una-sociedad/>

Dijk, S. v. (2006). *LIFE CYCLE COSTING ANALYSES FOR PIPELINE DESIGN AND SUPPORTING SOFTWARE.*

<https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20278-06.pdf>

Dirección de Estudios y Políticas Públicas. (2020). *Consumo de agua en la minería.* Comision Chilena del Cobre:

https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2020%2010%2030%20Consumo%20de%20agua%20en%20la%20mineria%20del%20cobre%20al%202019_version%20final.pdf

Dirección General de Aeronáutica Civil. (2023). *Anuario de Evapotranspiración.*

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/annualb/evapoTranspiracionAnual/340146/2023>

Dirección Meteorológica de Chile. (26 de Abril de 2023). *Boletín de Sequía.* Dirección Meteorológica de Chile:

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/boletinSequia/boletinSequia202304.pdf>

Dirección Meteorológica de Chile. (05 de 2025). *Dirección General de Aeronáutica Civil.* Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos:

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinDeSequias>

Directamar. (2021). *ACTUALIZA CIRCULAR DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL TERRITORIO MARÍTIMO Y DE MARINA MERCANTE, ORDINARIO N° A-53/004.*

https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20230427/20230427101619/a_53_004_310323.pdf

ECOAGUA. (18 de Abril de 2009). *DESALACIÓN MEDIANTE EVAPORACIÓN INSTANTÁNEA MULTIETAPA.*

https://ecoagua.com/wp-content/uploads/2016/12/Art_tecnico_ecoagua_4.pdf

- Edward Jones, M. Q.-m. (2019). *The state of desalination and brine production: A global outlook*. Science of The Total Environment: <https://pdf.sciencedirectassets.com/271800/1-s2.0-S0048969718X0031X/1-s2.0-S0048969718349167/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEGEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIEHYcRgNgJjdT5fr7Xuh1VN2S1WeHE6a1Crb%2BT0vB4jAiBGHbaSI3WHbxWaeFY043Z5OQELVpN%2FEofQm6PC0dcN>
- ENEL. (08 de 2025). *Conceptos de Tarifas*. <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/conceptos-tarifas.html>
- ENEL. (09 de 2025). *Pequeño Medio de Generación Distribuido - PMGD*. <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/pmgd.html>
- Federación de Juntas Vecinales 6°Región. (2019). https://www.tinguiririca.com/_files/ugd/fea654_a57600f7b90443c58c7a78b8b023c81d.pdf
- Gallegos, M. (2016). *Metodología para Determinar el Ancho de la Zona de Protección Litoral (ZPL)*. https://ingenieriaoceanica.uv.cl/images/stories/Memorias/2016/2016-12-12_MARCO_GALLEGOS-DEFENSA.pdf
- Gentile, N., & López, M. T. (2024). *Universidad Nacional de Mar del Plata*. Sistema de indicadores económicos y sociales: la importancia del análisis integrado: <https://eco.mdp.edu.ar/cendocu/repositorio/00408.pdf>
- Global Pumps. (08 de 2025). *UNDERSTANDING THE TRUE COST OF PUMP OWNERSHIP*. <https://www.globalpumps.com.au/blog/how-much-does-a-pump-really-cost?>
- Gobierno Regional. (10 de 2023). *Gobernador Regional culminó entrega de 11 camionesaljibe a comunas de Colchagua y Cardenal Caro*. <https://www.goreohiggins.cl/noticias/noticias-gore/1061-gobernador-regional-culmino-entrega-de-11-camiones-aljibe-a-comunas-de-colchagua-y-cardenal-caro>

Gobierno Regional del Maule. (2019). *Gobierno Regional del Maule*. Plano Zonificación PRC sector Maule:

<https://www.goremaule.cl/goremauleVII/plan-regulador-comunal-de-maule/>

Google. (07 de 2025). *Google Earth* . [https://www.google.com/maps/@-34.2169726,-](https://www.google.com/maps/@-34.2169726,-71.7244436,9639m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)

[71.7244436,9639m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYyNi4wIKXMDSoASAFQAw%](https://www.google.com/maps/@-34.2169726,-71.7244436,9639m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)

[3D%3D](https://www.google.com/maps/@-34.2169726,-71.7244436,9639m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)

Iagua. (24 de Noviembre de 2022). *El sector minero chileno se apoya en la desalinización para potenciarse*.

[https://www.iagua.es/noticias/icex-espana-exportacion-e-inversiones/sector-minero-chileno-se-](https://www.iagua.es/noticias/icex-espana-exportacion-e-inversiones/sector-minero-chileno-se-apoya-desalinizacion)

[apoya-desalinizacion](https://www.iagua.es/noticias/icex-espana-exportacion-e-inversiones/sector-minero-chileno-se-apoya-desalinizacion)

Iberdrola . (4 de Octubre de 2023). *Placas solares fotovoltaicas: qué son, tipos de paneles y cómo*

funcionan. <https://www.iberdrola.com/innovacion/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas>

Indeed. (07 de 2025). *Buscar Sueldos*. <https://cl.indeed.com/career/salaries?from=gnav-title-webapp>

INE. (2025). *Calculadora de IPC*. <https://calculadoraipc.ine.cl/>

Instituto de Investigaciones Agropecuaria. (2022). *Centro de Información de Recursos Naturales*. Manual

técnico de desalación y purificación de aguas mediante osmosis inversa.:

<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/f0301b7c-ee69-419b-804d-cac2c7f85e3f>

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2022). *Aspectos claves de la calidad del agua para consumo y*

utilización en la agricultura. [https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/e7e6e4a3-e832-](https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/e7e6e4a3-e832-41bc-a203-246ad70098dc/content)

[41bc-a203-246ad70098dc/content](https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/e7e6e4a3-e832-41bc-a203-246ad70098dc/content)

Instituto de Salud Pública . (09 de 2025). *DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS EN AGUA*

DE RIEGO. <https://www.ispch.gob.cl/prestacion/8310244/>

Instituto Nacional de Normalización. (1987). *Norma Chilena Oficial*. NCh 1333 Of 78:

https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf

Instituto Nacional de Normalización. (2005). *NCh 409/1 2005*. [https://ciperchile.cl/pdfs/11-](https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf)

[2013/norovirus/NCh409.pdf](https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf)

- Instituto Nacional de Normalización. (2006). *Norma Chilena Oficial* . NCh 409/1 Of. 2005:
<https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>
- Instituto profesional IAAC. (2015). *Evaluacion social de proyectos*. Formulacion y Evaluacion de proyectos:
<https://forecos.cl/wp-content/uploads/2019/10/Evaluaci%C3%B3n-de-Proyectos-Sociales.pdf>
- JKE. (08 de 2025). *Trasporte desde China a Chile*. <https://www.jikelogistics.com/shipping-to/transporte-desde-china-a-chile-guia-completa-de-transporte/>
- Junta de Vigilancia Río Elqui. (09 de 2025). *Ley 18450 y modificaciones 2104*.
<https://www.rioelqui.cl/servicios/preguntas-frecuentes/ley-18450-y-modificaciones-2104/>
- Kuzman, S., Saccoccia, L., & Chertock, M. (16 de Agosto de 2023). *World Resources Institute*.
<https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>
- Lean Production. (08 de 2025). *OEE (Overall Equipment Effectiveness)*.
<https://www.leanproduction.com/oeef/>
- LG CHEM. (07 de 2025). *Software & Design Tools*. Q+ Projection Software:
<https://www.lgwatersolutions.com/resources-page/software-design-tools/>
- Lifeder. (25 de Agosto de 2020). *Electrodialisis: Cómo funciona, ventajas, desventajas, usos*.
<https://www.lifeder.com/electrodialisis/>
- Maury D. Gaston. (2019). *Life Cycle Cost Analysis for Pipelines*. <https://american-usa.com/assets/posts/awwa-wic-st.-louis-.pdf>
- Ministerio de Agricultura. (2023). *Observatorio para la Innovación Silvoagropecuaria y la Cadena Agroalimentaria*. Resultados y lecciones en Programa de eficiencia hídrica para la pequeña agricultura de las Regiones de O'Higgins y del Maule: https://opia.fia.cl/601/articles-123992_archivo_01.pdf

Ministerio de Ciencia, T. C., & C. C. (12 de 2022). *KIMEN*. Biblioteca Digital de Estudios:

<https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/items/b38407dc-f89b-45fb-a37b-ea0d02773e05>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (31 de 05 de 2024). *Tasa Social de Descuento*.

https://sni.gob.cl/storage/docs/Actualizacion_Tasa_Social_de_Descuento.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2024). *Última actualización de la Tasa Social de Descuento*

genera mejores condiciones de promoción de la inversión pública en Chile.

<https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/noticias/ultima-actualizacion-de-la-tasa-social-de-descuento-genera-mejores-condiciones-de-promocion-de-la-in>

Ministerio de Energía. (2016). *Guía de evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos.*

https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_evaluacion_sistema_fv.pdf

Ministerio de Energía. (2020). *GUÍA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*.

https://autoconsumo.minenergia.cl/wp-content/uploads/2020/09/Gui%CC%81a-de-Sistemas-Fotovoltaicos_web_sm.pdf

Ministerio de Energía. (08 de 2025). *Explorador Solar*. <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>

Ministerio de Medio Ambiente. (2020). *Seguridad hídrica doméstica urbana.*

https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/seguridad_hidrica_domestica_urbana/

Ministerio de Medio Ambiente. (2020). *Sequías Hidrológicas.*

https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/sequias_hidrologicas/

Ministerio de Obras Públicas. (2013). *Estrategia Nacional Recursos Hídricos DGA.*

<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/5186ba92-ce89-4298-8e2f-30ad8cb919df>

Ministerio de Obras Públicas. (2024). *Resolución D.G.A N°35.*

https://dga.mop.gob.cl/uploads/sites/13/2024/06/res_35_2024.pdf

- Ministerio de Obras Públicas. (08 de 2025). *Zonas de prohibición*. Resoluciones:
<https://dga.mop.gob.cl/derechos-de-agua/proteccion-de-las-fuentes/zonas-de-prohibicion/>
- MisAbogados. (08 de 2021). *Tipos de sociedades para crear una empresa en Chile*.
<https://www.misabogados.com/guia-de-tipos-de-sociedades-para-crear-una-empresa-en-chile>
- Monje, A. M., & Martínez, F. (2017). *Modelo de GENERACIÓN FOTOVOLTAICA*.
<https://solar.minenergia.cl/downloads/fotovoltaico.pdf>
- Montes Siña, M. L. (06 de 2011). *Repositorio Universidad de Chile*. Prefactibilidad Técnica y Económica de una Planta Desaladora de Agua Marina para la Minería Alimentada con Energía Generada por una Planta de Concentración Solar: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104044>
- Muñoz Castillo, L. P. (2020). *Repositorio USM*. APLICACION DE SISTEMA DE DESALINIZACION DE AGUA DE MAR PARA ABASTECIMIENTO DE DOMO GEODESICO:
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/50707/3560900266986UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naciones Unidas . (26 de Noviembre de 2020). *Noticias Onu*. Mirada Global Historias Humanas:
<https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>
- Naciones Unidas. (17 de 11 de 2023). *Energías renovables: Energías ara un futuro más seguro*. Accion por el Clima: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- National Renewable Energy Laboratory. (2024). *Availability and Performance Loss Factors for U.S. PV Fleet Systems*. <https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/88769.pdf>
- Neutrium. (2012). *Pressure Loss from Fittings - Excess Head (K) Method*.
<https://neutrium.net/articles/fluid-flow/pressure-loss-from-fittings-excess-head-k-method/>
- Nieto, C. M. (2022). *Repositorio USM*. Tesis Prefactibilidad técnica y económica de una desalinizadora para la comuna de Petorca: <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/a977e8ac-3e27-4f19-a78d-ae7b9b234f3d>

- Ñancuan, C., Novoa, V., & Schnell, C. (2022). *Fundación Mapeko*. DESALINIZACIÓN DEL AGUA DE MAR EN CHILE: https://mapeko.org/recursos/desalinizacion-del-agua-de-mar-en-chile/#Impacto_sobre_las_actividades_pesqueras
- Orostizaga Salinas, E. L. (01 de 2018). *Biblioteca USM*. DISEÑO PRELIMINAR DE CAPTACIONES COSTERAS DE AGUA DE MAR – APLICACIÓN EN LA COSTA CENTRAL Y NORTE DE CHILE: <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/4878fee5-bd96-4569-baf9-28288d3a89cc>
- Pardo Lillo, J. J. (12 de 2021). *Repositorio USM*. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PLANTA DESALINIZADORA POR OSMOSIS INVERSA MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA: <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/403ab604-93d6-4ab7-b7d4-79f92dccbe58>
- Paul, F. (Octubre de 11 de 2019). *BBC NEWS*. "Megasequía" en Chile: las catastróficas consecuencias de la mayor crisis del agua de los últimos 50 años: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-49825857>
- PE100+ Association. (2024). *HDPE PE100 & PE100-RC Pipe: Properties and Types*. <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/model/Materials/mrs/HDPE-PE100-PE100-RC-Pipe-Properties-and-Types-i4007.html>
- Petroflex. (2024). *CATÁLOGO DE PRODUCTOS*. <https://www.petroflex.cl/wp-content/uploads/2024/06/Catalogo-de-productos-2024.pdf>
- Portal Minero . (27 de Enero de 2023). *Escasez hídrica impulsa el desarrollo de plantas desaladoras en Chile*. <https://www.portalminero.com/wp/escasez-hidrica-impulsa-el-desarrollo-de-plantas-desaladoras-en-chile/>
- Quiroz, C., & Gonzáles, E. (2017). *Biblioteca Digital INIA*. Manual de manejo de Huerto de olivo: <https://biblioteca.inia.cl/items/471f88b4-0176-4349-9708-d7e0e444a58f>
- REIFF, F. M. (1986). *EMISARIOS SUBMARINOS DE PEQUEÑO DIÁMETRO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)*.

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55770/OPSCEPISPUB0054_spa.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Rulamahue. (09 de 2025). *Región del Libertador General Bernardo O'Higgins*.
<https://www.rulamahue.cl/fichas/cl06/cl06.html>

Saavedra Fenoglio, A., Valdes Riquelme, H., & Zuñiga Espinoza, C. (2022). *Biblioteca INIA*. Postratamientos de agua desalada según su utilización, costos de purificación:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68745/NR42976.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sandia National Laboratories. (2025). *Single Axis Tracking*. <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/1-weather-design-inputs/array-orientation/single-axis-tracking/>

Sanitary Fittings. (07 de 2025). *Pump Efficiency: 6 Common Questions Answered*.
<https://sanitaryfittings.us/pump-efficiency-common-questions-answered?srsIid=AfmBOooJl23oC8gzK89IuuFZQVPXadbmPmHtnzvhrL6rMkvImSobfQK&>

Sasipa. (09 de 2025). *Tarifas del Agua Potable*. <https://www.sasipa.cl/tarifas-agua-potable/>

Science Direct. (01 de 2024). *Techno-economic study and optimization of the performance of nanofiltration and reverse osmosis membranes in reducing the salinity of M'irt water city (Morocco)*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624000420>

Science Direct. (08 de 2025). *Surface water reverse osmosis permeate remineralization via minerals recovery from brines: Insights from a long-term industrial pilot study*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916425003200>

SEA. (07 de 2025). *ANÁLISIS TERRITORIAL PARA LA EVALUACIÓN*.
<https://sig.sea.gob.cl/analisisTerritorialExterno/>

Seatemperature.info. (07 de 2025). *Temperatura del agua en Pichilemu*.
<https://seatemperature.info/es/pichilemu-temperatura-del-agua-del-mar.html>

Secretaría Regional Ministerial de Agricultura. (2020). *PLAN REGIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS* . Región de O'Higgins:

https://www.goreohiggins.cl/images/docs/2020/plan_recursos_hidricos_2020%E2%80%932029.pdf

Servicio de Evaluación Ambiental. (11 de 2020). *SE PRONUNCIA SOBRE CONSULTA DE PERTINENCIA DE INGRESO AL SEIA, SOBRE EL PROYECTO NUEVO “CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN EN RÍO RAPEL”, PRESENTADA POR ÁLVARO LUKSIC JARA.* <https://pertinencia.sea.gob.cl/sea-pertinence-web/services/public/document/3E795EB0-EF33-4862-BD45-ADAA845A402E>

Servicio de Evaluación Ambiental. (03 de 2023). *GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS DE PLANTAS DESALINIZADORAS EN EL SEIA.* <https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/adjuntos/noticias/Gu%C3%ADa%20para%20la%20descripci%C3%B3n%20de%20proyectos%20de%20plantas%20desalinizadoras%20en%20el%20SEIA.pdf>

Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). *Guías de descripción de proyecto.* <https://www.sea.gob.cl/guias-de-descripcion-de-proyecto>

Servicio de Evaluación Ambiental. (08 de 2025). *¿Cuál es el proceso de evaluación de impacto ambiental?* <https://www.sea.gob.cl/evaluacion-de-impacto-ambiental/cual-es-el-proceso-de-evaluacion-de-impacto-ambiental>

Servicio de Impuestos Internos. (2003). *NUEVA TABLA DE VIDA ÚTIL DE LOS BIENES FÍSICOS DEL ACTIVO INMOVILIZADO.* https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm

Servicio de Impuestos Internos. (09 de 2025). *UF 2025.* https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2025.htm

Servicio de Impuestos Internos. (09 de 2025). *UTM - UTA - IPC 2025.* https://www.sii.cl/valores_y_fechas/utm/utm2025.htm

Silak . (05 de 2025). *Bombas de vacío de anillo líquido*. <https://www.silak.cl/bombas-de-vacio-de-anillo-liquido/>

SNU. (Febrero de 2021). *Naciones Unidas Chile*. Escasez Hídrica en Chile: Desafíos Pendientes.: https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20H%C3%ADricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf

SPEC. (07 de 2024). *Proyección de compensaciones debido al mecanismo de precio estabilizado contenido en el DS88/2019*. https://energia.gob.cl/sites/default/files/minisito/proyeccion_de_compensaciones_ds882019_-_spec.pdf

Subsecretaría para las Fuerzas Armadas. (2025). *Concesiones Marítimas*. <https://portalconcesiones.ssffaa.cl/CCMM>

Sugar Process. (07 de 2025). *Pump Related formulas* . <https://www.sugarprocesstech.com/pump-related-formulas/>

Superintendencia de Electricidad y Combustible. (2003). *NCH Elec. 4/2003*. ELECTRICIDAD INSTALACIONES DE CONSUMO EN BAJA TENSIÓN: https://www.sec.cl/sitioweb/electricidad_norma4/norma4_completa.pdf

Superintendencia de Pensiones. (07 de 2025). *Cotización previsional obligatoria*. <https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/w3-propertyvalue-9908.html?>

Superintendencia de Pensiones. (30 de 06 de 2025). *Estadísticas Sistema de Pensiones, Afiliados/as, AFP*. NÚMERO DE AFILIADOS POR A.F.P. (Al 30 de Junio de 2025): https://www.spensiones.cl/apps/loadEstadisticas/genEstadAfiliadosCotizantes.php?id=inf_estadistica/aficot/mensual/2025/06/01C.html&p=M&menu=sci&menuN1=afil&menuN2=afp&orden=10&ext=.html

Superintendencia de Pensiones. (08 de 2025). *Seguro de Cesantía*.

https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/w3-propertyvalue-9894.html#recuadros_articulo_4130_0

Sydney Desalination Plant. (08 de 2025). *How desalination works*.

<https://sydneydesal.com.au/education/how-desalination-works/>

The Engineering ToolBox. (08 de 2025). *Vacuum - Evacuation Time*.

https://www.engineeringtoolbox.com/vacuum-evacuation-time-d_844.html

topographic-map.com. (07 de 2025). *Mapa topográfico Chile*. [https://es-es.topographic-map.com/map-](https://es-es.topographic-map.com/map-5bw3l/Chile/?center=-34.22656%2C-71.79601&zoom=11&base=2&popup=-34.23707%2C-71.69578)

[5bw3l/Chile/?center=-34.22656%2C-71.79601&zoom=11&base=2&popup=-34.23707%2C-71.69578](https://es-es.topographic-map.com/map-5bw3l/Chile/?center=-34.22656%2C-71.79601&zoom=11&base=2&popup=-34.23707%2C-71.69578)

U.S. Bureau of Labor Statistics. (08 de 2025). *CPI Inflation Calculator*. <https://www.bls.gov/>

UNESCO. (2013). *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica*

para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo. Documentos Técnicos del PHI-

LAC, N°33. Centro de Información de Recursos Naturales:

https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/21261/Documento_Tecnico_PHI_-_Nro_33.pdf?sequence=1

United States Environmental Protection Agency. (2019). *Work Breakdown Structure-Based Cost Model for*

Reverse Osmosis/Nanofiltration Drinking Water Treatment. <https://www.epa.gov/>

Universidad de Arkansas. (07 de 2025). *Pumping Plant Efficiency*.

<https://www.uaex.uada.edu/environment-nature/water/agriculture-irrigation/pumping-plant-efficiency.aspx>

Urtubia, F. S. (2017). *Universidad de Chile Facultad de Derecho. Departamento de Derecho Publico* .

RÉGIMEN JURÍDICO DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR EN CHILE. EL CARÁCTER DE BIEN DE

DOMINIO PÚBLICO DEL AGUA DE MAR Y DEL BORDE COSTERO:

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151689/R%C3%A9gimen-jur%C3%ADdico-de-la-desalaci%C3%B3n-de-agua-de-mar-en-Chile-el-car%C3%A1cter-de-bien-de-dominio-p%C3%BAblico-del-agua-de-mar-y-del-borde-costero.pdf>

ViLab. (07 de 2025). *Clima para el cultivo del olivo*. <https://www.vilab.cl/c/clima-olivos>

Villegas, A. A. (2024). *Modelo de evaluación social y privada de plantas desalinizadoras de agua en la zona centro-norte de Chile*. Repositorio Académico de la Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/204607>

World Bank Group. (2019). *The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scarce World*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/476041552622967264/pdf/135312-WP-PUBLIC-14-3-2019-12-3-35-W.pdf>

World Bank Group. (14 de 06 de 2023). *Droughts and Deficits*. <https://www.worldbank.org/en/news/immersive-story/2023/09/12/droughts-and-deficits-the-global-impacts>

Zuñiga Oyanadel, F. J. (2017). *Repositorio USM. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DESALINIZADORA EN LA LOCALIDAD DE LOS MOLLES, PROVINCIA DE PETORCA*: <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/f72c87d6-1805-46bc-874d-3eb2fcad86aa>