



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**SINERGIA ENTRE LOS SISTEMAS DE AGUA DESALADA DE LA MINERÍA Y
LOS REQUERIMIENTOS DE CONSUMO AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE
COPIAPÓ**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN
DE EMPRESAS**

JORGE ALEJANDRO MARTÍNEZ VARAS

PROFESOR GUÍA:

LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MARCOS MANUEL LIMA ARAVENA

LORETO MARCELA BURGOS RODRIGUEZ

SANTIAGO DE CHILE

2022

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE: Magister en Gestión y Dirección de Empresas.

POR: Jorge Alejandro Martínez Varas

FECHA: 2022

PROFESOR GUÍA: Luis Zavieso Schwartzman

SINERGIA ENTRE LOS SISTEMAS DE AGUA DESALADA DE LA MINERÍA Y LOS REQUERIMIENTOS DE CONSUMO AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE COPIAPÓ

La disminución de las precipitaciones, la sobreexplotación de los acuíferos y el otorgamiento de derechos de agua por sobre la oferta natural, han acentuado el conflicto por el agua entre la industria minera y otros sectores productivos, como la agricultura y el consumo humano.

En la provincia de Copiapó la minería es una de las industrias predominantes, y ha pesar que no es el mayor consumidor de agua, se ha convertido en un competidor para otros usuarios establecidos en la cuenca. Esta competencia ha generado un conflicto que se acentúa en base a supuesta desprotección de los usuarios contra los grandes grupos económicos y por la identificación de la minería como una industria contaminante.

Bajo este contexto de escases hídrica y de competencia por el recurso, la presente tesis analiza posibles sinergias entre minería y agricultura en la provincia de Copiapó, a modo de establecer si existe algún beneficio económico al sustituir por completo los flujos de agua continentales que utilizan las mineras por agua desalada y entregarlos a la industria agrícola.

El análisis constató una demanda actual de la industria minera por agua continental de alrededor de 1.000 l/s. Si la industria minera dejara de usar este flujo, se generaría un beneficio a la agricultura de aproximadamente 32,7 MUSD/anales.

Un sistema de abastecimiento único de agua desalada cubriría satisfactoriamente los requerimientos operaciones actuales y futuros bajo un modelo de contrato público-privado tipo BOOT (*Build – Own - Operate and Transfer*) en un plazo de 25 años y a una tarifa total de 6,26 USD/m³. Adicionalmente, se estima un ingreso al estado por concepto de Impuesto Específico a la Minería de al menos 310 MUSD/anales por concepto de proyectos mineros que se ejecutarían al disponer de agua para sus operaciones.

Se estima un costo aproximado de 43,8 MUSD por el pago de indemnizaciones por expropiación de derechos de agua, así como 125 millones de USD para cubrir costos de gestión e implementación del sistema de suministro de agua desalada.

La medida analizada en esta tesis, se enfocó en la necesidad de integración de las mineras dentro de la comunidad y en su estrategia de licencia social para operar, volviéndose un polo de desarrollo social de la regiones donde operan. Esta debiese formar parte de una completa cartera de iniciativas, las que requieren recursos financieros, voluntad y tiempo, en un esfuerzo conjunto entre el estado y la industria, buscando la sostenibilidad de ésta en el largo plazo. Una visión sistémica, integrada y enfocada en la sostenibilidad y manejo equitativo del recurso hídrico, ayudaría a terminar con el conflicto entre los diferentes fuerzas usuarias que tienen actualmente a la industria minera en tela de juicio.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 Objetivos Generales	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3 MARCO CONCEPTUAL	2
3.1 Análisis estratégico.....	4
3.2 Componente económica financiera	5
4 METODOLOGÍA	5
4.1 Área de Estudio	6
4.2 Metodología general.....	7
4.3 Determinación del balance hídrico.....	8
4.4 Productividad del agua	9
4.5 Costos de inversión y operación sistemas de agua desalada	10
4.6 Precio de venta de agua desalada	10
4.7 Viabilidad del proyecto	12
5 BALANCE HÍDRICO	13
5.1 Demanda hídrica minera	13
5.2 Oferta hídrica Copiapó	17
5.3 Demanda hídrica Copiapó.....	19
5.4 Balance oferta – demanda	23
6 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	24
6.1 Agricultura en la provincia de Copiapó	24
6.2 Productividad económica del agua.....	24
7 COSTO DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DESALADA	27
7.1 Red de suministro de agua desalada.....	27
7.2 Características Sistema de Suministro	29
7.3 Costos de Inversión	30
7.4 Costos de Operación.....	30

7.5	Precio de venta agua.....	31
8	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
8.1	Análisis del balance hídrico	33
8.2	Beneficios al sector Agrícola	35
8.3	Traspaso de los derechos de agua.....	35
8.4	Sistema de abastecimiento único de agua desalada.....	36
8.5	Viabilidad de la propuesta.....	39
9	CONCLUSIÓN.....	41
10	BIBLIOGRAFÍA.....	44
11	ANEXOS.....	47
11.1	Anexo 1 – Unidades territoriales acuífero río Copiapó.....	47
11.2	Anexo 2 - Demanda Legal de Agua Superficial.....	49
11.3	Anexo 3 – Cálculo PEA	53
11.4	Anexo 4 – Criterios de Diseño Sistema de Impulsión de Agua Desalada	59
11.5	Anexo 5 – Estimación de costo de inversión sistema de Impulsión	60
11.6	Anexo 6 - Estimación de costo de operación sistema de Impulsión	62
11.7	Anexo 7 - Estimación Precio de Venta	65
11.8	Anexo 8 – VAN Viabilidad Propuesta.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1 Consumo de Agua Nominal Mineras en Operación	13
Tabla 5-2 Resumen demanda de agua minería por tipo de fuente.....	14
Tabla 5-3 Consumo de Agua Nominal Proyectos Mineros	14
Tabla 5-4 Características sistemas de impulsión existentes	15
Tabla 5-5 Características sistemas de impulsión proyectados	16
Tabla 5-6 Unidades Territoriales	18
Tabla 5-7 Caracterización Oferta hídrica (l/s).....	18
Tabla 5-8 Flujos de derechos de agua subterráneos por sector	20
Tabla 5-9 Acciones y flujos superficiales y su distribución.....	21
Tabla 5-10 Demanda legal total.....	21
Tabla 5-11 Número de clientes según destino inmueble y consumo diario	22
Tabla 5-12 Demanda total real	22
Tabla 5-13 Balance Hídrico en l/s	23
Tabla 6-1 Productividad del Agua.....	25
Tabla 6-2 Estimación beneficio económico anual para al agricultura.....	25
Tabla 7-1 Flujos de Diseño.....	29
Tabla 7-2 Características Sistema de Distribución.....	29
Tabla 7-3 Costo de Inversión Sistema de Suministro de Agua Desalada en Millones de USD (MUSD).....	30
Tabla 7-4 Costos de Operación	31
Tabla 7-5 Precio de Venta Agua Desalada.....	31
Tabla 8-1 Precio derechos de agua sectores acuífero de Copiapó.....	36
Tabla 11-1 Unidades Territoriales	47
Tabla 11-2 Número de comunidades, comuneros y acciones por distrito.....	49
Tabla 11-3 Caudales superficiales y acciones por temporada	50
Tabla 11-4 Acciones y flujos superficiales y su distribución.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 4-1 Cuenca del Río Copiapó	7
Figura 5-1 Rio Copiapó Medio y sus afluentes	17
Figura 8-1 Red de Suministro Agua Desalada Proyectada.....	27
Figura 11-1 Sectores Acuífero de Copiapó	48
Figura 11-2 Localización Distritos	49

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, Chile se ha consolidado a nivel regional por su constante crecimiento en el uso de la desalación. A la fecha, concentra un valor total de producción que bordea los 590.000 m³/día, mediante plantas de osmosis inversa. Esta producción se ha concentrado históricamente en instalaciones para proveer de agua a la industria minera.

Al año 2020, el agua desalada consumida por la gran minera del cobre en el norte de Chile es de aproximadamente 5.295 l/s (457.475 m³/día). Ésta es utilizada para diversas actividades como la concentración, hidrometalurgia, fundición, refinería y áreas de servicios propios de las faenas. De acuerdo con COCHILCO, bajo el escenario más probable, el consumo de agua desalada por la industria minera alcanzaría aproximadamente 11.500 l/s (993.600 m³/día) al año 2030. La inversión asociada a esta infraestructura de desalación e impulsión bordea el billón de dólares, para sistemas que producen más de 700 l/s de agua desalada y utilizan impulsiones de más de 160 km hasta las instalaciones de la mina.

Por otra parte, la evidente disminución de las precipitaciones ha traído como consecuencias una reducción de los recursos hídricos en distintas zonas del norte, a lo que se suma el otorgamiento de derechos de agua por sobre la oferta natural, llegando en algunos casos a establecer zonas de prohibición de explotación de aguas subterráneas. Diversos autores han explicado como el agua constituye una parte esencial de la identidad sociocultural de las comunidades del norte de Chile, la cual se ve precarizada en su sustentabilidad social y económica, afectando lo que podría considerarse como la forma más evidente de apropiación de su entorno socio-geográfico.

El Gobierno de Chile ha buscado soluciones para dar respuesta a esta necesidad hídrica. Se han desarrollado políticas públicas que fomentan la creación de proyectos de desalinización en estas en zonas de escasez de agua y aumento de demanda. Con ello Chile concentra hoy la mayor cantidad de sistemas de desalinización en operación y estudio de Sudamérica.

Una sinergia entre las distintas empresas mineras que poseen o proyectan sistemas de abastecimiento de agua desalada y la necesidad del Estado de Chile de abordar la sequía, podrían resolver en parte la problemática del estrés hídrico. A esto se suman las diferentes estrategias corporativas de las empresas mineras que buscan Agregar Valor Social y obtener Licencia para Operar.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Generales

En el actual contexto de escasas hídrica que afecta la provincia de Copiapó, se analiza si existe algún beneficio económico al sustituir por completo los flujos de agua continentales que utilizan las mineras por agua desalada.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se tienen los siguientes:

- 1) Establecer el balance hídrico de la provincia de Copiapó, caracterizando la oferta y la demanda de agua a modo de evaluar si existe déficit o superávit del recurso
- 2) Determinar cual es el beneficio económico para la industria agrícola, al restituir los flujos de aguas continentales que actualmente utilizan las mineras, dejándolos disponibles para su uso.
- 3) Determinar los costos de inversión y operación de un sistema centralizado único de distribución de agua desalada, que cubra la demanda minera en un 100%
- 4) Determinar el precio de venta de agua desalada (USD/m³) en base aun sistema único centralizado de distribución agua para todas las mineras.
- 5) Determinar el beneficio en términos de valor actual neto, de tener un sistema único de suministro de agua desalada para las mineras.

3 MARCO CONCEPTUAL

Es sabido que la industria minera es altamente intensiva en capital y en el consumo de recursos, tanto hídricos, como energéticos y de tecnología. Desde el punto de visto económico, esto no necesariamente es una cuestión negativa para los países y comunidades aledañas a las mineras, dado que el intercambio entre los diferentes sectores productivos trae consigo múltiples beneficios, incrementando la dinámica económica y social, lo que se ve reflejado en el aporte de la minería al PIB. Para el caso particular de la Región de Atacama y de acuerdo con lo informado por el Banco Central de Chile¹, del PIB Regional al año 2019 era de 3.997 miles de millones de pesos encadenados, y la participación de la industria minera equivalía a 35,9%.

¹ Banco Central, Base de Datos Estadísticos. Las series del PIB por región se encuentran disponibles en la página web del Banco, en la Base de Datos Estadísticas (BDE), sección Cuentas Nacionales, bajo el título “PIB gasto e ingreso/Referencia2013” en el apartado “Producto interno bruto regional”. https://si3.bcentral.cl/siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2013_PIB_REGIONAL

Si bien la minería no es uno de los mayores consumidores del recurso hídrico (aproximadamente 3% del consumo de agua a nivel nacional, DGA 2017), en comparación con otras actividades productivas como la agricultura con un porcentaje mayor al 70% del consumo, se evidencia un creciente conflicto por el elemento entre la industria minera y los otros sectores productivos, en especial la agricultura y el consumo humano. En el caso de la provincia de Copiapó, en la cual la minería es una de las industrias predominantes, ésta se convierte en un competidor para otros usuarios establecidos en la cuenca (agricultura y consumo humano), incrementando aún más la competencia y el conflicto cuando las nuevas mineras tienden a competir con los usuarios agrícolas ya establecidos.

El conflicto que se genera entre la minería y los otros usuarios del recurso, es provocado y acentuado en base a:

- La supuesta desprotección de los usuarios contra los grandes grupos económicos
- Lo difícil que resulta demostrar el uso del recurso, sobre todo cuando existe uso sin derechos ni permisos o regularización de un ente público
- Lo dificultoso del establecer un balance hídrico entre oferta y demanda del recurso, sobre todo en épocas de estrés hídrico
- La minería es identificada como una industria contaminante, cuyos pasivos ambientales persisten más allá de la vida útil de los proyectos
- La minería modifica la capa vegetal, la topografía de la zona, en algunos casos interfiere glaciales, etc., incrementando la mala reputación de éstas
- En agricultura, el agua utilizada tiene un alto porcentaje de retorno al no ser usada en su totalidad, devolviéndola para el uso de otros ya sea en forma de escorrentía directa o de recarga al acuífero. En el caso de la minería, el recurso es consumido y no aprovechado por otros, afectando directamente su disponibilidad

Por todo lo anterior, muchas veces el conflicto genera consecuencias que van más allá de lo que la normativa vigente puede manejar.

Se puede ver que existen dos fuerzas en juego que imponen un desafío tanto desde el punto de vista institucional como legal. Este desafío requiere resolver el conflicto por el uso intensivo del recurso bajo los requerimientos legales, ambientales y sociales vigentes.

La provincia de Copiapó se caracteriza por ser una zona intensiva en minería, presentando una disponibilidad de recursos hídricos limitados, los cuales son actualmente escasos tanto por la sobreexplotación del acuífero, como por el otorgamiento de derechos de agua que van más allá de la recarga natural del sistema, y adicionalmente, por la sequía que ha afectado la zona por años.

Bajo este contexto de escasas hídrica, y luego de años de crecimiento de la industria minera en la zona, la provincia de Copiapó enfrenta este conflicto entre dos fuerzas que requieren el recurso, por un lado, la industria minera, y por el otro, el consumo asociado a la agricultura

y el consumo humano. El conflicto requiere una intervención institucional, y nace la necesidad de indagar en alternativas que busquen un equilibrio entre la demanda y oferta de agua.

Conocer la demanda y oferta de agua en la provincia, es el paso inicial para resolver el conflicto. Si bien, diversos estudios intentan caracterizar esta oferta y demanda desde el punto de vista hidrológico, ninguno de ellos propone soluciones integrales en base a modificaciones en los sistemas de abastecimiento de agua desalada de las mineras, los cuales ayudarían a subsanar en parte el conflicto bajo un marco estratégico de sustentabilidad y de licencia para operar de éstas.

Conocida la oferta y demanda hídrica, es posible establecer el déficit que genera el conflicto entre las fuerzas. Conceptualmente, el déficit podría ser cubierto mediante un sistema de abastecimiento centralizado de agua desalada para las mineras, a modo de que estas dejar de utilizar el agua continental. Ciertamente, es importante indagar en costos de inversión y operación asociados, beneficios por mayores ingresos tributarios al habilitar proyectos que históricamente no se han desarrollado por el costo del agua, beneficios al sector agrícola al tener un mayor volumen de agua disponible, entre otros. Finalmente, un nuevo equilibrio hídrico en base a agua desalada subsanaría conceptualmente el conflicto de fuerzas por el recurso.

3.1 Análisis estratégico

En el pasado, la industria minera consideraba que mediante la generación de empleos y el pago de impuestos a los estados era suficiente para obtener la llamada “licencia para operar”. Hoy en día, considerando las políticas populares y el crecimiento del activismo social y ambiental, muchos ejecutivos de compañías mineras consideran que la industria debe ir más allá, sobre todo ante el conflicto de fuerzas por el recurso hídrico analizado anteriormente.

De acuerdo con Mark Cutifani, presidente ejecutivo de Anglo American plc, “el status quo de la minería no era sostenible y la industria necesita moverse más allá de lo que pensábamos anteriormente como la forma en que la minería agrega valor”.

Adicionalmente, ante este nuevo escenario, BHP ha iniciado una estrategia para que todos los gerentes de sus plantas, tanto de metales como de otras industrias, inicien un análisis del impacto que tienen sus operaciones en las comunidades locales, y no solo poner el foco en los costos, la producción y la seguridad de sus trabajadores, explicando estos análisis en sus reportes anuales. El director de asuntos externos de BHP, Geoff Healy, ha reforzado el papel de la compañía en la transición de mantener una licencia social a crear valor social, “*For us, it is – plain and simple – good business. We are part of a society that expects more of us. We recognize that our success depends on our ability to earn their trust and confidence*”.

Como fue explicado anteriormente, es interesante ver el rol de la minería en la generación de valor a la sociedad por medio de su impacto en la empleabilidad, la pobreza y la calidad de vida, etc., sin embargo, la comunidad observa una disparidad en la distribución de la riqueza dada por las grandes ganancias de las mineras, reclama por los problemas ambientales que

acarrea la actividad minera, el supuesto consumo indiscriminado del recurso hídrico y las consecuencias de la contaminación en la salud de la comunidad.

Dentro de este contexto y a pesar del evidente desarrollo económico y social que ha generado la minera, las estrategias corporativas de las mineras van más allá, e incorporan el concepto de “valor social” y “licencia social”, enmarcado en un ambiente socio político de desconfianza total de las autoridades, rechazo a la actividad minera y de las grandes empresas.

La presente tesis de magíster se enmarca en los pilares estratégicos de las compañías mineras de la provincia de Copiapó que dice relación con la “Licencia Social para Operar”, cuyo modelo de gestión correspondería al de Sustentabilidad y en como una planificación centralizada por parte del estado podría poner fin al conflicto entre las diferentes fuerzas que requieren el recurso.

3.2 Componente económica financiera

Los siguientes beneficios son esperados al restituir el flujo de agua continental actualmente utilizado por las mineras a la cuenca del río Copiapó, y al suministrar agua desalada a proyectos futuros mediante un sistemas de abastecimiento único y centralizado para las mineras.

- Aumento de la disponibilidad de agua continental, lo que disminuye la incertidumbre por la disponibilidad del recurso, esperando una mejora en la producción agrícola
- Beneficio por pérdida evitada al mantener la producción actual, evitando el efecto negativo de la sequía
- Habilitación de proyectos mineros que por costos no pueden desarrollarse por falta del recurso, o por el costos de inversión para sistema de suministro de agua desalada demasiados altos para el tamaño del proyecto

Se estimará el costo de agua por metro cúbico que cubra el consumo de agua actual y futuro de las mineras, en base a las inversiones requeridas para la ejecución de un sistema de suministro de agua único centralizado, y a los costos operacionales y financieros para su operación y ejecución.

Determinados los beneficios y costos asociados se determinará la viabilidad económica en base a la metodología del Valor Actual Neto (VAN) del proyecto.

4 METODOLOGÍA

La presente sección presenta la metodología considerada para alcanzar los diferentes objetivos específicos del estudio. Se presenta el área geográfica que abarcará el estudio, la metodología general utilizada y las diferentes estrategias para abordar los objetivos específicos del estudio, los cuales se resumen a continuación:

- 1) Establecer balance hídrico de la provincia de Copiapó para determinar la existencia de un déficit

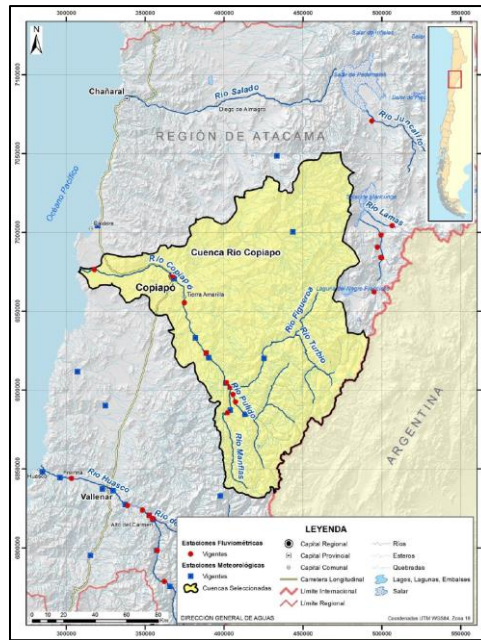
- 2) Determinar beneficio económico para la agricultura producto de la mayor disponibilidad de agua continental
- 3) Determinar los costos de inversión y operación de un sistema único centralizado de suministro de agua desalada para la minería
- 4) Determinar precio de venta de agua desalada de un sistema único centralizado
- 5) Determinar el beneficio en términos de valor actual neto de un sistema único centralizado de suministro de agua desalada para las mineras.

Primeramente, se definirá el área de estudio y se presentará la metodología general.

4.1 Área de Estudio

El estudio abarca la zona de la cuenca del río Copiapó, en la tercera región de Atacama, provincia de Copiapó. Esta zona posee una superficie aproximada de 18.400 km², caracterizado por un clima árido. El cauce principal corresponde al río Copiapó, el cual tiene una longitud de 169.135 m y un caudal medio anual en la estación “Copiapó en La Puerta” de 2,6 m³/s. Los afluentes del río Copiapó son los ríos Jorquera, Pulido y Manflas. Adicionalmente, la cuenca posee un embalse artificial, el Embalse Lautaro, con una superficie 1,3 km² y una capacidad de 26 millones de m³, y la laguna Los Helados, que posee una superficie de 0,2 km². La siguiente figura presenta la delimitación de la cuenca del río Copiapó considerada en la presente tesis.

Figura 4-1 Cuenca del Río Copiapó²



4.2 Metodología general

Primeramente, basado en diferentes estudios de universidad y otros entes gubernamentales y privados, se estiman los flujos de oferta³ y demanda⁴ de la cuenca. Conocidos estos valores, se calcula un balance hídrico para establecer el déficit hídrico de la cuenca del río Copiapó.

Dado que se pretende establecer el beneficio de un sistema único de suministro de agua desalada para las mineras, primeramente se requiere conocer cual es el consumo de agua actual de las mineras, y sus diferentes fuentes de abastecimiento. Conocido el flujo de agua continental que éstas utilizan, se estimará el beneficio económico para la agricultura al disponer de esta agua que actualmente es utilizada por las compañías mineras.

Adicionalmente, se determinará la demanda de agua futura de los proyectos mineros, información que en conjunto con el consumo actual se utilizará para diseñar un sistema único de suministro de agua desalada, el cual debe considerar una planta desaladora en la costa de la provincia, un sistema regulador de volúmenes mediante piscinas, un sistema de impulsión,

² Cuenca Río Copiapó. Información Hídrica de las Cuencas Priorizadas, Fichas Temáticas. Dirección General de Aguas.

³ Oferta: flujos que ingresan a la cuenca por lluvia y derretimiento de nieve.

⁴ Demanda: flujos consumido por las mineras, la agricultura, consumo humano y otras actividades económicas.

suministro eléctrico y otras facilidades propias de estos sistemas. Definido el sistema, se calcula el monto de inversión, costo de financiamiento y costo de operación, lo cual es utilizado para establecer el precio de venta de agua a las diferentes mineras.

Conocido el costo de inversión y operación, los ingresos por venta de agua desalada, el beneficio económico de restituir el flujo de agua para la agricultura y los ingresos al estado producto de los impuestos que pagarían las mineras que se encuentran en etapa de proyecto y que serían beneficiadas por el nuevo sistema de suministro de agua, se evalúa el proyecto mediante la metodología de Valor Actual Neto.

4.3 Determinación del balance hídrico

El balance hídrico permite conocer la existencia de déficit o superávit hídrico en la zona de estudio.

Dado que las aguas subterráneas y superficiales en Chile son manejadas de manera independiente, para realizar un balance hídrico se requieren revisar antecedentes del tipo administrativos (acciones de agua) y de distribución y uso (agrícola, consumo humano, consumo minero).

Para establecer el balance hídrico se considera la metodología de oferta y demanda de agua, la cual busca establecer los flujos superficiales y subterráneos disponibles de manera natural (oferta) y los flujos de demanda, es decir, los consumidos por la minería, la agricultura, consumo humano y otras actividades económicas.

Para la estimación de la oferta y la demanda de aguas superficiales se consideran las siguientes fuentes de información

- Oferta: se obtiene sobre la base de lo informado por las diferentes estaciones de monitoreo de caudales de acuerdo con la base de datos de la DGA y estudios de DICTUC.
- Demanda legal: se obtiene de la base de datos de las acciones de agua otorgadas por la DGA en la provincia de Copiapó. Información pública, disponible en la página web www.dga.cl.
- Demanda real: se obtiene sobre la base de lo informador entregada por la Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes.

Para la estimación de oferta y demanda de aguas subterráneas se consideran las siguientes fuentes de información.

- Oferta: se obtiene de acuerdo con modelo hidrogeológico realizado por DICTUC (2010)
- Demanda legal: se obtiene en base a las acciones de agua entregada a los diferentes usuarios, incluidas las compañías mineras.
- Demanda real: se obtiene de acuerdo con modelo hidrogeológico realizado por DICTUC (2010)

Sobre la base de la información de oferta y demanda se estima el balance hídrico legal y el balance hídrico real, determinando si existe un déficit o un superávit.

La metodología requiere conocer quiénes son los consumidores del recurso, en este caso: compañías mineras, agricultores y empresas sanitarias. Para conocer estos consumidores, se consideran las siguientes fuentes de información:

- Compañías Mineras en Operación en el área de estudio. La información se obtiene de acuerdo con lo informado por el Servicio Nacional de Geología y Minería. La información relacionada con las capacidades de procesamiento se obtiene de lo informado oficialmente por las diferentes compañías mineras y lo indicado en las diferentes Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de cada una de las mineras.
- Proyectos Mineros en el área de estudio. La información se obtiene de acuerdo con lo informado por el Servicio Nacional de Geología y Minería, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y en las diferentes páginas web de compañías mineras que operan en la zona.
- Usuarios de agua superficiales del área de estudio, de acuerdo con lo informado por la Junta de Vigilancia de Río Copiapó y sus Afluentes.

En relación con la determinación de la oferta no continental, esto es, sistemas de abastecimiento de agua desalada, se requiere conocer sus principales características, capacidades actuales y futuras (proyectos futuros). Para esto, se consideran los siguientes pasos.

1. Identificación de plantas desoladoras que abastecen a las mineras en la provincia de Copiapó, que se encuentren en operación y proyectadas, determinando su ubicación, capacidad de diseño y su capacidad nominal.
2. Identificación de los sistemas de impulsión de agua desalada en operación y proyectados, ubicación, principales características y capacidades de bombeo.
3. Identificación de los sistemas de abastecimiento de agua potable y regadío, en operación y proyectados, cercanos a los centros mineros.
4. Identificación de la red regadío de la agricultura en la zona de estudio.

Recopilada la información se procede a georreferenciar todos los sistemas de abastecimiento de agua desalada (planta desaladora – impulsión) de las compañías mineras.

4.4 Productividad del agua

Se propone una metodología que permite valorar el recurso hídrico mediante el indicador “Productividad Económica del Agua” LOPEZ (2014) el cual establece la ganancia económica por metro cúbico de agua utilizado ($\$/m^3$), durante una temporada productiva.

De acuerdo a lo planteado por LOPEZ (2014): “se define como productividad del agua al monto de dinero nominal que potencialmente obtendría el agricultor directamente por el uso de agua en una determinada especie agrícola”.

La productividad del agua (PEA) se calcula como la razón entre el margen de contribución y el agua empleada en el proceso productivo en base a la siguiente expresión:

$$PEA \left(\frac{\$}{m^3} \right) = \frac{MC \left(\frac{\$}{ha} \right)}{NHC \left(\frac{m^3}{ha} \right)}$$

Donde:

PEA : productividad económica del agua, \$/m³

MC : margen de contribución de cada hectárea productiva, \$/ha

NHC : necesidad hídricas de una hectárea productiva, m³/ha

4.5 Costos de inversión y operación sistemas de agua desalada

En base al consumo actual y futuro de las compañías mineras es posible determinar el flujo de diseño de un sistema único de suministro de agua desalada.

El sistema proyectado suponen inversiones asociados a la instalación de una nueva planta desaladura, sistemas de capacitación de agua de mar y de descarga de salmuera, sistema de regulación de volumen, sistemas de impulsión mediante tubería, sistemas de bombeo, suministro eléctrico y otras facilidades requeridas para la operación del sistema.

Los parámetros utilizados para establecer el costos de inversión y operación son presentados en detalle en el Anexo 5 y 6.

4.6 Precio de venta de agua desalada

Para estimar el precio de venta del agua a las diferentes mineras desde un sistema de distribución único, se considera aun modelo tipo BOOT (*Build – Own - Operate and Transfer*). Este modelo de contrato conjuga recursos públicos y privados para implementar infraestructura intensiva en capital. De esta manera, un agente privado aporta recursos financieros para la construcción y operación del sistema de distribución, a cambio del derecho de venta de agua durante un periodo de tiempo que se instrumenta a través de un contrato de compraventa de agua por el que se paga una tarifa de agua por un caudal de agua, tras ese periodo de concesión, el activo podría volver o no a manos de la entidad pública.

Este modelo permite traspasar el riesgo entre las empresas privadas y los organismos públicos. Estos últimos, reciben financiamiento para sus obras públicas evitando destinar grandes montos de recursos fiscales a estas obras de infraestructura, y por su lado, las empresas privadas consiguen mayor estabilidad, al invertir y operar las infraestructuras de que generan ingresos predecibles y recurrentes.

De manera simplificada, para estimar el precio de venta y para analizar la viabilidad económica del proyecto, se propone la metodología del Valor Actual Neto. Esta metodología permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es

decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Los flujos de caja consideran los siguiente montos anuales

- Desde el año 1 se consideran los costos asociados a montos pre-inversionales entre los cuales se incluye:
 - a) Ingeniería de Perfil
 - b) Ingeniería Conceptual
 - c) Ingeniería de Prefactibilidad A y B
 - d) Ingeniería de Factibilidad y Estudios Geotécnicos
 - e) Ingeniería de Detalles
 - f) Línea Base Ambiental y Estudio de Impacto Ambiental
 - g) Ingeniería de Permisos

Todos estos montos son financiados en un 100% por el ente privado, como parte de un proceso de licitación competitivos entre varios oferentes.

- Del año 5 al 5 se consideran costos asociados a montos de ejecución del proyectos, esto son:
 - a) Compra de equipos y materiales
 - b) Construcción y montaje
 - c) Comisionamiento y Puesta en Marcha

Se considera que estos montos son financiados por el ente privado considerando prestamos de la banca a una tasa anual del 4%, sin equity por parte del privado.

- A partir del año 16 comienza la operación del sistema, y bajo un horizonte de evaluación del 25 años los siguientes montos son considerados
 - a) Costos
 - I. Costo de Operación Anual
 - II. Multas. Se considera como máximo un 50% del ingreso por venta de agua anual
 - b) Ingresos
 - I. Ingresos por venta de agua los cuales son reajustados anualmente a un tasa del 3,0%.

El precio de venta que considerado será aquel que genere un VAN = 0 a una tasa de retorno del 8%.

Se calcula el valor actual neto del proyecto en base a la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

VAN : Valor actual neto

Q_n : flujo de caja anual del año n

N : número de períodos considerados = 35 años, de los cuales 5 años corresponden a flujos de caja de estudios preinversionales y de ejecución, y 25 años de flujos de caja operacionales

r : tasa de interés. Se considera un 8%

4.7 Viabilidad del proyecto

La sinergia entre minería y agricultura, se puede medir considerando que existe un $VAN > 0$ a una tasa de retorno social del 6% al considerar los flujos de cajas descontados.

Estos flujos corresponden a los beneficios y costos que surgen producto de la implementación del sistema de distribución único de agua desalada para las mineras, entre ellos:

1. Beneficio económico a la agricultura que se genera al dejar de utilizar los flujos continentales. Este beneficio económico se mide mediante el PEA anual
2. Mayor ingresos al estado de Chile, producto del impuesto específico e impuesto a la renta que se obtendrían desde los proyectos mineros que podrían ser ejecutados producto de la disponibilidad de agua para su operación
3. Otros beneficios indirectos que se generarían producto del aumento de la económica de la agricultor y de la nueva actividad minera. Los cuales no forman parte del presente estudio
4. Costos asociados a la expropiación de derechos de agua de compañías mineras

5 BALANCE HÍDRICO

La presente sección tiene como objetivo determinar la existencia de un superávit o déficit hídrico en la zona de estudio.

Éste se obtiene como la diferencia entre la oferta y la demanda de agua. Un valor positivo indicará un superávit, y un valor negativo indicará déficit.

5.1 Demanda hídrica minera

A continuación, se presenta un análisis de la demanda hídrica de la industria minera en la provincia de Copiapó, tanto para mineras en operación como los proyectos futuros.

5.1.1 Demanda actual

En la provincia de Copiapó existen alrededor de 34 plantas procesadoras de mineral asociadas principalmente a la extracción de hierro y cobre.

La Tabla 5-1 presenta las mineras en operación, dueño, *commodity* y su consumo medio de agua estimado.

Tabla 5-1 Consumo de Agua Nominal Mineras en Operación

Minera	Dueño	Commodity	Flujo Nominal (l/s)
La Coipa (Fase 7)	Kinross Gold Corporation	Oro	76,0
Cerro Negro Norte	Compañía Minera del Pacífico	Hierro	150,0
El Jilguero	Cementos Bio Bio	Caliza	0,2
Bellavista*	Minera Santa Fe Holding SpA	Hierro	50,0
Ojos del Salado	Lundin Mining Corp - Sumitomo Corp	Cobre	89,4
Atacama Kozan	SCM Atacama Kozan	Cobre	66,7
Pucobre (San José)	Sociedad Punta del Cobre S.A.	Cobre	116,7
Candelaria	Lundin Mining Corp	Cobre	570,0
Planta Cerrillos-Mina Carola	Grupo Minero Carola-COEMIN	Cobre	177,0
Caserones	SCM Minera Lumina Copper	Cobre	518,0
Mantos Cobrizos	Cia. Minera Carmen Bajo	Cobre	0,5
Planta Matta	Enami	Cobre	13,9
Mina Mantos de Cobre	Sociedad Punta del Cobre S.A.	Cobre	2,9
Planta Biocobre	Sociedad Punta del Cobre S.A.	Cobre	-
Planta San Esteban III	Cia. Minera San Esteban Primera S.A.	Cobre	22,0

Minera	Dueño	Commodity	Flujo Nominal (l/s)
Proyecto Vidalita	EMU Chile SPA	-	-
Minera Vicuña - Sector Tamberías	Frontera Chile LTDA	Oro-Cobre	-
Mina Osornina	CCA Chile Inversión y Desarrollo Minero S.A.	Hierro-Cobre	0,3
Tigresa	Cia Minera Carmen Bajo	Cobre-Hierro	5,1
Planta Magnetita	Cia. Minera del Pacífico	Hierro	40,0
Mina Sol Naciente	Minera Nittetsu Chile LTDA	Cobre	0,8
Total			1899,5

Dependiendo de la fuente del suministro, la Tabla 5-2 presenta un resumen de la demanda de agua actual.

Tabla 5-2 Resumen demanda de agua minería por tipo de fuente

Tipo de Demanda	Flujo (l/s)
Demanda Agua Desalada	899,4
Demanda Aguas Superficiales	1000,1
Demanda Total	1899,5

Del total del agua demanda, aproximadamente el 47,3% corresponde a agua desalada, principalmente de las mineras Cerro Negro Norte, Planta de Magnetita y Candelaria.

5.1.2 Demanda futura

La Tabla 5-3 presenta la demanda nominal de proyectos futuros en la provincia de Copiapó. La información fue extraída desde el servicio de evaluación ambiental (SEIA) y páginas web de las propias mineras.

Tabla 5-3 Consumo de Agua Nominal Proyectos Mineros

Minera	Dueño	Comodity	Flujo Nominal (l/s)
Fenix Gold	Rio2 Limited	Oro	20,0
Lobo-Marte	Kinross Gold Corporation	Oro	70,0

Minera	Dueño	Comodity	Flujo Nominal (l/s)
La Pepa	Mineros S.A.	Oro	60,0
Volcán	Hochschild Mining	Oro	138,0
Refugio*	Kinross Gold Corporation	Oro	95,0
Caspiche (Norte Abierto)	Newmont Mining Corp-Barrick Gold	Oro	
Cerro Casale (Norte Abierto)	Newmont Mining Corp-Barrick Gold	Oro	900,0
Mina Mantos de Oro	Kinross Gold Corporation	Oro	1,9
Mina Oso Negro	Minera San Fierro LTDA	Hierro	0,7
Minera Vicuña Sector Los Helados	Cia. Minera Frontera Del Oro S.C.M	Oro-Cobre	20,0
Total			1305,6

De la tabla se puede observar que el flujo de agua nominal proyectado para la provincia de Copiapó es de aproximadamente 1305,6 l/s.

De acuerdo a la demanda actual y futura, se espera un demanda total de la industria minera de 3205,71 l/s.

5.1.3 Sistemas de abastecimiento de agua desalada existentes y proyectados

A continuación, se presentan los principales sistemas de abastecimiento de agua desalada existentes y proyectos para la minería en la provincia de Copiapó.

Tabla 5-4 Características sistemas de impulsión existentes

Sistema de Abastecimiento	Dueño y/o Destino	Capacidad (l/s)	Características Sistema de Impulsión
Minera Candelaria	Lundin Mining Corp	570	2 estaciones de bombeo: Punta Padrones y Bodega. Tubería de impulsión de 24 pulgadas y 101 km
Aguas CAP	Cerro Negro Norte CAP	150	3 estaciones de bombeo: EB1, EB2 y EB3. Tubería de impulsión de 18 pulgadas y 80.0 km
Aguas CAP	Acueducto Tierra Amarilla	250 (50 l/s con enviados a Caldera)	2 estaciones de bombeo: EB1 y EB2. Tubería de impulsión, 22 pulgadas de 112.9 km

Como se puede observar en la Tabla 5-5, en la actualidad existe una capacidad instalada de suministro de agua desalada para la minería de 970 l/s.

Tabla 5-5 Características sistemas de impulsión proyectados

Sistema de Abastecimiento	Dueño y/o Destino	Capacidad (l/s)	Características Sistema de Impulsión
ENAPAC	Trends Industrial S.A.	1750	3 estaciones de bombeo ⁵ : EB1, EB2 y EB3. Tubería de impulsión, 2 tuberías de 1500 mm de 68 km

⁵ Capacidad de estaciones de bombeo expandibles a 3750 l/s

5.2 Oferta hídrica Copiapó

Para entender la oferta hídrica de la provincia de Copiapó se requiere entender el contexto geográfico de la cuenca del río Copiapó.

5.2.1 Caracterización de la cuenca

Al río Copiapó antes de la Quebrada Paipote (Río Copiapó Medio) confluyen dos tributarios principales: el río Pulido y el río Jorquera, con un menor aporte, aguas abajo el río Manflas.

La cuenca cuenta con un embalse regulador artificial, el embalse Lautaro, con una capacidad de embalsamiento de 42 millones de m³, el cual se localiza aguas abajo de la confluencia de los ríos Jorquera, Manflas y Pulido.

La Figura 5-1 presenta las cuencas aportantes al Río Copiapó Medio.

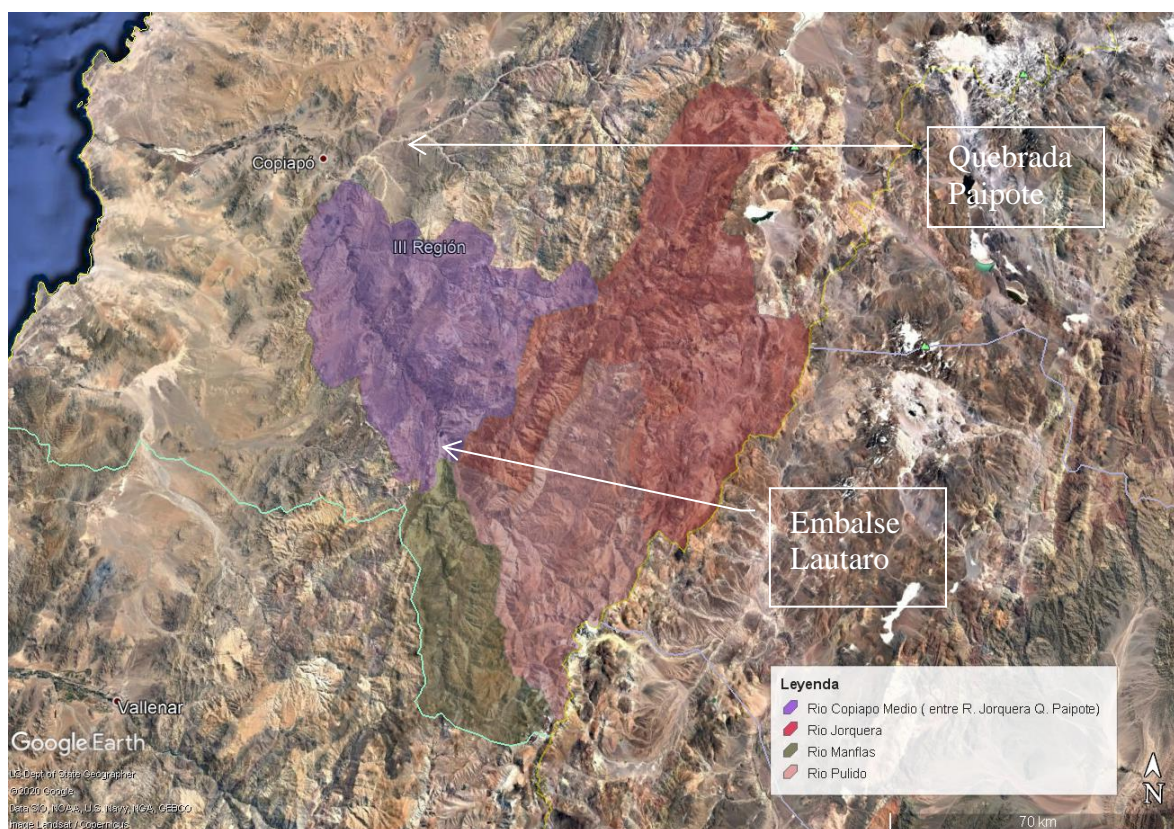


Figura 5-1 Río Copiapó Medio y sus afluentes

Al río Copiapó, aguas abajo del aporte de la Quebrada Paipote se le denomina Río Copiapó Bajo.

El río Copiapó posee un régimen mixto, es decir el agua proviene desde las lluvias y del derretimiento glaciales, principalmente Los Helados, Marancel y Cerro el Potro.

Existe una conexión entre el río y el acuífero explicado principalmente por afloramientos en zonas estrechas del valle.

El acuífero se recarga por la infiltración de agua del río y por los sistemas de regadío.

La estimación de la oferta y la demanda se analiza en base a la distribución de las unidades territoriales, denominadas sectores, las cuales van desde el sector 1 hasta el sector 6 las que se presentan en la Tabla 5-6 (DICTUC, 2010d). En el Anexo 1 se presenta con mayor detalle la definición espacial de cada uno de los sectores

Tabla 5-6 Unidades Territoriales

Sector	Acuífero
1	Aguas arriba del Embalse Lautaro
2	Embalse Lautaro - La Puerta
3	La Puerta - Mal Paso
4	Mal Paso - Copiapó
5	Copiapó - Piedra Colgada
6	Piedra Colgada - Angostura

5.2.2 Caracterización de la oferta

La Tabla 5-7 muestra la oferta hídrica definida por los caudales de recarga de agua en los sistemas superficiales y subterráneos de la cuenca modelada por DICTUC (2012d).

Tabla 5-7 Caracterización Oferta hídrica (l/s)

Sector	Superficial	Subterráneo	Total
1	3,662	1,536	5,198
2	3	66	69
3	4	476	480
4	27	396	423
5	1	139	140
6	0	37	37
Total	3,697	2,650	6,347

El Sector 1 posee el mayor flujo debido a los aportes de tres ríos tributario: Manflas, Pulido y Jorquera con sus aportes de agua superficial en los meses de primavera y verano por deshielos. La situación del acuífero no es muy distinta a lo que sucede en el sistema

superficial, más del 57% de los caudales totales de recarga se encuentran en el Sector 1 de la cuenca, disminuyendo fuertemente en los otros sectores.

5.3 Demanda hídrica Copiapó

5.3.1 Demanda legal agua subterránea

De acuerdo con DICTUC, a continuación, se presenta las principales actividades industriales y humanas que utilizan el agua en los diferentes sectores del acuífero del río Copiapó.

- **Sector 1. Aguas arriba Embalse Lautaro:** Abarca las subcuencas del río Manflas, río Pulido y río Jorquera. En esta zona se desarrolla la agricultura y la ganadería menor en los humedales, realizada principalmente por las comunidades Colla que habitan en la cuenca, además se desarrollan proyectos de explotación minera.
- **Sector 2. Embalse Lautaro – La Puerta:** Se localiza en la parte alta de la cuenca del Río Copiapó Medio. En esta área se encuentra el embalse Lautaro, la obra de regulación de flujo más importante de la cuenca, siendo un factor importante en la recarga del acuífero. En este sector se concentra una importante parte de las actividades agroindustriales.
- **Sector 3. La Puerta – Mal Paso:** Se encuentra en la parte baja de la cuenca del río Copiapó Medio. En esta área existen afloramientos de agua a la superficie, obras de canalización para riego y un desarrollo importante de la agroindustria.
- **Sector 4. Mal Paso – Copiapó:** Este sector incluye una porción de la subcuenca del río Copiapó Bajo, río Copiapó Medio y la parte baja de la subcuenca Quebrada Paipote. En esta parte se concentra la porción urbana de la cuenca, se realiza una alta explotación minera y se desarrolla gran parte de la agricultura de la cuenca. Es en este sector en donde se extrae la mayor cantidad de agua subterránea para abastecer de agua potable a la población de la cuenca.
- **Sector 5. Copiapó – Piedra Colgada:** Se localiza en la subcuenca del río Copiapó Bajo. En este sector también se realiza extracción de agua subterránea para el abastecimiento de agua potable, pero en mucha menos proporción que el Sector 4. Esta porción se caracteriza principalmente por la existencia de parcelas de agrado.
- **Sector 6. Piedra Colgada – Angostura:** Es la parte más baja de la cuenca del río Copiapó la cual se caracteriza, junto con el Sector 5, por la presencia de humedales en torno al cauce del río y en su desembocadura al mar. El área se caracteriza por la presencia de cultivos de olivos.

Al año 2020, de acuerdo a lo presentado en la base de datos de la Dirección General de Aguas (DGA⁶) sobre “Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA” existen 969 derechos de agua subterráneos otorgados, equivalente a 23.294,6 l/s, de los cuales el 97,9% son de uso consuntivo y permanente. La Tabla 5-8 presenta estos derechos subterráneos y sus flujo legales por sector del acuífero.

Tabla 5-8 Flujos de derechos de agua subterráneos por sector

Sector	(l/s)
1	1.859,2
2	3.724,4
3	2.816,1
4	4.933,4
5	2.644,4
6	1.187,6
Sin Info	6.129,4
Total	23.294,55

5.3.2 Demanda legal agua superficial

Espacialmente las aguas superficiales de la cuenca del río Copiapó son administradas en subcuencas, que corresponden a la subcuenca del Río Jorquera, subcuenca del Río Pulido, subcuenca del Río Manflas, subcuenca de la quebrada del Río Paipote, subcuenca del Río Copiapó Medio y subcuenca del río Copiapó, CONAMA y DGA (2009).

La Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC) administra las aguas superficiales y cuenta con 52 comunidades, las que se reparten 11.978 acciones de agua.

Los canales administrados se dividen en nueve distritos⁷, conformados por comunidades y comuneros donde las acciones son distribuidas. Para mayores detalles de los distritos ver Anexo 2.

A continuación, la Tabla 5-9 presenta las acciones y caudales superficiales distribuidos en los distintos usos de agua según cada sector acuífero.

⁶ https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx

⁷ De acuerdo con la Ordenanza de Policía Fluvial y de Regadío para el Valle de Copiapó, dictada el año 1875 por la Intendencia de Atacama los regantes que se encuentran aguas abajo de la ciudad de Copiapó no son parte de las comunidades de agua asociadas a la JVRC (Universidad de Concepción, 2011).

Tabla 5-9 Acciones y flujos superficiales y su distribución

Sector	(L/s)
1	172,83
2	241,25
3	333,56
4	279,03
5	-
6	-
Total	1.026,67

Los sectores 5 y 6 de no son parte de las comunidades de agua asociadas a la JVRC, por lo que no existen datos acerca de este sector.

5.3.3 Resumen demanda Legal

La Tabla 5-10 muestra la totalidad de la demanda legal, compuesta por los caudales superficiales y subterráneos.

Tabla 5-10 Demanda legal total

Sector	l/s
1	2.032,0
2	3.965,7
3	3.149,7
4	5.212,4
5	2.644,4
6	1.187,6
S/I	6.129,4
Total	24.321,2

5.3.4 Demanda real sector agrícola

El riego es el uso de mayor demanda de agua en la cuenca, extrae alrededor del 60% de las aguas superficiales y el 56% de las aguas subterráneas, DICTUC (2010).

5.3.5 Demanda agua potable y servicios sanitarios

El abastecimiento de agua potable y servicios sanitarios utiliza recursos subterráneos, extraídos principalmente de 21 pozos de los Sectores 4 y 5 del acuífero. De un total aproximado de 1.560 L/s otorgados en la cuenca para uso de agua potable, el 79,10% de ellos se extrae del Sector 4 y 16,41% del Sector 5 (DICTUC, 2010).

La empresa encargada de entregar estos servicios es Aguas Chañar (producción y distribución de aguas potable, recolección y disposición de aguas servidas). La Tabla 5-11 presenta el número de clientes que tiene esta empresa en la cuenca según destino inmueble y tipo de servicio (Aguas Chañar, 2012; SISS, 2011).

Tabla 5-11 Número de clientes según destino inmueble y consumo diario

Cientes	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Consumo (l/Hab/día)
83,614	80.119	2.320	226	949	166,90

5.3.6 Resumen demanda real

A partir de la modelación de DICTUC (2010), la Tabla 5-12 presenta la demanda real por sector.

Tabla 5-12 Demanda total real

Sector	l/s
1	715,7
2	1.126
3	1.509,5
4	2.916,6
5	1.257,1
6	697,4
Total	8.222,3

5.4 Balance oferta – demanda

Basado en el análisis de oferta y de la demanda legal y real, la Tabla 5-13 presenta el balance hídrico por sector acuífero.

Tabla 5-13 Balance Hídrico en l/s

Sector	Oferta	Demanda		Balance ⁸	
		Legal	Real	Legal	Real
1	5.198	2.032	716	3.166	4.482
2	69	3.966	1.126	-3.897	-1.057
3	480	3.150	1.510	-2.670	-1.030
4	423	5.212	2.917	-4.789	-2.494
5	140	2.644	1.257	-2.504	-1.117
6	37	1.188	697	-1.151	-660
		6.129			
Total	6.347	24.321	8.222	-11.845	-1.875

De la Tabla 5-13, se puede observar que existe un déficit, al año 2010, de aproximadamente 1.875 l/s.

⁸ Diferencia entre oferta y demanda legal y real.

6 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

Como fue presentado en la sección 5.1.1, el consumo de agua continental por parte de las compañías mineras es de aproximadamente 1000 l/s. Al sustituir este flujo por agua desalada, éste quedaría disponible para el uso agrícola en la provincia.

Mediante la metodología del PEA (ver sección 4.4), se estima del beneficio económico para la agricultura al quedar disponible este flujo de agua continental.

6.1 Agricultura en la provincia de Copiapó

De acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario del 2007 (INE, 2007), existen 580 explotaciones agropecuarias en la provincia de Copiapó, equivalentes a 1.770.077 hectáreas, de las cuales 1.069.863 se encuentran en la comuna de Copiapó, 697.351 en la comuna de Tierra Amarilla y 2.863 en la comuna de Caldera.

Adicionalmente, se informa que solo 10.980 ha corresponden a hectáreas regadas, lo que fue informado por el 89% de las explotaciones. Por otra parte, de acuerdo catastro agrícola CCIRA-CIREN del 2015, las hectáreas cultivas a ese año eran de 8.922.

Los frutales corresponden al 87,2% de las hectáreas regadas, un 6,0% corresponden a hortalizas, un 2,5% a viñas y parronales viníferos, y el 4,3% restante se reparte entre otro tipo de cultivos.

Si se analizan las hectáreas regadas con frutales, se encuentra que estos corresponden específicamente a uva de mesa (79%), olivo (12,9%) y otros (8,1%).

Según DICTUC (2010), las tres principales especies frutales cultivadas en la cuenca del río Copiapó son:

- Uva de mesa variedades Red Globe, Flame Seedless y Thompson Seedless,
- Olivos variedades Arbequina y Sevillana
- Granado variedad Wonderful, y
- Tomate al aire libre como principal hortaliza

Para la estimación del PEA solo se considerará la uva de mesa y olivos, dado que representan mas del 90% de las hectáreas regadas en la provincia.

6.2 Productividad económica del agua

La productividad económica del agua (PEA) se mide en kilogramo producido por m³ de agua utilizada (ver sección 4.4) en base la siguiente expresión.

$$PEA \left(\frac{\$}{m^3} \right) = \frac{MC \left(\frac{\$}{ha} \right)}{NHC \left(\frac{m^3}{ha} \right)}$$

De la ecuación:

- Margen de contribución (MC) = Ingresos operacionales - costos de venta.
- Ingresos operacionales = ingresos obtenidos a través de la venta de la producción de la temporada.
- Costo de venta = costos directamente relacionados con el proceso de producción, estos son: mano de obra, maquinaria e insumos
- Necesidad hídrica del cultivo (NHC) = valor informado por LOPEZ (2014)

La Tabla 6-1 presenta los valores de PEA para cada uno de los cultivos. Mayores detalles del cálculo del PEA se presentan en el Anexo 3.

Tabla 6-1 Productividad del Agua

Tipo de Cultivo	MC (\$/ha)	NHC (m³/ha)	PEA (\$/m³)
Uva de Mesa			
Red Globe	10.865.431	11.500	944,8
Thompson Seedless	10.158.950	11.000	923,5
Flame Seedless	5.748.208	11.000	522,6
Olivo			
Sevillana	470.000	8.000	58,8
Arbequina	1.014.900	8.000	126,9

Suponiendo que la proporción de hectáreas regadas se mantiene, esto es: uva de mesa (79%), olivo (12,9%) y otros (8,1%), el beneficio económico anual de disponer de aproximadamente 1000 l/s (31.539.153,6 m³/año) se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6-2 Estimación beneficio económico anual para al agricultura

Tipo de Cultivo	PEA (\$/m³)	% de Hectárea	Agua Requerida (m³/año)	Beneficio (\$/año)
Uva de Mesa		79,0%	24.891.015	20.271.162.906
Red Globe	944,8	41,6% ⁹	10.365.027	9.793.085.766
Thompson Seedless	923,5	28,9% ⁹	7.200.704	6.650.144.865

Tipo de Cultivo	PEA (\$/m3)	% de Hectárea	Agua Requerida (m3/año)	Beneficio (\$/año)
Flame Seedless	522,6	29,4% ⁹	7.325.284	3.827.932.275
Olivo	93,0	12,9%	4.068.551	378.375.226
Sevillana	58,8	76,5% ¹⁰	3.110.770	182.757.767
Arbequina	126,9	23,5% ¹⁰	957.780	121.506.405
Otros	1.161,5 ¹¹	8,1%	2.554.671	2.967.250.879
		Total	31.539.154	23.562.812.653

Como se puede observar en la Tabla 6-2, se espera un beneficio de aproximadamente \$23.562.812.653 de pesos chilenos anuales producto del uso del agua continental que actualmente utilizan las compañías mineras.

⁹ Porcentaje de hectáreas en base a lo informado en el Seminario APECO 2016 de la Asociación de Productores y Exportadores Agrícolas del Valle de Copiapó.

¹⁰ Porcentaje de hectáreas en base al documento “Principales resultados catastro frutícola región de Atacama”, CIREN, Julio 2015.

¹¹ Valor medio entre Granado Wonderful y tomate. LOPEZ (2014)

7 COSTO DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DESALADA

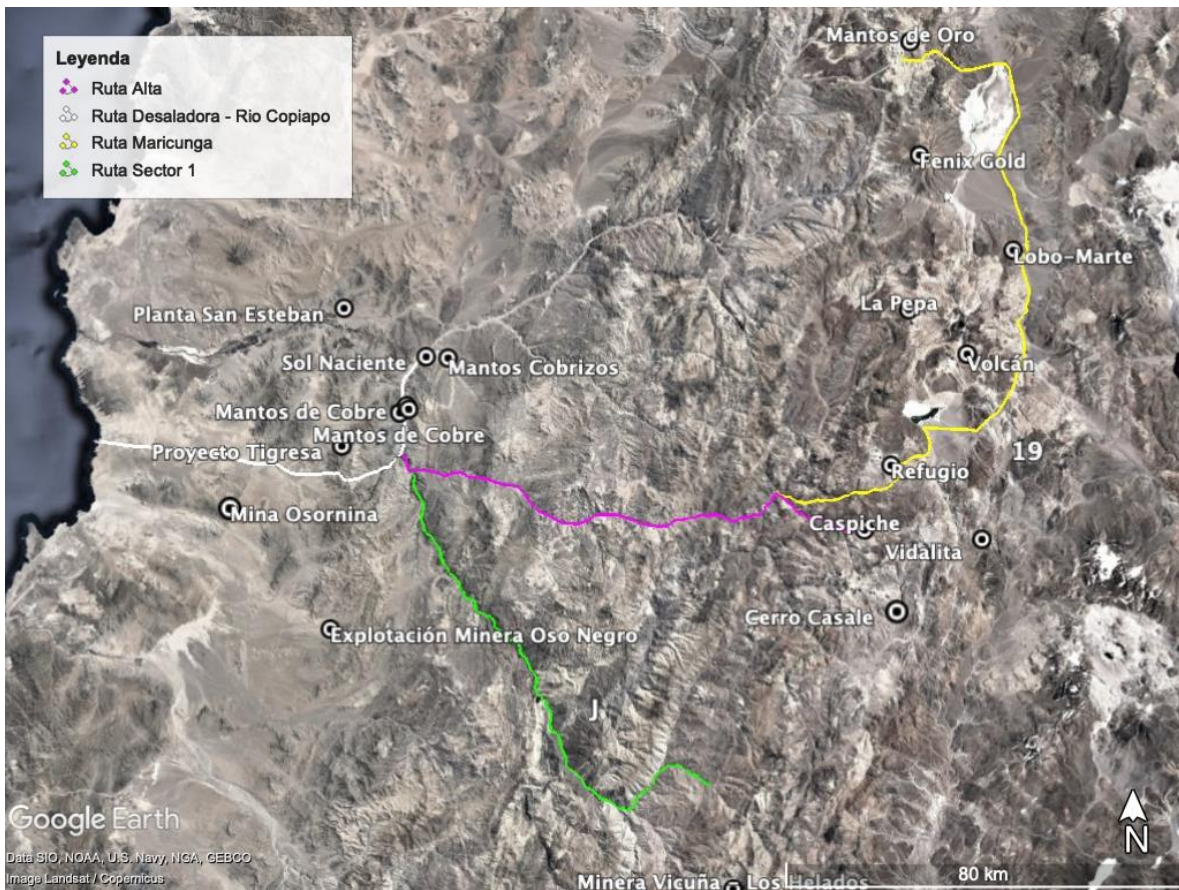
La presente sección presenta el diseño propuesto para el sistema de suministro de agua de desalada, el costos de inversión requerido, costo de operación y precio de venta de agua, tanto para cubrir la demanda actual de las mineras que utilizan agua continental como para la demanda futura de las mineras.

7.1 Red de suministro de agua desalada

A continuación se presenta a nivel conceptual el diseño de un sistema de suministro de agua desalada que cubriría espacialmente todos los requerimientos de agua para la minería en la provincia de Copiapó.

La Figura 7-1 presenta la red proyectada.

Figura 7-1 Red de Suministro Agua Desalada Proyectada



En base a lo presentado en la Figura 7-1 el sistema de suministro propuesto posee la siguiente configuración:

- **Ruta Desaladora – Piscina de Acumulación:** considera un sistema de suministro con planta desaladora ubicada en la costa de la provincia de Copiapó hasta las piscinas de acumulación para control de volúmenes aguas arriba del cruce con la ruta 5.
- **Ruta Piscina de Acumulación – Río Copiapó:** se inicia en la piscina de acumulación, abasteciendo las mineras ubicadas en el sector 3 y 4, las cuales incluyen:
 1. El Jilguero
 2. Atacama Kozan
 3. Pucobre (San José)
 4. Planta Cerrillos-Mina Carola
 5. Mantos Cobrizos
 6. Planta Matta
 7. Mina Mantos de Cobre
 8. Planta Biocobre
 9. Planta San Esteban III
 10. Mina Osornina
 11. Tigresa
 12. Mina Sol Naciente
- **Ruta Piscina de Acumulación - Sector 1:** se inicia en la piscina de acumulación, abasteciendo las mineras ubicadas en el sector 1, las cuales incluyen:
 1. Caserones
 2. Minera Vicuña - Sector Tamberías
 3. Minera Vicuña - Sector Los Helados
- **Ruta Piscina de Acumulación – Caspiche:** se inicia en la piscina de acumulación y entrega suministro de agua desalada hacia el sector de minera Caspiche.
- **Ruta Caspiche – Maricunga:** se inicia en el sistema de derivación instalado en la Ruta Piscina de Acumulación – Caspiche, abasteciendo las mineras ubicadas en la franja de Maricunga, las cuales incluyen:
 1. Fenix Gold
 2. Lobo-Marte
 3. La Pepa
 4. Volcán
 5. Refugio*

6. Mina Mantos de Oro
7. La Coipa (Fase 7)

7.2 Características Sistema de Suministro

De acuerdo con lo presentado en la sección 5.1.1, el flujo total medio de agua consumida por las mineras en la actualidad es de 1899,5 l/s, de los cuales, aproximadamente 899,4 l/s corresponde a agua desalada, y 1000,1 l/s corresponden a flujo de agua continental.

De acuerdo con lo presentado en la sección 5.1.2, el flujo total futuro de agua a ser utilizada por las mineras es de 1305,6 l/s. Dada la localización de las mineras proyectadas, de los 1305,6 l/s, 900 l/s deberán ser transportados hacia el proyecto Capiche y la diferencia, 460,9 l/s, deberán ser transportados hacia la zona de Maricunga donde se concentra la mayor cantidad de mineras de oro proyectadas.

La siguiente tabla presenta los flujos nominales y de diseño (factor de diseño = 1,2) para cada una de las rutas en base a los requerimientos presentados en la sección 5.1.1 y 5.1.2.

Tabla 7-1 Flujos de Diseño

Ruta	Flujo Nominal (l/s)	Flujo de Diseño (l/s)
Desaladora – Piscina Reguladora	2306	2767
Piscina Reguladora – Rio Copiapó	406	487
Piscina Reguladora – Sector 1	538	646
Piscina Reguladora – Caspiche	1361 ¹²	1633
Caspiche - Maricunga	461	553

Las características del sistema de suministro para cada una de las rutas se presenta en la siguiente tabla. Los criterios de diseño para cada uno se presentan en el Anexo 4.

Tabla 7-2 Características Sistema de Distribución

Ruta	Sistema de Impulsión	Número de Estaciones de Bombeo	Número de bombas por Estación	Potencia Total Instalada (HP)
<hr/>				

¹² Flujo que incluye 900 l/s de la ruta Piscina Reguladora – Caspiche y 461 l/s de la ruta Caspiche - Maricunga

Ruta Desaladora - Piscinas Reguladoras	Tubería de Impulsión: 43,4 km, 48-inch, CS X65	1	12	33.875
Ruta Piscina Reguladora - Río Copiapó	Tubería de Impulsión: 44 km, 24/18-inch, CS X65	1	2	5.923
Ruta Piscina Reguladora - Sector 1	Tubería de Impulsión: 140 km, 26-inch, CS X65	3	9	31.284
Ruta Piscina Reguladora - Capiشه	Tubería de Impulsión: 130 km, 38-inch, CS X65	4	22	84.605
Ruta Caspiche - Maricunga	Tubería de Impulsión: 159 km, 20-inch, CS X65	4	6	23.003

7.3 Costos de Inversión

A continuación, se presentan el costos de inversión (Capital Expenditure CapEx) asociados al sistema de suministro de agua desalada. Mayores detalles de los costos por *facilities* y las consideraciones para la estimación se presentan en el Anexo 5.

Tabla 7-3 Costo de Inversión Sistema de Suministro de Agua Desalada en Millones de USD (MUSD)

ITEM	MUSD
Costo Directo	
Planta Desaladora	220
Ruta Desaladora - Piscinas Reguladoras	168
Ruta Piscina Reguladora - Río Copiapó	24
Ruta Piscina Reguladora - Sector 1	230
Ruta Piscina Reguladora - Capiشه	440
Ruta Caspiche - Maricunga	141
Total Costo Directo	1.223
Total Costo Indirecto	307
Total Directo + Indirecto	1.530
Contingencia (20%)	306
Costos Del Dueño	122
Total CapEx	1.958

7.4 Costos de Operación

Las bases de estimación de los costos de operación se presentan en el Anexo 6. La siguiente tabla presenta los costos para cada una de las diferentes rutas.

Tabla 7-4 Costos de Operación

ITEM	USD
Costo Personal Operación y Mantenimiento	3.724.400
Costo Consumo Eléctrico	71.593.832
Tramo Desaladora - Piscinas Reguladoras	13.574.040
Tramo Piscina Reguladora - Río Copiapó	2.399.425
Tramo Piscina Reguladora - Sector 1	12.538.050
Tramo Piscina Reguladora - Capishe	33.854.793
Tramo Derivación Caspiche - Maricunga	9.227.523
Costo Mantenición	11.712.340
Costo operativo anual (USD)	87.030.572
Contingencias (5%) (USD)	4.351.529
Costo operativo total anual (USD)	91.382.101

El costo operacional de la desaladora se estima en 0,7 USD/m³.

7.5 Precio de venta agua

En base la metodología presentada en la sección 4.6, se estimó un precio de venta de agua para las diferentes mineras incluidas en cada una de las diferentes rutas (ver sección 7.2) los cuales se presentan en la Tabla 7-5. Mayores detalles se presentan en el Anexo 7.

Tabla 7-5 Precio de Venta Agua Desalada

Ruta	Precio (USD/m³)
Ruta Desaladora - Piscinas Reguladoras	-
Ruta Piscina Reguladora - Río Copiapó	0,68
Ruta Piscina Reguladora - Sector 1	1,43
Ruta Piscina Reguladora - Capishe	2,13
Ruta Caspiche - Maricunga	2,02
Total	6,26

8 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Análisis del balance hídrico

Si analizamos los resultados del balance hídrico, podemos observar que se evidencia un déficit hídrico superior a los 1.800 l/s, considerando información del año 2010, este valor pudiese ser aún superior si se utilizan valores recientes. En la actualidad, la zona en estudio ha sido declarada Zona de Escasez Hídrica, según decreto del Ministerio de Obras Públicas N° 81¹³ del 5 de mayo de 2021. Adicionalmente, el acuífero está declarado "área de restricción" y no se pueden otorgar nuevos derechos de agua.

Se puede observar una demanda legal que supera en más de tres veces la oferta, impulsado generalmente en la década de los ochenta donde se entregaron más derechos de agua subterráneas (MOP & DGA, 2012). Esto se asocia al modelo de desarrollo implementado, partiendo con la incorporación de la agroindustria y posteriormente con la gran minería, y como consecuencia el aumento demográfico local.

Del balance hídrico se observa lo siguiente:

- Los caudales otorgados en derechos de agua (demanda legal) son más del doble de los caudales demandados según la modelación en cada sector
- Los sectores medios de la cuenca (2 a 5) presentan el mayor déficit (real versus oferta)
- Los caudales otorgados en derechos superan a los caudales de recarga estimados.
- El Sector 4 es el que presenta la mayor diferencia entre la oferta y la demanda legal, con 3.971,03 l/s.
- El Sector 1 es el único que presenta un balance positivo debido a que la zona presenta flujos de agua muy por sobre el resto de los sectores acuíferos
- La demanda supera a la recarga (oferta) en los Sectores 2, 3, 4, 5 y 6.

Este balance negativo nos indica que cualquier proyecto minero no podrá acceder a derechos de agua, por lo tanto, deberá adquirir agua de terceros o construir su propio sistema de abastecimiento de agua de salada, incurriendo en costos que probablemente no pueden abordar dada la intensidad de capital requerida para este tipo de proyectos.

De los 6.347 l/s disponibles como oferta hídrica, aproximadamente un 16% (1000 l/s) son consumidos por la industria minera, y de la diferencia casi un 80% es utilizado por la industria agrícola. Si la escasez hídrica se acentúa bajo el actual contexto social y político, el conflicto por el elemento entre la minería y los otros sectores productivos y consumo humano se

13

https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Documents/DTR_81_2021.pdf

incrementará, por lo que la gestión del recurso se hace un tema preponderante para el desarrollo sostenible de la región.

Durante los últimos años, el déficit hídrico ha generado conflictos entre los agricultores de los sector 1 y 2 con aquellos en los sectores más bajos de la cuenca, adicionalmente, la disminución del nivel freático ha generado un aumento en los costos de bombeo para la producción agrícola, lo que afecta particularmente a los pequeños productores. Bajo este contexto, muchos actores culpan a las compañías mineras y a la industria agrícola como la causante de la sobre explotación, lo que finalmente se traduce en movimientos ciudadanos que exigen soluciones concretas a la gestión del agua.

La necesidad y las iniciativas por gestionar la gobernanza hídrica del río Copiapó posee más de 15 años, destacan en el 2006 las Mesas del Agua, y desde ahí en adelante diversas iniciativas como el Comité Asesor Regional de Recursos Hídricos (CARRH) han abordado la problemática, sin embargo, no han habido mejoras significativas, lo que ha tensionado aun más el conflicto por el recurso.

Bajo este escenario, nace la necesidad de analizar sinergias entre minera y agricultura, de tal forma que bajo un marco de desarrollo sostenible para la región, se pueda analizar que beneficios se tendrían para el sector agrícola si las mineras dejarán de usar el agua continental, reemplazándola por agua desalada, obtenida mediante un sistema único de abastecimiento, el cual aprovecharía las economías de escala de un sistema integrado para toda la industria de la provincia.

Obviamente, este proceso no puede ser ajeno a una política estatal, la cual mediante un ente regulador, promueva la gestión del agua de manera coordinada entre los diferentes actores económicos, a modo de cubrir las necesidades de tierras cultivables, el consumo humano, y otras actividades económicas que requieren el elemento para su operación, cuyo fin sea la maximización del bienestar social y económico de la población de una manera equitativa y bajo una mirada de sostenibilidad.

En base a lo indicado por Fundación CSIRO Chile Research en junio de 2019, entre los actores más relevantes que debiesen ser parte de esta estrategia destacan:

- Sector Público: instituciones gubernamentales reguladoras, agencias sectoriales, municipios, organismos dependientes del Gobierno Regional, empresas estatales, entidades público-privadas.
- Sociedad Civil: comunidades indígenas; grupos de la sociedad civil, movimientos socio-ambientales, organizaciones territoriales y funcionales, universidades, ONGs, y organizaciones de Agua Potable Rural.
- Sector Privado: agroindustria, empresa sanitaria, empresas mineras e industrias, Junta de Vigilancia del río Copiapó, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas Subterráneas, asociaciones gremiales.
- Medios de comunicación

Naturalmente, nacen interrogantes como la expropiación de los derechos de agua de y los costos adicionales en que deberían incurrir las mineras para tener acceso al agua.

8.2 Beneficios al sector Agrícola

Enfocarse en la agricultura tiene como base el hecho de que es la segunda actividad económica exportadora de mayor relevancia en la región de Atacama. De acuerdo con CORPROA (2020), al año 2018 la industria silvoagropecuaria ocupaba el segundo lugar en las exportaciones de la región, siendo la industria minera la que ocupaba el primer lugar. A enero del 2019, CORPROA (2020) informaba que las exportaciones silvoagropecuarias equivalían al 11% de la región, superada solo para la industria minera con un 88%.

Para estimar el beneficio económico que traería para la agricultura disponer de 1000 l/s extras anuales, se propuso la metodología del PEA (LOPEZ, 2014) que establece cual sería la ganancia económica por metro cúbico de agua utilizado (\$/m³), durante una temporada productiva para los principales cultivos de la zona. En base al censo agropecuario del año 2007, la uva de mesa y el olivo representan la actividad agrícola más relevante de la zona de estudio, y de acuerdo con los resultados del PEA (sección 6.2) para cada uno de ellos, que espera un beneficio directo de \$23.562.812.653 de pesos chilenos anuales, equivalentes a 32.726.129 \$USD. Este valor no considera los ingresos al estado como parte del impuesto a la renta, ni otros beneficios indirectos, como por ejemplo la generación de nuevos empleos directos y empleos indirectos asociados a servicios.

Una de los temas relevantes que nacen producto de este estudio, es como traspasar los derechos de agua que actualmente poseen las mineras a los agricultores, y como éstos debiesen ser repartidos entre los potenciales beneficiarios.

8.3 Traspaso de los derechos de agua

Traspasar aproximadamente 1000 l/s de derechos de agua desde las mineras a un ente regulador encargado del sistema de gestión del agua en la provincia de Copiapó sería una de las cuestiones a abordar.

De acuerdo a la legislación vigente, el Código de Agua del 1981 establece la prioridad de los derechos de agua, los cuales son entendidos como bienes comerciables entre usuarios, los que son regidos por la legislación de derecho civil privado, resguardado por la Constitución de Chile. En términos simples, los dueños de derechos de agua tienen el control total sobre sus derechos de agua y están habilitados para realizar actividades comercial del tipo venta, heredar, arrendar, etc. En base a esto, se genera el denominado “mercado del agua”, el cual se rige por la leyes de fuerzas de competencia de mercado, no existiendo parámetro técnicos, ni metodologías que permitan establecer un precio de derecho de agua en base a las condiciones de recarga de los acuíferos, los escurrimientos superficiales, ni otros parámetros que aseguren la sostenibilidad del recursos en sus diferentes contextos regionales.

De manera preliminar, y solo para efectos del presente estudio, se considera que los derechos de agua deberán ser expropiados a las mineras, por lo que el Estado de Chile deberá pagar por ellos el precio de mercado correspondiente. Las implicancias políticas y jurídicas que

esta iniciativa tendría no forman parte del presente estudio y deberán ser analizadas en profundidad en el futuro.

Para la determinación del costo de expropiación se consideran los precios de derechos de agua en l/s publicados en portales ad-hoc de compra y venta de derechos de agua. La siguiente tabla presenta precios referenciales para diferentes sectores del acuífero de Copiapó.

Tabla 8-1 Precio derechos de agua sectores acuífero de Copiapó¹⁴

Sector Acuífero	Precio (l/s)
Sector 2	30.774.473
Sector 4	30.923.540
Sector 5	33.094.961
Promedio	31.597.658

Como se presenta en la tabla anterior, se espera un precio medio de aproximadamente 31,6 millones de pesos chilenos. Si consideramos que se deben expropiar 1000 l/s, el costo de expropiación es de 31.600 millones de pesos, equivalentes a aproximadamente 43,8 millones de USD¹⁵.

8.4 Sistema de abastecimiento único de agua desalada

En base a lo presentado en la sección 7.3, el sistema de distribución único de agua desalada tendría un costo de capital de aproximadamente 1.958 millones de dólares (costo directo + costo indirecto + costos del dueño + contingencia). Este sistema cubriría los requerimientos de agua tanto de las compañías mineras actualmente en operación que utilizan aguas continentales y de los requerimientos de proyectos mineros en carpeta, cubriendo un requerimiento total de 2.305,7 l/s.

Dado el monto de inversión asociado, se propone un asociación público-privada bajo un modelo de contratación tipo BOOT (*Build – Own - Operate and Transfer*) con un plazo de aproximadamente 25 años. Bajo este modelo, un agente privado aporta recursos financieros para la construcción y operación del sistema de suministro mediante un contrato de compraventa de agua, por el que se paga una tarifa por un caudal de agua diario a cambio del derecho de venta durante un periodo de tiempo. Un modelo similar ha sido adoptado por Codelco para el sistema de suministro de agua desalada del Distrito Norte.

Se bien este modelo de contratación ha sido usado en otros rubros como: concesiones de carreteras, puertos, etc., existe poca experiencia de aplicaciones de éste a infraestructura de

¹⁴ <https://aguacircular.cl/buscador.php>

¹⁵ Tipo de cambio, 1 USD = 720 CLP

suministro e impulsión de agua sobre largas distancias y grandes alturas geográficas, condiciones únicas en la minería chilena, por lo que los desafíos operativos para este tipo de sistemas de abastecimiento están relacionados con el aseguramiento del suministro a los usuarios, cuya producción se vería mermada si el sistema no está disponible o si presentara fallas que comprometan su operatividad por períodos prolongado. Por lo tanto, la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, son desafíos claves a ser abordados para este tipo de sistemas.

Desde el punto de vista contractual, se destacan las siguientes ventajas y desventajas al modelo de contratación:

- Ventajas:
 - Se minimiza el costo de inversión pública, tomando ventajas de la eficiencia del sector privado
 - Reduce el endeudamiento del estado
 - Se utilizan todas las ventajas en cuanto a la innovación que el sector privado puede proveer
 - Cada una de las partes involucradas (público y privado) se enfocan en sus ventajas
 - El estado puede enfocarse en utilizar sus recursos en áreas de primer necesidad para las comunidades
- Desventajas:
 - El traspasar los riesgos al sector privado, podría tener como consecuencias que los costos de las transacciones podría ser mayores que otras opciones de contratación
 - Dado los montos de inversión en infraestructura, la búsqueda de privados aptos para obtener fondos de financiamiento debe ser en base a aquellos que tienen capacidad de endeudamiento probada, y estos no podrían estar interesados en el proyecto.
 - Privados que tiene ventajas en construcción, no necesariamente tiene presentan ventajas en operación y mantención
 - No hay experiencia de contratos BOOT para este tipo de servicios
 - Los contratos BOOT requieren esfuerzos adicionales en planificación que deben ser abordados de manera adecuada

Para asegurar el éxito del modelo propuesto, la siguientes condiciones mínimas debiese cumplirse:

- Estabilidad económica: esta suele ser una de las condiciones mas decidoras al momento de que un privado decida invertir en u proyecto que es intensivo en capital. Los indicadores claves son la tasa de interés, la inflación y la tasa cambiaria. Todos ellos afectan el pronostico del flujo de caja del proyecto

- Estabilidad política: una vez aprobado el proyecto para su ejecución, el gobierno debe asegurar que desde el punto de vista político el proyecto sea respaldado hasta su ejecución y operación
- Mercado de capitales: se debe asegurar un mercado de capitales sólidos a modo de que se pueda financiar el proyecto en caso de que mayores montos de capital sean requeridos
- Legislación: dada lo complejo de los contratos tipo BOOT, las condiciones y regulaciones bajo las cuales operaría el contrato deben estar resguardadas y permitidas bajo la ley vigente
- Proyecto: se debe mostrar que el proyecto generará ganancias razonables al inversionista
- Clientes: dado que los pagos provienen de los potenciales cliente mineros se debe asegurar un mínimo ingreso que asegure el pago del financiamiento del proyecto.

Desde el punto de vista técnico, la desalación e impulsión a largas distancias y alturas geográficas, son tecnologías probadas y largamente utilizadas en nuestro país, con diversos actores tanto en diseño de ingeniería y construcción que pueda asegurar una ejecución exitosa, sin embargo, con escasos los actores de mercado con experiencia en operación y mantenimiento. Cabe destacar, que los sistemas existentes de suministro de agua desalada son operados por las mismas mineras, cuyos incentivos desde el punto de vista operativos difieren de los que podría tener un externo. Por lo tanto, los siguiente problemas podrían aparecer bajo un contrato en modalidad BOOT que deben ser revisados y analizados en profundidad:

- Menor producción a la esperada
- Mala gestión de los activos
- Fallas técnicas al inicio de las operaciones
- Problemas de flujo de caja
- Aumento del costo de insumos
- Tipos de cambios que afecten el flujo de caja
- Interferencias con otros proyectos estatales
- Obsolescencia tecnológica

Una temprana identificación de estos posibles problemas y su adecuado gerenciamiento y financiamiento, son claves en el éxito del modelo contractual.

El recuperación de capital, ganancias, financiamiento, costo de operación y mantención, multas, seguros y otros, son considerados dentro de la tarifa de venta de agua. Para el caso de este estudio se obtuvo una tarifa de venta de 6,56 USD/m³ para la operación del sistema a un flujo medio de 2.305,7 l/s. Sin embargo, el precio a pagar por cada un de las compañías mineras, dependerá de la ubicación de ésta en base al tarifario presentado en la Tabla 7-5.

Como fue planteado anteriormente, dos problemáticas deberá ser abordadas producto de la implementación del sistema propuesto, el primero asociado al traspaso de los derechos de

agua de las mineras y en segundo lugar, el costo adicional que deberán pagar éstas por el precio del agua.

Se estima un aumento entre un 2% y 5% en el Cash Cost (C1) para la mediana minería, las cuales se ubican mayoritariamente en el sector 4 y 5 del acuífero, en base a un costo C1 actual indicado por COCHILCO (2016), de aproximadamente 228 c\$US/lb. Para el caso de gran minería, las cuales se ubican mayoritariamente en sector 1 del acuífero, se esperaría un aumento entre el 6% y 8% en el Cash Cost (C1) actual indicado por COCHILCO (2016), de aproximadamente 146,6 c\$US/lb.

Basado en el consumo medio de agua de las mineras, y de acuerdo al tarifario establecido anteriormente para diferentes sectores de la cuenca del río Copiapó, se espera un aumento de costo anual por concepto de abastecimiento de agua de aproximadamente 32 MUSD¹⁶, de los cuales aproximadamente un 73% correspondería al costo de la gran minería, específicamente a Minera Caserones por tener el mayor consumo de agua continental actual de la provincia.

8.5 Viabilidad de la propuesta

En base al objetivo planteado en el presente estudio, y bajo el actual contexto de escases hídrica que afecta la provincia de Copiapó, se analiza si existen beneficios económicos al sustituir por completo los flujos de agua continentales que utilizan las mineras por agua desalada.

Del análisis se puede observar los siguientes:

- Al disponer de aproximadamente 1000 l/s para uso agrícola, se esperaría un beneficio al sector de aproximadamente de 32.7 MUSD/anuales.
- El sistema de suministro único de agua desalada para la minería operado bajo un contrato tipo BOOT, tendría beneficios directos sobre aquellos proyectos mineros que no han podido ser ejecutados por falta de agua, además mejorar la imagen ante la opinión pública de la responsabilidad social de las mineras sobre el recurso hídrico. Se estima un ingreso por concepto de Impuesto Específico a la minería de al menos 310 MUSD/anuales por todas aquellas mineras que quedarían habilitadas.
- La activación económica de la agricultura y de los proyectos mineros que entran en operación, suponen beneficios directos sobre el empleo y sobre los servicios asociados. Adicionalmente, la construcción del sistema de suministros traería beneficios directos a la provincia durante el periodo de construcción de aproximadamente 3 años.

¹⁶ Valor real es menor si se consideran los costo de operación y mantención de los actuales sistemas bombeo de agua en que incurren las compañías mineras.

Si se analizan los costos, se puede observar los siguientes:

- Costos por pago de indemnización por expropiación de derechos de agua a las mineras
- Costos asociados a la implementación y ejecución (costos de dueño) del contrato BOOT

Bajo un horizonte de evaluación de 25 años y considerando un tasa de descuento social del 6% y un reajuste anual del 2,5%, se espera un VAN de proyecto de aproximadamente 37.347 MUSD, sin considerar beneficios directos sobre el empleo y otras consideraciones asociadas a una evaluación de proyecto social (ver anexo 8)

9 CONCLUSIÓN

Diversos análisis han sido realizado a modo de establecer la existencia de algún beneficio económico que surjan al sustituir los flujos de agua continentales que utilizan las mineras por agua desalada en la provincia de Copiapó.

Primeramente, al desarrollar el balance hídrico, se pudo constatar que a excepción del sector 1, todos los sectores presenta una demanda que supera la oferta hídrica, entregando como resultado global un déficit de aproximadamente 1.870 l/s, es decir, la demanda por agua no es cubierta por la oferta natural de la cuenca hidrográfica. Este hecho ha sido evidenciado por diversos estudios, y si bien, la presente tesis ha utilizado información del año 2010, se puede constar que el déficit se mantiene en la actualidad, lo que es avalado por el decreto vigente del Ministerio de Obras Públicas que declara la cuenca como Zona de Escasez Hídrica. Esta escases no permite el crecimiento de la agricultura en la zona y dificulta el desarrollo de proyectos mineros que se encuentran alejados de las zonas de abastecimiento hídrico.

Del análisis de demanda actual y futura, se pudo constatar que actualmente la demanda alcanza un valor cercano a los 1900 l/s, de los cuales, aproximadamente 1000 l/s son cubiertos por agua subterránea, el resto es cubierto por agua desalada. En cuanto a los proyectos mineros futuros, se espera un demanda media de aproximadamente 1305,6 l/s. La mayoría de ellos ubicados en la zona de Maricunga y con flujos medios que no justifican económicamente la construcción de un sistema de abastecimientos individual de agua desalada para cada uno. Por lo tanto, un sistema de abastecimiento único que aproveche las economías de escala podría cubrir los requerimientos de agua de las operaciones actuales y futuros proyectos mineros, liberando para uso agrícola aproximadamente 1000 l/s de agua.

Mediante la metodología de la “Productividad Económica del Agua” (PEA), se pudo establecer la ganancia económica por metro cúbico de agua utilizado (\$/m³), durante una temporada productiva de los principales cultivos de la provincia de Copiapó, a modo de establecer cual sería el beneficio económico de disponer de los 1000 l/s comentados anteriormente. Las tres principales especies frutales analizadas y que representan aproximadamente el 90% de las hectáreas regadas corresponde a la uva de mesa de variedades Red Globe, Flame Seedless y Thompson Seedless y los olivos variedades Arbequina y Sevillana. Otras especies destacadas son Granado variedad Wonderful, y tomate como principal hortaliza. En análisis entregó como resultado un beneficio de aproximadamente \$ 23.562.812.653 de pesos chilenos anuales, equivalente a 32,7 MUSD/anuales¹⁷.

El sistema de suministro único de agua desalada tendría un costo total de aproximado de 1.836 MUSD (Costo directo + Indirecto + Contingencia) el cual estaría compuesto por una

¹⁷ Tipo de cambio, 1 USD = 720 CLP

planta desaladora de capacidad 2,767 l/s, un sistema de regulación de volúmenes ubicado en las cercanías de la ruta 5 y cuatro (4) rutas de abastecimiento. La primera, estaría compuesta por una tubería de impulsión de acero al carbono de 24/18 pulgadas, 44 km de longitud y una estación de bombeo, cubriendo los requerimientos de las mineras ubicadas en el sector 3, 4 y 5. La segunda ruta, compuesta por una tubería de impulsión de acero al carbono de 26 pulgadas, 140 km de longitud y tres estaciones de bombeo, cubriría los requerimientos de las mineras ubicadas en el sector 1. La ruta a Caspiche, estaría compuesta por una tubería de impulsión de acero al carbono de 38 pulgadas, 130 km de longitud y 4 estaciones de bombeo. Finalmente, la ruta a Maricunga estaría compuesta por una tubería de impulsión de acero al carbono de 20 pulgadas, 159 km de longitud y 4 estaciones de bombeo.

El modelo de contratación propuesto para la ejecución del proyecto sería tipo BOOT (*Build – Own - Operate and Transfer*) con un plazo de aproximadamente 25 años. Este modelo, permite que un agente privado aporte recursos financieros para la ejecución y operación del sistema de suministro mediante un contrato de compraventa de agua. Este modelo permite inversiones públicas intensivas en capital, reduce el endeudamiento del estado, utilizan las ventajas comparativas del sector y permite que estado ponga foco en los temas que le competen. La tarifa BOOT fue estimada en 6,26 USD/m³ para la operación a flujo medio de diseño del sistema, la cual se prorratea depende de la ruta de suministro. La tarifa se calculo en base al costo de ejecución del proyecto por parte de un tercero a una tasa de retorno del 8%, reajuste de precios anuales al 2,5% y un VAN=0 para estimar la tarifa mínima a cobrar.

Del análisis realizado se puede concluir que efectivamente existen beneficios que nacen al sustituir los flujos de agua continentales utilizadas por las mineras por flujo de agua desalada, estos beneficios alcanzan un VAN de proyecto de aproximadamente 37.347 MUSD bajo un horizonte de evaluación de 25 años, considerando un tasa de descuento social del 6% y un reajuste anual del 2,5%. Estos beneficios nacen de disponer de 1000 l/s para uso agrícola, equivalente a ingresos cercanos a los 32.7 MUSD/anuales. Adicionalmente, se estima un ingreso por concepto de Impuesto Específico a la minería de al menos 310 MUSD/anuales por todas aquellas proyectos mineros que se ejecutarían. No se han considerado otros beneficios, como por ejemplo la disminución del desempleo, el aumento de servicios, y todo lo beneficios indirectos durante el periodo de construcción del sistema de suministro de agua desalada de aproximadamente 3 años. A pensar de los beneficios, un costo aproximado de 43,8 millones de USD asociado al pago de indemnizaciones por expropiación de derechos de agua a las mineras ha sido considerado, así como también 125 millones de USD para efectos de costos del dueño (estado de Chile) por la gestión e implementación del sistema de suministro de agua desalada.

A la luz de los resultados se puede concluir que existen sinergias que pueden ser exploradas entre la industria minera y la agricultura en la provincia de Copiapó, incluso con otras industrias y en otras zonas del país, sin embargo, existen temas que analizar y abordar en futuros estudios, como por ejemplo las consecuencias políticas y jurídicas ante la expropiación de lo derechos de agua de las mineras y por sobre todo la generación de una política de gestión integral de las cuencas hidrográficas.

La medida analizada en esta tesis, se enfoca en la necesidad de integración de las mineras dentro de la comunidad y en su visión de licencia social para operar, volviéndose un polo de desarrollo social de las regiones donde operan. Esta debiese formar parte de una completa cartera de iniciativas, las que requieren recursos financieros, voluntad y tiempo, en un esfuerzo conjunto entre el estado y la industria, buscando la sostenibilidad de ésta en el largo plazo

Finalmente, se puede concluir que una visión sistémica, integrada y enfocada en la sostenibilidad y manejo equitativo del recurso hídrico, ayudaría a terminar con el conflicto entre los diferentes usuarios que tienen actualmente a la industria minera en tela de juicio.

10 BIBLIOGRAFÍA

- BENNISON G, ROJAS R, CASTILLA J, PRATS C, BRIDGART R, GALVEZ V, MEDINA A, CLARO E (2019). SimCopiapó: Modelación Participativa para la Gestión del Agua: Informe Final. Fundación CSIRO Chile Research.
- BRAVO, D., 2013. Análisis de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico en la cuenca del río Copiapó., Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Pregrado, Universidad de Chile.
- CIREN, 2015. Catastro Frutícola Región de Atacama. Principales Resultados Catastro Frutícola Región Atacama. Chile, Julio 2015. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2016/11/Atacama.pdf>
- CSIRO, 2015. Plan de Gestión Integrada para la cuenca del Río Copiapó. Fase I: Informe Final.
- COCHILCO, Chile, 2016. Anuario de Estadísticas del Cobre y otros Minerales 1997-2016. Comisión Chilena del Cobre.
- COCHILCO, Chile, 2017. Consumo de agua en la minería del cobre al 2016. Comisión Chilena del Cobre.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) y DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2009. Plan de gestión para la cuenca del Río Copiapó: estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Copiapó, Chile: DGA. 178p
- CORPROA (Corporación de Desarrollo para la Región de Atacama), Chile, 2020. Síntesis Económica Región de Atacama – Principales Datos 2017/2018/2019.
- DGA, Chile, 2016. Atlas del agua : Chile 2016. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (DGA), Chile.
- DICTUC, Chile, 2010. Análisis Integrado de gestión de cuenca del Río Copiapó. Informe Final – Tomo I: Resumen Ejecutivo (Informe Técnico N° 901825), Santiago, Chile.
- DOMINGUEZ, F.J., 1974. Hidráulica, Sexta Edición. Editorial Universitarias, Chile.
- FARIAS, I., Chile, 2016. Desarrollo de una metodología para el estudio de la sustentabilidad hídrica de la industria minera mediante el pronóstico y evaluación de la huella hídrica en escenarios de variabilidad climática y operacional. Memoria para optar a título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- GOLDER ASSOCIATES, 2006. Diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable, Informe Final de Resultados, Santiago. Ver resumen ejecutivo en <http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/resumen-ejecutivo-golder.pdf>

- INE (Instituto Nacional de Estadísticas Chile), 2007. Archivo MS Excel “numero-y-superficie-de-las-explotaciones-agropecuarias-con-tierra-por-tamano-segun-region-provincia-y-comuna”, <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>
- LEWINSOHN, J. & SALGADO, R., 2017. La eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros: casos de buenas prácticas en Chile y el Perú. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- LOPEZ, RONNY, 2014. Análisis económico-legal respecto a la gestión del recurso hídrico para el uso agrícola. Memoria de Título, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Pregrado, Universidad de Chile. Santiago, Chile,
- MERUNE, C. 2015. Desalinización Sustentable para la Minería del Norte de Chile. Plan de negocios para optar al grado de Magíster en Administración, Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Chile.
- MIDEPLAN (MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL), Chile, 2016. Metodología Formulación y Evaluación de Proyectos de Riego. Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile.
- ODPEA, Chile, 2018. Región de Atacama, Información regional 2018. ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- ODPEA, Chile, 2017. Panorama de la Agricultura Chile 2017. ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- SEPÚLVEDA, I., 2000. Estudio Diagnóstico de la Explotación Agropecuaria, Programa de Preinversión en Iniciativas de Desarrollo. Gente Nueva y Profesionales Consultores Ltda. Alitar, Conadi, pp. 3-12.
- SAPAG, N., & SAPAG, R. 2008. Preparación y evaluación de proyectos. 5ta ed. Mc Graw Hill.
- Metodología de formulación y evaluación de proyectos de agua potable rural (APR). Ministerio de Desarrollo Social, División de Evaluación Social de Inversiones, Gobierno de Chile, enero 2015
- Metodología de formulación y evaluación de proyectos de riego. Ministerio de Desarrollo Social, División de Evaluación Social de Inversiones, Gobierno de Chile.
- UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos Hídricos, 2011, mar. Transferencia de capacidades para mejorar la gestión del riego en Copiapó, Región de Atacama: componente catastro legal de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales. (Inf. Tec. N°6.5), Concepción, Chile: Comisión Nacional de Riego. 85p.
- VERGARA A., 2018. Regularización de Derechos Consuetudinarios de Aguas. Crítica a la jurisprudencia vacilante de la Corte Suprema. Centro de Estudios Públicos.

11 ANEXOS

11.1 Anexo 1 – Unidades territoriales acuífero río Copiapó

La estimación de la oferta y la demanda se analiza en base a la distribución de las unidades territoriales, que se presentan en el siguiente cuadro (DICTUC, 2010d).

Tabla 11-1 Unidades Territoriales

Sector	Acuífero	Sectores de Riego	Distritos
1	Aguas arriba del Embalse Lautaro	Manflas	-
		Pulido	-
		Jorquera	-
		Junta – Lautaro	1
2	Embalse Lautaro - La Puerta	Lautaro – La Capilla	1
		La Capilla – San Antonio	2
		San Antonio – La Puerta	3
3	La Puerta - Mal Paso	La Puerta – La Turbina	3
		La Turbina – El Yeso	4
		El Yeso – Comp. Negras	4
		Pabellón	5
		Pabellón – Cerrillos	5
		Cerrillos –Mal Paso	6
4	Mal Paso - Copiapó	Mal Paso – Palermo	6
		Palermo – La Florida	7
		La Florida – Copiapó	8, 9
5	Copiapó - Piedra Colgada	Copiapó – Chamonate	-
		Chamonate – P.Colgada	-
6	Piedra Colgada - Angostura	Piedra Colgada – Valle Fértil	-
		Valle Fértil – Angostura	-

La ubicación geográfica de cada uno de los acuíferos se presenta en la siguiente figura (DICTUC, 2010).

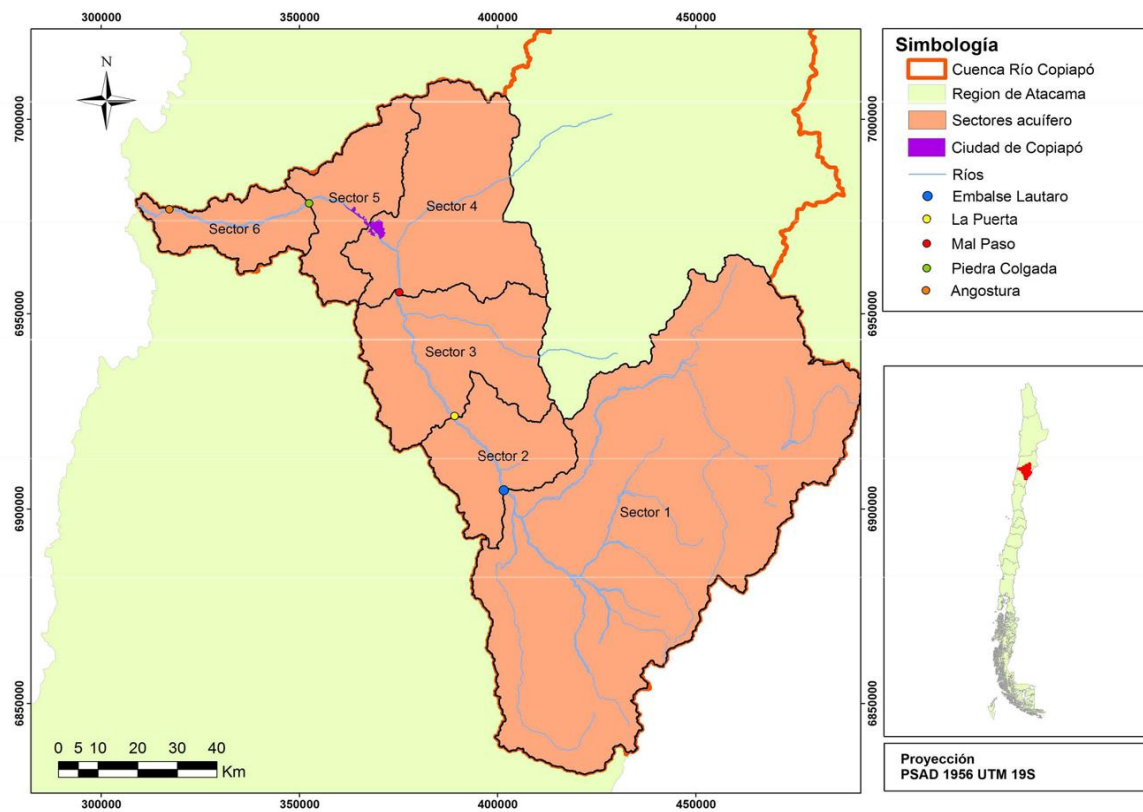


Figura 11-1 Sectores Acuífero de Copiapó

11.2 Anexo 2 - Demanda Legal de Agua Superficial

Los canales administrados se dividen en nueve distritos (ver sección 5.3.2), conformados por comunidades y comuneros donde las acciones son distribuidas (ver tabla Tabla 11-2.)

Figura 11-2 Localización Distritos

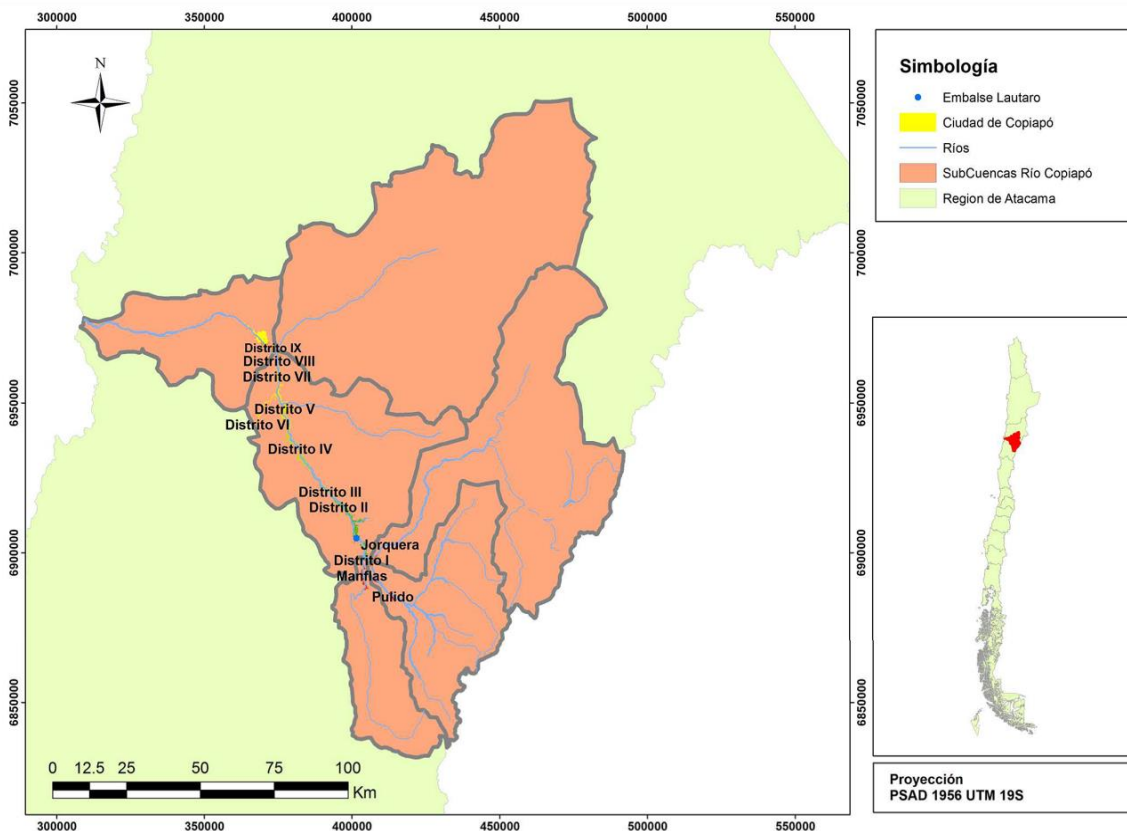


Tabla 11-2 Número de comunidades, comuneros y acciones por distrito

Distrito	Comunidades	Comuneros	Acciones
Distrito I	8	33	708
Distrito II	2	10	720
Distrito III	6	33	721
Distrito IV	5	25	748
Distrito V	2	10	1,330
Distrito VI	6	67	1,451

Distrito	Comunidades	Comuneros	Acciones
Distrito VII	11	205	1,769
Distrito VIII	3	694	2,540
Distrito IX	1	10	683
Jorquera	3	7	1,008
Pulido	5	11	156
Manflas	0	5	144
Total	52	1,110	11,978

La siguiente tabla presenta las acciones entregadas por distrito y sus respectivos caudales en temporada de alta y baja (demanda).

Tabla 11-3 Caudales superficiales y acciones por temporada

Distrito	Nombre del Sector	Mayor Demanda (sept-feb)	Menor Demanda (mar-sept)	Caudal entregado Año 2012	Q/Acción Mayor demanda	Q/Acción Menor demanda	Q/Acción
I	Rodeo - Goyo Díaz	200	70	100	0,28	0,10	0,14
II	Goyo Díaz - San Antonio	200	70	100	0,28	0,10	0,14
III	San Antonio - La Puerta	200	70	100	0,28	0,10	0,14
IV	La Puerta – Pabellón	200	70	100	0,27	0,09	0,13
V	Pabellón – Cerrillos	200	70	100	0,15	0,05	0,08
VI	Cerrillos- Nantoco	200	140	100	0,14	0,10	0,07
VII	Nantoco - Fundación Hernán Videla Lira	200	140	100	0,11	0,08	0,06
VIII	Fundación Hernán Videla Lira - Ciudad de Copiapó	200	140	100	0,08	0,06	0,04
IX	Ciudad de Copiapó – Est.	67	47	70	0,10	0,07	0,10

Distrito	Nombre del Sector	Mayor Demanda (sept-feb)	Menor Demanda (mar-sept)	Caudal entregado Año 2012	Q/Acción Mayor demanda	Q/Acción Menor demanda	Q/Acción
Fluviométrica Copiapó							
Río Jorquera	Rodeo - Goyo Díaz	120	60	60	0,12	0,06	0,06
Río Pulido	Goyo Díaz - San Antonio	120	50	50	0,77	0,32	0,32
Río Manflas	San Antonio - La Puerta	20	10	10	0,14	0,07	0,07
Total		1,927	937	990	0	0	0

De acuerdo con la Universidad de Concepción (Universidad de Concepción, 2011), las acciones se reparten de la siguiente manera: 60% al riego agrícola, 3% áreas verdes y el 37% sin uso o sin información del uso. El alto porcentaje de acciones sin uso o sin información se debe a que usuarios agrícolas han vendido sus acciones a empresas mineras, las que a la fecha no se encuentran registradas.

Actualmente, no existe otorgamiento de derechos de aguas superficiales en el río Copiapó, debido al progresivo agotamiento del recurso hídrico (JVRC, 2012b)

A continuación, se presentan las acciones y caudales superficiales distribuidos en los distintos usos de agua según cada sector acuífero.

Tabla 11-4 Acciones y flujos superficiales y su distribución

Sector	Acciones	(L/s)	Riego	Minería	Potable	Industria	Otros*
1	1.426,5	172,83	95,83%	0	0	0	4,17%
2	1.727,1	241,25	57,14%	0	0	0	42,86%
3	3.816,5	333,56	93,55%	0	0	0	6,45%
4	5.117,6	279,03	56,86%	0	0	0	43,14%
5	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-
Total	12.087,7	1.026,67					

Los sectores 5 y 6 de no son parte de las comunidades de agua asociadas a la JVRC, por lo que no existen datos acerca de este sector.

De la información obtenida de la JVRC, no existen acciones otorgadas a minería, industria y agua potable, sin embargo, la categoría de “Otros” considera información desconocida en cuanto a uso.

11.3 Anexo 3 – Cálculo PEA

La estimación del PEA se basa en análisis realizado por LOPEZ (2014).

La productividad del agua (PEA) se calcula como la razón entre el margen de contribución y el agua empleada en el proceso productivo en base a la siguiente expresión:

$$PEA \left(\frac{\$}{m^3} \right) = \frac{MC \left(\frac{\$}{ha} \right)}{NHC \left(\frac{m^3}{ha} \right)}$$

Donde:

PEA : productividad económica del agua, \$/m³

MC : margen de contribución de cada hectárea productiva , \$/ha

NHC : necesidad hídricas de una hectárea productiva, m³/ha

Las siguientes consideraciones fueron utilizadas para la estimación del PEA:

- Para estimación de ingresos operacionales estándares, se consideran precios nacionales e internacionales en base a indicado por LOPEZ (2014) y en base a la estadística de ODEPA¹⁸
- El costo se estima a partir de la suma de todos los costos directos (costos de mano de obra, maquinaria e insumos). Los costos se obtienen en base lo indicado por LOPEZ (2014) y ODEPA¹⁸
- El calculo de la necesidad hídrica del cultivo (NHC) se estima en base a lo indicado por LOPEZ (2014) basada en encuesta en terreno que consideró los siguientes tópicos
 - Costos directos de producción
 - Tiempo de duración y tipos de labores agrícolas realizadas
 - Rendimientos esperados y precio de venta estimado
 - Requerimientos hídricos

¹⁸ <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/ficha-nacional-y-regionales>
<https://www.odepa.gob.cl/precios/mayoristas-frutas-y-hortalizas>.

Cálculo PEA – Olivo

Costo de Producción				
Ítem/Fuente	Sevillana		Arbequina	
	LOPEZ (2014)	INDAP (2013)	LOPEZ (2014)	Contreras (2007)
Mano de Obra (\$/ha)	663.500	212.150	870.000	739.000
Maquinaria (\$/ha)	975.300	521.150	825.000	57.000
Insumos (\$/ha)	211.700	391.370	162.600	323.000
Total (\$/ha)	1.850.500	1.124.670	1.857.600	1.119.000
Redimiento por ha				
Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Fichet 2014	Osorio 2013	Tapia (2003)
Arbequina	7.500	10.000	6.000-10.000	4.000-8.000
Sevillana	6.500	10.000	6.000-10.000	4.000-8.000
Precio de Venta				
Ítem/ Cultivo	Sevillana	Arbequina		
Precio venta nacional (\$/kg)	357	383		
Rendimiento (kg/ha)	6.500	7.500		
Ingresos (\$CLP/ha)	2.320.500	2.872.500		
Marge de Contribución				
Ítem/ Cultivo	Sevillana	Arbequina		
Ingresos venta (\$/ha)	2.320.500	2.872.500		
Costo directo (\$/ha)	1.850.500	1.857.600		
Margen de contribución (\$/ha)	470.000	1.014.900		
PEA (\$/m3)	58,8	126,9		

Cálculo PEA – Uva de Mesa

Costo de Producción Red Globe

Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Odepa (2013)	SNA (2013)
Mano de Obra (\$/ha)	2.849.100	2.284.000	7.082.000
Maquinaria (\$/ha)	907.500	620.000	560.000
Insumos (\$/ha)	1.206.400	837.000	1.100.300
Total (\$/ha)	4.963.000	3.741.000	8.742.300

Costo de Producción Thompson Seedless

Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Oderpa (2013)	SNA (2013)
Mano de Obra (\$/ha)	3.208.500		6.770.000
Maquinaria (\$/ha)	715.000		560.000
Insumos (\$/ha)	1.089.600		1.100.300
Total (\$/ha)	5.013.100	0	8.430.300

Costo de Producción Flame Seedless

Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Oderpa (2013)	SNA (2013)
Mano de Obra (\$/ha)	3.105.000		
Maquinaria (\$/ha)	1.003.700		
Insumos (\$/ha)	1.084.300		
Total (\$/ha)	5.193.000	0	0

Redimiento por ha Flame Seedless

Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Osorio Alfaro (2005)	y FIA (2003)

Flame Seedless	15.608	10000 18000	- 16.000
----------------	--------	----------------	-------------

Redimiento por ha Thompson Seedless

Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Osorio Alfaro (2005)	y Osorio (2013)
Thompson Seedless	20.500	14000 20000	- 20.900

Redimiento por ha Red Globe

Ítem/Fuente	LOPEZ (2014)	Osorio Alfaro (2005)	y Osorio (2013)
Red Globe	26.438	-	20.970

Precio de Venta

Ítem/ Cultivo	Red Globe	Thompson Seedless	Flame Seedless
Pecio venta nacional (\$/kg)	599	740	701
Rendimiento (kg/ha)	26.438	20.500	15.608
Ingresos (\$CLP/ha)	15.828.431	15.172.050	10.941.208

Marge de Contribución

Ítem/ Cultivo	Red Globe	Thompson Seedless	Flame Seedless
Ingresos venta (\$/ha)	15.828.431	15.172.050	10.941.208
Costo directo (\$/ha)	4.963.000	5.013.100	5.193.000
Margen de contribución (\$/ha)	10.865.431	10.158.950	5.748.208

PEA (\$/m3)	945	924	523
-------------	-----	-----	-----

11.4 Anexo 4 – Criterios de Diseño Sistema de Impulsión de Agua Desalada

Para el diseño de los sistemas de abastecimiento se considera la siguiente metodología.

- 1) Definición de trazado conceptual de la tubería de impulsión desde la zona costera donde se ubicaría la planta desaladora, hasta el punto de entrega mediante Google Earth (distancia versus elevación).
- 2) La pérdida de carga del sistema de impulsión se estima de acuerdo a la ecuación de Darcy–Weisbach y factor de fricción de Colebrook (DOMINGUEZ). Rugosidad de 0,02 mm para tubería con *coating* interno.
- 3) El número de estaciones de bombeo se establecen de acuerdo a un presión de descarga máxima por estación de 1.200 metros columna de agua.
- 4) El diámetro de la tubería se define en base al flujo de diseño, que genera una velocidad media de operación dentro 1,5 y 1,8 m/s.

11.5 Anexo 5 – Estimación de costo de inversión sistema de Impulsión

El costo directo de inversión del sistema se estima considerando los siguientes criterios

- Precio adquisición tubería de acero = 1.200 USD/ton
- Precio adquisición e instalación estación de bombeo clase 900= 1.200 USD/HP instalada
- Precio adquisición e instalación estación de bombeo clase 600= 1.000 USD/HP instalada
- Precio de construcción y montaje tubería de impulsión = 3.500 USD/ton de tubería instalada.

A continuación se presenta el detalle de cálculo de costos de inversión.

<u>Costo Directo</u>	MUSD
Planta Desaladora	220
Ruta Desaladora - Piscinas Reguladoras	
Estaciones de Bombeo	34
Tubería de Impulsión: 43,4 km, 48-inch, CS X65	93
Piscinas Reguladora	34
Suministro Eléctrico	7
Ruta Piscina Reguladora - Río Copiapó	
Estaciones de Bombeo	6
Tubería de Impulsión: 44 km, 24/18-inch, CS X65	18
Ruta Piscina Reguladora - Sector 1	
Estaciones de Bombeo	38
Tubería de Impulsión: 140 km, 26-inch, CS X65	113
Suministro Eléctrico	79
Ruta Piscina Reguladora - Capiشه	
Estaciones de Bombeo	101
Tubería de Impulsión: 130 km, 38-inch, CS X65	225
Sunistro Eléctrico	114
Ruta Caspiche - Maricunga	
Estaciones de Bombeo	25
Tubería de Impulsión: 159 km, 20-inch, CS X65	96
Suministro Eléctrico	20
Total Costo Directo	1.223

<u>Costos Indirectos</u>	MUSD
Supervision, Ingenieria Stgo -(Ing. Basica y Detalle- As Built)	24
EPCM	86
Instalaciones temporales EPCM (Inst- Faenas-Oficinas-baños)	61
Campamento de construcción	60
Fletes y derechos	14
Servicios de terceros al Proyecto	37
Repuestos (Operaciones)	7
Primer llenado (Operaciones)	5
Representantes de Vendor	12
Precomisionamiento y Comisionamiento	2
Total Costo Indirecto	307
Total Directo + Indirecto	1.530
Contingencia (20%)	306
Costos Del Dueño	122
Total CapEx	1.958

11.6 Anexo 6 - Estimación de costo de operación sistema de Impulsión

Los siguientes ítems son considerados dentro del costo operacional:

- Costo anual del personal requerido para la operación
- Consumo energético de equipos de bombeo
- Consumo energético de protección catódica de tuberías de impulsión de acero enterradas
- Costo asociado a bombas y válvulas principales
- Costo de mantenimiento de la plataforma de las tuberías de impulsión
- Costo de mantenimiento de piping

La determinación del costo operacional se basa en los siguientes criterios y consideraciones:

- El consumo energético se calcula con un factor de utilización del 98% considerando un año calendario.
- El costo asociado al consumo energético es de 0,075 USD/kWh .
- El consumo energético de servicios misceláneos asociados a la iluminación, sistemas de monitoreo, cámaras de video, actuadores, etc., se estima en base a una potencia requerida promedio de 50 kWh por estación de bombeo de agua y de 25 kWh para estaciones de monitoreo.
- La potencia requerida, asociada a la protección catódica de cada tubería de impulsión de acero enterrada, se estima en 10 kWh para todo el trazado.
- El costo de mantenimiento de ruta se estima en 3.000 USD/km por año. Por antecedentes de operaciones similares, se asume que al año se debe brindar mantenimiento a un 20% de la longitud del trazado.
- La energía consumida se estima en base al flujo nominal de operación
- El costo de mantenimiento de la tubería de impulsión , asociado a servicio de lanzamiento de PIG para monitoreo de liner epoxi, se estima aproximadamente en 170.000 USD por campaña. Se consideran campañas cada dos años.
- Actividades asociadas a viajes, seguridad, capacitaciones, etc., se estiman como un 10% del costo laboral asociado a los sistemas.
- El costo asociado a contrato de servicios (limpieza y mantenimiento de áreas comunes) se estima en 60.000 USD/año por estación de bombeo.
- Costo asociado a mantenimiento de estanques y piping (no incluye válvulas) se estima en 20.000 USD/año por estación de bombeo.
- El costo asociado a la mantenimiento de bombas se estimará como un 12% del costo de adquisición de estas (500.000 USD por bomba aproximadamente).

- El costo asociado al mantenimiento de válvulas se estima como un 6% del costo capital de cada una.

A continuación se presenta el detalle de cálculo de costos de operación.

Costo Personal Operación y Mantenimiento	Dedicación	Número de Personal	Nº turnos	Personal en trabajo	Personal en descanso	Salario [USD/mes]
Gerencia						
Superintendente Sistema de Abastecimiento	100%	1	1	1		18.000
Gerente Impulsión Agua Desalada	100%	1	1	1		14.400
Gerente Integridad	100%	1	1	1		10.000
Ingeniero Integridad	100%	1	1	1		5.333
Sala de Control	100%					
Jefe Operaciones	100%	1	1	1	0	10.667
Jefe de Turno	100%	2	2	1	1	7.333
Ingeniero Control de Procesos	100%	4	4	2	2	5.333
Mantenición	100%					
Gerente de Mantención	100%	1	1	1		12.667
Jefe de Mantención	100%	2	2	1	1	10.667
Supervisor Mecánico	100%	8	4	4	4	5.333
Mecánico	100%	8	4	4	4	3.600
Supervisor Electricidad & Instrumentación	100%	8	4	4	4	4.500
Eléctrico	100%	8	4	4	4	3.600
Instrumentista	100%	8	4	4	4	3.600
Asistente	100%	1	1	1		2.500
Patrullero	100%	8	4	4	4	1.800
Subtotal						\$3.724.400

Costo Consumo Eléctrico	Potencia requerida [kW]	Energía consumida anual [kWh]	Costo anual [USD]
Tramo Desaladora - Piscinas Reguladoras			
Estación de bombeo 1	21.471	180.566.721	13.542.504
Miscelaneos	50	420.480	31.536
Tramo Piscina Reguladora - Río Copiapó			
Estación de bombeo 1	3.754	31.571.858	2.367.889
Miscelaneos	50	420.480	31.536
Tramo Piscina Reguladora - Sector 1			
Estación de bombeo 1	6.141	51.646.373	3.873.478
Estación de bombeo 2	7.164	60.243.894	4.518.292
Estación de bombeo 3	6.524	54.863.259	4.114.744
Miscelaneos	50	420.480	31.536
Tramo Piscina Reguladora - Capishe			
Estación de bombeo 1	17.960	151.037.279	11.327.796
Estación de bombeo 2	17.429	146.571.954	10.992.897
Estación de bombeo 3	16.843	141.646.114	10.623.459
Estación de bombeo 4	1.394	11.721.418	879.106
Miscelaneos	50	420.480	31.536
Tramo Derivación Caspiche - Maricunga			
Estación de bombeo 1	7.301	61.400.363	4.605.027
Estación de bombeo 2	7.279	61.212.793	4.590.959
Miscelaneos	50	420.480	31.536
Subtotal			\$71.593.832

Costo Mantenición	Costo anual [USD]
Mantenición ruta (USD 3.000 por km por año) (20% long. total)	361.900
Mantenición Válvulas	5.848.000
Mantenición Bombas (12 % costo total bombas+Motor)	2.820.000
Lanzamiento de PIG de limpieza (160.000 USD/Tramo cada dos años)	935.000
Mantenición de estanques y piping 60,000 USD/Estación	715.000
Contrato de servicios (Limpieza y área comunes) 50,000 USD/Estación bombeo	660.000
Miscelaneos (Viajes, capacitación, seguridad) (10% costo anual personal)	372.440
Subtotal	
\$11.712.340	

Costo operativo anual (USD)	87.030.572
Contingencias (5%) (USD)	4.351.529
Costo operativo total anual (USD)	91.382.101

11.7 Anexo 7 - Estimación Precio de Venta

Período de Evaluación	Desarrollo del Proyecto										Operación del Proyecto																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Factor	0,9259	0,8573	0,7938	0,7350	0,6806	0,6302	0,5835	0,5403	0,5002	0,4632	0,4289	0,3971	0,3677	0,3405	0,3152	0,2919	0,2703	0,2502	0,2317	0,2145	0,1987	0,1839	0,1703	0,1577	0,1460	0,1352	0,1252	0,1159	0,1073	0,0994	
Escenario Operacional																															
Producción (Mm3/año)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	69,74	
Costo Operacional Impulsión (usd/m3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	1,52	1,57	1,61	1,66	1,71	1,76	1,82	1,87	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,24	2,30	2,37	2,44	2,52	2,59	2,67	2,75	2,83	2,92	3,00	
Costo Operacional Desaladora (usd/m3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,72	0,74	0,76	0,79	0,81	0,84	0,86	0,89	0,91	0,94	0,97	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,26	1,30	1,34	1,38	1,42	
Precio de Venta (USD/m3)	6,26					6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	6,26	
Costos																															
Costo Operacional Anual (MUSD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104,09	107,25	110,50	113,85	117,30	120,86	124,53	128,31	132,21	136,23	140,37	144,64	149,04	153,58	158,25	163,07	168,04	173,17	178,45	183,89	189,51	195,30	201,27	207,42	213,77	
Costo de Capital (MUSD)	1,858				513,35																										
Multas (MUSD)						18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	
Seguros (MUSD)																															
Costo Total Anual (MUSD)	56,128	22,39	196,49	563,05	563,05	513,35	122,29	125,45	128,70	132,05	135,50	139,06	142,73	146,51	150,41	154,43	158,57	162,84	167,24	171,77	176,45	181,27	186,24	191,36	196,65	202,09	207,71	213,50	219,47	225,62	231,97
Costo Neto Presente (MUSD)	52,519	20,74	168,46	446,97	413,86	349,37	77,06	73,20	69,53	66,06	62,76	59,64	56,68	53,87	51,21	48,68	46,28	44,01	41,85	39,80	37,86	36,01	34,26	32,59	31,01	29,51	28,08	26,73	25,44	24,22	23,05
Ingresos																															
Ingreso por venta (MUSD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	
Ingreso Total Anual (MUSD)	510,919	0,00	0,00	0,00	0,00	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	
Ingreso Neto Presente (MUSD)	53,173	0,00	0,00	0,00	0,00	275,22	254,84	235,96	218,48	202,30	187,31	173,44	160,59	148,69	137,68	127,48	118,04	109,30	101,20	93,70	86,76	80,34	74,38	68,87	63,77	59,05	54,67	50,62	46,87	43,40	
Análisis Financiero y Flujo de Caja																															
Costos	-56,128	(22,39)	(196,49)	(563,05)	(563,05)	(513,35)	(122,29)	(125,45)	(128,70)	(132,05)	(135,50)	(139,06)	(142,73)	(146,51)	(150,41)	(154,43)	(158,57)	(162,84)	(167,24)	(171,77)	(176,45)	(181,27)	(186,24)	(191,36)	(196,65)	(202,09)	(207,71)	(213,50)	(219,47)	(225,62)	(231,97)
Ingresos	510,919	-	-	-	-	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	436,75	
Beneficio Neto	(22,39)	(196,49)	(563,05)	(563,05)	(513,35)	314,45	311,30	308,05	304,70	301,24	297,68	294,02	290,23	286,34	282,32	278,18	273,91	269,51	264,97	260,30	255,47	250,51	245,38	240,10	234,65	229,04	223,25	217,28	211,12	204,78	
Beneficio Acumulado	(22,39)	(219,78)	(791,62)	(1,386,33)	(1,955,13)	(1,476,33)	(1,227,34)	(971,74)	(709,36)	(440,05)	(163,64)	120,05	406,39	688,71	966,88	1,240,79	1,510,30	1,775,27	2,035,57	2,291,04	2,541,55	2,786,93	3,027,03	3,261,68	3,490,72	3,713,97	3,931,25	4,142,37	4,347,15		
Costo financiero	(0,90)	(8,79)	(31,66)	(55,45)	(78,21)	(68,76)	(59,05)	(49,09)	(38,87)	(28,37)	(17,60)	(6,55)	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO		
Flujo de Caja	(22,39)	(219,78)	(791,62)	(1,386,33)	(1,955,13)	(1,476,33)	(1,227,34)	(971,74)	(709,36)	(440,05)	(163,64)	120,05	406,39	688,71	966,88	1,240,79	1,510,30	1,775,27	2,035,57	2,291,04	2,541,55	2,786,93	3,027,03	3,261,68	3,490,72	3,713,97	3,931,25	4,142,37	4,347,15		

