



Identificación de zonas para el desarrollo de proyectos integrales de agua y energía.

30 de diciembre de 2020



Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Descarbonización del Sector Energía en Chile

Marchant Pereira 150

7500654 Providencia

Santiago • Chile

T +56 22 30 68 600

I www.giz.de

Responsable:

Rainer Schröer

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile

Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II

Santiago de Chile

T +56 22 367 3000

I www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción, ISBN: 978-956-8066-32-1. Primera edición digital: diciembre 2020.

Cita:

Título: Identificación de zonas para el desarrollo de proyectos integrales de agua y energía
Autor(es): GIZ, Centro de Energía Universidad de Chile, Ministerio de Energía
Revisión y modificación: Daniel Charlín Dussaillant, Pablo Tello Guerra, Rodrigo Vásquez Torres
Edición: Rodrigo Palma Behnke, Pablo Tello Guerra.
Santiago de Chile, 2020.
118 páginas
Agua - Energía - SIG - Análisis territorial



Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

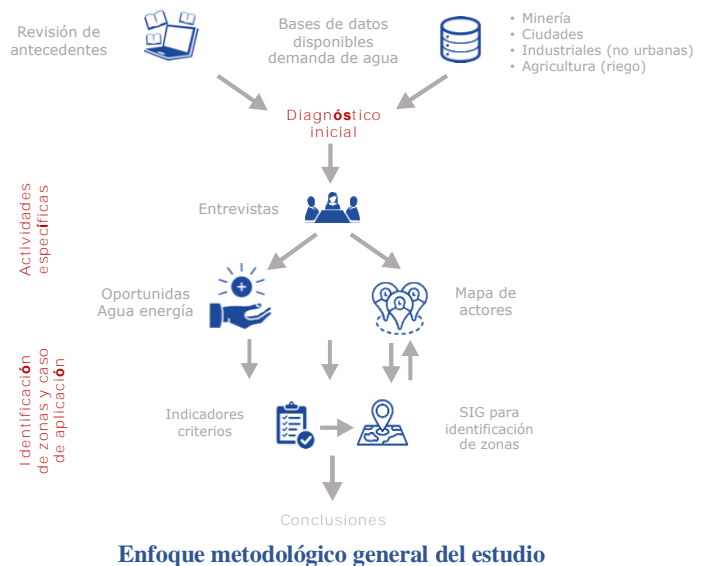
Santiago de Chile, 30 de diciembre de 2020

Resumen Ejecutivo

El Ministerio de Energía y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ por sus siglas en alemán), en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania, están desarrollando el proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile", cuyo propósito es trabajar conjuntamente para que el país alcance la carbono neutralidad al año 2050. Dentro de esta iniciativa, cobra especial importancia el consumo de agua en forma sustentable. En esta línea, y buscando además aplicar el concepto integral agua y energía, GIZ ha propuesto el presente estudio que tiene como objetivo general el disponer de un catastro e identificación de zonas de Chile donde existan las siguientes condiciones habilitantes:

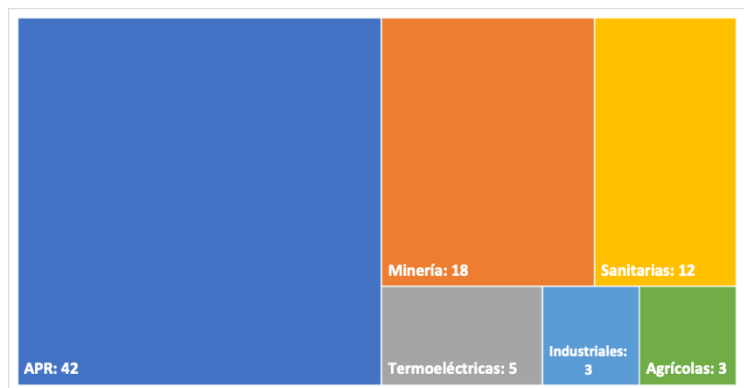
- Proyectos de desalinización en operación o posibilidad de instalación de nuevos proyectos,
- Reconversión de plantas térmicas a carbón por plantas desalinizadoras,
- Demanda por uso de agua en ciudades, industria, agricultura y minería, es decir demandas públicas y privadas, detallando los datos de oferta, entre otros.

De esta forma, se plantean distintos desafíos metodológicos y un tema y enfoque novedosos para Chile en este ámbito, por lo que se espera que este trabajo sirva de base para futuras profundizaciones en aspectos específicos. Dada la diversidad de fuentes de información y objetivos planteados, la figura resume el enfoque metodológico general propuesto para el estudio.



A través de un diagnóstico inicial se presenta la revisión de múltiples antecedentes y bases de datos disponibles en el ámbito de plantas de desalinización, empresas sanitarias, infraestructura energética y demanda por el recurso agua en el sector minero, ciudades, industria, agricultura entre otros. Este diagnóstico es seguido de una serie de entrevistas semiestructuradas a actores relevantes del ámbito público, privado y de la academia. El análisis resultante es clave para la identificación inicial de oportunidades de desarrollo del concepto agua - energía en Chile y disponer de un mapa de actores en este ámbito.

Los resultados alcanzados en las dos etapas anteriores se complementan para poder desarrollar la etapa de identificación de zonas donde existen condiciones habilitantes para proyectos de agua y energía, poniendo énfasis en un análisis integral, relacionado con las actividades productivas, oferta de energía en la zona de influencia y la potencial oferta de agua para ser utilizada en la minería, las sanitarias y otros usos potenciales. Para ello se propone el uso de un SIG que permita una adecuada identificación y estudio de zonas donde existan las condiciones habilitantes para configurar el desarrollo de estos proyectos.



Plantas desalinizadoras en operación en Chile al año 2020.

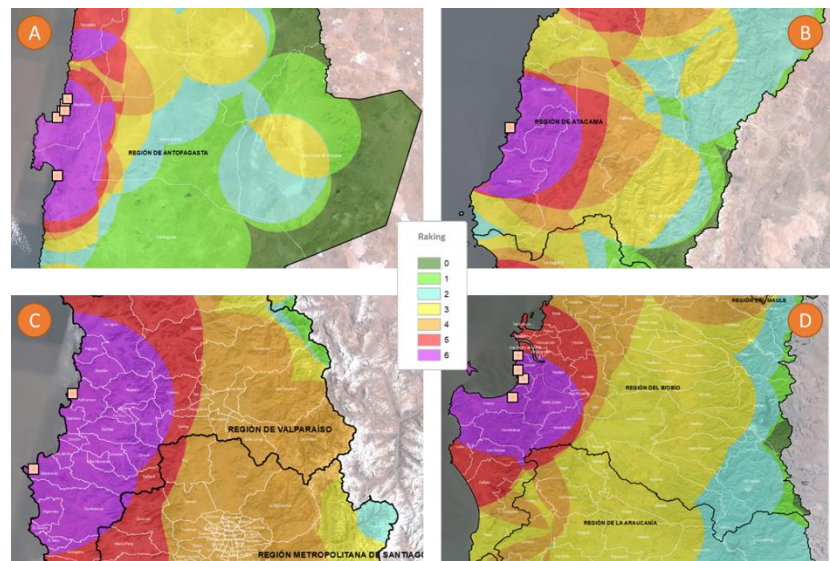
Ello involucra la preparación de bases de datos con información y la definición de indicadores y criterios para la selección inicial de zonas apropiadas, con un foco en la demanda de agua. Posteriormente, se lleva

a cabo la selección de 5 zonas específicas basado en una priorización de ellas y finalmente un ejercicio para el estudio de una zona.

En lo que respecta al levantamiento de la información, en particular de proyectos de desalinización, se han encontrado 83 plantas desalinizadoras operativas a lo largo de todo el territorio nacional, desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Aysén, las que tratan agua de mar o agua subterráneas. De ellas, 42 corresponden a proyectos APR, 18 a proyectos mineros y 12 a sanitarias. Adicionalmente, se han identificado 28 proyectos futuros de desalinización, 22 de ellos relacionados a la minería (nuevos o expansiones) y 6 a empresas sanitarias. También se han incluido 3 sistemas de impulsión de agua de mar como parte del catastro. Para las operaciones mineras e industriales se estima que la capacidad de desalinización aumentará de 5,6 m³/s a 12 m³/s y para el sector sanitario, ésta crece de 4,6 m³/s a 11,2 m³/s. Respecto del consumo de electricidad para la desalinización, se recomienda realizar un catastro específico y el desarrollo de un trabajo futuro para la construcción, calibración y perfeccionamiento de modelos de estimación de demanda eléctrica asociado a desalación, destinada a proyectar consumo eléctrico a partir de las proyecciones de demandas de agua, y su localización en el territorio nacional.

A partir del SIG para la identificación de zonas, se han validado los umbrales y criterios de priorización de variables y atributos en 5 categorías (Fuente Agua Salobre, Condiciones del Terreno, Demanda de Agua, Áreas ambientales sensibles e Infraestructura) que afectan la decisión de desarrollo de las oportunidades de proyectos agua-energía y de las plantas desalinizadores en distintas zonas geográfica del país. Ello permite materializar la evaluación del concepto Agua - Energía, ya que la herramienta permite apreciar en una misma área en el mapa ciudades, actividad agrícola e industrial, empresas de servicios sanitarios y mineras.

Adicionalmente, se ha llevado a cabo una caracterización de zonas con mejor oportunidad para la desalinización, a partir del procesamiento de información geográfica (técnicas de superposición de capas) y la aplicación del conjunto de criterios y umbrales. En este aspecto se han evaluado 5 conjuntos de atributos, con el objeto de seleccionar 5 zonas



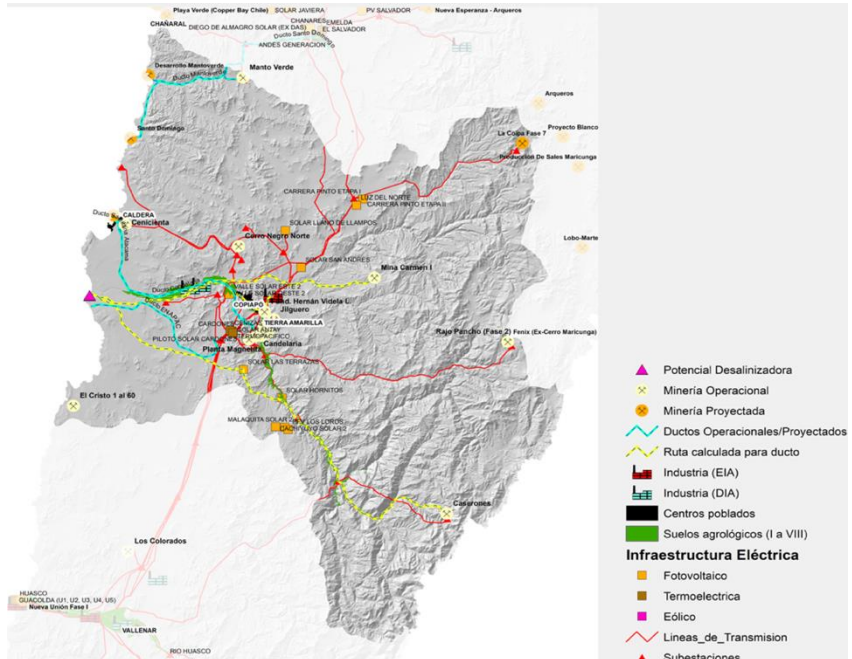
Zonas con criterio centrales termoelectricas para proyectos Agua-Energía

propicias para la implementación de proyectos de desalinización. Ellas equivalen a tipologías relativas a demanda de agua de distintos sectores, escasez hídrica, desarrollo agrícola, reconversión de centrales térmicas y escenario con múltiples criterios (ver figura de ejemplo), lo que ha entregado como resultado una priorización de zonas en el país bajo las condiciones de dichos criterios.

Se selecciona como zona de mayor interés el territorio frente al Valle de Copiapó, donde se pudo llevar a cabo un análisis integrado en detalle del concepto agua – energía. En este caso de estudio se analizó el concepto agua-energía-agricultura, sobre la base de la instalación de una planta de desalinización en dicha zona. De esta manera, a partir de una balance de oferta y demanda de agua, se pudo corroborar que es factible, con una muy baja proporción del agua producida en la planta, abastecer la demanda de los pueblos y aldeas, sector pecuario e industrial de la zona, además de un desarrollo productivo basado en invernaderos para cultivos de olivos, uva de mesa y otros vegetales y frutas de exportación (ver figura siguiente).

Por otro lado, dentro de los principales hallazgos del proceso de entrevistas se denota que la desalinización es una de las iniciativas más relevantes para resolver la problemática de la escasez del recurso, pero se observa una falta de planificación evidente por parte de las instancias reguladoras con competencia en el tema, además que su costo implica una nueva variable que debe ser sopesada y analizada en muchos usos (en particular, agricultura donde el costo por agua tradicionalmente ha sido bajo).

También existe desconocimiento respecto al impacto ambiental que pueden tener las plantas en distintas zonas del país, debido a la ausencia de normas de calidad de agua en las bahías (zonas de abrigo) y una carencia de una tipología específica en la normativa medio ambiental. También se destaca la importancia de distinguir entre los grandes proyectos de desalinización industrial y los de baja escala (incluidos APRs). Estos últimos poseen buena recepción en la comunidad, pero son susceptibles de dejar de estar operativos de manera temprana y generar impactos ambientales considerables. Por ello es importante poner énfasis en la capacitación para la mantención y monitoreo del equipamiento y apoyar a estas comunidades para cumplir las legislaciones y normativas ambientales que eviten impactos ambientales, pero que no se traduzcan en costos que hagan inviables su implementación. Si bien en la mayoría de los proyectos la osmosis inversa es la tecnología dominante, en los de pequeña escala podría haber espacio para tecnologías más innovadoras.



Ejercicio integral Agua – Energía cuenca del río Copiapó

En el caso de las plantas grandes, es importante estudiar mejoras en la regulación del territorio costero para evitar la concentración de dichas plantas en las bahías más propicias o al menos mezclar plantas grandes y pequeñas, que permitan hacerse cargo de la implementación y mantención de estas últimas, hacerse cargo de los temas regulatorios pendientes y mejorar la licencia social para que actores cercanos a la costa reciban los beneficios asociados.

En lo que se relaciona al nexo principal entre agua y energía, se observa una coincidencia feliz por su localización en regiones con alto potencial de energías renovables, entre otras fortalezas. Junto a ello se relevan opciones asociadas a la valorización de la salmuera, para recuperar productos de interés como el hipoclorito de sodio, sodio, boro, litio, magnesio, potasio e iniciativas relacionadas con economía circular. Sin embargo, se vislumbra que la desalinización se podría convertir en el gran consumo eléctrico del futuro, más allá de lo cuantificado por el sector minero.

La visión anterior es similar en la región de Atacama (zona seleccionada para el análisis en detalle), con muchas comunidades interesadas en la desalinización y un gran potencial agrícola, pero el costo de producción e impulsión inviabiliza la adopción de la tecnología. Una opción es convertir territorios costeros a agrícolas en un formato tecnificado con invernaderos para reducir el costo de impulsión del agua desalinizada.

Glosario

APR:	Agua Potable Rural
APU:	Agua Potable Urbana
CIREN:	Centro de Información de Recursos Naturales
CEN:	Coordinador Eléctrico Nacional
CNE:	Comisión Nacional de Energía
CNR:	Comisión Nacional de Riego
Cochilco:	Comisión Chilena del Cobre
DAAC:	Derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos
DAANC:	Derechos de aprovechamiento de aguas no consuntivos
DGA:	Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas
DIA:	Declaración de Impacto Ambiental
EIA:	Evaluación de Impacto Ambiental
FIC:	Fondo de Innovación y Competitividad
IDE Chile:	Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile
INE:	Instituto Nacional de Estadísticas
MED:	Desalinización Multiefecto
MEN:	Ministerio de Energía
CMV:	Compresión mecánica de vapor
PAD:	Potencial Área de Desalinización
PPA:	Power Purchase Agreement
RCA:	Resolución de Calificación Ambiental
SEA:	Servicio de Evaluación Ambiental
SEIA:	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEN:	Sistema Eléctrico Nacional
SIG:	Sistema de Información Geográfico
SINIA:	Sistema Nacional de Información Ambiental
SISS:	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SSCC:	Servicios complementarios
ZOIT:	Zonas de Interés Turístico

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Contexto del estudio	9
1.2. Objetivos	9
1.3. Estructura del documento	13
2. METODOLOGÍA PROPUESTA	14
2.1. Visión general	14
2.2. Sistema Informático Geográfico (SIG) para identificación de zonas	15
2.2.1. Bases de datos e indicadores	16
2.2.2. Selección inicial de zonas con un foco en la demanda de agua	17
2.2.3. Selección de cinco zonas	17
2.2.4. Estudio de zona específica	17
3. REVISIÓN DE ANTECEDENTES	18
3.1. Identificación de proyectos de desalinización en operación y planificación 2020-2040	18
3.2. Identificación de proyectos mineros actuales y en planificación hasta 2040	22
3.3. Identificación de ciudades y poblados con baja capacidad de reservas de agua para consumo y/o el desarrollo efectivo de su actividad local.	28
3.3.1. Información demográfica	28
3.3.2. Consumo de agua actual y proyectado por ciudad	29
3.3.3. Información de escasez de agua	30
3.4. Identificación de empresas sanitarias que atienden a ciudades o poblados	31
3.5. Identificación de actividad industrial relevante fuera del radio urbano con demanda de agua	34
3.6. Identificación de actividad agrícola en territorio nacional	36
3.7. Caracterización de infraestructura energética cercana a los casos identificados	39
3.8. Identificación de restricciones del territorio	42
3.9. Síntesis de revisión de antecedentes	43
4. ENTREVISTAS, MAPA DE ACTORES Y OPORTUNIDADES	56
4.1. Entrevistas y mapa de actores relacionados	56
4.1.1. Entrevistas a actores relacionados	57
4.1.2. Mapa de actores	63
4.2. Oportunidades de desarrollo agua-energía	66
4.2.1. Desalinización y agricultura	66
4.2.2. Sinergia desalinización, energía solar, hidrógeno.	68

4.2.3.	Desalinización in situ	70
4.2.4.	Sinergia tecnología CSP y minería	71
4.2.5.	Agua, energía solar e hidrógeno	72
4.2.6.	Centrales de bombeo	73
4.2.7.	Conversión centrales convencionales	73
5.	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS A PARTIR DE SIG	76
5.1.	Preparación de bases de datos y definición de indicadores y criterios	76
5.1.1.	Metodología seleccionada basada en criterios y umbrales	76
5.1.2.	Metodología alternativa basada en ponderadores	79
5.2.	Selección inicial de zonas con un foco en la demanda	80
5.3.	Selección de 5 zonas específicas	80
5.3.1.	Screening inicial de Potenciales Áreas de Desalinización	80
5.3.2.	Combinación de criterios para la selección de las cinco zonas de estudio	83
5.3.3.	Caracterización de zonas con mejor oportunidad para el desarrollo de proyectos agua – energía	85
5.4.	Análisis para zona seleccionada: Valle de Copiapó	96
5.4.1.	Aspectos metodológicos	96
5.4.2.	Descripción de zona seleccionada	96
5.4.3.	Ejercicio de proyecto integral Agua – Energía	98
5.4.4.	Identificación del impacto que la desalinización tendría en la zona costera de Copiapó	105
6.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	111
7.	REFERENCIAS	115
8.	ÍNDICE DE ANEXOS	117

1. Introducción

1.1. Contexto del estudio

El Ministerio de Energía y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ por sus siglas en alemán), en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania, están desarrollando el proyecto "Descarbonización del Sector Energía en Chile", cuyo propósito es trabajar conjuntamente para que el país alcance la carbono neutralidad al año 2050. Dentro de esta iniciativa, cobra especial importancia el consumo de agua en forma sustentable. Este proyecto se enmarca en estudio de las posibilidades de habilitar iniciativas agua-energía en Chile, con miras a colaborar con la carbono neutralidad.

La inversión en proyectos de energías renovables no convencionales (ERNC) ha crecido de manera muy importante en el país y es una base fundamental para los compromisos de reducción de GEI a nivel internacional. Por otro lado, la relación estrecha entre la producción de energía renovable y la provisión de agua para las ciudades, industria y minería, agricultura y producción de hidrógeno, es muy relevante en el contexto de la descarbonización.

A modo de ejemplo, en octubre de 2019 existían en Chile 24 plantas de desalación de agua operando y otros 22 proyectos en diferentes etapas de avance, destinados a satisfacer principalmente la demanda minera (Consejo Políticas de Infraestructura, 2020), sector productivo que ya no puede hacer uso de aguas continentales para nuevas iniciativas. Eso significa que, para mantener el ritmo de los proyectos, se requerirá una provisión de agua desalada, lo cual representa un desafío importante. En particular, los proyectos de desalación requieren un uso intensivo de energía eléctrica, por lo que considerar una matriz eléctrica con una participación renovable cada vez mayor permitiría habilitar proyectos de desalación sustentable en el país.

En esa línea, y buscando además aplicar el concepto integral agua y energía, GIZ ha propuesto el presente estudio para identificar y catastrar las distintas zonas de Chile que cuenten con las condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos de desalinización y que también consideren los datos de oferta y demanda necesaria, tanto de agua como del consumo de electricidad (incluyendo transporte y bombeo).

Se ha solicitado al Centro de Energía de la Universidad de Chile proponer una metodología replicable que permita la comprensión y evaluación de la oportunidad del concepto agua-energía en el contexto nacional.

1.2. Objetivos

En el contexto planteado, el objetivo general del estudio corresponde a **realizar un catastro e identificación de zonas de Chile donde existan las siguientes condiciones habilitantes:**

- Proyectos de desalinización en operación o posibilidad de instalación de nuevos proyectos.
- Reconversión de plantas térmicas a carbón por plantas desalinizadoras.

- Demanda por uso de agua en ciudades, industria, agricultura y minería, es decir demandas públicas y privadas.

Se deben detallar los datos de oferta y demanda necesaria, tanto de agua como del consumo de electricidad incluyendo transporte y bombeo de agua.

Para alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Objetivo específico 1 (OE1)

Identificar zonas potenciales para aplicación de concepto Agua y Energía, donde se aprecien en una misma área en el mapa ciudades, actividad agrícola e industrial, empresas de servicios sanitarios y mineras. Para la construcción de cada zona se deberá:

- a. Identificar proyectos de desalinización en operación y planificación 2020-2040, especificando:
 - i. Nombre del proyecto.
 - ii. Dueño (s).
 - iii. Ubicación y área de emplazamiento.
 - iv. Fecha de ingreso a SEIA o la fecha estimada para ello.
 - v. Fecha aprobación RCA (si corresponde).
 - vi. Fecha de inicio de operación o estimada para el mismo.
 - vii. Medio a través del cual se proveerá el agua desalada (bombeo, transporte por movilidad u otro). Identificar además el trazado territorial preliminar de los ductos o transporte terrestre, y la capacidad de los distintos medios, con tal de mapear toda la cadena de valor, desde la producción de agua desalada hasta su consumo.
 - viii. Indicar, de ser posible, los puntos intermedios de bombeo y la respectiva potencia.
 - ix. Capacidad de producción de agua desalada (lts/s o m³/h) y tecnología a utilizar.
 - x. Cliente al cual proveerán el agua desalada (privado o público).
 - xi. Potencia eléctrica máxima necesaria y factor de planta del consumo, que identifique un patrón de utilización de la energía en el tiempo.
 - xii. Punto de empalme al sistema eléctrico, en particular identificar el nombre de la(s) respectiva(s) línea(s) de alta tensión a la cual se conecta o conectará, de ser posible. Lo anterior tanto para las plantas de desalinización como para la cadena de distribución hasta los puntos de consumo.
 - xiii. Caracterización de los perfiles de demanda, con diferenciación entre etapas y operaciones.
- b. Identificar proyectos mineros actuales y en planificación hasta el año 2040, especificando:
 - i. Nombre del proyecto.
 - ii. Propietarios(s).
 - iii. Ubicación y área de emplazamiento.
 - iv. Demanda estimada por agua, tipo (salada o desalada) y calidad de la misma.
 - v. Si hay proyecto preliminar de provisión de agua y trazado (si es que existiese).

- c. Identificar ciudades y poblados que actualmente o en el horizonte 2020 a 2040 se identifiquen con baja capacidad de reservas de agua para consumo y/o el desarrollo efectivo de su actividad local. Además, identificar si éstos pudieran estar dentro del área de influencia de un proyecto minero o de desalinización industrial (como localidades aisladas intermedias del trazado), especificando:
 - i. Nombre de la(s) ciudad(es) y/o poblado(s).
 - ii. Cantidad de habitantes.
 - iii. Registro demográfico con tasas de crecimiento/decrecimiento poblacional histórico.
 - iv. Demanda total de agua fresca y variabilidad estacional.

- d. Identificar empresa sanitaria que atiende a ciudades o poblados, especificando:
 - i. Nombre de empresa.
 - ii. Propietario(s).
 - iii. Origen del agua utilizada.
 - iv. Capacidad de provisión de agua (lts/s).
 - v. Capacidad de tratamiento de agua (lts/s).
 - vi. Distancia al borde costero del país.
 - vii. Estatus de la provisión de agua y proyecciones para los próximos 20 años.

- e. Identificar actividad industrial relevante fuera del radio urbano con demanda de agua, detallando los usos que se le da a ésta.

- f. Identificar actividad agrícola en territorio nacional, especificando:
 - i. Red de canales de regadío principales y secundarios.
 - ii. Caudales actuales (de ser posible).
 - iii. Proyección de caudales futuros (de ser posible).

- g. Determinar cada distancia entre el posible punto de toma de agua de mar y el punto de consumo de agua final más elevado, incluyendo también la diferencia de altura para cada caso.

- h. Identificar el impacto que la desalinización tendría en las zonas costeras para los casos identificados, proponiendo medidas que le brinden una componente de sostenibilidad a los eventuales proyectos, con foco socioambiental y protección a los océanos.

- i. Caracterizar infraestructura de desarrollo energético cercana a los casos identificados, especificando:
 - i. Subestaciones transformadoras, elevadoras o reductoras.
 - ii. Existencia de líneas de transmisión.
 - iii. Proyectos de expansión.
 - iv. Centrales generadoras a carbón y si cuentan con desalinizadora.
 - v. Centrales generadoras indicativas, resultantes del proceso de actualización de la Planificación Energética de Largo Plazo vigente, sitio web: pelp.minenergia.cl

- j. Dentro de las zonas, indicar distintas restricciones de territorio como son: ZOIT, ley de protección de pueblos originarios (particularmente espacio costero marino), parques nacionales, zonas protegidas y otras restricciones.
- k. Zonificación de la superficie resultante al compilar la información levantada.

Objetivo específico 2 (OE2)

En base a la información anterior, definir indicadores, criterios y metodología replicable, según experiencia nacional, internacional y literatura, y en su defecto que sean propuestos por el equipo consultor, para evaluar las sinergias entre las condiciones demográficas, económicas, desarrollo industrial, energéticas, costos de producción y distribución, entre otros, que permitan evaluar la oportunidad a la desalinización.

Objetivo específico 3 (OE3)

A partir de la metodología propuesta caracterizar al menos las 5 zonas que tengan la mejor oportunidad para el desarrollo de la desalinización. Analizar con mayor profundidad los requerimientos energéticos para abastecer demanda de agua, además, de analizar la capacidad energética disponible.

Objetivo específico 4 (OE4)

Entrevistar a empresas públicas o privadas, ya sea nacionales o internacionales (6 como mínimo), que desarrollen o impulsen proyectos de desalinización, tratamiento de agua o estén relacionados con el concepto integral agua - energía, las cuales deberán ser consensuadas con la contraparte del estudio. En cada entrevista se deberá recabar la siguiente información:

- a. Datos de la empresa y propiedad.
- b. Proyectos desarrollados y de ser posible el costo de la energía proyectado o considerado en su evaluación.
- c. Contratos existentes de suministro de energía.
- d. Brechas para la contratación de energía renovable
- e. Visión sobre el desarrollo futuro de las plantas de desalinización y propuesta sobre como implementar este tipo de proyectos integrales y su impacto económico y social.

Objetivo específico 5 (OE5)

Entrevistar a representantes de organismos locales como Gobiernos Regionales, Municipalidades u otro similar (4 como mínimo), que se encuentren hoy en día trabajando en temas de escasez hídrica. En cada entrevista se deberá recabar la siguiente información:

- a. Datos de la organización.
- b. Necesidades locales en torno al recurso hídrico.
- c. Visión sobre el desarrollo futuro de las plantas de desalinización y propuesta sobre como implementar proyectos integrales (energía-agua) y su impacto económico y social.

Objetivo específico 6 (OE6)

Elaborar un mapa preliminar de los actores más relevantes identificados en cada zona definida.

1.3. Estructura del documento

Dada la diversidad de fuentes de información y objetivos planteados, en la segunda sección de este documento se presenta el planteamiento metodológico que permite abordar cada uno de ellos. En la sección tres se presenta la revisión de antecedentes, la que se apoya en diversos anexos con resultados detallados de las fuentes de información revisadas, junto con el conjunto de referencias. En la sección 4 se presentan tres actividades específicas (entrevistas, mapa de actores y oportunidades de desarrollo), que junto con la revisión de antecedentes permiten presentar la sección 5 de identificación de zonas de Chile donde existen condiciones habilitantes para proyectos de agua y energía. Finalmente, en la sección 6 se presentan los comentarios finales y conclusiones del estudio.

2. Metodología propuesta

2.1. Visión general

El presente estudio plantea distintos desafíos metodológicos con el fin de poder realizar un catastro e identificación de zonas de Chile donde existan las condiciones habilitantes para el concepto Agua y Energía. El estudio plantea un tema y enfoque novedosos para Chile en este ámbito, por lo que se espera que este trabajo sirva de base para futuras profundizaciones en aspectos específicos. Asimismo, los objetivos específicos definidos en la sección anterior cubren múltiples temas de carácter diferenciado con el fin de poder alcanzar el objetivo final del estudio. Consecuentemente, dada la diversidad de fuentes de información y objetivos planteados, la Figura 1 resume el enfoque metodológico general propuesto para el estudio.

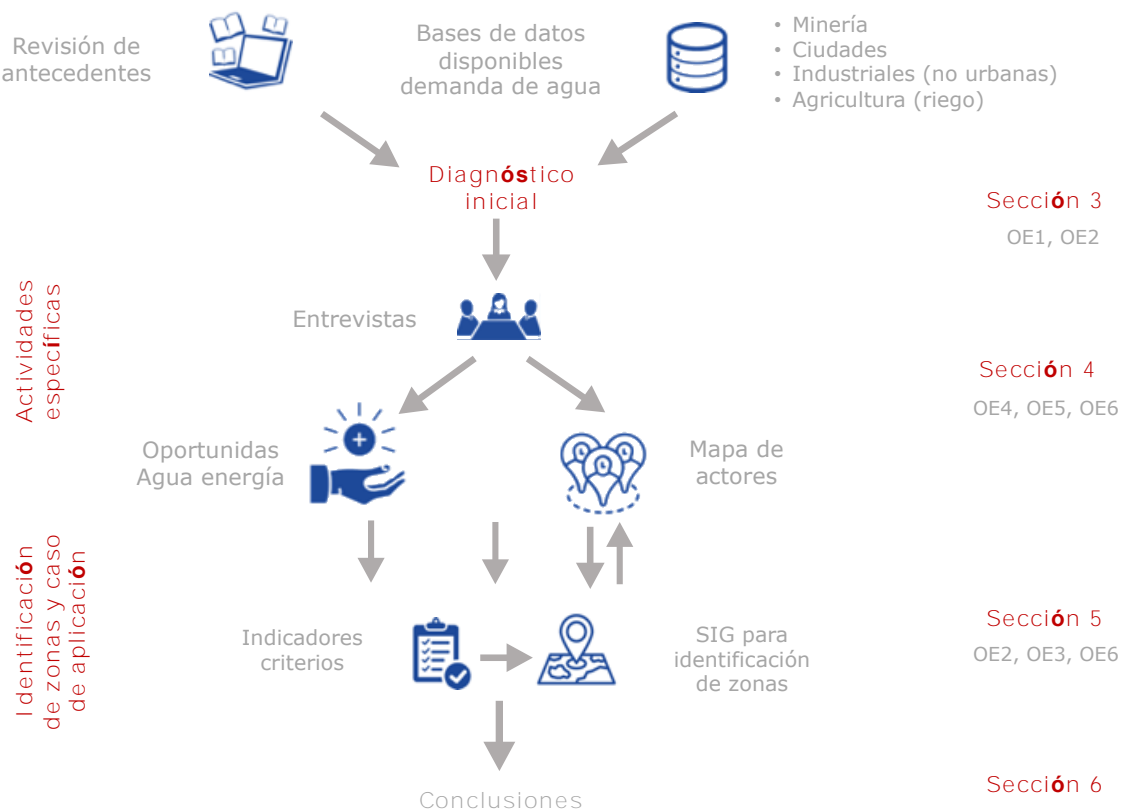


Figura 1: Enfoque metodológico general del estudio. Fuente: Elaboración propia.

La primera etapa corresponde a un diagnóstico inicial para el que es necesario la revisión de múltiples antecedentes (información secundaria) y bases de datos disponibles en el ámbito de plantas de desalinización, empresas sanitarias, infraestructura energética y demanda por el recurso agua en el sector minero, ciudades, industria, agricultura entre otros. Este diagnóstico inicial, permite abordar los OE1 y OE2 del proyecto, pero a la vez sirven de antecedentes/insumos para las etapas siguientes.

Como segunda etapa se desarrollan actividades específicas que se inician con una serie de entrevistas semiestructuradas a actores relevantes del ámbito público, privado y de la academia.

Esta fuente de información primaria, a la que se suman los antecedentes ya disponibles, permiten realizar una identificación inicial de oportunidades de desarrollo del concepto agua y energía en Chile y disponer de un mapa de actores en este ámbito. El cumplimiento de esta etapa se asocia a abordar los OE4, OE5 y OE6 del estudio.

Los resultados alcanzados en las dos etapas anteriores se complementan para poder desarrollar la etapa de identificación de zonas donde existen condiciones habilitantes para proyectos de agua y energía. Para ello es necesario la determinación de los indicadores y criterios aplicables a la identificación de zonas, los que a su vez definen el uso de un sistema de información geográfico (SIG) para dicho fin. El proceso de identificación de zonas es descrito en forma detallada en la siguiente subsección. Asimismo, en esta etapa se desarrolla el caso de aplicación correspondiente, para el que también es necesario incluir insumos directos de los actores relevantes a los desarrollos de agua y energía en la región. Esta etapa permite complementar los resultados asociados a los OE2 y OE6 y, a su vez, abordar el OE3 del estudio.

Finalmente, la última etapa presenta los comentarios finales y conclusiones del estudio.

2.2. Sistema Informático Geográfico (SIG) para identificación de zonas

El proyecto involucra el levantamiento de información y la implementación de una metodología basada en antecedentes técnicos, económicos y ambientales para evaluar la oportunidad del desarrollo de proyectos integrales agua energía en el territorio. Se pone énfasis en un análisis integral, relacionado con las actividades productivas, oferta de energía en la zona de influencia y la potencial oferta de agua asociada a partir de las plantas de desalinización (u otro tipo) para ser utilizada en la minería, las sanitarias y otros usos potenciales. En este contexto, de acuerdo con el esquema metodológico general presentado, en esta sección se plantea el uso de un SIG que permita una adecuada identificación y estudio de zonas donde existan las condiciones habilitantes para configurar el desarrollo de proyectos agua-energía.

En la Figura 2 se presenta el enfoque metodológico propuesto para esta etapa, haciendo uso de un SIG, el que considera las siguientes subetapas:

- Preparación de bases de datos y definición de indicadores y criterios.
- Selección inicial de zonas con un foco en la demanda.
- Selección de 5 zonas específicas.
- Estudio de zona específica.

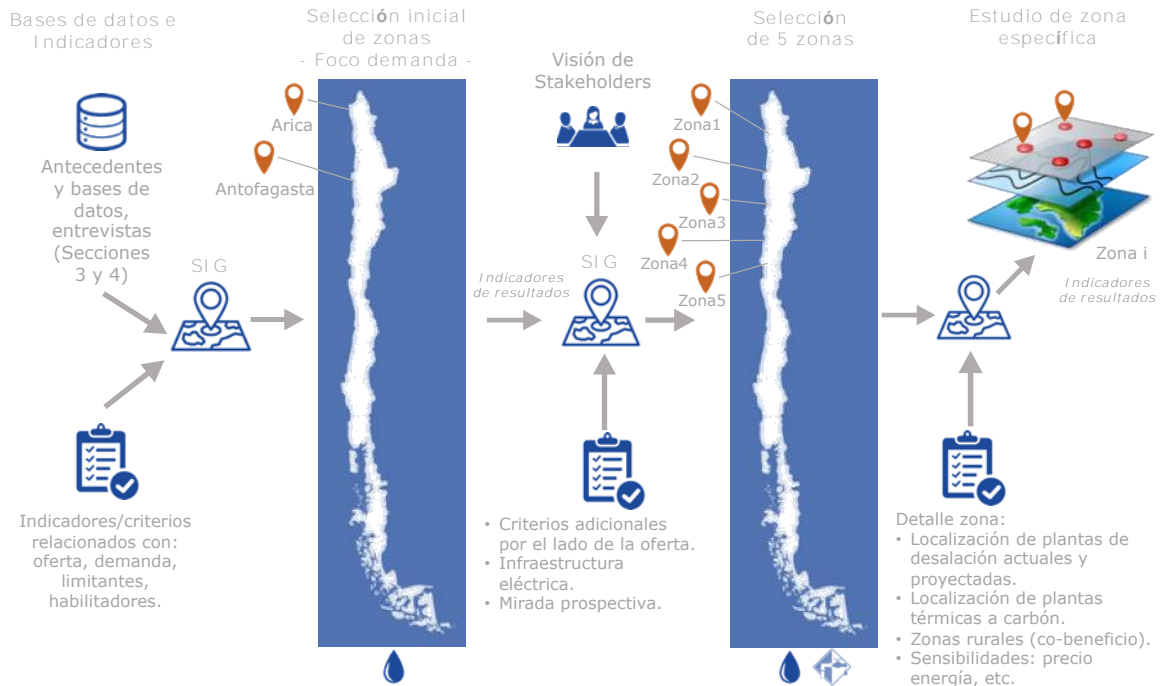


Figura 2: Enfoque metodológico para la identificación y estudio de zonas. Fuente: Elaboración propia

2.2.1. Bases de datos e indicadores

El catastro y levantamiento de información asociada a la oferta y demanda de agua-energía a nivel nacional se realiza sobre la base de los principales sectores como minería, agricultura e industria, a lo que se suma el consumo de agua de las ciudades. De esta forma, en una primera etapa se trabaja en el levantamiento de información para identificar de manera gráfica (en el SIG) la demanda de agua. Esta información, en forma de bases de datos, es integrada en diferentes capas del SIG, lo que permite posteriormente definir áreas preliminares para acotar la búsqueda de zonas potenciales para la desalinización y condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos agua - energía. A ello se suman una serie de restricciones del territorio que son incorporadas a la base de datos del sistema.

En forma paralela, se establecen criterios e indicadores relacionados con la oferta, demanda, factores limitantes y habilitadores del concepto agua - energía. Con ayuda del SIG, este esquema multicriterio permite considerar simultáneamente diversos atributos (oferta, demanda, características del terreno, áreas ambientales sensibles e infraestructura), los cuales posibilitan una jerarquización de las zonas identificadas.

En consecuencia, esta etapa corresponde a una preparación del uso del SIG para los objetivos específicos de este estudio.

Con la información descrita y la herramienta SIG habilitada se lleva a cabo la selección inicial de zonas para aplicar el concepto agua - energía.

2.2.2. Selección inicial de zonas con un foco en la demanda de agua

En esta etapa se trabaja en el levantamiento de información para identificar de manera georeferenciada (en el SIG) la demanda de agua de acuerdo con distintas dimensiones. Corresponde a una etapa que sistematiza el resultado de las distintas bases de datos integradas, de forma de disponer de una primera revisión de las necesidades actuales y futuras de agua en el territorio. Cada una de las fuentes de información, junto con las visualizaciones en el territorio permite la identificación de zonas de posibles desarrollos con un foco en la demanda de agua.

2.2.3. Selección de cinco zonas

Una vez aplicados los criterios de priorización de la demanda, se lleva a cabo la selección de cinco zonas para aplicar el concepto agua - energía. El proceso se basa en una selección extendida multicriterio que permita considerar diversos atributos que posibilitarán jerarquizar las zonas con mejor aptitud para desarrollar el concepto agua-energía. En esta etapa se considera la visión de los stakeholders y criterios adicionales por el lado de la oferta de agua e infraestructura eléctrica (incluidas las centrales térmicas que se retirarán del parque generador), con lo que se desarrolla el análisis prospectivo agua-energía.

El enfoque busca generar las oportunidades para el aprovechamiento de la oferta de agua en los sectores que la demanda se hace prioritaria. Por ejemplo, en el caso de las desalinizadoras, si las plantas poseen holguras para atender otros requerimientos (si no tienen ocupada toda su capacidad) se podría dar que puedan destinarse a otros sectores de la demanda. En el caso de la minería, si se identifican proyectos que no demandarán agua desalada en el futuro (por término de operaciones u otra razón) se podrían buscar usos alternativos en el territorio cercano al trazado de la impulsión del agua, de manera de que sean abastecidos.

En este sentido, se definen criterios que permiten entregar una prioridad de aplicación de las distintas variables y disponer de una metodología para aplicar y seleccionar zonas y territorios con potencial en futuros ejercicios que desarrolle la contraparte técnica. Ello posibilita relevar otros lugares, aparte de las cinco zonas solicitadas en las bases del estudio, para lo cual se dejan las bases de datos asociadas como resultado del proyecto.

La información que se ha considerado para desarrollar la zonificación del territorio, respecto de la demanda y oferta de agua, es aquella disponible de manera pública o que ha sido gestionada por la contraparte técnica.

2.2.4. Estudio de zona específica

En la última etapa se selecciona una de las cinco zonas identificadas con el fin de realizar un ejercicio de proyecto integral Agua – Energía. El alcance de este análisis se define caso a caso y contempla aspectos tales como:

- Localización de plantas de desalación actuales y proyectadas.
- Localización de plantas térmicas a carbón.

- Zonas rurales (co-beneficio).
- Sensibilidades: precio energía, entre otros.

En esta última etapa se busca asimismo detallar la metodología de aplicación al territorio, de manera de poder conocer detalles de una eventual implementación aprovechando las oportunidades detectadas a lo largo de estudio.

3. Revisión de antecedentes

En esta sección se resume el conjunto de antecedentes recopilado y sistematizado a lo largo del estudio y que sirve de base para los desarrollos que se presentan en las siguientes secciones. Las temáticas cubren aspectos tanto de oferta como de demanda del concepto agua - energía.

3.1. Identificación de proyectos de desalinización en operación y planificación 2020-2040

En esta sección se lleva a cabo el levantamiento de información tendiente a identificar los proyectos de desalinización en operación y planificación 2020-2040. Respecto de la información solicitada, su estado de disponibilidad se resume a continuación en la Tabla 1. En anexo se presentan fichas para los distintos proyectos de desalinización existentes en el país.

Tabla 1: Fuentes de información proyectos de desalinización.

Información requerida	Estado	Fuentes principales
Nombre del proyecto	Disponible	MOP (2020), SEA (2020), Editec (2019)
Dueño(s)	Disponible	MOP (2020), SEA (2020), Editec (2019)
Ubicación y área de emplazamiento	Disponible para la mayoría de los proyectos	MOP (2020), SEA (2020), Editec (2019)
Fecha de ingreso a SEIA o la fecha estimada para ello	Disponible	SEA (2020)
Fecha aprobación RCA (si corresponde)	Disponible para la mayoría de los proyectos	SEA (2020)
Fecha de inicio de operación o estimada para el mismo	Disponible para la mayoría de los proyectos	SEA (2020), Editec (2019)
Medio a través del cual se proveerá el agua desalada (bombeo, transporte por movilidad u otro).	Disponible para la mayoría de los proyectos	SEA (2020), Editec (2019)
Indicar, de ser posible, los puntos intermedios de bombeo y la respectiva potencia	No disponible	-
Capacidad de producción de agua desalada (lts/s o m3/h) y tecnología a utilizar	En general, la tecnología a utilizar no está disponible	SEA (2020), Editec (2019)

Cliente al cual proveerán el agua desalada (privado o público).	Disponible	SEA (2020), Editec (2019)
Potencia eléctrica máxima necesaria y factor de planta del consumo, que identifique un patrón de utilización de la energía en el tiempo	No disponible, en general.	SEA (2020), Editec (2019)
Punto de empalme al sistema eléctrico	No disponible	-
Caracterización de los perfiles de demanda, con diferenciación entre etapas y operaciones	No disponible	-

Al año 2020, en Chile se han instalado **83 plantas desalinizadoras**, las cuales se encuentran operativas a lo largo de todo el territorio nacional, desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Aysén (a partir de la recopilación propia). Estas plantas desalinizadoras tratan agua de mar o agua subterránea (ver Figura 3).

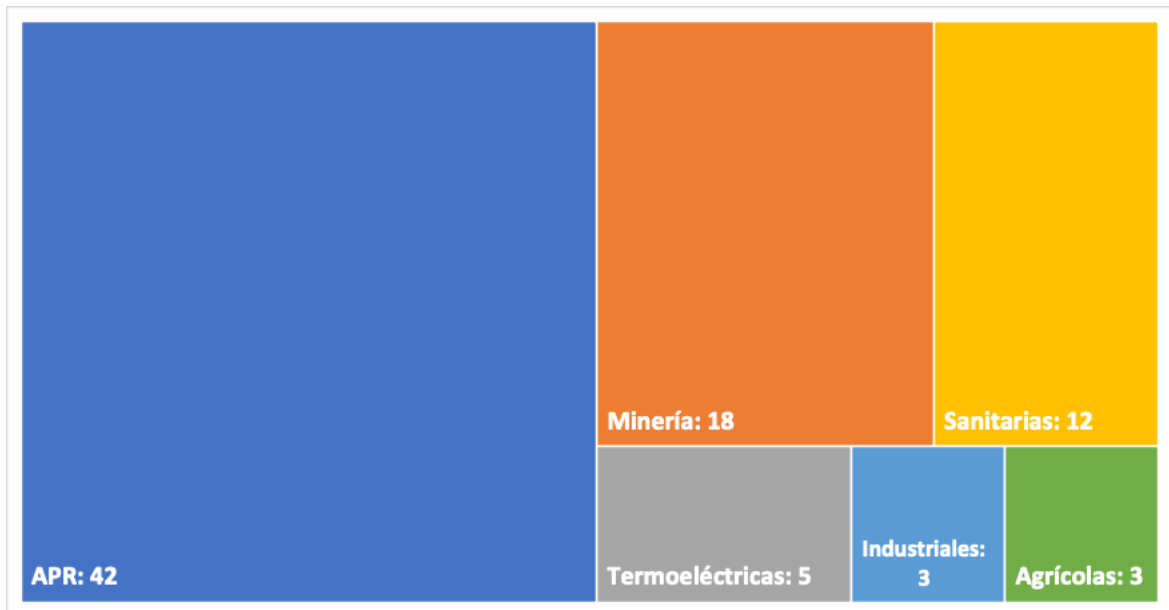


Figura 3: Plantas desalinizadoras en operación en Chile al año 2020. Fuente: Elaboración propia

Del total de estas plantas desalinizadoras catastradas para el sector minero a nivel nacional, el 94% utiliza la tecnología de ósmosis inversa, el 6% utiliza la tecnología de compresión mecánica de vapor (CMV). Para el caso de las empresas sanitarias un 100% utiliza la tecnología de ósmosis inversa. En lo que respecta a los APR, todas las plantas usan osmosis inversa, excepto una recientemente inaugurada, que usa un sistema fotocatalítico y que tiene un carácter más de innovación (financiado con un FIC regional). También las plantas de desalinización asociadas a proyectos industriales y centrales de generación termoeléctricas poseen en su totalidad la tecnología de osmosis inversa.

La mayor parte de las plantas desalinizadoras están ubicadas en el norte, principalmente en la región de Antofagasta, donde el sector que más utiliza agua de mar es el minero, seguido por el

sanitario. Además, las plantas pequeñas como aquellas para APR también son una importante fuente de agua principalmente para caletas de pescadores.

Por otro lado, en la Figura 4 se muestran los proyectos de desalinización ingresados al Servicio de Evaluación Ambiental, SEA, de minería, sanitarias, termoeléctricas e industriales, donde se puede apreciar que **22 proyectos presentaron declaración de impacto ambiental (DIA)** y **13 proyectos presentaron evaluación de impacto ambiental (EIA)**.

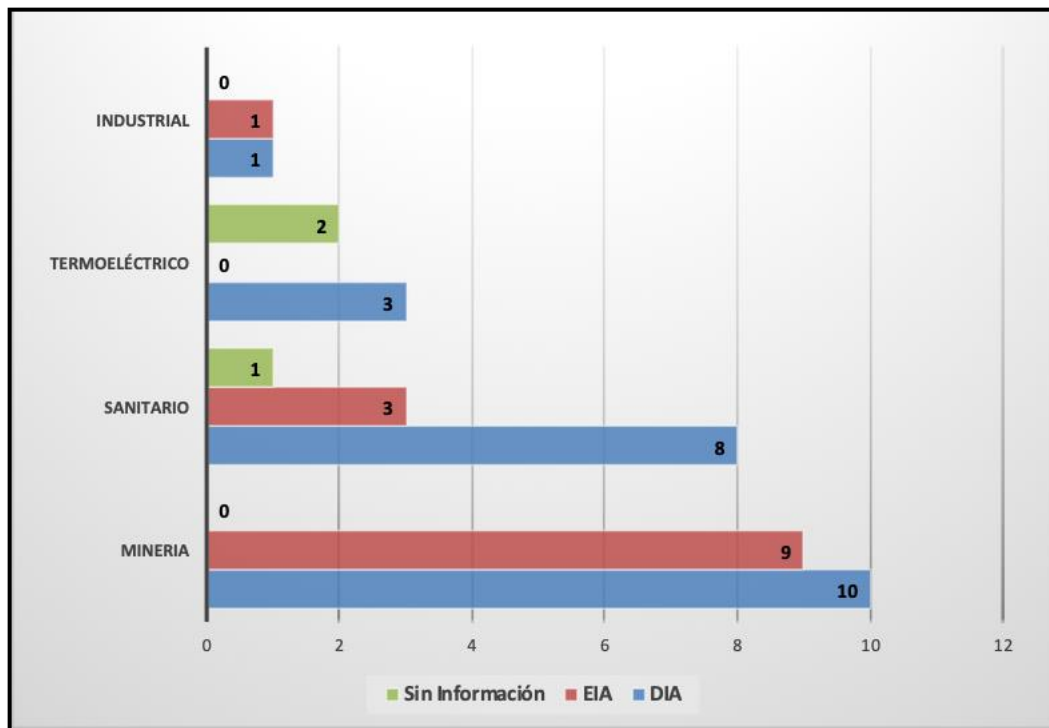


Figura 4: Proyectos con EIA o DIA declarados y aceptados en el SEIA. Fuente: Elaboración propia.

A modo de resumen, en la Tabla 2 se presentan los caudales de los principales proyectos mineros e industriales de desalinización existentes, tanto producida como impulsada, junto con información de las plantas.

Tabla 2: Caudales máximos de agua desalinizada e impulsada por operaciones industriales y mineras. Fuente: Elaboración propia en base a investigación y EDITEC (2019).

Planta	Propietario	Capacidad Máxima de Desalinización (l/s)	Capacidad Máxima de Impulsión (l/s)
Escondida EWS (Ampliación Planta Coloso)	BHP	2.500	
Distrito Centinela (El Tesoro - Esperanza)	Minera Centinela (Antofagasta Minerals)	50	1.500
Sierra Gorda	KGHM Int.	63	1.315
Planta Desalinizadora Cerro Negro Norte	CAP	600	
Planta Coloso	BHP	525	

Planta Desalinizadora Minera Candelaria	Lundin Mining	500	
Antucoya	Minera Antucoya (Antofagasta Minerals)	48,1	280
Mina Algorta	Algorta Norte		150
Abastecimiento de Agua Desalada Mantoverde	Mantos Copper	120	
Planta Desalinizadora Michilla	Haldeman Mining Company	75	23
Mantos de la Luna	Compañía Minera Mantos de la Luna	8,7	78
Angamos (Industrial)	AES Gener S.A.	60	
Desal Ventanas (Industrial)	AES Gener S.A.	27,8	
Las Cenizas Taltal	Minera Las Cenizas	9,3	12
Planta J.A. Moreno (Taltal)	ENAMI		15
Proyecto Diego de Almagro	Minera Camino Nevado Ltda. (Empresas COPEC)	15	315
Proyecto Aconcagua	Aguas Pacifico SpA	1.000	
Total		5.602	3.688

Como se observa en la tabla anterior, la capacidad máxima de desalinización de estos proyectos es de 5.602 l/s y la capacidad de impulsión corresponde a 3.688 l/s.

Uno de los aspectos relevantes de los sistemas de impulsión de agua desalada y salada de los proyectos mineros, es la gran distancia y elevación del terreno al que deben acceder, respecto de la costa. Como se observa en la tabla anterior, la capacidad de impulsión es considerable respecto a la capacidad máxima de desalinización, lo que genera el principal costo, relacionado al consumo energético de estos procesos. Como se aprecia en la Figura 5 la mayor distancia y altitud a la que se debe impulsar agua en un proyecto minero corresponde a Escondida, cuyo ducto recorre 180 km y asciende a una altura de 3.200 msnm.

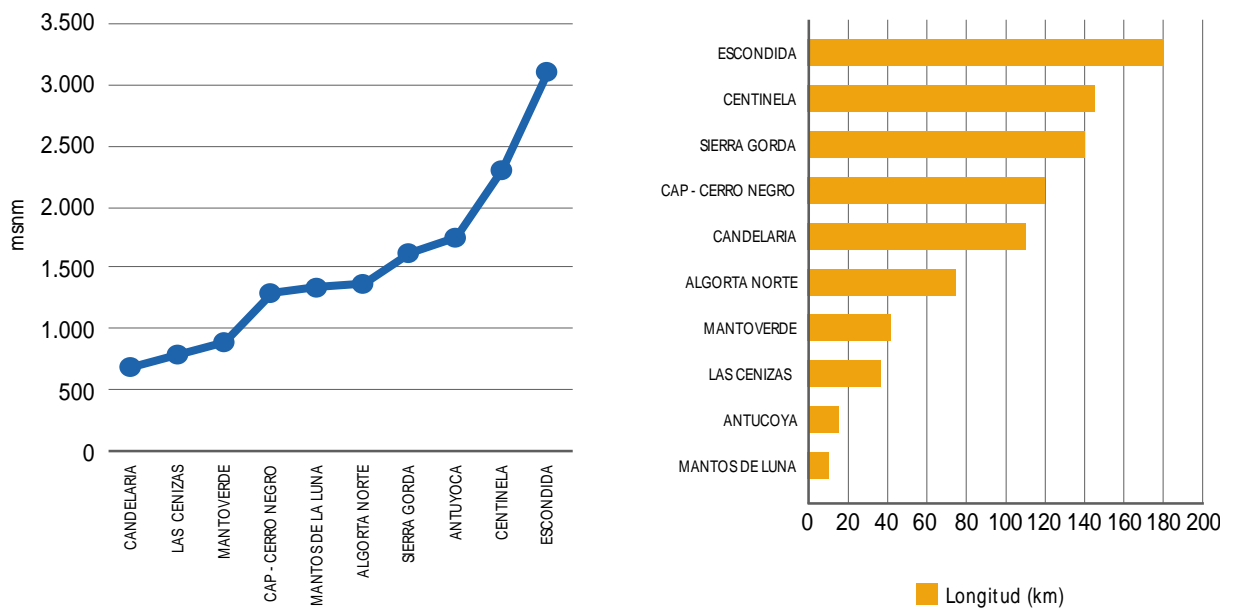


Figura 5: Altura y longitud de los sistemas de impulsión de los principales proyectos de la minería en operación en Chile. Fuente: EDITEC (2019)

Igualmente, en el caso de las plantas para el sector sanitario, en la Tabla 3 se resumen los antecedentes, incluida la capacidad máxima de desalinización, para las plantas existentes, identificadas en el catastro desarrollado en el proyecto. Como se observa en la tabla, la capacidad máxima de desalinización corresponde a 4.620 l/s.

Tabla 3: Caudales máximos de agua de mar desalinizada en el sector sanitario.

Fuente: EDITEC (2019) y elaboración propia.

Planta	Propietario	Capacidad Máxima de Desalinización (l/s)
Planta Desalinizadora Norte (ex La Chimba)	Aguas Antofagasta S.A.	850
Planta Desalinizadora Arica	Aguas Altiplano 412	412
Sistema de Agua Potable Rural Chanavayita	Dirección de Obras Hidráulicas	9
Comité de A.P.R. Chungugo	Dirección de Obras Hidráulicas	6
Planta Desalinizadora Taltal	Aguas Antofagasta S.A.	5
Planta Desalinizadora Hornitos	Caja Compensación Los Andes	4
Islas Huichas	Dirección de Obras Hidráulicas	3
Paposo	Dirección de Obras Hidráulicas	1
Planta Desalinizadora Sur Antofagasta	Aguas de Antofagasta S.A.	1.000
Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, Provincias de Copiapó y Chañaral	Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.	450
Planta Desalinizadora de Agua de Mar Antofagasta - II Región Chile	Aguas de Antofagasta S.A.	600
Planta Desalinizadora Tocopilla	Aguas de Antofagasta S.A.	200
Planta De Tratamiento De Agua Potable, Caldera	Aguas Chañar S.A.	80
Planta de Agua Potable Atacama	Aqualogy Medioambiente Chile S.A., la empresa cambio de nombre: Suez Medioambiente Chile S.A.	1.000
Total		4.620

3.2. Identificación de proyectos mineros actuales y en planificación hasta 2040

Esta sección muestra el levantamiento de información para identificar la demanda de agua de la minería. Respecto de la información solicitada, su estado de disponibilidad se resume a continuación.

Tabla 4: Fuentes de información proyectos mineros. Fuente: Elaboración propia.

Información requerida	Estado	Fuentes principales
Nombre del proyecto	Disponibile	Cochilco, Sernageomin
Propietarios(s)	Disponibile	Cochilco, Sernageomin
Ubicación y área de emplazamiento	Disponibile	SEA (2020)
Demanda estimada por agua, tipo (salada o desalada) y calidad de la misma	Información encontrada sólo para algunos de los casos.	Cochilco, SEA (2020)

Si hay proyecto preliminar de provisión de agua y trazado (si es que existiese)	No disponible	-
---	---------------	---

Para el mapa de la zonificación resultante del levantamiento de información de este punto se incluyen las siguientes capas de información:

- Proyectos mineros actuales y futuros.
- Demanda de agua salada o desalada.

Para identificar los proyectos mineros actuales y en planificación hasta el año 2040, se utiliza información oficial basada en el Anuario de la Minería de Chile (Sernageomin, 2020) y en el estudio “Proyección de la producción de cobre en Chile 2019-2030” (Cochilco, 2019). Ambos disponen de la producción esperada de cobre por región, tipo de producto, etc., con proyección al año 2030. Sobre esta base, se estiman los proyectos específicos al año 2040, de acuerdo con supuestos acordados con Cochilco para los proyectos más relevantes. Ello incluye minerales como cobre, hierro, oro, salitre/yodo y litio.

Respecto de la información de demanda estimada por agua, su tipo (salada o desalada) y calidad de esta, se utiliza la información del Consejo Minero (actual) y de Cochilco para los proyectos futuros. Para algunos de estos proyectos, en el Anexo 8.1 se dispone de la información de provisión de agua, el tipo de infraestructura y respectiva fuente.

En la Figura 6 se presenta una gráfica de los principales proyectos mineros en el país¹, mientras que en el Anexo 8.1 se listan las 140 faenas que se han considerado. Se debe hacer notar que los proyectos levantados en el *shape* de faenas (mapa disponible en el SINIA) considera más de 1.000 proyectos, los que se mantienen de manera referencial en la capa correspondiente a proyectos mineros del SIG.

¹ Para mayor detalle de los principales proyectos mineros del país, revisar <https://www.cochilco.cl/SIAC/Paginas/Mapa-Minero-de-Chile.aspx> y <https://consejominero.cl/quienes-somos/mapa-minero/>

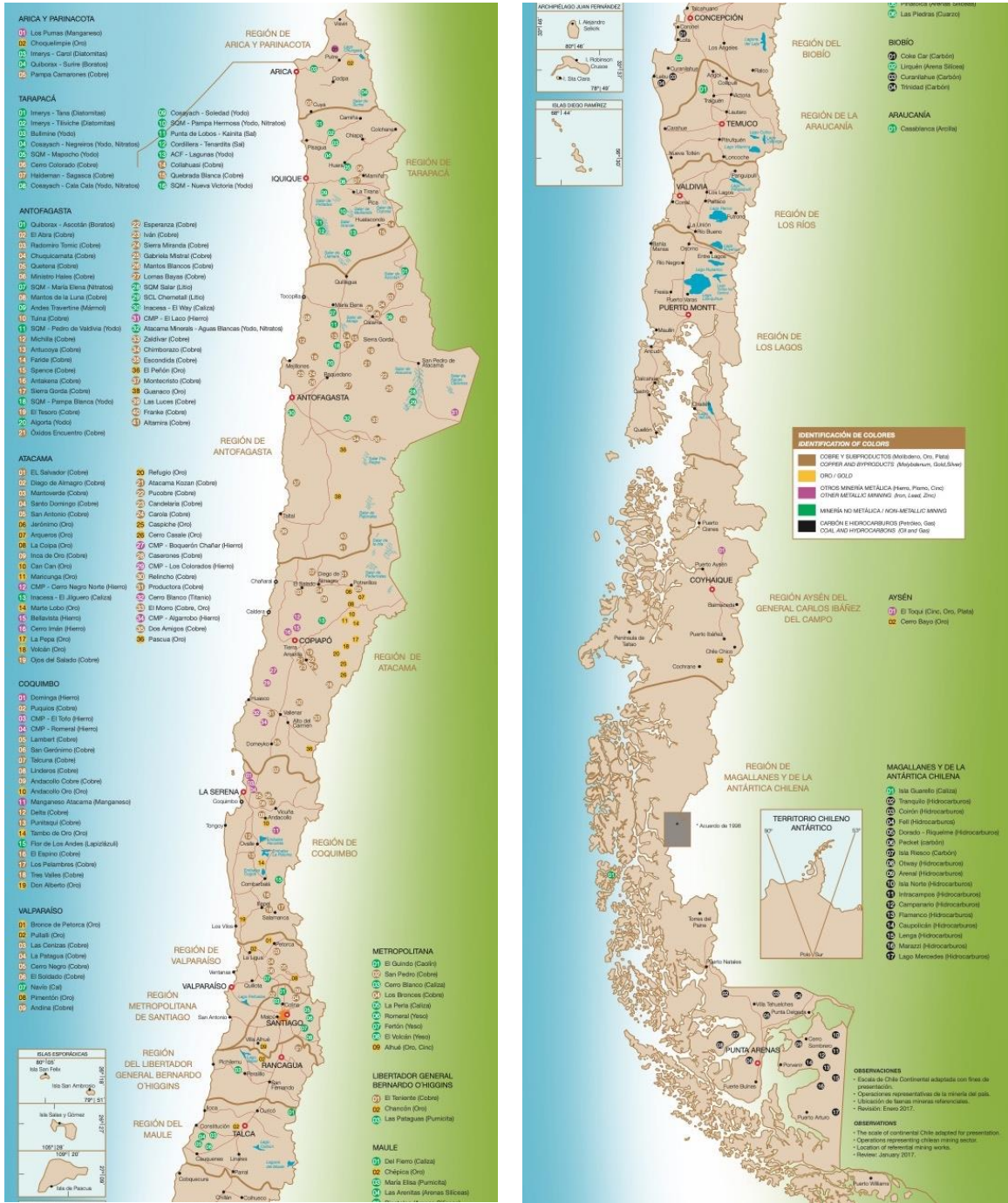


Figura 6: Principales proyectos mineros en Chile. Fuente: Cochilco (2020)

En la Tabla 5 se resume el consumo de agua desalada y salada de los proyectos mineros actuales. En el Anexo 8.1 se presenta el detalle del consumo y extracción de los proyectos y las cuencas, regiones o faenas en el que se extrae el agua.

Tabla 5: Obtención de agua de mar desalada y no desalada por faena. Fuente: Consejo Minero (2020)

Región	Faena	Caudal (m ³ /s)	
		Agua salada	Agua Desalada
Región de Antofagasta	Centinela	0,92	
Región de Antofagasta	Antucoya	0,19	0,05
Región de Antofagasta	Sierra Gorda	0,88	
Región de Antofagasta	Escondida		1,74
Región de Atacama	Ojos del Salado		0,08
Región de Atacama	Candelaria		0,25
Total		1,98	2,11

Como se aprecia en la tabla anterior, el consumo actual de agua salada y agua desalada en el país corresponde a 1,98 y 2,11 m³/s, respectivamente.

A modo de resumen, en la Tabla 6 se presentan todas las fuentes de consumo de agua declaradas por los grandes proyectos mineros para el año 2018. Incluye agua superficial, subterránea, además de agua de mar desalada y no desalada y aguas mina.

Tabla 6: Consumo de agua global en proyectos mineros (en m³/s). Fuente: Consejo Minero (2020)

Región	Faena	Superficial	Subterránea	Aguas Mina	Mar no desalada	Mar desalada	Total
Región de Antofagasta	Altonorte		0,019				0,019
Región de Valparaíso	Andina	0,416	0,206	0,230			0,851
Región de Antofagasta	Antucoya				0,188	0,045	0,233
Región de Atacama	Candelaria			0,005		0,249	0,253
Región de Coquimbo	Carmen de Andacollo	0,004	0,301	0,050			0,355
Región de Atacama	Caserones		0,173	0,011			0,184
Región de Antofagasta	Centinela		0,062		0,918		0,980
Región de Tarapacá	Cerro Colorado		0,128	0,001			0,129
Región de Valparaíso	Chagres		0,035				0,035
Región de Antofagasta	Chuquicamata	0,607	1,200	0,011			1,817
Región de Tarapacá	Doña Inés de Collahuasi		0,814	0,158			0,972
Región de Antofagasta	El Abra		0,187	0,006			0,193
Región de Valparaíso	El Soldado	0,025	0,071	0,007			0,103
Región del Lib. Bernardo O'Higgins	El Teniente	1,460	0,011	0,201			1,671
Región de Antofagasta	Escondida		1,344	0,179		1,735	3,258
Región de Antofagasta	Gabriela Mistral		0,210				0,210
Región de Antofagasta	Lomas Bayas	0,157	0,020				0,177
Región de Valparaíso	Los Bronces	0,250					0,250
Región Metropolitana	Los Bronces	0,298	0,029	0,129			0,456
Región de Coquimbo	Los Pelambres	0,572	0,080	0,154			0,805
Región de Antofagasta	Ministro Hales		0,181	0,040			0,221

Región de Atacama	Ojos del Salado			0,016		0,079	0,095
Región de Tarapacá	Quebrada Blanca		0,053	0,002			0,055
Región de Antofagasta	Radomiro Tomic	0,037	0,238	0,001			0,275
Región de Atacama	Salvador	0,590	0,123				0,713
Región de Antofagasta	Sierra Gorda				0,877		0,877
Región de Valparaíso	Ventanas		0,031				0,031
Región de Antofagasta	Zaldívar		0,210				0,210
Total		4,415	5,727	1,198	1,983	2,108	15,430

En lo que respecta al consumo de agua futuro en la minería, de acuerdo con estimaciones de Cochilco, para el 2030 (ver Figura 7) se espera que el consumo a nivel nacional sea de 23,5 m³/s, con una tasa de crecimiento promedio anual de 2,7%. En parte, esto es reflejo del cambio de la matriz de producción, que se vuelca a los minerales de sulfuros que deben ser procesados a través de flotación, proceso mucho más intensivo en el uso de agua. Por otra parte, la caída en las leyes de los minerales involucra una mayor cantidad de agua para obtener una tonelada de cobre fino, ya que es necesario procesar una mayor cantidad de mineral.

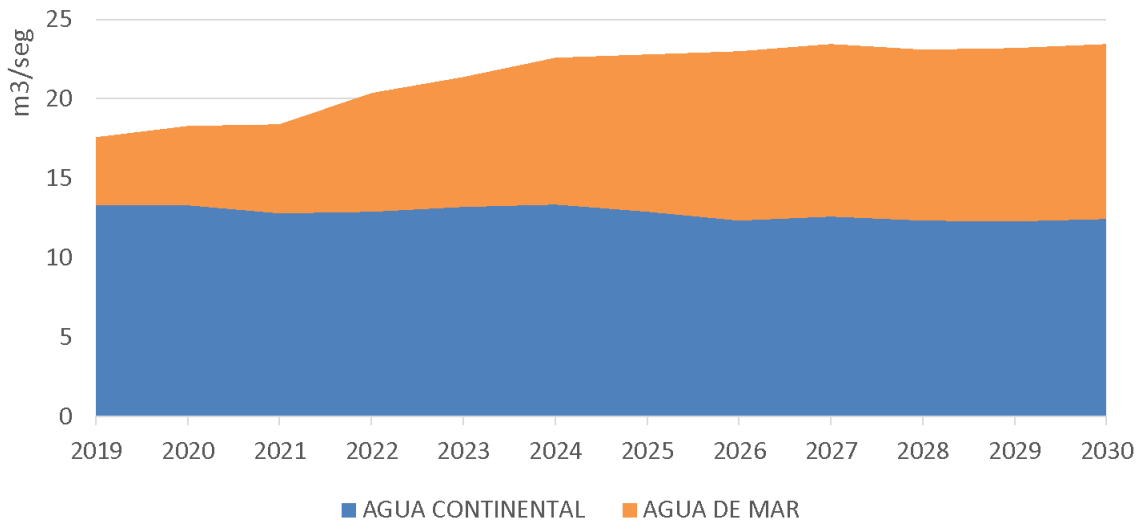


Figura 7: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre periodo 2019-2030, según origen.
Fuente: Cochilco (2019a)

Respecto de este consumo futuro de agua desalada de los proyectos mineros, a partir de información proporcionada por Cochilco, se presenta un resumen de los principales proyectos de la gran y mediana minería de cobre que tienen considerados proyectos de desalinización en su planificación y en el Anexo 8.9 se presenta información con mayor detalle.

Tabla 7: Consumo futuro de agua desalada en proyectos mineros. Fuente: Cochilco (2020).

Compañía	Mina	Región	Año puesta en marcha	Prom. 5 años consumo esperado (m ³ /s)	Prom. Consumo máximo (m ³ /s)
Mantos Copper	Desarrollo Mantoverde	Atacama	2021	0,21	0,24
Antofagasta Minerals	Esperanza Sur	Antofagasta	2022	0,54	0,62
Antofagasta Minerals	Encuentro Sulfuros	Antofagasta	2024	0,35	0,44
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación Marginal I	Coquimbo	2021	0,03	0,03
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación Marginal II	Coquimbo	2023	0,03	0,04
BHP Billiton	Spence Growth Option	Antofagasta	2021	0,62	0,67
Capstone Mining	Santo Domingo	Atacama	2023	0,38	0,44
Codelco-Chile	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	2024	0,37	0,49
Doña Inés De Collahuasi	Collahuasi Optimización 170 ktpd	Tarapacá	2022	0,09	0,10
Doña Inés De Collahuasi	Collahuasi Mod. Cap. Prod. - 210 ktpd	Tarapacá	2025	0,05	0,08
Freeport Mcomoran	El Abra Mill Project	Antofagasta	2026	0,10	0,39
Kghm Int.	Sierra Gorda Expansión 230 ktpd	Antofagasta	2022	0,47	0,55
Teck	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	2022	0,72	0,80
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 1	Atacama	2024	0,24	0,43
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 2	Atacama	2027	0,03	0,07
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 3	Atacama	2029	0,06	0,19
Copec	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	2021	0,14	0,16
Antofagasta Minerals	Otros proyectos Centinela	Antofagasta	2026	0,08	0,09
Doña Inés De Collahuasi	Collahuasi SxEw (Continuidad)	Tarapacá	<2005	0,08	0,10
Copec	Diego de Almagro Óxidos	Atacama	2019	0,01	0,02
Coro Mining	Marimaca	Antofagasta	2025	0,06	0,11
Mantos Copper	Desarrollo Mantoverde	Atacama	2021	0,01	0,01
Antofagasta Minerals	Esperanza Sur	Antofagasta	2022	0,02	0,02
Freeport Mcomoran	El Abra Mill Project	Antofagasta	2026	0,01	0,02
Kghm Int.	Sierra Gorda Expansión 230 ktpd	Antofagasta	2022	0,02	0,02
Teck	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	2022	0,14	0,16
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 1	Atacama	2024	0,01	0,02
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 2	Atacama	2027	0,00	0,00
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 3	Atacama	2029	0,00	0,01
Antofagasta Minerals	Otros proyectos Centinela	Antofagasta	2026	0,00	0,00
Doña Inés De Collahuasi	Collahuasi SxEw (Continuidad)	Tarapacá	<2005	0,01	0,01
Total			m3/s	4,88	6,32

Como se observa en la Tabla 7, el consumo promedio en un periodo de 5 años para estos proyectos corresponde a aproximadamente 4.88 m³/s y el máximo esperado corresponde a 6,32 m³/s. La región que concentra el mayor uso (actual y futuro) de agua desalada en los proyectos es la de Antofagasta con 2,6 m³/s.

3.3. Identificación de ciudades y poblados con baja capacidad de reservas de agua para consumo y/o el desarrollo efectivo de su actividad local.

En esta sección se realiza el levantamiento de información tendiente a identificar la demanda de agua de ciudades y poblados, en particular en aquellas zonas con mayor escasez del recurso. Respecto de la información solicitada, su estado de disponibilidad se resume a continuación.

Tabla 8: Fuentes de información reservas de agua para consumo. Fuente: Elaboración propia

Información requerida	Estado	Fuentes principales
Nombre de la(s) ciudad(es) y/o poblado(s)	100% disponible	Censo 2017 (INE)
Cantidad de habitantes	100% disponible	Censo 2017 (INE)
Registro demográfico con tasas de crecimiento/decrecimiento poblacional histórico	100% disponible	censo 2002/2017
Demanda total de agua fresca y variabilidad estacional	La variabilidad estacional no se encuentra disponible	SISS (2018)

De esta forma, para el mapa de la zonificación resultante del levantamiento de información de este punto se incluyen las siguientes capas de información:

- Número de habitantes por ciudad y pueblo, para el año 2017 y 2035.
- Consumo de agua por ciudad y pueblo, para el año 2017 y 2035.
- Capa de decretos de escasez de agua por comuna entre los años 2009-2020.
- Indicador de sequía actual y futura del Atlas de Riesgo Climático.

3.3.1. Información demográfica

Al año 2017, el 87,8% de la población en Chile vivía en ciudades². Entre los años 2002 y 2017, la población urbana aumentó en más de 2.000.000, lo que es un crecimiento promedio de 12.750 habitantes por ciudad, aproximadamente. Para el análisis de la información, se consideraron las ciudades definidas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que agrupa algunas de ellas en Áreas Metropolitanas y Conurbaciones, a partir de lo cual se reconocen 172 ciudades. El mayor aumento absoluto se experimentó en las áreas metropolitanas de Santiago, Valparaíso y en la conurbación La Serena-Coquimbo, con 822.691, 216.512 y 103.197 habitantes, respectivamente. Por el contrario, 15 centros poblados mostraron un decrecimiento de su población durante el período estudiado. En términos porcentuales los mayores aumentos se observaron en ciudades más pequeñas, como San Pedro de Atacama o Mirasol-El Yeco, que tuvieron aumentos mayores a 100%, duplicando la población que poseían el año 2002.

² Ciudad: entidad urbana que cuenta con más de 5.000 habitantes, con la excepción de las entidades urbanas que tienen menos de 5.000 habitantes pero que cumplen con la característica político-administrativa de capital regional o provincial (INE, 2019 en https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/Cd_Pb_AI_Cs_2019.pdf).

A las ciudades se suma la población que vive en pueblos³. De acuerdo con la información del INE, al año 2017 se contaban 289 pueblos en Chile, que reunían una población total de 606.420 habitantes (3,3% del total nacional). El aumento absoluto observado entre los años 2002 y 2017 fue de 185.199 habitantes, lo que representa un aumento de 44% aproximadamente.

Respecto de la proyección al año 2035 en cada ciudad y pueblo, fue calculada considerando el porcentaje de variación potencial entre el año 2017 y el año 2035 (18 años), el que fue proyectado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) a escala comunal. A partir de aquello, para las ciudades se prevé un aumento total similar al observado en el período 2002-2017 (resultados en anexo) y para los pueblos, se observa un crecimiento menor, proyectando un aumento cercano al 10% en el período 2017-2035.

3.3.2. Consumo de agua actual y proyectado por ciudad

El consumo de agua actual y futuro no se encuentra disponible por ciudad y fue calculado a partir de la información proporcionada por las empresas sanitarias con respecto al consumo promedio mensual de agua potable por cliente. En primer lugar, se cruzó la información de territorios operacionales con las ciudades para identificar la empresa sanitaria encargada de proporcionar agua potable a cada una de ellas. Luego, se multiplicó el consumo promedio mensual en m³ por cliente por el número de viviendas al año 2017. Para obtener el consumo proyectado, se repitió el procedimiento, pero esta vez con la información del total de población proyectada para el año 2035.

De las 28 empresas sanitarias, 23 poseen ciudades en sus territorios operacionales. Como se observa en la Tabla 9, es común la presencia de una única empresa por región, sin embargo, hay algunas que presentan una mayor diversidad, como ocurre en la Región Metropolitana. Es más, Santiago se asocia a varias empresas que proveen de agua a sus habitantes y Aguas Andinas es la que concentra el mayor porcentaje.

Tabla 9: Consumo actual y futuro por planta sanitaria. Fuente: SISS (2019)

Región	Empresa Sanitaria	Promedio consumo mensual cliente (en m3)	Consumo total promedio mensual 2017	Consumo total promedio mensual 2035
De Arica y Parinacota	Aguas del Altiplano	18,5	1.228.991	1.452.029
De Tarapacá	Aguas del Altiplano	18,5	1.876.808	2.478.079
De Antofagasta	Aguas de Antofagasta	18,5	3.086.700	3.738.473
	Aguas del Altiplano	18,5	235.735	270.349
De Atacama	Aguas Chañar	16,6	1.480.189	1.589.330
	Aguas del Valle	15,2	64.798	62.188
De Coquimbo	Aguas del Valle	15,2	3.371.852	4.277.218
De Valparaíso	COOPAGUA	26,9	117.446	145.754
	ESVAL	14,8	9.864.947	11.377.999
Metropolitana de Santiago	Aguas Andinas	20,1	37.292.547	44.189.862
	Aguas Chacabuco	23,7	627.549	945.448
	Aguas Cordillera	32,2	5.749.415	6.750.280

³ Pueblo es la entidad urbana que cuenta con una población que fluctúa entre 2.001 y 5.000 habitantes o entre 1.001 y 2.000 habitantes, donde menos del 50% de la población que declara haber trabajado, se dedica a actividades primarias (INE, 2019 en https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/Cd_Pb_Al_Cs_2019.pdf).

Región	Empresa Sanitaria	Promedio consumo mensual cliente (en m3)	Consumo total promedio mensual 2017	Consumo total promedio mensual 2035
	Aguas Manquehue	84,6	508.093	771.242
	Novaguas	20,1	130.767	211.832
	SEMBCORP Aguas Lampa	22,6	264.709	428.808
	SEPPRA	44,4	158.756	177.746
	SMAPA	21,9	3.486.259	3.738.795
Del Libertador Gral. Bdo O'Higgins	ESSBIO	15,5	3.405.871	3.965.898
Del Maule	ANSM	13,7	3.352.666	3.869.161
Del Biobío	ESSBIO	15,5	7.239.788	7.580.832
De Ñuble	ESSBIO	15,5	1.655.669	1.818.955
De La Araucanía	Aguas Araucanía	15,1	3.303.607	3.550.997
	ESSSI	12,9	114.486	124.229
De Los Ríos	Aguas Decima	17,6	949.242	1.065.943
	ESSAL	14,3	538.198	552.419
De Los Lagos	ESSAL	14,3	2.966.310	3.297.628
De Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Aguas Patagonia	16,5	465.712	483.167
De Magallanes y de la Antártica Chilena	Aguas Magallanes	18,2	1.045.175	1.172.512
Total			94.582.282	110.087.173
Promedio		17,4		

El consumo promedio mensual por cliente a nivel nacional es de 17,4 (m³/mes) y en general oscila entre 12 y 20 m³. No obstante, los mayores consumos por cliente se observan en la zona central y en particular asociado a las empresas:

- Aguas Manquehue, que provee de agua potable a Chicureo, Chicauma y Chamisero, sectores suburbanos residenciales que se caracterizan por poseer viviendas unifamiliares, que poseen terrenos de gran tamaño y con una importante presencia de vegetación.
- SEPPRA, que se asocia al sector de Ciudad de Los Valles, ubicado al poniente de la ciudad de Santiago, con similares características de las mencionadas en el párrafo anterior.
- Aguas Cordillera, que abarca las comunas de Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea al oriente de la ciudad.

Respecto del consumo total, se prevé un aumento de un 16% en el consumo total mensual de agua potable para el año 2035, considerando la población proyectada para cada ciudad y de un 12,5% al considerar la población proyectada para los pueblos.

3.3.3. Información de escasez de agua

1. Información Decretos de Escasez entre 2009 y 2020

Durante el período existieron 699 decretos de escasez, 127 de los cuales corresponden al año 2020 lo que se aprecia en la Figura 8.

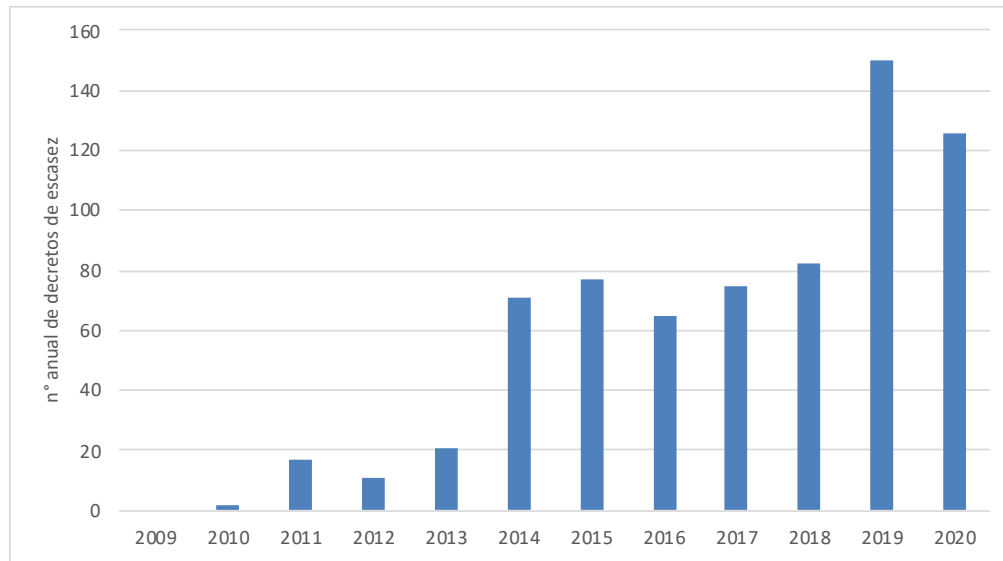


Figura 8: Decretos de escasez por año: DGA (2020)

El mayor número de decretos de escasez se solicita en ciudades ubicadas en las regiones de Coquimbo y Valparaíso. Por otro lado, 135 de las 270 ciudades del país consideradas no poseen decretos de escasez en el período 2009 - 2020.

2. Información de escasez hídrica proyectada

En particular, se consideró la información del índice de sequía del Grupo Asentamientos, en el marco del Atlas de Riesgo Climático (Ministerio del Medio Ambiente y GIZ 2020). Este índice se define como la frecuencia de periodos con menos del 75% del promedio de precipitación acumulada anual del periodo de referencia, considerando el dato presente (1980-2010) y futuro (2035-2065).

3.4. Identificación de empresas sanitarias que atienden a ciudades o poblados

Esta sección muestra el levantamiento de información tendiente a identificar la oferta de agua de parte de las empresas sanitarias en el territorio nacional. Respecto de la información solicitada, su estado de disponibilidad se resume a continuación.

Tabla 10: Fuentes de información empresas sanitarias. Fuente: Elaboración propia

Información requerida	Estado	Fuentes principales
Nombre de empresa	100% disponible	SISS (2018)
Propietario(s)	100% disponible	SISS (2018)
Origen del agua utilizada	Sólo indica si es superficial o subterránea agrupado por concesionaria	SISS (2018)
Capacidad de provisión de agua (lts/s)	100% disponible	SISS (2018)
Capacidad de tratamiento de agua (lts/s).	100% disponible	SISS (2018)

Distancia al borde costero del país	Se calcula mediante cruce geográfico	Elaboración propia
Estatus de la provisión de agua (1)	Parcialmente disponible	SISS (2018)
Proyecciones para los próximos 20 años	No disponible	-

(1) Se refiere al estado del uso de los puntos de descarga asociados cada empresa sanitaria, si se encuentra o no en operación/uso.

De esta forma, para el mapa de la zonificación resultante del levantamiento de información de este punto se incluyen las siguientes capas de información:

- Territorios operacionales de empresas sanitarias.
- Localización plantas de tratamiento de agua.
- Capa con datos de cada empresa sanitaria.

De acuerdo con los datos de la SISS, son 28 las empresas sanitarias que proveen agua potable en Chile. En conjunto abastecen a un total de 13.987.020 habitantes urbanos (Tabla 11).

En relación con las fuentes de abastecimiento del agua potable distribuida por cada empresa, se observa un leve predominio de aquellas fuentes subterráneas respecto de las superficiales, que en un número importante de las empresas son muy escasas. Sólo en tres empresas, es mayor el abastecimiento de origen superficial, estas son: Aguas Antofagasta, Aguas Andinas y Aguas Cordillera.

Tabla 11: Información sobre 28 principales empresas sanitarias. Fuente: SISS (2019)

		Clientes totales 1991	Clientes totales 2017	m3 / cliente / mes 1992	m3 / cliente / mes 2017	Dotación l por hab. 2011	Dotación l por hab. 2017	Población urbana abastecida		Producción total		Agua Subterránea		Agua Superficial	
								2011	2017	l/s 2011	l/s 2017	l/s 2011	l/s 2017	l/s 2011	l/s 2017
1	Aguas del Altiplano	71.250	161.714	23,6	18,5	121,8	150,9	509.566	490.041	2.295	2.334	2.295	2.334	2.295	0
2	Aguas de Antofagasta	78.386	174.896	20,2	18,5	124,9	150,3	561.266	531.884	2.156	2.583	0	64	0	2.519
3	Aguas Chañar	46.855	90.264	17,0	16,6	127,8	160,9	267.692	229.148	1.197	1.619	1.383	1.512	1.383	107
4	Aguas del Valle	80.214	234.145	19,4	15,2	124,6	164,7	585.737	546.754	2.953	3.823	2.057	2.906	2.057	918
5	ESSI		19.128		12,9	132,0	217,6	21.691	34.898	99	353	113	353	113	0
6	ESVAL	281.850	630.014	22,7	14,8	141,0	168,9	1.525.498	1.443.452	10.584	12.255	1.699	6.220	1.699	6.035
7	COOPAGUA		5.215		26,9	545,9	489,6	7.060	7.221	196	274	0	34	0	240
8	Aguas Andinas	866.847	1.901.079	30,8	20,1	146,2	171,0	5.807.914	5.383.030	28.787	27.269	4.455	7.170	4.455	20.099
9	Aguas Cordillera	51.493	166.437	79,5	32,2	362,4	360,3	403.797	373.335	4.744	5.105	0	1.672	0	3.433
10	Aguas Manquehue	1.105	14.526	64,3	84,6	579,3	611,5	36.882	47.086	1.331	1.505	663	1.187	663	318
11	SMAPA	87.798	198.821	29,4	21,9	145,6	177,8	726.082	623.235	5.385	5.512	5.345	5.512	5.345	0
12	Sembcorp Aguas Chacabuco	8.219	23.081	19,9	23,7	126,9	155,1	76.145	80.150	483	538	485	538	485	0
13	Sembcorp Aguas Lampa		7.312		22,6	146,2	171,1	21.410	25.887	142	262	142	262	142	0
14	Sembcorp Aguas Santiago		5.057		44,3		440,2		14.450	191	376	251	376	251	0
15	ASP		3.570		45,4	120,1	164,7	12.272	9.983	298	271	357	271	357	0
16	COSSBO		3.768		14,3	105,8	214,2	12.641	5.331	30	33	30	33	30	0
17	Melipilla Norte		5.907		15,3	69,1	143,6	13.600	13.003	60	114	90	114	90	0
18	SELAR		3.625		22,2		193,3		11.109	100	100	100	100	100	0
19	SEBRA		3.137		44,4		337,2		10.012	154	189	154	189	154	0
20	Novaguas		4.907		20,1		221,0		12.611						
21	Aguas San Pedro		24.725		14,4	89,0	153,3	39.485	57.303	486	813	536	813	536	0
22	ESSBIO	336.902	807.443	22,5	15,5	117,9	156,1	2.293.454	2.024.747	11.752	13.554	5.826	8.157	5.826	5.398
23	Nuevosur	102.530	273.656	20,6	13,7	119,2	161,1	641.992	557.855	3.718	4.105	3.398	3.779	3.398	326
24	Aguas Araucanía	98.220	228.487	19,5	15,1	114,5	150,5	571.287	507.539	3.711	4.379	2.220	3.285	2.220	1.094
25	ESSAL	102.443	226.940	18,6	14,3	98,0	131,2	686.197	597.639	3.545	3.960	1.909	2.874	1.909	1.087
26	Aguas Décima		46.268		17,6	124,1	147,8	131.251	135.037	820	870	0	0	0	870
27	Aguas Patagonia de Aysén	12.689	28.265	25,3	16,5	95,0	127,2	85.099	74.873	951	1.007	0	15	0	992
28	Aguas Magallanes	32.851	53.099	25,1	18,2	128,0	155,0	149.372	139.408	1.419	1.131	0	0	0	1.131
	Total	2.259.652	5.367.639	26,7	18,2	140,0	170,7	15.187.389	13.987.020	87.587	94.336	33.509	49.770	33.509	44.566

En lo que respecta a las plantas de tratamiento de agua que se incluyen en esta sección, se puede destacar que existen 301, asociadas a 39 empresas sanitarias⁴. La sanitaria que concentra el mayor número de plantas de tratamiento (72) corresponde a ESSBIO Ltda., ubicada en las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins, Biobío y Ñuble. El destino principal del agua tratada son cursos de agua naturales, ríos o esteros (Figura 9).

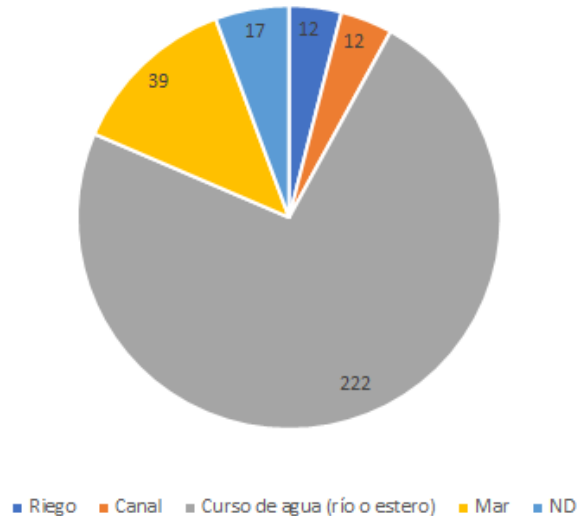


Figura 9: Destino del agua tratada: SISS (2019)

3.5. Identificación de actividad industrial relevante fuera del radio urbano con demanda de agua

En esta sección se reporta la información recopilada de la actividad industrial relevante fuera del radio urbano que permita aproximar una demanda de agua de este sector, ya que no están disponibles valores cuantificables de esta variable. Para ello se utilizó la información de proyectos presentados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), aprobados y en evaluación.

De las tipologías de proyectos en el SEIA, se seleccionaron aquellos que se refieren a la actividad industrial, como se detalla a continuación:

- h.2) Proyectos industriales
- k) Instalaciones fabriles, tales como metalúrgicas, químicas, textiles, productoras de materiales para la construcción, de equipos y productos metálicos y curtiembres, de dimensiones industriales. Se entenderá que estos proyectos o actividades son de dimensiones industriales cuando se trate de:
- l) Agroindustrias, mataderos, planteles y establos de crianza, lechería y engorda de animales, de dimensiones industriales.
- m.4) Industrias de celulosas, de pasta de papel y de papel.

⁴ El informe SISS (2019) sólo detalla la información de 28 empresas y no del total que existe en el país.

En total, se obtuvieron como resultado 43 proyectos presentados con Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y 851 proyectos presentados con Declaración de Impacto Ambiental (DIA). De esta información, sólo 39 proyectos con EIA y 520 con DIA se encontraban fuera de los límites urbanos (Tabla 12).

Tabla 12: Identificación de proyectos industriales fuera del radio urbano. Fuente: SEIA (2020)

	Totales	Fuera del Área Urbana	Campos Disponibles	Fuente	Información Agregada
Proyectos industriales DIA	851 proyectos	520 proyectos	Nombre proyecto, Región, provincia y comuna. Titular, monto inversión, fecha y localización	Sistema de evaluación ambiental	
Proyectos industriales EIA	43 proyectos	39 proyectos			Cantidad de producción, empleos en operación y consumo de agua. Fuente de agua. Vida útil proyecto.

De los 520 proyectos industriales que ingresaron al sistema de evaluación ambiental (desde el año 1998 al presente) vía DIA, 17 se encuentran en etapa de calificación. Por su parte, 38 de los 39 proyectos ingresados con EIA se encuentran aprobados. El resto se encuentra en calificación.

Luego, las industrias consideradas se asocian a tres sectores: agropecuario, forestal e instalaciones fabriles varias, con 278, 17 y 265 unidades respectivamente. El monto de inversión promedio es de 31 MMUSD por proyecto, alcanzando 605 MMUSD en la industria forestal con EIA (Tabla 13).

Tabla 13: Número y montos de inversión industrias (en millones de USD) por sector productivo. Fuente: Elaboración propia en base a SEIA (2020)

	Agropecuario				Forestal				Instalaciones fabriles varias				TOTAL	
	EIA		DIA		EIA		DIA		EIA		DIA		n°	inv.
	n°	inv.	n°	inv.	n°	inv.	n°	inv.	n°	inv.	n°	inv.	n°	inv.
Arica y Parinacota			2	3							1	1	3	4
Tarapacá											1	30	1	30
Antofagasta									12	1.781	52	2.633	64	4.414
Atacama	1	500	4	13					3	407	1	106	9	1.026
Coquimbo			16	30					1	1	3	16	20	47
Valparaíso	1	20	37	152					1	35	18	403	57	610
RM			76	373	1	60			4	117	89	1.488	170	2.038
Libertador B. O'Higgins			64	599	1	68	1	-			18	238	84	905
Maule	1	2	39	394	1	200			1	160	15	132	57	888
Biobío			10	100	2	2.600	1	130	1	50	12	171	26	3.051
Ñuble			9	236	2	1.000	1	150			1	-	13	1.386
Araucanía			5	34					1	147	5	57	11	238
De los Ríos			1	1	2	2.045	3	21			2	73	8	2.140
De los Lagos			6	2					2	45	16	292	24	339
Aysén			1	14							1	14	2	28
Magallanes			3	5							4	53	7	58
Interregional			2	7	1	73	1	-					4	80
TOTAL	3	522	275	1.963	10	6.046	7	301	26	2.742	239	5.707	560	17.281
Promedio inversión por proyecto		174		7		605		43		105		24		31

De los 39 proyectos industriales presentados con EIA, 28 poseen información sobre el consumo de agua para el desarrollo de su actividad. De éstos, sólo dos utilizan agua de mar, y ambos están relacionados con el tratamiento de minerales, nitrato de amonio y óxidos de molibdeno. El resto de los proyectos utiliza agua dulce, obtenida de ríos, esteros y pozos o bien a través de la compra a empresas sanitarias (3 industrias) o a camiones aljibe (1). El consumo promedio de agua es de 657 l/s (con una variación de 1 a 4.000 l/s en las distintas industrias). Entre las de menor consumo se encuentran centros de distribución y gestión de productos y aquellas de mayor registro corresponden a las plantas de celulosa.

De esta forma, para la zonificación resultante del levantamiento de información asociada a este punto se incluyen las siguientes capas:

- Localización industrias fuera del radio urbano vigentes y en evaluación sometidas a evaluación ambiental con una DIA.
- Localización industrias fuera del radio urbano vigentes y en evaluación sometidas a evaluación ambiental con un EIA.

3.6. Identificación de actividad agrícola en territorio nacional

En esta sección se realiza el levantamiento de información tendiente a identificar la demanda de agua asociada a la actividad agrícola en el territorio nacional. Respecto de la información solicitada, su estado de disponibilidad se resume a continuación.

Tabla 14: Fuentes de información actividad agrícola. Fuente: Elaboración propia.

Información requerida	Estado	Fuentes principales
Red de canales de regadío principales y secundarios	100% disponible	CNR (2018) ⁵
Caudales actuales (de ser posible).	No disponible	-
Proyección de caudales futuros (de ser posible).	No disponible	-

De esta forma, para el mapa de la zonificación resultante del levantamiento de información de este punto, se incluyen las siguientes capas de información:

- Capa red de canales de regadío.
- Capa actividad agrícola en el territorio.
- Capa derechos de agua otorgados hasta el año 2019.

En esta sección, las bases del estudio solicitan referirse a los canales de regadío agrícola: red de canales y sus caudales asociados. La base de datos de canales disponible cuenta con 11.006 canales que suman una longitud total de 38.752 kilómetros. La longitud media es de 3,5 kilómetros, y existen tres de canales que superan los 100 km de largo, Biobío sur (Regiones de Biobío y Araucanía), Las Mercedes (Región Metropolitana) y Cogotí (Región de Coquimbo), con 153, 117 y 113 km. respectivamente. A pesar de que se dispone de esta

⁵ Capa de datos puesta a disposición por el IDE (Infraestructura de datos geoespaciales) el 2018, con datos del 2013.

información, ella no es de buena calidad y fundamentalmente carece de antecedentes acerca de los caudales de los canales de regadío, por lo que se buscan otras aproximaciones para estimar valores para estos caudales.

De esta forma, como una aproximación al uso de agua en la agricultura, se cuenta con la información de derechos de agua otorgados hasta el año 2019 (DGA, 2020). De los 36.964 derechos de agua, 20.504 no poseen información respecto del uso de destino. De los que declaran este uso, en primer lugar, se encuentra el riego (7.143), seguido por bebida, doméstico y saneamiento (5.709). Como se observa en la Figura 10, los usos otorgados para riego se concentran principalmente entre las regiones de Valparaíso y la Araucanía, y en la región de Aysén. Respecto de los caudales otorgados para riego, suman en total 293.228 litros por segundo, siendo más del 90% para uso consuntivo del recurso (Tabla 15).

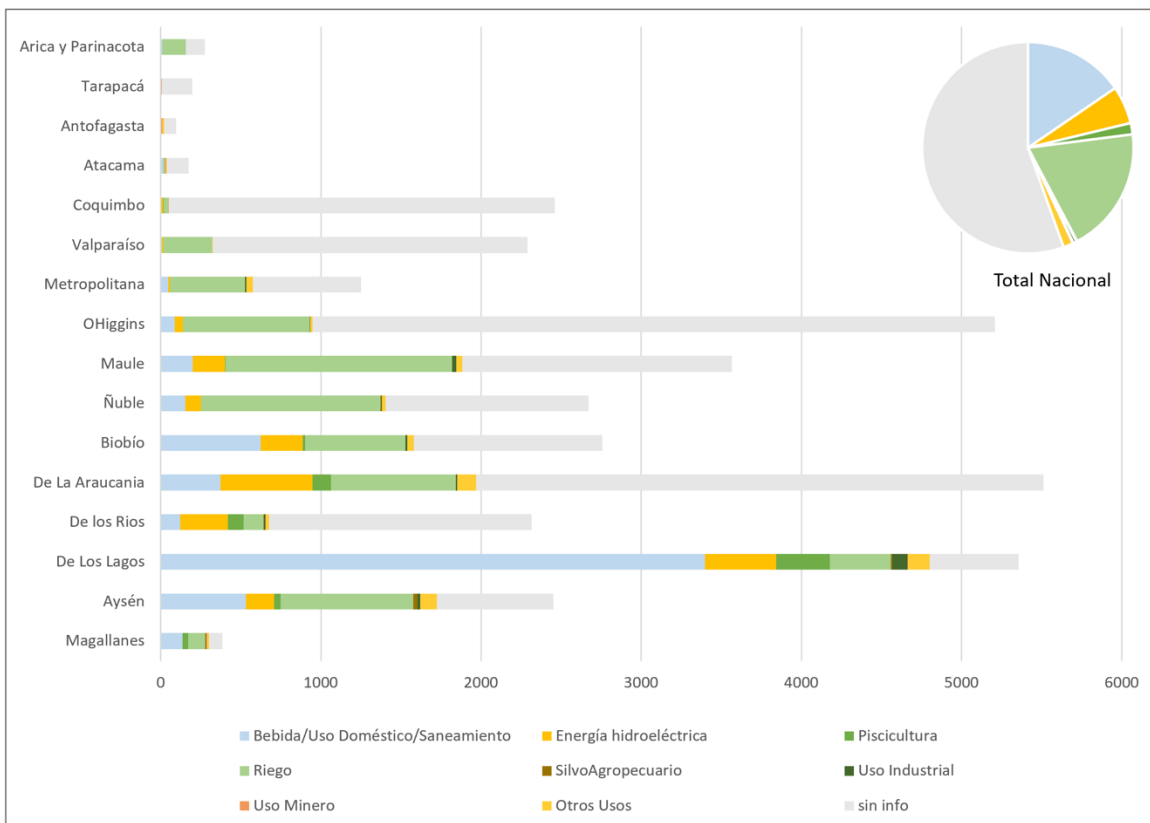


Figura 10: Número de derechos de agua por región y destino. Fuente: DGA (2020)

Tabla 15: Caudales otorgados por tipos de derechos de agua (l/s). Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020)

Riego	DAAC	DAANC	Total
Acuífero	69.023		69.023
Arroyo	1.306		1.306
Chorrillo	35		35
Embalse	113.483		113.483
Lago/Laguna	1.601	50	1.651
Quebrada	415		415
Rio/Estero	85.338	21.471	106.809
Vertiente	506	1	507
Total	271.707	21.522	293.229

Para complementar lo anterior, se ha considerado la identificación de los terrenos agrícolas presentes en nuestro país, información que ha sido utilizada como un insumo para estimar el consumo de agua aproximado.

Si bien a nivel nacional se cuenta con la espacialización de los terrenos agrícolas a partir del catastro de bosque nativo elaborado por CONAF, el nivel de actualización es variable para cada región, así entonces existen regiones con información generada en el año 1997 y otras en que la última actualización fue realizada el 2015-2016. En atención a lo anterior, se decidió trabajar con la capa de coberturas de suelo del año 2014, elaborada por Hernández et al. (2016) en el Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.

El reconocimiento fue realizado en 3 niveles siguiendo el esquema propuesto por Gong et al. (2013) a una escala de 30 metros y se encuentra disponible en www.gep.uchile.cl/Landcover_CHILE.html. En relación con la actividad agrícola, la clasificación llega al nivel 2, reconociendo 5 categorías como se observan en la Tabla 16.

Tabla 16: Niveles de reconocimiento de terrenos agrícolas. Fuente: Gong et al. (2013)

Nivel 1	Nivel 2
100 Cultivos	110 Arrozales
	120 Invernaderos
	130 Otros Cultivos
	140 Huertos
	150 Barbechos

De esta forma, la actividad agrícola se desarrolla principalmente entre la Región Metropolitana y en la Región de La Araucanía, siendo también importante en las regiones de Coquimbo y de Valparaíso. Por otra parte, la región con mayor superficie agrícola corresponde a la del Maule y se reduce en las regiones sureñas extremas.

Por último, también con el objeto de lograr un proxy acerca de la demanda de agua en agricultura, se ha considerado la información obtenida del estudio de proyección de demanda (DGA, 2017). Este presenta los antecedentes, a nivel de subcuenca, de consumos de Agua potable urbana (APU), Agua potable rural (APR), Agrícola, Pecuario, Minero, Industrial y Eléctrico (Consuntivo) además de Acuícola y Eléctrico (No consuntivo) para los años 2015, 2030 y 2040.

En resumen, todas estas aproximaciones a la demanda de agua en el sector agrícola son puestas a disposición para la resolución del problema asociado al ejercicio agua – energía.

3.7. Caracterización de infraestructura energética cercana a los casos identificados

En concordancia con la metodología propuesta se ha hecho un levantamiento general de fuentes de información sistematizada disponibles en el sector. La Tabla 17 resume las características y el estado de lo recabado en esta fase del estudio y se indica el origen de los datos, CEN (Coordinador Eléctrico Nacional), MEN (Ministerio de Energía) o CNE (Comisión Nacional de Energía).

Tabla 17: Resumen de Estado de Caracterización Infraestructura Eléctrica.
Fuente: Elaboración propia

Información requerida	Estado	Fuentes principales
Subestaciones transformadoras, elevadoras o reductoras.	100% disponible	CEN, MEN
Existencia de líneas de transmisión.	100% disponible	CEN, MEN
Centrales generadoras existentes	100% disponible	CEN, MEN
Proyectos de expansión.	100% disponible	CNE
Centrales generadoras a carbón y si cuentan con desalinizadora.	100% disponible	SEA
Centrales generadoras indicativas, resultantes del proceso de actualización de la Planificación Energética de Largo Plazo vigente, sitio web: pelp.minenergia.cl	100% disponible	MEN

Sobre los proyectos de expansión en construcción se dispone de los datos publicados por la CNE en el Informe Técnico de Precios de Nudo de corto plazo más reciente. En este caso, son los datos del segundo trimestre de 2020. La información incluye los proyectos de generación y las obras de transmisión (líneas y subestaciones), incorporando la información para la georreferenciación de estas obras. No obstante, lo anterior se profundizará en dicha información, en la medida que se considere necesario y se requiera para obtener los resultados de demanda eléctrica del estudio.

Respecto de la desalinización en centrales térmicas, esta información se recaba como parte del catastro general de desalinización, lo que fue integrado a las capas de información de infraestructura eléctrica disponible.

Por su parte, ya fue recopilada y sistematizada la información de proyectos indicativos de generación que forman parte de los escenarios de la Planificación Energética de Largo Plazo. Debido a que el origen contiene datos georreferenciados, su integración a la plataforma de información ha sido relativamente directa. Las obras indicativas de largo plazo en transmisión sólo corresponden a ampliaciones de tramos troncales del sistema, lo que no tiene utilidad práctica al estudio. Se descarta por ese motivo y se evita así sobrecargar innecesariamente la base de datos.

La Figura 11 muestra la distribución geográfica de la infraestructura eléctrica a nivel país.

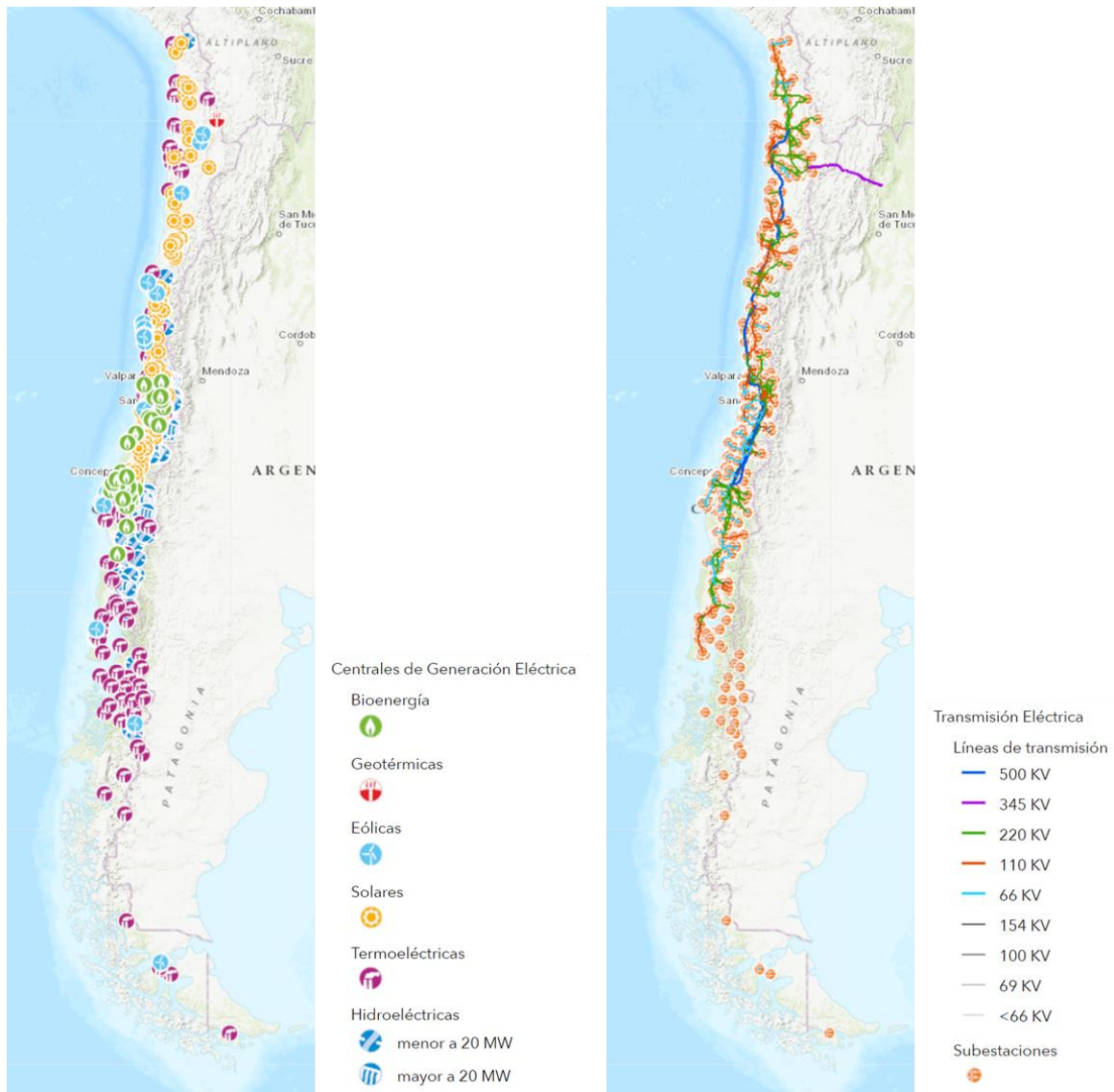


Figura 11: Distribución geográfica de la infraestructura eléctrica a nivel país. Fuente: Ministerio de Energía.

En relación con esta infraestructura eléctrica, dada la importancia de disponer de su consumo para desalinización, tanto para efectos del Balance Nacional de Energía como para establecer

proyecciones, dicha información no existe como tal. Por ello, se hicieron esfuerzos para construirla considerando las siguientes fuentes públicas de información:

1. Base de datos de consumo eléctrico en distribución asociado a clientes regulados con opción de optar a clientes libres, en la forma que establece el Reglamento de Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional (DS125/2017), disponible en web del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) con origen en empresas distribuidoras.
2. Bases de datos de retiros del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), disponible en web del CEN.
3. Base de datos de Coordinados, disponible en web del CEN.
4. Base de datos de plantas desalinizadoras catastradas en el contexto de este estudio.

Debido a la escasa información de identificación de los consumos en las fuentes 1 a 3, la única opción viable de cruce entre bases de datos es por medio del RUT de los clientes. Esto, como consecuencia de las restricciones derivadas de los resguardos a la protección de datos, cautelada en el mismo reglamento de coordinación, con apego a las disposiciones de la Ley N° 19.628 Sobre Protección de la Vida Privada. Por medio de este proceso fue posible enlazar 13 de 22 plantas de desalación con un registro de consumo y sólo en cruce de registros entre las bases de datos 1 y 4. En este subconjunto surgen además dificultades para discriminar entre registros, ya que existen casos en que múltiples plantas se asocian a un mismo RUT, particularmente empresas mineras, que a su vez pueden tener más registros asociados a otros consumos. Lo anterior da cuenta de la imposibilidad de reconstruir los consumos eléctricos de plantas desalinizadoras sobre la base de información pública.

Considerando lo anterior, se recomienda realizar un catastro específico de consumo de energía eléctrica para desalación en el que participen tanto el CEN como empresas distribuidoras aportando información no pública, en primera aproximación. Para una caracterización detallada es necesario involucrar a las empresas que operan los proyectos de manera de poder discriminar consumos al interior del proceso, relacionados ya sea a desalación, desalación parcial, elevación de agua y servicios auxiliares. Con lo anterior se vislumbra el desarrollo de un trabajo futuro para la construcción, calibración y perfeccionamiento de modelos de estimación de demanda eléctrica asociado a desalación, destinada a proyectar consumo eléctrico a partir de las proyecciones de demandas de agua, y su localización en el territorio nacional, tal y como se han caracterizado en este estudio.

Al respecto, Cochilco ha presentado en su informe “Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2019-2030” de 2019 estimaciones futuras asociadas a desalación de agua para uso minero. Estas proyecciones fueron construidas por medio de un modelo de estimación paramétrico. Este modelo podría usarse como punto de partida para el trabajo futuro propuesto consistente en un modelo para construir estimaciones de consumo eléctrico asociado al suministro de agua desalada considerando, entre otras, las siguientes variables relacionadas a producción y transporte:

- Caudal de demanda de agua y su tipo.
- Localización de la demanda (punto geográfico, altura).
- Energía para tratamiento inicial de agua.
- Energía para desalación y efecto de variables en la eficiencia.
- Longitud de ductos.
- Eficiencia de bombas.

- Energía para transporte y pérdidas de carga horizontal.
- Energía para elevación.

A partir del ejercicio que desarrolla Cochilco (2019), en la Figura 12 se observa la proyección de consumo eléctrico estimado para la desalinización en los proyectos mineros al año 2030. Ello considera el consumo para el tratamiento del agua y la impulsión hacia las faenas que se encuentran a mayor altitud. Como se aprecia en el gráfico, el consumo eléctrico de este proceso casi se triplica al año 2030.

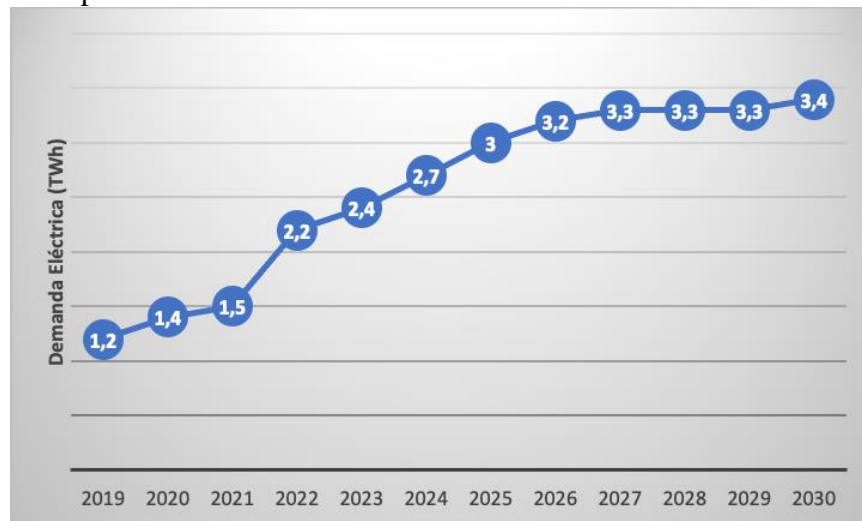


Figura 12: Consumo esperado de electricidad en desalinización (producción en impulsión) en la minería del cobre. Fuente: Cochilco (2020)

3.8. Identificación de restricciones del territorio

Se dispone de las bases de datos (y su zonificación) de las ZOIT, zonas protegidas, restricciones de acceso por ley de pueblos originarios, parques nacionales, entre otras. En particular se consideran (junto con su fuente de datos):

- Áreas protegidas: múltiples categorías, incluidos Parques Nacionales (principalmente: Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Bienes Nacionales).
- Infraestructura de transporte (MOP).
- Caletas de pescadores (concesiones de uso de borde costero).
- Límites de cuenca, subcuenca, sub-subcuenca (DGA).
- Línea de costa derivada de límites administrativos (IDE, Chile).
- Humedales (Ministerio del Medio Ambiente).
- Salares (Sernageomin).
- Derechos de Agua (DGA).

En la sección 5 se presenta el listado de datos considerados para describir las condiciones geográficas relevantes de sitios en los cuales se emplazan las plantas de desalinización (y de zonas propicias para el concepto agua-energía). Estos se incluyen en los criterios de la metodología para la selección de las áreas potenciales.

3.9. Síntesis de revisión de antecedentes

A continuación, se muestran en forma de mapas, los resultados relacionados con el proceso de revisión de antecedentes, estandarización y análisis de la dimensión geográfica de los datos considerados relevantes en la zonificación de la superficie resultante.

Estos resultados anticipan las etapas metodológicas del SIG para identificación de zonas de descrito en las secciones 2.2.1 y 2.2.2. Asimismo, este tema se retoma en la sección 5 de este documento.

El primer conjunto de datos corresponde a los Derechos de Aprovechamiento de Agua Consuntivo (DAAC, DGA/MOP) (Tabla 18). Dado que los DAAC son el instrumento jurídico que permite a los usuarios a extraer legalmente el agua desde la fuente, son útiles para representar la distribución espacial del consumo de agua.

Tabla 18: Distribución del medio anual acumulado (l/s) constituido por DAAC a nivel regional. Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA/MOP

Nombre región	Caudal (l/s)
Del Biobío	471.056
De Valparaíso	401.377
De La Araucanía	394.643
Del Maule	369.281
De Los Lagos	335.664
Metropolitana de Santiago	263.643
De Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	223.320
Del Libertador Gral. Bdo O'Higgins	215.357
De Magallanes y de la Antártica Chilena	198.722
De Coquimbo	75.094
De Los Ríos	49.361
De Atacama	35.420
De Tarapacá	26.540
De Antofagasta	22.718
De Ñuble	5.714
De Arica y Parinacota	2.287

La Figura 13 muestra la distribución del consumo de agua ((l/s)/ha) asociado a Derechos de Aprovechamiento de Agua Consuntivo (DGA/MOP). Se observa el mapa completo de Chile, con la cobertura nacional. Se destacan las zonas A y B. La A corresponde a un área de ejemplo en la Región de Coquimbo; la B, una al sur de la Región Metropolitana, hasta la Región del Maule. Estas corresponden a las zonas donde se concentra la mayor parte de la solicitud de decretos de escasez en el país.

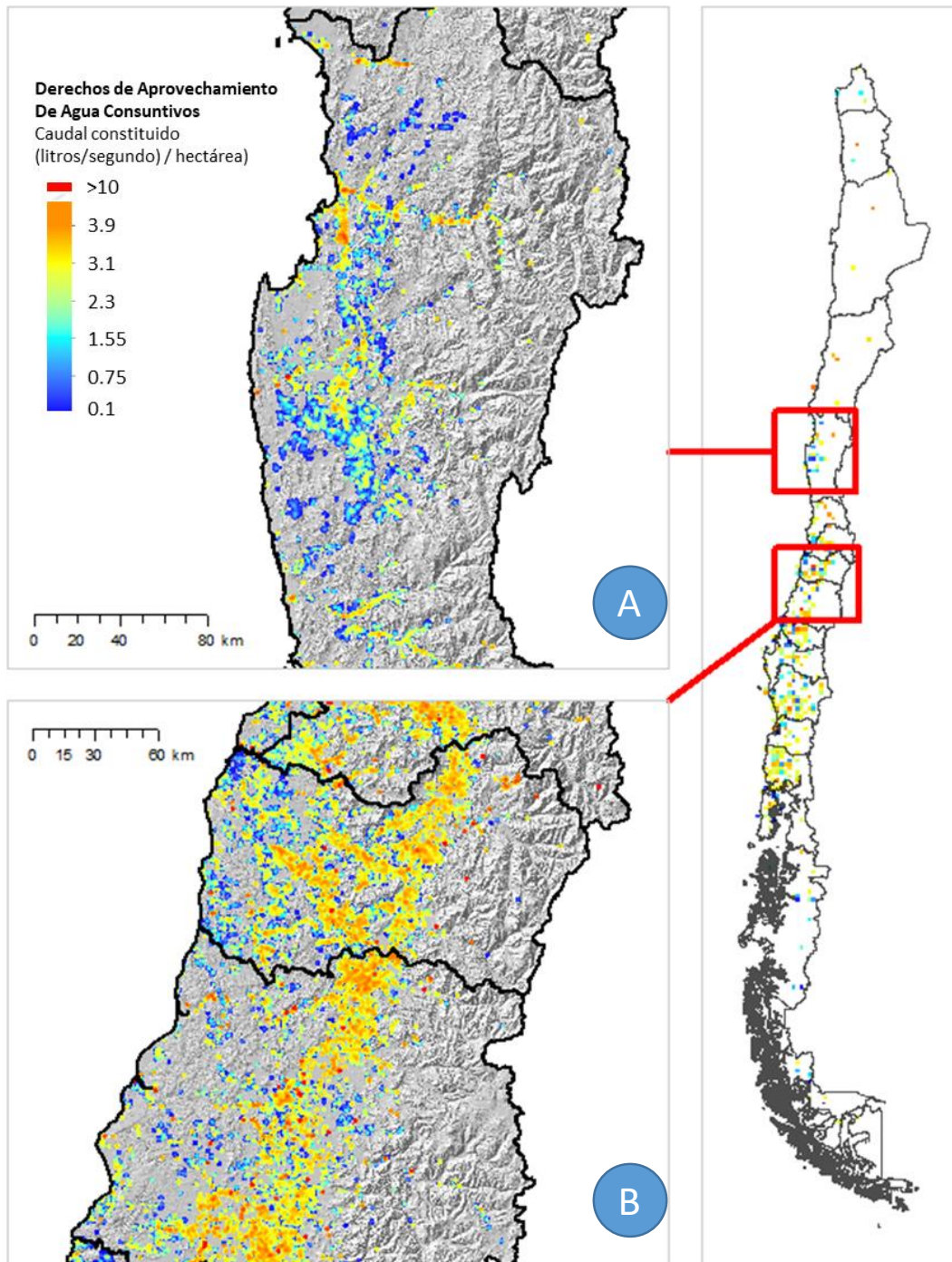


Figura 13. Distribución del consumo de agua (l/s/ha) asociado a Derechos de Aprovechamiento de Agua Consuntivo (DGA/MOP). Fuente: Elaboración propia

La Figura 14 muestra la distribución del consumo de agua según tipo de uso declarado en el DAAC, a nivel nacional. Los datos muestran que la actividad productiva que registra el uso más intensivo es la agricultura (presentada en color verde), seguida por Bebida/Usos domésticos/Saneamiento. La categoría Nulo corresponde al consumo en que el tipo de uso no está definido (no existen datos).

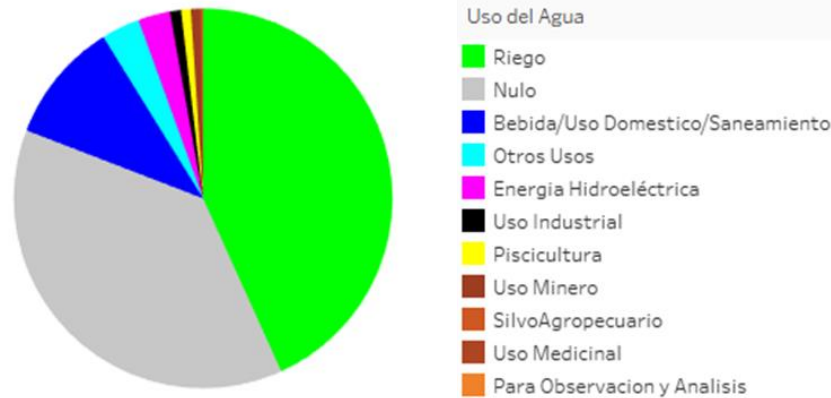


Figura 14: Distribución del consumo de agua según tipo de uso declarado en el DAAC, a nivel nacional.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA/MOP.

Con la intención de focalizar el análisis de consumo de agua del sector agrícola, se ha llevado a cabo un ejercicio que cruza el dataset de catastro de suelos agrológicos (CIREN) con el dataset de DAAC. La Figura 15 muestra las categorías de suelos agrológicos (CIREN) de mayor calidad (I, II, III y IV) asociadas a caudal de DAAC (DGA/MOP). Los colores representan la agrupación según clase agrológica y caudal medio anual acumulado de los Derechos de Aprovechamiento de Agua no Consuntivo (DAANC) que se emplazan sobre cada parche de suelo agrológico.

Para entender la variabilidad espacial del consumo de este sector se han procesado diferentes dataset (ver figuras 17 a 20). Ellos comprenden la distribución geográfica de población para diferentes años (2017, 2002, y el diferencial, Δ , entre ambos años) y proyección para el 2035 (ver Figura 16). Por ejemplo, la Figura 17 muestra la distribución geográfica del consumo de agua en ciudades para el año 2017 y proyección para el 2035, incluyendo la diferencia (Δ 2017-2035). La Figura 18 muestra la distribución de los proyectos de Agua Potable Rural (2017). Los colores representan la cantidad de empalmes de agua potable asociados a cada proyecto.

Paralelamente, la Figura 14 muestra que la actividad industrial es otro de los sectores relevantes en el consumo de agua. La Figura 19 muestra de manera detallada la distribución espacial de proyectos industriales tramitados en el SEIA que se emplazan fuera del límite urbano.

Otro de los sectores relevantes en el consumo de agua es la actividad minera. La Figura 20 muestra la distribución geográfica de grandes faenas (marcas tipo argollas y triángulos en la figura, donde el tamaño de las argollas representa el consumo de agua asociado a la faena). Con degradación de colores azul-verde-rojo, la capa geográfica de base representa la distribución del consumo de agua ($l/s/ha$) asociado a DAAC (DGA/MOP).

Suelos Agrológicos de mayor calidad asociados a caudal acumulado de Derechos de Aprovechamiento de Agua Consuntivo (DAAC)

clase agro	caudal DAAC	Leyenda
I	-	
	bajo	
	medio	
	alto	
II	-	
	bajo	
	medio	
	alto	
III	-	
	bajo	
	medio	
	alto	
IV	-	
	bajo	
	medio	
	alto	

bajo: < 10 l/s
 medio: 10 a 100 l/s
 alto: >100 l/s
 -: sin DAANC

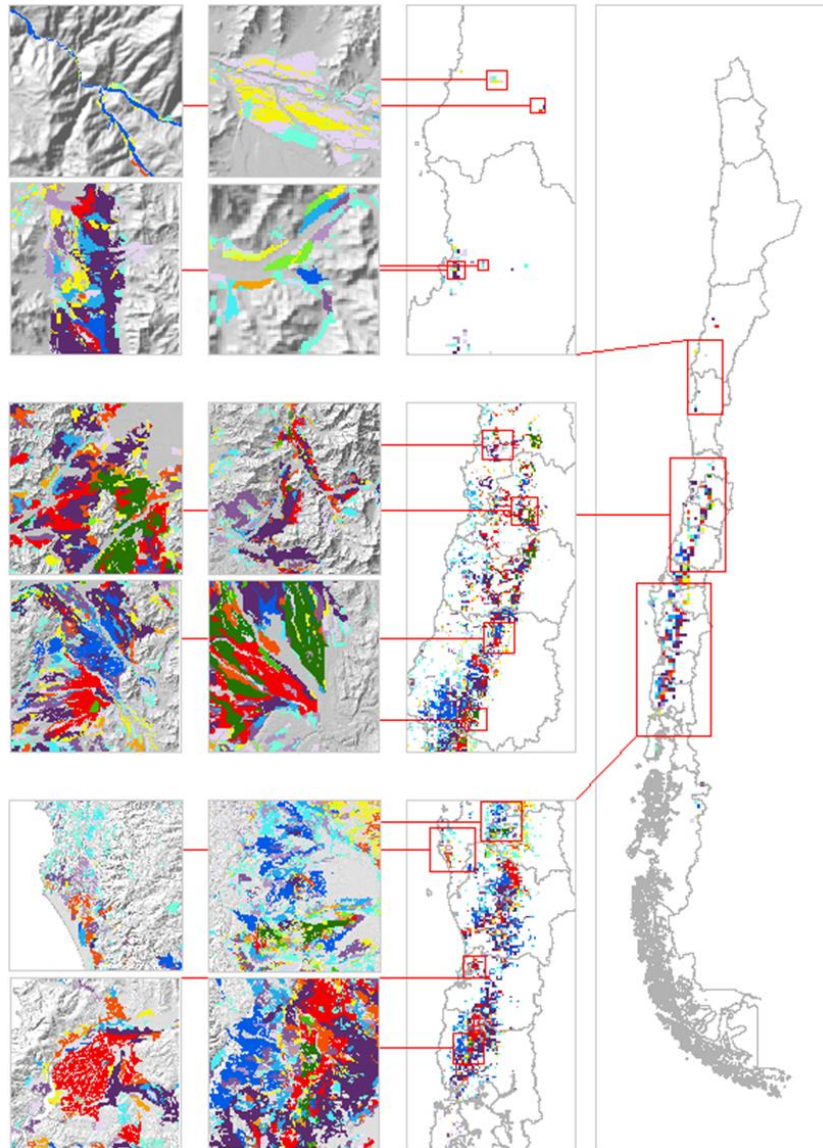


Figura 15: Categorías de suelos agrícolas de mayor calidad asociada a caudal de DAAC. Fuente: Elaboración propia⁶.

⁶ Los colores representan la agrupación según clase agrícola y caudal medio anual acumulado por los DAAC que se emplazan sobre cada parche de suelo agrícola.

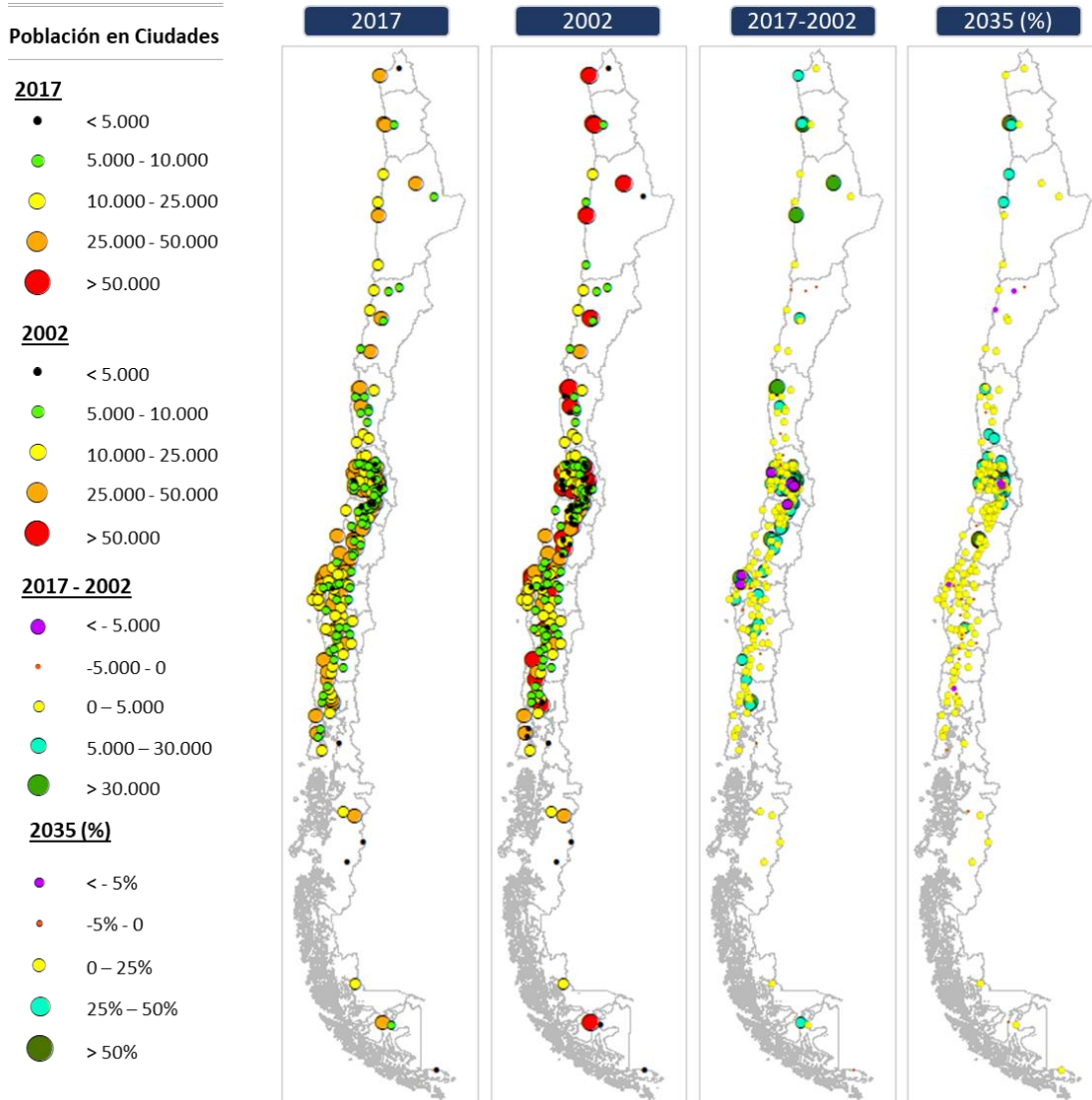
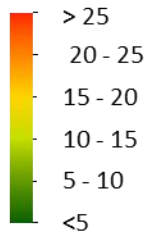


Figura 16: Distribución geográfica de población para diferentes años (2017, 2002, Δ) y proyección para el 2035. Fuente: Elaboración propia.

Consumo en Agua en Ciudades

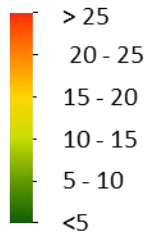
Consumo total mensual de agua en la ciudad al año 2017

m³/s



Consumo promedio mensual de agua en la ciudad proyectado al año 2035

m³/s



Consumo promedio mensual de agua en la ciudad proyectado al año 2035

m³/s

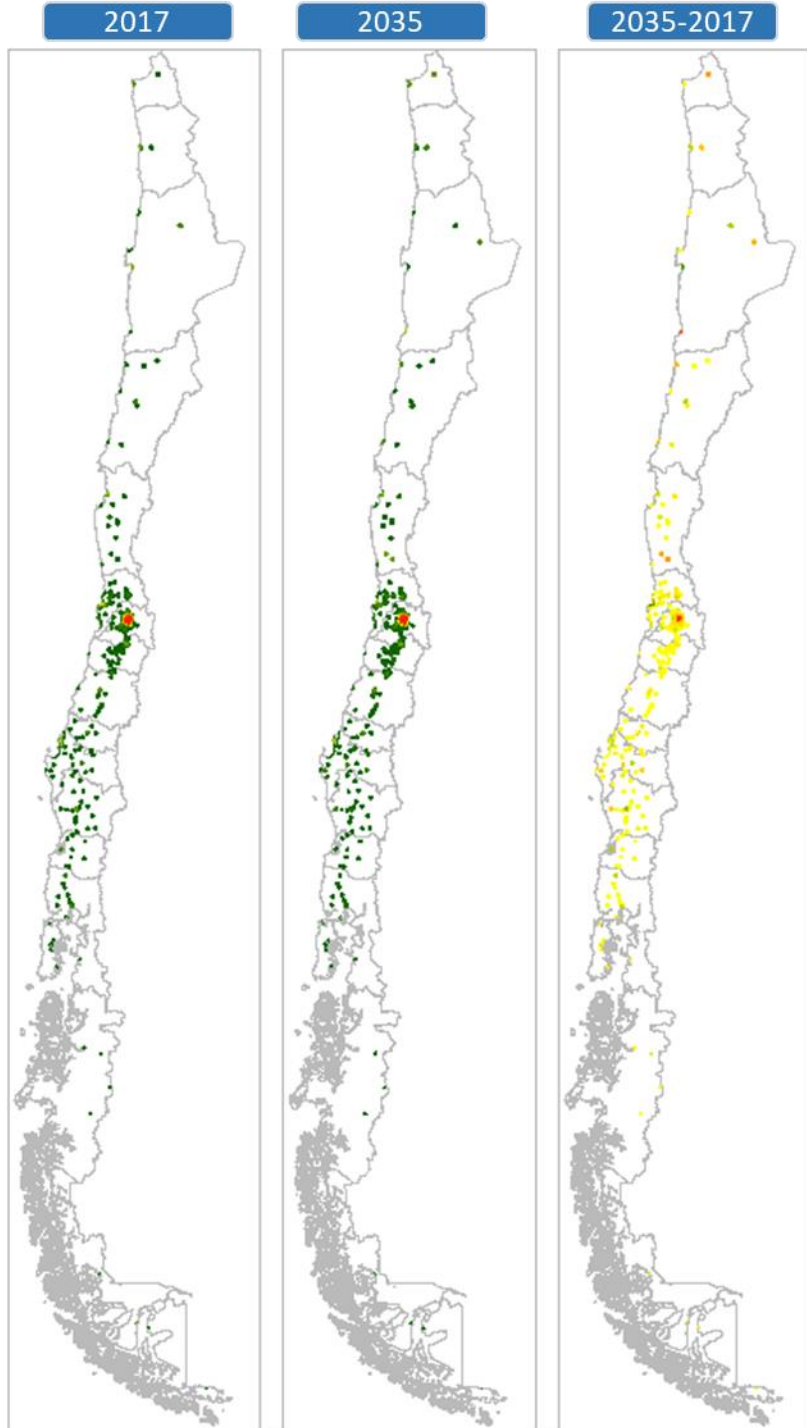
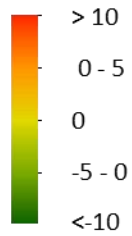


Figura 17: Distribución geográfica del consumo de agua en ciudades para el año 2017 y proyección para el 2035, incluyendo diferencia (Δ 2017-2035). Fuente: Elaboración propia.

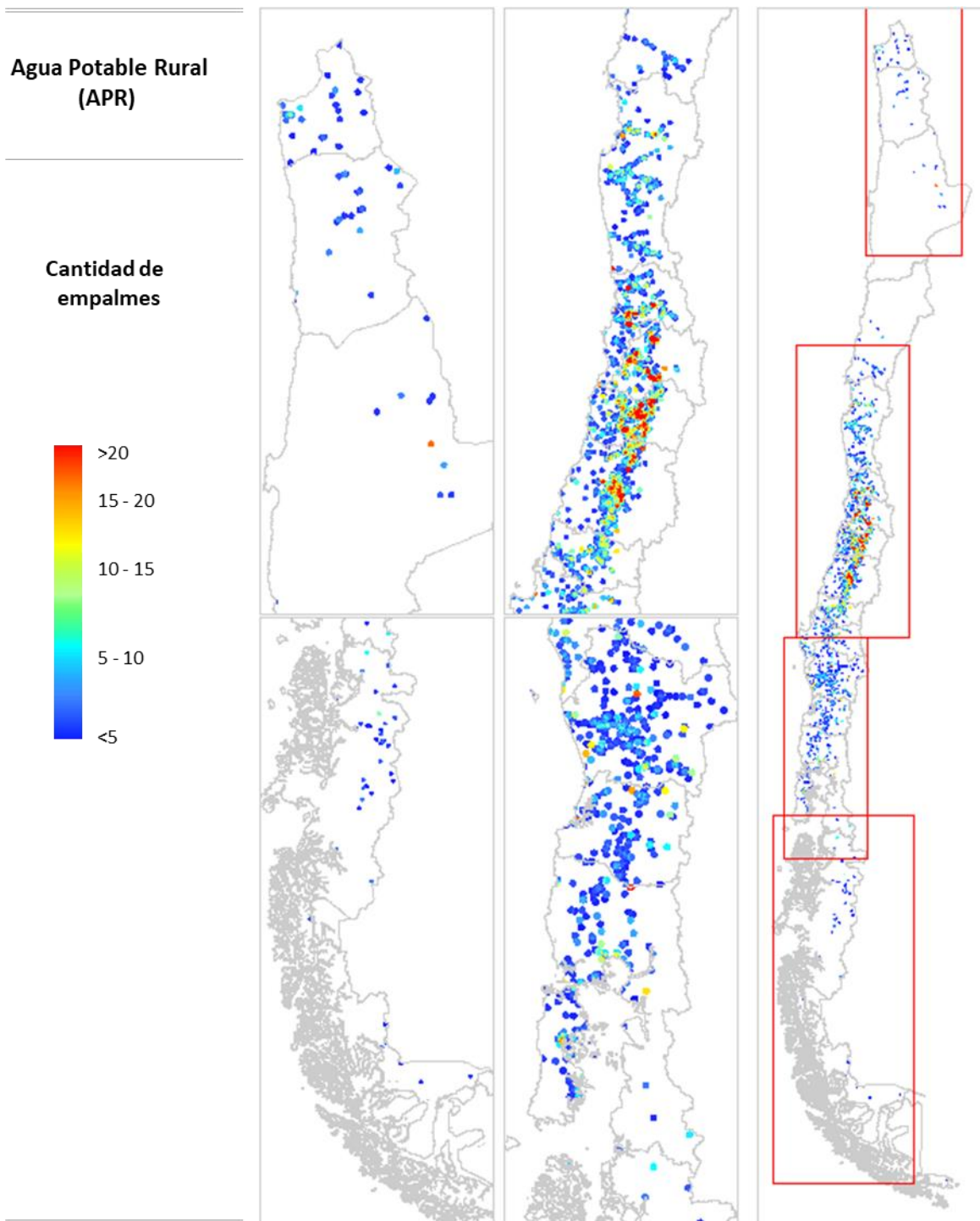


Figura 18: Distribución de los proyectos de Agua Potable Rural (2017). Los colores representan la cantidad de empalmes de agua potable asociados a cada proyecto. Fuente: Elaboración propia.

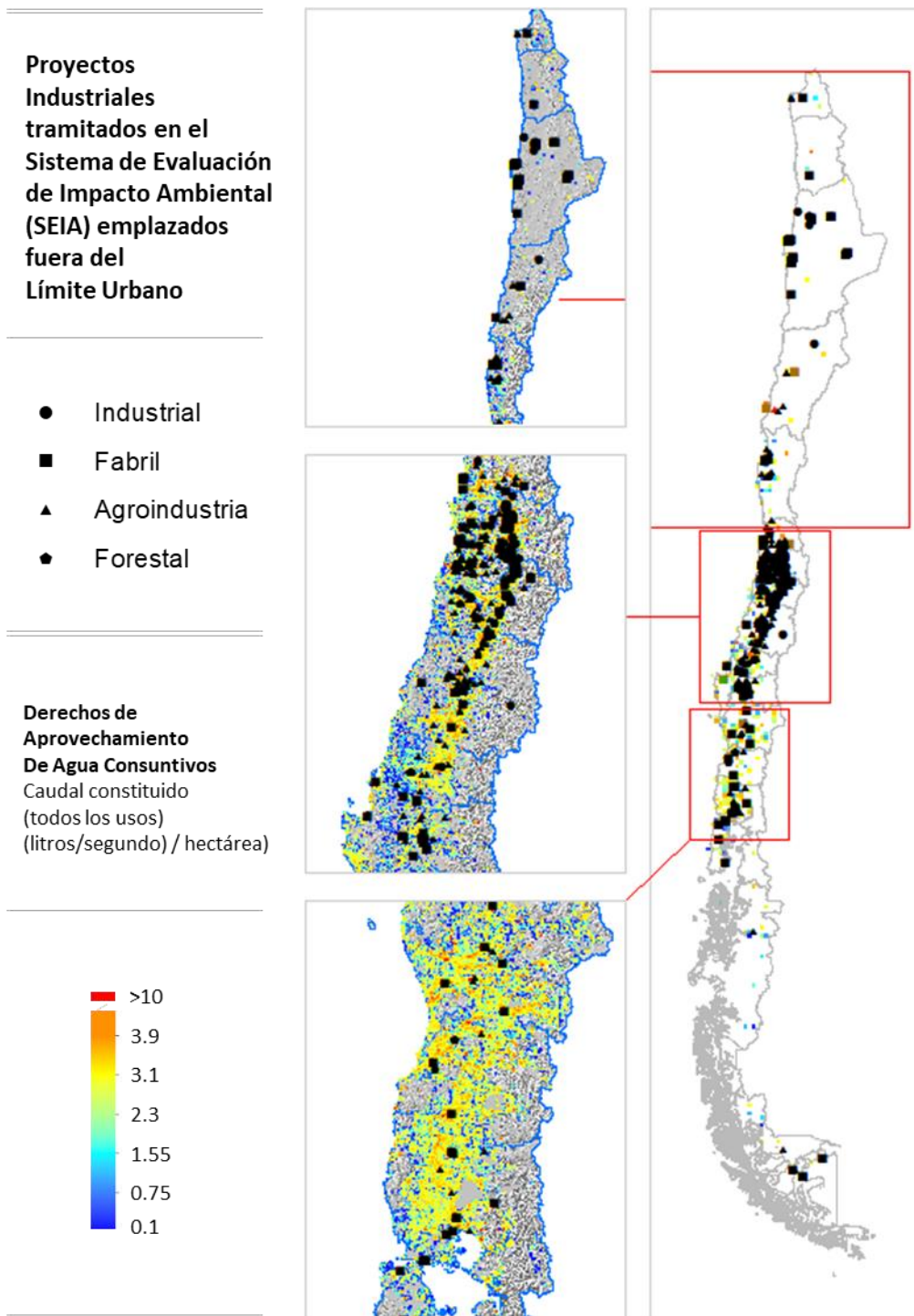


Figura 19: Distribución espacial de proyectos industriales tramitados en el SEIA que se emplazan fuera del límite urbano. Fuente: Elaboración propia.

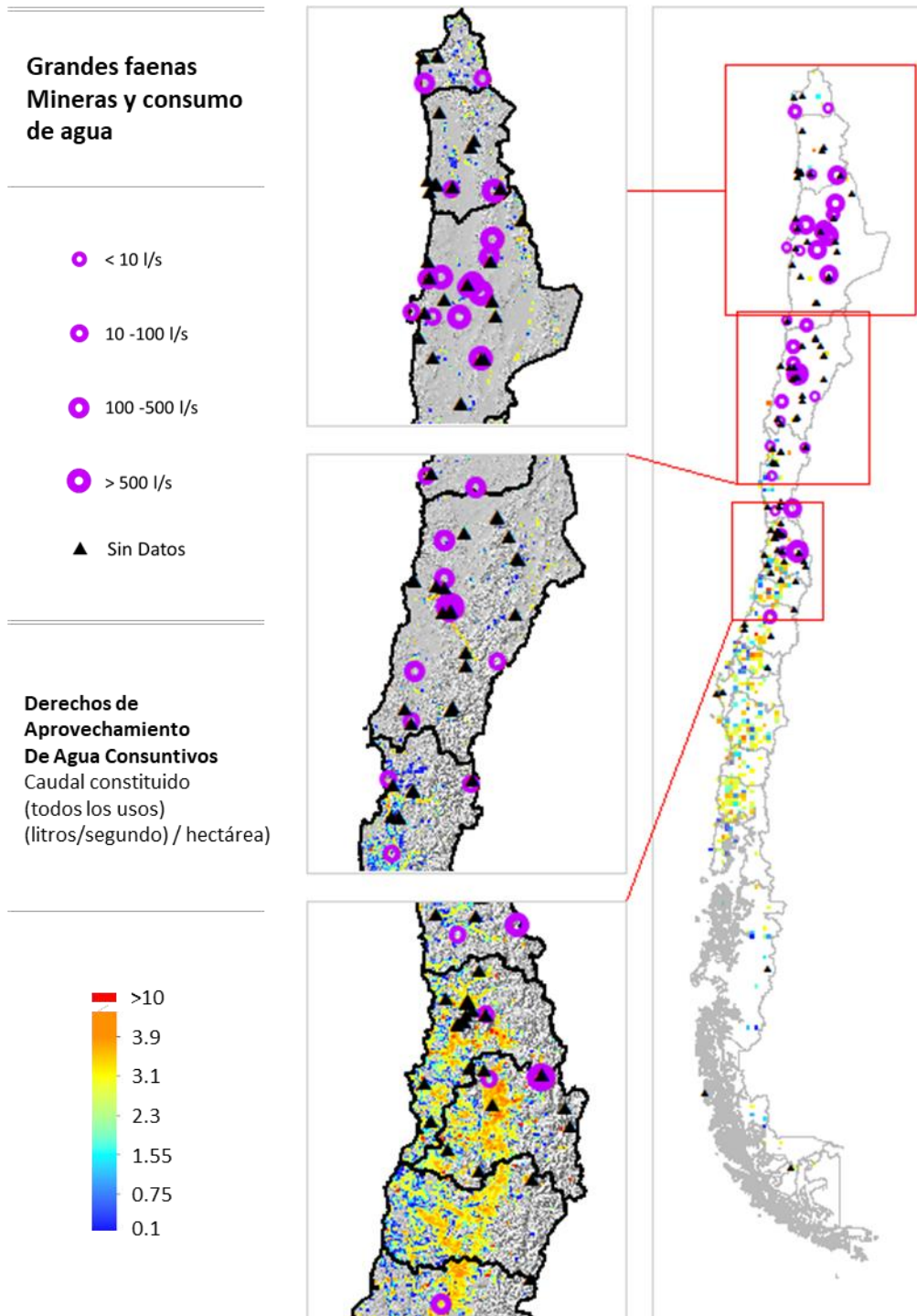


Figura 20: Distribución geográfica de grandes faenas mineras (Marcas tipo argollas y triángulos). Fuente: Elaboración propia.

La condición de mega sequía que enfrenta el país en la última década es un asunto sensible para la sociedad. En el marco de la presente iniciativa se han dedicado importantes esfuerzos para incluir este fenómeno climático en los análisis.

Por lo anterior, se trabajó con los decretos de escasez, los cuales se dictan con el objeto de proveer determinadas herramientas a usuarios del agua y a la población en general para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía, entregando atribuciones a la DGA para establecer criterios y delimitaciones para las autorizaciones de extracción de aguas (DGA/MOP, 2020). La Figura 21 muestra la distribución espacial de los Decretos de Escasez Hídrica históricos (2009-2020).

Adicionalmente, se ha logrado acceder al dataset del Atlas de Riesgo Climático (Ministerio del Medio Ambiente y GIZ, 2020). Este producto ha sido generado a partir de modelaciones de decenas de modelos de circulación general de la atmósfera (GCMs) y se ha ajustado estadísticamente con las mejores bases de datos de modelación y medición disponibles hasta alcanzar una resolución espacial de 5 km para todo el territorio de interés. Esta extensa base de datos permite calcular diversos indicadores climáticos. Dado que ha demostrado ser una excelente herramienta para representar la condición media de los fenómenos para períodos extensos (100 años) resulta extremadamente útil para reflejar la condición climática histórica (1980-2010) y futura (2035-2065), así como la condición de cambio climático (Δ , diferencial entre ambos periodos). La Figura 22 muestra la distribución espacial (y temporal) de la frecuencia de sequías para estos tres horizontes de tiempo. Corresponde a la frecuencia (en porcentaje) de periodos en que la precipitación acumulada es menor al 75% del promedio de la precipitación acumulada en el periodo de referencia (1980 a 2010).

Como se observa en la Figura 22, los datos muestran que la mayoría del tiempo (incluso >90%) una importante sección de la zona norte no sobrepasa el umbral de 75% del promedio de la precipitación acumulada en el periodo de referencia.

Los resultados muestran que en el futuro la frecuencia de sequía meteorológica disminuirá en algunas zonas, mientras que en otras aumenta. El mapa de diferencias resulta útil para analizar el cambio entre futuro y presente. En él se aprecia que la frecuencia de la sequía meteorológica disminuye en la zona norte (evidenciando disminuciones menores de 20% en ciertas áreas destacadas en color verde intenso), aumento de la sequía meteorológica en la zona centro-sur (evidenciando aumentos superiores a 20% en ciertas áreas destacadas en color rojo intenso), mientras que en el extremo sur (desde la Región de Aysén hacia el sur) en general la sequía meteorológica muestra que la sequía meteorológica se vuelve más leve a medida que aumenta la latitud, alcanzando incluso una disminución del orden del 3% de la frecuencia (representado en amarillo verdoso) en el extremo sur de la Región de Magallanes.

Decretos de Escasez Hídrica Históricos (DGA/MOP) entre los años 2009 y 2020

Cantidad de Decretos

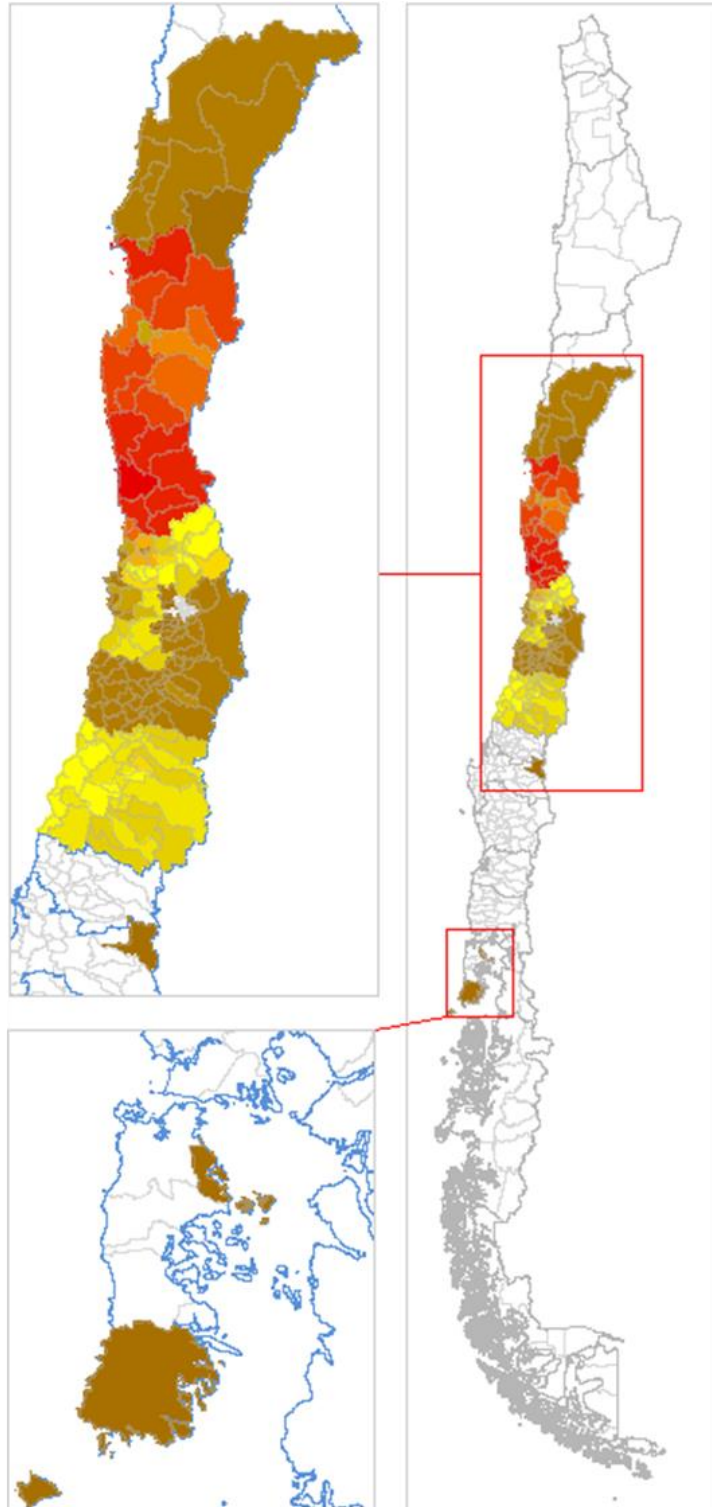
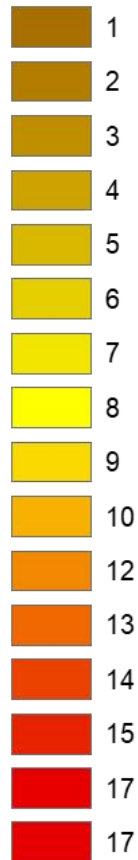
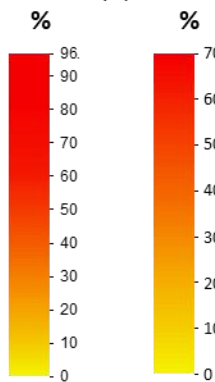


Figura 21: Distribución espacial de los Decretos de Escasez Hídrica históricos (2009-2020). Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA/MOP, 2020.

Frecuencia de sequía

Frecuencia de periodos en que la precipitación acumulada es menor al 75% del promedio de la precipitación acumulada en el periodo de referencia

Presente (1980-2010) **Futuro** (2035-2065)



Cambio climático

Δ

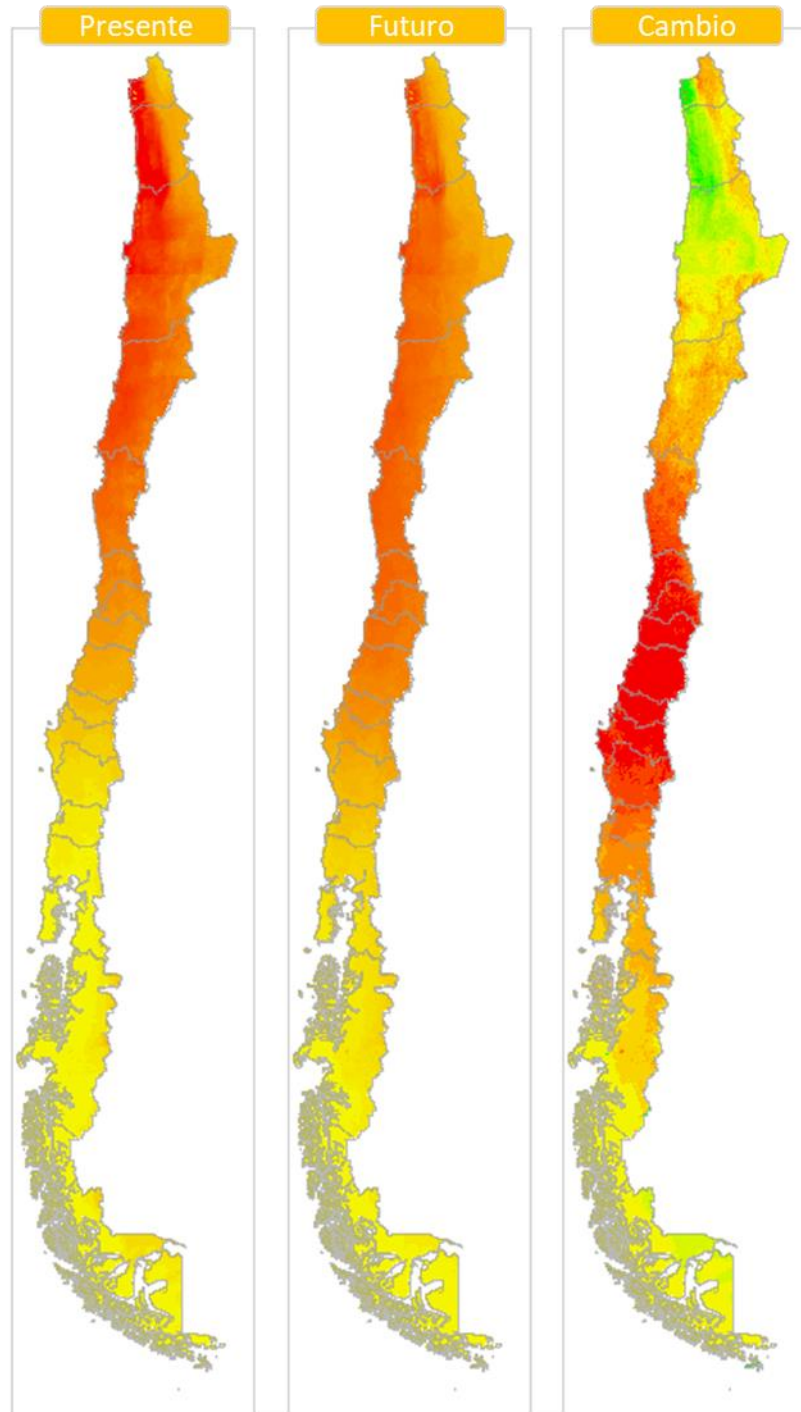
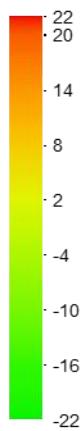


Figura 22: Distribución espacial (y temporal) de la frecuencia de sequías. Fuente: Elaboración propia a partir de datos ARCLIM, MMA y GIZ, 2020).

Por último, en la Figura 23 se presenta la información del estudio DGA (2017), donde se muestran los antecedentes de consumos de agua a nivel de subcuenca en los distintos sectores para los años 2015, 2030 y 2040.

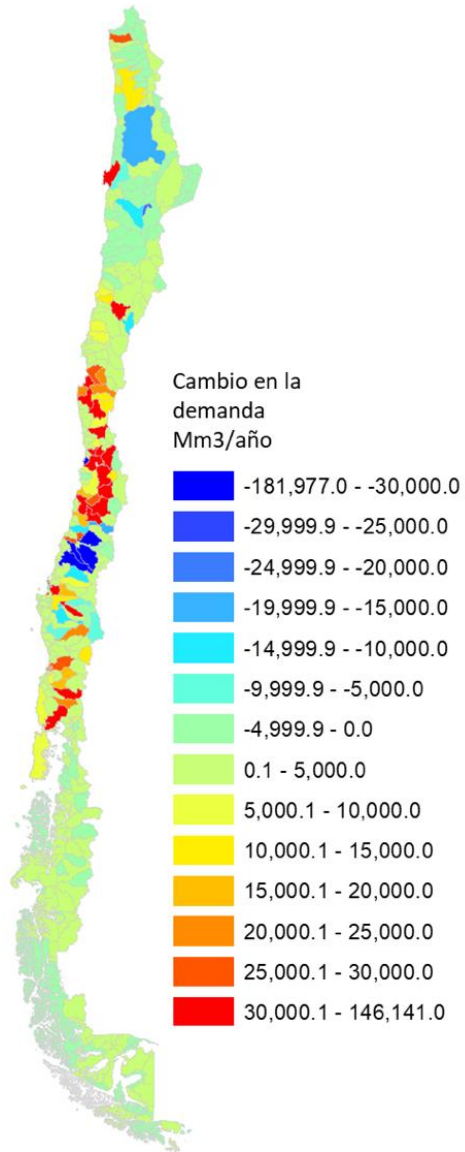


Figura 23: Variación de la demanda de agua en el periodo 2015 – 2040 (miles de m³/año). Fuente: DGA (2017)

4. Entrevistas, mapa de actores y oportunidades

En esta sección se presenta el desarrollo actividades específicas como parte de los OE4, OE5 y OE6.

- Entrevistas semiestructuradas a actores relevantes del ámbito público, privado y de la academia, la que se sistematiza como fuente de información primaria.
- Mapa de actores en el ámbito de estudio de proyecto.
- Identificación inicial de oportunidades de desarrollo del concepto agua y energía en Chile a partir de antecedentes estudiados y conjunto de entrevistas realizadas.

4.1. Entrevistas y mapa de actores relacionados

En esta subsección se presentan los resultados y principales hallazgos de un grupo de entrevistas realizadas a actores claves de la desalinización y la escasez hídrica, los cuales fueron consensuadas con la contraparte del estudio. El objetivo de ellas fue conocer el estado de la situación actual y futura de los recursos hídricos en el país (y en la zona donde se lleva a cabo el análisis territorial en detalle), desde el punto de vista de la demanda, la escasez hídrica y la oferta de recursos (empresas sanitarias y plantas desalinizadoras), en su relación con proyectos integrales de agua y energía. Se espera entender la visión sobre el desarrollo futuro de las plantas de desalación y recabar propuestas sobre como implementar este tipo de proyectos integrales y su impacto económico y social.

El perfil de los entrevistados corresponde a representantes de empresas impulsoras o desarrolladoras de proyectos de desalación e instituciones públicas que trabajan en temas de escasez hídrica.

Las entrevistas fueron semi-estructuradas, y el diseño se basó en los resultados de análisis de las actividades anteriores, de modo de validar desafíos en consideración de la perspectiva de cada uno de los actores que desarrollen o impulsen proyectos de desalinización, tratamiento de agua o estén relacionados con el concepto integral agua – energía y en temas de escasez hídrica.

En las entrevistas se realizaron preguntas orientadas a permitir a cada informante/participante establecer, individual y anónimamente, y a partir de su propio conocimiento experto, las distinciones que considera necesarias para abordar el problema identificado. Algunas preguntas orientadoras de la entrevista son las siguientes:

- ¿Cuál es su visión sobre el desarrollo futuro de las plantas de desalación?
- ¿Cómo visualiza el nexo principal entre agua y energía en estos proyectos?
- ¿Qué otros elementos se consideran en los proyectos de desalación: impacto económico y social, postura de comunidades locales frente a proyectos, etc?
- ¿Cuáles son las necesidades locales en torno al recurso hídrico?
- ¿En qué proyectos de desalación ha participado?
- ¿Qué brechas observa en relación con la energía renovable para abastecer una planta de desalación?

- ¿Cuáles son las principales barreras que enfrenta para poder desarrollar exitosamente este tipo de proyectos?

Para la construcción de este cuestionario se realizó una breve revisión de antecedentes para asegurar la pertinencia de este instrumento respecto al objetivo buscado.

Por otro, sobre la base de una búsqueda exhaustiva de instituciones/personas relacionadas con las temáticas mencionadas, se elabora un mapa de actores más relevantes identificados entre aquellas instituciones que desarrollan o impulsan proyectos de desalinización, tratamiento de agua o estén relacionados con el concepto integral agua – energía y con la escasez hídrica.

4.1.1. Entrevistas a actores relacionados

Como se menciona anteriormente, se llevan a cabo entrevistas a un grupo de actores clave (stakeholders) relacionados con proyectos de desalinización, escasez hídrica y otros temas atinentes al proyecto, tanto a nivel nacional como en la zona seleccionada para el análisis detallado. La lista de perfil de stakeholders acordada con la contraparte técnica del proyecto se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19: Lista de entrevistados seleccionados. Fuente: Elaboración propia

Organización	Perfil
Plataforma Solar de Almería	Investigador en amplio espectro de aplicaciones de la energía solar.
Instituto Tecnológico de Sonora, México	Líder en temas de Tratamiento de Aguas y Tecnologías Alternas en proyectos de Desalinización de Aguas Marinas con Energías Renovables
Plataforma Solar de Almería.	Investigador en el área de desalinización.
ECONSSA	Conocimientos a nivel gerencial: desarrollo, negocios y nuevos proyectos.
AESgener	Conocimientos a nivel gerencial: desarrollo, negocios y nuevos proyectos.
BHP Billiton	Conocimiento en servicios estratégicos.
ALADYR	Conocimientos a nivel gerencial: desarrollo, negocios y nuevos proyectos.
ACESOL	Experiencia en dirección y gestión.
ONG Oceana Chile	Conocimientos a nivel gerencial: desarrollo, negocios y nuevos proyectos.
Ministerio Agricultura	Experiencia en estudios, desarrollo y políticas de la Comisión Nacional de Riego (CNR)
Comisión Nacional de Riego	Experiencia en gestión y desarrollo a nivel zonal y regional.

A partir de las entrevistas desarrolladas se han levantado algunos aspectos relevantes que se describen a continuación.

Respecto a la visión sobre el desarrollo futuro de las plantas de desalinización, en general ven el tema como muy relevante, debido a la estrechez hídrica que se ha dado en el país por las dificultades de sequía, lo abarca incluso hasta la Región de La Araucanía. Esta sería una de las iniciativas más relevantes para resolver la problemática de este recurso limitado, liberando recursos hídricos en las cuencas y donde Chile enfrenta un desarrollo importante y

muchas ventajas competitivas. Sin embargo, se manifiesta que existe una falta de planificación evidente por parte de las instancias reguladoras con competencia en el tema.

Es importante distinguir entre los grandes proyectos de desalinización industrial (más de 7 mil m³/día) y de baja escala, donde se da acceso al agua a comunidades aisladas o con otro tipo de vulnerabilidad o barreras socioeconómicas. Estas zonas poseen bajas capacidades instaladas para la mantención de los proyectos, por lo que, si no poseen un apoyo sostenido de las autoridades, dejan de estar operativos de manera temprana (deficiente operación de las plantas de osmosis inversa destruye las membranas). En la mayoría de los proyectos la osmosis inversa es la tecnología dominante, pero en los proyectos de pequeña escala podría haber espacio para tecnologías más innovadoras, como destilación multiefecto o compresión de vapor (por ejemplo, si se dispone de calor residual en otros procesos). En el caso de las comunidades pequeñas, es importante cuidar el manejo de las salmueras residuales, ya que podrían generar un impacto ambiental importante, como se ha visto en el extranjero, donde el residuo se vierte a los ríos y han contaminado algunos estuarios, lo que también sucede con agua salobre (de pozo o río). Ello podría darse en Chile en los proyectos de APR o de comunidades aisladas.

Si bien los proyectos compiten con otras iniciativas como la carretera hídrica, la desalinización posee ventajas ya que las comunidades están más de acuerdo en su desarrollo respecto a otras opciones. Si bien la desalinización también tiene sus problemas, estos son de menor escala. Ello ha redundado en un crecimiento importante de proyectos privados, con un futuro promisorio tanto para la minería como para otros sectores (agricultura, agroindustria, etc.), además de ser una importante oportunidad de ir diversificando el destino y uso del agua desalada. Sin embargo, su alto costo la hace prohibitiva para muchos usos productivos, por lo que debiera estar en una escala de prioridad más bien baja frente a otras opciones. Un ejemplo de ello puede ser la reutilización del agua, que en nuestro país es muy baja, mientras que en Europa ya es una medida obligatoria.

También se hace mención de la estrategia que debe ser desarrollada por las empresas con mayores demandas de agua (principalmente mineras) donde la estrategia de abastecimiento debe ser 100% sustentable y con una visión de infraestructura compartida, lo que es muy complejo de llevar a cabo, por la lógica de las empresas a no compartir riesgos. En este sentido, las empresas mineras han tomado el liderazgo en el desarrollo de grandes proyectos de desalinización, además que ya no se conciben nuevas inversiones en minería sin el uso de agua desalinizada para sus procesos.

En lo que se relaciona al nexo principal entre agua y energía en estos proyectos, se observa una coincidencia feliz por su localización en regiones con altos potenciales de energías renovables (aporte de energía solar y eólica), que incluso poseen sello verde (a partir de la gestión de un PPA asociado a energía renovable como cliente libre), lo que es relevante al presentarlo en el SEIA. Si bien, esto es valorado (principalmente por la prensa) lo más importante es poseer un costo bajo de la energía. En este sentido, el costo energético de una planta desalinizador representa el 30-40% del OPEX (aproximadamente, 2,9 kWh/m³) el cual podría seguir bajando. Además, desde el punto de vista del operador de proyectos esta problemática se resuelve desde el autoconsumo o comprando en el mercado (PPA) o una combinación de ambas. De esta forma, si bien se espera que la energía sea el factor habilitante para la producción de agua, ella debiera ser a un costo más bajo que el actual, permitiendo que consumidores relevantes (como la agricultura y las personas) puedan acceder a ella. Ello

debe ir de la mano con una visión más integral y basada en el territorio, con bajos impactos socioambientales.

En el contexto del nexo agua – energía, también se mencionan desarrollos como la tecnificación del riego con energías renovables, eliminando el bombeo diésel (a través de recursos disponibles en fondos concursables), el uso de tranques de agua con paneles fotovoltaicos que disminuyen la evaporación, la incorporación de minicentrales eléctricas en canales de regadío y la promoción de la eficiencia energética en el sector agrícola. El nexo agua – energía – alimentos debiera ser clave en los desarrollos futuros. Cabe mencionar, sin embargo, que, en el caso de plantaciones agrícolas, los precios actuales del agua desalinizada son mayores a la disposición a pago por la mayoría de las actividades agrícolas. Es clave conocer los tipos de cultivos de alto valor comercial y la posibilidad de incorporar tecnología de invernaderos e hidroponía.

Por otra parte, los entrevistados han manifestado algunos temas novedosos y de interés para el desarrollo futuro de los proyectos integrales agua – energía. Entre ellos se encuentran el que la desalinización se podría convertir en el “gran consumo eléctrico del futuro que nadie está visualizando”. En este sentido, si bien el sector minero ha cuantificado su consumo futuro de agua desalinizada, junto con la demanda eléctrica asociada, el resto de los sectores no lo ha planificado tan sistemáticamente, por lo que no es posible en la actualidad determinar cuál podría ser la demanda eléctrica futura asociada a proyectos de desalinización.

También se manifestaron opciones como la implementación de concesiones reguladas para desalación con fines sociales y la consideración de una demanda ambiental de agua para recuperación de acuíferos. Además, se menciona que es clave poder ofrecer un recurso disponible para varios tipos de consumidores y tratar de ir diversificando el destino y usos del agua desalinizada. Este tipo de proyectos multipropósito podrían ayudar en la reducción de los costos del agua, lo que, sumado al desarrollo de políticas y economías de escala, podría generar una mayor reducción de dichos costos.

Otras opciones novedosas que fueron identificados tienen que ver con la valorización de la salmuera, para recuperar productos de interés como el hipoclorito de sodio, sodio, boro, litio, magnesio, potasio, entre otros; a través de electrólisis o electrodiálisis. La idea es poder instalar trenes de tratamiento de estos productos y usar sólo un porcentaje del rechazo de manera de ir explorando modelos de negocio asociados. Destaca el hecho de que en este punto no hay un consenso entre los expertos. Algunos ven complejo reutilizar la salmuera debido a los grandes volúmenes involucrados, lo que hace muy difícil su tratamiento. La respuesta a esta crítica sería a través de un cambio paulatino, utilizando sólo parte de la salmuera residual.

Adicionalmente, se mencionan iniciativas relacionadas con simbiosis industrial (economía circular) con el caso de un proyecto con 4 ejes: agua energía, enfriamiento y biogás, además de una micro-red de generación distribuida. En él se usa la energía fotovoltaica para el enfriamiento, un biodigestor para tratar los residuos de la comunidad, entre otras interacciones interesantes.

Desde el punto de vista de la relación con la agricultura, se hace notar que la mayor producción está acotada a las zonas donde escurre el área superficial y que en general no se debería pensar en recuperar las superficies de suelo que se perdieron, si no, más bien asegurar los suelos con potencial productivo y que se vean amenazados por la sequía. Sólo si hay una

mayor disponibilidad hídrica se podría pensar en aumentar la superficie. En este sentido, si hay disponibilidad de agua a precios “accesibles” para los usuarios se podrían habilitar zonas agrícolas hasta el extremo norte del país, con lo que, dado el desarrollo de nuevas tecnologías, el suelo deja de ser relevante (primero sería el agua, luego clima y finalmente el suelo). El costo actual del agua desalinizada no permite su factibilidad económica en los cultivos que se realizan de manera tradicional en este sector. Por ello cobran especial importancia terrenos cercanos a la costa, donde hoy no existe agricultura y donde se evitarían altos costos para la impulsión hacia zonas actualmente de tipo agrícola. Sin embargo, esta oportunidad requiere del estudio de especies que se adapten a condiciones de radiación propias de la zona costera y distintas a la de terrenos localizados al interior.

En lo que respecta a la ubicación de zonas propicias para la desalinización se precisa que los desarrolladores buscan instalarse lo más cerca posible a obras marinas (cota 30 msnm) para lograr los mayores ahorros en impulsión y tuberías. En este sentido, las obras marinas existentes son relevantes para ser utilizadas por proyectos nuevos (por ejemplo, centrales carboneras que salen de operación). También se menciona el uso de embalses de acumulación, ubicados en una zona alta del territorio, para aprovechar energía potencial de manera de poder abastecer a clientes más atomizados (pueblos, industrias, etc.).

Si se analizan otros elementos que se deberían considerar, como el impacto económico y social, postura de comunidades locales frente a proyectos, etc. Hay un gran desafío para la legitimidad de los proyectos de desalinización ya que no existe la disposición a pagar en la idiosincrasia del sector agrícola dada la disponibilidad histórica de derechos de agua “gratuitos”. En este sentido se requiere una visión estratégica para el agua, en la que debería haber subsidios para que no se disponga de tarifas muy altas (por ejemplo, en proyectos de APR) y existir concesiones reguladas para satisfacer estas demandas “más sociales”. Por otro lado, se tiene una percepción que son proyectos menos conflictivos entre los que poseen emisarios submarinos (como las centrales de generación termoeléctrica). Para ello se debe mantener un estándar elevado en la relación con las comunidades, con normas transparentes y fiscalizadas como herramienta de trabajo, con un claro énfasis en el valor social. A pesar de ello, la relación y el trabajo con las comunidades se ha vuelto cada vez más complejo, dados los distintos intereses que poseen los grupos existentes, principalmente en la costa.

Desde el punto de vista ambiental, existe desconocimiento en la industria y el regulador respecto al impacto que pueden tener las plantas desalinizadoras y sobre el tipo de medidas de mitigación con que se podría contar. En este sentido, existen zonas del país con problemas relacionados con la dilución de la salmuera, como Mejillones, donde el aumento de salinidad es muy alto. Ello tiene relación con la ausencia de normas de calidad de agua en las bahías y una carencia de casi todo tipo de normas para las plantas desalinizadoras. De hecho, no existe regulación específica en el SEIA respecto a los impactos de estas plantas y las que se utilizan poseen muchas carencias. A lo anterior se suma el impacto en la zona de captación de agua de la planta de desalinización. Dependiendo la localización y la presión de entrada, el sistema succiona distintos organismos en variados estados de crecimiento. Es necesario entender mejor el efecto que esto produce en la biodiversidad local, haciendo del sistema de aducción un elemento tanto o más importante que el efecto de aumento de salinidad en el punto de entrega. A lo anterior se suma el análisis de productos químicos que se agregan al agua en las fases de pretratamiento, los que también retornan al mar junto con la salmuera.

En lo que respecta a los impactos específicos en la biodiversidad, hay un problema importante en las zonas de surgencia (donde se produce el desove y están las zonas de alimentación de algunas especies), las que generalmente se encuentran en las bahías. Estas son justamente las zonas de abrigo, menos costosas para instalar proyectos con infraestructura marina, pero que es donde se puede producir el mayor impacto. En relación con esto, es un error compararse con proyectos en España o Israel, donde no existe una biodiversidad tan rica como la chilena y donde los impactos no son tan relevantes.

Como se observa a nivel internacional, según lo expresado por los expertos extranjeros, si el tratamiento de los residuos de las plantas de desalinización se lleva a cabo de manera “adecuada”, el retorno al mar no debería ser un problema crítico. Pero por el lado de la acumulación de estos residuos, se ve impracticable hacerlo en tierra (como un salar) por los volúmenes que se tratan en las plantas de gran escala. Sin embargo, la acumulación de residuos en plantas pequeñas se considera factible.

Respecto a la relación con las comunidades, en las entrevistas se hace la diferencia en la visión que se tiene con el tamaño de las plantas. En general, las comunidades ven un beneficio directo muy distinto entre las plantas más pequeñas (por ejemplo, para APR o agua potable para caletas de pescadores), que las grandes que son para la minería y que benefician fundamentalmente a los privados que desarrollan el proyecto. Además, hay problemas de planificación con la instalación de plantas con demasiada cercanía y con una competencia desventajosa entre la minería, pescadores y agricultura. En general se tiene la percepción que los que reciben los beneficios (agricultores, proyectos mineros) son distintos a los que se ven perjudicados por el emplazamiento de los proyectos.

Además, actualmente no existe la regulación de servidumbre para algunos actores menores (sanitaria, agrícola, etc.) para poder transportar el agua desalada, a diferencia de los proyectos mineros que sí pueden hacerlo, lo que complica las iniciativas de estos actores menores (incluso una sanitaria no puede hacerlo, si no está en su área de concesión), entre otros tópicos territoriales relacionados. En este contexto, el rol del Estado en la planificación territorial es clave para evitar riesgos futuros.

Respecto a las brechas en los contratos de energía para abastecer las plantas de desalinización, se menciona el dilema autoconsumo / PPA y que el suministro 24/7 sigue siendo clave, donde sólo grandes generadoras pueden ofrecerlo. En general, es la misma dinámica de cualquier consumidor 24/7 para satisfacerlo en un contrato take-or-pay. Esto contrasta con consumos que pueden variar mucho según estacionalidad o eventos climáticos, donde las condiciones take-or-pay pueden ser desfavorables y no ajustarse a este tipo de requerimiento variable, impactando negativamente en el precio.

En el aspecto de las necesidades locales en torno al recurso hídrico, se menciona que todo proyecto de desalinización debe atender e involucrarse con las necesidades locales (es su licencia social para operar). Por ejemplo, hay proyectos mineros que tienen que destinar parte del recurso a las comunidades locales, otros proyectos incorporan los APRs (se vinculan a ellos), entre otras relaciones. También las necesidades locales se relacionan con la dificultad para las concesiones marítimas. En este sentido, los proyectos mineros buscan evitar ser responsable del abastecimiento de agua a otros usuarios, ya que esto no está en el centro de negocio y conocimiento.

En lo que compete a la relación de la desalinización con la producción y abastecimiento de hidrógeno, esto es muy relevante para el reemplazo del diésel en el transporte en la minería, uno de los consumos de combustibles fósiles más relevantes en la gran minería. Además, se visualizan otros espacios de desarrollo en la industria y el transporte, lo que lo transforma en un tema clave a futuro, junto con las temáticas relacionadas al almacenamiento de energía versus agua. En este sentido, si bien los proyectos de desalinización se visualizan como urgentes en los próximos dos o tres años, los de hidrógeno se planifican para 4 años o más, dentro de una línea de servicios de la energía de las empresas generadoras de electricidad, las que aprovecharían sus capacidades existentes para generar este gas. De esta forma, el nexo entre energía eléctrica, agua, hidrógeno y servicios complementarios pareciera ser muy claro.

En el caso de los aspectos relativos a la zona bajo análisis para el desarrollo de proyectos agua – energía sobre la base de plantas de desalinización (región de Atacama, en los alrededores del Valle de Copiapó), los entrevistados mencionan que es un tema que viene en un muy buen momento, con muchas comunidades interesadas, para tener la posibilidad de dar un mayor incentivo a la desalinización. Pero, si bien el potencial agrícola es muy grande (790.000 ha) el costo de producción e impulsión lo hace inviable, frente a la opción del uso de pozos subterráneos, que es la principal fuente de abastecimiento (a pesar de que el agua se encuentra a mucha profundidad en algunas zonas. Como se mencionó, la única opción es convertir territorios costeros a agrícolas en un formato tecnificado con invernaderos, ya que los principales cultivos (olivos y uva de mesa) requieren condiciones que no se dan en la costa.

Respecto al nexo entre agua y energía en la zona, el desafío es tener una opción agrícola con ERNC (en principio, fotovoltaica, aunque los paneles solares compiten por espacio con el uso agrícola). En este sentido hay poca experiencia de agricultores y consultores en este tema en la zona, lo que, sumado al hurto de paneles, hace que no se vea mucha motivación de los agricultores con este tema, incluso en proyectos asociativos. Esta visión se mantiene ya que los acuíferos aún tienen recarga suficiente para los requerimientos actuales, lo que podría modificarse en la medida que el agua deje de estar disponible.

Por otra parte, en los aspectos relacionados a los impactos económicos y socioambientales de las comunidades locales frente a los proyectos, las posturas son diversas de acuerdo con los intereses de cada una. Para los agricultores, que están lejos del mar los proyectos son muy convenientes, visión distinta para las comunidades cercanas a las playas. Además, se aprecia como desarrollo local que permita compensar los efectos de las empresas mineras que se han ido de la región, al igual que Agrosuper (Freirina). El foco de las críticas es el entubamiento de los ductos ya que no llega puntos distintos a su destino (proyecto minero), lo que tiene relación con el caudal ecológico. Sin embargo, no se aprecia un cambio productivo de la región, incluso en el tema de los caprinos.

Entre otros aspectos mencionados en las entrevistas destacan los siguientes:

- Para la conexión desalinización-hidrógeno existe una sinergia en que la desalinización aporte el insumo de agua para la producción de combustibles, en aquellas zonas donde hay escasez de agua.
- Sobre el potencial de desalinización liderado por la minería si bien no aparece hoy como relevante, es válido considerarlo. Sin embargo, el desarrollo de la

desalinización ha sido muy importante en reducir el consumo de electricidad, mejorar el rendimiento de las membranas, etc., por lo que es posible que no valga la pena mantener una planta antigua o instalar una nueva (en 15 - 20 años más).

- Se considera una ventaja tener una infraestructura con toma de agua, principalmente por los permisos ambientales (PAS) que pueden demorar 4 a 5 años en un proyecto nuevo. La desalinización ya es una especie de commodity, donde la extracción del agua de mar es el proceso complicado, lo que puede requerir tecnología de alto nivel, así que se debería promover que se use estas instalaciones existentes.
- Si bien en el caso de la energía se tiende a desarrollar los proyectos por parte de los privados por las ventajas competitivas que poseen (eficiencia y rentabilidad), en el caso de la desalación se da la posibilidad que también participe el sector público (especialmente en proyectos de pequeña escala). Igualmente, los proyectos mineros han explorado distintos modelos para disponer de agua desalada, a partir de su propia planta o a través de socios que puedan prestar este servicio.

4.1.2. Mapa de actores

El OE6 del proyecto define la elaboración de un mapa preliminar de los actores más relevantes identificados en cada zona definida. Este mapa de actores busca servir de base para análisis de iniciativas en el ámbito del proyecto y para el caso de estudio descrito en la sección 5.2 de este documento.

El análisis de grupos de interés presta utilidad, siguiendo a Ackerman y Eden (2010)⁷, para un relacionamiento estratégico con aquellos actores considerados claves en virtud de su importancia para la consecución exitosa de los objetivos planteados.

Uno de los componentes del análisis de grupos de interés es el análisis posicional, que permite situar en un plano (mapa posicional) a los actores claves previamente identificados respecto a las variables de nivel de influencia en el ámbito social de interés (en este caso, en el ámbito que abarca los proyectos de desalinización de aguas en el territorio nacional) y disposición ante los proyectos de desalinización actualmente implementados o por implementar y los fenómenos asociados al consumo del recurso. Para efectos de este proyecto, se llevará a cabo la elaboración de mapas posicionales a partir de los cuales poder definir estrategias diferenciadas para cada grupo de interés de acuerdo con su posición en términos de influencia y disposición frente a actuales y futuros proyectos de desalinización de agua y de escasez hídrica.

Como primera etapa metodológica para la elaboración de mapas posicionales se requiere contar con una identificación de todos los actores relevantes que serán incluidos en el análisis. En este caso, se ha generado un catastro de actores relevantes desagregado por tipología de grupos sociales (sector público, sector privado, sociedad civil y comunidad científica) y por escala territorial (nacional, regional, provincial y comunal).

⁷ Ackermann, Eden (2010): “Strategic Management of Stakeholders: Theory and Practice”.

Luego, se ha realizado una evaluación en base a criterio experto de cada uno de los actores claves incluidos en el análisis respecto al nivel de influencia y disposición de éstos ante actuales y futuros proyectos de desalinización de aguas, proyectos de interacción agua-energía y la escasez hídrica. Para llevar a cabo dicha evaluación se propuso la aplicación de un cuestionario de evaluación a los expertos del equipo consultor del proyecto. El cuestionario establece para cada actor relevante una pregunta respecto al nivel de influencia y a su disposición ante actuales y futuros proyectos de desalinización. Los expertos son invitados a evaluar a cada actor relevante en las variables antedichas en una escala de 0 a 5. Al tratarse de la variable influencia, 0 corresponderá al nivel de muy baja influencia y el 5 al nivel de muy alta influencia, mientras que para la variable disposición el valor de 0 equivaldrá a la percepción de alta oposición ante estos tópicos, el valor 3 a la percepción de indiferencia y el valor 5 corresponde a la percepción de disposición altamente favorable ante los proyectos de desalinización y la escasez hídrica.

En la siguiente etapa metodológica se procedió a promediar las puntuaciones asignadas por cada evaluador experto a los actores claves sobre los que han sido inquiridos. En base a dichos valores ponderados es posible ubicar a los actores en mapas posicionales para cada tipología de grupo social, vale decir, se elabora un mapa posicional para las tipologías de sector público, sector privado, sociedad civil y comunidad científica valiéndose del valor ponderado en las variables de influencia y disposición como coordenadas para ambos ejes.

Del análisis que se puede derivar de dichos mapas posicionales se obtienen conglomerados de actores emergentes definidos por su proximidad en el plano. Finalmente, se establecen estrategias particularizadas para cada conglomerado emergente atendiendo a su nivel de influencia y disposición ante actuales y futuros proyectos de desalinización de aguas y al fenómeno de la escasez hídrica.

A continuación (Figura 24 y Figura 25), se presentan las gráficas resumen de cada mapa posicional obtenido tras la aplicación del diseño metodológico descrito. Si bien se aprecia la dispersión de las nubes de puntos resultantes en las gráficas a fin de facilitar su interpretación, cada actor tabulado lleva registro de su puntuación exacta en las variables de influencia y disposición tanto en el ámbito de la escasez hídrica como aquellos ligados al ámbito de la desalinización de agua (ver Anexos 8.5 y 8.10).

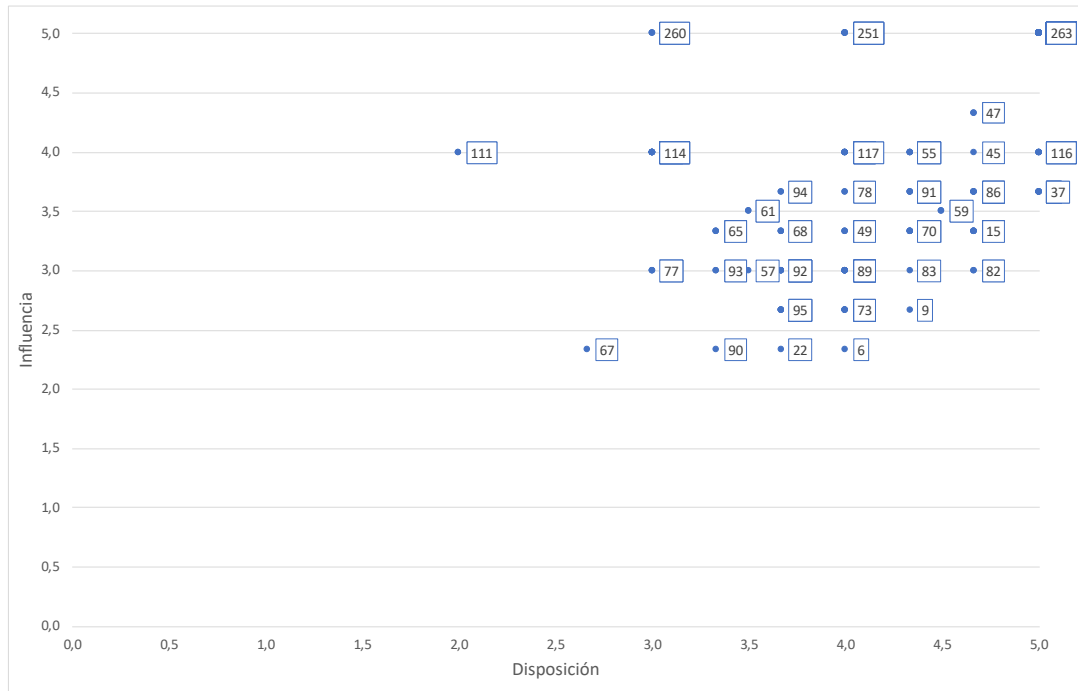


Figura 24: Mapa posicional de actores de la desalinización.

Respecto al mapa posicional obtenido para los actores ligados a la desalinización de agua, es posible apreciar como el grueso de los actores identificados se localizan en el cuadrante superior derecho, lo que implica un alto nivel de influencia en el sector y una posición favorable a los proyectos de desalinización. Para este grupo de actores es esperable un alto nivel de impacto en el trabajo colaborativo junto a dichos actores. Otro grupo importante de casos se sitúa en el cuadrante superior izquierdo del plano, vale decir, actores con un alto nivel de influencia, pero no tan alta disposición ante proyectos de desalinización, ubicándose en el nivel de disposición desfavorable. Luego, el trabajo con este grupo de actores debe ir acompañado de actividades de promoción y reforzamiento de las ventajas que implica la realización de proyectos de esta índole.

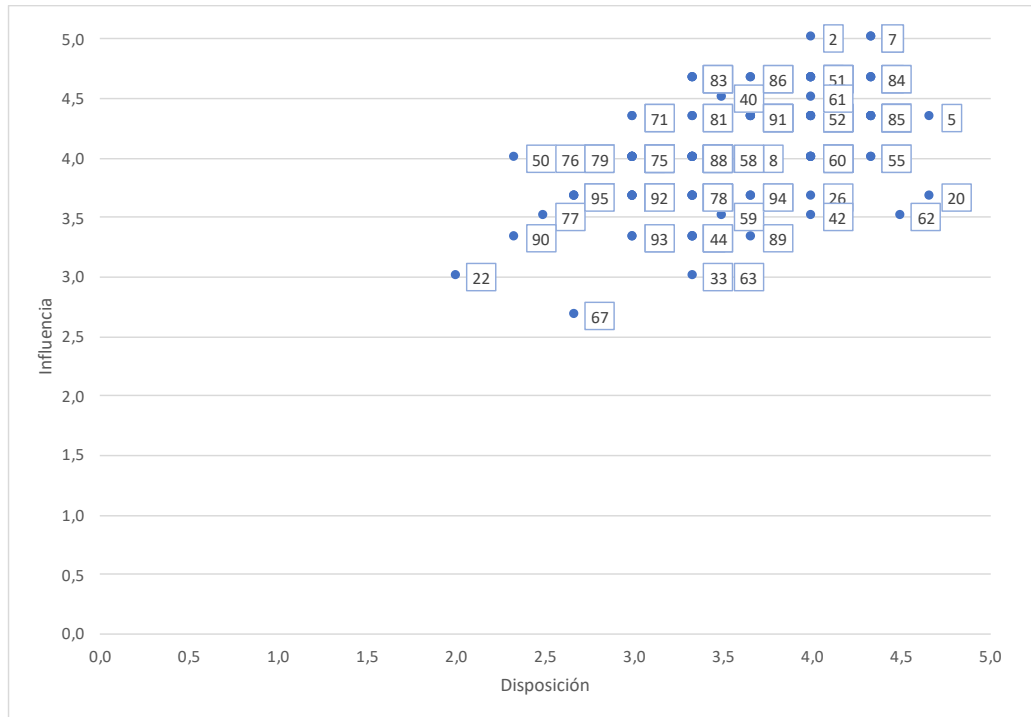


Figura 25: Mapa posicional de actores de la escasez hídrica. Fuente: Elaboración propia

De manera análoga a lo ocurrido con los actores ligados al área de la delación de manera directa, el grupo de actores vinculados a la temática de escasez hídrica muestra una dispersión similar de casos, con la mayoría de sus casos ubicándose en el cuadrante superior derecho del plano, es decir, presentando una disposición favorable a la realización de proyectos de desalinización y un alto nivel de incidencia en el ámbito. Así también en este mapa es posible observar una agrupación de actores ubicados en el cuadrante superior izquierdo, con los cuales se deberá proceder con actividades de promoción, haciendo mayor énfasis en la difusión de material educativo base sobre la temática, en vista que este segundo grupo de actores no se encuentra directamente ligado con el tema.

4.2. Oportunidades de desarrollo agua-energía

El conjunto de antecedentes revisados, sumado a las entrevistas y análisis del equipo del proyecto junto a la contraparte, ha permitido identificar y explorar distintas opciones de integración entre los sectores relacionados con el uso de agua y la energía. En esta sección, a modo de síntesis de los capítulos anteriores y como antecedente para los desarrollos de la sección 5, se presentan distintas opciones de integración. Para cada caso se entrega una descripción general y se comentan aspectos relevantes a considerar en su integración. Es importante notar que este análisis no incluye evaluaciones de indicadores económicos y más bien se sustentan en ideas planteadas por diversos actores y estudios recientes realizados.

4.2.1. Desalinización y agricultura

La disponibilidad de agua a bajo costo permitiría habilitar territorio en la zona costera para su uso en la agricultura y plantaciones. De esta forma se minimizan los costos asociados a la impulsión de agua, los que al sumarse al costo de la desalinización pueden estar por sobre la disposición a pago por parte de los usuarios finales. Si bien esta es una opción compleja dada la casi nula disposición a pagar de la mayoría de los agricultores en Chile, pero ella podría verse modificada a futuro, dado lo que se observa en otros países, donde los costos del agua desalada se han reducido notablemente⁸ y ha sido posible lograr que este sector pague una tarifa aceptada por ellos (corroborado a partir de las entrevistas con algunos de los actores contactados, ver sección 4.1.1). La Figura 26 muestra esta opción.

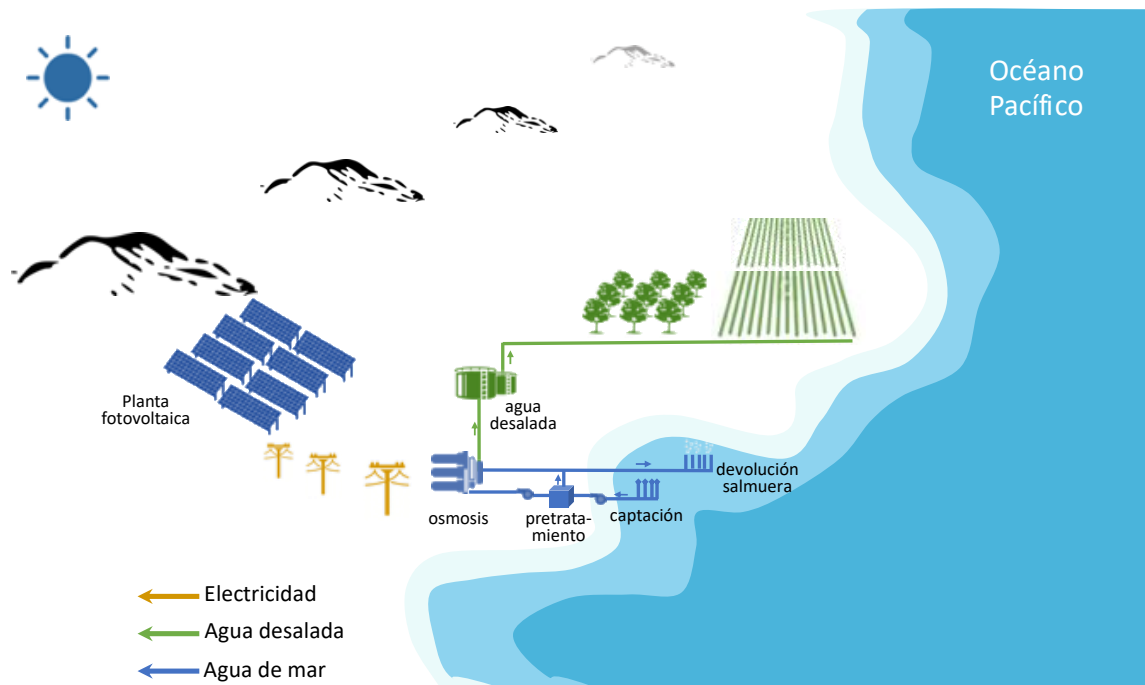


Figura 26: Oportunidades Desalinización y agricultura. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el sistema de desalinización puede ser suministrado a través de la energía producida por una planta fotovoltaica o el sistema interconectado (de esta forma se energizan las bombas, compresores y otros equipamientos requeridos). El agua desalada puede ser acumulada en estanques que permitan abastecer plantaciones a través de riego tecnificado. Es clave poder habilitar zonas agrícolas cercanas a la costa para así evitar los costos adicionales y relevantes relacionados con la impulsión. Con un dimensionamiento adecuado del sistema de almacenamiento, la planta de desalinización puede operar preferentemente en las horas de sol, utilizando el estanque como variable de holgura que permita un adecuado abastecimiento del agua al riego.

⁸ En Israel, de acuerdo a los expertos internacionales entrevistados, se llegó a 30 cUSD/m³ y en Europa a 50-60 cUSD/m³. En Chile se estima un costo entre 50 y 100 cUSD/m³ (de OPEX).

Las distintas alternativas de plantaciones han sido estudiadas recientemente⁹. Se busca analizar la factibilidad de utilizar el sol como fuente de energía del proceso de desalinización, y así posibilitar impactos positivos desde el punto de vista de reducción de emisiones y captura de CO₂. Plantaciones de árboles frutales permitirían una captura permanente de carbono de la atmósfera y a su vez liberar terrenos en el sur del país con el fin de facilitar la recuperación de bosque nativo.

El análisis que se presenta puede extenderse a otras fuentes de generación, como la energía eólica, marina o geotérmica.

4.2.2. Sinergia desalinización, energía solar, hidrógeno.

En el norte de Chile, las empresas mineras en Chile están haciendo uso de agua de mar para sus procesos¹⁰. El agua de mar puede ser usada en dos modalidades principales: en forma procesada, usualmente mediante osmosis inversa para eliminar parte o prácticamente todas las sales; o bien directa como agua de mar cruda sin alterar su salinidad natural, como ya lo hacen algunas compañías mineras.

Asimismo, la actividad minera o industrial es consumidora intensiva de energía eléctrica y combustibles. La Figura 27 muestra el esquema que trata de identificar la sinergia existente entre la actividad de desalinización, energía solar y producción de hidrógeno.

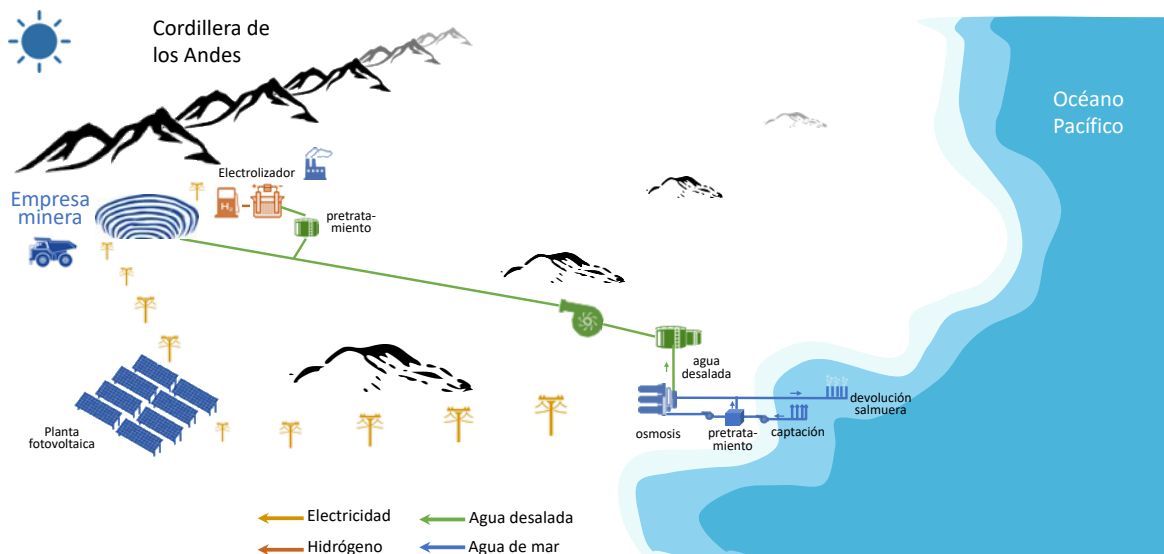


Figura 27: Sinergia, desalinización e hidrógeno. Fuente: Elaboración propia.

9 Malu Faúndez: “Análisis de medida de mitigación de CO₂ con plantaciones en el Norte de Chile a través de desalinización y energía solar”, memoria de título, DIE, Universidad de Chile, 2020.

10 Luis A. Cisternas, Luis Moreno: “El Agua de Mar en la Minería. Fundamentos y Aplicaciones”, 2014 (ISBN: 978-956-01-0081-8).

Se aprecia, que al igual que el caso anterior, la energía solar puede suministrar electricidad a la planta de desalinización. A ello se suma el sistema de impulsión para abastecer de agua desalada a la empresa minera y para los consumos propios de la faena minera. Cabe destacar que la planta solar ubicada en la depresión intermedia accede a un potencial solar de alta calidad, posibilitando bajos costos de generación.

En este contexto, aparece la oportunidad de que el sistema de impulsión de agua desalada pueda entenderse como un poliducto. Por una parte, suministra los requerimientos de agua desalada pero asimismo permite el suministro del agua que será transformada en hidrógeno. En otras palabras, se suministra el combustible y a su vez el agua requerida.

La sinergia identificada se relaciona con economías de escala, pero a su vez en aprovechar la disponibilidad de bajos costos de energía y por ende de la producción de hidrógeno. Asimismo, una variante de este modelo buscaría maximizar el uso del poliducto a través del suministro de otros consumos relevantes en el camino que conecta la planta desalinizadora con la faena minera (ver Figura 28).

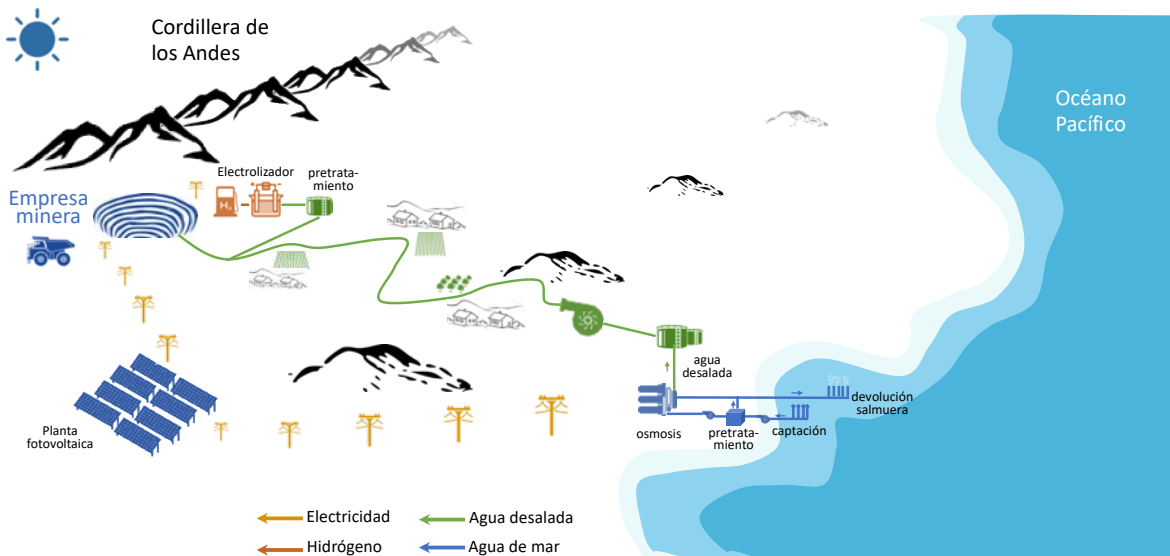


Figura 28: Sinergia, desalinización y consumos intermedios. Fuente: Elaboración propia.

En este caso (Figura 28) se aprecia que el proyecto de desalinización abastece a múltiples usuarios en un esquema que puede aprovechar las economías de escala en la tecnología, tanto de desalinización como del sistema de impulsión. Asimismo, la relación de beneficio con las comunidades locales aumenta la aceptabilidad por parte de la comunidad ya que se torna en un proyecto que beneficia a la sociedad en su conjunto. Lo anterior también abre la posibilidad de que el proyecto sea desarrollado por otros inversionistas distintos a la empresa minera. Este aspecto es deseado por parte de las empresas mineras ya que no corresponde a su giro y este compromiso es entendido como una fuente de riesgo para el negocio principal frente a eventuales cortes de suministro de agua. Esta figura puede verse como un equivalente de las empresas de distribución eléctrica, pero en este caso aplicado al suministro de agua. Lo anterior en el sentido de una empresa única que abastece a múltiples clientes,

distribuyendo el agua que se produce a través de una red hidráulica. Este tema fue comentado asimismo por los especialistas entrevistados.

Por último, esta solución puede ser complementada con sistemas de almacenamiento para un conjunto de usuarios, donde por gravedad sea factible un suministro conjunto a menor costo y con resiliencia frente a fallas en la operación de la planta de desalinización o sistema de impulsión.

4.2.3. Desalinización in situ

En el norte de Chile, las empresas mineras están haciendo uso de agua de mar para sus procesos¹¹. El agua de mar puede ser transportada directamente a través de un sistema de impulsión desde el mar (ver Figura 29).

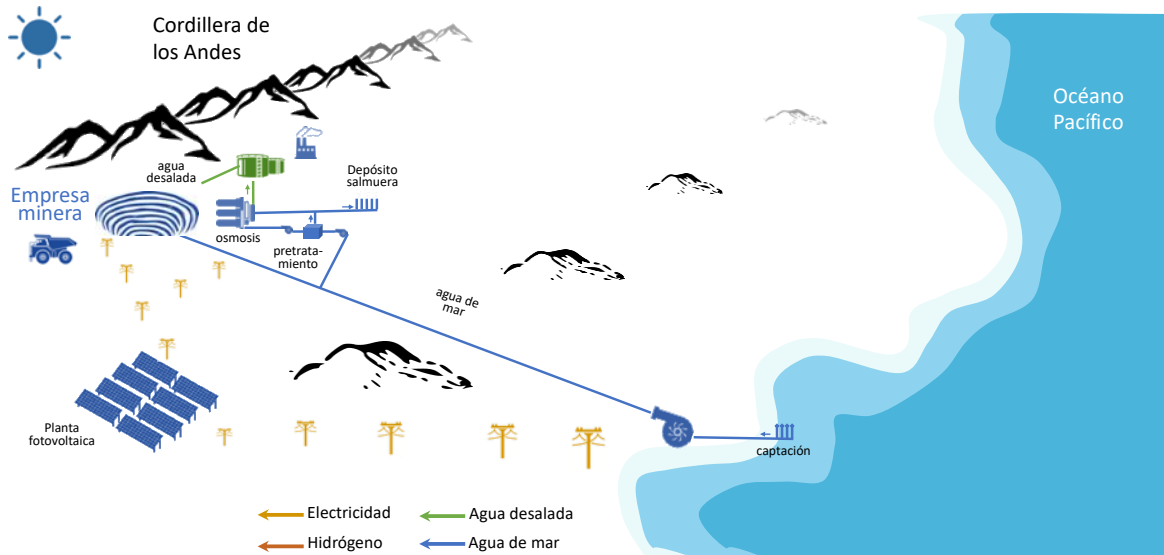


Figura 29: Oportunidad Desalinización in situ. Fuente: Elaboración propia.

El acceso a energía de bajo costo y renovable podría facilitar el desarrollo de proyectos de impulsión hacia la zona minera o industrial. Asimismo, con la misma oferta energética es factible instalar una planta de desalinización cerca de los consumos industriales. En este caso sólo se desala el agua que requiere de este tipo de calidad. Esta solución puede ser complementada con sistema de almacenamiento de agua, que permitan minimizar el riesgo de falla en el sistema de suministro de agua de mar. Cabe mencionar que el tratamiento de la salmuera puede constituirse en un desafío, al no disponer de una posibilidad de retorno al mar. En este caso se abre la opción de recuperación de materiales de valor de esta salmuera resultante, tal como se discutió con especialistas en las entrevistas.

¹¹ Luis A. Cisternas, Luis Moreno: “El Agua de Mar en la Minería. Fundamentos y Aplicaciones”, 2014 (ISBN: 978-956-01-0081-8).

4.2.4. Sinergia tecnología CSP y minería

Por otra parte, debido a las condiciones atmosféricas privilegiadas las plantas CSP en Chile se desarrollarán en la depresión intermedia dentro del desierto de Atacama. Este es el caso del proyecto Cerro Dominador.

En este contexto se plantea la oportunidad de aprovechar la sinergia existente entre los sistemas de impulsión de agua de mar de las empresas mineras y el desarrollo de plantas CSP en el norte de Chile (ver Figura 30).

En el caso del proyecto minero, dependiendo de su mineralización y de los procesos asociados a la misma, el agua podrá ser mayormente desalinizada o usada como agua salada de manera directa. También, dependiendo de la disponibilidad de recursos hídricos que se tenga en el emplazamiento minero, se podría desalinizar una parte del agua de mar bombeada para usarla de manera potable.

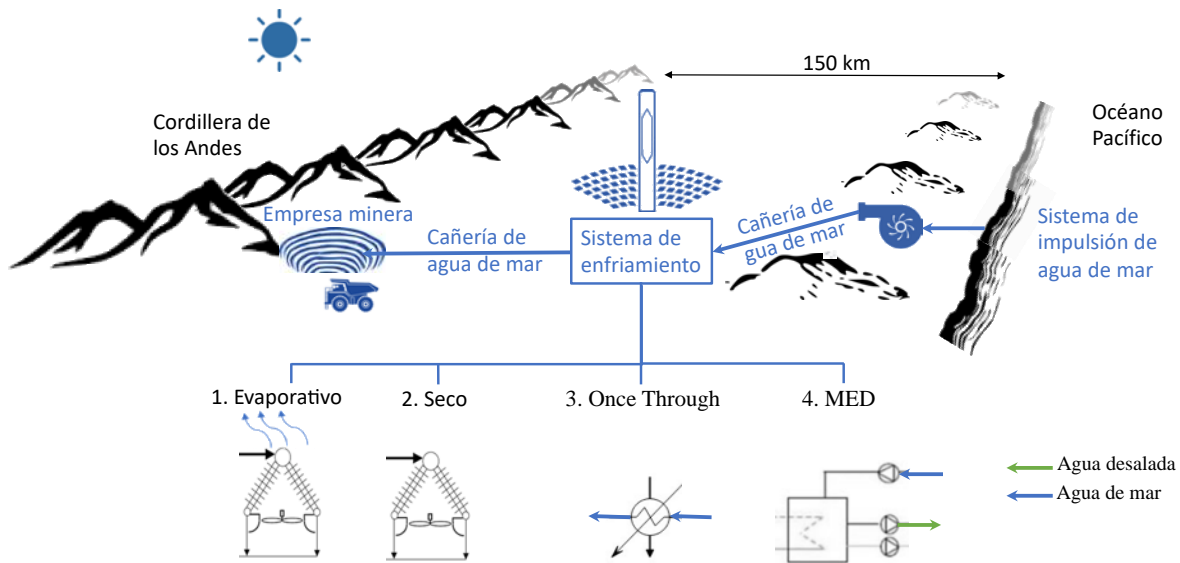


Figura 30: Oportunidad CSP y minería. Fuente: Elaboración propia.

Esta oportunidad ha sido explorada en la memoria de título: “Factibilidad técnico económica del uso combinado de bombeo de agua salada para una instalación minera y el sistema de enfriamiento de una CSP”¹².

Concretamente, a través de un sistema de desalinización multiefecto (MED) que hace uso del agua de mar, es posible crear un sistema de enfriamiento para la planta CSP logrando asimismo producir agua desalada. Esta agua puede ser usada para los requerimientos de agua de la empresa CSP o bien para actividades locales (suministro de agua domiciliaria, agricultura, etc.).

Alternativamente, a través de intercambiadores de calor es factible el uso directo del agua de impulsión en un esquema de enfriamiento tipo “once through”. En este caso, si bien no se

¹² Jorge Gacitúa: “Factibilidad técnico económica del uso combinado de bombeo de agua salada para una instalación minera y el sistema de enfriamiento de una CSP”, memoria de título, DIE, Universidad de Chile, 2020.

produce agua desalada, se reducen los costos de los sistemas de enfriamiento de la central CSP, mejorando su desempeño económico.

4.2.5. Agua, energía solar e hidrógeno

Chile posee características únicas de su recurso agua. La cordillera de los Andes genera una acumulación del recurso a gran altura, donde adquiere energía potencial. De esta forma, el agua escurre a través de valles y napas subterráneas, permitiendo el acceso al agua potable, actividad agrícola, turismo, generación de energía eléctrica, entre otros tipos de uso.

La energía hidráulica de Chile ha marcado, desde sus inicios a principios del siglo pasado, el desarrollo del sector eléctrico nacional. Las tecnologías de generación hidráulica utilizadas en el país aprovechan preferentemente grandes diferencias de altura (entre 100 m y 1000 m) para convertir energía potencial en energía eléctrica.

Las iniciativas sobre hidrógeno han abierto nuevas posibilidades para el nexo entre agua y energía en Chile. La Figura 31 muestra un esquema general de una posible aplicación.

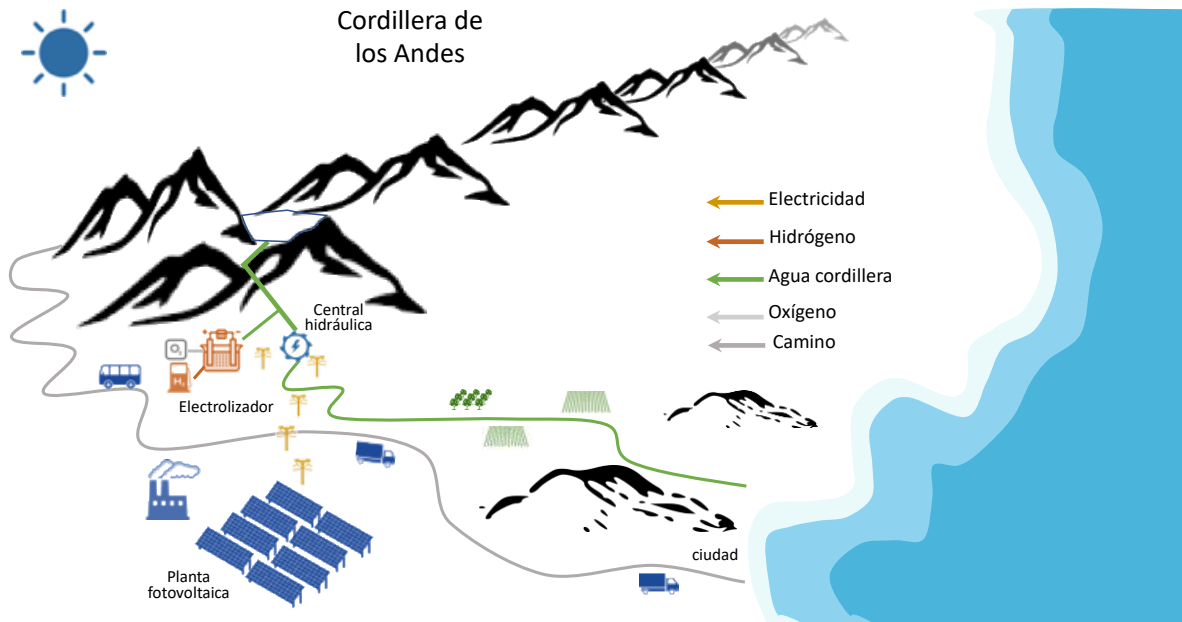


Figura 31: Oportunidad Agua, sol e hidrógeno. Fuente: Elaboración propia.

La tubería que suministra la turbina hidráulica puede estar sometida a presiones entre 10 y 100 atmósferas. Existen distintas localidades donde el agua turbinada reúne condiciones adecuadas para la electrólisis, proceso que asimismo es más eficiente a mayor presión del agua. De esta forma, una parte de esa agua puede utilizarse para producir hidrógeno (10 l de agua por cada kg de H₂, lo que a su vez equivale en términos energéticos a cerca de 2,5 l de gasolina). Este hidrógeno puede usar la energía renovable proveniente de la central hidráulica a la que puede sumarse la energía fotovoltaica de plantas ubicadas en la cercanía. La producción de hidrógeno y oxígeno resultante puede proveer de energía a consumos donde

no sea factible un suministro directo de electricidad: camiones, trenes, buses, vehículos particulares, calderas, fertilizantes (con uso de amoniaco), etc.

4.2.6. Centrales de bombeo

El estudio ya desarrollado para GIZ tuvo como objetivo desarrollar una metodología aplicada en SIG para identificar el potencial de centrales de bombeo con agua de mar en Chile¹³. Se concluye que esta es otra gran opción de sinergia entre el agua y la energía para nuestro país. El sistema de bombeo actúa como un almacenamiento que permite compensar la variabilidad del recurso solar o eólico. De esta forma la demanda y la oferta de energía permiten ser adaptadas (Figura 32).

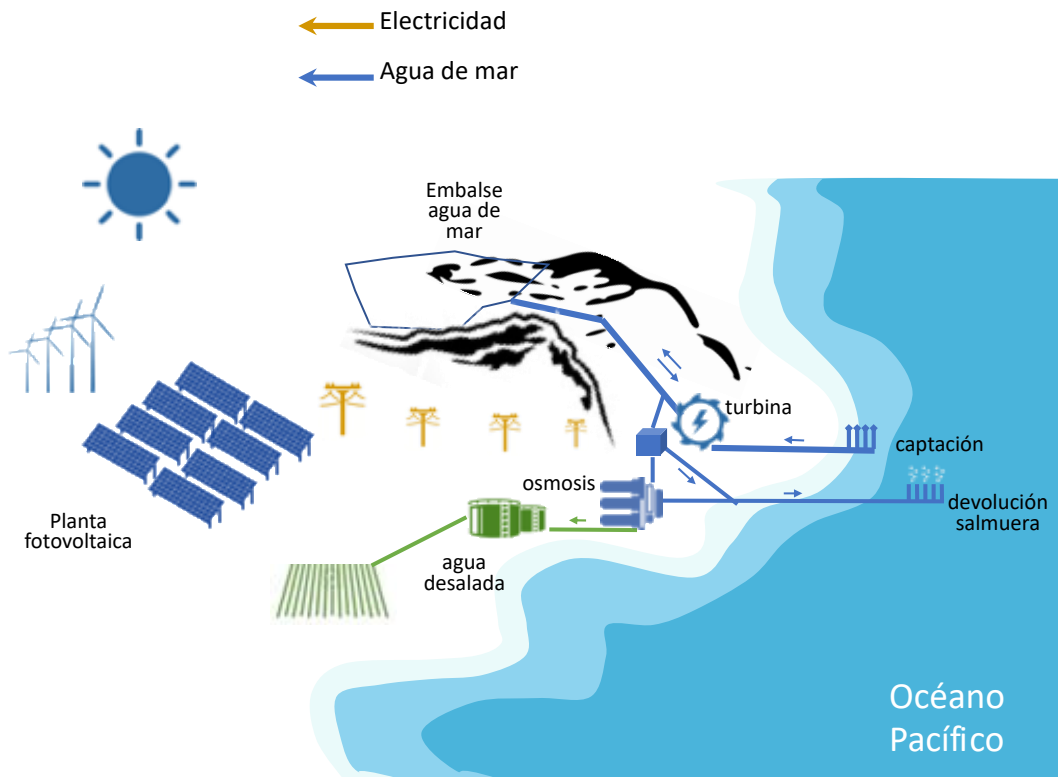


Figura 32: Oportunidad Centrales de bombeo. Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Conversión centrales convencionales

En el contexto del plan de descarbonización y retiro de centrales termoeléctricas a carbón en Chile, futuras plantas de desalinización pueden hacer uso de las instalaciones de las actuales plantas de generación térmica a base de carbón. La figura muestra las similitudes entre ambas instalaciones. Se aprecia que las concesiones marítimas y obras asociadas (puerto, captación, etc.) podrían ser de gran valor para un proyecto de desalinización. En este sentido, los

13 Centro de Energía, Universidad de Chile: “Desarrollo de metodología aplicada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar potencial de centrales de bombeo en Chile”, GIZ, 2020.

entrevistados corroboraron la importancia de disponer de los permisos asociados a una planta de desalinización y que tienen una directa relación con los de un proyecto de generación eléctrica de una central térmica. Lo anterior, por tanto, dice relación tanto con el ahorro en infraestructura como en la tramitación de permisos.

Otro elemento relevante es la subestación eléctrica, que, en este caso, en vez de inyectar energía, recibiría del sistema, permitiendo abastecer el nuevo consumo de la desalinizadora con energía renovable. También es importante tener en cuenta que varias centrales termoeléctricas a carbón disponen de una planta desalinizadora (ver catastro de plantas de desalinización desarrollado en este estudio (Anexo 8.9)), la que podría ser escalada y usada con otros fines, una vez se pongan fuera de operación dichas centrales. El agua desalada puede abastecer distintos consumos como los mostrados en las secciones anteriores. En la Figura 33 se muestra el caso del uso para fines agrícolas en la cercanía de la central.

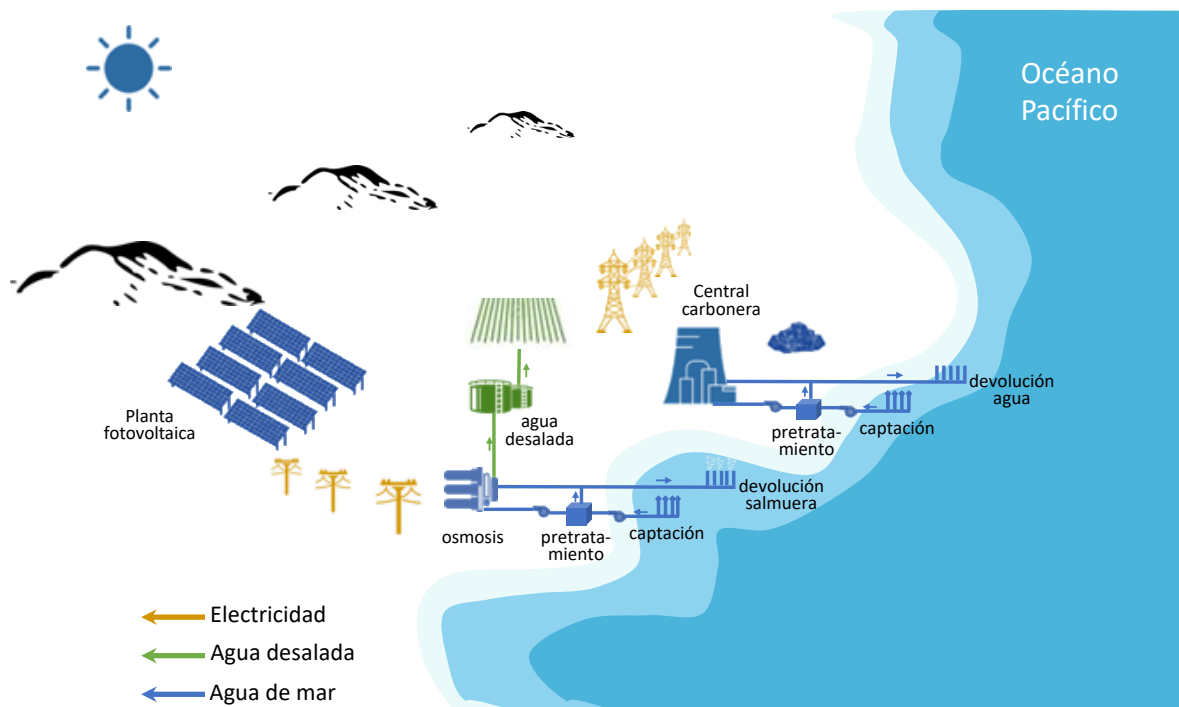


Figura 33: Oportunidad Reconversión de centrales convencionales. Fuente: Elaboración propia.

Una extensión de esta idea puede ser la transformación de una planta a carbón en una planta multi-producto. La Figura 34 resume este escenario.

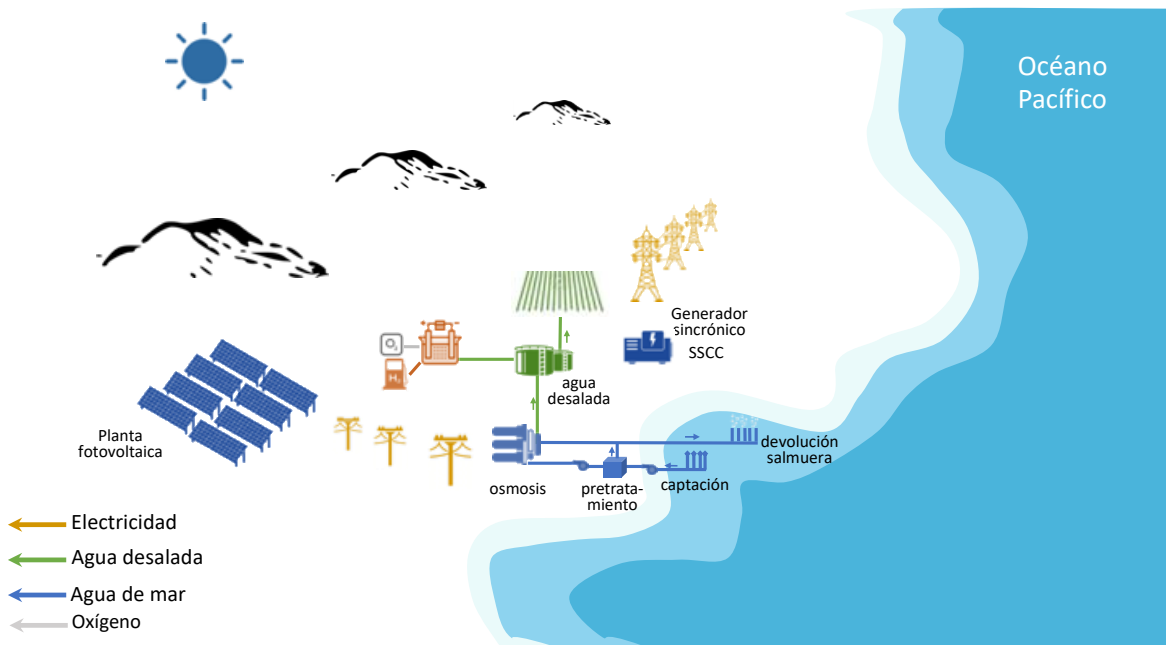


Figura 34: Conversión de central a carbón a sistema multi-producto. Fuente: Elaboración propia.

Además de la producción de agua desalada, aprovechando la energía solar cerca y sistema de transmisión existente (subestación), se propone mantener parte de la central generadora para ofrecer servicios complementarios (SSCC de respuesta inercial y regulación de tensión) e incorporar una planta de producción de hidrógeno para aplicaciones locales donde el uso directo de la energía eléctrica no sea factible.

5. Identificación de zonas a partir de SIG

El enfoque metodológico para esta etapa es descrito en la sección 2.2. y considera las siguientes sub-etapas:

- i. Preparación de bases de datos y definición de indicadores y criterios,
- ii. Selección inicial de zonas con un foco en la demanda,
- iii. Selección de 5 zonas específicas,
- iv. Estudio de zona específica.

A continuación, para cada sub-etapa se presenta el detalle del proceso propuesto y de los resultados alcanzados.

5.1. Preparación de bases de datos y definición de indicadores y criterios

Los elementos de preparación de la base de datos y antecedentes ya fueron presentados en la Sección 3 de este documento (3.1 a 3.8). Asimismo, los anexos relacionados son:

- Información de proyectos mineros
- Información demográfica
- Estudios relacionados a criterios para selección de plantas desalinizadoras a nivel mundial
- Listado de datos/variables relacionadas con restricciones del territorio

Los anexos en formato electrónico son:

- Catastro de Plantas de Desalación en Chile
- Shapefiles de Agricultura
- Shapefiles de Ciudades, consumo de agua y población
- Información de energía
- Cuadros resumen de estudio demanda DGA 2017
- Geodatos de información/mapas generados
- Shapefiles de industrias fuera área urbana
- Información de Proyectos mineros
- Información y Shapefiles de Sanitarias

5.1.1. Metodología seleccionada basada en criterios y umbrales

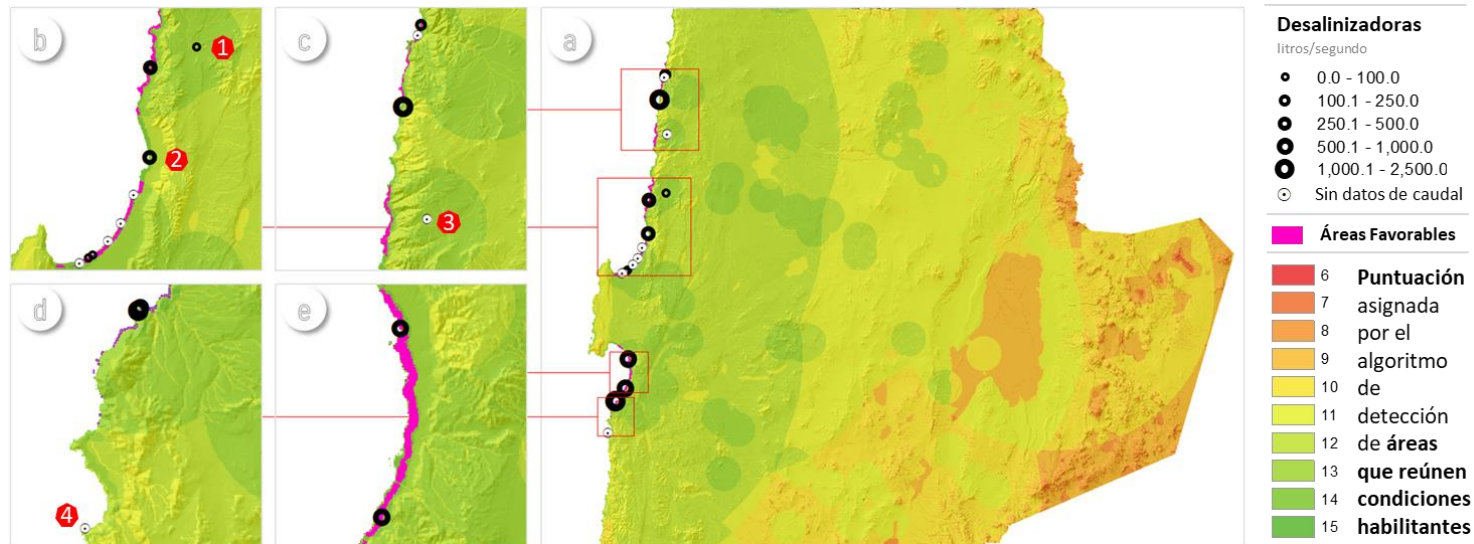
Respecto de la definición de indicadores y criterios, a continuación, se presenta el desarrollo de un algoritmo para el procesamiento de datos geográficos destinado específicamente a la búsqueda de zonas que reúnen condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos integrales agua – energía (basado en la ubicación de zonas propicias para la desalinización).

Como primera aproximación se usan los criterios definidos en estudios internacionales (15 trabajos detallados en el anexo “8.3 Estudios relacionados a criterios para selección de plantas desalinizadoras a nivel mundial”), ello cruzado con la disponibilidad de información de las capas y dataset presentados en las secciones anteriores. De esta forma, se han definido

21 criterios en 5 categorías: oferta, demanda, características del terreno, áreas ambientales sensibles e infraestructura.

En la misma línea, para cada uno de los criterios se han definido umbrales de acuerdo con un análisis territorial para proyectos actuales (22) y futuros de desalinización y minería (24). Ello implica la consideración de distancias entre las plantas desalinizadoras, empresas sanitarias, fuentes de consumo de agua (población, proyectos mineros, agricultura, industrias), infraestructura relacionada (líneas de transmisión, puertos, carreteras, etc.) y otras restricciones del territorio. Esto se complementa con un análisis de criterios para la implementación de una Planta Desalinizadora de agua de mar desarrollado por el equipo consultor (ver Anexo “8.4 Criterios para la implementación de una Planta Desalinizadora de agua de mar”).

La Figura 35 ofrece una demostración de las capacidades del algoritmo para identificar zonas que reúnen condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos de desalinización. El ejercicio descrito permite comprobar su habilidad mediante la validación de resultados.



- a Resultado del algoritmo de detección de áreas que reúnen condiciones habilitantes. A mayor puntuación más favorable el área. Áreas con máximo puntaje marcadas en color púrpura. La comparación de resultados con emplazamiento de desalinizadoras existentes permite validar la habilidad del algoritmo para detectar áreas favorables.
- b Zona rada de mejillones al norte (11 desalinizadoras). Emplazamientos de desalinizadoras (1) y (2) no cumplen todos los criterios. (1) sobrepasa umbral distanciamiento a línea de costa y (2) se emplaza demasiado cerca de infraestructura de transmisión.
- c Zona hacia el norte de la bahía de mejillones (4 desalinizadoras). El emplazamiento de la desalinizadora (3) no es detectado por el algoritmo debido a que sobrepasa el umbral de distanciamiento a línea de costa.
- d Zona al sur de la ciudad de Antofagasta (3 desalinizadoras). El emplazamiento de la desalinizadora (4) no cumple todos los criterios. A más de 10km de subestación eléctrica.
- e Área cercana a la ciudad de Antofagasta hacia el sur (3 desalinizadoras). Todas las desalinizadoras son detectadas por el algoritmo.

Capas	Criterio habilitante para deslinizadoras
Ciudades Pueblos Aldeas	ubicado a menos de 100km
Faenas mineras	a menos de 100km
Desalinizadoras	a menos de 100km
Subestaciones eléctricas	a menos de 10km
Línea de Costa	a más de 100m y un máximo de 1km
Pendiente del terreno	menor a 15°
Elevación del terreno	a menos de 50m.s.n.m.
Áreas potegida (15 categorías)	a menos de 1km
Hidrografía (ríos, cauces, quebradas)	a más de 100m
Hidrografía (cuerpos de agua líquida)	a más de 100m
Hidrografía (glaciares)	a más de 100m
Zonas de Riesgo de Tsunami	a más de 100m
salares	a más de 500m
Relaves mineros	a más de 100m

Figura 35: Esquema de demostración de capacidades del algoritmo para identificar zonas que reúnen condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos agua - energía. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Metodología alternativa basada en ponderadores

De manera opcional, se ha desarrollado un método de jerarquización basado en la asignación de ponderadores (pesos) a distintas variables (17 criterios definidos). Dado que este método involucra una gran cantidad de tiempo para su implementación, sin lograr, a juicio del consultor, un resultado más objetivo que con el método de criterios y umbrales, se podría usar para una zona específica (acotada) si es que entrega valor al análisis¹⁴.

Este tipo de metodología de análisis multicriterio permite asignar a cada atributo un valor de 0 a 5, los cuales se ponderan creando un ranking de zonas, también con coeficientes de 0 a 5. En la Figura 36 se muestra la aplicación de este método a los 17 criterios considerados.

		compara fila vs columna... ¿cuál es más importante? Cdo fila > importante q columna → valor > 1 Cdo fila < importante que columna → valor < 1																	Objetivo: Identificación de PAD							
		CONSUMO				TERRENO				AMBIENTAL				INFRAESTRUCTURA					RECLAS							
		SAAD	URB	MIN	IND	AGRO	COSTA	PEND	ELEV	AP	HI	BI	TUR	SEE	IT	SANIT	VIAL	PUERTO	-	1	2	3	4	5		
CONSUMO	SAAD	A1	1	3	3	9	9	3	9	5	1	1	3	1	3	5	5	5	5	SAAD	>200	150-200	100-150	50-100	0-50	km
	URB	A2.1	1/3	1	1	3	9	3	9	5	1	1	3	1	3	5	5	5	5	URB	>200	150-200	100-150	50-100	0-50	km
	MIN	A2.2	1/3	1	1	5	9	3	9	5	1	1	3	1	3	5	5	5	5	MIN	>200	150-200	100-150	50-100	0-50	km
	IND	A2.3	1/3	1/3	1/3	1	5	5	9	5	1	1	3	1	3	5	5	5	5	IND	>200	150-200	100-150	50-100	0-50	km
TERRENO	AGRO	A2.4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	9	3	1	1	3	5	5	5	5	AGRO	>200	150-200	100-150	50-100	0-50	km
	COSTA	B1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	9	3	1	1	3	5	5	5	5	COSTA	>2	1-4.2	0.7-1.4	0.1-0.7	0-0.1	km
	PEND	B2	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	9	3	1	1	3	5	5	5	5	PEND	>20	15-20	10-15	5-10	0-5	grados
	ELEV	B3	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	9	3	1	1	3	5	5	5	5	ELEV	>180	120-180	80-120	40-80	0-40	m
AMBIENTAL	AP	C1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	3	3	3	AP	<0.1	1-2	2-3	3-4	>4	km	
	HI	C2	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	3	3	3	HI	>0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	>0.4	km	
	BI	C3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1	3	3	3	BI	>0.1	0.1	0.2	0.3	>0.3	km	
	TUR	C4	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	3	3	3	TUR	<0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	>0.8	km	
INFRAESTRUCTURA	SEE	D1.1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	SEE	>16	12-16	8-12	4-8	0-4	km	
	IT	D1.2	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	9	3	3	3	3	3	3	3	IT	>16	12-16	8-12	4-8	0-4	km	
	SANIT	D2	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	9	3	3	3	3	3	3	3	SANIT	>16	12-16	8-12	4-8	0-4	km	
	VIAL	D3.1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	9	3	3	3	3	3	3	3	VIAL	>18	12.5-18	9-12.5	4.5-9	0-4.5	km	
PUERTO	D3.2	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	9	3	3	3	3	3	3	3	PUERTO	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	>0.4	km		
SUMA	7	10.55556	10.42222	23.17778	37.978	46.644	145	34.24	13.44444	19.222	41.444	27.444	24.96	40.48	40.478	40.478	76.31111									

Figura 36: Metodología de aplicación de pesos (ponderadores). Fuente: Elaboración propia.

Sin perjuicio de lo anterior, se mantiene el ejercicio de integración de oferta y demanda basado en criterios y umbrales para la etapa final de diseño de la solución específica y en forma consistente con la aplicación de los dos métodos anteriores (jerarquización o criterios restrictivos). Esta aproximación puede servir de base para futuros desarrollos.

¹⁴ Este mecanismo se deja como una herramienta opcional para la jerarquización de zonas con aptitud para proyectos agua – energía, en los que se desee incorporar ponderadores para dar preferencia a algunos criterios por sobre otros. Éste no ha sido utilizado en los ejercicios desarrollados en las siguientes secciones, ya que con la metodología de criterios y umbrales se logra identificar las zonas buscadas, con una jerarquización basado en los mismos criterios.

5.2. Selección inicial de zonas con un foco en la demanda

Esta etapa hace uso de los indicadores y bases de datos descritas en la sección anterior con el fin de identificar geográficamente zonas con foco en la demanda por el recurso hídrico. Cabe mencionar que los resultados de esta sección ya fueron presentados en la Sección 3.9 donde se resumieron en la forma de mapas para las distintas dimensiones de la demanda. Asimismo, el detalle de estos resultados se encuentra en el archivo electrónico denominado: “Geodatos de información/mapas generados”.

5.3. Selección de 5 zonas específicas

En esta sección se describe el proceso que permite identificar las zonas de interés, combinando aspectos de demanda, oferta y otros atributos habilitantes para el desarrollo del concepto agua y energía.

5.3.1. Screening inicial de Potenciales Áreas de Desalinización

En la Tabla 20 se presenta un conjunto de criterios y umbrales que permite llevar a cabo el *screening* inicial de Potenciales Áreas de Desalinización (PAD).

Tabla 20: Propuesta de criterios y umbrales. Fuente: Elaboración propia

Categoría	Criterio	Variable	Umbral			Argumento
Fuente Agua Salobre	Distancia a Costa	LineaCosta	<	10	km	Promedio de proyectos actuales
Terreno	Elevación	dem	<	300	msnm	Promedio de proyectos actuales
	Pendiente	demPendienteGrados	<	16	grados	Valor máximo de proyectos actuales
Demanda	Centros poblados	centroPobladosCiudadPuebloAldea_distanciaEuclydeana	>0	< 200	km	No pisar el poblado y Máxima distancia de ducto minero / Ancho promedio de Chile
	Área Urbana Consolidada	areaUrbanaConsolidada	no	no	km	Se incluye en capa que reúne Ciudades Pueblos y Aldeas
	Industria	Industria		< 200	km	Máxima distancia de ducto minero / Ancho promedio de Chile
	Minería	Minería		< 200	km	Máxima distancia de ducto minero / Ancho promedio de Chile
	Agricultura	Agricultura		< 200	km	Máxima distancia de ducto minero / Ancho promedio de Chile
Áreas ambientales sensibles	Distancia a Áreas Protegidas	areaProtegidaMin	>	0,1	km	No pisar el área protegida
		areaProtegidaBienNacionalProtegido				
		areaProtegidaIniciativaConservacionPrivada				

Categoría	Criterio	Variable	Umbral			Argumento
		areaProtegidaMonumentoNatural				
		areaProtegidaParqueNacional				
		areaProtegidaReservaNacional				
		areaProtegidaSantuarioNaturaleza				
		areaProtegidaSitioRamsar				
		areaProtegidaSitiosERB				
		areaProtegidaSitiosPrioritarios19300				
	Distancia a Hidrografía	hidrografia_caucesCposAguaLiqSolSalar_min	>	0,1	km	Valor mínimo de proyectos actuales
		cauces			km	
		cuerpoAguaLiq			km	
		glaciares			km	
		salares			km	
	Distancia a Zonas de Riesgo	Riesgo Tsunami/Relaves	>	0,1	km	Valor mínimo de proyectos actuales. Fuera de área de riesgo.
		mineriaRelaves			km	
		riesgoTsunami			km	
	Distancia a Atractivos Turísticos	turismoMinimum	>	0,1	km	No pisar el área turística
		turismoAtractivosTuristicosAcontecimientoProgramado				
		turismoAtractivosTuristicosCentroLugarEsparcimiento				
		turismoAtractivosTuristicosFolklore				
		turismoAtractivosTuristicosMuseoManifestacionCultural				
turismoAtractivosTuristicosRealizacionTecnicaCientificaArtistica						
turismoAtractivosTuristicosSitioNatural						
turismoDestinosTuristicosConsolidados						
turismoDestinosTuristicosEmergentes						
turismoDestinosTuristicosPotenciales						

Categoría	Criterio	Variable	Umbral			Argumento
Infraestructura	Distancia a Infraestructura Eléctrica	subestaciones	<	35	km	Valor máximo de proyectos actuales
		transmision	<	25	km	Valor máximo de proyectos actuales
	Distancia a Infraestructura Sanitaria	infraestructuraSanitaria_territorioOperacionalSIS S2020	<	90	km	Valor máximo de proyectos actuales
		Distancia a Infraestructura Transporte	infraestructuraTransporteAeropuertosMop	>	0,1	km
	infraestructuraTransporteFerrovias		>	0,1	km	Valor mínimo de proyectos actuales
	infraestructuraTransportePuertoMOP		>	0,1	km	Valor mínimo de proyectos actuales
	infraestructuraTransporteRedVialMOP2019		<	20	km	Valor máximo de proyectos actuales

Como resultado de la aplicación de estos criterios y umbrales, en la visualización de las PADs, se puede apreciar en todo el país una zonificación generada para el proyecto. La Figura 37 representa una zona de la región de Atacama, en la que se aprecian el “achurado” de las distintas franjas identificadas de acuerdo con estos criterios¹⁵.

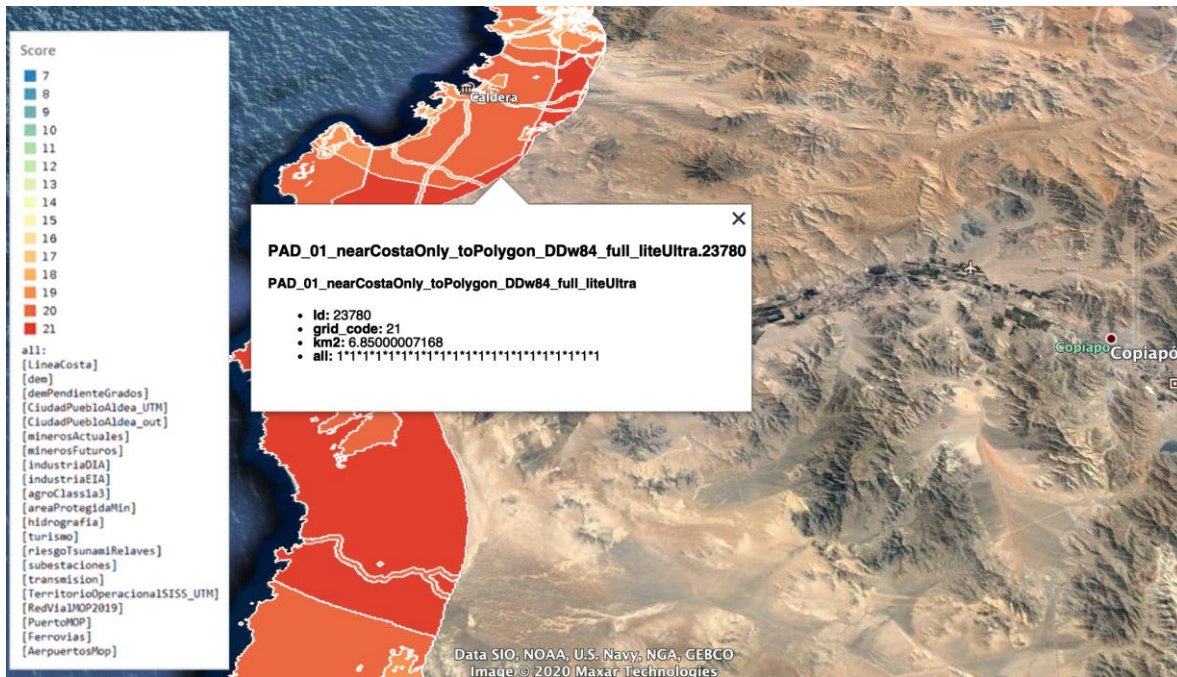


Figura 37: Ejercicio de visualización de Potenciales Áreas de Desalinización (región de Atacama).

Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ Este ejercicio se puede replicar a partir del archivo PAD.kmz entregado a la contraparte técnica, que se puede visualizar en Google Earth y otros softwares de este tipo.

Como se aprecia al lado izquierdo del mapa, la clasificación de los criterios se presenta en colores desde el azul al rojo, donde los más cercanos al rojo cumplen con la mayor cantidad de criterios definidos. La leyenda incluye estos 21 criterios. Adicionalmente, se incluye una lista (all:) de todos los criterios considerados, de manera de identificar cuáles son los que se encuentran activos en las zonas definidas.

Por último, al seleccionar cualquiera de las PADs definidas, se visualiza la ventana resumen que se presenta en la Figura 38. En ella se incluye una denominación para el elemento, un ID, un código de grilla que muestra el número de criterios activos, el área del polígono (en km²) y la identificación de los criterios activos (como 1 ó 0), de acuerdo con el orden que se presenta en la figura anterior.

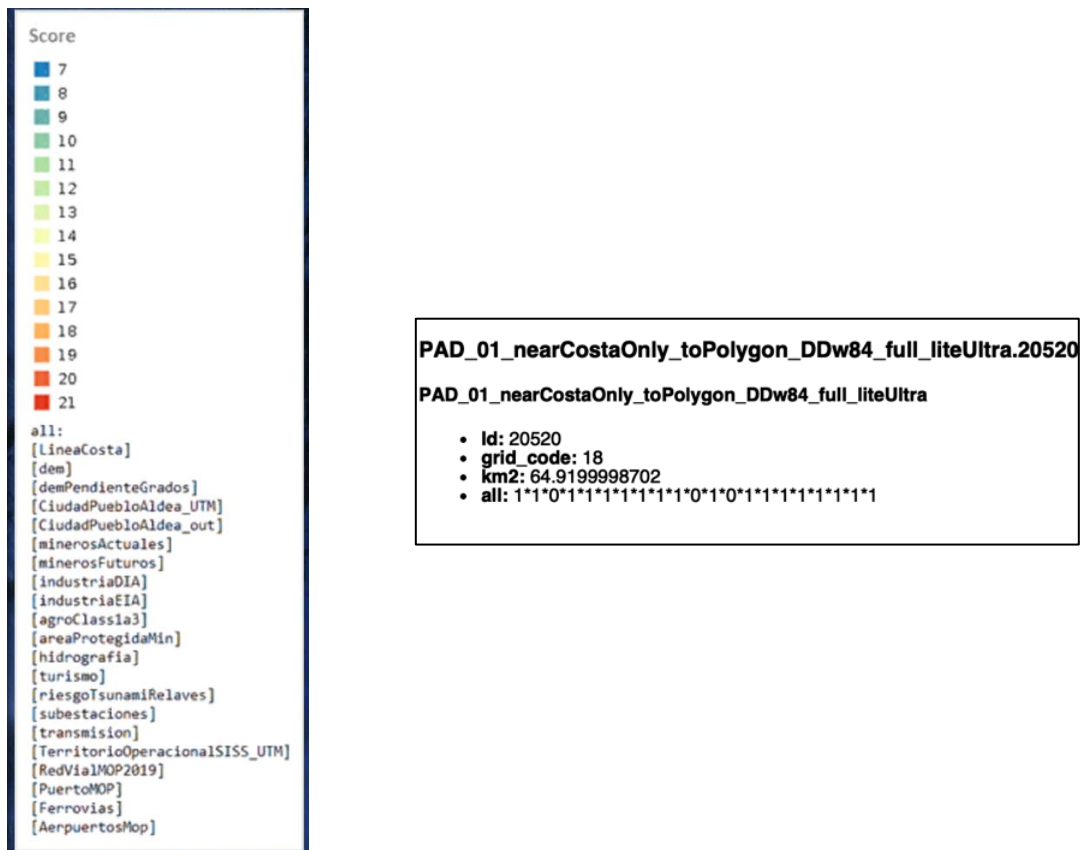


Figura 38: Visualización de puntajes de criterios y atributos de las zonas generadas. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Combinación de criterios para la selección de las cinco zonas de estudio

La siguiente etapa de la metodología corresponde al ejercicio de combinación de criterios con foco en la priorización de cierto tipo de características que permitan describir algunas zonas de acuerdo con la situación específica que es de interés estudiar.

Tabla 21: Combinación de criterios para la selección de zonas de estudio de proyectos Agua-Energía.
Fuente: Elaboración propia.

Variables/criterios considerados	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
0. Cercanía a Potenciales áreas de desalinización	X	X	X	X	X
Representación de Demanda de Agua					
1. Zonas que más acumulan Decretos Escasez	X		X		X
2. Zonas con aumento de sequía meteorológica a causa de cambio global	X		X		
Representación de Escasez Hídrica					
3. Aumento de demanda de agua proyectada 2040	X	X	X	X	
4. Cercanía a centros poblados	X	X	X	X	
5. Cercanía a actividad minera (actual y futura)	X	X	X	X	X
6. Cercanía a actividad industrial (fuera el límite urbano)	X	X	X	X	X
7. Cercanía a Suelos de alta productividad Agrícola	X			X	X
8. Cercanía a Suelos de baja productividad Agrícola	X			X	X
Representación de Infraestructura					
9. Cercanía a desalinizadoras actuales	X				
10. Cercanía a infraestructura de suministro de agua	X				
11. Cercanía a líneas de transmisión eléctrica	X				
12. Cercanía a subestaciones eléctricas	X				
13. Cercanía a infraestructura de generación eléctrica	X				
14. Cercanía a centrales térmicas en plan de retiro	X	X			X
15. Cercanía a zonas propicias para concesiones en la costa	X				
Representación de Áreas protegidas					
16. Cercanía a sitios turísticos	X				
17. Distancia a una zona protegida	X				

El resultado de estas combinaciones genera las siguientes zonas para estudio.

Zonas tipo 1:

- Todos los criterios definidos

Zonas tipo 2:

- Alta demanda de agua proyectada
- Centros poblados
- Actividad minera e industrial
- Centrales térmicas cercanas a PAD

Zonas tipo 3:

- Alta demanda de agua proyectada
- Centros poblados
- Actividad minera e industrial
- Evidencia de escasez hídrica

Zonas tipo 4:

- Alta demanda de agua proyectada
- Actividad minera e industrial
- Alta demanda de agua sanitaria desde centros poblados
- Presencia de suelos agrícola de mala calidad

Zonas tipo 5

- Aumento de sequía meteorológica
- Actividad minera e industrial
- Presencia de suelos agrícola de mala calidad

Esta combinación ha sido realizada en conjunto con la contraparte técnica, de manera de definir 5 zonas de estudio de su interés. Los resultados de este ejercicio se presentan en la Sección 5.3.3.

5.3.3. Caracterización de zonas con mejor oportunidad para el desarrollo de proyectos agua – energía

Mediante el procesamiento de información geográfica (técnicas de superposición de capas) y la aplicación de distintos grupos de criterios y umbrales técnicos, sobre la base de los descritos en la Tabla 20 y la metodología general propuesta, se han generado 5 casos de zonas con mejor oportunidad para el desarrollo de proyectos agua – energía (sobre la base de la instalación de plantas de desalinización). Ellas se observan en las Figuras 39 a 46.

En la Tabla 22 se presenta el listado con el subconjunto de criterios que han sido considerados para la definición de zona de interés según los criterios propuestos y un umbral asociado a cada uno de ellos. Estos valores son más exigentes que aquellos definidos para la selección de PADs.

Tabla 22: Criterios y umbrales para la identificación de zonas con características habilitantes para el desarrollo de proyectos Agua-Energía. Fuente: Elaboración propia.

Representación de Potencial Oferta de Agua	
0. Cercanía a Potenciales áreas de desalinización*	50 Km. de distancia
Representación de Demanda de Agua	
1. Zonas que más acumulan Decretos Escasez	Comunas con más de 5 decretos
2. Zonas con aumento de sequía meteorológica a causa de cambio global	Aumento del 5% de la sequía
Representación de Escasez Hídrica	
3. Aumento de demanda de agua proyectada 2040	>5.000 Mm3/año
4. Cercanía a centros poblados	50 Km. de distancia
5. Cercanía a actividad minera (actual y futura)	50 Km. de distancia
6. Cercanía a actividad industrial (fuera el límite urbano)	50 Km. de distancia
7. Cercanía a Suelos de alta productividad Agrícola	50 Km. de distancia
8. Cercanía a Suelos de baja productividad Agrícola	50 Km. de distancia
Representación de Infraestructura	
9. Cercanía a desalinizadoras actuales	50 Km. de distancia
10. Cercanía a infraestructura de suministro de agua	50 Km. de distancia
11. Cercanía a líneas de transmisión eléctrica	50 Km. de distancia

12. Cercanía a subestaciones eléctricas	50 Km. de distancia
13. Cercanía a infraestructura de generación eléctrica	50 Km. de distancia
14. Cercanía a centrales térmicas en plan de retiro	50 Km. de distancia
15. Cercanía a zonas propicias para concesiones en la costa	50 Km. de distancia
Representación de Áreas protegidas	
16. Cercanía a sitios turísticos	50 Km. de distancia
17. Distancia a una zona protegida	50 Km. de distancia

* Sólo se consideran PAD con puntaje 20 ó 21.

El umbral de 50 km que muestra la Tabla 22 fue definido mediante un análisis de sensibilidad aplicado sobre el conjunto de datos geográfico. Dicho análisis buscaba determinar una distancia que por un lado no fuera demasiado elevada a Potenciales Áreas de Desalinización (PADs), y que por otro permitiera integrar diversos tipos de demanda en el resultado. Como parte del proceso de análisis fueron consideradas las distancias relativas de desalinizadoras actuales y futuras a cada una de las variables mencionadas en la tabla (datos disponibles en el archivo ‘statDesaladorasActualesFuturas.xlsx’ que forma parte del anexo digital). El resultado de múltiples pruebas e iteraciones permitió establecer que el umbral de distancia de 50km cumple con el lineamiento de integrar múltiples tipos de demanda a una distancia relativamente acotada de PADs.

Para ejemplificar como se presenta la jerarquización de las zonas y la habilitación de los criterios que se cumplen en cada una de ellas, a continuación (Figura 39) se muestra un ejemplo del resultado generado por el procedimiento, para un sector cercano a Santiago. Como se observa en la figura, al seleccionar con el cursor la zona escogida aparece un cuadro que indica la ID del proyecto y los criterios que se encuentran habilitados en dicha zona. Ello permite observar que criterios están habilitados en las zonas del territorio que sean de interés.

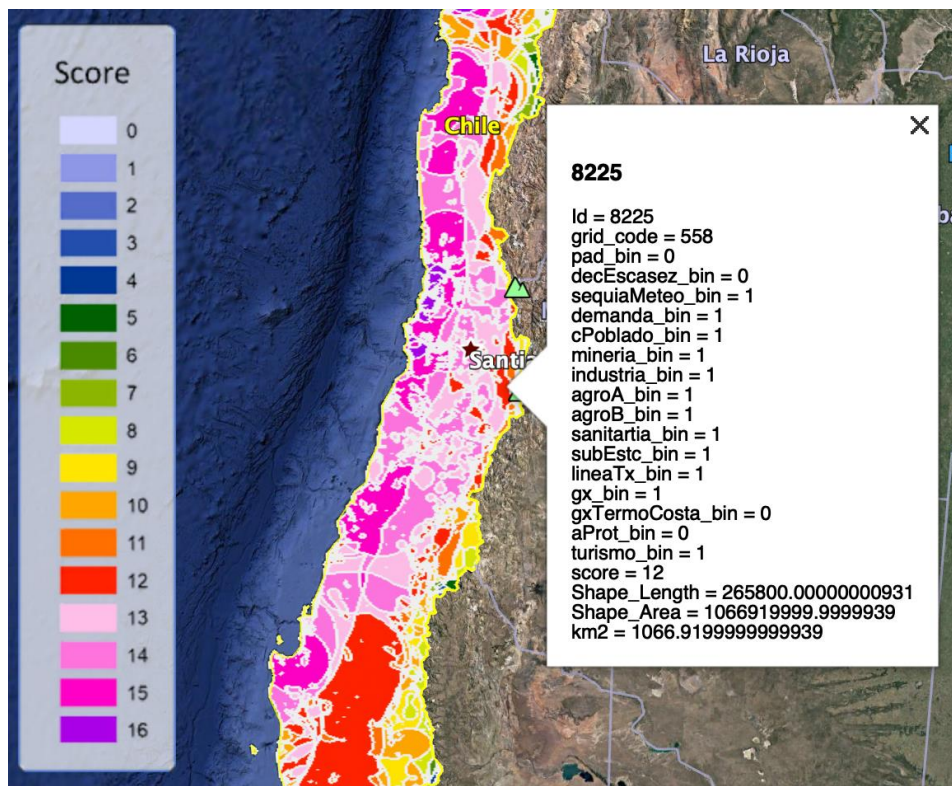


Figura 39: Ejemplo de zona con lista de criterios habilitados o deshabilitados (1 ó 0). Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la descripción de cinco zonas que se han definido a partir de la jerarquización de los criterios escogidos, para las que se construye un relato (y una denominación) sobre la base del foco que dichos criterios proponen.

A) Zonas con Múltiples Criterios (se habilitan todos los criterios)

En esta sección se describe el proceso y los resultados para la zona que se define sobre la base de la aplicación de *Múltiples Criterios*. Esta zona ha sido definida a partir de la aplicación de 16 criterios de los definidos en la Tabla 22. Adicionalmente, no se consideran las desalinizadoras existentes ni el de bahías propicias, ya que no se fomenta el que se instalen nuevas plantas cercanas a las actuales y no se cuenta con la información de las bahías a pesar de haber sido solicitadas al SHOA.

De esta forma, para la definición de estas zonas se habilitan los siguientes elementos a ser evaluados:

- Cercanía a Potenciales áreas de desalinización
- Zonas que más acumulan Decretos Escasez
- Zonas con aumento de sequía meteorológica a causa de cambio global
- Aumento de demanda de agua proyectada 2040
- Cercanía a centros poblados
- Cercanía a actividad minera (actual y futura)
- Cercanía a actividad industrial (fuera el límite urbano)
- Cercanía a Suelos de alta productividad Agrícola
- Cercanía a Suelos de baja productividad Agrícola
- Cercanía a infraestructura de suministro de agua
- Cercanía a líneas de transmisión eléctrica
- Cercanía a subestaciones eléctricas
- Cercanía a infraestructura de generación eléctrica
- Cercanía a centrales térmicas en plan de retiro
- Cercanía a sitios turísticos
- Distancia a una zona protegida

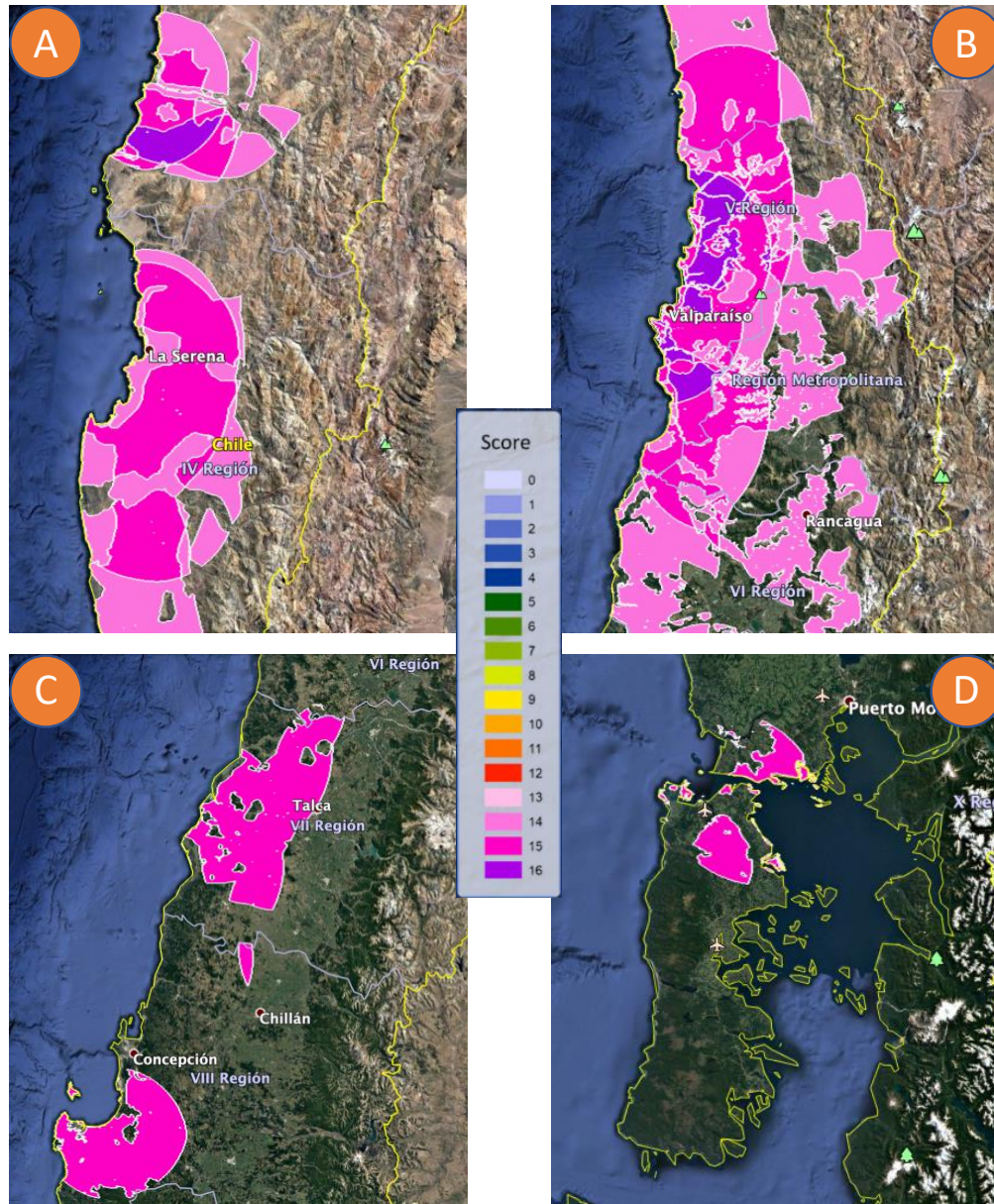


Figura 40: Zonas con múltiples criterios habilitados para el desarrollo de proyectos Agua-Energía.
Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el ejercicio se ve como una opción exploratoria para graficar las zonas resultantes, sin obtenerse un resultado que refleje alguna característica relevante para proponer alguna iniciativa agua – energía. De hecho, las zonas que cumplen todos los criterios son muy pocas en el territorio (zonas A y B de la Figura 40).

Por otro lado, con el fin de poder graficar la forma en que los resultados se pueden relacionar con el recurso energético solar, la siguiente figura muestra como dentro de la zona con 16 puntos, es factible identificar zonas propicias para el recurso solar (<http://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>). En el sitio seleccionado es factible proyectar

preliminarmente una planta solar con factor de planta en torno al 30%, lo que muestra una alta sinergia entre las características habilitantes y un análisis posterior para el recurso solar.

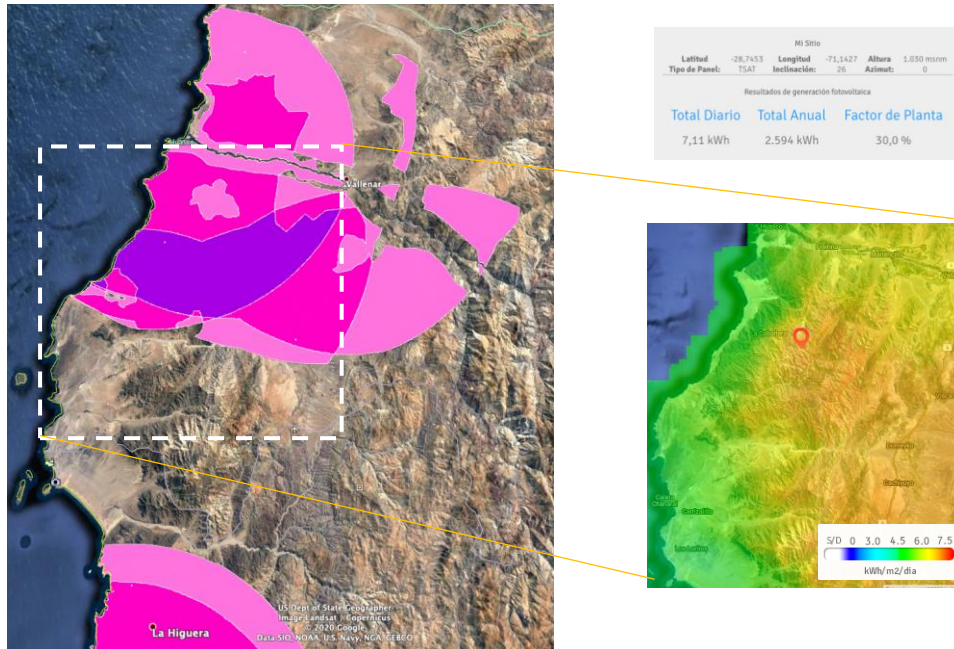


Figura 41: Relación Zona múltiples criterios con el potencial solar (zona cercana a Huasco). Fuente: Elaboración propia.

B) Zonas que cumplen con el criterio reconversión de centrales de generación térmica

En esta sección se describe el proceso y los resultados para la zona que se define sobre la base del criterio *Cercanía a centrales térmicas costeras* (predominante). De esta forma, para la definición de estas zonas se habilitan los siguientes elementos a ser evaluados:

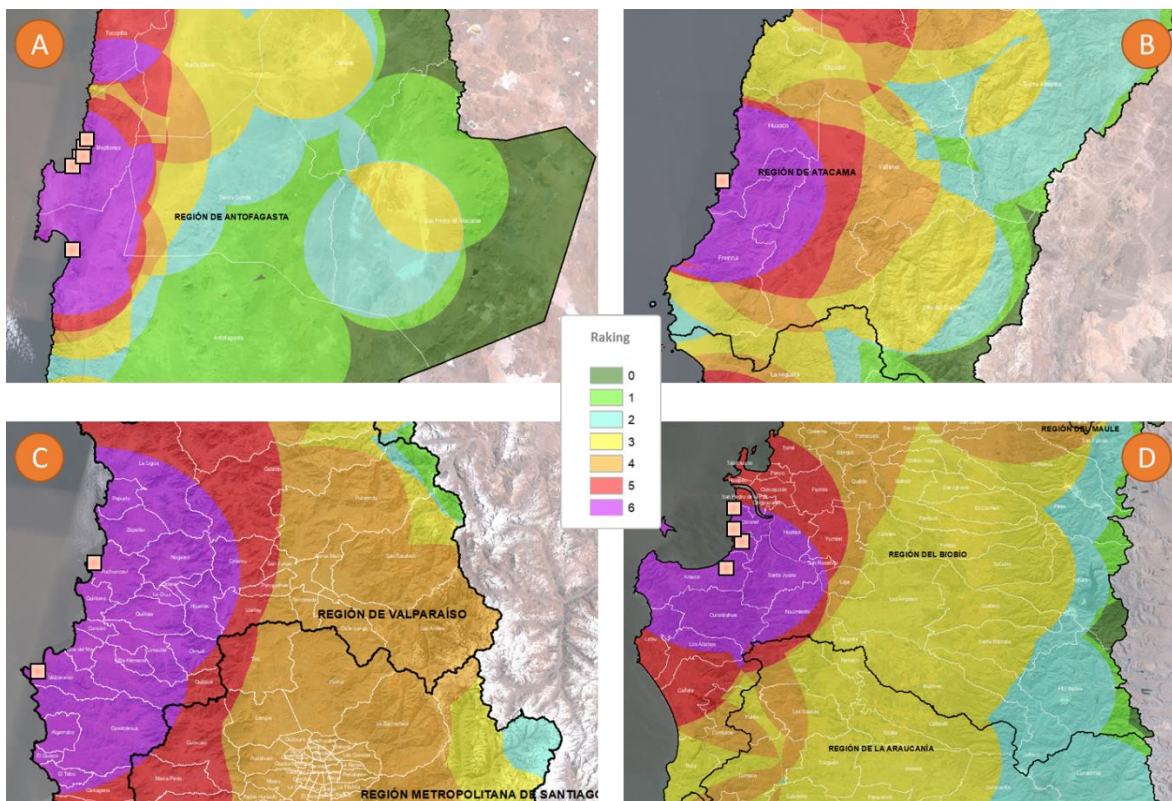
- Cercanía a centrales térmicas costeras.
- Cercanía a Potenciales áreas de desalinización.
- Aumento de demanda de agua proyectada 2040.
- Cercanía a centros poblados.
- Cercanía a actividad minera (actual y futura).
- Cercanía a actividad industrial (fuera el límite urbano).

En este caso, la potencial oferta de agua desalinizada está definida en base a las PAD con mejor ranking descritas anteriormente (aquellas que acumulan 20 ó 21 puntos), complementado con aquellas centrales de generación termoeléctrica (a carbón) ubicadas en zonas costeras (a menos de 1 km de la costa) las que eventualmente podrían ser reconvertidas a una planta desalinizadora, de manera de poder usar la infraestructura de la costa disponible y los permisos ambientales asociados.

La representación de la demanda de agua está definida por la proyección de aumento de demanda al 2040 (DGA, 2017), y por la cercanía a los centros de demanda que para este ejercicio han sido considerados más relevantes. Estos son: centros poblados (ciudades, pueblos y aldeas), actividad minera (presente y futura), y actividad industrial emplazadas fuera del radio urbano (identificadas a partir de una revisión del repositorio de EIAs y DIAs dentro del SEIA).

En suma, el resultado presentado en la Figura 42 permite la detección de 4 zonas que cumplen los 6 criterios descritos anteriormente. Los mapas destacan en color morado aquellas zonas que cumplen con 6 de ellos, mientras el resto de los colores de la paleta permite identificar zonas que cumplen parcialmente.

En la zona A, ubicada en la región de Antofagasta, el área que cumple los 6 criterios está vinculada a las termoeléctricas del parque industrial costero de las comunas de Mejillones y Antofagasta. En la zona B, ubicada en la Región de Atacama, el área de mayor puntuación se asocia al complejo de generación termoeléctrico ubicado en la ciudad de Huasco. En la zona C, ubicada en la Región de Valparaíso, se cumplen los 6 criterios en áreas cercanas a las generadoras termoeléctricas emplazadas en Puchuncaví y Laguna Verde. En la zona D, ubicada en la Región del Biobío, el máximo puntaje se aprecia en áreas cercanas las centrales de generación termoeléctricas costeras ubicadas en las comunas de Coronel, Lota y Arauco.



Nota: Las marcas (cuadrados) en el mapa representan la ubicación de centrales termoeléctricas.

Figura 42: Zonas con criterio de centrales termoeléctricas habilitados para el desarrollo de proyectos Agua-Energía. Fuente: Elaboración propia.

En este caso también es factible analizar el cruce con el potencial de energía solar, logrando identificar una zona con un factor de planta estimado en torno al 33%, alejándose de la zona costera donde el potencial disminuye por efecto de la camanchaca.

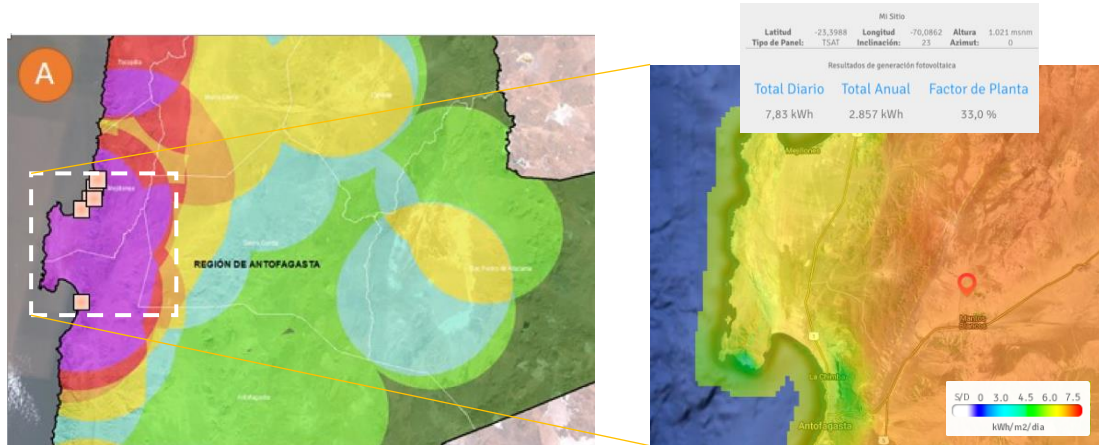


Figura 43: Relación Zonas con criterio de centrales termoeléctricas con el potencial solar. Fuente: Elaboración propia.

C) Zonas que cumplen con criterio de escasez hídrica y sequía meteorológica

En esta sección se describe el proceso y los resultados para la zona que se define sobre la base del criterio *Zonas con escasez hídrica y sequía meteorológica* (predominantes). En este caso las zonas identificadas cumplen con los siguientes elementos:

- Cercanía a potenciales áreas de desalinización
- Zonas que más acumulan decretos de escasez hídrica
- Zonas con aumento de sequía meteorológica a causa de cambio global
- Aumento de demanda de agua proyectada 2040
- Cercanía a centros poblados
- Cercanía a actividad minera (actual y futura)
- Cercanía a actividad industrial (fuera del límite urbano)

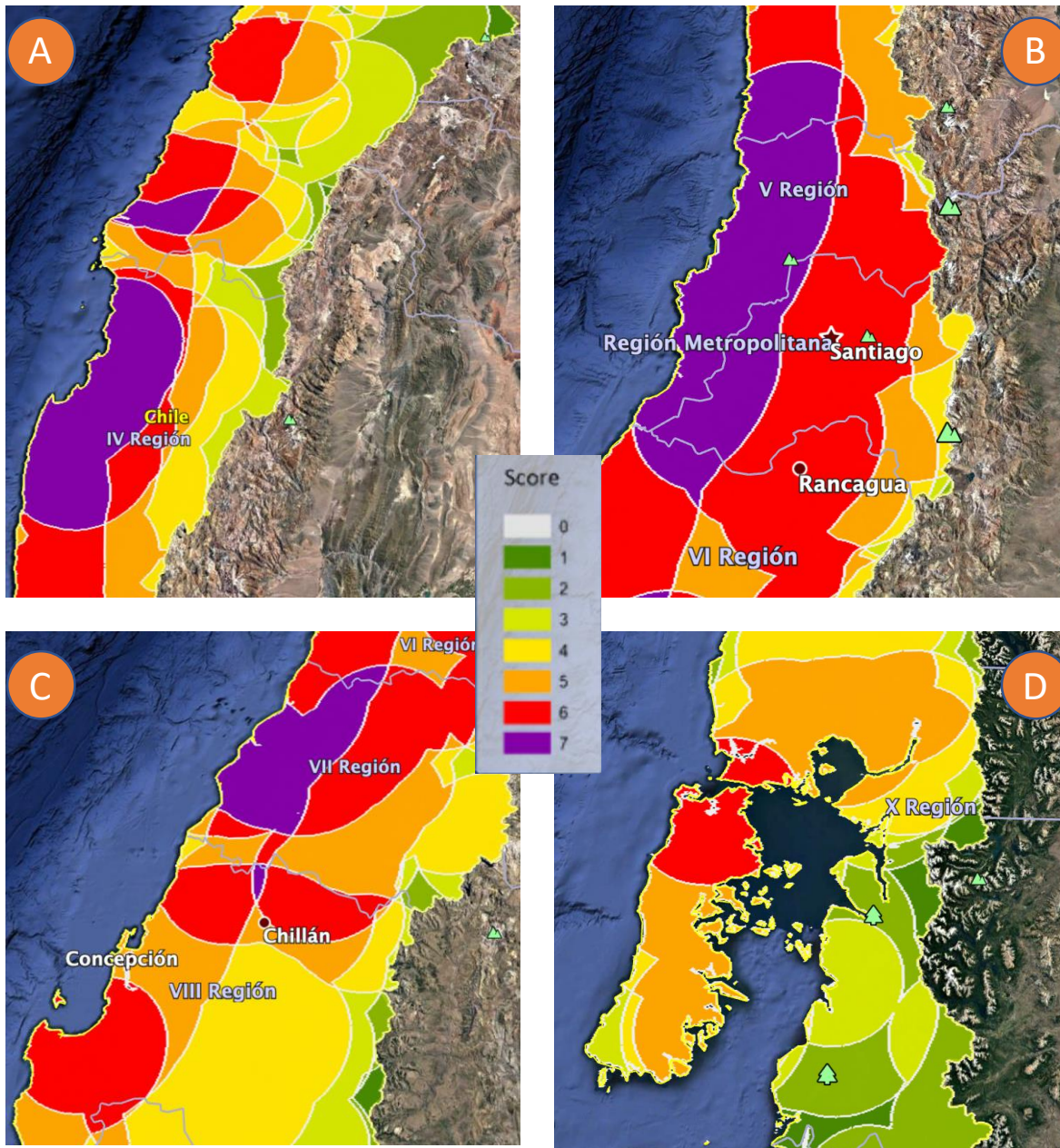


Figura 44: Zonas con criterios Escasez hídrica y Sequía habilitados para el desarrollo de proyectos Agua-Energía. Fuente: Elaboración propia.

El resultado presentado en la Figura 44 permite la priorización de 4 zonas que cumplen la mayoría de los criterios (6 ó 7) descritos anteriormente. Los mapas destacan en color morado aquellas zonas que cumplen 7 de ellos, mientras el resto de los colores de la paleta permite identificar zonas que los cumplen parcialmente. En este caso se aprecia claramente la distribución de los decretos de escasez presentados en algunas zonas del país (regiones de Coquimbo, Valparaíso y del Maule).

En la zona A, ubicada en la región de Coquimbo, el área que cumple los 7 criterios está vinculada a ciudades como Ovalle, Coquimbo y La Serena, donde se concentra la declaración

de decretos de escasez. En la zona B, ubicada en la Región de Valparaíso y Metropolitana, el área comprende la zona entre el borde marino y la Cordillera de la Costa en ambas regiones. En la zona C, ubicada en la Región del Maule, se cumplen los 7 criterios en el área comprendida entre el borde costero y la ciudad de Talca.

D) Zonas que cumplen con el criterio de desarrollo agrícola

En esta sección se describe el proceso y los resultados para la zona que se define sobre la base del criterio **Zonas con desarrollo agrícola** (predominante). En este caso las zonas identificadas cumplen con los siguientes elementos:

- Cercanía a potenciales áreas de desalinización
- Aumento de demanda de agua proyectada 2040
- Cercanía a centros poblados
- Cercanía a actividad minera (actual y futura)
- Cercanía a actividad industrial (fuera el límite urbano)
- Cercanía a suelos de alta productividad agrícola
- Cercanía a suelos de baja productividad agrícola

Nota: La cercanía tanto a suelos de baja como de alta productividad agrícola no es contradictoria ya que refleja el interés por incluir ambos tipos de suelo agrícola en la selección final.

A diferencia de los casos anteriores, en este ejercicio cada tipo de suelo es un criterio en la evaluación, por lo que la acumulación de estos no es el indicador por revisar. En este sentido, la escala del 6 al 13 en la Figura 45 representa los suelos de Clase I a VIII, por lo que los colores representados en el mapa equivalen a la presencia de ese tipo de suelo.

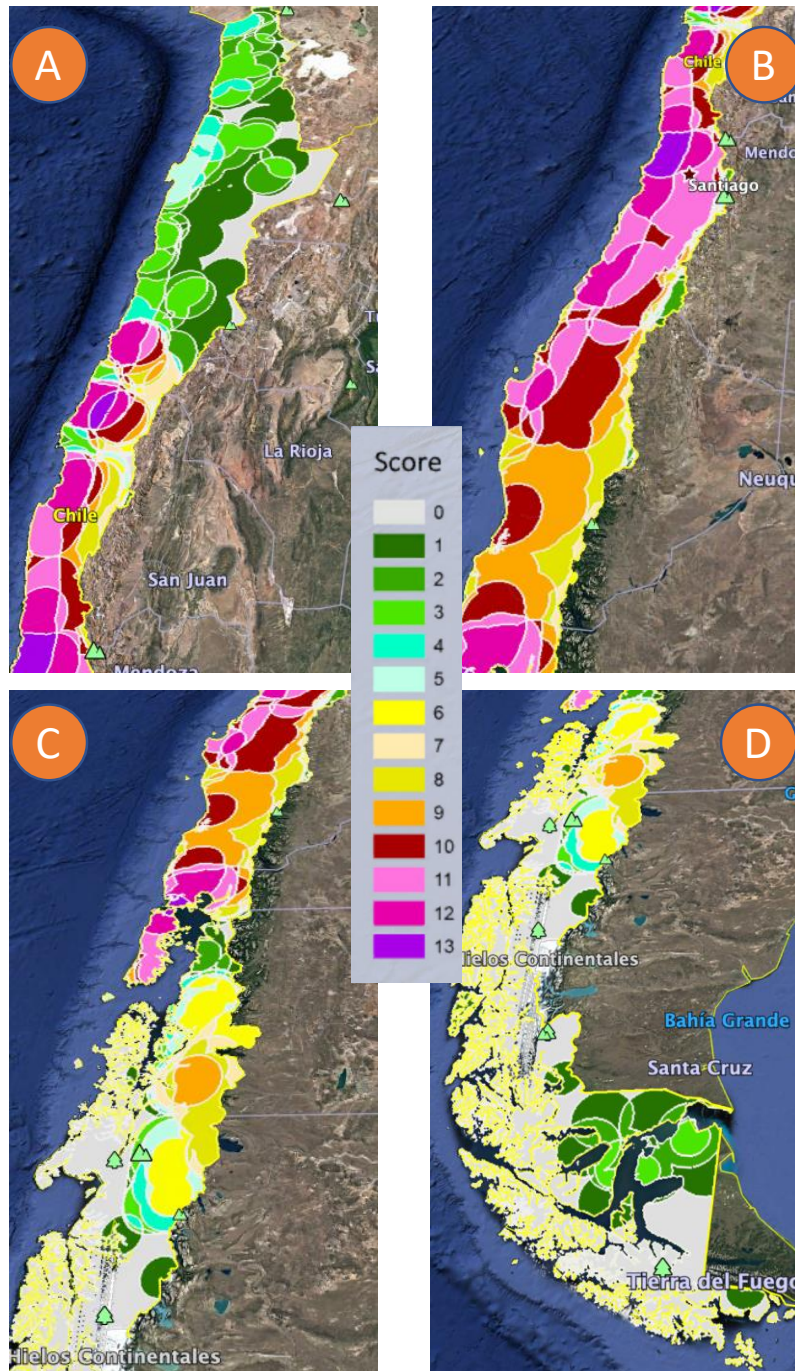


Figura 45: Zonas con criterio de Desarrollo Agrícola habilitados para llevar a cabo proyectos Agua-Energía. Fuente: Elaboración propia

E) Zonas que cumplen criterio de escasez hídrica, alta productividad agrícola y actividad minera

En esta sección se describe el proceso y los resultados para la zona que se define sobre la base de los criterios *Zonas con escasez hídrica, alta productividad agrícola y actividad*

minera (predominantes). En este caso las zonas identificadas cumplen con los siguientes elementos:

- Cercanía a potenciales áreas de desalinización
- Zonas que más acumulan Decretos de Escasez
- Cercanía a actividad minera (actual y futura)
- Cercanía a suelos de alta productividad agrícola

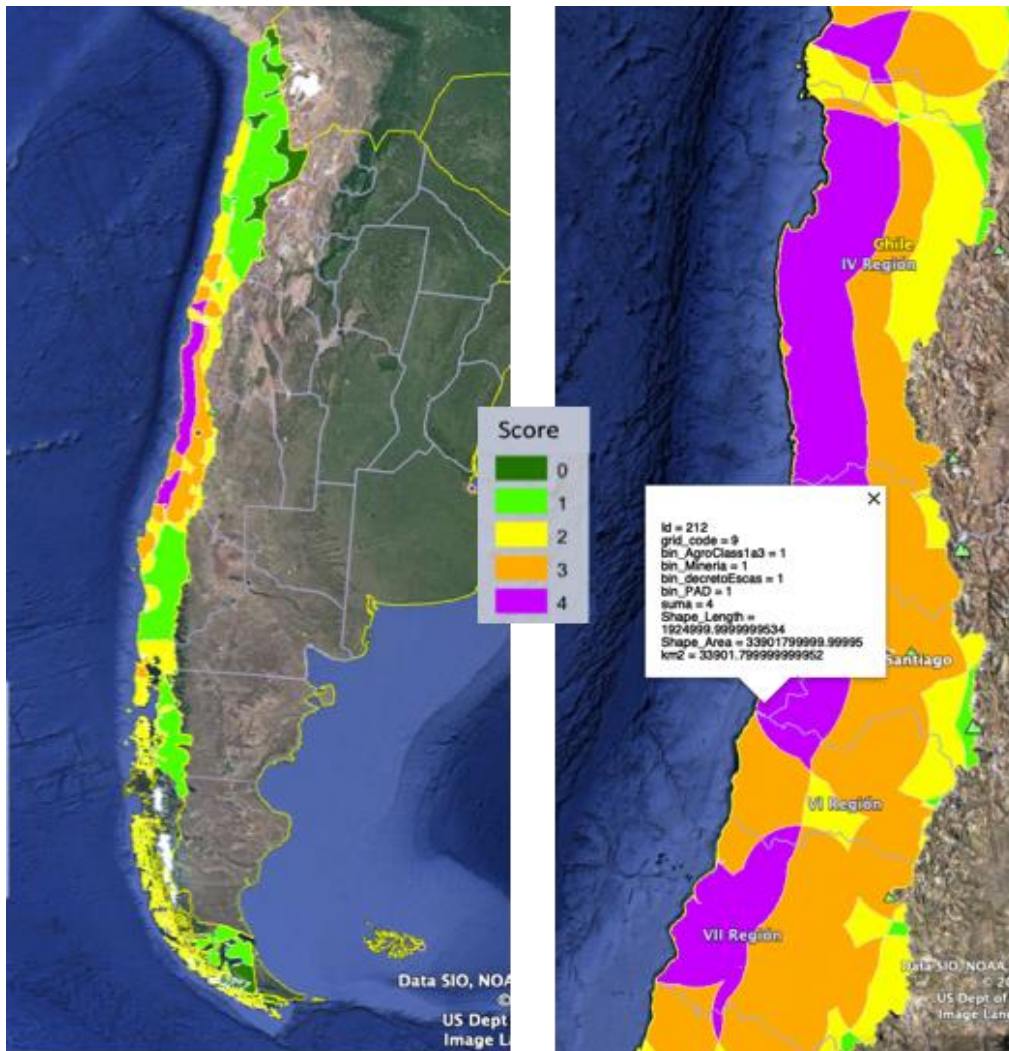


Figura 46: Zonas con criterio de Desarrollo Agrícola habilitados para el desarrollo de proyectos Agua-Energía. Fuente: Elaboración propia

El resultado presentado en la Figura 46 identifica una franja que cumple los 4 criterios definidos, la que se extiende desde la región de Coquimbo, hasta la del Maule. Esto se destaca en el mapa en color morado, el resto de los colores de la paleta permite identificar zonas que cumplen parcialmente con los requerimientos.

5.4. Análisis para zona seleccionada: Valle de Copiapó

En esta sección se presenta el análisis integral para la zona seleccionada en el Valle de Copiapó.

5.4.1. Aspectos metodológicos

Para una de las zonas escogidas se lleva a cabo un ejercicio integral agua – energía (basado en la oferta y demanda de agua), en el cual se define una ruta óptima para el trazado del ducto que conduce el agua, buscando la ruta de mínima impedancia. En este caso se lleva a cabo una consideración de información de detalle a partir de antecedentes específicos, ya sea de proyectos mineros, poblados, industria, agricultura, entre otros.

El ejercicio considera la presencia de centros poblados menores, de manera que se puedan atender demandas con carácter social (pueblos y aldeas) que puedan quedar en el trayecto de los grandes consumos. Por ejemplo, se podría modelar el aumento de la capacidad de una planta de desalinización para abastecer este tipo de demandas u otras interacciones similares en el territorio (agricultura tecnificada, industria, pequeña minería, entre otros). En la Figura 47 se aprecia de manera esquemática cómo se podría llevar a cabo este ejercicio de integración de oferta y demanda.

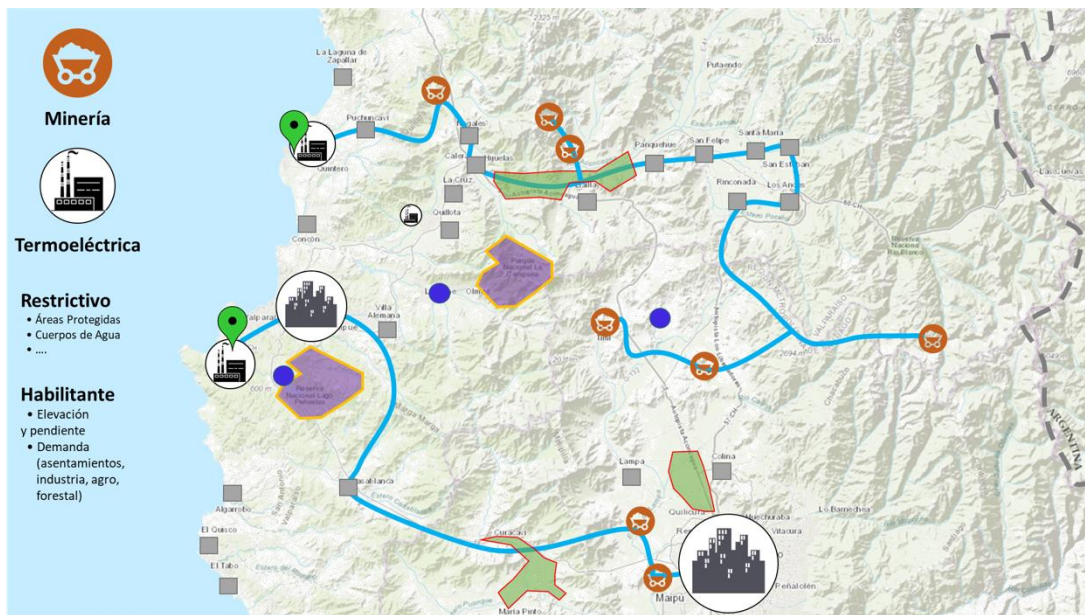


Figura 47: Ejercicio ilustrativo de integración de Oferta & Demanda. Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. Descripción de zona seleccionada

La zona seleccionada corresponde al territorio adyacente al valle de Copiapó, desde el océano hasta la cordillera (ver Figura 48), tomando en consideración la instalación de una planta de desalinización en la costa, el trazado del ducto asociado al abastecimiento de una faena minera y la distribución de agua a los pueblos y aldeas, proyectos mineros menores y

agricultura; en el trayecto a la faena minera. En el ejercicio se define un camino óptimo para el trazado del ducto que conduce el agua, buscando la ruta de mínimo costo. Asimismo, el ejercicio busca realizar una vinculación con las oportunidades presentadas en las secciones anteriores.

Esta zona fue seleccionada debido a que satisface lo siguiente: zona que cumple con el criterio escasez hídrica, alta productividad agrícola y actividad minera (definido en la letra E sección 5.3.3) zonas que cumple con el criterio reconversión de centrales de generación térmica (definido en la letra B sección 5.3.3) y zonas que cumple con criterio de escasez hídrica y sequía meteorológica (definido en la letra C sección 5.3.3). En esta zona se relajaron los criterios de escasez hídrica y cercanía a una planta de generación termoeléctrica en base a carbón (mayor a 50 km.).

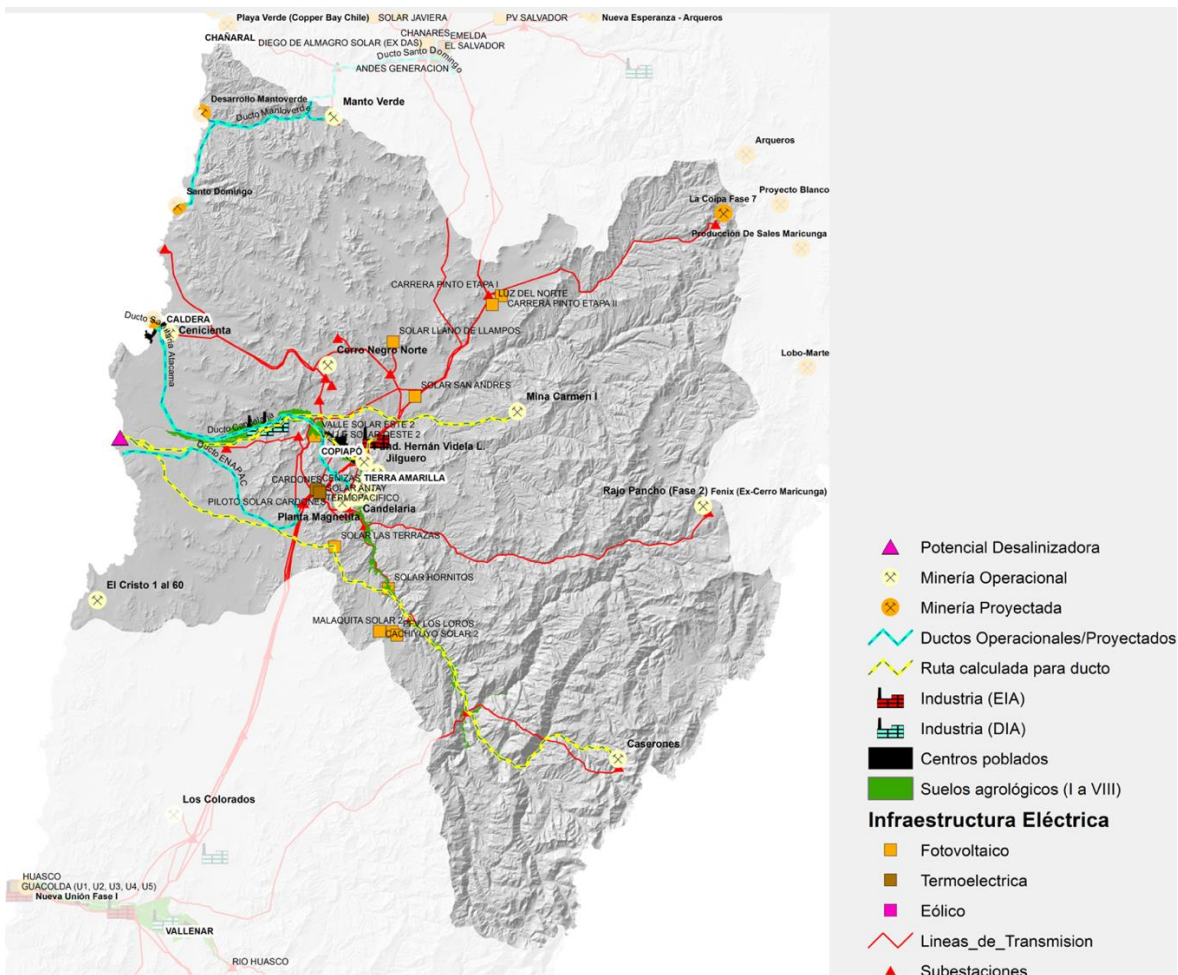


Figura 48: Ejercicio integral Agua – Energía cuenca del río Copiapó. Fuente: Elaboración propia.

En la figura se muestra el trazado del acueducto definido en la cuenca del Río Copiapó, considerando los siguientes elementos en el territorio:

- Una eventual desalinizadora (punto emplazado sobre una potencial área de desalinización [PAD]), la cual es marcada con un triángulo rosado;
- Focos de demanda de agua (centro poblados, minería [actual y futura], industria [emplazada fuera del límite urbano], suelos agrológicos [clase I a VIII])

- Otras características del territorio, como pendiente del terreno, presencia de áreas protegidas e hidrografía.

Adicionalmente, en la segunda parte de este capítulo, se lleva a cabo el ejercicio de análisis de impacto ambiental que la desalinización tendría en la zona costera frente a Copiapó.

5.4.3. Ejercicio de proyecto integral Agua – Energía

Como se menciona en la Sección 2.2.4, para la zona escogida se lleva a cabo un ejercicio integral Agua – Energía, basado en la oferta y demanda de agua, además de otras condiciones del territorio e infraestructura actual y futura asociada a energía, plantas de desalinización, entre otros.

Como se observa en el mapa anterior, se logra distinguir la manera en que el trazado se aproxima a los centros de demanda previamente mencionados. El ducto evita pendientes pronunciadas siguiendo el recorrido de fondo de valle, además de la superposición sobre el eje de cauces. La Figura 48 permite además distinguir la relación espacial con los distintos tipos de medios de generación eléctrica, al igual que con las líneas de transmisión y subestaciones.

Es importante hacer notar que el mapa considera los trazados de los ductos de las plantas de desalinización existentes y proyectadas (las que se identifican a continuación), permitiendo emplazar un ducto que se diferencie de los existentes y trate de abastecer la mayor parte de las demandas identificadas en el territorio.

Por otro lado, dadas estas relaciones de oferta y demanda en este territorio, se propone un ejercicio de proyecto integral agua – energía, el cual considera elementos de identificación de consumos en el territorio, potencial oferta de agua de una planta de desalinización, balance de oferta y demanda de agua y desarrollo de iniciativas agua-energía-agricultura. Todo este análisis se describe con mayor detalle a continuación.

Oferta de Agua (proyectos de desalinización)

Es importante tener en consideración que en la zona se ubican varios proyectos de desalinización existentes (mineros y de agua potable) y proyectados. Ellos se describen a continuación.

Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, Provincias de Copiapó y Chañaral (sanitaria)¹⁶. Este proyecto se ejecuta en tres etapas, las que permitirán una capacidad máxima final de 1.200 litros por segundo (l/s) de agua tratada. Las obras comenzaron a ejecutarse el 2 de enero de 2018 y se espera que pueda entregar agua potable a la población a partir de abril de 2021. Tiene un costo total estimado de US\$ 250.000.000 y

¹⁶ Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A

https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2130018787

el Estado está financiando la primera etapa de la planta mediante la capitalización de Econssa Chile, por parte de Corfo. Las instalaciones de la planta desalinizadora están ubicadas en el sector de Punta Zorro, en la comuna de Caldera, y desde allí el agua será desalinizada e impulsada a los distintos puntos de abastecimiento de la población de Caldera, Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla, que actualmente son alimentadas por el acuífero del río Copiapó.

Desalinizadora Minera Candelaria (minería)¹⁷. La planta desalinizadora y la infraestructura asociada a la captación de agua de mar y descarga de agua salada se localizan aledañas a las instalaciones del Puerto Punta Padrones de Compañía Contractual Minera Candelaria, aproximadamente a 3 km al sur de la ciudad de Caldera. El trazado de la tubería de conexión (78 km de longitud) va desde la planta desalinizadora hasta el sector Bodega, a través de las comunas de Caldera y Copiapó. Tiene capacidad para producir hasta 500 l/s de agua desalinizada de calidad industrial (la primera etapa de producción fue de 300 l/s) para abastecer las operaciones de mineras Candelaria y Ojos del Salado en Tierra Amarilla. Además, entrega 40 litros por segundo a la empresa sanitaria local. El proyecto demandó una inversión aproximada de US\$330 millones, su construcción comenzó en agosto de 2011 y su puesta en marcha se llevó a cabo en mayo de 2013. Además, considera una tubería de impulsión (de 100 km de longitud) desde la planta desalinizadora, hasta una piscina de almacenamiento ubicada en el sector Bodega en Copiapó. Desde este punto, el agua desalinizada es transportada conjuntamente con las aguas servidas tratadas provenientes desde de la Planta de Tratamiento de Aguas Chañar S.A., a través del acueducto Chamonate – Candelaria.

Es importante hacer notar que estos dos proyectos se encuentran en la misma península, en la que se emplazan las zonas de Punta Padrones y Punta Zorro, en el costado de la bahía de Caldera. Ello es relevante a la hora de tomar la decisión de emplazar una nueva planta desalinizadora en esta zona (ver Figura 49).

¹⁷ Sociedad Contractual Minera Candelaria (80 % Lunding Mining / 20 % Sumitomo).
"https://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=4790073

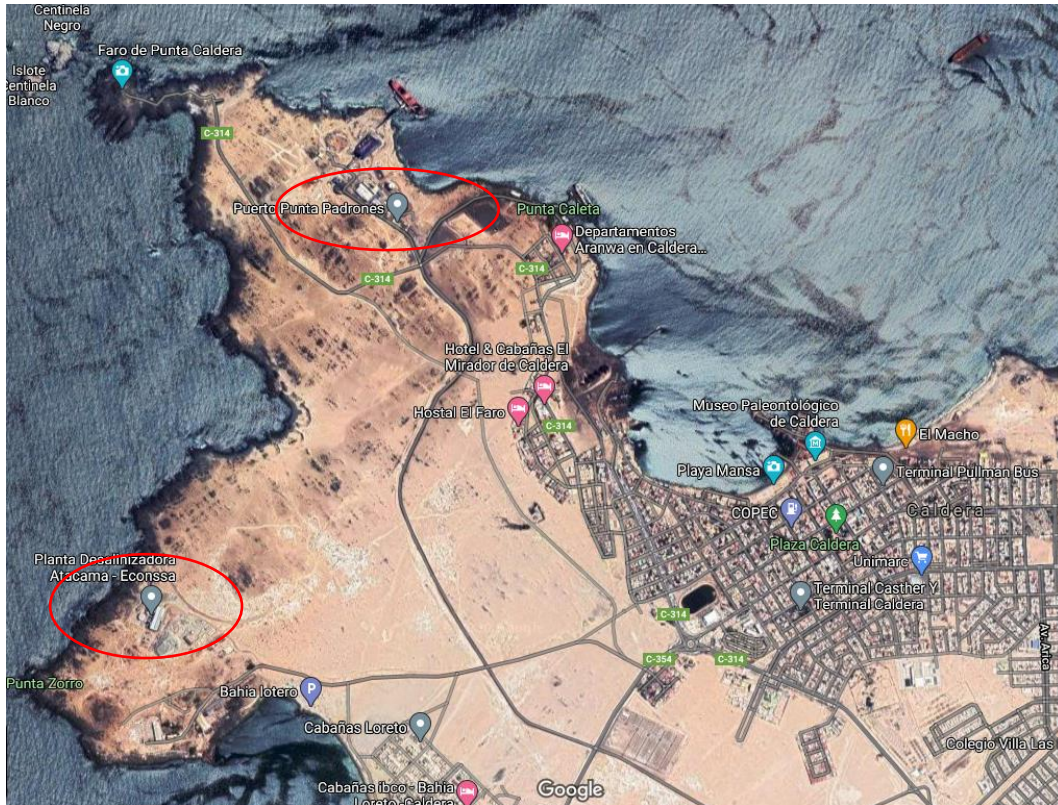


Figura 49: Emplazamiento de plantas desalinizadoras en Punta Zorro (Eonssa) y Punta Padrones (Candelaria). Fuente: Elaboración propia

Nota: La ubicación de las plantas desalinizadoras se encuentran demarcadas con un círculo.

LTE Suministro Cerro Negro Norte y Desalinizadora Punta Totoralillo (minería)¹⁸. La planta desalinizadora se emplaza en un sitio ubicado en el sector costero, aproximadamente a 2,5 km al sur del Puerto Punta Totoralillo, en la comuna de Caldera. La inversión fue de US\$400 millones, opera desde el año 2014 y abastece el 100% de la demanda de agua de la mina, de su planta de beneficio y de su concentrado. Además, provee otros usos en la zona: en Caldera es potabilizada por Aguas Chañar y distribuida a la población y en Canal Mal Paso se usa para riego de diferentes cultivos. El acueducto va entre la planta desalinizadora y la estación terminal en Tierra Amarilla, en las cercanías de la Planta de Magnetita (longitud aproximada de 120 km). El trazado recorre las comunas de Caldera, Copiapó y Tierra Amarilla. Además, tiene asociada una planta fotovoltaica con una capacidad instalada de 100 MWp.

Por otro lado, existen dos proyectos futuros que se han planificado en la misma zona, ambos asociados a empresas mineras. Ellos se detallan a continuación.

Desalinizadora Minera Candelaria 2030 (minería). El proyecto de extensión de la vida útil de Minera Candelaria desde el 2030 al 2040 considera pequeños aumentos de capacidad en

¹⁸ CAP S.A. (51 % CAP / 49 % MITSUBISHI)

https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=4786504

la planta de desalinización y en el sistema de impulsión (no cuantificados en la información revisada).

Planta Desalinizadora ENAPAC (mediana minería y otros usos)¹⁹. Proyecto de generación de agua para uso industrial, ubicada a 38 km al sur oeste de la localidad de Caldera. Considera su almacenamiento en un reservorio de aproximadamente 592.000 m³ (dos piscinas de 296.000 m³ cada una), emplazadas en la comuna de Copiapó y abastecidas mediante un acueducto de 68 km de longitud. Los trazados lineales (ductos, líneas de transmisión eléctrica y caminos de acceso) también se emplazan en la comuna de Copiapó y una fracción menor en la comuna de Caldera. El agua será comercializada a usuarios locales que requieran agua de estas características para su operación y adecuado funcionamiento. Todos los procesos mencionados serán provistos de energía generada principalmente en una Planta Fotovoltaica de 100 MW²⁰, complementada con energía adquirida a terceros a través del Sistema Interconectado Central (SIC). El proyecto posee un caudal máximo de 2.630 l/s y una producción esperada de 1.000 l/s, se espera que comience sus operaciones en el año 2021, con un horizonte de 30 años.

Demanda de Agua: Consumo en poblados y caseríos cercanos

Existe una serie de pequeños pueblos y caseríos con baja disponibilidad de agua, algunos de los cuales incluso son abastecidos a través de camiones aljibe, que sería interesante asociar a la oferta de agua que se genera a través de la planta desalinizadora potencial o alguna de las existentes en la actualidad. Para llevar a cabo este análisis, en la Tabla 23 siguiente se presenta una estimación de la demanda de agua para algunas de estas localidades para las que se ha obtenido información.

¹⁹ Grupo Empresa Trends Industrial S.A.

<https://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=2132536275>

²⁰ Los paneles fotovoltaicos se ubicarán dentro del predio privado, en un espacio aproximado de más de 200 hectáreas ubicado en el límite oeste del terreno, cercano a la Ruta 5.

Tabla 23: Demanda de agua estimada en los pueblos y aldeas de las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla. Fuente: Elaboración propia, basado en datos del INE y la SISS

	N° Viviendas	Consumo (m3/mes)	Consumo (l/s)
Comuna Copiapó			
<i>Sierra Jesús María</i>	3	50	0,02
<i>Piedra Colgada</i>	62	1.029	0,40
<i>Toledo</i>	43	714	0,28
<i>Cuesta Cardones</i>	16	266	0,10
<i>Cuesta Cardones Norte</i>	16	266	0,10
<i>San Juan</i>	17	282	0,11
<i>Villa El Mirador</i>	17	282	0,11
<i>La Gaviota</i>	21	349	0,13
<i>Total</i>	22	365	0,14
<i>Laguna</i>	22	365	0,14
<i>Las Torres</i>	22	365	0,14
<i>San Pedro</i>	22	365	0,14
Tierra Amarilla			
<i>Nantoco</i>	151	2.507	0,97
<i>Los Loros</i>	441	7.321	2,82
<i>Vizcachas</i>	55	913	0,35
<i>San Antonio</i>	81	1.345	0,52
<i>Planta Elisa De Bordes</i>	3	50	0,02
<i>Hornitos</i>	31	515	0,20
Total	1.045	17.347	6,7

Como se aprecia en la tabla, la demanda total estimada para estas localidades corresponde a 6,7 l/s, lo que equivale a un valor de 208.164 m³/año. El emplazamiento de las localidades consideradas se puede observar en la Figura 50.

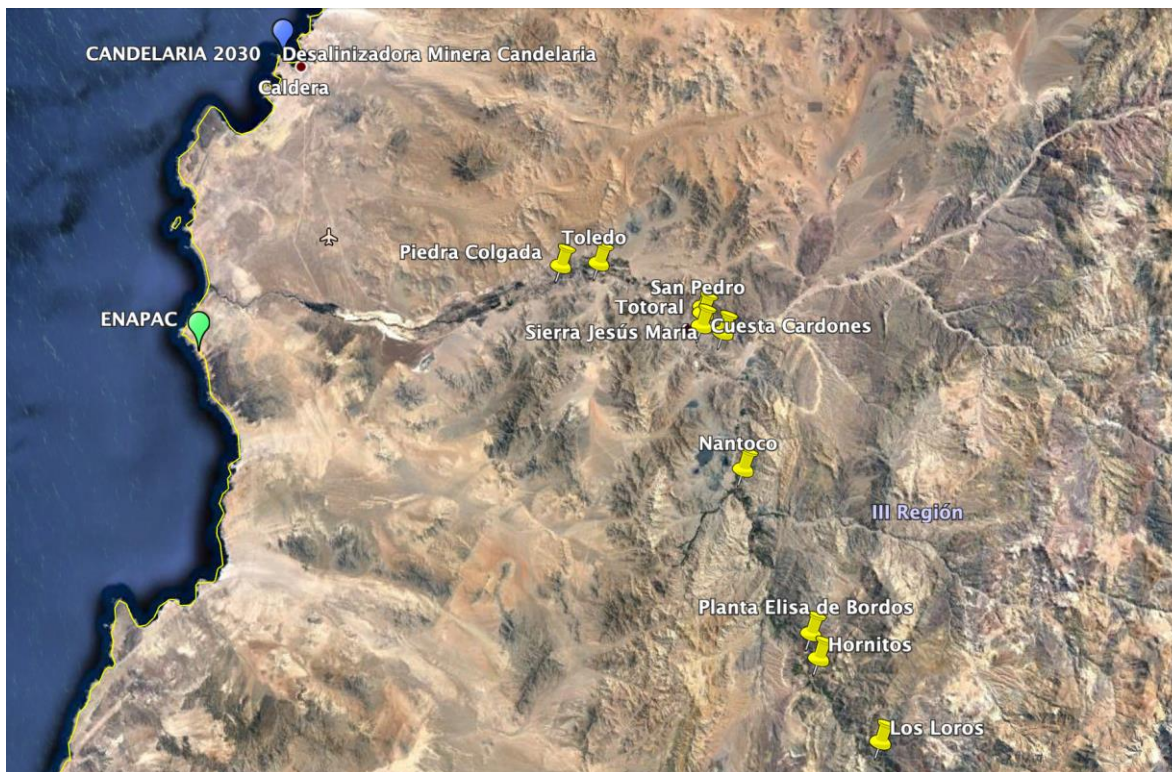


Figura 50: Emplazamiento de los pueblos y aldeas consideradas en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla. Fuente: Elaboración propia

Demanda de Agua: Consumo en sectores pecuario, industria y agricultura

Sobre la base del estudio DGA (2017) se han estimado las demandas de agua de los sectores pecuario, industria y agricultura en las subcuencas identificada en la zona de análisis. En la Tabla 24 se presenta la demanda proyectada para cada sector, al año 2030 y 2040.

Tabla 24: Cuantificación de demanda consuntiva, año 2030 y 2040. Fuente: Elaboración propia, basado en datos del INE y la SISS

Nombre Subcuenca	Demanda Consuntiva 2030 (Mm3/año)				Demanda Consuntiva 2040 (Mm3/año)			
	AGR	PEC	IND	Total	AGR	PEC	IND	Total
R. Copiapó Medio	61.267	13	10	61.290	70.628	16	12	70.656
Quebrada Paipote	3.720	8	-	3.728	3.871	9	-	3.880
R. Copiapó Bajo	18.797	13	-	18.810	21.396	16	-	21.412
Costeras entre Río Copiapó y Quebrada Seca (Inclusive)	5.164	4	-	5.168	5.920	5	-	5.925
Quebradas entre Q. Seca y Q. Totoral	88	1	-	89	94	1	-	95
Quebrada Totoral	1.012	10	-	1.022	1.068	12	-	1.080
Total	90.048	49	10	90.107	102.977	59	12	103.048

Como se observa en la Tabla 24, más del 99% de la demanda de agua está relacionada con consumos agrícolas.

Análisis oferta y demanda de agua

Si consideramos tanto la oferta de agua de una potencial planta desalinizadora en la zona (en este caso las planta de Enapac y Candelaria, que se encuentran muy próximas) y las demandas de agua potable rural, agrícola, pecuaria e industrial, se puede llevar a cabo un balance interesante de las potencialidades de la tecnología en algunos de estos sectores productivos. El resumen de este balance se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25: Balance de oferta y demanda de agua. Fuente: Elaboración propia

	Caudal agua Desalinizada	Unidad	Planta Enapac	Planta Candelaria	Total	
<i>Oferta Plantas Desalinizadoras</i>	Capacidad actual	Km ³ /año	28.382	8.515	36.897	
	Capacidad máxima	Km ³ /año	74.646	14.191	88.837	
<i>Demanda de agua</i>	Unidad	Pueblos y aldeas	Agricultura	Pecuario	Industrial	Total
	Km ³ /año	208	102.977	59	12	103.256

Como se observa en la tabla del balance de oferta y demanda de agua, con una fracción de la oferta entregada por las plantas desalinizadoras (1 a 3 por ciento, dependiendo del valor de caudal considerado) es posible satisfacer las demandas de pueblos y aldeas, además del sector Pecuario e Industrial. Sin embargo, si se quiere abastecer la demanda requerida por el sector agrícola, dadas las características de este (considerando técnicas de regadío y producción tradicionales), ello no es posible, ni siquiera sumando la oferta potencial máxima de ambas plantas de desalinización. De la misma manera, como se ha identificado en el desarrollo de las entrevistas y las opiniones de expertos, no existiría una disposición a pagar por esta agua (en menor medida, dados los volúmenes que se consideran en este sector).

Ejercicio de desarrollo agua-energía-agricultura

De acuerdo a los antecedentes del balance de oferta y demanda de agua presentados más arriba y en la línea de la oportunidad de desarrollo presentada en la sección 4.2.1 Desalinización y agricultura, se analiza el caso de utilizar parte del agua desalinizada, de manera de habilitar territorio en la zona costera para su uso en la agricultura y plantaciones (en invernaderos), reduciendo los costos asociados a la impulsión de agua.

Luego, en el territorio cercano a la costa (del orden de 10 km, antes del Aeropuerto Desierto de Atacama) se propone la instalación de invernaderos para la producción de olivos y uva de mesa, además de otros vegetales y frutas de exportación con precios más altos, como los arándanos).

Según los valores presentados en el balance, se destina el 1% de la producción de agua desalinizada (de una planta de 30.000 M m³/año) para satisfacer la demanda de agua de los pueblos y aldeas, pecuario e industrial de la zona, además de la demanda de agua de 10 invernaderos para los cultivos mencionados.

Se asume un consumo de 0,5 m³/día por cada invernadero (INIA, 2017), lo que implica un consumo anual de 1.900 m³/año para 10 invernaderos de 80 m² cada uno.

El consumo estimado de electricidad para una planta de desalinización de estas dimensiones es de 90.000 MWh/año (para un consumo específico de 3 kWh/m³). Ello se puede alimentar con una planta fotovoltaica de potencia instalada de 100 MW.

5.4.4. Identificación del impacto que la desalinización tendría en la zona costera de Copiapó

En esta sección se hace referencia a la Predicción y Evaluación de Impacto Ambiental (ver Anexo 8.6) en la zona costera de Copiapó para lo cual se identifican y cuantifican las alteraciones a los elementos del medio ambiente definidos y caracterizados en las secciones anteriores, con sus potenciales transformaciones derivadas a la posible ejecución de la planta de desalinización (como se presenta en el mapa de la Figura 48), considerándose las fases de construcción, operación y cierre, con el fin de determinar si constituyen impactos significativos en base a los criterios del Artículo 11 de la Ley 19300 y detallados en el Título II del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. 40/2012).

Para la predicción se utiliza una metodología de evaluación de impactos cualitativa, empleando como base la Matriz de Leopold, identificando Magnitud e Impactos y la información obtenida de proyectos de desalinización de similares características y que contaban con la elaboración del EIA. En el caso de ciertos componentes, se respalda a través de un análisis cuantitativo, mediante cálculos matemáticos, en la condición más desfavorable, según lo establece el Artículo 18 letra f del Reglamento del SEIA.

Cabe mencionar, en los casos en que se pronostica y evalúa un impacto adverso significativo, se debe incorporar, un plan de medidas de mitigación, reparación y/o compensación, según corresponda, con la finalidad de evitar o disminuir los efectos adversos. Esto último mencionado, no fue incorporado en el presente documento, debido a que sólo se cuenta con una potencial propuesta, por tanto, estos planes de medidas deben ser considerados y realizados una vez que se realice un estudio que permita identificar y evaluar los impactos que puedan producirse en la implementación del proyecto.

A) Identificación de componentes ambientales susceptibles de ser afectados por la ejecución del Proyecto

Para poder definir los componentes ambientales susceptibles de ser afectados, se efectuó una revisión de cada uno de ellos en la Determinación del Área de Influencia y Línea de Base, considerando el tipo de obras y actividades que se considerarían en el Proyecto. Como resultado de este análisis se distingue entre los elementos del medio que no serán afectados y aquellos que sí lo serán por las obras y actividades del proyecto, analizándose el posible impacto ambiental sólo en los sectores del Proyecto. Lo anterior se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26: Resumen de los elementos del medio susceptibles de ser afectados durante la ejecución del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Medio	Componente	Factor	Sub-factor	Impacto	Sector(es)		
Medio físico	Atmósfera	Calidad del aire			Alteración de la calidad del aire y eventual riesgo para la salud humana	Costa - Interior	
		Ruido	Alteración de los niveles de ruido		Aumento de los niveles de inmisión de ruido	Costa - Interior	
		Campo electromagnético	Alteración de los campos electromagnéticos		Aumento de la intensidad de los campos electromagnéticos	Costa - Interior	
		Vibraciones	Alteración de los niveles de vibración		Aumento de los niveles de vibraciones	Costa - Interior	
	Hidrosfera-Recursos Hídricos Continentales	Hidrología	Red hídrica superficial			Costa - Interior	
	Hidrosfera - Recursos Hídricos Marinos	Calidad de agua y Sedimentos	Características sedimentos marinos			Alteración de la calidad de sedimentos marinos en el área de playa y fondo de mar	Costa
Características físico-química del agua					Alteración de parámetros físicos de la columna de agua de mar	Costa	
Medio biótico	Ecosistemas terrestres	Suelo	Alteración de la calidad del suelo			Pérdida de Suelo	Costa - Interior
			Plantas (Flora y vegetación)	Especies en categoría de conservación y/o con singularidad ambiental	<i>Copiapoa marginata</i>	Perdida de flora en esta de conservación, endémicas y de carácter singular	Costa - Interior
		<i>Cristaria glaucophylla</i>			Perdida de flora en esta de conservación, endémicas y de carácter singular	Costa - Interior	
		<i>Eulychnia breviflora</i>			Perdida de flora en esta de conservación, endémicas y de carácter singular	Costa - Interior	
		<i>Heliotropium floridum</i>			Perdida de flora en esta de conservación, endémicas y de carácter singular	Costa	
		Formaciones vegetacionales	Formación xerofítica de <i>Atriplex clivicola</i>	Pérdida de formaciones vegetacionales			
			Formación xerofítica de <i>Heliotropium floridum</i>	Pérdida de formaciones vegetacionales	Costa - Interior		
			Formación xerofítica de <i>Tetragonia maritima</i>	Pérdida de formaciones vegetacionales	Costa - Interior		
		Animales silvestres (Fauna)	Especies de interés y/o sensibles	<i>Liolaemus nigromaculatus</i>	Pérdida de hábitat y/o ejemplares	Costa - Interior	
				<i>Microlophus atacamensis</i>	Pérdida de hábitat y/o ejemplares	Costa - Interior	
	<i>Phalacrocorax gaimardi</i>			Pérdida de hábitat y/o ejemplares	Costa - Interior		
	<i>Lycalopex griseus</i>			Pérdida de hábitat y/o ejemplares	Costa - Interior		
<i>Phyllotis darwini</i>	Pérdida de hábitat y/o ejemplares			Costa - Interior			
Ecosistemas marinos	Biota	Comunidad plantónica			Afectación de comunidades planctónicas	Costa	
		Comunidad bentónica			Alteración de las comunidades bentónicas intermareales y submareales	Costa	

Medio	Componente	Factor	Sub-factor	Impacto	Sector(es)
		Comunidad nectónica		Afectación de comunidades nectónicas (ictiofauna)	Costa
		Mamíferos costeros		Pérdida o modificación de hábitat de mamíferos costeros	Costa
		Bancos naturales de recursos hidrobiológicos		Pérdida o modificación de hábitat de mamíferos costeros	Costa
Medio perceptual	Paisaje	Calidad y sensibilidad visual		Perdida de Atributos Biofísicos y Modificación de Atributos Estéticos e Intrusión Visual	Costa - Interior
Atractivos naturales o culturales	Turismo	Valor Turístico		Modificación Valor Turístico	Costa - Interior
Áreas protegidas y sitios prioritarios para la conservación					Interior
Uso del territorio	Infraestructura y equipamiento	Infraestructura vial, conectividad y transporte		Alteración en la conectividad existente	Costa - Interior
				Alteración de los flujos viales	Costa - Interior
	Actividades económicas productivas				Costa - Interior
Medio Humano	Dimensión Geográfica	Dinámicas del desplazamiento			Costa - Interior
	Dimensión Demográfica	Demografía local		Aumento de la Población Flotante en las Lozas Amarillas	Costa - Interior
	Dimensión Socioeconómica	Uso del espacio y recursos naturales		Pérdida de espacio geográfico de uso económico y acceso a recursos naturales en el varadero El Pedregal 2	Costa

B) Identificación de actividades y obras susceptibles de provocar efectos ambientales sobre componentes y factores ambientales

La ejecución del Proyecto involucra la realización de obras y actividades que son susceptibles de generar efectos sobre los componentes ambientales en cada una de las fases del mismo (construcción y operación y cierre) y para cada sector. Estas obras y actividades están descritas en detalle en la Tabla 27 y Tabla 28, a continuación.

Tabla 27: Actividades del proyecto en las fases de construcción, operación y cierre susceptible de causar daño ambiental en el sector costa. Fuente: Elaboración propia.

Sector	Fase	Actividades	
Costa	Construcción	Despeje de vegetación y habilitación de terreno para caminos de acceso e instalación de faenas	
		Habilitación de la instalación de faena	
		Habilitación área de ensamblaje ductos de aducción y descarga de agua de mar (Liberación ambiental del área, cercado del área a utilizar, Montaje y/o ensamblado de ductos)	
		Instalación Plataforma de Construcción instalaciones marítimas (Liberación ambiental de áreas a intervenir, Demarcación del área, Montaje de pilotes y plataformas prefabricadas)	
		Construcción instalaciones marítimas (Movimiento de Tierra y Explosiones en la Costa, instalación de plataformas para ductos)	
		Instalación ductos de aducción y descarga de agua de mar	
		Actividades de transporte (piezas, materiales, insumos y suministros, residuos)	
		Desarme y retiro de obras temporales	
		Instalación de Planta Desalinizadora (Liberación ambiental de áreas a intervenir, Demarcación del área, Movimientos de Tierra y Explosiones, Fundaciones, losas y Muros, Montaje de Equipos)	
		Montaje de Estación de Impulsión y Subestación eléctrica	
		Cierres Perimetrales	
	Operación	Conexión, pruebas y puesta en marcha	
		Proceso de aducción y acondicionamiento de agua de mar (Captación de agua de mar, Adición de anti fouling, filtrado)	
		Proceso de desalinización de agua de mar	
		Despacho de agua tratada (Bombeo de agua, Regulación de presión)	
		Descarga de salmuera (Descarga de agua de mar, Control de cloro libre residual)	
		Operaciones Complementarias (Abastecimiento y almacenamiento de insumos planta desalinizadora, Generación de energía de respaldo, Transporte de personal e insumos)	
		Mantenimientos (Correctivos y preventivos)	
	Cierre	Manejo de residuos: asimilables a domésticos, industriales no peligrosos, peligrosos	
		Desmantelamiento de la infraestructura, retiro de maquinarias	
		Restauración componentes ambientales afectados	
			Actividades de transporte (partes o piezas para reciclaje, suministros, residuos)

Tabla 28: Actividades del proyecto en las fases de construcción, operación y cierre susceptible de causar daño ambiental en el sector interior. Fuente: Elaboración propia.

Sector	Fase	Actividades
Interior	Construcción	Habilitación de los accesos, corte y despeje de vegetación
		Habilitación de las instalaciones de faena, estaciones de re-impulsión y reservorio
		Movimientos de tierra, escarpe, explosiones, nivelación de terreno, aperturas de zanjas y canalizaciones para acueductos, línea de transmisión eléctrica, planta fotovoltaica, estaciones de re-impulsión y reservorio
		Actividades de transporte (piezas, materiales, insumos y suministros, residuos)
		Montaje y ensamblaje de Acueductos (Bajada e instalación de cañerías en zanja, Soportes y fundaciones para válvulas de seguridad y señalética, Limpieza interior de las cañerías, prueba hidráulica)
		Montaje de Línea de Transmisión Eléctrica
		Construcción de piscinas para Reservorio
		Construcción obras especiales en cruces de quebradas y caminos
	Operación	Conexión, pruebas y puesta en marcha
		Conducción de agua tratada
		Generación y transmisión de energía eléctrica
		Recepción de agua tratada
		Mantenimiento preventivo
		Actividades de transporte (insumos y suministros, residuos)
		Conexión, pruebas y puesta en marcha
	Cierre	Desmantelamiento de la infraestructura, retiro de maquinarias
		Restauración componentes ambientales afectados
		Actividades de transporte (partes o piezas para reciclaje, suministros, residuos)

Tabla 29: Resumen de la escala de calificación de Magnitud e Importancia en la construcción, operación y mantención de una planta desalinizadora de ósmosis Inversa en el borde costero al norte de Chile. Fuente: Elaboración propia.

Factores ambientales	Construcción	Construcción	O&M	O&M	Resultados ambientales	Resultados ambientales
	Magnitud	Importancia	Magnitud	Importancia	Magnitud	Importancia
Factores fisicoquímicos	-116	179	-56	97	-172	276
Factores biológicos	-90	138	-38	52	-128	190
Factores socioeconómicos	-1	205	25	81	24	286
Resultados del proyecto	-207	522	-69	230	-276	752

Según la Tabla 29, los resultados indican que la construcción del proyecto tiene el impacto más negativo de acuerdo con el factor físico-químico (con un puntaje de -116) seguido por el factor biológico (-90). En cambio, el impacto más positivo corresponde al factor socioeconómico (+205) debido principalmente a la generación de empleo que producirá la construcción de la planta.

De esta forma, a partir del ejercicio de la Matriz de Leopold (ver Anexo 8.6), donde se evalúan los impactos aplicados en la construcción, operación y mantención de una planta desalinizadora, considerando el borde costero y el sector interior de la provincia de Copiapó, se identifican y analizan los impactos provocados por la actividad humana hacia el medioambiente a través de los factores biológicos, físico-químicos y socioeconómicos, según su Magnitud e Importancia. Para ello, a partir de la lista de 26 factores agrupados en 3 categorías medioambientales, se obtuvo como resultado que la instalación de la planta tiene un impacto más negativo de acuerdo con el factor físico-químico (con un puntaje de -116) y un impacto más positivo, correspondiente al factor socio-económico (+205), relacionado principalmente a la generación de empleo.

Finalmente, de acuerdo a los componentes y elementos evaluados para predecir el impacto ambiental de la Potencial Área de Desalinización, se puede indicar preliminarmente que el proyecto puede generar algunos de los efectos, características o circunstancias señalados del Artículo 11 de la ley 19.300, ley sobre Bases Generales del Medioambiente, y que según los antecedentes e información recopilados de proyectos de similares características y emplazados en la provincia de Copiapó (con RCA favorable), debería ser aprobado por el Servicio de Evaluación de Ambiental (SEA).

6. Comentarios y conclusiones

El presente proyecto ha generado un conjunto relevante de antecedentes para la identificación de zonas potenciales para la aplicación del concepto Agua y Energía, de manera de relevar las condiciones habilitantes para ello, en lo que respecta a catastros de proyectos de desalinización en operación y futuros, de plantas térmicas a carbón que se puedan reconvertir a plantas desalinizadoras, estimaciones de demanda por uso de agua (actual y futura) en ciudades, industria, agricultura y minería, su relación con la demanda eléctrica y su generación, todo ello en un contexto territorial, donde se han identificado las mejores condiciones geográficas para ello.

Uno de los productos relevantes tiene que ver con los catastros de plantas desalinizadoras actuales y futuras que se han levantado a partir de la información existente en el país. Se han encontrado 83 plantas desalinizadoras operativas a lo largo de todo el territorio nacional, desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Aysén, las que tratan agua de mar o agua subterráneas. De ellas, 42 corresponden a proyectos APR, 18 a proyectos mineros y 12 a sanitarias. Adicionalmente, se han identificado 28 proyectos futuros de desalinización, 22 de ellos relacionados a la minería (nuevos o expansiones) y 6 a empresas sanitarias. También se han incluido 3 sistemas de impulsión de agua de mar como parte del catastro.

Si bien la minería, es el sector que proyecta de manera sistemática su consumo y producción de agua desalinizada y el consumo eléctrico asociado (a producción e impulsión), se ha hecho un esfuerzo por estimar los caudales máximos proyectados de desalinización en el país. De esta forma, para las operaciones mineras e industriales se estima que la capacidad de desalinización aumentará de 5,6 m³/s a 12 m³/s y para el sector sanitario, ésta crece de 4,6 m³/s a 11,2 m³/s.

Respecto del consumo de electricidad para la desalación, se recomienda realizar un catastro específico en el que participen tanto el CEN como empresas distribuidoras aportando información no pública, en primera aproximación. Para una caracterización detallada es necesario involucrar a las empresas que operan los proyectos de manera de poder discriminar consumos al interior del proceso, relacionados ya sea a desalación, desalación parcial, elevación de agua y servicios auxiliares. Con lo anterior se vislumbra el desarrollo de un trabajo futuro para la construcción, calibración y perfeccionamiento de modelos de estimación de demanda eléctrica asociado a desalación, destinada a proyectar consumo eléctrico a partir de las proyecciones de demandas de agua, y su localización en el territorio nacional, tal y como se han caracterizado en este estudio.

Por otro lado, se ha desarrollado la metodología que considera las distintas variables y criterios que pueden afectar la decisión de desarrollo de proyectos de agua-energía, en particular de plantas desalinizadores en distintas zonas geográfica del país. El consultor ha propuesto la metodología y ha validado los umbrales y criterios de priorización de variables y atributos en 5 categorías (Fuente Agua Salobre, Condiciones del Terreno, Demanda de Agua, Áreas ambientales sensibles e Infraestructura) que afectan la decisión de desarrollo de las oportunidades de proyectos agua-energía y de las plantas desalinizadores en distintas zonas geográfica del país. Ello permite materializar la evaluación del concepto Agua y

Energía, ya que la herramienta permite apreciar en una misma área en el mapa ciudades, actividad agrícola e industrial, empresas de servicios sanitarios y mineras.

Adicionalmente, se ha llevado a cabo una caracterización de zonas con mejor oportunidad para el desarrollo de la desalinización, a partir del procesamiento de información geográfica (técnicas de superposición de capas) y la aplicación del conjunto de criterios y umbrales. En este aspecto se han evaluado 5 conjuntos de atributos, con el objeto de seleccionar 5 zonas propicias para la implementación de proyectos de desalinización. Ellas equivalen a tipologías relativas a Demanda de agua de distintos sectores, Escasez Hídrica, Desarrollo Agrícola, Reconversión de Centrales Térmicas y Escenario con Múltiples Criterios, lo que ha entregado como resultado una priorización de zonas en el país bajo las condiciones de dichos criterios.

Es importante hacer notar que para cada uno de los conjuntos de atributos se dispone de una jerarquización de zonas en todo el territorio y la modificación de criterios y umbrales permitiría seleccionar zonas distintas a las generadas en este estudio, si es que las condiciones de base cambian en el futuro.

Ello permitió seleccionar una zona de mayor interés (territorio frente al Valle de Copiapó, desde la costa hasta la precordillera), de común acuerdo con la contraparte técnica, donde se pudo llevar a cabo un análisis integrado en detalle del concepto agua – energía. En este análisis se ha podido llevar a cabo un ejercicio de desarrollo agua-energía-agricultura, sobre la base de la instalación de una planta de desalinización en dicha zona. En este ejercicio, a partir de un balance de oferta y demanda de agua, se ha podido corroborar que es factible, con una muy baja proporción del agua producida en la planta, abastecer la demanda de los pueblos y aldeas, sector pecuario e industrial de la zona, además de un desarrollo productivo basado en invernaderos para cultivos de olivos, uva de mesa y otros vegetales y frutas de exportación

La metodología desarrollada y reportada en este documento tiene importantes potencialidades para la visualización y zonificación de áreas potenciales, no sólo de proyectos de desalinización, sino que también es posible relacionarla a la ubicación de plantas sanitarias, potenciamiento de terrenos para la agricultura o industria y la habilitación de infraestructura eléctrica o de otro tipo (cercanía a puertos, carreteras, etc.), entre otros. Incluso puede llegar a integrarse como una herramienta tipo “explorador” sobre la que se lleven a cabo análisis de mayor complejidad en la evaluación de proyectos agua – energía.

Adicionalmente, se ha llevado a cabo un proceso de entrevistas a empresas públicas y privadas nacionales e internacionales, que desarrollan o impulsan proyectos de desalinización o tratamiento de agua, además de representantes de organismos locales de la región de Atacama. Ello ha permitido recopilar interesantes posturas y opiniones respecto a este tipo de iniciativas, lo que sin duda ha enriquecido el resultado de este estudio. Dentro de los principales hallazgos relacionados con las entrevistas se denota que la desalinización es una de las iniciativas más relevantes para resolver la problemática de la escasez del recurso, pero se observa una falta de planificación evidente por parte de las instancias reguladoras con competencia en el tema, además que su alto costo la hace prohibitiva para muchos usos (en particular, la agricultura tradicional).

Además, se debe distinguir entre los grandes proyectos de desalinización industrial y de baja escala (con buena recepción y acceso a comunidades más vulnerables) que, si no poseen un apoyo sostenido de las autoridades, dejan de estar operativos de manera temprana, junto con generar impactos ambientales importantes, lo que podría darse en Chile en los proyectos de APR o de comunidades aisladas. En la mayoría de los proyectos la osmosis inversa es la tecnología dominante, pero en los proyectos de pequeña escala podría haber espacio para tecnologías más innovadoras.

En lo que se relaciona al nexo principal entre agua y energía en estos proyectos, se observa una coincidencia feliz por su localización en regiones con altos potenciales de energías renovables, además de tecnificación del riego con energías renovables, uso de tranques de agua con paneles fotovoltaicos que disminuyen la evaporación, incorporación de minicentrales eléctricas en canales de regadío y promoción de la eficiencia energética en el sector agrícola.

A partir de las entrevistas y el análisis de los antecedentes, se ha llegado a la conclusión que la desalinización se podría convertir en el gran consumo eléctrico del futuro que no se ha visualizado, ya que sólo el sector minero ha cuantificado su consumo futuro de agua desalinizada, junto con la demanda eléctrica asociada, algo que no se realiza en ningún otro sector.

Por otro lado, se identificaron opciones asociadas a la valorización de la salmuera, para recuperar productos de interés como el hipoclorito de sodio, sodio, boro, litio, magnesio, potasio, entre otros, e iniciativas relacionadas con simbiosis industrial (economía circular).

Desde el punto de vista ambiental, se comentó que existe desconocimiento en la industria y el regulador respecto al impacto que pueden tener las plantas desalinizadoras en distintas zonas del país, debido a la ausencia de normas de calidad de agua en las bahías y una carencia de casi todo tipo de normas en el SEIA para las plantas desalinizadoras. Por otro lado, las zonas de abrigo que se recomiendan para instalar proyectos con infraestructura marina (porque se incurre en menores costos de infraestructura) es donde se puede producir el mayor impacto, ya que en ellas se produce el desove y están las zonas de alimentación de algunas especies.

La visión respecto al desarrollo de proyectos agua – energía sobre la base de plantas de desalinización en la región de Atacama, es que es un tema que viene en un muy buen momento, con muchas comunidades interesadas y con un gran potencial agrícola, pero el costo de producción e impulsión lo hace inviable, frente a la opción del uso de pozos subterráneos. La única opción es convertir territorios costeros a agrícolas en un formato tecnificado con invernaderos para reducir el costo de impulsión del agua desalinizada.

Sumado a este proceso de entrevistas se ha construido un mapa de actores relacionados con la desalinización y la escasez hídrica, en los que se ha evidenciado una disposición favorable a la realización de proyectos de desalinización en la región de Atacama.

Como recomendaciones finales, dados los principales hallazgos del proyecto, es importante considerar aspectos diferenciados para grandes plantas de desalinización, asociadas a grandes proyectos industriales y sin un beneficio social evidente para las comunidades, de las plantas pequeñas relacionadas a proyectos APR o pequeñas comunidades vulnerables, principalmente en la costa. En el caso de las pequeñas, es importante poner énfasis en la capacitación para la mantención y monitoreo del equipamiento y que no queden entregadas a la suerte de los usuarios. Los equipos son muy sensibles (especialmente las membranas de la osmosis inversa) por lo que la mala operación las puede dejar fuera de servicio. Además, se debe apoyar a estas comunidades para mejorar/cumplir las legislaciones y normativas ambientales que eviten impactos ambientales, pero que no se traduzcan en costos que hagan inviables su implementación. Respecto a la relación agua – energía, en este segmento se dan interesantes condiciones para la innovación y el desarrollo tecnológico, con aspectos como el abastecimiento con energías renovables, tecnificación del riego con energías renovables (bombeo solar), uso de tranques de agua con paneles fotovoltaicos que disminuyen la evaporación, minicentrales eléctricas en canales de regadío y promoción de la eficiencia energética en el sector agrícola, entre otras.

En el caso de las plantas grandes, es importante regular el territorio costero para evitar la concentración de dichas plantas en las bahías más propicias o al menos mezclar plantas grandes y pequeñas, que permitan hacerse cargo de la implementación y mantención de estas últimas, disminuyendo los impactos en el medio ambiente. También hacerse cargo de los temas regulatorios pendientes y mejorar la licencia social de este tipo de proyectos, de manera que los actores cercanos a la costa reciban también los beneficios asociados a este tipo de proyectos. Desde el punto de vista de la relación agua – energía, son muchas las opciones que pueden estudiarse más en detalle, dependiendo de las características de los territorios bajo análisis. Pero el intentar que el abastecimiento de energía sea con energías renovables y por otro lado cuantificar el consumo eléctrico futuro, que pareciera ser muy relevante más aún con la escasez hídrica en buena parte del país, son dos desafíos claves para este tipo de proyectos en los próximos años.

7. Referencias

- 1) Afify A. (2010). Prioritizing desalination strategies using multi-criteria decision analysis. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.03.005>
- 2) Anteproyecto Regional de Inversiones ARI MOP 2021. Cartografía Regional de Iniciativa de Inversiones, Abril 2020 (<http://sitministerial.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=138b3fc265d24f56879251b5cbf50cbc#>)
- 3) CNR , 2018. Infraestructura de datos geoespaciales, 2018
- 4) Cochilco (2019). Proyección de la producción de cobre en Chile 2019-2030.
- 5) Cochilco (2019a). Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2019-2030
- 6) Cochilco (2019b). Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2019 -2028.
- 7) COCHILCO (2020). <https://www.cochilco.cl/SIAC/Paginas/Mapa-Minero-de-Chile.aspx>
- 8) Dawoud o., Ahmed T., Abdel-Latif M. y Abunada Z. (2020). A spatial multi-criteria analysis approach for planning and management of community-scale desalination plants. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114426>
- 9) DGA (2017). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Agosto 2017.
- 10) Dirección General de Aguas, 2020. Decretos declaración zona de escasez vigentes. <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursosohidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- 11) Editec (2019). Catastro de Plantas Desalinizadoras y Sistemas de Impulsión de Agua de Mar (SIAM) 2018/19.
- 12) Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile (2017). MOP.
- 13) Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., et al. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: First mapping results with landsat tm and etm + data. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 2607–2654.
- 14) Hernández, H.J., Galleguillos, M & Estades, C. 2016. Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del Producto. Laboratorio GEP, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- 15) Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR) 2 Noviembre 2015.
- 16) Rojas P, Leonardo Muñoz C, Luis Soto D, Sebastian Arancibia A, Veronica Ibacache A, Gonzalo Gonzalez R, Rodrigo y Perez N, Karolina y Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi (2017) Antecedentes técnicos y económicos sobre producción de hortalizas baby en cultivo sin suelo bajo las condiciones de la región de Atacama [en línea]. La Serena Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6570> (Consultado: 21 diciembre 2020).
- 17) Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico del MOP
- 18) Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico del MOP

- 19) Plataforma de Aguas. <https://consejominero.cl/agua/>
- 20) Sepehr M., Fatemi S., Danehkar A. y Mashinchian A. (2017). Application of Delphi method in site selection of desalination plants. DOI: 10.22034/gjesm.2017.03.01.009
- 21) Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), 2020. Anuario de la Minería de Chile 2019. Servicio Nacional de Geología y Minería, 283 p. Santiago.
- 22) Superintendencia de Servicios Sanitarios (2018). Informe Gestión Sector Sanitario 2018
- 23) Superintendencia de Servicios Sanitarios. Territorios operacionales [shape]. Recuperado de: <http://sit.siss.cl/api/v2/map/13/layer/9/export?format=shapefile>
- 24) Vivekh P., Sudhakar M., Srinivas M. y Vishwanthkumar V. (2016). Desalination technology selection using multi-criteria evaluation: TOPSIS and PROMETHEE-2. DOI: 10.1093/ijlct/ctw001

8. Índice de Anexos

En esta sección se detallan los documentos anexos que forman parte de este estudio, ya sea como documentos o bien como archivos electrónicos.

Los anexos que forman parte de esta entrega en formato impreso son:

- 8.1) Información de proyectos mineros
- 8.2) Información demográfica
- 8.3) Estudios relacionados a criterios para selección de plantas desalinizadoras a nivel mundial
- 8.4) Criterios para la implementación de una Planta Desalinizadora de agua de mar
- 8.5) Actores relacionados a la Escasez Hídrica identificados
- 8.6) Actores relacionados a la impulsión de proyectos de desalación y agua-energía identificados
- 8.7) Estudio de Impacto Ambiental de Planta Desalinizadora de agua de mar en zona potencial
- 8.8) Listado de datos/variables relacionadas con restricciones del territorio

Los anexos en formato electrónico son:

- 8.9) Catastro de Plantas de Desalación en Chile
- 8.10) Archivos de respaldo de mapa de actores de la desalación y sequía
- 8.11) Shapefiles de Agricultura
- 8.12) Shapefiles de Ciudades, consumo de agua y población
- 8.13) Información de energía
- 8.14) Cuadros resumen de estudio demanda DGA 2017
- 8.15) Geodatos de información/mapas generados
- 8.16) Shapefiles de industrias fuera área urbana
- 8.17) Información de trazados de Ductos existente en Copiapó
- 8.18) Información de Proyectos mineros
- 8.19) Información y Shapefiles de Sanitarias