



Universidad de Concepción

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Profesor Patrocinante:

Fernando Concha Arcil

Ingeniero Supervisor:

Marcelo Vergara Soto

SWAPPING COMO ALTERNATIVA ECONÓMICA PARA EL USO DE AGUA DE MAR EN MINERÍA

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA.

GIOVANA ANABELLA GARCIA CUEVAS

Informe de Memoria de Título para optar al título de
Ingeniera Civil de Minas

Enero, 2019

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios, por estar siempre presente en mi vida, guiarme e iluminarme a lo largo de todo el camino.

Como segundo punto agradezco a mi familia por todo el apoyo entregado, no tan solo en esta instancia final sino durante todos los años de mi corta vida, siempre presentes y pendiente de que nada me falte, brindándome su eterno amor y sus sabios consejos en los días que el camino se veía tan lejano. Sin ustedes a mi lado superar las adversidades que han surgido hubiera sido casi imposible. Mamá, todo lo que he logrado en la vida ha sido gracias a ti gracias a tu cariño y paciencia incondicional, gracias por ayudarme a recordar las muchas cosas que mi cabeza loca a veces olvidaba. Papá, gracias por todo lo que me has brindado, nunca has permitido que algo me falte, y a pesar de que en un principio estabas un poco desconfiado de cómo me iba a desarrollar fuera del nido, se que hoy en día estás orgulloso de mi tanto como yo lo estoy de ti y de toda la confianza que me has logrado dar. Hermano, a pesar de no ser tan comunicativo, se todo el cariño que me tienes, espero ser un buen ejemplo para ti y no dudes nunca que siempre estaré para ti. Especial agradecimiento a mis tías, por siempre apoyarme y estar pendiente de mí, gracias por todas sus oraciones las amo como se que ustedes me aman.

En tercer lugar no puedo dejar de agradecer a mi pollo, Cristóbal, siempre agradeceré a la vida por ponerte en mi camino y mas aún en el momento que llegaste, he aprendido demasiado de ti en este camino universitario y gracias a tu ayuda, apoyo, y motivación todo se hizo mas ameno. Las noches en vigilia estudiando, han dado frutos para ambos. De corazón espero seguir construyendo nuestro futuro juntos.

En cuarto lugar están los amigos, la familia que uno elige, gracias por sus risas constantes, por mantener el cariño, y a pesar de no vernos seguidamente, al juntarnos es como si nada haya cambiado. Gracias de igual forma a las amistades que creé en la universidad, espero podamos estar en contacto para toda la vida.

Finalmente agradecer a CRHIAM, en particular a Don Fernando Concha por haberme brindado esta tremenda oportunidad, mentor y guía de esta notable experiencia, además de ayudarme a conseguir la tan anhelada pasantía a Australia; hacer mención a Don Marcelo Vergara por su tremenda ayuda y su innata disposición a todas mis dudas y consultas que fueron surgiendo en el camino, sin usted este camino habría sido mucho mas largo y engorroso.

RESUMEN

La disponibilidad de agua en el país ha ido disminuyendo con el pasar de los años ya sea por factores naturales o inducidos por el hombre. En lo que respecta a Chile, el país tiene una marcada heterogeneidad hídrica; mientras en la zona norte del país se presenta una menor oferta de aguas para el abastecimiento de las principales actividades que allí se desarrollan, la zona sur dispone de una oferta mayor. Actualmente, el desarrollo económico de Chile tiene un pilar fundamental en la utilización de los recursos naturales, dentro de los cuales se encuentra el recurso hídrico. Prácticamente todas las actividades económicas utilizan el agua como un insumo fundamental en sus procesos productivos (agricultura, minería, generación de energía, etc.). Este estudio se enfocará principalmente en el sector minero y su relación con el recurso hídrico, tema de primera importancia si se quiere continuar con la actividad minera y preparar su avance de manera eficiente y responsable a futuro.

La minería; ubicada en las primeras regiones, se ha visto obligada a buscar distintas alternativas para la obtención del agua a usar en sus procesos. Una de estas alternativas es la que estudia esta investigación, la realización de un intercambio o “*Swapping*” con las comunidades que comparten lugar junto a las faenas mineras. La principal idea es que las mineras puedan instalar plantas desaladoras en la costa, y repartir el agua desalada a las comunas aledañas en vez de ocuparla directamente. La explicación a esto, se basa en el costo que mantiene el transporte del agua desalada hacia las mineras, que en la mayoría de los casos están ubicadas a grandes distancias del mar, y a elevadas alturas, por lo que el costo de incurrir en energía para el transporte de agua desalada es muy alto.

Para cumplir con el objetivo principal, que recae en un estudio de factibilidad de la realización de un *swap* de derechos de agua entre mineras y comunidades; fue de máxima importancia el uso del programa digital *Google Earth*, el cual fue usado como base para la elección de las mineras y comunidades que pasaron a ser estudiadas, definidas principalmente por su ubicación espacial.

Posterior al los estudios realizados a las mineras que cumplían con la condición de ser consideradas como “focos de intercambio”, según los distintos parámetros de entrada y salida estudiados con *Google Earth*; se llegó a la conclusión que en todos los casos visualizados, la realización del intercambio tenía una disminución considerable de los costos, y que esto se veía influenciado directamente por la altura en la que se encuentran las mineras y las comunidades con las que se realiza el intercambio.

ABSTRACT

The availability of water in the country has been decreasing over the years, due to different factors; natural as induced by man. Chile has a water heterogeneity, while in the north of the country there is a lower supply of water for the main activities that take place there, the southern area has a greater supply of water resources. Currently, the economic development of Chile has a fundamental pillar in the use of natural resources, within which is the water resource. Practically all economic activities use water as a fundamental input in their production processes (agriculture, mining, power generation, etc.). This study will focus mainly on the mining sector and its relationship with the water resource, a matter of prime importance if we want to continue with the mining activity and prepare its progress in an efficient and responsible manner in the future.

Mining, located in the first regions, has been forced to look for different alternatives to obtain water to use in its processes. One of these alternatives is the one that studies this research, the realization of an exchange or "Swapping" with the communities that share a place in the northern zone next to the mining works. The main idea is that the mining companies can install desalination plants on the coast, and distribute the desalinated water to the surrounding communes, instead of occupying it directly. The explanation for this is based on the cost of transporting the desalinated water to the mining companies, which in most cases are located at great distances from the sea, and at high altitudes, so the cost of incurring energy for the transport of desalinated water is very high.

To comply with the main objective, which is a feasibility study of the realization of a water rights swap between mining companies and communities; the use of the Google Earth digital program was of utmost importance, which was used as a basis for the election of the mining companies and communities that came to be studied, defined mainly by their spatial location.

After the studies carried out to the mining companies that fulfilled the condition of being considered as "focus of exchange" according to the different input and output parameters studied by Google Earth. It was concluded that in all cases, the realization of the exchange had a considerable decrease in costs, and that this was directly influenced by the height at which the miners and the communities with which the exchange takes place are located. .

CONTENIDO

1	Introducción.....	1
1.1	Generalidades.....	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo Principal.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Hipótesis del Estudio	2
1.4	Metodología.....	3
1.4.1	Antecedentes de la Investigación	3
1.4.2	Iniciativa de Swaps	4
1.4.3	Desarrollo y Resultados de las Investigación.....	5
1.5	Alcances.....	6
2	Antecedentes.....	7
2.1	Estudio de Los Recursos Hídricos a Nivel País	7
2.1.1	Estado de los Recursos Hídricos en el País	7
2.1.2	Uso del Agua en Chile	9
2.1.3	Disponibilidad de Agua en el País	10
2.1.4	Situación de los Recursos Hídricos en la Zona Norte	11
2.2	Estudio Recursos Hídricos en la Minería	12
2.2.1	Consumo Total de Agua en la Minería.....	12
2.2.2	Extracción de Agua por Regiones, Norte de Chile.....	15
2.2.3	Uso de Agua de Mar en la Minería.....	19
2.3	Estudio Recursos Hídricos en la Agricultura	22
2.3.1	Riego	23
2.4	Estudio de Cuencas Hidrográficas	24
2.5	Estudio de Comunidades	26
2.6	Estudio Plantas Desaladoras	28
3	Iniciativa De Swap	30
3.1	Ubicación Cuencas Hidrográficas	31
3.2	Mineras - Distancia a la Costa y Cota de Altura	31
3.3	Cantidad de Habitantes y Demanda de Agua Potable	33

3.4	Derechos de Agua	34
3.5	Plantas Desaladoras Existentes	35
3.5.1	Plantas Desaladoras, Primera región de Tarapacá y XV Región de Arica y Parinacota.....	36
3.5.2	Plantas Desaladoras, Segunda Región de Antofagasta.....	36
3.5.3	Plantas Desaladoras, Tercera Región de Atacama	37
3.5.4	Plantas Desaladoras, Cuarta Región de Coquimbo y Quinta Región de Valparaíso	38
4	Desarrollo y Resultados de la investigación	39
4.1	Ubicación Cuencas Hidrográficas	39
4.1.1	Primera Región de Tarapacá (Incluyendo Décima Quinta Región).....	39
4.1.2	Segunda Región de Antofagasta.....	40
4.1.3	Tercera Región de Atacama	40
4.1.4	Cuarta Región de Coquimbo	41
4.2	Mineras- Distancia a la Costa y Cota de Altura	41
4.3	Cantidad de Habitantes y Demanda de Agua Potable	42
4.3.1	Primera Región de Tarapacá.....	43
4.3.2	Segunda Región de Antofagasta.....	44
4.3.3	Tercera Región de Atacama	44
4.3.4	Cuarta Región de Coquimbo	45
4.4	Derechos de agua	46
4.4.1	Primera Región de Tarapacá.....	46
4.4.2	Segunda Región de Antofagasta.....	48
4.4.3	Tercera Región de Atacama	50
4.4.4	Cuarta Región de Copiapó	51
4.5	Relación Parámetros de Entrada	53
4.5.1	Primera Región de Tarapacá.....	54
4.5.2	Segunda Región de Antofagasta.....	58
4.5.3	Tercera Región de Atacama	63
4.5.4	Cuarta Región de Coquimbo	67
4.6	Estudio Económico	71
4.6.1	Primera Región de Tarapacá.....	72
4.6.2	Segunda Región de Antofagasta.....	73
4.6.3	Tercera Región de Atacama	76
4.6.4	Cuarta Región de Coquimbo	77

5 Conclusiones y Discusiones.....	80
6 Referencias.....	82
7 Anexos.....	85
7.1 Extracción de agua por sector.....	85
7.2 Oferta vs Demanda de Agua en el País.....	86
7.3 Protección y Restricción al Uso de Agua.....	86
7.4 Política Nacional para los Recursos Hídricos.....	87
7.5 Proyección de Consumo Esperado de Agua Total en la Minería.....	89
7.5.1 Proyección de Consumo Esperado de Agua Total por Origen.....	90
7.5.2 Proyección de Consumo Esperado de Agua Total por Región.....	90
7.6 Oferta de Agua de las Principales Cuencas Hidrográficas.....	92
7.7 Consumo de Agua por Procesos Productivos.....	94
7.8 Categoría de Minerías.....	95
7.9 Faenas mas Importantes en la Zona Norte del País.....	96
7.9.1 Primera Región de Tarapacá.....	96
7.9.2 Segunda Región de Antofagasta.....	97
7.9.3 Tercera Región de Atacama.....	98
7.9.4 Cuarta Región de Coquimbo.....	99
7.10 Cuencas que No Cumplen con la Condición de Ser Focos de <i>Swap</i>	100
7.10.1 Primera Región de Tarapacá.....	100
7.10.2 Segunda Región de Antofagasta.....	101
7.10.3 Tercera Región de Atacama.....	102
7.10.4 Cuarta Región de Coquimbo.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2.1: Extracción de agua por sector (Izquierda). Extracciones de Agua por Fuente (Derecha).	9
Ilustración 2.2: Disponibilidad de agua por persona. Escala Logarítmica.	10
Ilustración 2.3: distribución de los usos consuntivos del agua a nivel nacional.....	13
Ilustración 2.4: Consumo de agua total en la industria minera del cobre año 2016.....	13
Ilustración 2.5: Distribución porcentual de las aguas en minería, según fuente de abastecimiento año 2016.	14
Ilustración 2.6: Distribución porcentual de las aguas en minería según proceso minero 2016	14
Ilustración 2.7: Consumo de agua por sector, Región de Tarapacá.....	15
Ilustración 2.8: Fuentes de extracción de agua, Región de Tarapacá.....	16
Ilustración 2.9: Consumo de agua por sector, Región de Antofagasta.....	16
Ilustración 2.10: Fuentes de extracción de agua, Región de Antofagasta.	17
Ilustración 2.11: Utilización de Agua de Mar en minería, Región de Antofagasta.....	17
Ilustración 2.12: Consumo de agua por sector, Región de Atacama.	17
Ilustración 2.13: Fuentes de extracción de agua, Región de Atacama.	18
Ilustración 2.14: Utilización de Agua de Mar, Región de Atacama.	18
Ilustración 2.15: Consumo de agua por sector, Región de Coquimbo.....	19
Ilustración 2.16: Utilización de Agua de Mar, Región de Coquimbo.	19
Ilustración 2.17: Uso de Agua de Mar en la minería del cobre (lt/s).	20
Ilustración 2.18: Técnicas de riego en superficie equipadas para el riego con dominio total.....	24
Ilustración 2.19: Cuencas Hidrográficas.	25
Ilustración 3.1: Estructura de costos en US\$/m ³ de agua por tipo de planta.....	32
Ilustración 3.3: Distribución de los usos consuntivos del agua en la zona norte.	34
Ilustración 4.1: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la XV y I Región.	39
Ilustración 4.2: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la II Región.....	40
Ilustración 4.3: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la III Región.....	40
Ilustración 4.4: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la IV Región.....	41
Ilustración 4.5: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la Primera Región.....	43
Ilustración 4.6: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la segunda Región.....	44
Ilustración 4.7: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la tercera Región.....	45
Ilustración 4.8: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la cuarta Región.....	45
Ilustración 4.9: Faenas Mineras – Extracción por fuente, I región.	47
Ilustración 4.10: Faenas mineras – Extracción por Cuencas , I región.	47

Ilustración 4.11: Faenas Mineras – Extracción por fuentes, II región.....	49
Ilustración 4.12: Faenas mineras – Extracción por cuencas, II región.....	49
Ilustración 4.13: Faenas Mineras – Extracción por fuente, III región.	51
Ilustración 4.14: Faenas mineras – Extracción por cuencas, III región.	51
Ilustración 4.15: Faenas Mineras – Extracción por fuente, IV región. Fuente: elaboración propia con datos de...	52
Ilustración 4.16: Faenas mineras – Extracción por cuenca, IV región.	52
Ilustración 4.17: Mineras A y Mineras B, Comunidades y Cuencas de la I Región.	54
Ilustración 4.18: Primer filtro localización mineras-comunidades sobre cuenca hidrográfica Pampa del Tamarugal.....	55
Ilustración 4.19: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa y cota de altura.....	55
Ilustración 4.20: Desaladoras y ríos principales.	57
Ilustración 4.21: Minera foco de <i>Swapping</i> de la región de Tarapacá	57
Ilustración 4.22: Mineras A, Comunidades y Cuencas de la II Región.....	58
Ilustración 4.23: Mineras B, Comunidades y Cuencas de la II Región.....	58
Ilustración 4.24: Cuencas hidrográficas que presentan focos de intercambio en la segunda región de Antofagasta	59
Ilustración 4.25: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa y cota de altura.....	60
Ilustración 4.26: Desaladoras y ríos principales.	62
Ilustración 4.27: Mineras focos de <i>Swapping</i> de la región de Antofagasta.....	62
Ilustración 4.28: Mineras A, Comunidades y Cuencas de la III Región.	63
Ilustración 4.29: Mineras B, Comunidades y Cuencas de la III Región.	63
Ilustración 4.30: Cuencas hidrográficas que presentan focos de intercambio en la tercera región de Atacama...	64
Ilustración 4.31: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa.	65
Ilustración 4.32: Desaladoras y ríos principales.	67
Ilustración 4.33: Minera foco de <i>Swapping</i> de la región de Atacama.....	67
Ilustración 4.34: Mineras A (Lado derecho) y B (Lado izquierdo), Comunidades y Cuencas de la IV Región.	67
Ilustración 4.35: Cuencas hidrográficas que presentan focos de intercambio en la cuarta región de Coquimbo..	68
Ilustración 4.36: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa.	69
Ilustración 4.37: Desaladoras y ríos principales.	70
Ilustración 4.38: Minera foco de <i>Swapping</i> de la región de Coquimbo.....	71
Ilustración 4.39: Estudio económico minera Doña Inés de Collahuasi.....	73
Ilustración 4.40: Estudio económico minera El Abra.....	74
Ilustración 4.41: Estudio económico minera Spence.	75
Ilustración 4.42: Estudio económico minera Radomiro Tomic.....	76
Ilustración 4.43: Estudio económico minera Caserones	77
Ilustración 4.44: Estudio económico minera Los Pelambres.....	78
Ilustración 7.1: Demanda versus Oferta de agua en Chile	86
Ilustración 7.2: Protección y Restricción al uso de agua.....	87

Ilustración 7.3: Consumo esperado de agua total en la minería del cobre 2014-2025 (m ³ /s).....	89
Ilustración 7.4: Consumo esperado de agua total en la minería del cobre por origen 2014-2025 (m ³ /s).	90
Ilustración 7.5: Consumo esperado de agua total en la minería del cobre por región 2014-2025 (m ³ /s).	91
Ilustración 7.6: Consumo esperado de agua fresca y agua de mar en la minería del cobre en las principales regiones mineras 2014-2025 (m ³ /s). (COCHILCO, 2014).....	91
Ilustración 7.7: Oferta referencial de aguas superficiales.	92
Ilustración 7.8: Oferta referencial de aguas subterráneas.	93
Ilustración 7.9: Brecha Hídrica en distintas Cuencas hidrográficas.	94
Ilustración 7.10: Minas Categoría A.	95
Ilustración 7.11: Minas categoría B.....	95
Ilustración 7.12: Minas categoría C.	96
Ilustración 7.13: Minas categoría D.....	96
Ilustración 7.14: Cuencas de la primera región que NO cumplen con la condición de ser focos de <i>Swap</i>	100
Ilustración 7.15 a: Cuencas de la segunda región que NO cumplen con la condición de ser focos de <i>Swap</i>	101
Ilustración 7.16 a: Cuencas de la tercera región que NO cumplen con la condición de ser focos de <i>Swap</i>	102
Ilustración 7.17: Cuencas de la cuarta región que NO cumplen con la condición de ser focos de <i>Swap</i>	104



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Precipitaciones media anual y escorrentía media anual en el norte de Chile.....	8
Tabla 2.2: Recursos Renovables de Agua Dulce en el País.	8
Tabla 2.5: Empresas con uso de agua de mar directamente en los procesos.....	20
Tabla 2.6: Rol de la Agricultura en el País.....	23
Tabla 2.7: Superficie regada en 2006-2007, según sistema y localización geográfica en las cuatro primeras regiones (ha).	23
Tabla 2.8: 15 Cuencas Hidrográficas de mayor tamaño en Chile.....	26
Tabla 2.9: División administrativa de Chile.....	27
Tabla 2.10: Operaciones con plantas desaladoras.	29
Tabla 3.1: Demanda estimada de agua por sector económico en la zona norte (m ³ /s).....	34
Tabla 3.2: Caudal otorgado de derechos superficiales distribuidos por regiones en la zona norte.	35
Tabla 3.3: Caudal otorgado de derechos subterráneos distribuidos por regiones en la zona norte.....	35
Tabla 3.4: Plantas desaladoras en la región de Tarapacá.	36
Tabla 3.5: Plantas desaladoras en la región de Antofagasta.	37
Tabla 3.6: Plantas desaladoras en la región de Atacama.	38
Tabla 3.7: Plantas desaladoras de la región de Coquimbo.	38
Tabla 4.1: Distancias y cotas de altura de las mineras mas importantes presentes en la zona norte del país.	42
Tabla 4.2: Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la I región.....	46
Tabla 4.3: Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la II región.	48
Tabla 4.4 : Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la III región.	50
Tabla 4.5: Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la IV región.	52
Tabla 4.6: Costos asociados a distintas alturas.....	71
Tabla 4.7: Resumen Económico de los escenarios estudiados.....	79
Tabla 7.1: Extracción de agua en el país.....	85
Tabla 7.2: Extracción de agua por Sector.....	85

NOMENCLATURA

UNIDADES DE MEDIDA:

- (ms.n.m.) Metros sobre el nivel del mar.
- (m) Metros.
- (km) Kilómetros.
- (tmf) Toneladas Métricas Finas.
- (m³/s) Metros Cúbicos por Segundo.
- (lt/s) Litros por Segundo.

FINANCIERA:

- (Capex) *Capital Expenditure*, Costo Capital.
- (Opex) *Operating expense*, Costo Operacional.
- (CLP) *Chilean Pesos*, Pesos Chilenos.
- (USD) *United States Dollar*, Dólar Americano.

INSTITUCIONES:

- (CODELCO) Corporación Nacional del Cobre de Chile.
- (CRHIAM) Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería.
- (DGA) Dirección General de Aguas.
- (CNR) Comisión Nacional de Riego.
- (INE) Instituto Nacional de Estadísticas.
- (SIG) Sistema de Información Geográfica.
- (BCN) Biblioteca de Congreso Nacional de Chile.
- (RCA) Resolución de Calificación Ambiental.
- (COCHILCO) Comisión Chilena del Cobre.
- (SISS) Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- (APR) Agua Potable Rural.
- (CPA) Catastro Público de Aguas.
- (SHAC) Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El agua dulce es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida y las actividades productivas, y por tanto directamente relacionado con el crecimiento económico de un país.

Chile cuenta con un paraje favorable en lo que respecta a promedio total de recursos hídricos comparado con la mayoría de países del resto del mundo; no así, en la distribución de éstos dentro del territorio llegando a variar considerablemente en el norte del país y la zona sur [1].

La Minería ha sido un motor de desarrollo para Chile, generando un gran impacto en el ámbito económico, social y cultural. La mayor parte de las mineras del país se encuentran estratégicamente ubicadas en la zona norte, que es donde se dan los mayores yacimientos cupríferos. Al estar la minería ubicada en esta zona, desde siempre ha tenido problemas en lo que respecta a la obtención de agua, debido a que esta industria necesita la disponibilidad y la gestión adecuada de este recurso para su sustentabilidad, viéndose influenciado esto por la escasez de agua que predomina en las regiones que conforman el norte grande y norte chico.

Esta escasez de agua en la zona norte del país, ha llevado a muchas empresas mineras a contemplar el uso agua de mar desalada en sus faenas, sin ir mas lejos, hay una gran cantidad que ya lo están haciendo y se contemplan alrededor de 30 proyectos de plantas desaladoras. En el marco legal se presentó recientemente un proyecto de ley a la comisión de Recursos Hídricos de la cámara de Diputados, que obligaría a todas las empresas mineras a utilizar agua de mar en sus operaciones [2].

En un reciente estudio, se estableció que el costo del uso de agua desalada para la minería, depende de la localización de la empresa en cuanto a distancia de la costa y de su altura sobre el nivel del mar. Si el agua desalada en la planta desaladora cuesta poco mas de 1 USD/m³ [3], a una distancia de 150 km y 4000 m de altura, el valor sube a 6 y hasta 9 USD/m³ [3], este alto costo puede ser la diferencia entre la factibilidad de emprender un negocio minero o no hacerlo.

Si nos enfocamos en el costo que tiene el agua dulce para las comunas de la zona norte; ésta tiene un costo similar en lo que respecta al agua desalada, y en algunos casos mayor [4], por lo que es dable pensar que el uso de agua de mar desalada es una solución atractiva para el consumo humano en comunidades, totalmente independiente de problemas como crisis derivada de fenómenos climáticos.

La presente investigación tiene como finalidad, realizar un estudio de factibilidad en lo que respecta a un *Swapping*¹ de agua desalada por parte de las mineras situadas en la zona norte del país, hacia las comunidades ubicadas en la misma zona. De esta forma, las mineras podrían ocupar el agua dulce que originalmente correspondía a las comunidades a un costo significativamente menor, y las comunidades, ocupar agua proveniente de plantas desaladoras, a un costo igual o menor al que contaban en un principio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

Se propone la realización de un estudio de factibilidad económica sobre la posibilidad de intercambiar derechos de agua entre mineras y comunidades. Las empresas mineras instalarían plantas desaladoras, pero en vez de usar esa agua, se la cederían a las comunidades como agua potable al mismo precio que ahora se paga por ella. De esta manera, las faenas mineras podría utilizar el agua dulce a un costo mucho menor que el resultante de transportar agua desalada desde la costa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar la localización de las faenas mineras, agrícolas y ciudades en el norte del país.
- Identificar la disponibilidad de agua existente en el norte del país y de los derechos de agua de estas empresas.
- Estudio del costo de agua desalada, tanto para las empresas mineras como para otras empresas.
- Identificación de la factibilidad de *Swapping* (intercambio de agua) entre varios usuarios de agua y establecer en que casos es posible y económico este intercambio.
- Realización de un estudio global sobre el intercambio y comparar su efecto en la economía del país en la zona norte.

1.3 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

La escasez de agua en la zona norte del país ha llevado a los investigadores a buscar distintas alternativas que sean soluciones para este problema; una de estas es incluir o más bien aumentar el consumo de agua de mar, recurso renovable con el que se cuenta en bastas

¹ *Swapping*: Intercambio de recursos.

cantidades en el planeta. El sector minero, ubicado principalmente en las primeras regiones de Chile, necesita grandes cantidades de agua para cumplir con su producción, el uso de agua de mar sería una solución beneficiosa para este sector, de no ser por el costo que conlleva el transporte de agua desalada desde la costa al lugar donde están ubicadas las faenas mineras. Es por esto que surge la idea de la realización de un intercambio de derechos de agua [desalada – agua dulce] por parte de las empresas mineras hacia las comunidades, las personas podrían ocupar esta agua previamente desalada al mismo precio con que el consumían el agua dulce. Para de esta forma, las empresas mineras poder seguir utilizando el agua dulce directamente en sus operaciones.

1.4 METODOLOGÍA

A continuación se muestran las etapas que se desarrollaron en el largo de la investigación; para así dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

1.4.1 Antecedentes de la Investigación

1.4.1.1 Estudio de los Recursos Hídricos a nivel país

Como primer paso, prima la obtención de antecedentes del sector hídrico del país; una mirada global es necesaria para poder cumplir con todos los estudios que le prosiguen. Información acerca del estado en que estos recursos se pueden encontrar, los usos, la disponibilidad en Chile y la situación de estos en la zona norte; nos da la base para continuar con los estudios que vienen a continuación, correspondientes a recursos hídricos pero en enfoques específicos.

1.4.1.2 Estudio Recursos Hídricos en la Minería

Se obtiene información sobre el consumo de agua del sector minero en el país, en relación con los otros sectores productivos, desde que fuente obtienen los recursos hídricos, y la distribución por procesos. Se realiza una búsqueda exhaustiva por regiones, sobre el uso de agua en este sector y finalmente un hincapié sobre el uso de agua de mar en la minería y los costos asociados a esto.

1.4.1.3 Estudio Recursos Hídricos en la Agricultura

Un enfoque importante para esta investigación, fue la obtención de antecedentes sobre el sector agrícola en el norte de Chile, para así contextualizar la cantidad de recursos hídricos

ocupados, además de los recursos humanos que están ligados con ésta área. De igual forma, se puede tener una mirada holística sobre la influencia de éste sector en la obtención de agua sobre cuencas hidrográficas, ligadas con las mineras anteriormente descritas, y con las comunidades que habitan esos sectores del norte del país.

1.4.1.4 Estudio Cuencas Hidrográficas

Uno de los enfoques más importantes en esta investigación. En este punto fue necesaria la recopilación de información sobre las cuencas hidrográficas presentes en el país, donde se encuentran ubicadas y cuales son las mas importantes del territorio nacional, para tener un escenario claro sobre que cuenca están ubicadas las mineras descritas en el punto anterior; y las comunidades con las cual se quiere realizar el intercambio que son descritas en el punto siguiente.

1.4.1.5 Estudio Comunidades

En el estudio de las comunidades se necesitó información sobre la ubicación de los sectores mas poblados del norte de Chile, ubicándolos por región. Con estos datos, se puede tener claridad sobre la ubicación sobre cuencas hidrográficas, que son compartidas a la vez con los sectores mineros y agropecuarios, para poder realizar en partes específicas el *Swapping* de agua al cual se quiere llegar en esta investigación.

1.4.1.6 Estudio Plantas Desaladoras

Se necesitó un análisis respecto a las plantas desaladoras presentes en el país; examinando los métodos utilizados para la desalación, y diferenciando entre las plantas que reparten agua a empresas mineras y las que son utilizadas para el consumo humano.

1.4.2 Iniciativa de Swaps

En ésta etapa de la investigación se da conocimiento de los **parámetros de entrada** que son partícipes directos del desarrollo del estudio. La explicación teórica del concepto de *Swapping*, de los factores más importantes en lo que respecta a la relación de las mineras – comunidades, en que influye la altura y la correspondiente distancia a la costa que presenta cada foco minero, el número de habitantes por región y su consumo de agua per cápita, los derechos de agua con que cuentan las empresas mineras, y todos los tipos de plantas desaladoras existentes en el país.

1.4.3 Desarrollo y Resultados de las Investigación

En el desarrollo de la investigación, se obtienen los **parámetros de salida (parámetros numéricos)** de cada uno de los parámetros de entrada explicados en el punto anterior. Estos parámetros servirán como base cuantitativa para llegar a los resultados posibles del *Swapping*. Posterior a la obtención de los datos numéricos se prosigue a la creación de un esquema didáctico para tener una visión general de los datos obtenidos. El programa elegido para tener las referencias, fue *Google Earth*²; en este mapa se dispuso cada uno de los estudios anteriormente descritos.

- Ubicación espacial de las mineras elegidas; gran como mediana minería, con sus respectivas cotas de altura y distancias.
- Ubicación y esquema poligonal de las cuencas hidrográficas presentes en el norte de Chile.
- Ubicación en el mapa, de las comunidades mas representativas de las cuatro primeras regiones del país.
- Ubicación de las plantas desalinizadoras existentes al día de hoy. Incluyendo aquellas que se encuentran en etapa de factibilidad, o en proyecto de creación.
- Ubicación de ríos principales, para tener puntos de referencia de zonas donde se obtiene agua para el riego (que corresponde a una de las mayores demandas de recurso hídrico en las regiones nortinas), agua para las empresas mineras, y agua para el consumo humano.

Obtenidos los puntos referenciales de cada estudio, se puede tener una mirada global de lo que se pretende hacer en esta investigación. Por regiones se prosigue a obtener aquellos puntos que pueden ser un potencial *Swap* de recursos hídricos, esto realizado mediante distintos filtros, tales como la ubicación espacial de mineras y comunidades que se encuentran sobre las mismas cuencas hidrográficas, excluir del estudio aquellas mineras que se encuentran cercanas a la costa y que presentan bajos derechos de agua, además de aquellas que ya cuentan con plantas desaladoras para ciertos fines estipulados (detallado en ítem “desarrollo”).

Como último paso del desarrollo, se realiza el estudio económico de las mineras que pasaron los distintos filtros, con este último paso se puede decir si el estudio de intercambio entre mineras y comunidades es factible o no, o en pocas palabras, si al realizar el *Swap* se denota una disminución de los costos asociados al transporte de agua previamente desalinizada.

² *Google Earth*: Programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital.

1.5 ALCANCES

- Por tiempo y complejidad el mercado objetivo se centrará en las cuatro primeras regiones de la zona norte del país; Tarapacá, Antofagasta, Atacama, y Coquimbo. Además que es en esta zona donde se presenta concentrada la gran minería en el país.
- Las mineras examinadas corresponden a mineras grandes y medianas (mas adelante estas serán referidas como mineras A y mineras B respectivamente). Son elegidas debido a los derechos de agua con los que cuentan. Se excluirán de este estudio las mineras pequeñas debido a la gran cantidad que existe a lo largo del territorio nacional y además por el bajo nivel de significancia que implica su consumo de agua, referente a la oferta del recurso en el lugar donde se emplazan.
- Las mineras y comunidades elegidas para la realización del estudio, fueron aquellas que comparten lugar en una misma cuenca hidrográfica, debido a una cuenca corresponde a un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural [3], éste compartido por ambas variables a estudiar.
- El estudio se realiza a mineras por separado, no un conjunto de ellas, de ser así se podrían agrupar pequeñas mineras y obtener un estudio económico de este cluster minero, pero no es el alcance del estudio en cuestión. Se deja para estudios futuros.
- Este estudio se enfocó en mineras que ya contaban con alguna planta desaladora construida para sus operaciones, y de esta manera ahorrar el costo capital; sin embargo, una planta desaladora inexistente para cierta faena, no será un filtro lo suficientemente fuerte para sacar del estudio a esta minera. Por otro lado, una minera que ya cuente con su propia planta desaladora y esta se encuentre en etapa de operación, no podrá ser utilizada en este estudio, ya que la continuidad operacional de la faena ya tiene destinado el uso de ésta.
- Para simplificación de cálculos, las distancias y las alturas ocupadas en cada uno de los parámetros, fueron obtenidas según el programa *Google Earth*, el cual nos da una aproximación de éstas. Al compararlas con los valores reales, se llega a la conclusión que son muy similares, con una desviación del 10% del valor original.
- Las cuencas hidrográficas, parámetros de primera importancia para los filtros realizados a las mineras, fueron dibujadas una por una sobre el mapa de Chile en *Google Earth*, no localizadas según coordenadas geográficas como el resto de los parámetros, por lo que el límite de cada cuenca puede tener pequeñas variaciones.
- Los ríos principales al igual que las cuencas hidrográficas fueron dibujados sobre el mapa de Chile, basándose en un mapa preexistente.

2 ANTECEDENTES

2.1 ESTUDIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL PAÍS

Como es sabido a nivel mundial; los recursos hídricos se hacen cada vez mas escasos, producto de diversos factores; entre ellos, el crecimiento de la población, el desarrollo económico-social y el cambio climático. Una gran proporción de la humanidad no cuenta con el acceso a este recurso (especialmente los países en vía de desarrollo) y lo que está disponible, muchas veces está contaminado por usos industriales, mineros y actividades humanas en general. Lo anterior ha llevado a la necesidad de plantear un nuevo paradigma de desarrollo sostenible, que articule la finitud de los recursos naturales, y la dificultad para recuperarlos cuando estos se sobreexplotan, que a la vez permita cautelar los recursos disponibles para las actuales y futuras generaciones [5].

Chile, al igual que el resto de los países, no se escapa de este dilema que se agudiza severamente bajo el contexto del cambio climático; proceso que altera el régimen de las precipitaciones y de las temperaturas. Producto de las dificultades que se observan en muchas comunidades por el acceso a agua potable, se ha hecho necesario establecer el concepto de los derechos humanos al agua; mas bien explicado en el artículo I.1³, esto sumado al saneamiento, reafirmando que el agua potable limpia y la higiene son esenciales para la realización de todos los derechos humanos [5].

2.1.1 Estado de los Recursos Hídricos en el País

Chile en comparación al resto de los países, es considerado privilegiado en lo que corresponde a la disponibilidad de recursos hídricos, sin embargo su disponibilidad es desigual a lo largo del territorio nacional. La mayoría de los lagos de gran tamaño, están localizados entre las regiones de la Araucanía y Magallanes. Particularmente los recursos hídricos en el país se pueden encontrar de la siguiente manera:

- **Aguas superficiales:** Incluyendo el agua salada. Para su almacenamiento, el país cuenta con mas de 60 embalses de acumulación, destinados en su mayoría a riego, hidroelectricidad y agua potable [5].

³ Artículo I.1: “el derecho humano al agua es indispensable para una vida humana digna”

- **Aguas subterráneas**⁴: Corresponden a sedimentos cuaternarios no consolidados de origen aluvial, fluvial, fluvio-glacial, entre otros. Para el consumo humano, en zonas rurales alcanza un 40% del volumen total consumido. Y para zonas rurales, un 76% [5].
- **Interacción agua superficial - subterránea**: Esto es debido a las características geomorfológicas y geológicas que el país presenta. En ríos se pueden observar lugares donde las aguas superficiales recargan los acuíferos y en otros donde las aguas subterráneas afloran en vertientes [5].
- **Glaciares**: Constituyen una de las principales fuentes de agua dulce del planeta. Chile alberga el 76% de la superficie de glaciares del continente sudamericano [5].
- **Lagos y lagunas**: Reserva hídrica importante en Chile. Están ubicados principalmente en la zona sur del país. Representan una superficie del 1,5% del territorio nacional [5].

La precipitación media anual⁵ en el país alcanza los 1.522 mm lo que supone un volumen anual de 1.151 km³ en todo su territorio [6]. De este volumen total, 885 km³ se convierten en escorrentía⁶ y 266 km³ vuelven a la atmósfera, bien como evaporación directa de los lagos, lagunas naturales y embalses o evapotranspiración [6].

En la Tabla 2.1 se presentan las precipitaciones medias anuales, y la escorrentía media anual existente en la zona norte (cuatro primeras regiones). La Tabla 2.2 explica sobre los recursos hídricos renovables de agua dulce existentes en el total del país.

Tabla 2.1: Precipitaciones media anual y escorrentía media anual en el norte de Chile.
(AQUASTAT, 2013)

Nº	Región	Superficie (km ²)	Precipitación Media Anual (mm/año)	Escorrentía Media Anual (km ³ /año)
I	Tarapacá	58.698	93,6	0,38
II	Antofagasta	126.444	44,5	0,03
III	Atacama	75.573	82,4	0,06
IV	Coquimbo	40.656	222	0,70

Tabla 2.2: Recursos Renovables de Agua Dulce en el País.
(AQUASTAT, 2013)

Recursos Hídricos Renovables de Agua Dulce	Cantidad	Unidad de Medida
Precipitación (media a largo plazo)	1.522	mm/año
	1.151.000	millones m ³ /año
Recursos Hídricos Renovables Internos (medio a largo plazo)	885.000	millones m ³ /año
Recursos Hídricos Renovables Totales	923.000	millones m ³ /año
Tasa de Dependencia	4,1	%
Recursos Hídricos Renovables Totales por Habitante	52.384	m ³ /año
Capacidad Total de Presas	14.443	millones m ³

⁴ Aguas subterráneas: "Las que se encuentran ocultas en el seno de la tierra y no han sido alumbradas".

⁵ Precipitación media anual: Promedio de las lluvias registradas en los doce meses del año

⁶ Escorrentía: Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

Si bien, las fuentes hídricas mencionadas en los párrafos anteriores son las principales a nivel país, la escasez del recurso en la zona norte del país (XV, I, II y III regiones) ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes. En esta línea, desde el año 1999 importantes empresas han trabajado en la desalinización del agua de mar, alcanzando hoy en día un volumen estimado de 0.065 km³/año [7].

2.1.2 Uso del Agua en Chile

La extracción de agua en el país, se divide en usos Consuntivos y usos no Consuntivos; a continuación se identifican cada uno de estos,

- **Usos consuntivos del agua:** Aquel en que por características del proceso, existen pérdidas volumétricas de agua, los sectores que destacan son: [5].
 - Sector silvoagropecuario
 - Sector agua potable y saneamiento
 - Sector industrial y minero
- **Usos no consuntivos:** aquel en el que no existe pérdida de agua, ya que la cantidad que entra es la misma o aproximadamente la misma que termina con el proceso [5].

La extracción hídrica total nacional para el año 2006 alcanzó los 35.43 km³, de los cuales 29.42 km³ fueron extraídos por la agricultura, equivalente al 83% del total de las extracciones, 1.27 km³ por parte de municipalidades o el 4% del total de extracciones, y 4,74 km³ por la industrial o el 13% del total de las extracciones⁷.

A continuación se presentan un gráfico representativo de la extracción por fuente y sector [8].

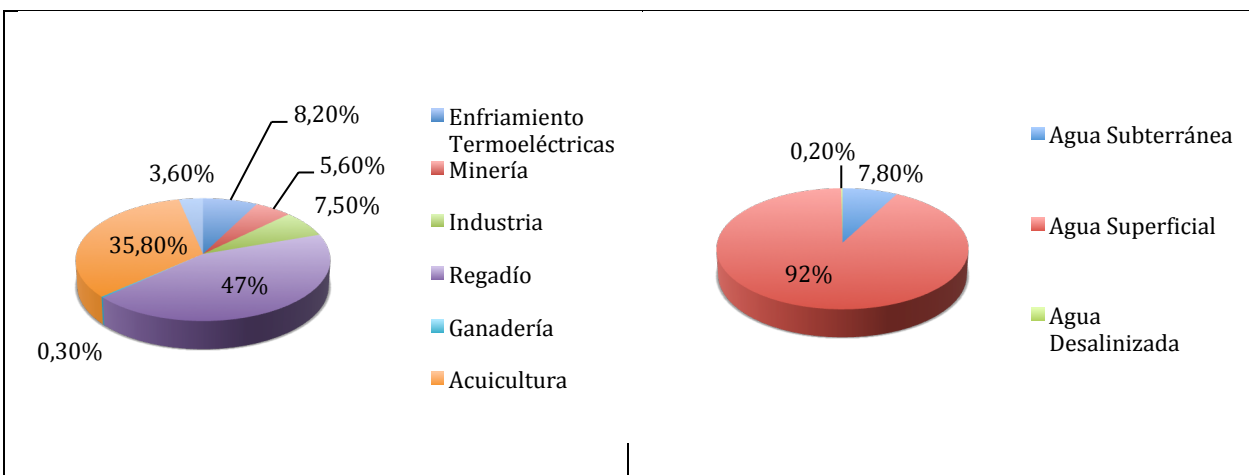


Ilustración 2.1: Extracción de agua por sector (izquierda). Extracciones de Agua por Fuente (Derecha).

(AQUASTAT, 2006)

⁷ Para mayor información sobre la extracción sectorial y por fuente, dirigirse al anexo 7.1.

Del total hídrico extraído; 32.59 km³ (92.0%) proviene de aguas superficiales, 2.78 km³ (7.8%) de aguas subterráneas y 0.06 km³ (0.2%) es agua desalinizada (Ilustración 2.1). La mayor parte de los ríos del país están agotados desde el punto de vista de los derechos de aprovechamientos permanentes que otorga la Dirección General de Aguas (DGA), y de los cuales no se hace un uso efectivo necesariamente [8].

2.1.3 Disponibilidad de Agua en el País

Chile cuenta con 1.251 ríos, los que se emplazan en las 101 cuencas principales existentes en el país. Además, hay más de 15.000 lagos y lagunas de todo tipo de formas y tamaños que constituyen un invaluable activo medio ambiental y turístico. En general, los recursos hídricos presentes en ellos contienen agua de buena calidad y son importantes reguladores de los flujos en las cuencas [10].

Al considerar todo el territorio chileno, el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurre por los cauces es de 53.000 m³ por persona al año, superando en 8 veces la media mundial (6.600 m³/habitante/año), y en 25 veces el mínimo de 2.000 (m³/habitante/año) que se requiere desde la óptica de un desarrollo sostenible [10]. Sin embargo, cuando se analiza regionalmente este valor promedio, se hace evidente la heterogeneidad hídrica del país. De este modo, desde la Región Metropolitana hacia el norte, prevalecen condiciones de escasez, donde la esorrentía per cápita promedio está por debajo de los 500 m³/persona/año, mientras que las regiones de O'Higgins hacia el sur superan los 7.000 m³/persona/año, llegando a un valor de 2.950.168 m³/persona/año en la Región de Aysén [11].

En la Ilustración 2.2, se puede observar la disponibilidad de agua por persona, existente en cada una de las regiones del País, como análisis al año 2009.

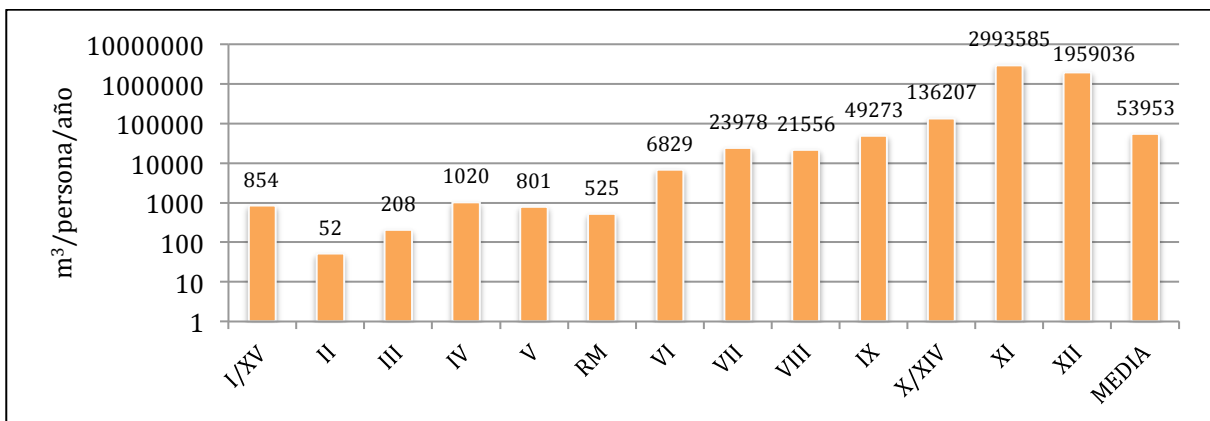


Ilustración 2.2: Disponibilidad de agua por persona. Escala Logarítmica. (DGA, 1987)

El sostenido crecimiento económico y desarrollo social de las últimas décadas ha generado y seguirá generando demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos por parte de los diferentes tipos de usuarios. Desde la Región Metropolitana al norte la demanda supera con creces la disponibilidad de este recurso. En esta zona del país se observa un déficit en la disponibilidad de agua comparado con la demanda, que en algunas regiones es cercano al 100%. De no tomarse medidas este déficit se verá agravado para el año 2025, dado que se espera un aumento en la demanda⁸ por el recurso en estas regiones que en algunos casos superará el 50%. Por el contrario, desde la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins hacia el sur, se prevé que existirá disponibilidad suficiente para cubrir la demanda [10].

2.1.4 Situación de los Recursos Hídricos en la Zona Norte

La zona norte está conformada por las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Con una superficie total de 300.904 km² alberga a poco más de 2 millones de habitantes, lo que corresponde al 12,67% de la población total. Su densidad poblacional es de 7,6 personas/km². Se caracteriza por un clima árido a semiárido, con escasas precipitaciones que aumentan en dirección sur, siendo el promedio de lluvia caída de 87 mm/año. Presenta una exigua escorrentía de 36,9 m³/s, lo que equivale al 0,13% del total nacional. Posee la menor escorrentía per cápita con un total de 510 m³/persona/año. En cuanto a los glaciares, a pesar de que su número es relativamente importante, el volumen es menor en comparación a otras zonas, con un total de 2.142 glaciares y 3,3 km³ de volumen de glaciar. Pese al grado de escasez hídrica, esta zona posee un número no menor de lagos y lagunas. Con un total de 545 cuerpos de agua, representa el 4,3% del total nacional. El curso de agua que más se destaca en la zona es el Río Loa, siendo este el río más largo de Chile, el que cuenta con 440 km de longitud y un área de cuenca de 33.081 km² [12].

Una de las principales actividades económicas que se desarrolla en el norte, es la minería, concentrando el 78% del total nacional de empresas dedicadas a la extracción de cobre, oro, plata y otros minerales. Esta actividad requiere de agua para la realización de sus procesos, con una demanda estimada de 10,41 m³/s. El sector Agropecuario es el que más utiliza el recurso hídrico para el riego de cultivos y abrevadero para animales con una demanda de 51,45 m³/s [13].

Como se puede prever, el consumo excesivo de agua dulce, ha llevado a las autoridades a la generación de diversas políticas⁹, que puedan resguardar la seguridad futura del recurso hídrico.

⁸ Para mayor información sobre la demanda futura dirigirse al Anexo 7.2 y 7.3

⁹ Para mayor información sobre las Políticas Nacionales para los Recursos Hídricos, dirigirse al Anexo 7.4

2.2 ESTUDIO RECURSOS HÍDRICOS EN LA MINERÍA

Como fue mencionado, se han presentado proyectos de ley que buscan la obligatoriedad de implementar plantas desaladoras de agua de mar en las operaciones mineras a gran escala, en particular a ellas que requieran sobre 150 litros de agua por segundo [1]. La idea de este proyecto es dirigirse hacia la minería sustentable, ya que al establecer estas plantas desaladoras, se evita la extinción de los recursos hídricos disponibles, particularmente en zonas desiertas.

En el sector minero, la mayor fuente de extracción de agua proviene de origen subterráneo, lo que constituye un 39,4%. El agua de origen superficial, en tanto, alcanza el 38,6%, y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6,7%. Mientras que las aguas de origen marino llegaron al 15,2% en 2016. Este estudio detalla además que el consumo de agua de mar a experimentado un crecimiento promedio de 40% entre 2010 – 2016 [14].

La actividad minera se localiza principalmente desde la Región Metropolitana al norte, precisamente la zona que presenta las situaciones de estrés hídrico más extremas y en donde se prevén aumentos de demanda para los próximos 25 años del orden de un 200%. Según investigaciones, al 2030 el consumo de agua fresca tendería a disminuir en una tasa anual de un 1,5% respecto de los estimado el 2016¹⁰. Y en el caso de agua de mar, habría una tasa de consumo creciente a razón de un aumento de 6,6%. A nivel regional, Antofagasta sería la de mayor crecimiento en el caudal de consumo de agua de mar, reduciendo consistentemente su participación de consumo nacional de agua fresca por faenas mineras, desde un 36% en el 2016, a un 10% en el 2030 [14].

2.2.1 Consumo Total de Agua en la Minería

La minería no sería posible sin el uso de agua en sus operaciones. En que, y por qué se necesita agua, es lo que se intenta dar explicación en las siguientes líneas; agua necesaria para la obtención de las 5.553 miles de toneladas producidas en 2016. A nivel nacional el consumo de agua por parte del sector minero alcanza el 3% según información entregada por la DGA [14].

Como contextualización, antes de empezar a dar cifras duras, se deben tener conocimiento de las distintas fuentes para obtención de agua, en el planeta existen tres distintas fuentes, estas corresponden al agua continental, el agua de origen oceánico y las aguas recirculadas del proceso minero. La primera considera todos los cuerpos de agua permanentes que se encuentran en el interior, alejados de las zonas costeras. Algunas aguas continentales son ríos, lagos, reservas,

¹⁰ Para tener conocimiento de las Proyecciones a Futuro del Consumo de Agua en Minería, dirigirse al Anexo 7.5

humedales y sistemas salinos de interior. Mientras que las aguas de origen oceánico, provienen del mar y tienen un alto contenido salobre. Por su parte las aguas recirculadas corresponden a todos aquellos flujos que son reinyectados al sistema, estos pueden ser previamente tratados o no. El agua total es aquella necesaria para mantener a régimen el proceso productivo. Corresponde al total de entrada de aguas la cual puede provenir de distintas fuentes.

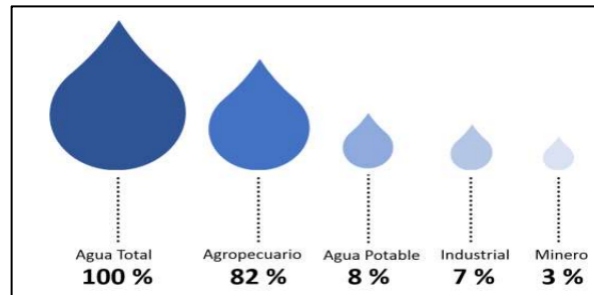


Ilustración 2.3: distribución de los usos consuntivos del agua a nivel nacional. (Atlas del agua, DGA 2016)

2.2.1.1 Consumo Total de Agua en Minería, año 2016

Al analizar el año 2016, se observa que el agua de origen continental alcanzó los 13,61 m³/seg, por su parte el agua de mar fue de 2,45 m³/seg y el agua recirculada fue de 43,25 m³/seg, lo que en total suma 59,31 m³/seg de agua para la minería [14].

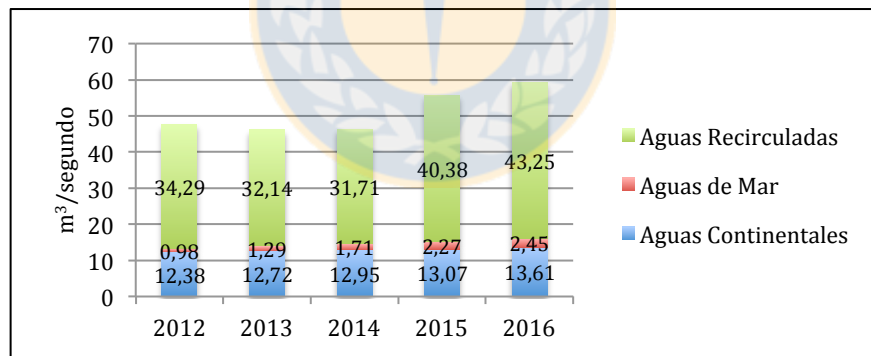


Ilustración 2.4: Consumo de agua total en la industria minera del cobre año 2016. (COCHILCO, 2016)

2.2.1.2 Consumo de Agua según Fuente de Abastecimiento

A nivel nacional para el año 2016 la mayor fuente de extracción proviene de agua de origen subterráneo, constituyen el 39,4%, por otro lado el agua de origen superficial alcanza el 38,6% del total, las de origen marino llegan al 15,2% y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6,7%. La Ilustración 2.5, muestra la tendencia en el consumo de agua según fuente de origen en la minería del cobre en el año 2016 [14].

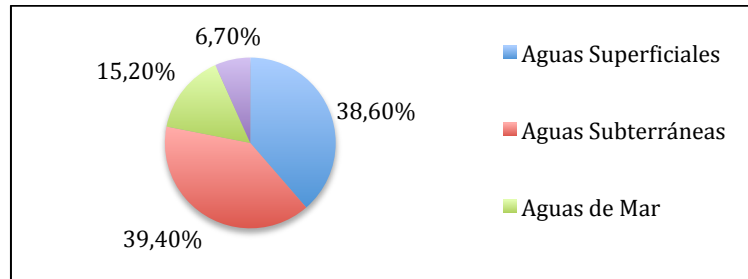


Ilustración 2.5: Distribución porcentual de las aguas en minería, según fuente de abastecimiento año 2016. (COCHILCO, 2016)

2.2.1.3 Consumo de agua por Procesos Productivos

Se identifican 5 distintas áreas de consumo de agua de la industria minera del cobre; el área mina, el área planta concentradora, área planta hidrometalurgia, fundición y refinería y el área servicios¹¹.

De los 13,61 m³/seg de aguas continentales utilizados en la minería del cobre durante el 2016, estos se pueden clasificar de acuerdo a los procesos mineros a los que son destinadas el uso del agua.

Durante el 2016 el principal consumo de agua continental en la minería del cobre fue en el proceso de concentración de minerales sulfurados para la obtención de concentrados, el cual representa el 71% de éstas aguas utilizadas en minería. Le sigue el proceso de hidrometalurgia para la obtención de cátodos a partir de minerales oxidados, este proceso alcanza el 14% del total de aguas continentales. Por otra parte está el área mina y servicios, que conforman el ítem “otros”, en este punto se contabilizan las aguas utilizadas en campamentos, para riego, el agua utilizada para la supresión de polvo en caminos y otros procesos de bajo consumo de agua, el área “otros” representa el 10% del consumo de aguas continentales en la minería del cobre. Finalmente el área de fundición y refinería representa el 5% del consumo total de aguas continentales [14].

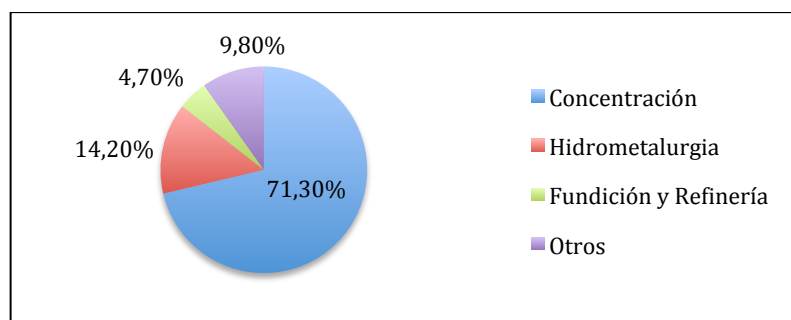


Ilustración 2.6: Distribución porcentual de las aguas en minería según proceso minero 2016 (COCHILCO, 2016)

¹¹ Para mayor información sobre las 5 Áreas de Consumo de Agua en Minería, dirigirse a Anexo 7.7

2.2.2 Extracción de Agua por Regiones, Norte de Chile

A manera de realizar el estudio mucho mas didáctico, es que se decidió dar una mirada general al consumo de agua que se realiza en la zona norte del país. Esto se hizo evaluando cada una de las 4 regiones presentes en el norte del país, entregando información sobre el consumo en cada sector y posteriormente enfocándose en la extracción por fuentes del consumo de agua por parte de la gran minería presentadas en cada una de las regiones.

2.2.2.1 Primera Región de Tarapacá

- **Consumo de agua por sector, primera región:** En la región de Tarapacá el mayor consumo se da por parte del sector Agropecuario, el cual consume un 59% del total de agua. En segundo lugar se encuentra el sector minero, con un consumo del 17%, el tercer lugar lo ocupa la industria con un total porcentual muy similar al de la minería, un 16%. Y en cuarto lugar está el consumo de agua potable, con un 8% [12]. La ilustración 7 presenta un gráfico que demuestra esta situación de manera visual.

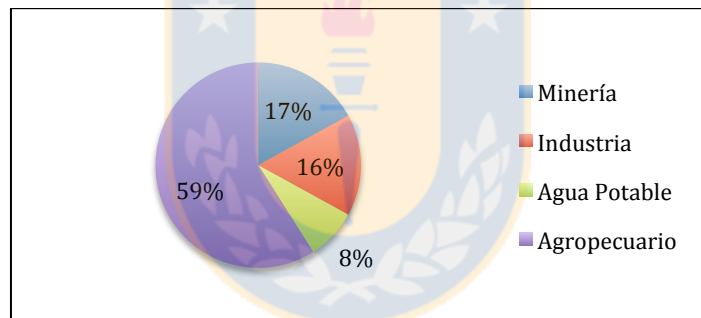


Ilustración 2.7: Consumo de agua por sector, Región de Tarapacá.
(Atlas del agua, 2016)

- **Fuentes de extracción de agua por parte de la Gran minería, primera región:** Según la información entregada por el Consejo Minero durante el transcurso del año 2016, se obtuvo que la mayor fuente de agua utilizada en la Primera Región de Tarapacá; corresponde a agua proveniente de acuíferos subterráneos con un promedio de 0,901 [m³/s]. En segundo lugar se encuentra, agua hallada en alguna labor minera (agua mina¹²), la cual es necesaria extraer para poder continuar con las labores mineras, con un promedio de 0,189 [m³/s]. En tercer lugar, está el agua proveniente de cauces superficiales con un promedio de 0,015 [m³/s], y en cuarto lugar agua proveniente de la adquisición directa de terceros. En el caso de la primera región, el agua de mar, no es utilizada a la fecha [15].

¹² Agua Mina: agua hallada en una labor minera (art. 58 Código de Aguas y art. 110 Código de Minería) como rajo, túnel, pique, etc. Y que es necesario extraer para permitir el avance de la explotación minera.

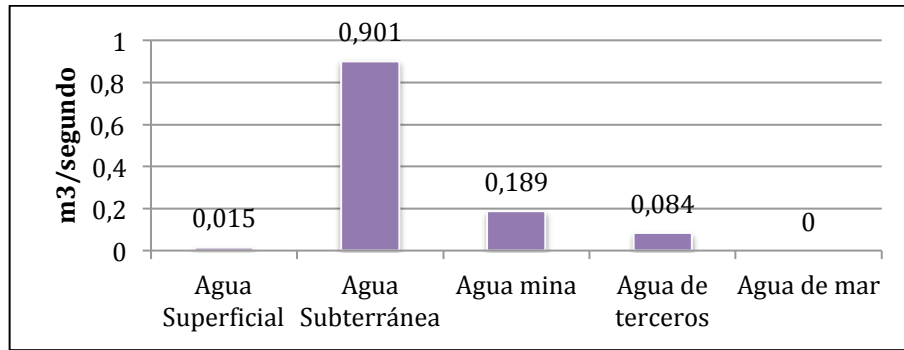


Ilustración 2.8: Fuentes de extracción de agua, Región de Tarapacá.
(Consejo Minero, 2016)

2.2.2.2 Segunda Región de Antofagasta

- Consumo de agua por sector, segunda región:** Se observa claramente como en la segunda Región de Antofagasta, hay un aumento en el consumo de agua por parte de la minería; siendo en la primera región un 17% del consumo, ahora corresponde a un 50% sobrepasando altamente al sector agropecuario. Esto se debe a que en esta zona, se encuentran ubicadas la mayoría de las operaciones mineras de mayor tamaño, tanto nacional, como mundial. El sector agropecuario corresponde al 27%, en tercer lugar está ubicada la industria con un 16%, y por último el agua potable, con un 13% [12].

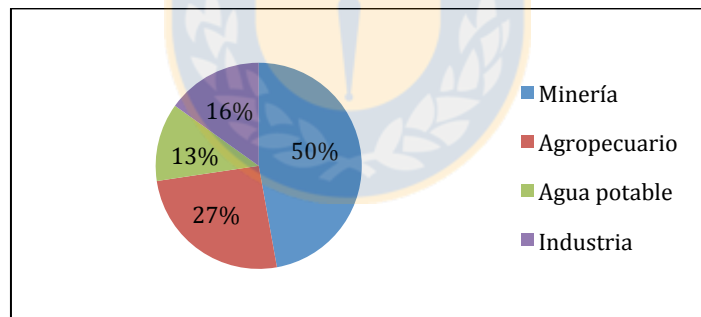


Ilustración 2.9: Consumo de agua por sector, Región de Antofagasta.
(Atlas del agua, 2016)

- Fuentes de extracción de agua por parte de la Gran minería, segunda región:** En lo correspondiente a las fuentes de las cuales es extraída el agua para las grandes mineras, el mayor consumo proviene de fuentes subterráneas con un promedio de extracción de 3,63 [m³/s]. En segundo lugar, se encuentra el **consumo de agua proveniente del mar**, con una importante extracción promedio de 2,157 [m³/s]. En tercer lugar, el agua desde causas superficiales con un promedio de extracción de 0,771 [m³/s]. En cuarto lugar, el agua de terceros, con una extracción de 0,568 [m³/s]. Y en último lugar el agua mina, con un promedio de extracción de 0,289 [m³/s] [15].

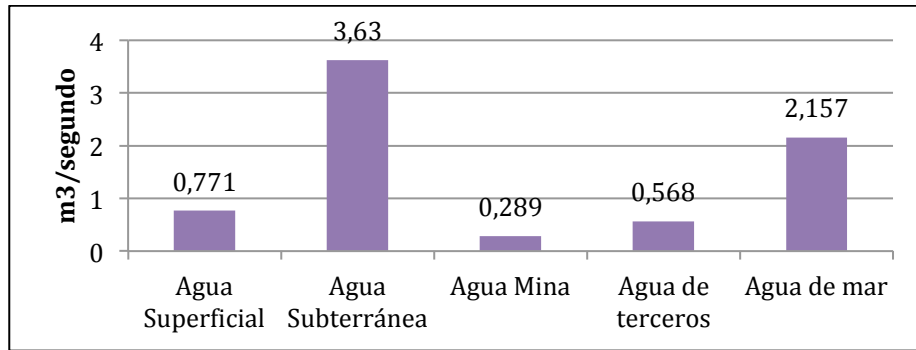


Ilustración 2.10: Fuentes de extracción de agua, Región de Antofagasta. (Consejo Minero, 2016)

- **Extracción de agua de mar, Región de Antofagasta:** La región de Antofagasta cuenta con una importante cantidad de agua de mar utilizada en las faenas mineras. La Ilustración 2.11 muestra esta cantidad. [15].

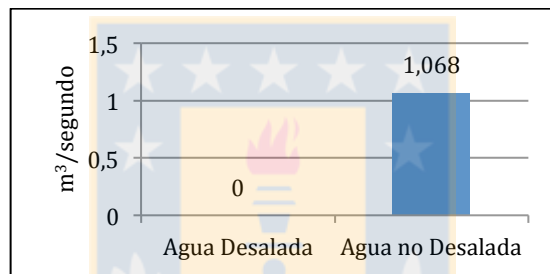


Ilustración 2.11: Utilización de Agua de Mar en minería, Región de Antofagasta. (Consejo Minero, 2016)

2.2.2.3 Tercera Región de Atacama

- **Consumo de agua por sector, tercera región:** En la tercera región se observa una disminución importante del consumo de agua en minería, en comparación con la región de Antofagasta, esta baja de un 50%, a un 12%. Esto debido a que en esta Región no existen mineras de la envergadura de la segunda Región, ni tampoco del tamaño que estas tienen. El primer lugar de consumo vuelve a ser para el sector agropecuario con un importante 79%, superando en creces al resto de los sectores, como industria con un 3% y agua potable con un 6% [12].

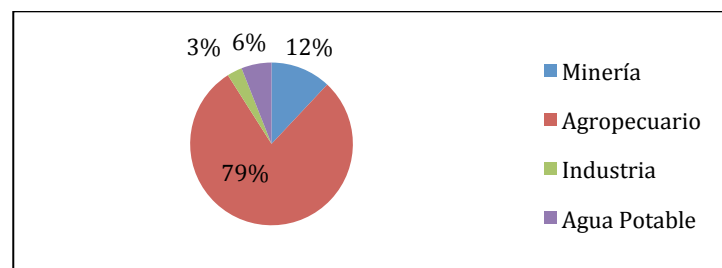


Ilustración 2.12: Consumo de agua por sector, Región de Atacama. (Atlas del agua, 2016)

- **Fuentes de extracción de agua por parte de la Gran minería, tercera región:** En la región de Atacama la mayor fuente de extracción de agua, corresponde a cauces superficiales, con un promedio de extracción de 0,612 [m³/s]. En segundo lugar, está el uso de agua subterránea con un promedio de extracción de 0,529 [m³/s]. En tercer lugar se encuentra el **uso de agua de mar**, con un promedio de extracción de 0,382 [m³/s]. En cuarto lugar está el uso de agua proveniente de terceros, y por último el agua mina con un promedio de 0,021 [m³/s] [15].

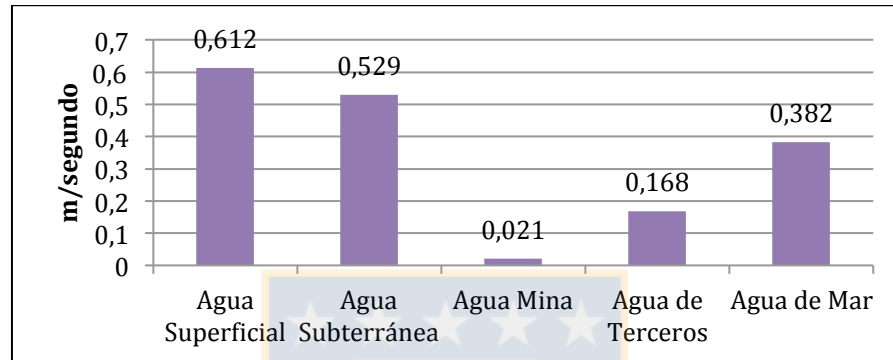


Ilustración 2.13: Fuentes de extracción de agua, Región de Atacama. (Consejo Minero, 2016)

- **Extracción de agua de mar, Región de Atacama:** A continuación son representadas gráficamente las cantidades correspondientes al uso de agua de mar en la tercera región de Atacama, tanto agua de mar desalada, como agua de mar utilizada directamente.

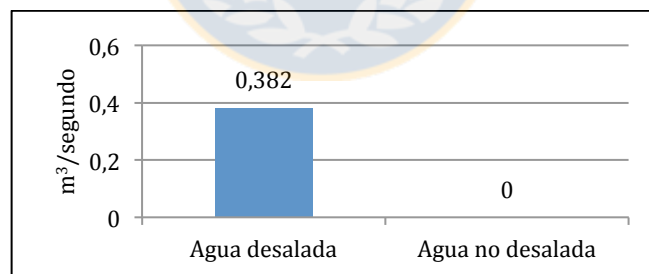


Ilustración 2.14: Utilización de Agua de Mar, Región de Atacama. (Consejo Minero, 2016)

2.2.2.4 Cuarta Región de Coquimbo

- **Consumo de agua por sector, cuarta región:** En la cuarta región, el consumo de agua por parte de la minería, decrece bastante, ya que ahora solo representa un 2% del consumo de total en la región. Esto debido a que las faenas mineras son menos, y de menor tamaño que en regiones anteriores. El primer lugar lo obtiene el sector agropecuario, con un porcentaje que supera con creces a todo el resto, 91%. En segundo lugar está el consumo de agua potable, con un 6%, y por último el uso industrial con un 1% [12].

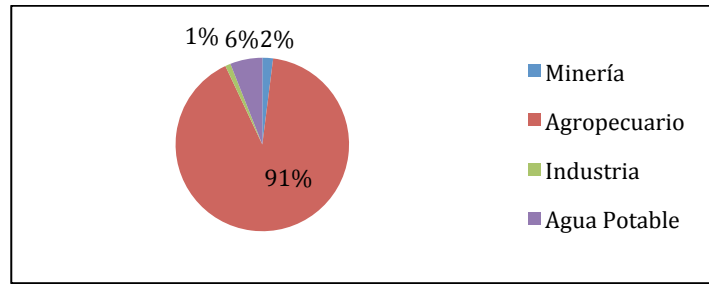


Ilustración 2.15: Consumo de agua por sector, Región de Coquimbo. (Atlas del agua, 2016)

- Fuentes de extracción de agua por parte de la Gran minería, cuarta región:** En la región de Coquimbo, la mayor fuente de agua en minería corresponde a cauces superficiales, con un promedio de extracción de $0,586 \text{ [m}^3/\text{s]}$. Como segunda fuente, está el agua subterránea, con un promedio de extracción de $0,327 \text{ [m}^3/\text{s]}$. En tercer lugar, se encuentra el agua mina como un promedio de extracción de $0,021 \text{ [m}^3/\text{s]}$. No se utiliza agua de mar, ni agua perteneciente a terceros [15].

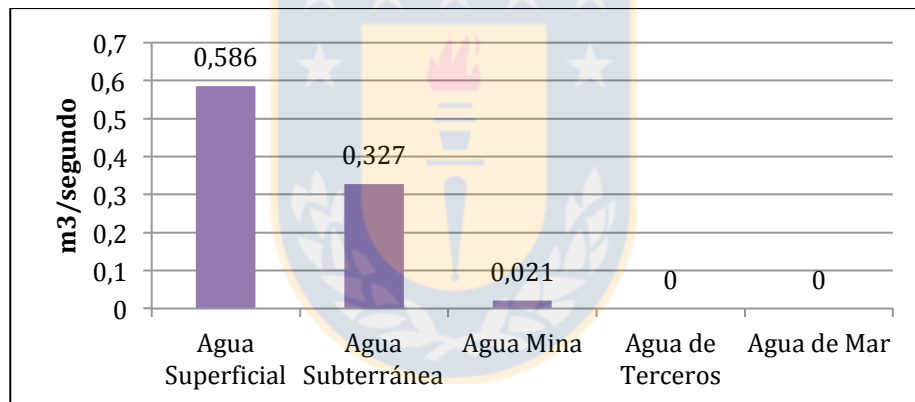


Ilustración 2.16: Utilización de Agua de Mar, Región de Coquimbo. (Consejo Minero, 2016)

2.2.3 Uso de Agua de Mar en la Minería

El desarrollo sostenible de la actividad minera yace en la búsqueda de nuevas fuentes de agua. Es así como hasta ahora, la principal iniciativa que se ha considerado para enfrentar la falta del recurso hídrico en la minería ha sido utilizar el agua de mar, la cual aparece como una atractiva alternativa de suministro. En cualquier caso, ya sea utilizando el agua de manera directa o desalinizada en los procesos productivos, existe una importante dificultad derivada de la necesidad de transportar el agua desde el mar al lugar de las faenas mineras que, por lo general, se encuentran a elevada altura sobre el nivel del mar. A la inversión inicial en infraestructura, hay que sumar los costos de energía necesarios para operar la planta y bombear el agua hasta las faenas

lo que demanda altos consumos de energía, recurso que también se encuentran en un escenario de disponibilidad restrictivo y por ende de costos muy elevados.

En la Ilustración 2.17, se dan a conocer los consumos de agua de mar informados en las encuestas por las empresas [16]. Se distinguen los consumos de agua de mar utilizada directamente en los procesos de beneficio del mineral, de los consumos de agua desalinizada.

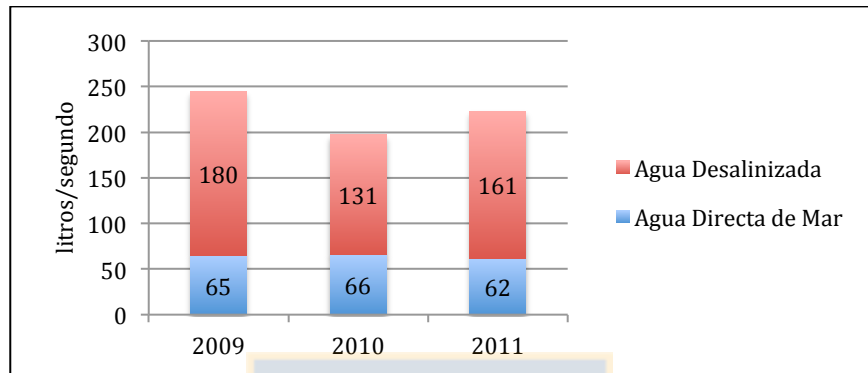


Ilustración 2.17: Uso de Agua de Mar en la minería del cobre (lt/s).
(COCHILCO, encuesta a empresas mineras)

2.2.3.1 Uso Directo de Agua de Mar en Operaciones Mineras

El uso directo de agua de mar en los procesos productivos requiere de la infraestructura necesaria para resistir la salinidad presente en el agua y en las que el mineral por sus características mineralógicas así lo permita. Antes de iniciar cualquier proyecto de sustitución de agua dulce por agua de mar habría que evaluar la factibilidad técnica y económica de la operación, considerando la mineralización y los equipos de la faena [16]. Es por esto que el uso directo de agua de mar, es mas bien una opción factible para proyectos nuevos o ampliaciones que puedan contar con una nueva tecnología, ya que un cambio de instalaciones sería demasiado costoso y el uso de agua de mar ya no sería económicamente rentable.

La Tabla 2.5 muestra algunas de las empresas que han comenzado a utilizar agua desalada (agua de mar/ agua salobre) directamente en sus operaciones.

Tabla 2.3: Empresas con uso de agua de mar directamente en los procesos.
(COCHILCO, información de las empresas)

Región	Operador	Operación
II	Antofagasta Minerals	Minera Esperanza
II	Antofagasta Minerals	Minera Michilla
II	Compañía Minera de Tocopilla	Planta Lipesed
II	SLM Las Cenizas	Minera Las Luces
II	Compañía Minera de Tocopilla	Minera Mantos de la Luna

2.2.3.2 Costo de Agua Desalada en Minería

La búsqueda de opciones para enfrentar la estrechez hídrica ha llevado a las empresas a privilegiar, sobre todo, una de ellas: **la construcción de plantas desalinizadoras**. Al utilizar agua desalinizada o agua directa de mar se liberan recursos de agua fresca que puedan ser requeridos.

Los costos relacionados a la desalinización se diferencian en la inversión necesaria para la planta desalinizadora, y los costos propios del proceso de desalinizar agua de mar. En cuanto a la producción y uso de agua de mar desalada en la operación minera, se considera que existen cuatro determinantes del costo de desalar e impulsar el agua de mar a la faena minera [17].

- **Volumen de agua tratada:** los costos de capital y de producción de agua desalinizada son dependientes del tamaño de la planta y del flujo de producción existiendo economías de escala [17].
- **Cota de la faena y distancia de la costa:** La necesidad de impulsar agua a las faenas mineras (alejadas y en altura) hace que los proyectos sean costosos por los altos requerimientos de electricidad del transporte que implica la impulsión del agua desde la zona costera hasta las propias faenas en su mayorías ubicadas sobre los 2000 metros sobre el nivel del mar, y a una distancia de la costa de casi 120 km [17].
- **Costo de la energía eléctrica:** En el proceso de desalinización de agua de mar, existe una estrecha relación entre el uso de agua de mar y el consumo energético, a tal punto que costo del agua se transforma ineludiblemente en costo energético [la energía requerida para el proceso de desalinización representa el 67% del costo, mientras que para el bombeo de agua, que requiere un altísimo consumo de energía, representa el 97% del total del costo operacional del transporte] [17].

Dependiendo de la capacidad de tratamiento de la planta, el costo total de desalinización oscilaría entre los 0,6 y 1,2 USD/m³. Sin embargo, como es de esperar, este costo sube conforme se bombea hacia el interior del territorio, en dirección hacia la faena minera. En zonas de altura, donde están varias mineras, puede llegar a costar entre 8 USD/m³ y 10 USD/m³ [17].

Se realiza una comparación con respecto a Estados Unidos, y se observa que Chile tiene el doble de precio de desalinización de agua de mar (en EEUU cuesta aproximadamente 2,3 US\$/m³) Por lo tanto, en el caso Chileno el alto costo está determinado - principalmente – por la energía asociada al transporte del agua a los yacimientos mineros [17].

Esta información proporcionada respecto a costos, es solo una breve introducción; ya que en el ítem estudio económico, se le dará mas énfasis para tener los valores específicos de cada uno

de los costos asociados, y de esta forma proporcionar una visión general, sobre si el estudio, puede o no puede ser aceptado, para ser posteriormente utilizado en la industria.

2.3 ESTUDIO RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA

En el país, la población total económicamente activa es de 7.61 millones de habitantes o 43% de la población total del país. La población total económicamente activa en la agricultura es de 0.96 millones de habitantes (13% de la población total económicamente activa) de los cuales el 15% son mujeres [18].

El sector silvoagropecuario¹³ del país tiene una clara orientación a la exportación, teniendo la fruticultura y la silvicultura lugares preponderantes. Este sector permite el riego de 1,1 millones de hectáreas que se localizan principalmente entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos. La agricultura genera exportaciones que en su conjunto al año 2011 significaron un 22% del total nacional. El sector agropecuario generó al año 2011 un 3% del PIB Nacional [18] . No obstante, dada la importancia de la actividad agrícola en algunas regiones, en ellas este porcentaje es ampliamente superado.

El desafío del agua en este sector lo constituye principalmente el aumento de la eficiencia en el uso, lo que se traduce en un incremento en la tecnificación del riego y en la ejecución de obras de conducción y almacenamiento de aguas, dado que en promedio el riego tecnificado permite reducir el consumo de agua por hectárea en un 50%. Sin embargo, se debe profundizar sobre el efecto que tiene la implementación de estas tecnologías en la recarga de las napas subterráneas, en la calidad de las aguas por el aumento de la concentración de contaminantes como pesticidas y fertilizantes, y en otras externalidades que es relevante considerar [1].

A continuación, se presenta una tabla explicativa sobre la importancia que tiene la agricultura en Chile. Informando sobre la superficie física que abarca en la superficie total país, la población nacional económicamente activa en éste sector, y como la agricultura influye en la economía y el desarrollo del país.

¹³ Está referido a lo forestal (silvícola), agrario (agro) y ganadero (pecuario).

Tabla 2.4: Rol de la Agricultura en el País.
(AQUASTAT, 2012 – 2013)

Superficies Físicas	Año	Cantidad	Unidad
Superficie del país	2012	75.610.000	ha
Superficie agrícola (praderas y pastos permanentes + superficie cultivada)	2012	15.809.000	ha
• Como % de la superficie total del país	2012	21	%
• Praderas y pastos permanentes	2012	14.015.000	ha
• Superficie cultivada (superficie arable y cultivos permanentes)	2012	1.794.000	ha
o Como % de la superficie total del país	2012	2	%
o Superficie arable (cult temp + pastos y barbechos temp)	2012	1.337.000	ha
o Superficie bajo cultivos permanentes	2012	457.000	ha
Población:			
Población total	2013	17.620.000	Habitantes
• % de población rural	2013	10	%
Densidad de población	2013	23	Habitantes/km ²
Población económica activa	2013	7.606.000	Habitantes
• % sobre población total	2013	43	%
• Femenina	2013	38	%
• Masculina	2013	62	%
Población económicamente activa en la agricultura	2013	956.000	Habitantes
• % población económicamente activa	2013	13	%
• Femenina	2013	15	%
• Masculina	2013	85	%
Economía y desarrollo:			
Producto Interno Bruto (PIB) (\$EE.UU. corrientes)	2012	268.000	Millones\$/año
• Contribución de la agricultura al PIB (% del PIB)	2011	4	%
• PIB per cápita	2012	15.345	\$EE.UU./año
Índice de desarrollo humano (el máximo=1)	2013	0.822	-
Índice de desigualdad de género (igualdad=0, desigualdad=1)	2013	0.355	-

2.3.1 Riego

Según la Comisión Nacional de Riego (CNR), considerando los factores clima, suelo y agua, así como consideraciones técnicas, económicas y ambientales, la superficie potencial de riego en Chile se estima en unos 2.5 millones de ha. De acuerdo al último Censo Nacional Agropecuario y Forestal, la superficie equipada para el riego en la temporada agrícola 2006–2007 fue de 1.108.559 ha.

Tabla 2.5: Superficie regada en 2006-2007, según sistema y localización geográfica en las cuatro primeras regiones (ha).
(INE, 2007)

Nº	Región	Total	Tendido ¹⁴	Surco ¹⁵	Otro	Aspersión ¹⁶	Carrete ¹⁷	Goteo ¹⁸	Micro-aspersión ¹⁹
I	Tarapacá	1.162	744	17	47	25	0	308	20
II	Antofagasta	2.347	2.193	35	73	27	0	18	1
III	Atacama	19.637	3.779	3.524	204	10	60	12.000	61
IV	Coquimbo	75.819	19.591	18.164	787	273	898	35.008	1.098

¹⁴ Tendido: riego por Inundación; dejar escurrir el agua de la parte mas alta del campo hacia la mas baja, por canales.

¹⁵ Surco: riego por Gravedad; agua es colocada en la cabecera de los surcos y por gravedad avanza.

¹⁶ Aspersión: modalidad de riego mediante el cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada.

¹⁷ Carrete: corresponde a un cañón enrollador o máquina de lluvia que se mueve por el campo y facilita el riego.

¹⁸ Goteo: método de regadío utilizado principalmente en zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua.

¹⁹ Micro-Aspersión: Destinado a suministrar el riego mediante gotas muy finas.

Prácticamente el 95 por ciento de la superficie de riego se concentra entre las regiones IV de Coquimbo y IX de la Araucanía [19]. En 2007, del total de la superficie equipada para el riego, el 72 por ciento (801.332 ha) corresponde a superficie regada a través de sistemas tradicionales o por superficie (tendido, surco u otro tradicional); el 28 por ciento restante (307.227 ha) corresponde a superficie regada a través de sistemas tecnificados, dentro de los cuales el riego por goteo representa el 69% del total (211.184 ha), seguido por el riego por microaspersión que representa el 13% (38.644 ha) y el riego por aspersion con un 10% (30.913 ha); por último, se encuentra el riego por carrete con un 9% del total de la superficie tecnificada, lo que corresponde a 26.487 ha [19].

Estas cifras evidencian una importante tecnificación del riego en el país. En efecto, de la superficie total regada en la temporada 1996-97, el 91% correspondía a riego por superficie, mientras que el 9% restante correspondió a riego tecnificado (3% por aspersion y el 6% localizado [19]. A continuación se presenta un gráfico explicativo sobre los tipos de riegos existentes en el país.

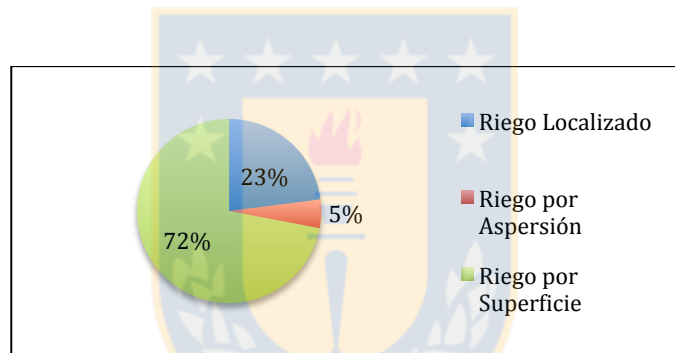


Ilustración 2.18: Técnicas de riego en superficie equipadas para el riego con dominio total. (INE, 2007)

2.4 ESTUDIO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La DGA identifica 101 cuencas hidrográficas de un caudal de aguas formadas por todos los afluentes, subafluentes, quebradas, esteros, lagos y lagunas que afluyen a ella, en forma continua o discontinua, superficial o subterráneamente. A su vez, se definieron 467 subcuencas hidrográficas de un caudal de aguas descrita como aquella unidad de caudales que aportan agua a una cuenca, compuesta por todos los subafluentes, quebradas, esteros, lagos y lagunas que afluyen a ella, en forma continua o discontinua, superficial o subterráneamente. Por último, se determinaron la existencia de 1.496 subsubcuencas hidrográficas de un caudal de aguas, es decir, unidades de caudales que aportan agua a una subcuenca, compuesta por todas las quebradas, esteros, lagos y lagunas que afluyen a ella, en forma continua o discontinua, superficial o subterráneamente [12].

De acuerdo al análisis de oferta referencial desarrollado, que utiliza los estudios y datos oficiales de mayor actualización existentes al año 2016, se observa que el agua disponible en las diferentes cuencas hidrográficas nacionales varía y presenta una heterogeneidad importante, tal como se ha establecido en otros reportes. La disponibilidad del recurso aumenta conforme se avanza desde el norte hacia el sur del país, en un rango que varía entre 0,01 en la zona norte y 3.480 m³/s en cuencas de la zona austral [12].

En la zona norte, las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo presentan los valores más bajos de oferta²⁰ superficial y subterránea del país, donde destacan las cuencas de los ríos San José, fronteras Salar Michincha- río Loa, fronteras salares Atacama- Socompa, río Salado, río Los Choros, costeras entre río Choapa y río Quilimari, con los valores más bajos en torno a 0,01 y 1 m³/s. En tanto, los valores más altos de la zona norte están en las cuencas altiplánicas, del río Huasco, río Elqui y río Limarí, con ofertas referenciales cercanas a los 10 m³/s. En esta zona cabe destacar a la región de Antofagasta, debido a sus importantes superficies sin información respecto de la disponibilidad del recurso subterráneo [12].

La Ilustración 2.19 muestra la cantidad de cuencas hidrográficas por unidad identificada en el inventario y la Tabla 2.8 enumera las 15 cuencas de mayor tamaño con una superficie superior a 10 mil km² presentes a lo largo del territorio nacional.



Ilustración 2.19: Cuencas Hidrográficas.
(DGA, 2015)

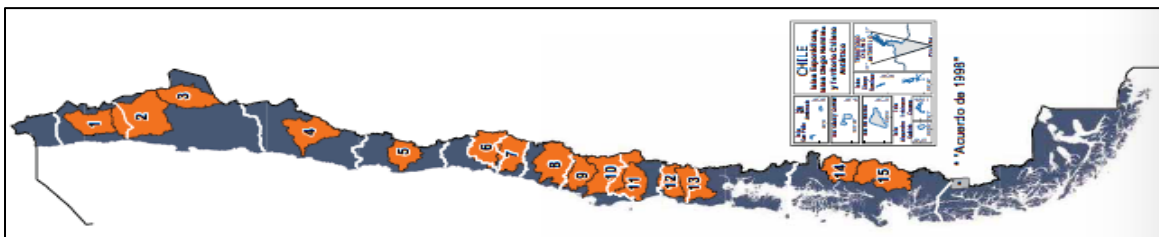


Ilustración 2.20: Cuencas Hidrográficas de mayor tamaño en Chile. (Atlas del Agua, 2016)

²⁰ Para mas información sobre la oferta de las cuencas hidrográficas principales, dirigirse al Anexo 7.6

Tabla 2.6: 15 Cuencas Hidrográficas de mayor tamaño en Chile.
(SIG, 2015)

Macrozona	Región	Nº Mapa	Nombre	Superficie [km2]
Norte	I	1	Pampa del Tamarugal	17.353
	II	2	Río Loa	33.081
	II	3	Salar de Atacama	15.576
	III	4	Río Copiapó	18.703
	IV	5	Río Limarí	11.606
Centro	RM	6	Río Maipo	15.273
	VI	7	Río Rapel	13.766
	VII	8	Río Maule	21.052
Sur	VIII	9	Río Itata	11.326
	VIII	10	Río Biobío	24.369
	IX	11	Río Imperial	12.668
	XIV	12	Río Valdivia	10.244
	XIV	13	Río Bueno	15.366
Austral	XI	14	Río Aysén	11.456
	XI	15	Río Baker	20.945

2.5 ESTUDIO DE COMUNIDADES

La población estimada de la República de Chile según el censo de 2017 era de 17,5 millones habitantes, con una densidad de 23,24 hab/km². De ellos, aproximadamente el 40% se concentra en la Región Metropolitana de Santiago [20].

Administrativamente, el país se divide en Quince unidades territoriales menores llamadas Regiones, estas se dividen a su vez, en provincias, y éstas finalmente se dividen en comunas [21]. Las regiones de Chile son, de norte a sur, las siguientes: XV Región de Arica y Parinacota. I Región de Tarapacá. II Región de Antofagasta. III Región de Atacama. IV Región de Coquimbo. V Región de Valparaíso. Región Metropolitana de Santiago. VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. VII Región del Maule. VIII Región del Bío-Bío. IX Región de La Araucanía. X Región de Los Lagos. XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. XII Región de Magallanes y Antártica Chilena. XIV Región de Los Ríos [21].

De acuerdo a los últimos datos la tasa bruta de natalidad²¹ se situó en 15,0 por mil y la tasa bruta de mortalidad²² en un 5,4 por mil con un crecimiento natural de la población del 9,6 por mil o el 0,96 %. De esta forma se ha experimentado un notable descenso en la cantidad de nacimientos, ya que la tasa bruta de natalidad se situaba en 18,5% en 1997 [22]. La pirámide de población ha evolucionado consecuentemente desde un perfil piramidal (muchas personas jóvenes y pocas

²¹ Tasa bruta de natalidad: Medida de cuantificación de la natalidad.

²² Tasa de mortalidad: Proporción de personas que fallecen respecto al total de la población en un período de tiempo.

población vieja) a un perfil campaniforme con su base más estrecha, lo que significa un incremento notable de la población adulta con una media de edad por sobre los 30 años [22].

La tabla 2.9 corresponde a una tabla informativa con las regiones, provincias y comunas presentes en las cuatro primeras regiones del norte de Chile, que es la zona donde se basa la investigación.

Tabla 2.7: División administrativa de Chile.
(BCN,2017)

Región	Capital regional	Provincia	Capital provincial	Comunas
Arica y Parinacota	Arica	Arica	Arica	Arica Camarones
		Parinacota	Putre	General Lagos Putre
Tarapacá	Iquique	Iquique	Iquique	Alto Hospicio Iquique
		Tamarugal	Pozo Almonte	Camíña Colchane Huará Pica Pozo Almonte
Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta Mejillones Sierra Gorda Taltal
		El Loa	Calama	Calama Ollagüe San Pedro de Atacama
		Tocopilla	Tocopilla	María Elena Tocopilla
Atacama	Copiapó	Chañaral	Chañaral	Chañaral Diego de Almagro
		Copiapó	Copiapó	Caldera Copiapó Tierra Amarilla
		Huasco	Vallenar	Alto del Carmen Freirina Huasco Vallenar
Coquimbo	La Serena	Choapa	Illapel	Canela Illapel Los Vilos Salamanca
		Elqui	Coquimbo	Andacollo La Higuera La Serena Paihuano Vicuña
		Limarí	Ovalle	Combarbalá Monte Patria Ovalle Punitaqui Río Hurtado

2.6 ESTUDIO PLANTAS DESALADORAS

La desalinización es un proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar. Las plantas desalinizadoras, también conocidas como desaladoras, son instalaciones industriales destinadas a la desalinización, generalmente del agua de mar o de lagos salados para obtener agua potable. Mediante la desalinización del agua del mar se obtiene agua dulce apta para el abastecimiento y el regadío. Las plantas desalinizadoras de agua de mar han producido agua potable desde hace muchos años, pero el proceso era muy costoso y hasta hace relativamente poco sólo se han utilizado en condiciones extremas. Actualmente existe una producción de más de 24 millones de metros cúbicos diarios de agua desalinizada en todo el mundo, lo que supone el abastecimiento de más de 100 millones de personas [23].

En minería, la mayoría de las plantas utilizadas emplean la metodología de osmosis inversa, la cual es un proceso en el que se obtiene agua dulce del agua salada. La osmosis inversa consiste en hacer pasar por una membrana semipermeable el disolvente (en este caso agua) desde el lado donde está la solución más concentrada (el agua de mar, con sales disueltas), hacia el lado contrario, sin que pasen las sales. En este caso se requiere energía, en forma de presión, que será ligeramente superior a la presión osmótica que haría pasar el solvente de baja concentración hacia el lado de la alta concentración [24].

Se estima que las inversiones en plantas desalinizadoras asociadas al sector de la minería alcanzan los US\$ 3.900 millones en los próximos años, acorde a estimaciones de proyectos con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada. Del mismo modo según datos preliminares, el caudal nominal que entregarán estas plantas alcanza los 3 m³/s considerando solo los proyectos con RCA aprobados [25].

El tema fundamental a la hora de decidir por este método es el costo. No solo implican un alto costo de inversión, sino también un alto costo energético para su funcionamiento. Por ello la evaluación de estos sistemas depende de la distancia y altura en que se encuentran los yacimientos del lugar de captación del mar. Si bien el costo de inversión ha caído por el avance tecnológico, el costo de operación depende de la energía requerida para transportar el agua, por lo que la factibilidad de este sistema de abastecimiento depende de cada faena.

En el sector minero actualmente existen 11 operaciones con uso directo de agua de mar en sus procesos y/o desalinización. Estas operaciones se ubican en la zona norte del país, teniendo una mayor participación la Región de Antofagasta, seguida de la Región de Atacama. La

capacidad total instalada de agua desalinizada es de 2.038 [lt/s] y de agua de mar directa en los procesos es de 3.648 [lt/s] [25].

El principal caso hoy en día de desalinización en el sector sanitario es la Planta Desalinizadora La Chimba que Aguas de Antofagasta tiene en la región del mismo nombre [25].

La tabla 2.10 entrega información con respecto a las distintas operaciones que se ven abastecidas con agua proveniente de plantas desaladoras, el número de operaciones existente, la capacidad de desalación, el aporte a nivel nacional, y los costos de inversión.

Tabla 2.8: Operaciones con plantas desaladoras.
(Área de estudio de EDITEC, 2015)

Sector	N° Operaciones	Capacidad Desalación (lt/seg)	Aporte (%)	Inversión (US\$)
Minero	11	2.038	71	1.697.400.000
Sanitario	3	826	29	66.800.000
Total	14	2.864	100	1.764.200.000



3 INICIATIVA DE SWAP

Si nos enfocamos en la definición conceptual de *Swap*, esta corresponde a un contrato financiero entre dos partes que acuerdan intercambiar flujos de caja futuros, de acuerdo a una fórmula preestablecida. Se trata de contratos hechos "a medida" es decir; con el objetivo de satisfacer necesidades específicas de quienes firman dicho contrato. El contrato define las fechas y las condiciones en las que se producirá este intercambio. En este caso, una de las partes hará sus pagos aplicando una tasa de interés variable y la otra aplicando una tasa de interés fija [26].

El enfoque de esta investigación se basa en la realización de un *Swap*, el cual se presenta como una posible alternativa para enfrentar el alto costo operacional (estimado en montos entre 2 y hasta 4 USD/m³) en que incurrirían las empresas mineras para trasladar agua desalinizada desde las zonas costeras a faenas que se ubican sobre los 3.000 m de altura. La solución que se plantea es la cesión de derechos de agua que empresas sanitarias tienen en la alta cordillera en favor de las compañías mineras, y el abastecimiento de agua fresca desalinizada por parte de éstas a los principales centros de consumo en las ciudades.

Si bien esta propuesta aparece como atractiva por la oportunidad que brinda para mejorar la eficiencia en la utilización de recursos, se trata de una alternativa que sólo podría resolver una parte acotada del problema de escasez hídrica. Un factor relevante a considerar es que la ubicación de los pozos sobre los que las empresas sanitarias tienen derechos de aprovechamiento, en algunos casos están alejados de las faenas mineras con las cuales se podría realizar el *swap*. Por tanto, en esos casos, persiste un importante costo asociado al transporte de agua al interior de las cuencas, lo que reduce el atractivo económico de evitar a través de un *swap*, el bombeo de agua desde el nivel del mar hasta la cordillera.

La aplicación de esta iniciativa depende de un estudio profundo de cada situación, en que se considere su viabilidad económica. Es importante mencionar que esta iniciativa de *Swap* es una de las tantas alternativas que han surgido producto de la escasez de recurso hídrico en la zona norte del país, entre ellas otras como; búsqueda de nuevos recursos hídricos en cuencas menos productivas, aprovechamiento de aguas alumbradas, optimización del consumo de agua en los procesos productivos, legitimización de medidas de mitigación de impactos ambientales para permitir ampliar explotación de acuíferos y aguas fósiles [27].

A continuación, se presenta una breve descripción de los parámetros más importantes a tener en consideración, cuando se desea implementar la modalidad de *Swap* para recursos

hídricos entre mineras y comunidades aledañas. Se entrega una breve información teórica del nivel de importancia de los **parámetros de entrada** del estudio; los cuales serán posteriormente rectificadas y descritos con parámetros numéricos en la sección “desarrollo y resultados”.

3.1 UBICACIÓN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El primer punto en el que se enfocó este estudio, fue en la distribución de cuencas hidrográficas presentes en las cuatro regiones a estudiar, se realizó una investigación exhaustiva sobre cada cuenca hidrográfica y cada subcuenca de igual manera. De importancia conocer el tipo de cuenca, si correspondía a una exorreica²³ o una endorreica²⁴, la cantidad de kilómetros que abarcaba y el porcentaje que esto significaba en la región en la cual estaba ocupada (habían casos en los cuales las cuencas abarcaban 2 regiones).

Posterior a obtener la información, se dispuso con ayuda del programa *Google Earth* a dibujar cada cuenca espacialmente, de manera de simplificar el trabajo, se dispusieron solo las cuencas hidrográficas principales, y no las subcuencas, ya que la cantidad de éstas era elevada e irrelevante para el tipo de análisis a realizar. Además para este estudio, con la información recaudada de cuencas principales será suficiente.

Ubicadas las cuencas hidrográficas, ya se puede estar un paso mas cerca del objetivo principal de *Swap*, ya que estas cuencas nos servirán como base para posteriormente ubicar el resto de las variables, las cuales corresponden a las mineras, comunidades, desaladoras y ríos, y de esta forma, observar si estas variables están ubicadas sobre la misma cuenca de agua, para así poder realizar el intercambio. La ubicación de las cuencas sirve como un factor de primera importancia para decidir si poder realizar o no el *Swapping*, ya que si mineras se encuentran ubicadas sobre estas cuencas de agua, pero una comunidad aledaña no, no cumple el objetivo de ser un foco para *swap*.

3.2 MINERAS - DISTANCIA A LA COSTA Y COTA DE ALTURA

Otro factor esencial en el estudio de *Swaps*, corresponde al conocimiento de la distancia a la costa y la cota de altura que presentan las mineras en estudio. Como se mencionó anteriormente, los costos de desalinización de agua marina, incrementan acorde a la distancia y altura en la que se encuentren las faenas mineras.

²³ Exorreica: que tiene salida al océano.

²⁴ Endorreica: que no presenta salida al océano.

La Ilustración 3.1 presenta a modo de ejemplo un gráfico explicativo de la estructura de costos de una planta para producir agua de proceso a partir de agua de mar para producir 100.000 m³/día de agua, situada en la costa. Cabe destacar que el costo variable corresponde a los costos asociados al transporte del agua; tanto para agua tratada por el método convencional de osmosis inversa, agua pre-tratada y agua utilizada directamente [3].

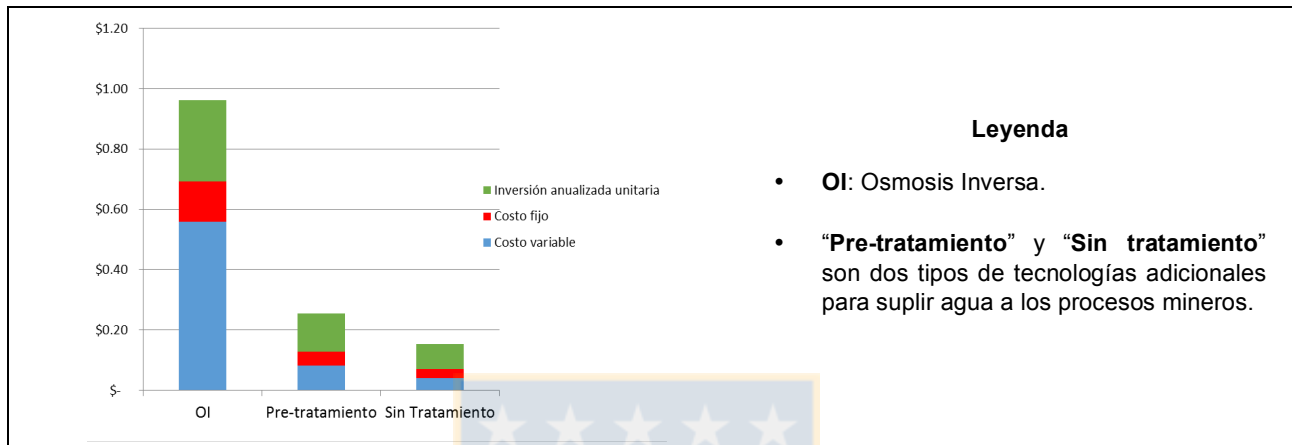


Ilustración 3.1: Estructura de costos en US\$/m³ de agua por tipo de planta. (CRHIAM, 2016)

La Ilustración 3.2 presenta una comparación de costos de tratamiento y transporte de agua de proceso para distintos escenarios de cotas de alturas y distancias a la costa. Con estos distintos escenarios propuestos podemos tener una visión general, del aumento en costos que conlleva una faena minera ubicada a gran altura y distancia del mar, comparada con otra que se encuentre en cercanías de la costa. Esta información nos será de gran importancia, para el posterior estudio económico, de las mineras elegidas.

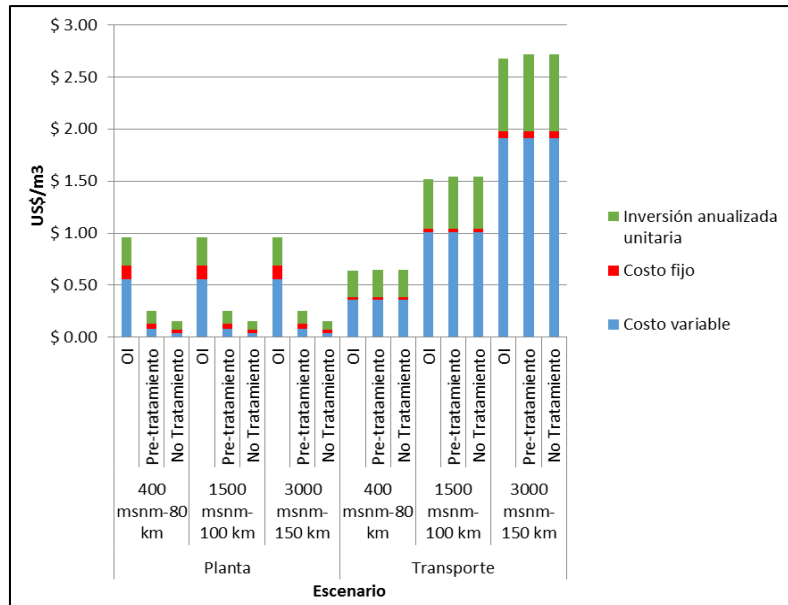


Ilustración 3.2: Comparación de costos de tratamiento y transporte en US\$/m3 de agua de procesos para varios escenarios. (CRHIAM, 2016)

3.3 CANTIDAD DE HABITANTES Y DEMANDA DE AGUA POTABLE

El ser humano utiliza el recurso hídrico para diversas actividades: obtención de agua potable, procesos industriales, generación de energía eléctrica, actividad minera, agricultura y ganadería, entre otras. El aumento de la población y la mayor demanda para cubrir las necesidades de los diferentes rubros económicos, requieren de un análisis que permita al Estado garantizar la calidad de vida de las personas así como el crecimiento económico del país y la sustentabilidad de los ecosistemas hídricos. No se puede saber con exactitud la demanda de agua existente en cada uno de estos sectores, solo se puede tener una estimación existente en cada región por cada uno de los sectores asociados.

La cantidad de habitantes presentes en cada una de las localizaciones aledañas a las mineras, es un factor de importancia; una comunidad que presente una baja concentración de habitantes no influirá de manera importante en el consumo de agua que hace de las cuencas hidrográficas. A continuación se muestra una tabla explicativa (Tabla 3.1) y un gráfico de datos acumulados (Ilustración 3.3) respecto a la distribución de los usos consuntivos y su demanda de agua en las regiones de la zona norte del país.

Tabla 3.1: Demanda estimada de agua por sector económico en la zona norte (m³/s).
(COCHILCO 2015, SISS 2014, DGA 2007)

Región	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Total (m ³ /s)
XV	3,71	0,96	0,25	0,00	4,92
I	5,21	0,69	1,43	1,54	8,87
II	3,31	1,68	1,29	6,26	12,54
III	12,03	0,87	0,52	1,90	15,32
IV	27,19	1,89	0,25	0,71	30,04

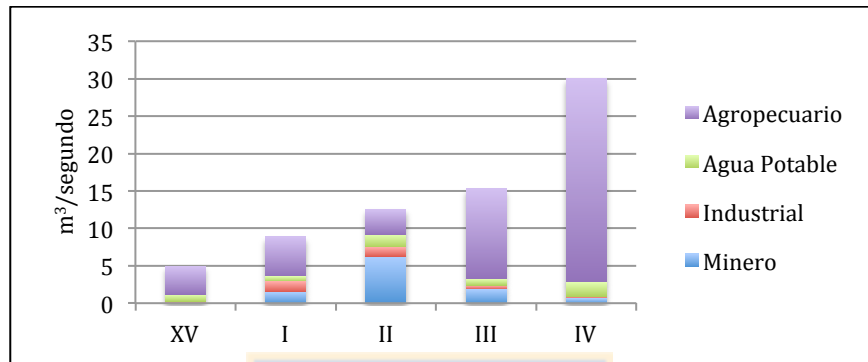


Ilustración 3.3: Distribución de los usos consuntivos del agua en la zona norte.

(COCHILCO 2015, SISS 2014, DGA 2007)

3.4 DERECHOS DE AGUA

En Chile las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorgan a los particulares mediante derechos de aprovechamiento en conformidad a las disposiciones que establece el actual ordenamiento. Este derecho se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo permitiendo al titular usar y gozar de ellas en conformidad a la ley. A su vez, los titulares pueden disponer de este derecho.

Las aguas terrestres se clasifican en superficiales y subterráneas. Por consiguiente, los derechos de aprovechamiento pueden ser también superficiales o subterráneos. Los derechos de aprovechamiento también se clasifican en consuntivos²⁵ y no consuntivos²⁶. Los derechos de aprovechamiento subterráneos se clasifican en definitivos y provisionales²⁷[28]

La Dirección General de Aguas mantiene un registro denominado Catastro Público de Aguas (CPA) el que contiene datos, actos y antecedentes con relación al recurso, las obras de desarrollo

²⁵ Derechos consuntivos: facultan al titular a consumir totalmente las aguas en cualquier actividad.

²⁶ Derechos no consuntivos: permiten emplear el agua sin consumirla y obligan a restituirla en forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho.

²⁷ Derechos provisionales: aquellos que se han otorgado en los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) declarados como áreas de restricción, pudiendo la DGA limitar su ejercicio o dejarlos sin efecto, esto último en caso de constatar la afeción a derechos de aprovechamiento definitivos.

del mismo, los derechos de aprovechamiento, los derechos reales constituidos sobre éstos y las obras construidas o que se construirán para ejercerlos [28].

El número total de derechos superficiales otorgados hasta agosto de 2015 es de 52.581, de los cuales 42.946 corresponden a consuntivos y 9.635 a no consuntivos. El caudal total otorgado para los derechos superficiales es de poco más de 40 millones de lt/s, de los cuales aproximadamente 3 millones de lt/s corresponden a consuntivos y poco más de 37 millones de lt/s a no consuntivos [28]. La Tabla 3.2 grafica el caudal otorgado de los derechos superficiales en función del ejercicio del derecho en la zona norte del país.

Tabla 3.2: Caudal otorgado de derechos superficiales distribuidos por regiones en la zona norte. (Departamento de Administración de Recursos Hídricos DGA, 2015)

Región	Consuntivo		No consuntivo		Total	
	[l/s]	%	[l/s]	%	[l/s]	%
XV	25.855	0,87	8.391	0,023	34.246	0,085
I	3.301	0,11	1.069	0,003	4.370	0,011
II	11.288	0,38	14.219	0,0037	25.507	0,063
III	22.540	0,76	6.176	0,017	28.715	0,071
IV	98.162	3,32	144.415	0,39	242.576	0,61

El número total de derechos subterráneos otorgados es de 47.569, de los cuales 46.962 corresponden a definitivos y 607 a provisionales. El caudal otorgado total para los derechos subterráneos es de aproximadamente 500 mil lt/s, de los cuales 452.841 lt/s corresponden a definitivos y 14.465 lt/s son provisionales [28]. La Tabla 3.3 grafica el caudal otorgado de los derechos subterráneos en función del ejercicio del derecho en la zona norte del país.

Tabla 3.3: Caudal otorgado de derechos subterráneos distribuidos por regiones en la zona norte. (Departamento de Administración de Recursos Hídricos DGA, 2015)

Región	Definitivo		Provisional		Total	
	[l/s]	%	[l/s]	%	[l/s]	%
XV	3.491	0,77	36	0,25	3.527	0,75
I	6.426	1,42	212	1,47	6.638	1,42
II	14.123	3,12	181	1,25	14.304	3,06
III	28.381	6,27	385	2,66	28.766	6,16
IV	26.115	5,77	1.780	12,31	27.895	5,97

3.5 PLANTAS DESALADORAS EXISTENTES

Tener conocimiento de las plantas desaladoras existentes en el país, ayuda a generar un escenario sobre las plantas que se encuentran en operación, en este caso la realización de *Swap* no se podrá llevar a cabo, debido a que las mineras ya cuentan con una distribución de los recursos marítimos. En el caso de plantas que se encuentran suspendidas, puede ser una buena opción, para la utilización de agua desalada hacia las comunidades aledañas a la minera

propietaria de la planta, al volver a ponerla en funcionamiento, ahorrándose así, el costo capital asociado a la construcción de la desaladora.

A continuación se presenta un reporte explicativo realizado por regiones, presentando las plantas desaladoras existentes, el uso para el cual fueron diseñadas, el estado en el que se encuentra, y en el caso de pertenecer a alguna compañía minera; a que minera específicamente.

3.5.1 Plantas Desaladoras, Primera región de Tarapacá y XV Región de Arica y Parinacota

La región de Tarapacá presenta solo tres plantas desaladoras que se encuentran en operación, Planta desaladora Arica, la Planta Chanavayita ambas para uso de Agua Potable; y la Planta desaladora Camarones, de Uso Minero [29]

Tabla 3.4: Platas desaladoras en la región de Tarapacá.
(Ministerio de Minería, minería abierta, 2016)

Nombre de la Planta	Región	Compañía Minera	Minera	Uso	Estado
Planta Desaladora Arica ²⁸	Arica y Parinacota	Aguas del Altiplano	-	Agua Potable	En Operación
Pampa Camarones	Parinacota	Minera Pampa Camarones	Pampa Camarones	Uso minero: Cobre	En Operación
Bullmine	Tarapacá	SCM Bullmine	Bullmine	Uso minero: Yodo	Aprobada
Planta Desaladora Collahuasi	Antofagasta	Doña Inés de Collahuasi	Collahuasi	Uso minero: Cobre	Suspendida
Planta Chanavayita	Tarapacá	-	-	Agua Potable	En operación
Planta Desaladora Quebrada Blanca Fase 2	Tarapacá	Teck	Quebrada Blanca Fase 2	Uso minero: Cobre	Factibilidad
Eloisa	Tarapacá	Eloisa S.A	Eloisa	Uso minero: Yodo	Aprobado

3.5.2 Plantas Desaladoras, Segunda Región de Antofagasta

La región de Antofagasta presenta doce plantas desaladoras en Operación; ocho de ellas destinadas al Uso Minero, y cuatro de ellas para Agua Potable [29].

²⁸ Desala agua del Acuífero Lluta (pozos) no agua de mar.

Tabla 3.5: Plantas desaladoras en la región de Antofagasta.
(Ministerio de Minería, minería abierta, 2016)

Nombre de la Planta	Región	Compañía Minera	Minera	Uso	Estado
Planta Coloso	Antofagasta	BHP Billiton	Escondida	Uso minero: Cobre	En Operación
Ampliación Planta Coloso	Antofagasta	BHP Billiton	Escondida	Uso minero: Cobre	En Construcción
Planta Desaladora Michilla	Antofagasta	Antofagasta Minerals	Michilla	Uso minero: Cobre	En Operación
Planta Desaladora Esperanza	Antofagasta	Antofagasta Minerals	Esperanza	Uso minero: Cobre	En Operación
Las Cenizas TalTal-Las Luces	Antofagasta	SLM Las Cenizas	Las Cenizas TalTal	Uso minero: Cobre	En Operación
Mantos de la Luna	Antofagasta	Compañía Minera Tocopilla	Mantos de Luna	Uso minero: Cobre	En Operación
Sierra Gorda	Antofagasta	Minera Quadra Chile	Sierra Gorda	Uso minero: Cobre	En Operación
Agua Desalada Antucoya	Antofagasta	Antofagasta Minerals	Antucoya	Uso minero: Cobre	En Operación
Agua de Mar Encuentro	Antofagasta	Antofagasta Minerals	Encuentro	Uso minero: Cobre	En Construcción
Agua de Mar Lomas Bayas	Antofagasta	Xstrata	Lomas Bayas	Uso minero: Cobre	Factibilidad
Planta Desaladora RT Sulfuros	Antofagasta	Codelco Norte	Radomiro Tomic Sulfuros Fase II	Uso minero: Cobre	En Calificación
Algorta	Antofagasta	Algorta Norte	Algorta	Uso minero: Yodo	Aprobado
Planta Desaladora Tocopilla	Antofagasta	Aguas Antofagasta S.A	-	Agua Potable	En Calificación
Planta Desaladora La Chimba	Antofagasta	Aguas Antofagasta S.A	-	Agua Potable	En Operación
Planta Desaladora Sur Antofagasta	Antofagasta	Aguas Antofagasta S.A	-	Agua Potable	Aprobado
Planta Desaladora Hornitos	Antofagasta	Caja Compensación Los Andes	-	Agua Potable	En Operación
Planta Desaladora Moly-Cop	Antofagasta	Moly – Cop Chile S.A	-	Uso Industrial: Acero	Aprobado
Paposo	-	-	DOH	Agua Potable	En Operación
Spence	-	-	-	Minería	En Calificación
Planta Osmosis Inversa	-	-	-	Minería	En Operación
Planta Desaladora Tal Tal	-	-	-	Agua Potable	En Operación

3.5.3 Plantas Desaladoras, Tercera Región de Atacama

La región de Atacama presenta tres plantas que se encuentra en operación, dos de ellas pertenecientes a la industria Minera, y una a la industria del Hierro [29].

Tabla 3.6: Plantas desaladoras en la región de Atacama.
(Ministerio de Minería, minería abierta, 2016)

Nombre de la Planta	Región	Compañía Minera	Minera	Uso	Estado
Planta Desalinizadora Minera Candelaria	Atacama	Freeport Mc MoRan	Candelaraoa	Uso minero: Cobre	En Operación
Abastecimiento de Agua Desalada Manto Verde	Atacama	Angloamerican	Mantoverde	Uso minero: Cobre	En Operación
Planta Desaladora Santo Domingo	Atacama	Capstone	Proyecto Santo Domingo	Uso minero: Cobre	Suspendida
Planta Desaladora Cerro Negro Norte	Atacama	CAP	Cerro Negro Norte	Uso Industrial: Hierro	En Operación
Diego de Almagro	Atacama	Minera Can Can	Diego de Almagro	Uso minero: Cobre	Factibilidad
Planta Desaladora El Morro	Atacama	Gold Corp	Proyecto el Morro	Uso minero: Cobre	Suspendida
Planta Desaladora Relincho	Atacama	Teck	Proyecto Relincho	Uso minero: Cobre	Suspendida
Planta Desaladora Bahía Caldera	Atacama	Seven Seas Water Chile SpA	-	Agua Potable	En Calificación
Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama	Atacama	Enconssa Chile S.A	-	Agua Potable	En Calificación

3.5.4 Plantas Desaladoras, Cuarta Región de Coquimbo y Quinta Región de Valparaíso

La región de Coquimbo solo presenta una Planta desaladora en operación; la Planta Chungungo la cual está destinada al uso de Agua Potable [29].

Tabla 3.7: Plantas desaladoras de la región de Coquimbo.
(Ministerio de Minería, minería abierta, 2016)

Nombre de la Planta	Región	Compañía Minera	Minera	Uso	Estado
Proyecto Dominga	Coquimbo	Andes Iron	Proyecto Dominga	Uso Industrial: Hierro	Factibilidad
Planta Paloma	Anunciada por Presidenta	-	-	Agua Potable	Suspendida
Planta Cogoti	Anunciada por Presidenta	-	-	Agua Potable	Suspendida
Planta Combarbalá	Anunciada por Presidenta	-	-	Agua Potable	Suspendida
Planta Choapa	Anunciada por Presidenta	-	-	Agua Potable	Suspendida
Planta Longtoma	Anunciada por Presidenta	-	-	Agua Potable	Suspendida
Planta Pullay	Anunciada por Presidenta	-	-	Agua Potable	Suspendida
Chungungo	-	-	-	Agua Potable	En Operación

4 DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación, fue utilizado el programa informático de cartografía *Google Earth*. En él se dispuso la información recopilada en los puntos anteriores, así se obtuvo una vista general de los antecedentes por regiones; enfocadas en las cuatro primeras regiones de la zona norte de Chile. Posterior a esto, se realizaron distintos filtros, para poder elegir los posibles focos de *Swap*, que cumplen con las condiciones necesarias para realizar el intercambio de recursos. La información necesaria para cumplir con el procedimiento es explicada en cada uno de los siguientes pasos, desplegada por regiones para hacer más fácil el entendimiento.

4.1 UBICACIÓN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Como fue mencionado anteriormente, la ubicación de las cuencas hidrográficas fue realizada en el programa *Google Earth*. A continuación son presentadas las ubicaciones espaciales de cada una de las cuencas principales además de información sobre la superficie que abarca cada una, que tipo de cuenca es, y el porcentaje que ocupa en cada región.

4.1.1 Primera Región de Tarapacá (Incluyendo Décima Quinta Región).

La ilustración 4.1 entrega información sobre las cuencas hidrográficas presentes en la primera región de Tarapacá, incluyendo además aquellas cuencas presentes en la décimo quinta región de Arica y Parinacota. También se puede observar la ubicación espacial de estas cuencas dentro del territorio.

Ilustración 4.1: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la XV y I Región.
(Inventario Público de cuencas, DGA – *Google Earth*)

Nombre	Área km ²	Tipo	Región	% por Región
Altiplánicas	11.369	Endorreica	XV - I	(40 - 60)%
Quebrada de la Concordia	785	Exorreica	XV	100%
Río Lluta	3.437	Exorreica	XV	100%
Río San José	3.194	Exorreica	XV	100%
Costeras R. San José-Q. Camarones	2.676	Exorreica	XV	100%
Q. Río Camarones	4.682	Exorreica	XV - I	(42 - 58)%
Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	3.806	Exorreica	I	100%
Pampa del Tamarugal	17.354	Endorreica	I	100%
Costeras Tilviche-Loa	5.847	Exorreica	I	100%
Río Loa	33.083	Exorreica	I - II	(18 - 82)%

Cuencas Hidrográficas XV y I Región

Leyenda

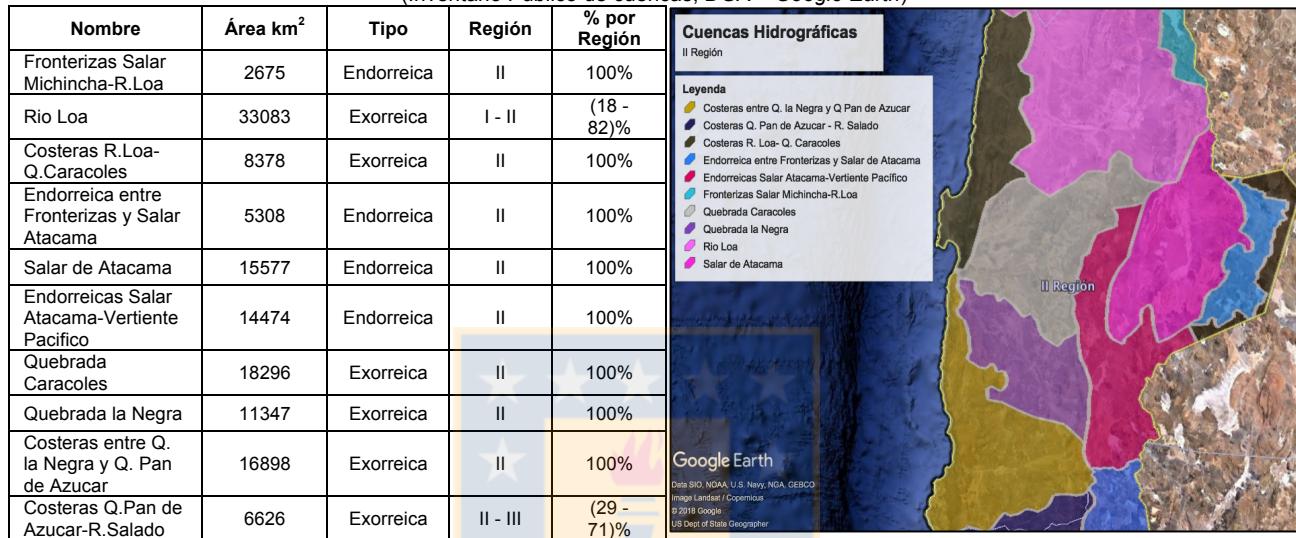
- Altiplánicas
- Costeras R. Camarones - Pampa del tamarugal
- Costeras R. San José-Q. Camarones
- Costeras Tilviche-Loa
- Pampa del Tamarugal
- Q. Río Camarones
- Quebrada de La Concordia
- Río Lluta
- Río Loa
- Río San José

Google Earth
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Imagery Landsat / Copernicus
© 2016 Google
US Dept of State Geographer

4.1.2 Segunda Región de Antofagasta

La ilustración 4.2 entrega información sobre las cuencas hidrográficas presentes en la segunda región de Antofagasta. También se puede observar la ubicación espacial de estas cuencas dentro del territorio.

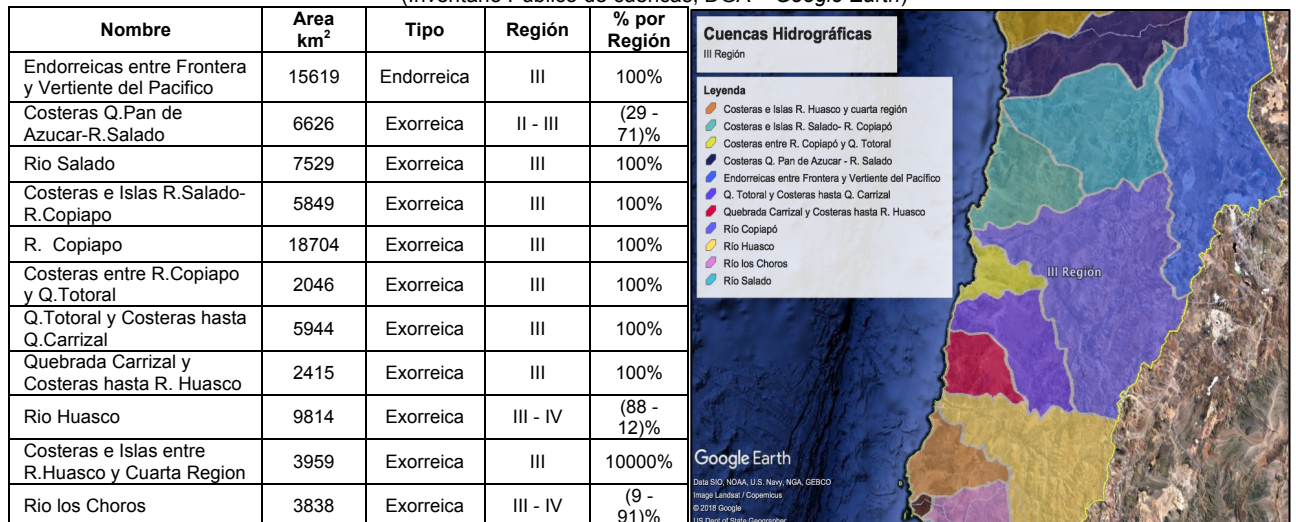
Ilustración 4.2: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la II Región.
(Inventario Público de cuencas, DGA – Google Earth)



4.1.3 Tercera Región de Atacama

La ilustración 4.3 entrega información sobre las cuencas hidrográficas presentes en la tercera región de Atacama. También se puede observar la ubicación espacial de estas cuencas dentro del territorio.

Ilustración 4.3: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la III Región.
(Inventario Público de cuencas, DGA – Google Earth)



4.1.4 Cuarta Región de Coquimbo

La ilustración 4.4 entrega información sobre las cuencas hidrográficas presentes en la cuarta región de Coquimbo. También se puede observar la ubicación espacial de estas cuencas dentro del territorio.

Ilustración 4.4: Descripción y ubicación espacial de Cuencas Hidrográficas de la IV Región.
(Inventario Público de cuencas, DGA – Google Earth)

Nombre	Área km ²	Tipo	Región	% por Región
Río Huasco	9814	Exorreica	III - IV	(88 - 12)%
Río los Choros	3838	Exorreica	III - IV	(9 - 91)%
Costeras entre R. Los Choros y R. Elqui	441	Exorreica	IV	100%
Río Elqui	9826	Exorreica	IV	100%
Costeras entre Elqui y Limari	2300	Exorreica	IV	100%
Río Limari	11696	Exorreica	IV	100%
Río Choapa	7654	Exorreica	IV	100%
Costeras entre R. Choapa y R. Quilimari	1293	Exorreica	IV	100%
Río QuiLimari	783	Exorreica	IV	100%

4.2 MINERAS- DISTANCIA A LA COSTA Y COTA DE ALTURA

Para la realización de esta investigación, se recopiló información acerca de las todas las faenas mineras presentes en el norte del país y con sus respectivas categorías²⁹. En *Google Earth* fueron ubicadas las mineras de categoría A³⁰ y categoría B³¹, que serán las utilizadas en este estudio; esto debido a la cantidad de derechos de agua que presentan. Una investigación respecto a *Swapping* entre varias mineras pequeñas (cluster) y comunidades aledañas podría ser una buena fuente de información, sin embargo no está en los alcances de este estudio. Si el punto de enfoque fuera las pequeñas mineras, o las medianas-pequeñas, la cantidad de agua utilizada en su procesos no sería un factor de gran importancia para realizar un posible intercambio (examinando mineras de manera singular), ya que las cuencas no se ven afectadas por la cantidad de agua extraídas por estas pequeñas operaciones. En cambio, las mineras grandes y medianas ocupan una cantidad de agua sustancial para poder ver algún tipo de alternativa, examinándolas de manera separada.

²⁹ Para mayor información sobre las Categorías de las Mineras, ver Anexo 7.8

³⁰ Mineras Grandes; igual o superior a 1 millón de horas hombres trabajadas en el período respectivo.

³¹ Mineras Medianas; igual o superior a 200.000 e inferior a 1 millón de horas hombre trabajadas en el período.

Como se mencionó anteriormente el proceso de desalinizar el agua salada para utilizarla en los procesos presentes en minería, se podría llevar a cabo mas factiblemente, de no ser por los costos asociados a esto, **los cuales aumentan proporcionalmente a la distancia que están de la costa, y a la cota de altura en la cual se encuentran.**

En el programa *Google Earth* fueron calculadas las distancias a las costa de las mineras, mediante la función “regla”, para hacer mas fácil el proceso; así se puede tener una distancia aproximada, que para efecto de cálculos tiene medidas bastantes cercanas a la realidad con una desviación de tan solo el 10%. La altura fue calculada directamente del programa, ya que con la función relieve, se puede saber la altura con respecto al nivel del mar, de cada punto del mapa.

Se dispone en una tabla explicativa la distancia a la costa y altura a la cual se encuentran las principales mineras³² de la zona norte del país.

Tabla 4.1: Distancias y cotas de altura de las mineras mas importantes presentes en la zona norte del país. (*Google Earth*)

Región	Minera	Distancia a la costa [km]	Cota de altura [m]
1ra Región Tarapacá	Inés de Collahuasi	170	4350
	Quebrada Blanca	170	4200
	Cerro Colorado	95	2450
2da Región Antofagasta	El Abra	180	3350
	Codelco Norte	145	2750
	Spence	120	1650
	Escondida	150	3000
	Sierra Gorda	110	1650
3ra Región Atacama	Candelaria	70	650
	Cerro Casale	190	4000
4ta Región Coquimbo	Los Pelambres	140	2000
	Carmen de Andacollo	35	1100

4.3 CANTIDAD DE HABITANTES Y DEMANDA DE AGUA POTABLE

El segundo punto a considerar en esta investigación, fue la cantidad de habitantes existentes en cada una de las comunidades del norte de Chile. La cantidad de habitantes fue obtenida de las comunas preponderantes presentes en las cuatro primeras regiones, éstas fueron ubicadas en *Google Earth* para tener una referencia espacial con respecto a las mineras.

Para obtener una demanda de agua estimada por Comunas se prosiguió de la siguiente manera. Según datos de COCHILCO en el año 2015 se realizo una encuesta a los habitante de la zona y se obtuvo un estimado en m³/s correspondientes al consumo de agua potable, lo cual quedó expresado en la Tabla 3.1 en el ítem “Cantidad de habitantes y demanda de agua potable”.

³² Para mayor información sobre las principales mineras de la zona norte del país, dirigirse al Anexo 7.9

Con esta información y además teniendo conocimiento de la cantidad de habitantes por Comunas (ítem 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4), se hizo la estimación de la demanda de agua potable, por comuna (dividiendo la demanda promedio en la región por la cantidad de habitantes totales de ese región; y luego multiplicando este valor por los habitantes de la comuna).

A continuación se muestra un listado dividido por regiones, en el cual se encuentra la ubicación espacial de cada una de las comunas presentes en la zona norte (realizado en *Google Earth*), y una breve descripción de éstas; esto de vital ayuda para en lo siguientes ítems tener una referencia de las ubicaciones de las comunas con respecto a las mineras. Se realiza una tabla explicativa con la cantidad de habitantes presentes en cada Comuna y además de la demanda de agua por comunas como fue explicado anteriormente.

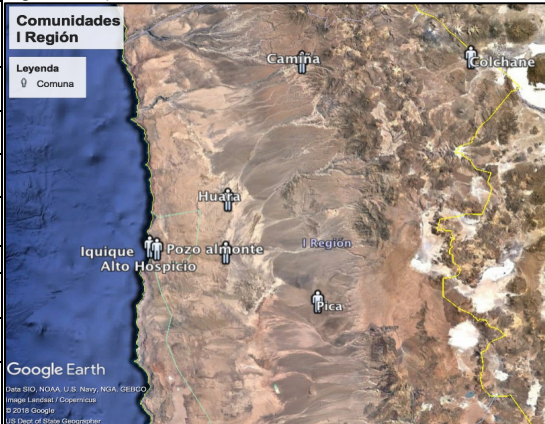
4.3.1 Primera Región de Tarapacá

La región de Tarapacá tiene una superficie de 42.225,8 km². La población regional es de 286.105 habitantes y su densidad alcanza a los 5,65 habitantes por km². Limita al norte con la Región de Arica-Parinacota, al este con la República de Bolivia y al oeste con el Océano Pacífico. Tarapacá está dividida administrativamente en dos provincias y siete comunas [30].

La ilustración 4.5 corresponde a un resumen de las provincias, cantidad de habitantes y demanda de agua potable por comunas presentes en la primera región de Tarapacá. Además de la ubicación espacial de cada una de estas comunas.

Ilustración 4.5: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la Primera Región. (INE,2017 – Google Earth)

Provincia	Capital provincial	Comuna	Habitantes	Demanda de Agua Potable (m ³ /s)
Iquique	Iquique	Alto Hospicio	124.872	0,24
		Iquique	200.897	0,39
El Tamarugal	Pozo Almonte	Camiña	1.277	0,0025
		Colchane	1.689	0,0033
		Huara	2.966	0,0058
		Pica	6.650	0,013
		Pozo Almonte	14.361	0,028
TOTAL			352.712	0,69




4.3.2 Segunda Región de Antofagasta

La superficie regional presenta una longitud de 500 kilómetros aproximadamente, y abarca un área de 126.049,10 kilómetros cuadrados, equivalentes al 16,67% del territorio nacional. La región limita al norte con la Región de Tarapacá; al sur con la Región de Atacama; por el oeste limita con el Océano Pacífico y al este con la Argentina. La Segunda Región está dividida administrativamente en tres provincias, subdivididas en nueve comunas [30].

La ilustración 4.6 corresponde a un resumen de las provincias, cantidad de habitantes y demanda de agua potable por comunas presentes en la segunda región de Antofagasta. Además de la ubicación espacial de cada una de estas comunas.

Ilustración 4.6: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la segunda Región. (INE, 2017 – Google Earth)

Provincia	Capital provincial	Comuna	Habitantes	Demanda de Agua Potable (m ³ /s)
Tocopilla	Tocopilla	Tocopilla	27.996	0,073
		María Elena	4.840	0,012
El Loa	Calama	Calama	181.897	0,47
		Ollague	310	0,0008
		San Pedro de Atacama	7.840	0,02
Antofagasta	Antofagasta	Mejillones	11.754	0,03
		Sierra Gorda	10.186	0,026
		Antofagasta	389.812	1,01
		Taltal	13.296	0,034
TOTAL			647.931	1,68




4.3.3 Tercera Región de Atacama

La Región de Atacama limita al Oeste con el océano Pacífico, al Este con Argentina, al Norte con la región de Antofagasta y al Sur con la Cuarta Región de Coquimbo. Posee una superficie de 75.176,20 kilómetros cuadrados, equivalentes al 9,94% del territorio nacional. La región de Atacama comprende tres provincias, subdivididas en nueve comunas [30].

La ilustración 4.7 corresponde a un resumen de las provincias, cantidad de habitantes y demanda de agua potable por comunas presentes en la segunda región de Antofagasta. Además de la ubicación espacial de cada una de estas comunas.

Ilustración 4.7: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la tercera Región. (INE,2017 – Google Earth)

Provincia	Capital provincial	Comuna	Habitantes	Demanda de Agua Potable (m ³ /s)
Chañaral	Chañaral	Chañaral	13.660	0,037
		Diego de Almagro	14.656	0,039
Copiapó	Copiapó	Caldera	18.101	0,049
		Copiapó	178.788	0,48
		Tierra Amarilla	17.857	0,048
Huasco	Vallenar	Huasco	10.595	0,028
		Vallenar	53.550	0,15
		Freirina	7.073	0,019
		Alto del Carmen	6.519	0,018
TOTAL			320.799	0,87




4.3.4 Cuarta Región de Coquimbo

La región de Coquimbo tiene una superficie de 40.579,90 kilómetros cuadrados, equivalentes al 5,37% del territorio nacional. Limita al Norte con la Región de Atacama, al sur con la Región de Valparaíso, al Este con Argentina y al Oeste con el Océano Pacífico. La región de Coquimbo se subdivide en tres provincias y quince comunas [30].

La ilustración 4.8 corresponde a un resumen de las provincias, cantidad de habitantes y demanda de agua potable por comunas presentes en la cuarta región de Coquimbo. Además de la ubicación espacial de cada una de estas comunas.

Ilustración 4.8: Cantidad de habitantes, demanda de agua potable y ubicación de comunidades de la cuarta Región. (INE,2017 – Google Earth)

Provincia	Capital provincial	Comuna	Habitantes	Demanda de Agua Potable (m ³ /s)
Elqui	Coquimbo	La Higuera	4.727	0,011
		Vicuña	26.874	0,063
		La Serena	225.178	0,53
		Coquimbo	242.096	0,57
		Andacollo	11.555	0,027
		Paiguano	4.506	0,01
Limarí	Ovalle	Ovalle	123.239	0,29
		Río Hurtado	4.992	0,011
		Punitaqui	10.923	0,025
		Monte Patria	34.072	0,08
		Combarbalá	15.453	0,036
Choapa	Illapel	Canela	9.911	0,023
		Illapel	39.910	0,094
		Los Vilos	20.391	0,048
		Salamanca	27.511	0,064
TOTAL			801.338	1,89



4.4 DERECHOS DE AGUA

Los derechos de agua otorgados a las mineras, difieren en cuanto a la categoría que pertenezcan cada una, estos derechos son otorgados por la DGA a las faenas mineras que extraen recursos hídricos desde ciertas cuencas hidrográficas o subcuencas hidrográficas. Cada operación minera presenta una extracción correspondiente a estos derechos, que en la mayoría de las veces es menor, pero hay algunos casos excepcionales donde el agua extraída supera a la ofrecida.

Este punto del estudio, fue enfocado en obtener datos sobre los derechos de agua que presentan cada una de las grandes y medianas faenas mineras del norte del país. Recopilar información sobre cual cuenca o subcuenca hidrográfica extraen el recurso hídrico. Se realiza un estudio detallado por regiones para que sea de mas fácil entendimiento, expresando como primer punto los derechos y extracciones de agua en esa región, luego las cuencas o subcuencas de las cual son extraídos los recursos hídricos, y posteriormente la cantidad de agua extraída por cada una de las mineras pertenecientes a dicha región. Posterior al término de éste estudio, se contará con conocimientos suficientes para tener una relación entre comunidades - mineras - cuencas hidrográficas y así ver los focos de posible interacción entre éstas.

4.4.1 Primera Región de Tarapacá

La región de Tarapacá se caracteriza por la presencia de regímenes esporádicos y cursos endorreicos. Las condiciones de aridez predominan en esta región, por lo que generalmente predominan cursos de agua de menor importancia. En la zona altiplánica, la Primera Región cuenta con mayores recursos de agua, debido al aumento de precipitaciones y a la presencia de nieves cordilleranas en las cumbres volcánicas [31].

4.4.1.1 Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras.

Tabla 4.2: Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la I región.
(DGA, 2015)

Empresa Minera	Derechos Consuntivos Superficiales (l/s)	Derechos Consuntivos subterráneos (l/s)	Total derecho consuntivo Informado (l/s)	Extracción Informada (l/s)
Minera Doña Inés de Collahuasi	10	1028	1398	950
Minera Cerro Colorado	0	300	300	111
Minera Quebrada Blanca	0	436	436	129

4.4.1.2 Faenas Mineras - Extracción por Fuente

Se observa claramente una tendencia por parte de las mineras al uso de agua subterránea, y el principal consumidor es la minera Doña Inés de Collahuasi. Como segunda fuente de extracción de recursos se encuentra el “Agua mina” y el principal consumidor vuelve a ser la minera Doña Inés de Collahuasi. Existe también un consumo menor de agua proveniente de terceros. No existe uso de ningún tipo de agua proveniente de fuentes marítimas, y agua superficial solo Quebrada Blanca consume un bajo 0,015 [m³/s].

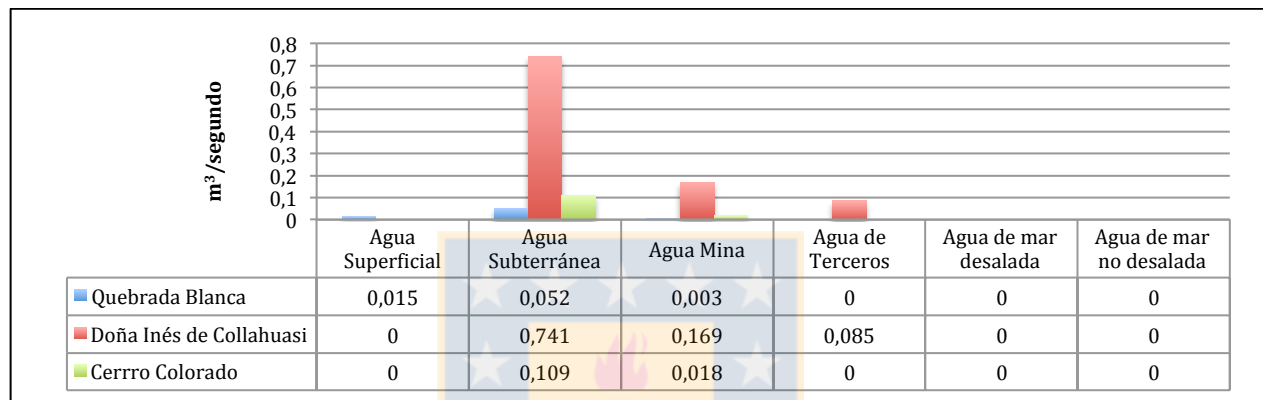


Ilustración 4.9: Faenas Mineras – Extracción por fuente, I región.
(Consejo Minero, 2016)

4.4.1.3 Faenas Mineras - Extracción por Cuencas

En la región de Tarapacá se observa claramente un consumo mayoritario en aguas provenientes de fuentes subterráneas, y la mayor subcuenca explotada corresponde a la cuenca hidrográfica Coposa, en segundo lugar se encuentra la subcuenca Michincha, y por último la cuenca Lagunillas. Existe un importante consumo de agua mina, y esta proviene de la subcuenca Huinquentipa. De agua superficial, la única cuenca partícipe corresponde a Michincha.

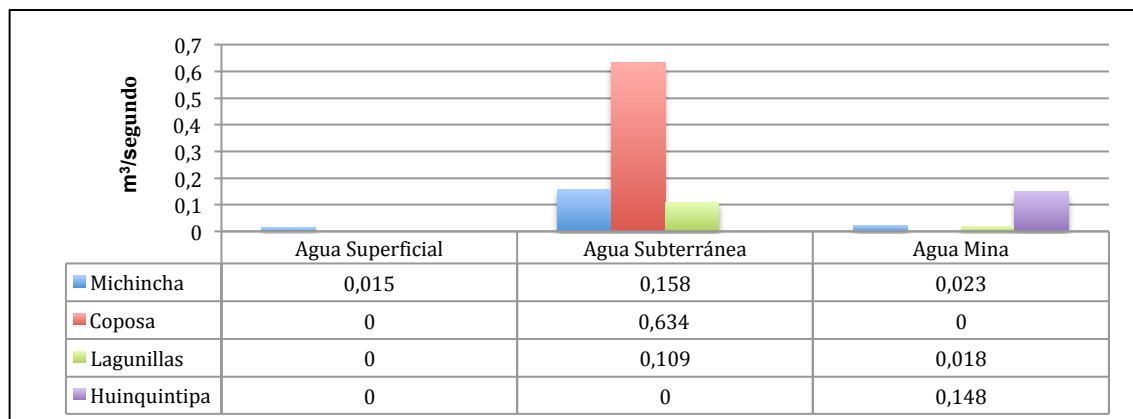


Ilustración 4.10: Faenas mineras – Extracción por Cuencas , I región.
(Consejo Minero, 2016)

4.4.2 Segunda Región de Antofagasta

En la región de Antofagasta se presenta sólo un río que desemboca en el mar: el río Loa. Siendo una de sus características principales el escurrimiento continuo de sus aguas durante todo el año, el río Loa es el principal recurso hídrico de la región de Antofagasta. Sus aguas son aprovechadas para la agricultura, la minería y el consumo de la población de las principales ciudades de esta región, como Calama, Antofagasta, y Chuquicamata.

Al sur del río Loa se encuentra el salar de Atacama, cuenca altiplánica cuya característica principal es que separa la Cordillera de los Andes con la precordillera de Domeyko [31].

4.4.2.1 Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras.

Tabla 4.3: Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la II región.
(DGA, 2015)

Empresa Minera	Derechos Consuntivos Superficiales (l/s)	Derechos Consuntivos subterráneos (l/s)	Total derecho consuntivo Informado (l/s)	Extracción Informada (l/s)
Minera Zaldivar	0	1256	1256	174
Spence	0	0	0	nn ³³
Minera Escondida	134	3263	3195	2100
Codelco Norte	41	3687	3728	1786
Lomas Bayas	0	35	218	131
Altonorte	0	70	70	39
Minera el Abra	0	0	365	226
Minera el Tesoro	0	45	142	48
Minera Michilla	0	0	0	nn
Radomiro Tomic	nn	nn	nn	450,4

4.4.2.2 Faenas Mineras - Extracción por Fuente

En la segunda región de Antofagasta, se puede observar claramente que el mayor consumidor de agua corresponde a la minera Escondida, y la mayor fuente de abastecimiento viene desde fuentes subterráneas, además esta minera cuenta con un alto consumo de agua de mar desalada. En segundo lugar se encuentra la minera Chuquicamata con consumo muy parejo en lo que conlleva a fuentes, hace un uso en casi idéntica cantidad en agua superficial y agua subterránea. La minera El Abra tiene su mayor consumo de fuentes subterráneas, y una ínfima extracción de agua mina. Gabriela Mistral presenta solo extracción de fuentes subterráneas. La minera Zaldivar hace uso de aguas subterráneas y en baja medida de agua mina. Spence solo consume agua proveniente de terceros. En cuanto a Sierra Gorda, en la región de Antofagasta es la única minera que hace uso de agua de mar no desalada.

³³ nn: No informado

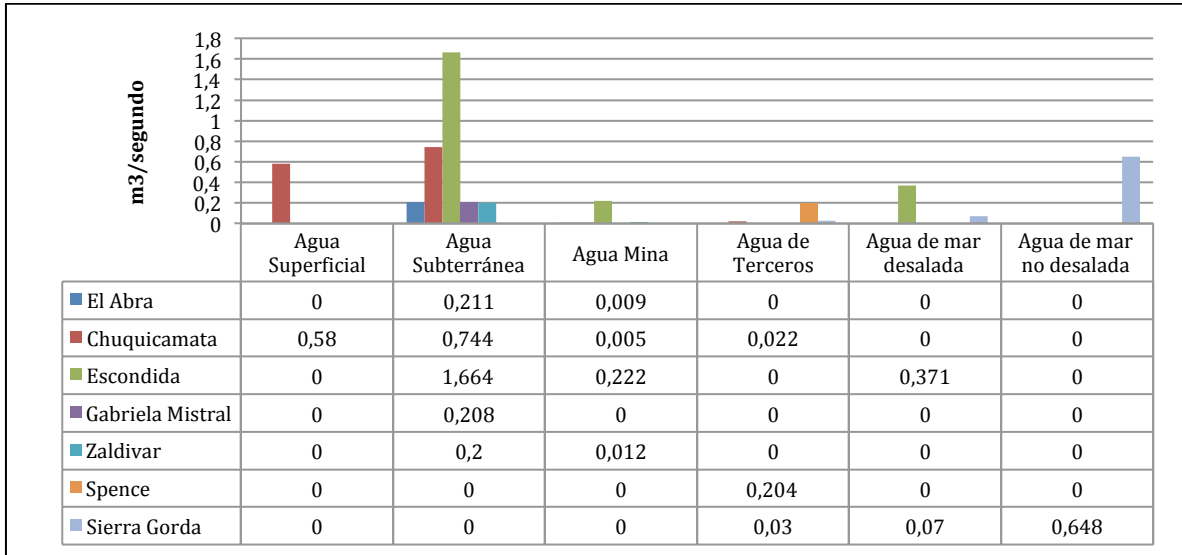


Ilustración 4.11: Faenas Mineras – Extracción por fuentes, II región.
(Consejo Minero 2016)

4.4.2.3 Faenas Mineras - Extracción por Cuencas

La mayor fuente de extracción de agua en la región de Antofagasta corresponde a Agua Subterránea, y las cuencas mayormente explotadas corresponden al Río Loa, subcuenca Monturaqui y el Salar de Atacama. Importante mencionar que en fuente de agua superficial, sigue teniendo una gran influencia el Río Loa. En consumo de agua mina, subcuenca Hamburgo es la que tiene el primer lugar, y en segundo lugar el Río Loa.

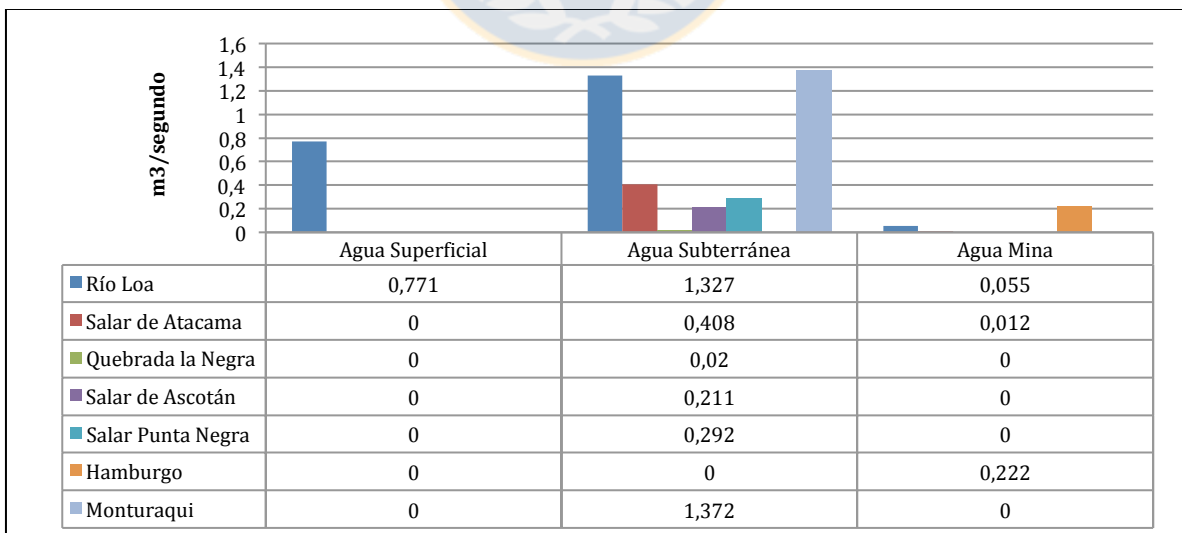


Ilustración 4.12: Faenas mineras – Extracción por cuencas, II región.
(Consejo Minero, 2016)

4.4.3 Tercera Región de Atacama

El aumento de las precipitaciones y la presencia de nieves en las altas cumbres permiten el desarrollo de cursos de agua, cuyo régimen de alimentación es pluvionival. Esto condiciona el escurrimiento de agua durante todo el año.

El río Copiapó posee una hoya hidrográfica de 18.400 kilómetros cuadrados y una longitud de 162 kilómetros. La presencia de terrazas fluviales y sectores de vega con abundante humedad permiten que el del río Copiapó sea intensamente utilizado en faenas agrícolas [31].

4.4.3.1 Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras

Tabla 4.4 : Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la III región.
(DGA, 2015)

Empresa Minera	Derechos Consuntivos Superficiales (l/s)	Derechos Consuntivos subterráneos (l/s)	Total derecho consuntivo Informado (l/s)	Extracción Informada (l/s)
Minera Mantos Blancos	756	129	885	116
Manto Verde	0	200	200	91
Minera Nevada	150	0	410	nn
Minera Mantos de Oro	3	474	477	nn
División Salvador	3	490	493	798
Minera Candelaria	0	40	1007	239
Ojos del Salado	0	905	70	89
Minera del Pacífico	140	61	201	107
Sociedad Punta de Cobre S.A	0	151	155	nn
Minera Meridian	0	52	52	8

4.4.3.2 Faena Minera - Extracción por Fuente

En la región de Atacama se observa un alto consumo de agua proveniente de fuentes superficiales, y la única minera que se presenta aquí es El Salvador. Los mayores consumidores de agua subterránea corresponden a Caserones y El Salvador, y con un bajo consumo la minera Candelaria. Se presenta un alto consumo de agua de mar desalada, y las mineras en esta categoría son Candelaria y la minera Ojos del Salado. En agua perteneciente a terceros, la única minera que consume es Candelaria. Caserones y Ojos del Salado ocupan agua mina. Y en esta región no hay uso de agua de mar no desalada.

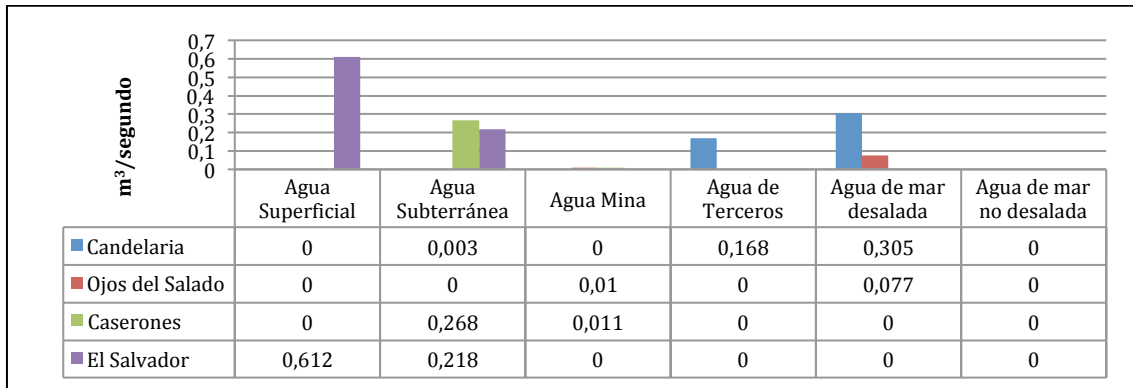


Ilustración 4.13: Faenas Mineras – Extracción por fuente, III región.
(Consejo Minero 2016)

4.4.3.3 Faenas Mineras - Extracción por Cuencas

En la región de Atacama, a diferencia de las dos anteriores regiones estudiadas, la mayor fuente de abastecimiento corresponde al agua Superficial, y la única subcuenca de la que se extrae el agua, es de Podernales. El agua subterránea mantiene un número importante, y entre ellas destacan la cuenca del río Copiapó, el segundo lugar la subcuenca Podernales y por último con un valor mínimo la subcuenca del Salar Maricunga. El consumo de agua mina es muy bajo y de la única cuenca donde se extrae, es del Río Copiapó.

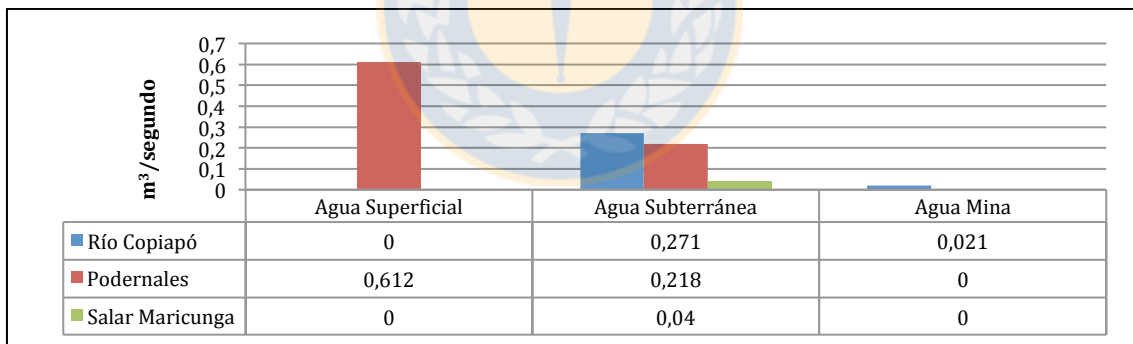


Ilustración 4.14: Faenas mineras – Extracción por cuencas, III región.
(Consejo Minero, 2016)

4.4.4 Cuarta Región de Copiapó

La Región de Coquimbo presenta tres importantes ríos: Elqui, Limarí y Choapa, todos ellos nacen en la Cordillera de Los Andes y desembocan en el mar. A los 815 msnm en la Cordillera de Los Andes nace el río Elqui que posee una hoya hidrográfica de 9.794 km², la utilización de sus aguas es aprovechada principalmente en el regadío del valle del Elqui y para consumo humano de las principales ciudades de la región, La Serena, Coquimbo y Vicuña. En la parte central de la región, también en la Cordillera de Los Andes, nace el río Limarí posee una hoya hidrográfica de 11.927 km² con un gasto medio de 25m³/seg. [31]

4.4.4.1 Derechos y Extracción de Agua por Faenas

Tabla 4.5: Derechos y Extracción de Agua por Faenas Mineras en la IV región.
(DGA, 2015)

Empresa Minera	Derechos Consuntivos Superficiales (l/s)	Derechos Consuntivos subterráneos (l/s)	Total derecho consuntivo Informado (l/s)	Extracción Informada (l/s)
Minera el Indio	230	20	250	nn
Minera Carmen de Andacollo	0	0	768	58
Minera Los Pelambres	456	133	4216	381
Minera del Pacífico	0	88	88	nn

4.4.4.2 Extracción por Fuente por Faena Minera

El mayor consumo proviene de fuentes superficiales, y el mayor consumidor en éste ítem es la minera Los Pelambres. En según lugar están las fuentes subterráneas, y aquí sobresale la minera Carmen de Andacollo. Por último está el consumo de agua mina, eel primer consumidor corresponde a la minera Los Pelambres, y en segundo lugar Carmen de Andacollo.

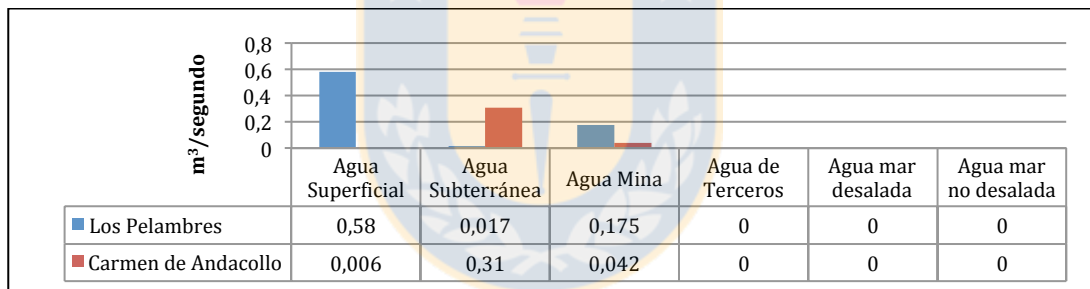


Ilustración 4.15: Faenas Mineras – Extracción por fuente, IV región. Fuente: elaboración propia con datos de (Consejo Minero, 2016)

4.4.4.3 Extracción por Cuencas por Faenas Mineras

En la región de Coquimbo predomina el consumo de fuentes Superficiales, y el río Choapa es el primer responsable. Se mantiene un importante consumo de aguas provenientes de fuentes Subterráneas, y aquí la cuenca de mayor extracción corresponde al Río Elqui.

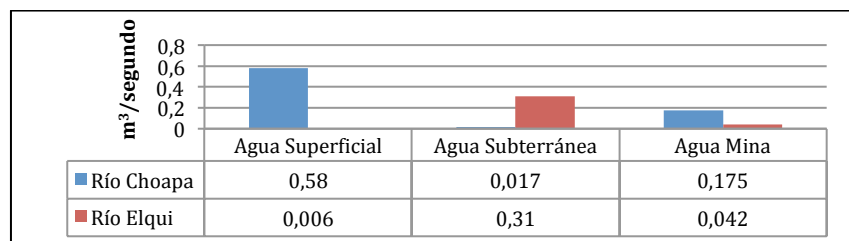


Ilustración 4.16: Faenas mineras – Extracción por cuenca, IV región.
(Consejo Minero, 2016)

4.5 RELACIÓN PARÁMETROS DE ENTRADA

Este punto corresponde a la unión de los ítems anteriormente detallados. Luego de obtener toda la información de base de estudio, se prosigue a la realización de los parámetros visuales juntos, para así encontrar en cada posición los posibles focos de intercambio de recursos hídricos (los cuales serán posteriormente corroborados por parte del análisis económico). La utilización del programa informático *Google Earth*, es de vital importancia para tener estos parámetros de manera visual. En el son superpuestos la ubicación de las mineras, comunidades, plantas desaladoras y de los principales ríos; y estos puntos sobre las cuencas hidrográficas dibujadas por regiones sobre el mapa de la zona norte del país. El estudio será llevado a cabo por medio de distintos filtros, que irán acotando la cantidad de focos entregados en las cuatro primeras regiones.

El primer filtro de este estudio, se basa en la localización de las variables estudiadas. Como se mencionó anteriormente, los posibles focos de *Swap* serán elegidos cuando la ubicación de las mineras, sea sobre la misma cuenca hidrográfica en la que se ubique una comunidad³⁴. Para que la investigación sea mas comprensible, se procede a examinar cuenca por cuenca, las interacciones mineras – comunidades, eligiendo de esta manera, aquellas que presenten posibles focos de *Swap*. Se utilizará el color verde, como color representativo de la cuenca que presenta focos de *Swap*, y el color rojo, como color representativo de las cuencas que no presentan³⁵ focos de *Swap*. Como segundo filtro de localización; una minera que se encuentre cercana a la costa, no necesitará intercambiar sus recursos con comunidades aledañas, debido a que una planta desaladora puede abastecer de agua a la faena a un precio muy similar al que lo haría alimentado a una comunidad próxima. Las faenas mineras que se encuentran en esta situación, serán descartadas de ser posibles puntos de intercambio del estudio.

El segundo filtro corresponde a los derechos y extracción de agua, tanto por parte de las empresas mineras, como de las comunidades. Primero el estudio se enfocará en los derechos de agua otorgados a faenas mineras, y para esto tomará como base el proyecto de ley artículo 111° de la ley 18.248 – Código de minería – y que dice relación con el uso de aguas de los procesos productivos de las empresas mineras. “Las empresas mineras que cuya extracción de agua sobrepasen los 150 litros por segundo tendrán la obligación de incorporar la desalinización de aguas marítimas dentro de sus procesos productivos”, por lo que las mineras que no superen ese umbral, no será necesaria la inclusión de agua desalada, y por esto serán sacadas del estudio. Posterior a esto, la investigación se basará en la demanda de agua de las comunidades elegidas

³⁴ Explicación de este criterio está explicado detalladamente en el ítem “Alcances”.

³⁵ Para mayor información sobre las cuencas que no presentan focos de *Swap*, dirigirse al anexo 7.10

como posibles focos de intercambio de recursos. Como fue mencionado en el ítem anterior, aquellas comunidades que presenten una baja cantidad de habitantes, presentarán una baja demanda de agua, que no tendrá repercusiones en realizar un posible *Swap*.

El tercer y último filtro, se basará en las plantas desaladoras, que fueron estudiadas con anterioridad. Como se mencionó, existen distintas desaladoras que están suspendidas, por lo que la utilización de alguna de éstas plantas para la entrega de agua desalada a comunidades, abaratará mucho más el proceso, debido a que la planta ya se encuentra construida (costo capital) y solo será necesario incluir los costos de mantenimiento y de transporte del recurso.

4.5.1 Primera Región de Tarapacá

La ilustración 4.17 corresponde a una visualización de los parámetros mas importantes para esta investigación, correspondientes a las mineras, comunidades y cuencas hidrográficas presentes en la primera región de Tarapacá.

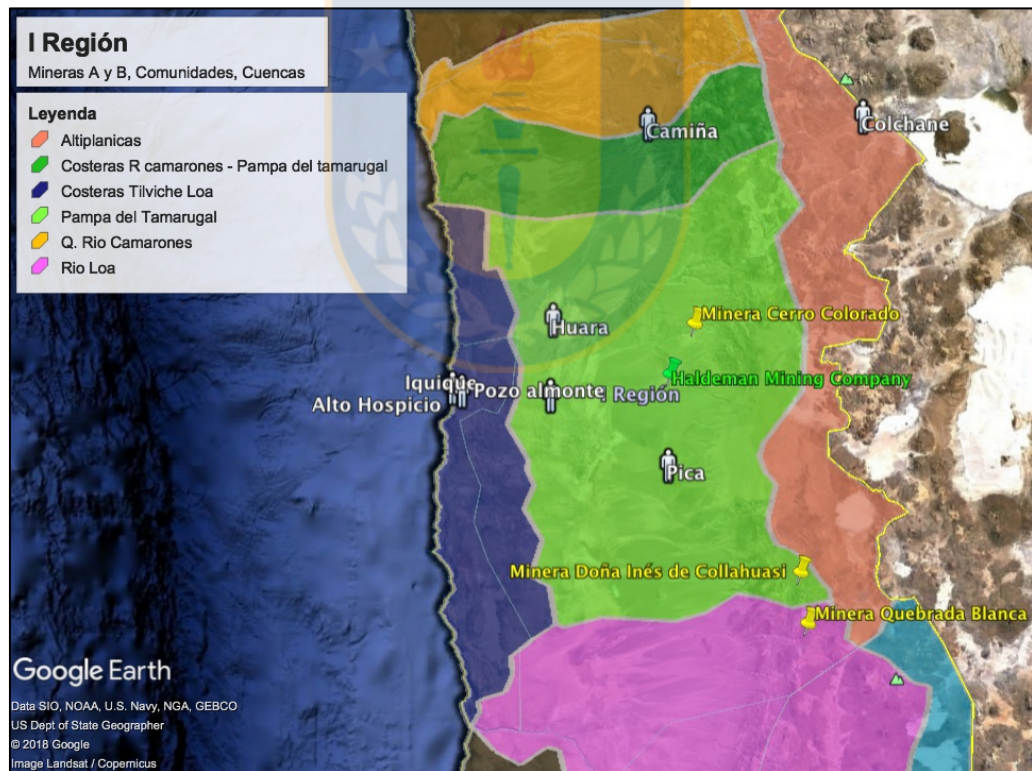


Ilustración 4.17: Mineras A y Mineras B, Comunidades y Cuencas de la I Región.
(Google Earth)

4.5.1.1 Primer Filtro, Localización Espacial

4.5.1.1.1 Localización Mineras – Comunidades, con respecto a Cuencas Hidrográficas³⁶



Ilustración 4.18: Primer filtro localización mineras-comunidades sobre cuenca hidrográfica Pampa del Tamarugal. (Google Earth)

El primer filtro correspondiente a la localización espacial, arroja en la región de Tarapacá una sola cuenca hidrográfica que presenta mineras y comunidades; la cuenca Pampa del Tamarugal. En ella participan la mineras de categoría A Cerro Colorado y Doña Inés de Collahuasi, y la faena minera de categoría B Haldeman Mining Company. Las comunidades presentes en la cuenca corresponden a Huara, Pozo Almonte y Pica.

4.5.1.1.2 Proximidad de Mineras a la Costa y Cota de Altura

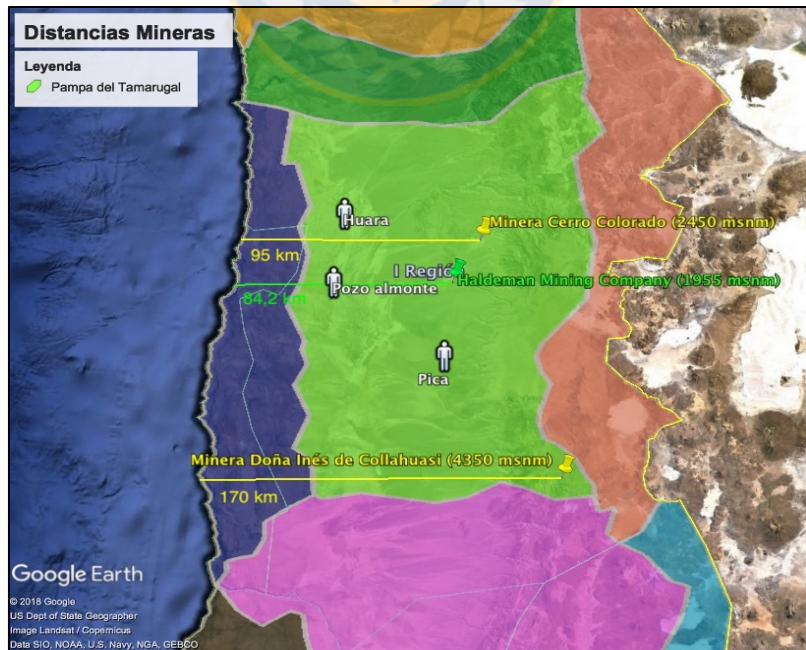


Ilustración 4.19: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa y cota de altura. (Google Earth)

³⁶ Para observar las cuencas hidrográficas de la I región que no presentan focos de *Swap*, dirigirse al anexo 7.10.1

La ilustración 4.19 corresponde a la visualización de las distancias obtenidas entre las mineras y la costa, para poder identificar cuales de ellas están mas cercanas que las comunidades, y así no pueden continuar en estudio.

De las posibles mineras focos de *Swap* arrojadas por el filtro “Localización Mineras – Comunidades, con respecto a Cuencas Hidrográficas” en Tarapacá, **ninguna** cumple la condición de estar cercana a la costa, ya que se encuentran en medio de la cuenca Pampa del Tamarugal, y mas lejanas del mar que las comunidades con las que comparte localización geográfica.

- **Cerro Colorado:** 95 km a la costa y 2450 msnm.
- **Doña Inés de Collahuasi:** 170 km y 4350 msnm.
- **Haldeman Mining Company:** 84,2 km y 1955 msnm.

4.5.1.2 Segundo Filtro, Derechos y Extracción de Agua

4.5.1.2.1 Derechos de Agua - Faenas Mineras

En la primera región, Haldeman Mining Company mantiene el proyecto Sagasca, el cual tiene una extracción aproximada de 19.000 toneladas de material al año, por lo que hacer un aproximado de los derechos de extracción de agua, está muy por bajo los 150 lt/s necesarios para la utilización de agua desalada.

En el caso de Cerro Colorado, tiene una extracción de 111 lt/s, también bajo el umbral permitido para esta investigación, por lo que la minera será sacada del estudio.

La minera que continúa en estudio corresponde a Doña Inés de Collahuasi con un consumo aproximado de 950 lt/s.

4.5.1.2.2 Demanda de Agua - Comunas

La comunidad de Pozo Almonte mantiene un consumo de 28 lt/s, Pica de 13 lt/s y Huara de 5,8 lt/s. Las 3 comunas constituyen un aproximado del 7% de la demanda total de la región.

4.5.1.3 Tercer Filtro, Plantas Desaladoras y Ríos Existentes.

La región de Tarapacá, cuenta con un total de 4 plantas desaladoras, una de ella perteneciente a la faena minera Doña Inés de Collahuasi pero esta se encuentra **Suspendida**. Como se mencionó anteriormente, las desaladoras que se encuentran en etapa, de construcción o suspendidas momentáneamente, pueden ser un buen punto de interés para el estudio, ya que se ahorra en gasto de capital de construcción.

La ilustración 4.20 corresponde a la ubicación espacial de las plantas desaladoras y los principales ríos presentes en la región de Tarapacá.

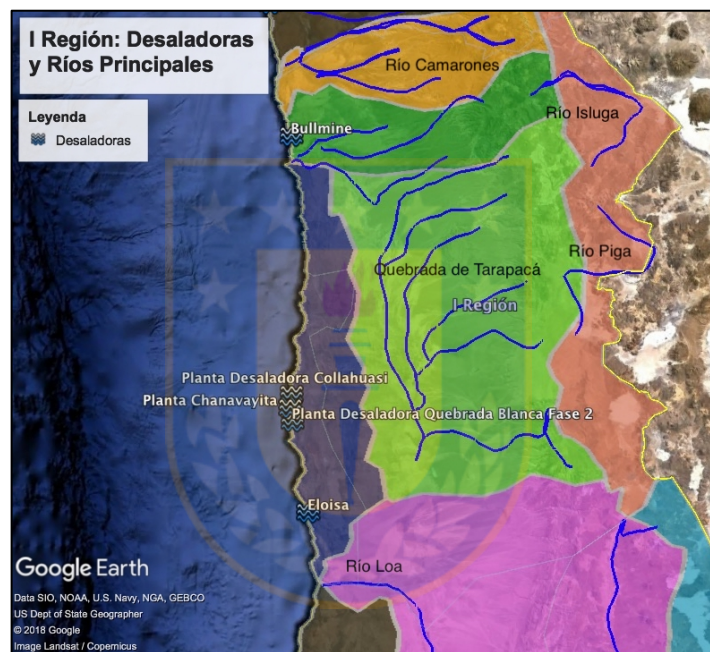


Ilustración 4.20: Desaladoras y ríos principales.
(Google Earth)

Después de los diferentes filtros aplicados a la primera región de Tarapacá, se puede concluir, que el único foco de *Swapping* existente corresponde a:

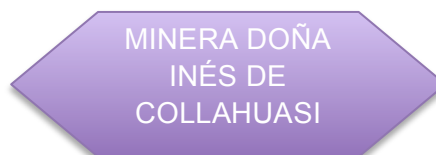


Ilustración 4.21: Minera foco de *Swapping* de la región de Tarapacá

4.5.2 Segunda Región de Antofagasta

La ilustración 4.22 y 4.23 corresponde a una visualización de los parámetros más importantes para esta investigación, correspondientes a las mineras A y B, comunidades y cuencas hidrográficas presentes en la segunda región de Antofagasta.

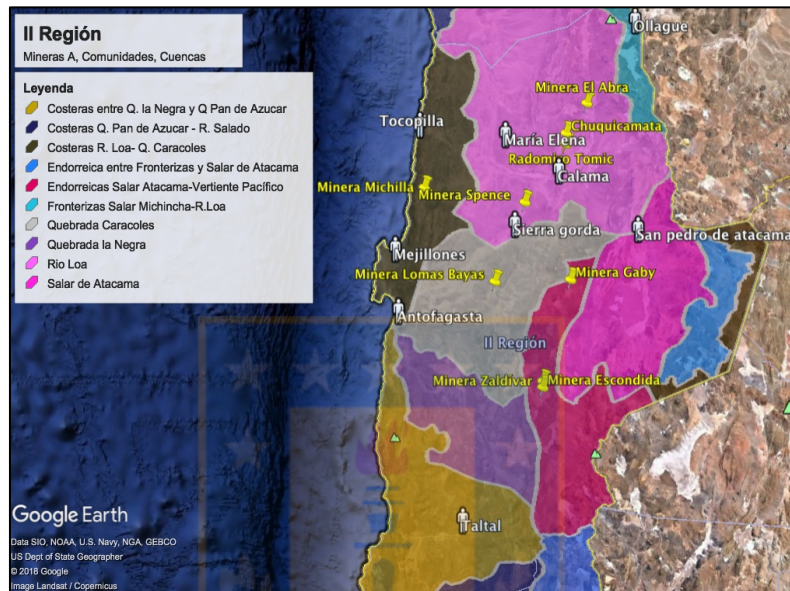


Ilustración 4.22: Mineras A, Comunidades y Cuencas de la II Región.
(Google Earth)

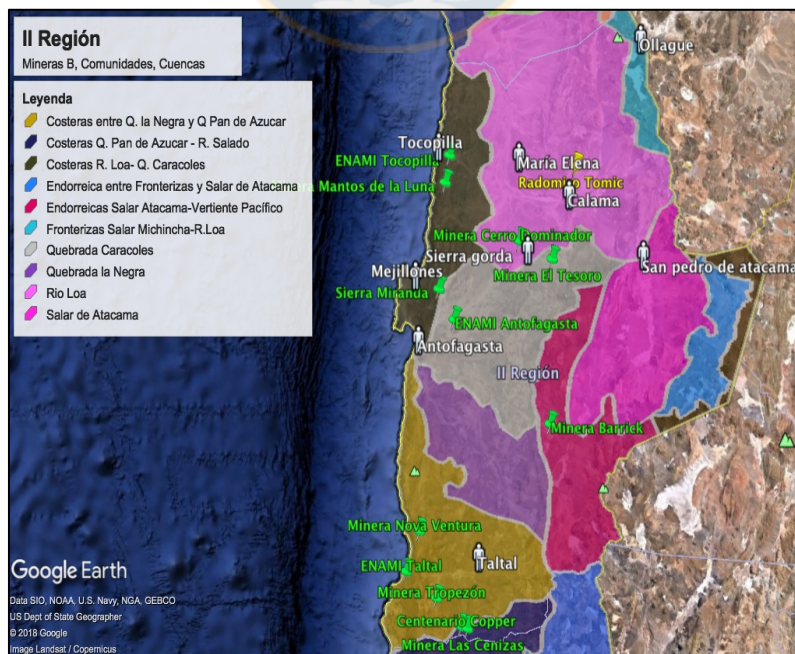


Ilustración 4.23: Mineras B, Comunidades y Cuencas de la II Región.
(Google Earth)

4.5.2.1 Primer Filtro, Localización Espacial

4.5.2.1.1 Localización Mineras – Comunidades, con respecto a Cuencas Hidrográficas³⁷

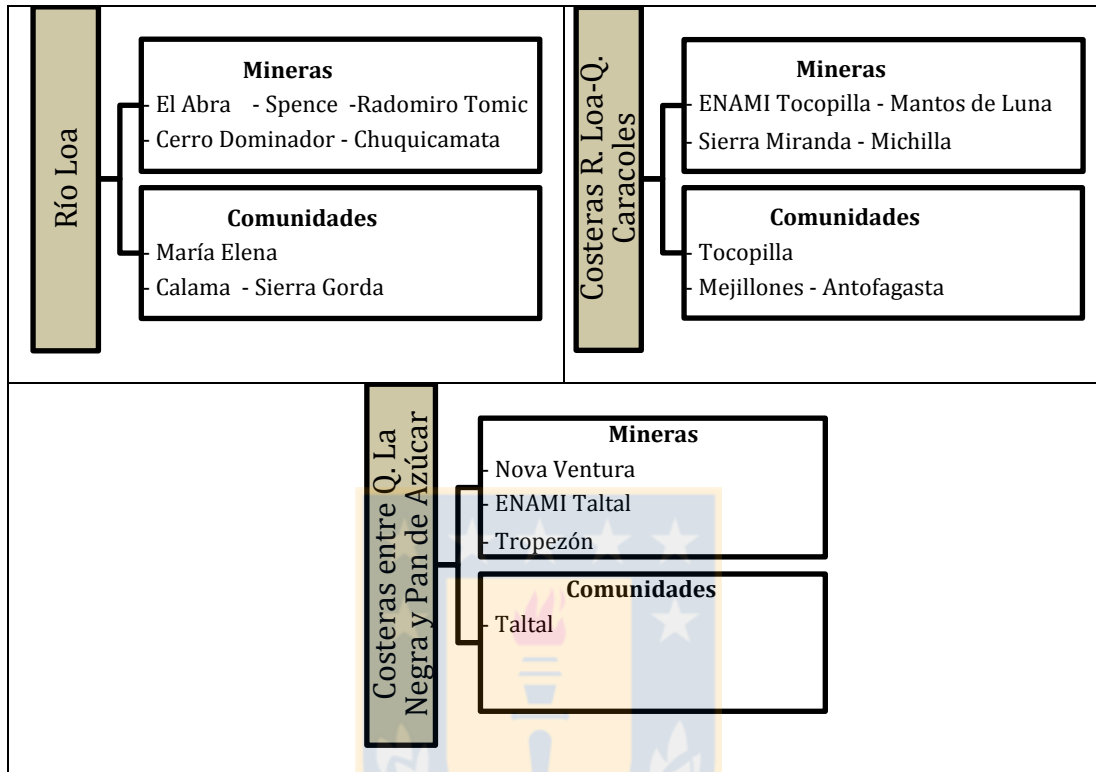


Ilustración 4.24: Cuencas hidrográficas que presentan focos de intercambio en la segunda región de Antofagasta (Google Earth)

El primer filtro en la región de Antofagasta arroja un total de 3 cuencas que son posibles focos de intercambio; cuenca Río Loa, cuenca Costeras Río Loa – Quebrada Caracoles y cuenca Costeras entre Quebrada la Negra y Pan de Azúcar.

Dentro de las mineras de categoría A se encuentran; El Abra, Chuquicamata, Spence y Michilla. De categoría B, Cerro Dominador, ENAMI Tocopilla, Mantos de Luna, Sierra Miranda, Nova Ventura, ENAMI Taltal y Tropezón. Las comunidades posibles corresponden a María Elena, Calama, Sierra Gorda, Tocopilla, mejillones, Antofagasta y Taltal.

³⁷ Para observar las cuencas hidrográficas de la II región que no presentan focos de *Swap*, dirigirse al anexo 7.10.2

4.5.2.1.2 Proximidad Mineras a la Costa y Cota de Altura

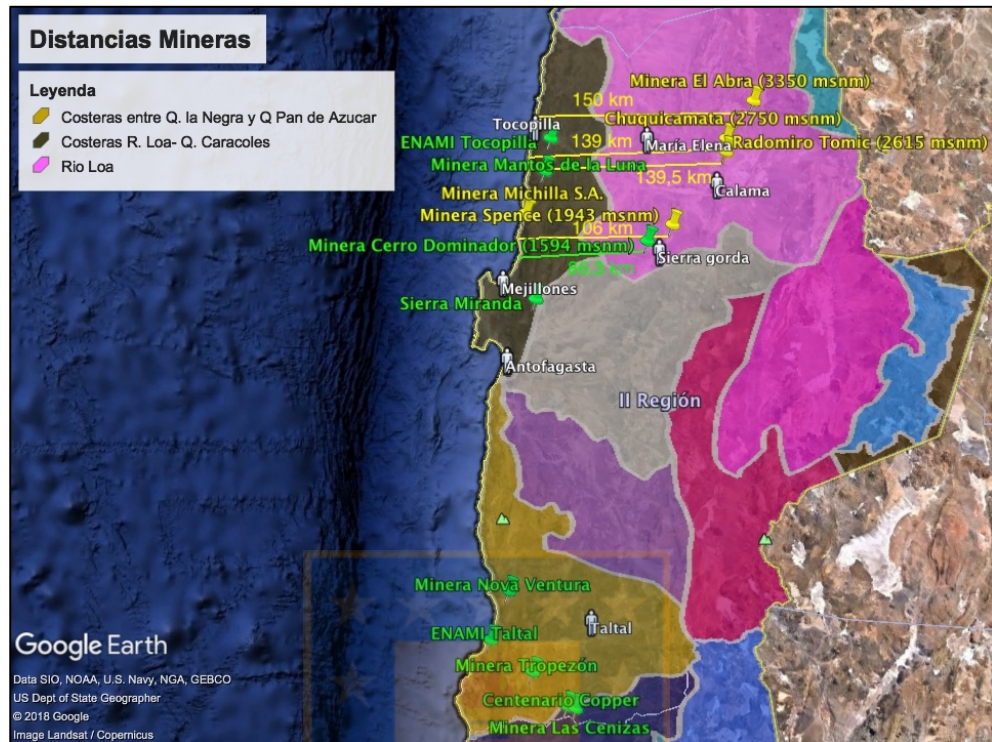


Ilustración 4.25: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa y cota de altura (Google Earth)

La ilustración 4.25 corresponde a la visualización de las distancias obtenidas entre las mineras y la costa, para poder identificar cuáles de ellas están más cercanas que las comunidades, y así no pueden continuar en estudio.

De la segunda región, **serán eliminadas de este estudio** las siguientes mineras; por ubicadas próximas a la costa, haciendo que el transporte de agua desalada mantenga un costo muy similar al ocuparla directamente en las faenas mineras, o al cedérselas a las comunidades.

- Minera Michilla: 12,03 km de la costa y 849 msnm.
- ENAMI Tocopilla: 13 km de la costa y 1350 msnm.
- Minera Mantos de Luna: 3 km de la costa y 1100 msnm.
- Minera Sierra Miranda: 27 km de la costa y 1100 msnm.
- Minera Nova Ventura: 14,3 km de la costa y 1650 msnm. (Taltal - 69 km y 2085 msnm)
- ENAMI Taltal: 4,7 km de la costa y 20 msnm. (Taltal - 69 km y 2085 msnm)
- Minera Tropezón: 42 km de la costa y 1300 msnm (Taltal - 69 km y 2085 msnm)

Las mineras **que continúan en estudio** corresponden a las siguientes:

- **Minera El Abra:** 150 km a la costa y a 3350 msnm.
- **Minera Chuquicamata:** 139 km a la costa y a 2750 msnm.
- **Minera Spence:** 106 km a la costa y a 1943 msnm.
- **Minera Cerro Dominador:** 86,3 km a la costa y a 1594 msnm.
- **Minera Radomiro Tomic:** 139,5 km y a 2615 msnm.

4.5.2.2 Segundo Filtro, Derechos y Extracción de Agua

4.5.2.2.1 Derechos de Agua de Faenas Mineras

La minera Cerro Dominador mantiene una extracción anual de 25.550 TMF, haciendo una comparación con la minera El Abra (para tener un aproximado de la extracción de agua) nos arroja un consumo de agua de 34,6 lt/s muy bajo la brecha de los 150 lt/s usados en esta investigación; es por esto que la minera Cerro Dominador, será sacada del estudio.

Minera el Abra tiene una extracción de 226 lt/s, Chuquicamata 1786 lt/s, la minera Spence de 204 lt/s, la minera Radomiro Tomic de 450,4 lt/s; todas superan los 150 lt/s base, por lo que continúan en estudio.

4.5.2.2.2 Demanda de Agua de las Comunas

La comunidad de María Elena tiene una demanda estimada de agua del 12 lt/s, Calama de 470 lt/s y Sierra Gorda de 26 lt/s, . Las 3 comunas en conjunto, consumen en total un 30.23% del agua consumida en toda la región.

4.5.2.3 Tercer Filtro, Plantas Desaladoras Existentes

Chuquicamata tiene su propia planta desaladora Coloso, la cual se encuentra en **operación**, además de una próxima ampliación; por lo que incluir esta minera en el estudio, estaría demás, ya que ya cuenta con su propio sistema para aprovechar agua marítima.

Spence tiene una planta desaladora que aún se encuentra en etapa de **calificación**, es por esto que sería una alternativa atractiva para usarla para un posible *Swapping*.

Radomiro Tomic cuenta con una planta desaladora de sulfuros en etapa de **calificación**, por lo que, también podría ser una alternativa para usarla en un intercambio.

En el caso de la Minera El Abra, no cuenta con ninguna planta desaladora existente al día de hoy, pero en esta región existen diversas plantas que podrían ser utilizadas para realizar algún intercambio de recursos hídricos. Como fue mencionado, que una minera no cuente con una planta desaladora, no es un factor fuerte para sacar a esta minera del estudio.

La ilustración 4.26 corresponde a la ubicación espacial de las plantas desaladoras y los principales ríos presentes en la región de Antofagasta.

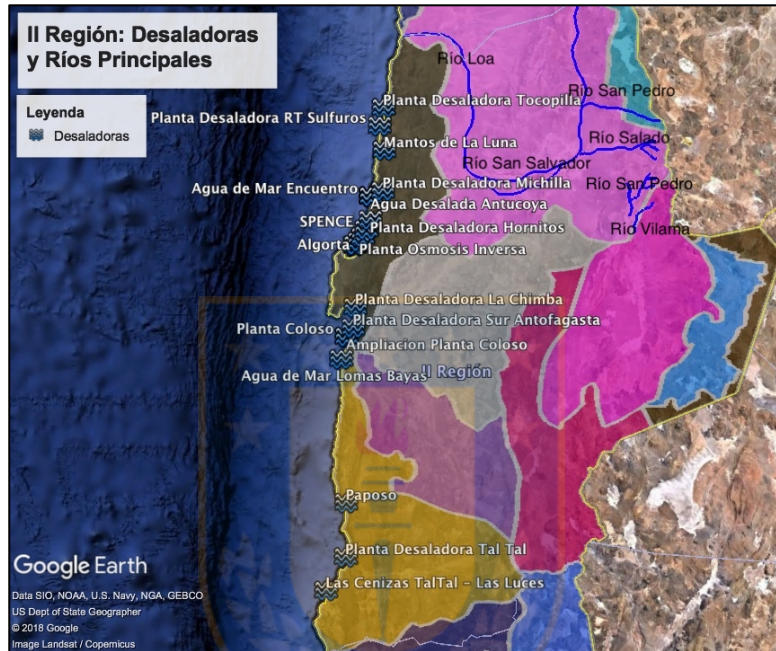


Ilustración 4.26: Desaladoras y ríos principales.
(Google Earth)

Posterior a los filtros aplicados en la segunda región de Antofagasta, las mineras que cumplen las condiciones de ser focos de *Swapping*, corresponden a:



Ilustración 4.27: Mineras focos de *Swapping* de la región de Antofagasta

4.5.3 Tercera Región de Atacama

La ilustración 4.28 y 4.29 corresponde a una visualización de los parámetros más importantes para esta investigación, correspondientes a las mineras A y B, comunidades y cuencas hidrográficas presentes en la tercera región de Atacama.

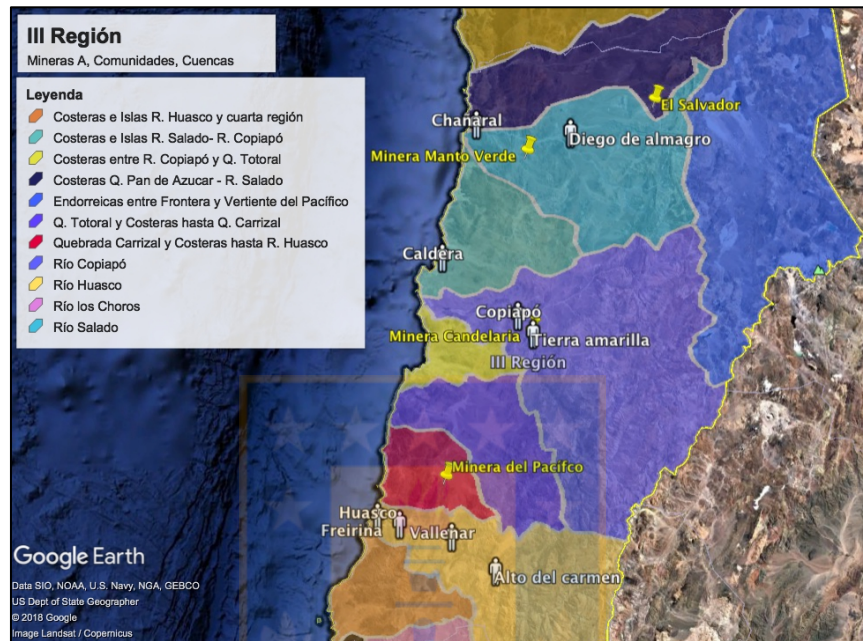


Ilustración 4.28: Mineras A, Comunidades y Cuencas de la III Región.
(Google Earth)



Ilustración 4.29: Mineras B, Comunidades y Cuencas de la III Región.
(Google Earth)

4.5.3.1 Primer Filtro, Localización Espacial

4.5.3.1.1 Localización Mineras – Comunidades, con respecto a Cuencas Hidrográficas³⁸

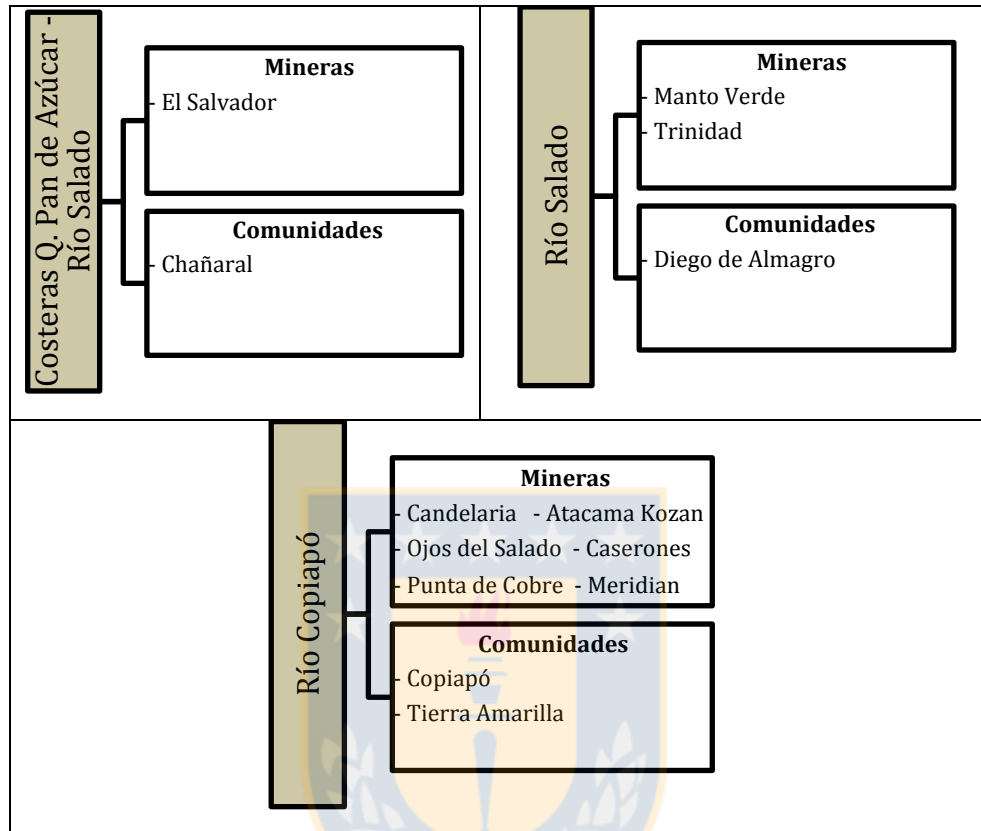


Ilustración 4.30: Cuencas hidrográficas que presentan focos de intercambio en la tercera región de Atacama (Google Earth)

El primer filtro de la Región de Atacama, arroja 3 posibles cuencas focos de Swap; cuenca Costeras Quebrada Pan de Azúcar – Río Salado, cuenca Río Salado y cuenca Río Copiapó.

Dentro de las mineras de categoría A; El Salvador, Manto Verde y Candelaria. De categoría B; Ojos del Salado, Caserones, Punta de Cobre, Atacama Kozan, Meridian y Trinidad. Las comunidades posibles corresponden a Chañaral, Diego de Almagro, Copiapó y Tierra Amarilla.

³⁸ Para observar las cuencas hidrográficas de la III región que no presentan focos de Swap, dirigirse al anexo 7.10.3

4.5.3.1.2 Proximidad Mineras a la Costa y Cota de Altura

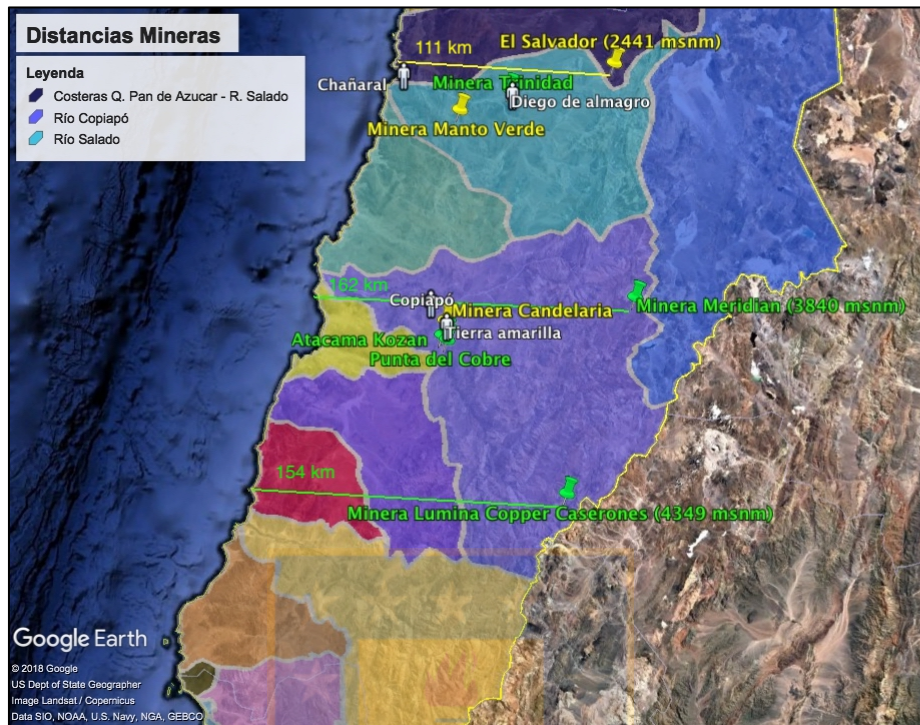


Ilustración 4.31: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa.
(Google Earth)

La ilustración 4.31 corresponde a la visualización de las distancias obtenidas entre las mineras y la costa, para poder identificar cuáles de ellas están más cercanas que las comunidades, y así no pueden continuar en estudio.

En la tercera región **serán eliminadas del estudio** las siguientes mineras; debido a que la proximidad que tienen a la costa, que es menor que las comunidades aledañas, y además un factor influyente es la altura, la cual en el caso de estas mineras, no supera los 1000 metros (cota a la cual están igualmente las comunidades) por lo que un acarreo de agua desalada desde la costa hasta las mineras, tendría un valor muy similar a entregar agua desalada a las comunidades.

- Minera Manto Verde: 37,3 km de la costa y 960 msnm.
- Minera Trinidad: 58,3 km de la costa y 982 msnm.
- Minera Ojos del Salado: 63,9 km de la costa y 915 msnm.
- Minera Punta de Cobre: 49,6 km de la costa y 400 msnm.
- Minera Atacama Kozan: 63,5 km de la costa y 464 msnm.
- Minera Candelaria: 59,9 km de la costa y 606 msnm.

Las mineras que **continúan en estudio** corresponden a :

- **Minera El Salvador:** 111 km de la costa y 2441 msnm.
- **Minera Meridian:** 162 km de la costa y 3840 msnm.
- **Minera Caserones:** 154 km de la costa y 4340 msnm.

4.5.3.2 Segundo Filtro, Derechos y Extracción de agua

4.5.3.2.1 Derechos de Agua de Faenas Mineras

La minera Meridian, tiene una extracción de agua informada de 8 lt/s, muy por debajo de la brecha de los 150 lt/s informados para esta investigación, es por esto, que será sacada del estudio.

La minera El Salvador tiene una extracción de 798 lt/s; hoy en día esta minera se encuentra en declive debido a que sus operaciones están dando número negativos en extracción, es por esto que será sacada del estudio producto que no es rentable.

Por otra parte, la minera Lumina Copper Caserones tiene una extracción de 279 lt/s aproximadamente; sobre el umbral de los 150, así que siguen en estudio.

4.5.3.2.2 Demanda de Agua de las Comunas

Las comunas que comparten cuenca hidrográfica junto a las minera Caserones, corresponden a Tierra Amarilla y Copiapó, las cuales tienen una demanda de agua de 48 lt/s y 480 lt/s respectivamente. En conjuntos estas regiones, consumen el 60,69% del consumo total de la región, aproximadamente.

4.5.3.3 Tercer Filtro, Plantas Desaladoras Existentes

La minera Caserones, única minera en pasar los filtros no presenta plantas desaladoras, pero en la región de Atacama existen varias plantas que podrían ser ocupadas para el *Swapping* con las comunas aledañas, como es el caso de la Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, que aún se encuentra en la etapa de **calificación**.

La ilustración 4.20 corresponde a la ubicación espacial de las plantas desaladoras y los principales ríos presentes en la región de Antofagasta.

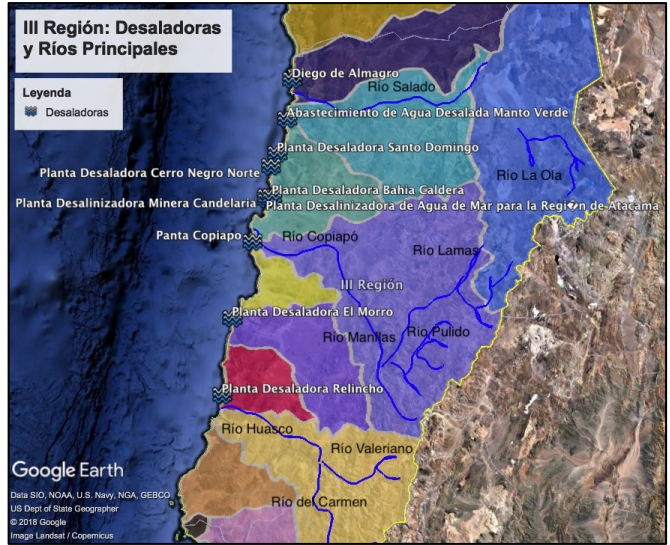


Ilustración 4.32: Desaladoras y ríos principales. (Google Earth)

Posterior a los filtros aplicados en los ítems anteriores, la minera pertenecientes a la tercera región de Atacama que será utilizadas en este estudio son:

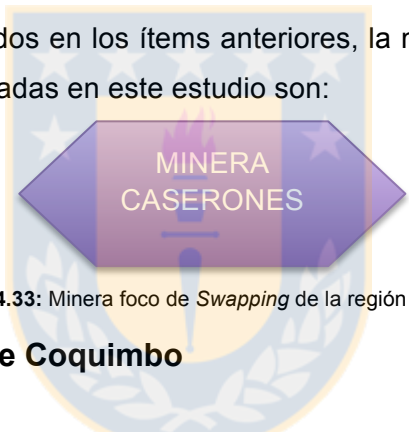


Ilustración 4.33: Minera foco de Swapping de la región de Atacama.

4.5.4 Cuarta Región de Coquimbo

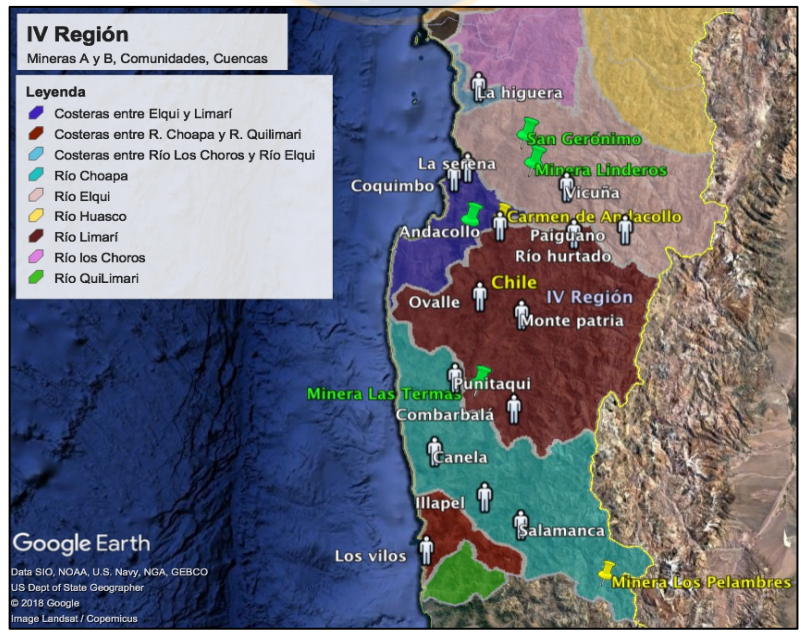


Ilustración 4.34: Minerías A (Lado derecho) y B (Lado izquierdo), Comunidades y Cuencas de la IV Región. (Google Earth)

4.5.4.1 Primer Filtro, Localización Espacial

4.5.4.1.1 Localización Mineras – Comunidades, con respecto a Cuencas Hidrográficas³⁹

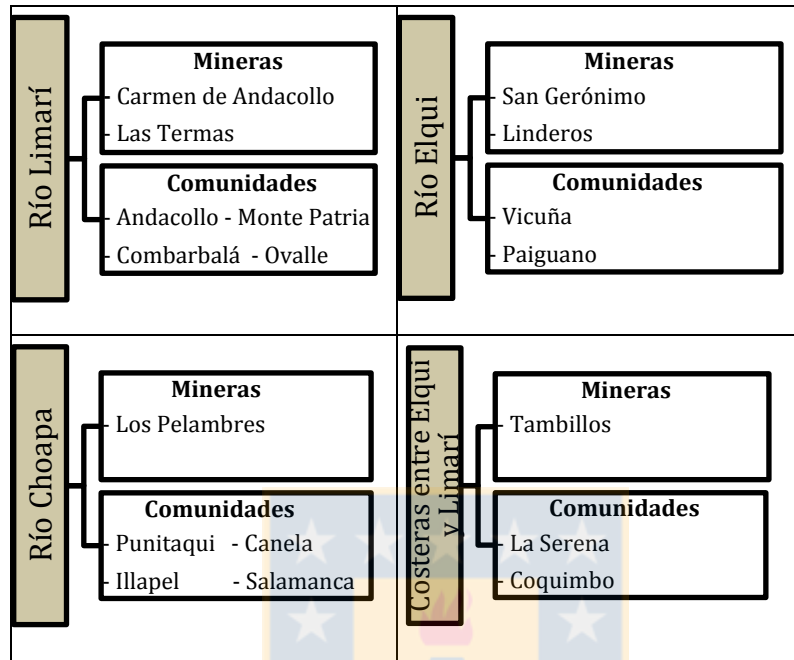


Ilustración 4.35: Cuencas hidrográficas que presentan focos de intercambio en la cuarta región de Coquimbo (Google Earth)

El primer filtro de la Región de Coquimbo, arroja un total de 4 cuencas hidrográficas posibles focos de *swap*; cuenca Río Limarí, cuenca del Río Elqui, cuenca del Río Choapa y cuenca Costeras entre Elqui y Limarí.

Dentro de las mineras de categoría A Carmen de Andacollo y los Pelambres. De categoría B, Las Termas, San Gerónimo, Linderos y Tambillos. De las posibles comunidades se encuentran Andacollo, Ovalle, Combarbalá, Monte Patria, Vicuña, Paiguano, Punitaqui, Canela, Illapel, Salamanca, La Serena y Coquimbo.

³⁹ Para observar las cuencas hidrográficas de la IV región que no presentan focos de *Swap*, dirigirse al anexo 7.10.4

4.5.4.1.2 Proximidad Mineras a la Costa y Cota de Altura

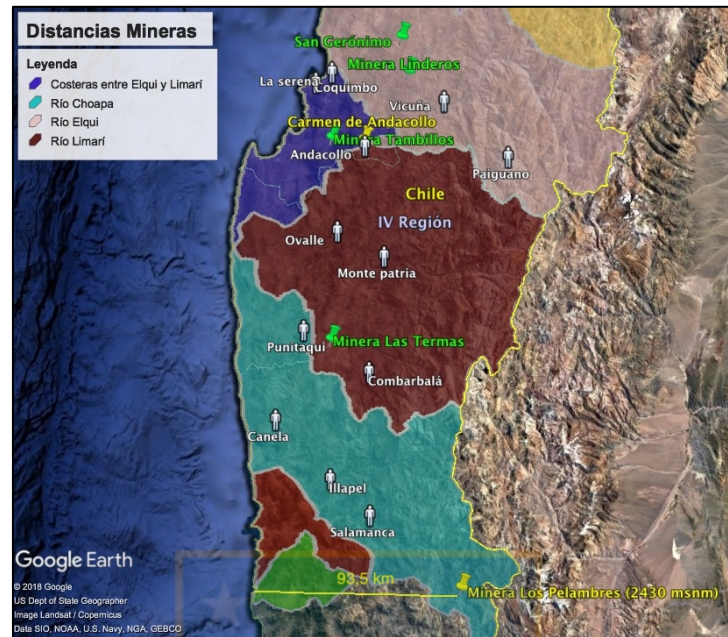


Ilustración 4.36: Primer filtro, proximidad de mineras a la costa. (Google Earth)

La ilustración 4.36 corresponde a la visualización de las distancias obtenidas entre las mineras y la costa, para poder identificar cuáles de ellas están más cercanas que las comunidades, y así no pueden continuar en estudio.

En la cuarta región **serán eliminadas del estudio** las siguientes mineras, producto de su cercanía con la costa, la cual es mayor a las comunidades con las que comparten cuenca, y además de mantener una cota de altura inferior a los 1000 metros, cota similar a la de las comunidades. Es por esto que utilizar agua desalada o intercambiarla, mantendría un coste similar.

- Minera San Gerónimo: 36,4 km de la costa y 787 msnm.
- Minera Linderos: 37,6 km de la costa y 875 msnm.
- Minera Carmen de Andacollo: 30,2 km de la costa y 1050 msnm.
- Minera Tambillos: 16,2 km de la costa y 221 msnm.
- Minera Las Termas: 39 km de la costa y 888 msnm.

La única minera que **continúa en estudio** corresponde a :

- **Minera Los Pelambres:** 93,5 km de la costa y 2430 msnm.

4.5.4.2 Segundo Filtro, Derechos y Extracción de Agua

4.5.4.2.1 Derechos de Agua de Faenas Mineras

La minera Los Pelambres tiene una extracción de agua informada de 381 lt/s, muy por encima de la brecha propuesta de los 150 lt/s, es por esto, que continúa en el estudio.

4.5.4.2.2 Demanda de Agua de las Comunas

Las comunas de Canela, Illapel y Salamanca, comparten cuenca hidrográfica junto la minera los Pelambres, estas mantienen una demanda aproximada de 23 lt/s, 94 lt/s y 64 lt/s respectivamente. En conjunto, las comunas demandan un 9,6% del consumo total de la región, correspondiente a 1890 lt/s.

4.5.4.3 Tercer Filtro, Plantas Desaladoras Existentes

La minera Los Pelambres, no presenta una planta desaladora propia, pero la región si cuenta con variadas plantas desaladoras ocupadas principalmente para agua potable; es por esto que la realización de *Swap* podría verse favorecida con que la minera se atribuyera los derechos de la planta y así el agua pase a las comunas correspondientes; esto debido a que la mayoría de las plantas se encuentran construidas, pero en estado de **suspendidas**.

La ilustración 4.37 corresponde a la ubicación espacial de las plantas desaladoras y los principales ríos presentes en la región de Antofagasta.



Ilustración 4.37: Desaladoras y ríos principales.
(Google Earth)

Luego de los filtros aplicados a la cuarta región de Coquimbo, la única minera que cumple las condiciones de ser foco de *Swapping* corresponde a:



Ilustración 4.38: Minera foco de *Swapping* de la región de Coquimbo.

4.6 ESTUDIO ECONÓMICO

Aplicados los filtros en la sección anterior, se procede a realizar el estudio económico para cada una de las mineras que fueron elegidas como focos de intercambio. Se estudiará cada una de las mineras por separado, realizando el estudio económico en cada foco en el que puede ser posible un Swap de recursos hídricos.

Los costos son obtenidos según los siguientes parámetros:

- Proceso de Desalación: Osmosis Inversa
- Costo de energía: 60 USD/mWh

La Tabla 4.14 muestra los distintos costos asociados a distintas alturas de los escenarios a estudiar, los valores de alturas intermedias, serán obtenidos mediante interpolación.

Tabla 4.6: Costos asociados a distintas alturas.
(Concha & Vergara, 2016)

Altura	Inversión Unitaria del proceso (CAPEX) [USD/m ³]	OPEX Total del Proceso [USD/m ³]	Inversión Unitario Piping (CAPEX) [USD/m ³]	OPEX Total Piping [USD/m ³]	TOTAL [USD/m ³]
100	0,75	0,41	0,62	0,15	1,93
500	0,75	0,41	0,85	0,24	2,25
1000	0,76	0,41	1,09	0,34	2,61
1500	0,76	0,41	1,30	0,45	2,93
2000	0,77	0,41	1,49	0,56	3,23
2500	0,77	0,41	1,66	0,67	3,52
3000	0,77	0,41	1,83	0,78	3,79
3500	0,77	0,41	1,98	0,88	4,05
4000	0,77	0,41	2,13	0,99	4,31

4.6.1 Primera Región de Tarapacá

4.6.1.1 Minera Doña Inés de Collahuasi

La minera Doña Inés de Collahuasi cuenta con una planta desaladora en estado “suspendida” que será utilizada como lugar de origen de reparto del recurso hídrico.

Al estudiar económicamente el costo normal que conlleva trasladar el agua desalada, desde la planta desaladora Collahuasi a la minera, se identifica un costo total de **4,4 USD/m³**. Si en vez de trasladar agua desde la planta a la mina, se eligen distintos escenarios, los costos obtenidos son los siguientes:

- **Desde planta desaladora Collahuasi a Pozo Amonte:** se encuentran a una distancia de 70 km, y Pozo Almonte está a una altura de 1200 msnm. El costo asociado al trasladar el agua desalada a la comunidad es de 2,57 USD/m³.
 - ✓ Diferencia de **1,83 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de un 41,59%.
- **Desde planta desaladora Collahuasi a Pica:** se encuentran a una distancia de 100 km, Pica está ubicada a una altura de 1250 msnm. El costo asociado al traslado del agua es de 2,66 USD/m³.
 - ✓ Diferencia de **1,74 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de 39,55%.
- **Desde planta desaladora Collahuasi a Punto Intermedio:** este punto está estratégicamente ubicado sobre la Quebrada de Tarapacá, de esta forma la planta desaladora repartiría al río, el agua ocupada en sus operaciones. En este punto el río se encuentra a una altura de 1150 msnm, y el costo de repartir agua desalada es de 2,53 USD/m³.
 - ✓ Diferencia de **1,87 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de 42,5%.

Se observa que de los escenarios planteados, el que mas disminuye el costo de traslado, corresponde a la ubicación de un **punto intermedio** en la Quebrada de Tarapacá.

La ilustración 4.39 corresponde a la visualización de los parámetros utilizados en el estudio económico explicado anteriormente para la minera Doña Inés de Collahuasi.

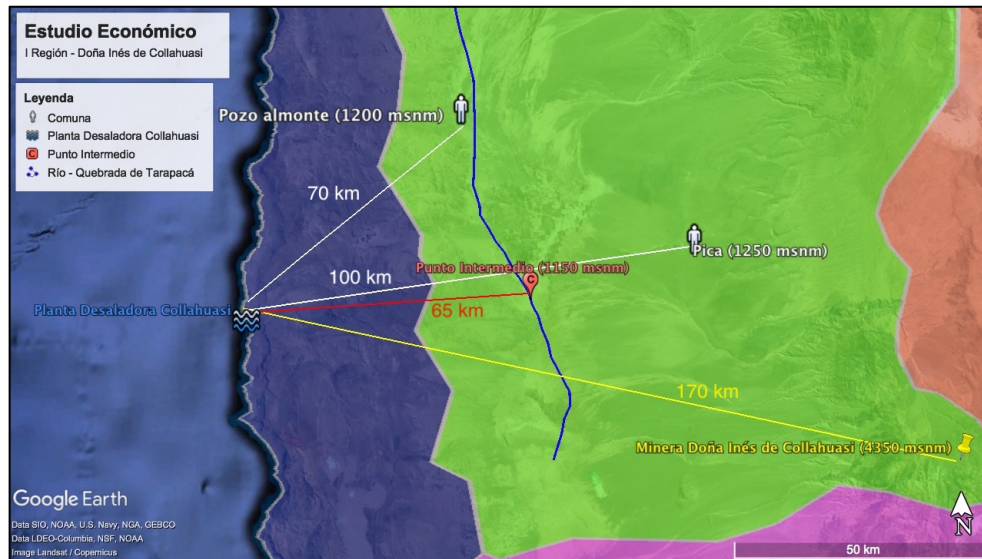


Ilustración 4.39: Estudio económico minera Doña Inés de Collahuasi (Google Earth)

4.6.2 Segunda Región de Antofagasta

4.6.2.1 Minera El Abra

La minera El Abra no cuenta con ninguna planta desaladora a diferencia de Collahuasi; para efectos prácticos se utilizó como punto de referencia para la ubicación de una planta desaladora, la ya existente planta Tocopilla. La planta entregaría agua desalada al único escenario posible, que sería la comuna de María Elena.

El costo normal asociado a transportar agua desalada desde la costa hasta la minera, ubicada a una distancia de 150 km y a 3350 msnm, sería de **4,00 USD/m³**. Al estudiar otro escenario el costo varía de la siguiente manera:

- **Desde planta desaladora Tocopilla a María Elena:** se encuentran a una distancia de 90 km y la comuna a una altura de 1400 msnm. El costo asociado al traslado del agua a María Elena, es de 3,05 USD/m³.
 ✓ Diferencia de **0,95 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de 23,75%.

El estudio de este escenario, arroja un a disminución del costo en 0,95 USD/m³. Otro escenario que podría haber sido estudiado, sería entregar agua al río, pero este se encuentra a poca distancia de la comuna de María Elena, y los costos reducidos serían muy similares.

La ilustración 4.40 corresponde a la visualización de los parámetros utilizados en el estudio económico explicado anteriormente para la minera El Abra.

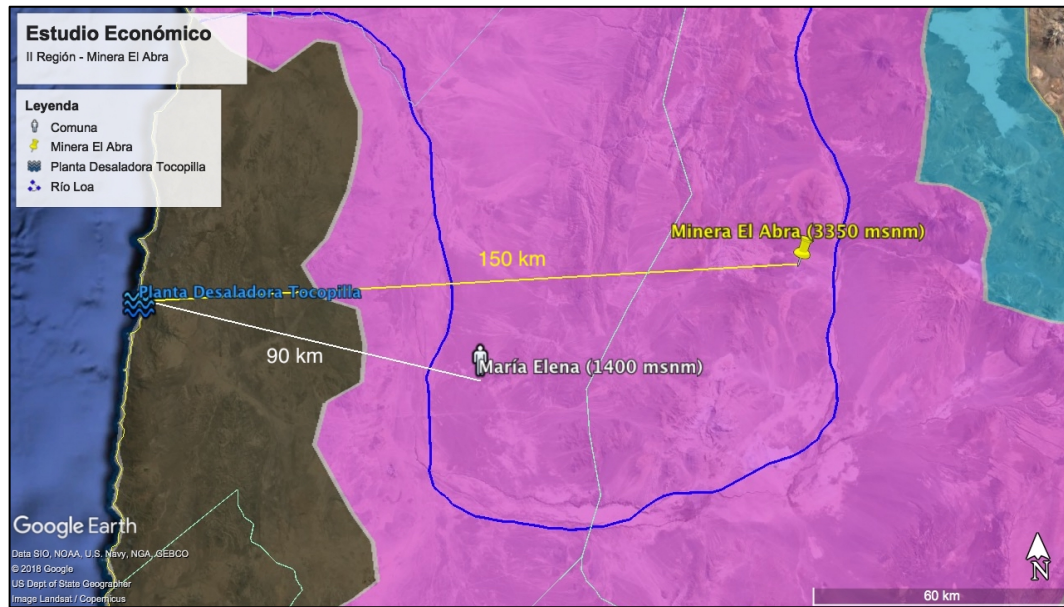


Ilustración 4.40: Estudio económico minera El Abra (Google Earth)

4.6.2.2 Minera Spence

Como fue mencionado, la minera Spence cuenta con una planta desaladora que aún está en etapa de **Factibilidad**; este punto será elegido como el origen de la repartición de agua. Spence no cuenta con comunidades ubicadas en la misma cuenca hidrográfica que se encuentren una distancia, o altura significativamente menor (sierra gorda está ubicada a 101 km de la costa y a 1680 msnm) a los 106km y 1943 msnm en los que se encuentra esta minera. Otro escenario tuvo que ser estudiado; el cual corresponde a la entrega de agua desalada a la comunidad de mejillones, que se encuentra a escasos kilómetros de la ubicación de la planta desaladora Spence.

El costo normal de transporte de agua desalada desde la costa a la minera Spence es de **3,09 USD/m³**.

- **Desde planta desaladora Spence a Mejillones:** a una distancia de 14 km y la comuna se ubica a 65 msnm. El costo de repartir agua desalada es de 1,35 USD/m³.
✓ Diferencia de **1,74 USD/ m³**. Lo que equivale a un ahorro de 56,3%.

La ilustración 4.41 corresponde a la visualización de los parámetros utilizados en el estudio económico explicado anteriormente para la minera Spence.

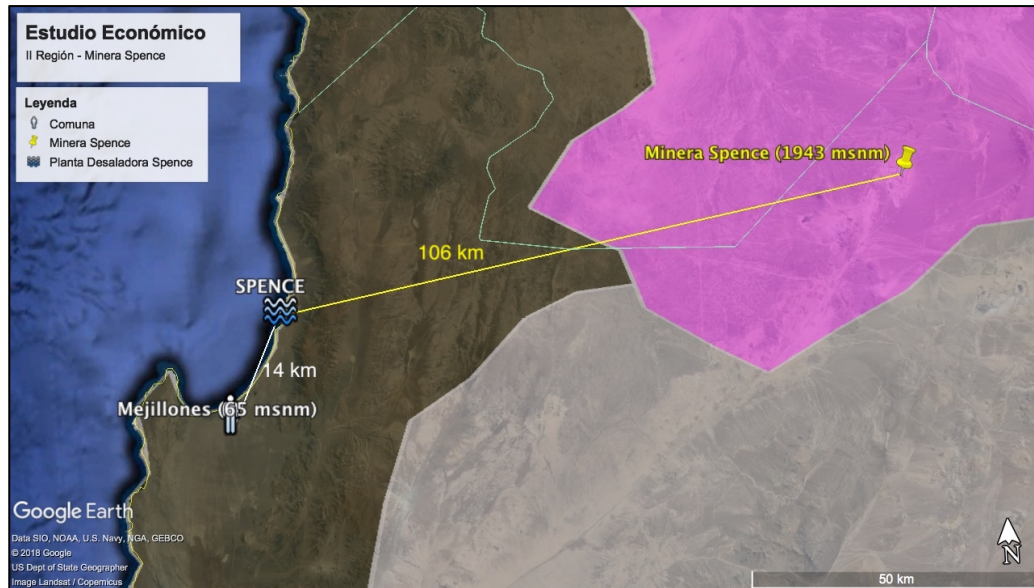


Ilustración 4.41: Estudio económico minera Spence.
(Google Earth)

4.6.2.3 Minera Radomiro Tomic

La minera Radomiro Tomic cuenta con una planta desaladora de sulfuros aún en etapa de **Calificación**, por lo que este punto será elegido como el punto inicial de repartición de agua. Radomiro cuenta con Calama en la misma cuenca hidrográfica, pero la comuna esta ubicada a 137,5 km de la costa y a 2360 msnm, lo cual es muy similar a la distancia y altura de la mina; por lo que realizar un estudio en ese punto, arrojaría resultados con poca variación. El escenario que puede ser posible, es la entrega de agua a la comuna de María Elena.

El costo de transporte normal de agua desalada desde la planta a la minera Radomiro Tomic es de **3,68 USD/m³**.

- **Desde planta desaladora RT Sulfuros a María Elena:** a una distancia de 83,4 km y María Elena ubicada a 1400 msnm. E costo de repartir agua desalada es de 2,73 USD/m³.
 - ✓ Diferencia de **0,95 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de 25,8%.

La ilustración 4.42 corresponde a la visualización de los parámetros utilizados en el estudio económico explicado anteriormente para la minera Radomiro Tomic.

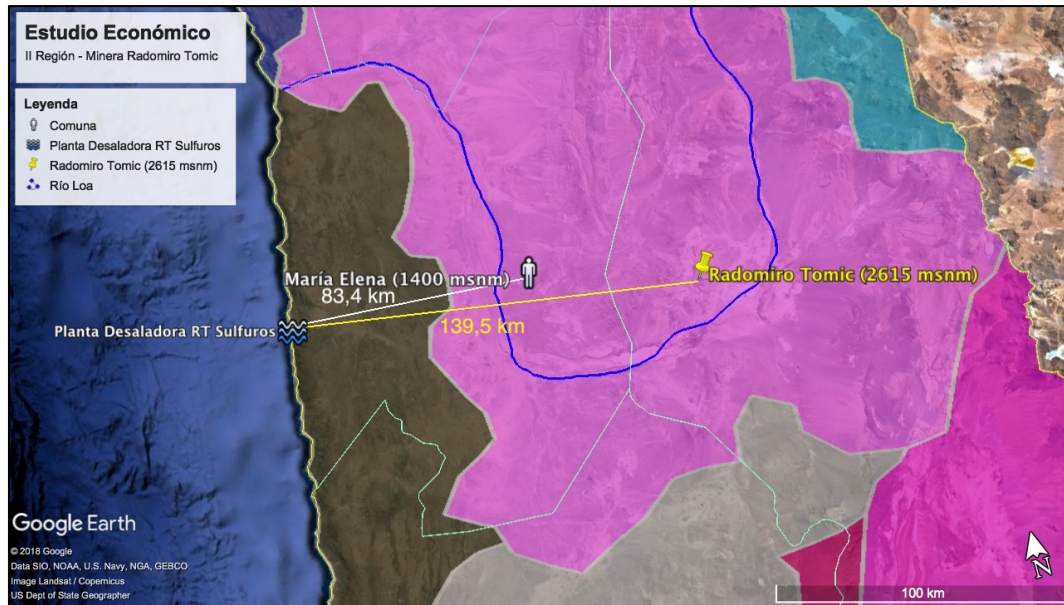


Ilustración 4.42: Estudio económico minera Radomiro Tomic.
(Google Earth)

4.6.3 Tercera Región de Atacama

4.6.3.1 Minera Caserones

La minera Caserones no cuenta con ninguna planta desaladora propia, sin embargo en la tercera región existen varias plantas desalinizadoras que abastecen a comunas como Copiapó (como es el caso de la planta Copiapó), sin embargo esta comuna abarca el 55,7% de la población total de la región, por lo ubicar otra planta a disposición para la comuna, sería un buen tipo de escenario. Otro escenario a estudiar, es la creación de una planta desaladora en una ubicación estratégica que abastezca a la comuna de Tierra Amarilla ubicada en la misma cuenca hidrográfica que Caserones.

El costo de transporte normal de agua desalada desde la costa a la minera caserones, ubicada a 154 km de la costa y a 4340 msnm, es de **4,18 USD/m³**.

- **Desde planta desaladora Bahía Caldera a Copiapó:** a una distancia de 80 km y Copiapó ubicada a 650 msnm. El costo de repartir agua desalada es de 2,34 USD/m³
 - ✓ Diferencia de **1,84 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de 44,09%.
- **Desde “Desaladora para Caserones” a Tierra Amarilla:** a una distancia de 70 km y Tierra Amarilla ubicada a 1000 msnm. El costo de repartir agua desalada es de 2,54 USD/m³
 - ✓ Diferencia de **1,64 USD/m³**. Lo que equivale a un ahorro de 39,23%.

El estudio en la cuarta región, minera Los Pelambres, arroja dos posibles escenarios y de ellos el que tiene el menor costo de transporte de agua desalada corresponde al traslado del recurso hídrico, desde la planta desaladora Bahía Caldera a Copiapó.

La ilustración 4.43 corresponde a la visualización de los parámetros utilizados en el estudio económico explicado anteriormente para la minera Caserones.

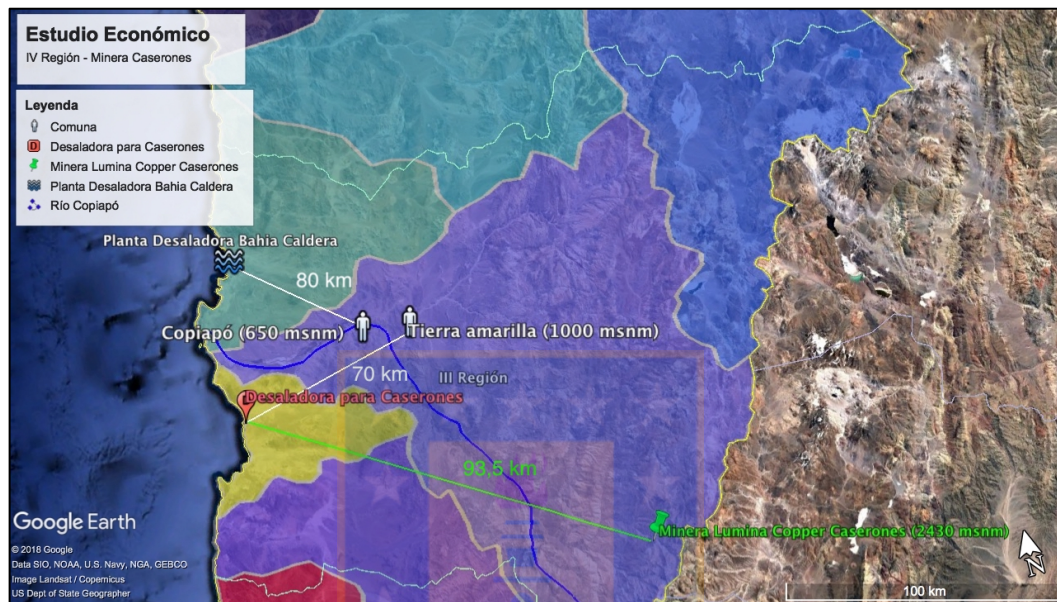


Ilustración 4.43: Estudio económico minera Caserones (Google Earth)

4.6.4 Cuarta Región de Coquimbo

4.6.4.1 Minera Los Pelambres

La minera Los Pelambres, no cuenta con ninguna planta desaladora propia, pero en la cuarta región existen diversas plantas que abastecen de agua desalada a las comunidades, como es el caso de la planta Choapa, la cual será elegida como punto estratégico para la repartición de los recursos Hídricos. Los posibles escenarios elegidos para esta minera son entregar agua a la comunidad de Illapel o Salamanca que están ubicadas en la misma cuenca hidrográfica. Otro escenario es la entrega de agua hacia la comuna de Los Vilos que está ubicada a poco kilómetros de la planta ocupada en este estudio.

El costo normal para el transporte de agua desalada desde la planta a la minera Los Pelambres es de **3,10 USD/m³**.

- **Desde planta Choapa a Illapel:** a una distancia de 40 km, e Illapel ubicada a 330 msnm. El costo de repartir agua desalada es de 2,23 USD/m³
 - ✓ Diferencia de 0,87 USD/m³. Lo que equivale a un ahorro de 28,06%
- **Desde planta Choapa a Salamanca:** a una distancia de 53 km, Salamanca ubicada a 833 msnm. El costo de repartir agua desalada es de 2,54 USD/m³
 - ✓ Diferencia de 0,54 USD/m³. Lo que equivale a un ahorro de 17,42%.
- **Desde Planta Choapa a Los Vilos:** a una distancia de 8,5 km y Los Vilos ubicada a 6 msnm. El costo corresponde a 1,81 USD/m³
 - ✓ Diferencia de 1,29 USD/m³. Lo que equivale a un ahorro de 41,6%.

De los escenarios anteriormente estudiados, se observa claramente que el que tiene un menor costo, corresponde al traslado de agua desde la planta desaladora Choapa a la comuna Los Vilos con un ahorro de 1,29 USD/m³.

La ilustración 4.44 corresponde a la visualización de los parámetros utilizados en el estudio económico explicado anteriormente para la minera Caserones.

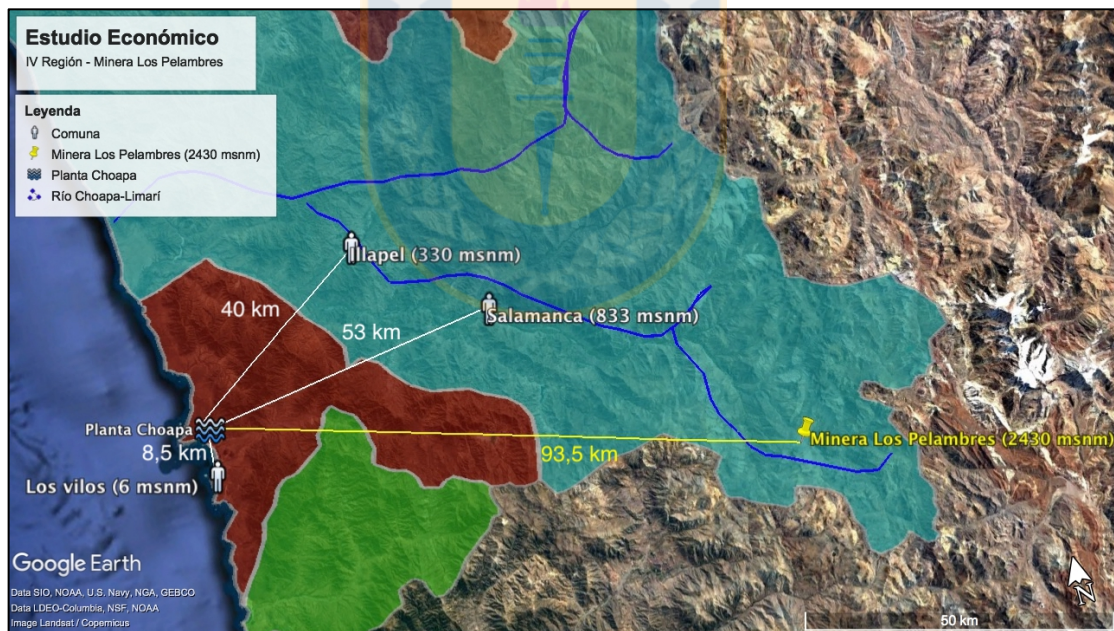


Ilustración 4.44: Estudio económico minera Los Pelambres.
(Google Earth)

A continuación se muestra una tabla resumen de los escenarios estudiados económicamente, nombrando la minera en la cual se realizará el *Swap*, y los posibles focos de intercambio existentes para esta. El ahorro generado por el *Swapping* es mostrado en USD/m³ y también en porcentaje para más fácil entendimiento.

El escenario que tiene el mayor ahorro, será demarcado con el mismo color de la minera en la cual se produce el intercambio. Existen mineras que solo cuentan con un escenario posible.

Tabla 4.7: Resumen Económico de los escenarios estudiados

Región	Minera	Foco de Intercambio	Ahorro en USD/m ³	Ahorro en %
Tarapacá	Doña Inés de Collahuasi	Pozo Almonte	1,83	41,59
		Pica	1,74	39,55
		Punto Intermedio	1,87	42,50
Antofagasta	El Abra	María Elena	0,95	23,75
	Spence	Mejillones	1,74	56,30
	Radomiro Tomic	María Elena	0,95	25,80
Atacama	Caserones	Copiapó	1,84	44,09
		Tierra Amarilla	1,64	39,23
Coquimbo	Los Pelambres	Illapel	0,87	28,06
		Salamanca	0,54	17,42
		Los Vilos	1,29	41,60

5 CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

La disponibilidad de agua es un elemento estratégico clave para la sustentabilidad de la actividad minera en Chile. Asimismo, la escasez del recurso es fuente permanente de conflictos no sólo entre sectores productivos competidores por su uso (minería vs agricultura) sino que también respecto a su disponibilidad para consumo humano. Las proyecciones de demanda crecientes de agua imponen aún mayor presión a un sistema que ya se encuentra muy estresado. Se debe señalar que la escasez del recurso hídrico hoy enfrenta a distintos actores que necesariamente deben buscar caminos de solución. Lo realizado en esta investigación es uno de estos caminos.

Posterior al término de la investigación, se puede concluir de manera clara que en todos los escenarios propuestos y estudiados, hubo una disminución de los costos, en relación al escenario general que era el transporte de agua desalada desde plantas desaladoras ubicadas en la costa hacia las mineras ubicadas a una cierta altura y distancia del mar. Se dieron ciertos escenarios donde los costos disminuían considerablemente, y otros donde la disminución no era tan significativa. A continuación se analizan los escenarios pertinentes a cada una de las mineras.

- **Minera Doña Inés de Collahuasi:** luego de los filtros aplicados se llegó a la conclusión de que tres escenarios podían ser estudiados para esta minera. Dos comunas ubicadas en la misma cuenca hidrográfica; Pozo Almonte y Pica, y un punto intermedio ubicado estratégicamente en el lugar de la Quebrada de Tarapacá. Los tres escenarios incurrieron en una disminución de costos muy similares, todos mayores a un ahorro de 1,5 USD/m³, pero el que tenía un mayor ahorro corresponde al punto intermedio, esto debido a que la altura en donde está ubicado, es menor que Pica y Pozo Almonte.
- **Minera El Abra:** Para esta minera, un solo escenario era posible, realizar un intercambio con la comunidad de María Elena, la cual se encuentra ubicada a una altura de 1400 msnm, y el ahorro asociado a esta altura es menor a 1 USD/m³.
- **Minera Spence:** Esta minera al no contar con comunidades que se ubicaran a menor altura que ella misma, se consideró otro tipo de escenario, el cual fue repartir agua desalada a la comunidad de Mejillones. El ahorro fue muy significativo, cercano a los 2 USD/m³, y esto debido principalmente a la altura de Mejillones 65 msnm.
- **Minera Radomiro Tomic:** Al igual que el caso anterior, un solo escenario fue posible para esta minera, un intercambio de recursos con la comunidad de María Elena. El ahorro fue menor de 1 USD/m³, y esto debido principalmente a que la diferencia de altura entre la comuna y la minera no era tan significativa.

- **Minera Caserones:** Dos escenarios fueron posibles para esta minera, la utilización de una planta desaladora existente y un *Swap* con la comunidad de Copiapó, o bien la creación de una desaladora en un punto estratégico y un *Swap* con la comunidad de tierra amarilla. Ambos escenarios tenían un ahorro significativo cercano a los 2 USD/m³. Pero Copiapó ubicado a una altura menor se lleva el primer lugar.
- **Minera Los Pelambres:** Para esta minera, hubieron tres escenarios posibles, de los cuales la realización de un *Swap* con las comunas de Illapel y Salamanca reducía los costos en menos de 1 USD/m³. El escenario que mas ahorro tenía corresponde a Los Vilos, esto debido a que se encuentra a escasa distancia de la costa, y a muy pocos metros sobre el nivel del mar.

Sin duda alguna, el principal factor que influye en una disminución consistente de costos, corresponde a la altura (metros sobre el nivel del mar) en la cual se encuentren ubicados los escenarios. En todos los casos posibles la mayor reducción de costos, se daba cuando la altura era menor que el de la minera estudiada. Este factor influye incluso mucho mas que a la distancia donde esté ubicados los escenarios, debido a que el principal costo a incurrir en el transporte, corresponde a la energía gastada al transportar el agua desde una cota menor a una mayor (costo de bombeo).

Al finalizar la investigación se concluye de igual forma, que existen distintos escenarios con los cuales se puede llevar a cabo el *Swapping*, el mas común y que fue estudiado acá fue el del intercambio con las comunidades, pero como es el caso de la minera Collahuasi, un escenario posible fue otorgar agua previamente desalada al río que abastece a la minera en la zona cordillerana. Es así como se puede preveer otros tipos de escenarios posibles, pero que no fueron alcances de esta investigación, como puede ser el caso de repartición de agua desalada a puntos donde se concentren grandes plantaciones agrícolas, o el caso de los ríos.

Otro punto que puede surgir a estudiar después de esta investigación corresponde a la respuesta que tendrán las comunidades al *Swapping*, quizás su respuesta no sea favorable al utilizar esta agua como consumo, pero pueden existir otras alternativas para suplir sus necesidades, como es el uso para alcantarrillado, baños o uso de jardinería.

6 REFERENCIAS

- [1] SANTIBÁÑEZ (SF) *Reflexiones y desafíos al 2030. Perspectiva de especialistas externos*. El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. Recuperado de <http://www.odepa.gob.cl/>
- [2] MONTENEGRO, S. (Enero – Junio 2017) *¿Es necesario legislar sobre el uso del agua de mar y su desalinización? El marco jurídico actual de las aguas desaladas y el análisis de los proyectos de ley en curso?* Revista de Derecho Ambiental • Año V N° 7 • pp. 60-93.
- [3] VERGARA, M. y CONCHA, F.(S.F) *¿Es posible reducir el costo del agua para la industria minera chilena? Informe CRHIAM, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería*. Concepción, Chile.
- [4] ORELLANA, G., TORRES, N. y ORTEGA, A. (2009, 20 de noviembre). Desde \$0,5 costará un litro de agua de mar convertida para consumo humano. *Economía y Negocios*. Recuperado de <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/>
- [5] Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2015). *Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015*.
- [6] MMA. 2011. *Informe del estado del medio ambiente 2011*. Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile.
- [7] Gonzalez, M. 2012. *Desalación para suministro de agua potable en el norte de Chile: Caso de Aguas de Antofagasta S.A.* II Seminario Internacional de Desalación en Antofagasta.
- [8] MOP. 2007a. *Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras zona I norte: regiones I a IV*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación/ Ayala, Cabrera y Asociados Ingenieros Consultores.
- [8] MOP. 2007b. *Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras zona II: regiones V a XII y Región Metropolitana*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación/ Ayala, Cabrera y Asociados Ingenieros Consultores.
- [9] MEFT. 2012. *Piscicultura, Informe final, Octubre de 2012*. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Servicio Nacional de Pesca, Gobierno de Chile.
- [10] BANCO MUNDIAL, 2011. Chile cuida su agua. Estrategia nacional de recursos hídricos 2012 – 2025. *Ministerio de obras públicas dirección general de OOPP*. Banco Mundial, Chile.

- [11] BANCO MUNDIAL, 2010. Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. *Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Banco Mundial, Chile.
- [12] UNDURRAGA, A. y GALILEA, S. (2016). Chile: País de contrastes. *Atlas del agua, 2016*. República de Chile, Santiago.
- [13] COCHILCO, 2007. Diagnóstico para mesa público-privada Nacional. *Gestión del Recursos Hídricos y la Minería en Chile*.
- [14] COCHILCO, 2016. Consumo de agua en la minería del cobre al 2016. *Dirección de Estudios y Políticas Públicas, Ministerio de Minería*. Registro propiedad intelectual n° 279.236.
- [15] CONSEJO MINERO, 2016. Extracciones de agua de empresas asociadas al consejo minero. Santiago, Chile.
- [16] COCHILCO, 2017. Encuesta de participación de empresas proveedoras en las operaciones y proyectos mineros (Gasto 2016). *Ministerio de Minería*. Registro propiedad intelectual n° 286266.
- [17] CÁMARA DE DIPUTADOS, 2017. Costo económico del uso de agua desalada en la minería chilena. *Biblioteca del congreso nacional de Chile/ BCN*. Santiago, Chile.
- [18] MINDES. 2012. *Casen 2011, Encuesta de caracterización socioeconómica nacional*. Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile.
- [19] CNR. 1999. *Estudio de seguimiento evaluación de los resultados de la ley 18 450, en el período de 1986 a 1996*. Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura de Chile. Santiago de Chile. 226 p.
- [20] INE, 2017. Estadísticas demográficas y vitales. *Instituto Nacional de Estadísticas*. Santiago, Chile.
- [21] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL/ BCN, (S.F). Sistema integrado de información territorial. Recuperado de <https://www.bcn.cl/siit>
- [22] INE, 2002. Comisión nacional del XVII censo de población y VI de vivienda. Santiago de Chile, Marzo de 2003.
- [23] DESALINIZACIÓN (S.F) En Wikipedia. Recuperado el 1 sep 2018 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Desalinizaci%C3%B3n>
- [24] OSMOSIS INVERSA. (S.F). En Wikipedia. Recuperado el 27 ago 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis_inversa

- [25] GRUPO EDITORIAL EDITEC, 2015/16. Operaciones con plantas desalinizadoras y/o SIAM. *Catastro de plantas desalinizadoras y sistemas de impulsión de agua de mar*. Minería Chilena.
- [26] COCHILCO, 2007. Modalidad de Swaps, Diagnóstico para mesa público-privada Nacional. *Gestión del Recursos Hídricos y la Minería en Chile*.
- [27] COCHILCO, 2007. Otras Alternativas diferentes a Swaps, Diagnóstico para mesa público-privada Nacional. *Gestión del Recursos Hídricos y la Minería en Chile*.
- [28] DGA, 2015. Derechos de agua , Gestión del Agua. *Atlas del agua, Capítulo 4*.
- [29] DGA, 2017. Ubicación Plantas desaladoras en territorio chileno. *Minería abierta, ministerio de minería*. Santiago, Chile.
- [30] Instituto Geográfico Militar, INE, Congreso Nacional, Censo Población y Vivienda, 2002. División política administrativa. *Educar Chile*.
- [31] BIBLIOTECA DE CONGRESO NACIONAL. (S.F). Información Territorial.



7 ANEXOS

7.1 EXTRACCIÓN DE AGUA POR SECTOR

A continuación se presentan en tablas explicativas, la extracción total de agua en el país (Tabla 2.3) [8] y la extracción de agua sectorial (Tabla 2.4) [8].

Tabla 7.1: Extracción de agua en el país.
(AQUASTAT, 2006)

Extracción de Agua	Año	Cantidad	Unidad
Por sector			
• Agrícola	2006	29,41	Km ³
• Municipal	2006	1,267	Km ³
• Industrial	2006	4,744	Km ³
• Total	2006	35,43	Km ³
• Extracción total de agua per cápita	2006	2,152	m ³
Por fuente			
• Agua superficial	2006	32,59	Km ³
• Agua subterránea	2003	2,772	Km ³
• Extracción total de agua dulce	2006	35,36	Km ³
• Agua desalinizada producida	2012	0,0645	Km ³
• Uso directo de agua residual municipal tratada	2009	0	Km ³
• Uso directo de agua de drenaje agrícola	2009	-	Km ³
Presión sobre recursos hídricos			
• Extracción total de agua dulce como % de los RHRT ⁴⁰	2006	3,831	%
• Extracción de agua por la agricultura como % de los RHRT	2006	3,187	%

Tabla 7.2: Extracción de agua por Sector.
(AQUASTAT, 2006)

Sector	Sub – Sector	Extracciones (millones m ³ /año)	Porcentaje del Total (%)
Agrícola (83%)	Riego de Cultivos	16.522	46,6
	Acuicultura	12.673	35,8
	Riego de plantaciones forestales	123	0,3
	Ganadería	101	0,3
Industrial (13,4%)	Industrial (excl.. minería y enfriamiento)	2.646	7,5
	Minería	1.981	5,6
	Enfriamiento de plantas Termoeléctricas	117	0,3
Municipal (3,6%)	-	35.430	3,6
Total	-	35.430	100

⁴⁰ RHRT: Recursos hídricos renovables totales.

7.2 OFERTA VS DEMANDA DE AGUA EN EL PAÍS

El siguiente gráfico hace referencia a la demanda estimada de agua que se tiene en todas las regiones del país en metros cúbicos, y además de la oferta de agua existente. Se observa claramente que en las cuatro primeras regiones la demanda supera la oferta, y a partir de la región metropolitana, la oferta supera la demanda.

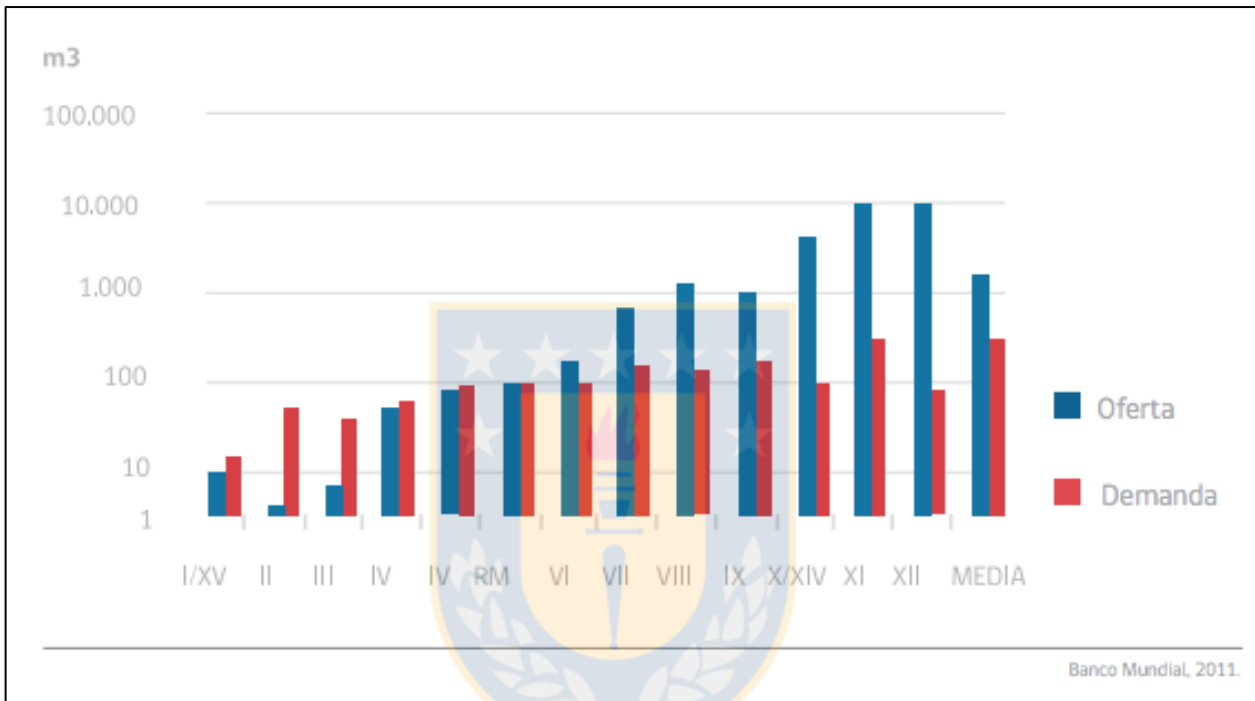


Ilustración 7.1: Demanda versus Oferta de agua en Chile
(Banco mundial, 2011)

7.3 PROTECCIÓN Y RESTRICCIÓN AL USO DE AGUA

Las principales operaciones mineras en Chile se encuentran en la zona norte del país, donde el panorama es en su mayoría desértico y, por tanto, escaso de agua, a lo que se le suma el rápido crecimiento de la población urbana en la zona, lo que ha aumentado la demanda del recurso. El clima de esta zona es árido, de escasas precipitaciones y sequedad atmosférica con una gran oscilación térmica. En este escenario la mayor cantidad de conflictos por el acceso, la administración y la distribución del agua entre usuarios que compiten por el recurso se hacen cada vez más frecuentes, conforme se incrementan las demandas en los sectores productivos correspondientes, por lo que se requiere una efectiva gestión y fiscalización. A continuación se pueden observar las zonas de restricción y prohibición al uso de agua en la zona norte del país.

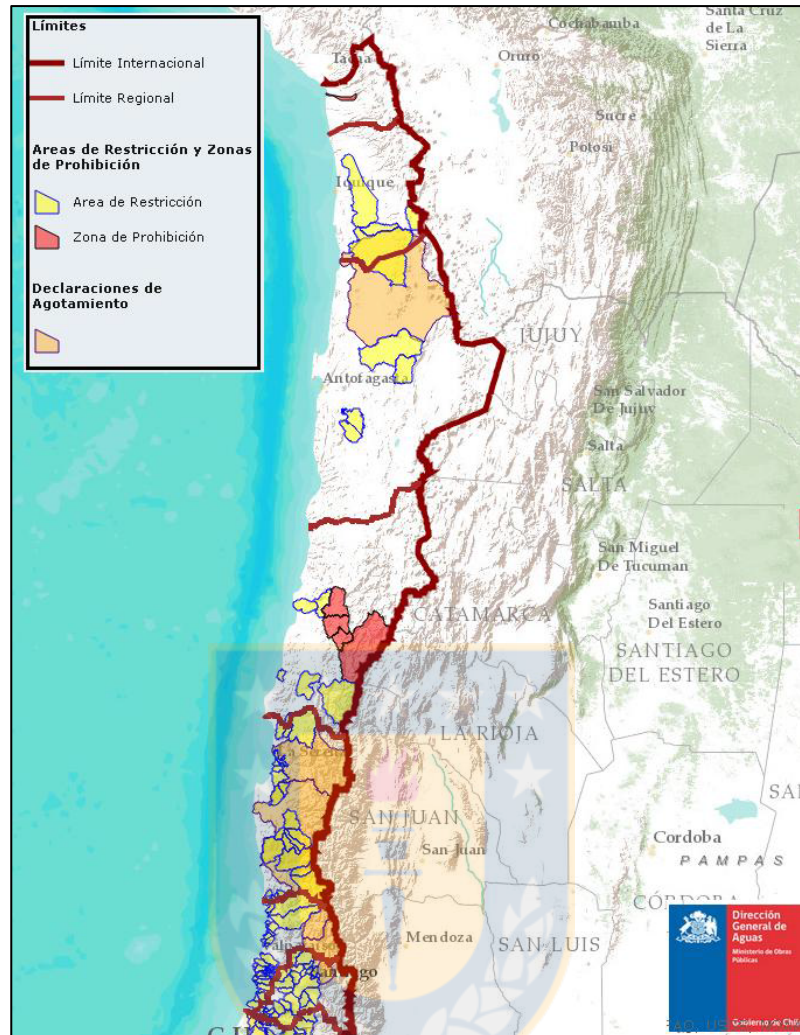


Ilustración 7.2: Protección y Restricción al uso de agua.
(DGA, 2012)

7.4 POLÍTICA NACIONAL PARA LOS RECURSOS HÍDRICOS

De acuerdo a los puntos anteriormente descritos, en el país surgió la creación de políticas que resguarden la seguridad futura del recurso hídrico, y a su vez se tramiten medidas de control, para el uso de las grandes empresas, junto con la creación de una cultura para las nuevas generaciones.

Es así como en el año 2015, surgió una nueva Política Nacional para los recursos hídricos [4], sus puntos mas importantes serán explicados brevemente, ya que esto será de gran ayuda para investigaciones futuras del tema, y sobre los puntos que hay que tener especial resguardo.

Su principal objetivo es garantizar a las generaciones actuales y futuras, la disponibilidad y acceso al agua en estándares de calidad y cantidad adecuados mediante el uso racional y

sustentable de los recursos hídricos, privilegiando en primer lugar el consumo humano. Esta política tiene como línea de acción los siguientes puntos:

- *Gestión integrada de los recursos hídricos como política nacional.*
- *Fortalecimiento de las instituciones públicas vinculadas con la gestión y administración de los recursos hídricos.*
- *Creación y fortalecimiento de un sistema de información útil para la ciudadanía y los diferentes sectores.*
- *Creación de una nueva cultura en uso eficiente de los recursos hídricos.*
- *Apoyo en el desarrollo energético sustentable del país.*
- *Impulsar el uso de nuevas tecnologías para mejorar disponibilidad y ahorro de los recursos hídricos.*
- *Fortalecimiento de la participación de la ciudadanía y organizaciones sociales.*

Anteriormente, se tocó un punto importante, el cual corresponde al nuevo paradigma de desarrollo sostenible, el cual se constituye en base de la agenda universal para el desarrollo a 2030. En este punto se le da cabida al cumplimiento a futuro de 6 metas principales, las cuales son de gran trascendencia estudiar, para poder tener una visión amplia con respecto al paradigma venidero, y basarse de igual forma en esto, para la realización a mas profundidad de esta investigación. Las metas son enumeradas a continuación:

- *Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.*
- *Lograr el acceso universal a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos.*
- *Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad las aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.*
- *Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.*
- *implementar la gestión integrada de los recursos hídrico a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.*
- *Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.*

Con respecto a las líneas de acción en base al desarrollo tecnológico en recursos hídricos, en el mediano plazo [2020 – 2025] para la **industria minera**, se tiene como medida; el desarrollo de

procesos secos para la minería del cobre (Consejo Minero, Red de investigación de recursos hídricos), esto consiste en la mínima o nula utilización de agua para la producción del cobre. Se requiere de tecnologías que permitan operar dicho procesos sin agua. Se tiene cierta referencia de la existencia de esta tecnología, pero carece de eficiencia.

Como otro tema relevante a considerar, se tiene la reutilización o la desalación del agua. Ya que debido al gasto energético y/o de infraestructura para trasladar agua entre lugares lejanos, tiene sentido aprovechar los recursos disponibles lo mas cerca posible de los lugares de uso. También es posible poner en valor el agua proveniente del mar. En este contexto se hace necesario el desarrollo de tecnologías para la puesta en valor, tanto de las aguas ya utilizadas (aguas residuales) como de las aguas provenientes del mar, a través de procesos físico químicos de desalación.

7.5 PROYECCIÓN DE CONSUMO ESPERADO DE AGUA TOTAL EN LA MINERÍA

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el consumo total de agua en el sector de la minería del cobre. Este incluye tanto el agua fresca como agua proveniente del mar.

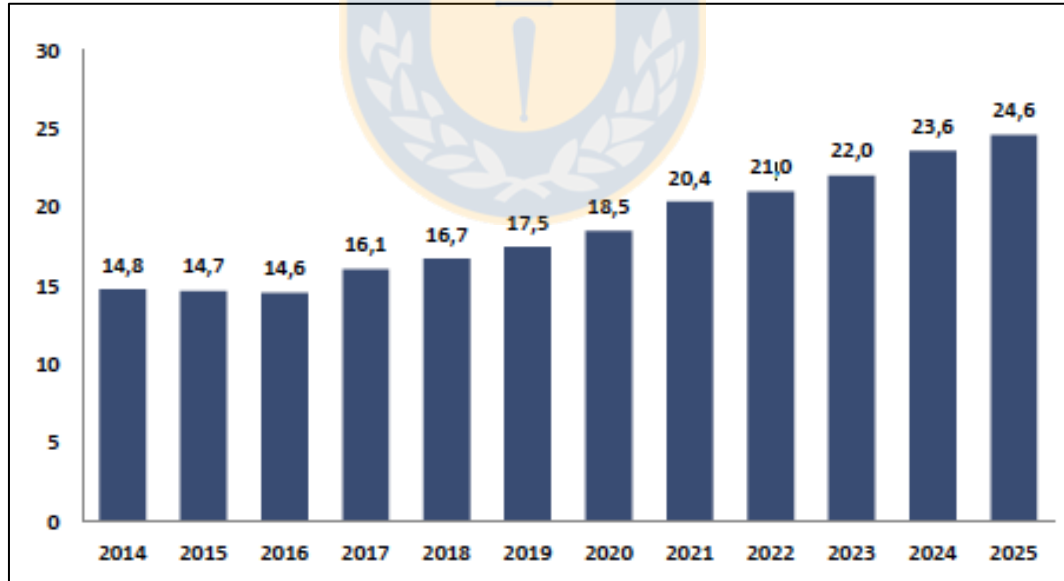


Ilustración 7.3: Consumo esperado de agua total en la minería del cobre 2014-2025 (m³/s).
(COCHILCO, 2014)

Se observa que al 2025 el consumo de agua total aumentará en un 66% respecto al 2014, alcanzando los 24,6 m³/s [32].

7.5.1 Proyección de Consumo Esperado de Agua Total por Origen

Ahora bien es fundamental resaltar el consumo de agua en la minería según fuente de abastecimiento, ya que el agua proveniente del mar es un recurso abundante y renovable, y demuestra una gran voluntad por parte de las compañías mineras en disminuir el consumo de agua fresca.

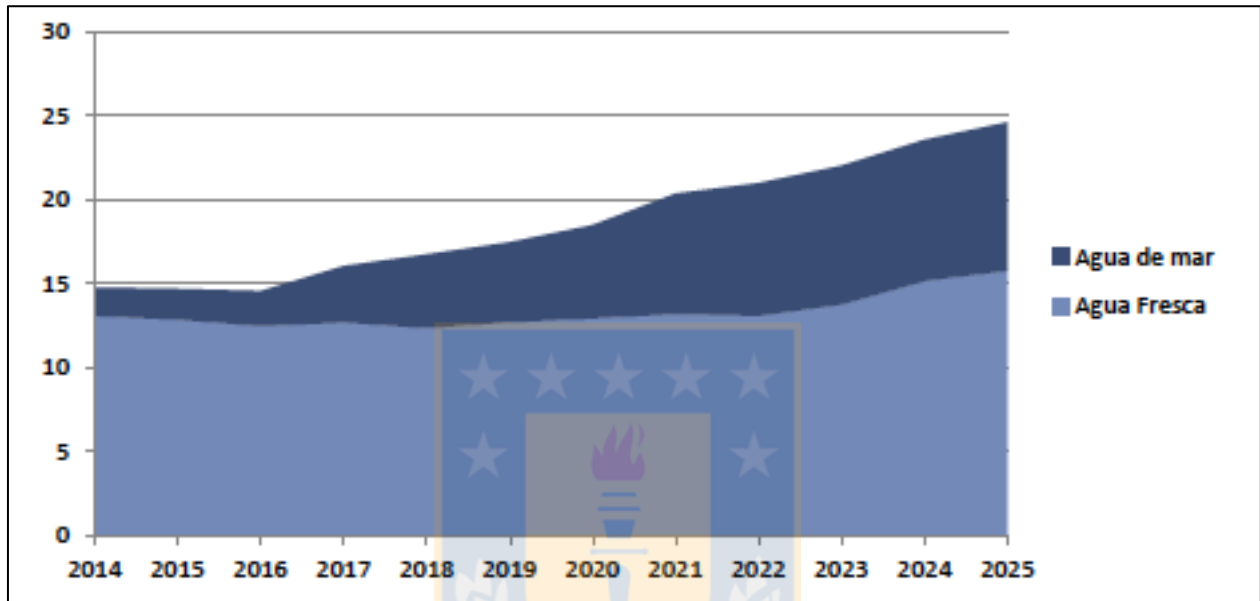


Ilustración 7.4: Consumo esperado de agua total en la minería del cobre por origen 2014-2025 (m³/s). (COCHILCO, 2014)

Según el último informe de consumo de agua, al 2013 el agua de mar en la minería del cobre representó el 9% del total. De acuerdo a los valores esperados obtenidos a través de la simulación de Montecarlo, se observa que para el año 2025 se espera que el agua de mar alcance el 36% del agua total requerida en la industria minera del cobre.

En la figura 7.3 se aprecia la evolución del consumo de agua de mar a lo largo de los años, pues son cada vez más las mineras que se suman a la construcción de sus propias desaladoras para enfrentar las limitaciones de agua fresca, en la medida que esto sea factible tanto técnica como económicamente.

7.5.2 Proyección de Consumo Esperado de Agua Total por Región

La minería absorbe un pequeño porcentaje del consumo consuntivo total del agua en el país, pero sus actividades muchas veces se ubican en las zonas más secas.. Ello indica que su incidencia regional y local es mucho mayor que la reflejada a escala nacional.

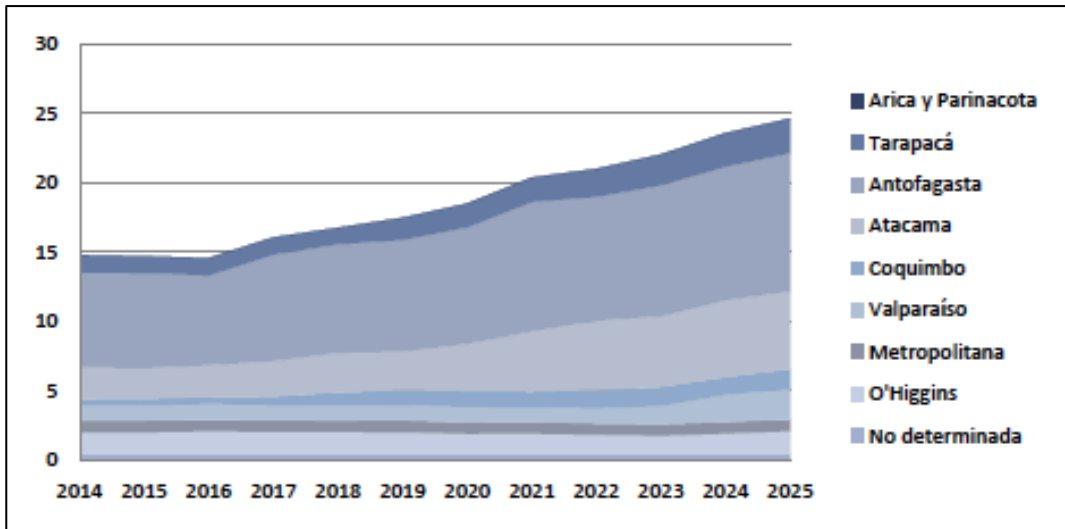


Ilustración 7.5: Consumo esperado de agua total en la minería del cobre por región 2014-2025 (m³/s). (COCHILCO, 2014)

En general, la mayor parte del consumo esperado de agua se encuentra en Antofagasta, que con 15 proyectos representa el 40% del consumo de agua total al 2025. En general estos proyectos gozan de un buen grado de certeza, sin presentar dificultades externas a su desarrollo. Para Atacama se observa un aumento en la demanda de agua, sin embargo, la mayor parte de estos proyectos tienen la condición de potencial por lo que su materialización sería a más largo plazo.

7.5.2.1 Consumo Esperado de Agua Fresca y Agua de Mar en la minería del cobre en las principales regiones mineras

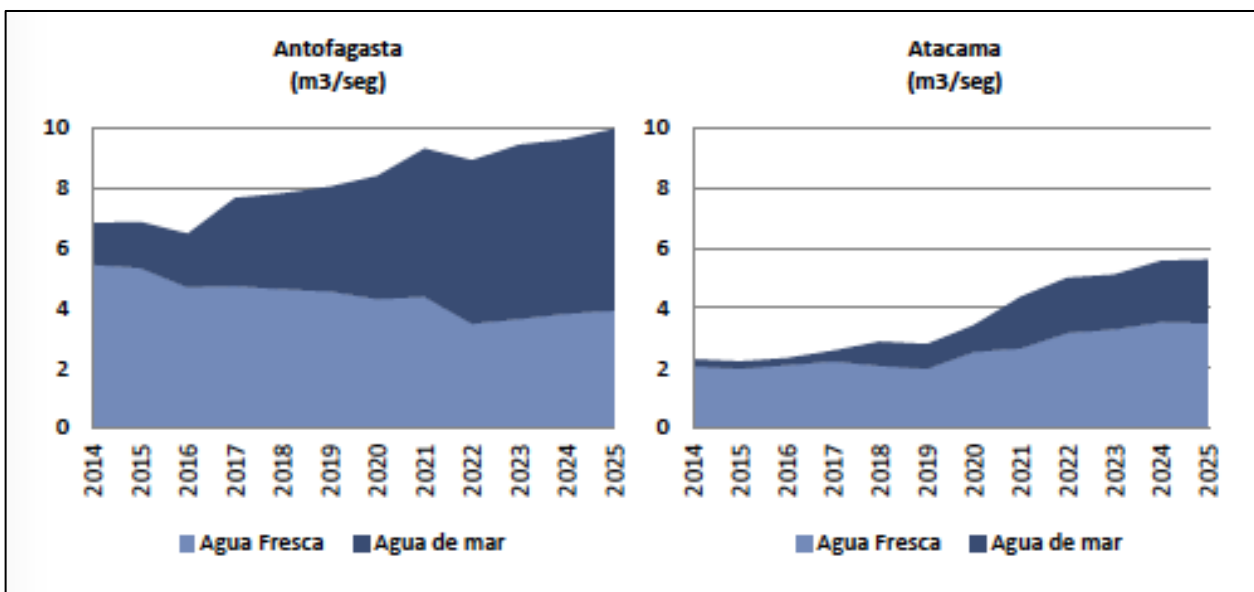


Ilustración 7.6: Consumo esperado de agua fresca y agua de mar en la minería del cobre en las principales regiones mineras 2014-2025 (m³/s). (COCHILCO, 2014)

En la región de Antofagasta cabe destacar que al 2025 el consumo de agua fresca tiene una tendencia decreciente, principalmente por el uso de agua de mar en la minería del cobre, lo que conlleva un menor uso de agua fresca. Se espera que al 2025 el consumo de agua de mar en la región duplique el consumo de agua fresca.

Para la región de Atacama el uso de agua de mar representa un alto porcentaje cercano al 40% al 2025, el hecho de que ésta región atraviesa una severa sequía, que se suma al histórico sobretorgamiento de derechos de agua hace que la región concentre gran parte de los proyectos mineros cuyo desarrollo plantea uso de agua de origen marino.

7.6 OFERTA DE AGUA DE LAS PRINCIPALES CUENCAS HIDROGRÁFICAS

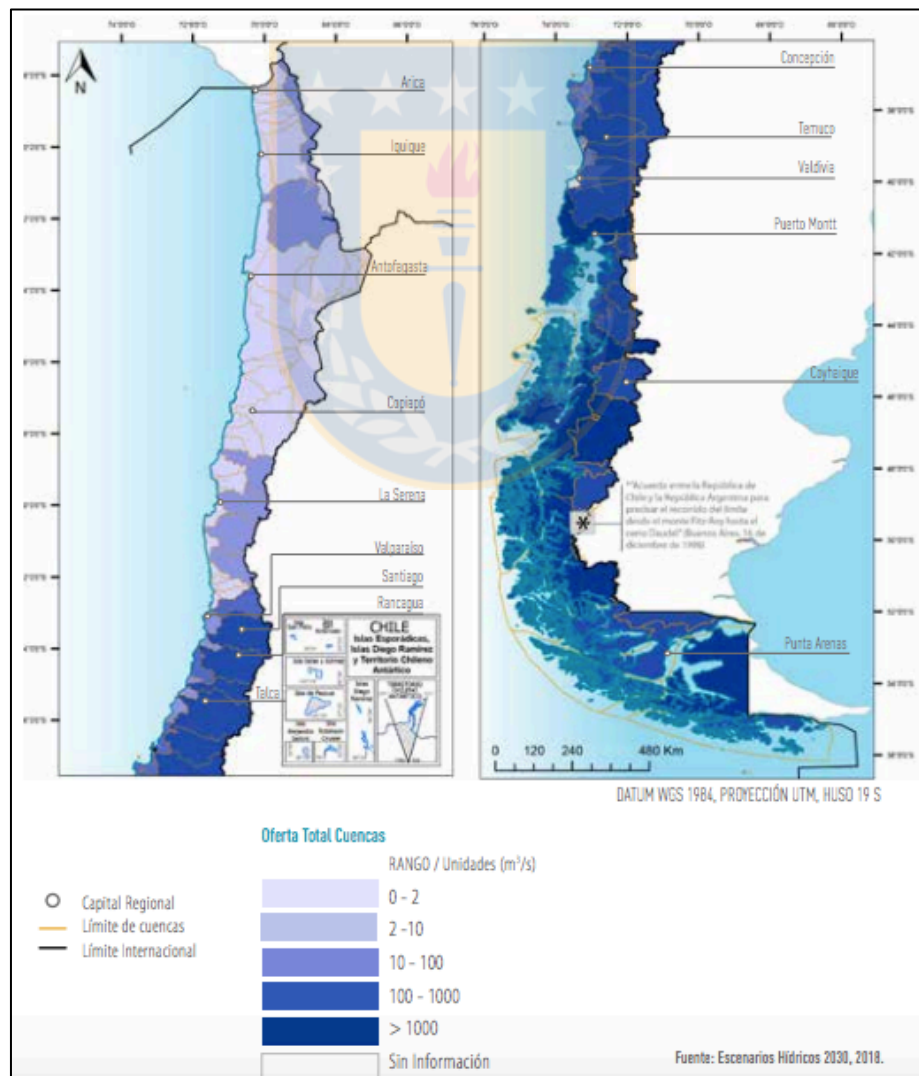


Ilustración 7.7: Oferta referencial de aguas superficiales. (Escenarios Hídricos 2030, 2018)

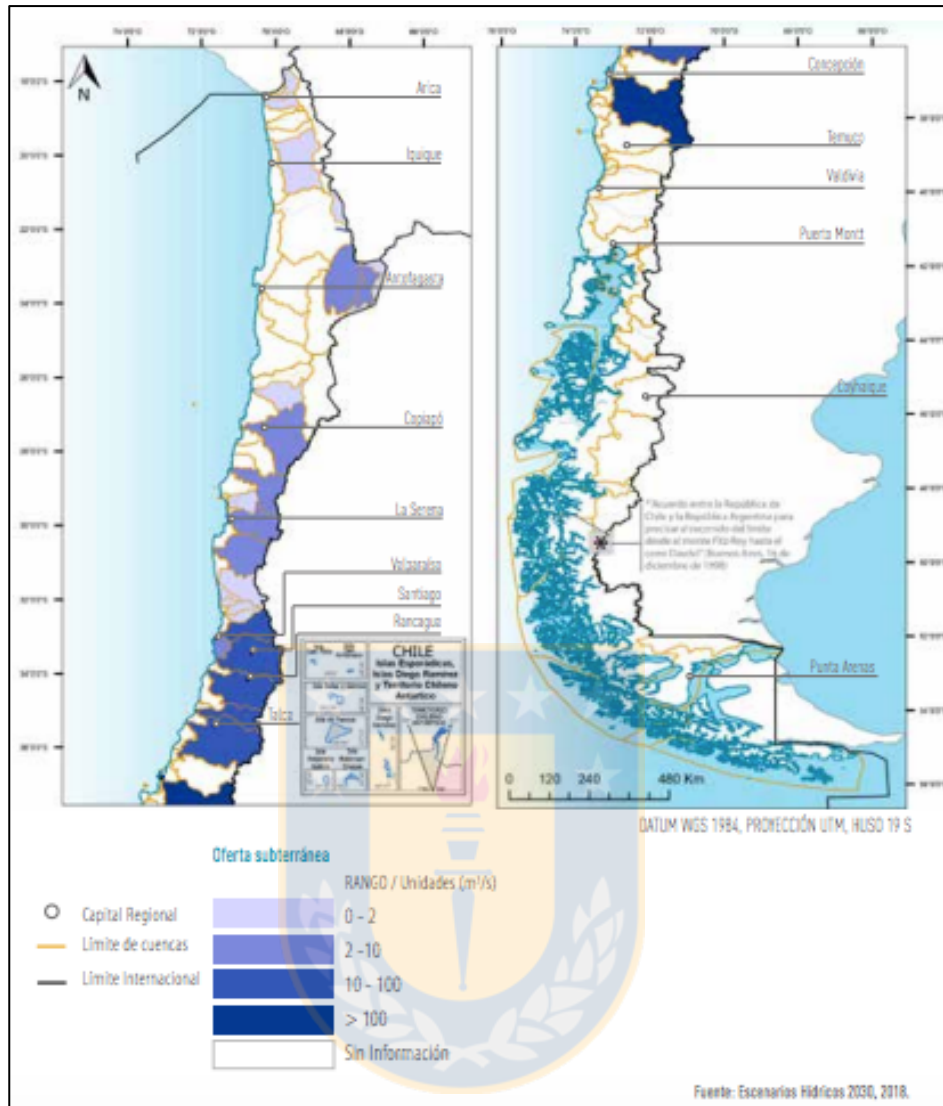


Ilustración 7.8: Oferta referencial de aguas subterráneas.
(Escenarios Hídricos 2030, 2018)

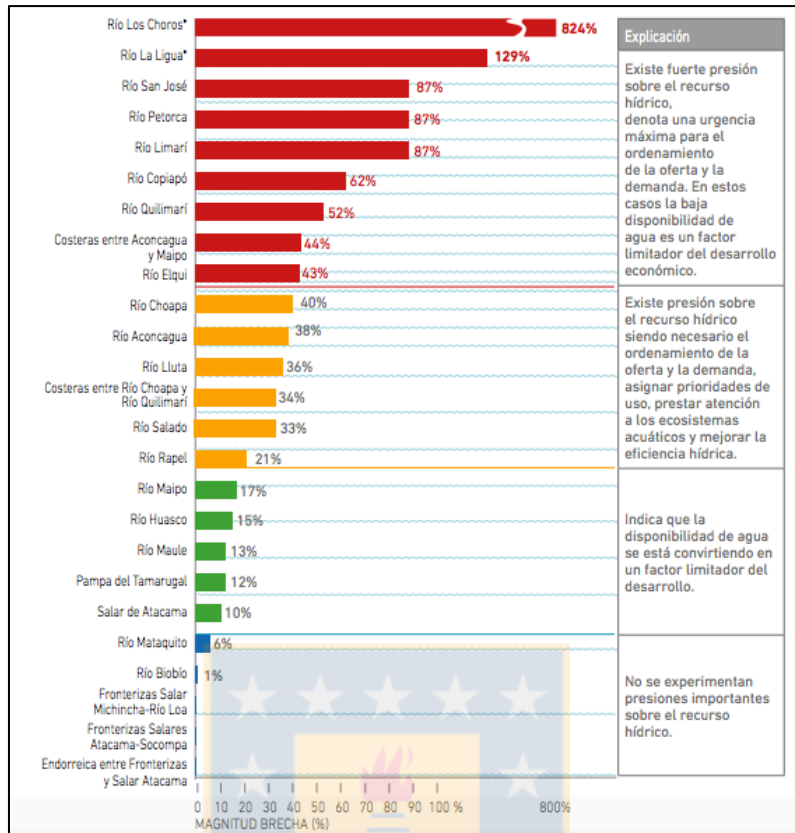


Ilustración 7.9: Brecha Hídrica en distintas Cuencas hidrográficas.
(Atlas del Agua, 2016)

7.7 CONSUMO DE AGUA POR PROCESOS PRODUCTIVOS

- En el caso del área mina, este incluye la mina, ya sea a cielo abierto o subterránea y el transporte del material hasta el chancado primario. En esta área el agua es utilizada principalmente para la supresión de polvo en caminos, y en la extracción y bombeo desde labores subterráneas.
- El área de planta concentradora comprende el procesamiento de minerales, el cual representa el mayor consumo de agua con respecto a los volúmenes totales. Esta área involucra la conminución del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Una parte importante del agua que se utiliza en la flotación pasa a formar parte de los relaves, que se envían a la etapa de espesamiento para recuperar una parte del agua que contienen.
- El área planta hidrometalurgia considera los procesos de lixiviación en pilas, la extracción por solventes y la electro obtención para la producción de cátodos. En este proceso los principales consumos de agua resultan como consecuencia de la evaporación de las pilas de lixiviación donde se vierte una solución ácida, de agua con ácido sulfúrico en la



Mineras categoría C: superior a 30.000 e inferior a 200.000 horas hombre trabajadas en el período respectivo (corresponde al trabajo promedio aproximado sobre 12 trabajadores hasta un máximo de 80 trabajadores durante un año). Corresponde a las faenas mineras de mediano-pequeño tamaño. La siguiente imagen muestra una vista satelital de las mineras de ésta categoría, en la zona norte del país.

Ilustración 7.12: Mineras categoría C.
(Atlas del Agua, 2016)



Mineras categoría D: igual o superior a 27.000 horas hombre trabajadas en el período respectivo (corresponde al trabajo promedio igual o menor de 12 trabajadores durante un año). Corresponde a las faenas mineras de pequeño tamaño. La siguiente imagen muestra una vista satelital de las mineras de ésta categoría, en la zona norte del país.

Ilustración 7.13: Mineras categoría D.
(Atlas del Agua, 2016)

7.9 FAENAS MAS IMPORTANTES EN LA ZONA NORTE DEL PAÍS

A continuación se dará un breve descripción de las faenas principales existente en las cuatro primeras regiones del país, tanto mineras de categoría A, como de categoría B.

7.9.1 Primera Región de Tarapacá

7.9.1.1 Cerro Colorado

- Perteneciente a la empresa chilena Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (CMCC), la cual forma parte del grupo internacional BHP-Billiton.
- Se encuentra en operaciones desde 1992.
- Producción de 130.000 ton/año promedio de cátodos.
- Explota su yacimiento mediante el método convencional a rajo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 95 km. de la costa, y a 2500 m.snm

7.9.1.2 Quebrada Blanca

- Operada por Teck, quien tiene un 76.5% de participación. El interés restante es de propiedad de Inversiones Mineras S.A. (13.5%) y Empresa Nacional de Minería (10%).
- Inicia su producción en 1994.
- Producción aproximada de 85.000 Ton de cobre fino al año.
- Explota su yacimiento mediante el método de rajo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 170 km. de la costa, y a 4200 m.snm

7.9.1.3 Doña Inés de Collahuasi

- Perteneciente a los accionistas Anglo American plc (44%), Glencore (44%) y Japan Collahuasi Resources B.V. (12%).
- Sus operaciones están activas desde el año 1982.
- Producción anual de aproximadamente 500 mil toneladas de cobre fino.
- Explota su yacimiento mediante el método de rajo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 170 km. de la costa, y a 4300 m.snm

7.9.2 Segunda Región de Antofagasta

7.9.2.1 El Abra

- Perteneciente a la estadounidense Freeport-McMoRan Copper & Gold (51%) y a la cuprífera estatal chilena, Codelco (49%).
- Minera constituida en 1994.
- Producción anual aproximada de 160.000 toneladas de cobre fino.
- La mina opera a cielo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 180 km. de la costa, y a 3350 m.snm

7.9.2.2 Chuquicamata

- Minera administrada por la empresa estatal CODELCO.
- Inicia su producción de cobre el año 1915.
- Producción anual aproximada de 755.000 toneladas de cobre fino.
- Mina de cobre y oro que opera mediante el método convencional a cielo abierto, considerada como la más grande del mundo.
- Ubicada a aproximadamente 145 km. de la costa, y a 2750 m.snm

7.9.2.3 Escondida

- Perteneciente a la empresa BHP Billiton (57,5%); Rio Tinto PLC (30%); Jeco Corporation (10%); Jeco 2 Corporation (2,5%)
- La construcción de la mina se inició en agosto del año 1988, e inició sus procedimientos en noviembre de 1990.
- Producción anual aproximada de 1.250.000 toneladas de cobre fino.
- La mina a rajo abierto que más cobre produce en el mundo.
- Ubicada a aproximadamente 150 km. de la costa, y a 3000 m.snm

7.9.2.4 Gabriela Mistral

- El yacimiento entró en producción el año 2008 y fue operado por Minera Gaby S.A, una filial 100% propiedad de Codelco hasta diciembre de 2012, cuando la empresa se transformó en la nueva División Gabriela Mistral.
- La explotación se efectúa a cielo abierto.
- Producción anual aproximada de 98.000 toneladas de cobre fino.
- Ubicada 190 km. de la costa, y a 2650 m.snm

7.9.2.5 Zaldivar

- Antofagasta Minerals maneja el 50% del yacimiento, compartiéndolo con la compañía Barrick Gold.
- Comienza su producción en el año 1995.
- Posee una capacidad de producción de 125 mil toneladas de cobre fino al año.
- Utiliza el método de explotación a rajo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 150 km. de la costa, y a 3000 m.snm

7.9.2.6 Spence

- Los principales accionistas de la compañía, son Rio Algom Limited y Rio Algom Exploration, ambas filiales de BHP Billiton.
- Compañía minera fundada en 1979.
- Producción anual aproximada de 165.000 toneladas de cobre fino.
- Minera Spence se dedica a la producción de cátodos de cobre por medio de una operación a cielo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 120 km. de la costa, y a 1650 m.snm

7.9.2.7 Sierra Gorda

- Sierra Gorda Sociedad Contractual Minera (Sierra Gorda SCM) está conformada por las japonesas Sumitomo Metal Mining Co. Ltd. (31,5%) y Sumitomo Corp. (13.5%) y la minera polaca KGHM International Ltd. (55%).
- Sierra Gorda produce concentrados de cobre y molibdeno.
- Producción anual aproximada de 130.000 toneladas de cobre.
- Ubicada a aproximadamente 110 km. de la costa, y a 1650 m.snm

7.9.3 Tercera Región de Atacama

7.9.3.1 Candelaria

- Perteneciente a la empresa Estadounidense Freeport McMoRan Copper & Gold.
- Comienza sus operaciones en 1993.
- Producción anual aproximada de 175.000 toneladas de cobre fino.
- La operación consiste en una mina a cielo abierto, y dos minas subterráneas.
- Ubicada a aproximadamente 75 km. de la costa, y a 650 m.snm

7.9.3.2 Ojos del Salado

- En el año 2014, la operación pasó a formar parte de los activos de Lundin Mining (80%), manteniendo la corporación Japonesa Sumitomo el 20% de la propiedad.
- Comienza su producción comercial en 1929 bajo el nombre de Planta Punta del Cobre.
- Produce concentrado de cobre a través de la explotación de 2 minas subterráneas.
- Mantiene una producción anual de aproximadamente 30.000 toneladas de cobre.
- Ubicada a aproximadamente 70 km. de la costa, y a 600 m.snm

7.9.3.3 Caserones

- Compañía perteneciente a las firmas japonesas Pan Pacific Cooper, con 77, 37% -en la que participan JX Nippon Mining & Metals con un 66% y Mutsui Mining & Smelting con 34%- y Mitsui and Co Ltd con 22, 63%.
- Su producción comenzó en el año 2013.
- Producción anual aproximada de 150.000 toneladas de cobre fino.
- La extracción de mineral se realiza mediante el método de cielo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 170 km. de la costa, y a 4300 m.snm

7.9.3.4 El Salvador

- Perteneciente a la empresa estatal CODELCO.
- Comienza su producción en el año 1959.
- Producción anual aproximada de 48.000 toneladas de cobre fino.
- Yacimiento subterráneo formado por el gran hundimiento que produjo el vaciado interno de la montaña Indio Muerto.
- Ubicada a aproximadamente 120 km. de la costa, y a 3000 m.snm

7.9.4 Cuarta Región de Coquimbo

7.9.4.1 Carmen de Andacollo

- Perteneciente a la empresa Canadiense Teck, la cual posee una participación del 90%, y está asociada con la Empresa Nacional de Minería [ENAMI] de propiedad del estado de Chile.
- Producción anual aproximada de 21.000 toneladas de cobre fino.
- Operación minera a rajo abierto.
- Ubicada a aproximadamente 35 km. De la costa, y a 1100 m.snm

7.9.4.2 Los Pelambres

- Perteneciente en un 60% a Antofagasta Minerals S.A. y en un 40% a un consorcio de empresas japonesas, compuesto por Nippon LP Investment (25%) y Marubeni & Mitsubishi LP Holding BV (15%).
- Empieza sus operaciones a fines de 1999.
- Producción anual aproximada de 350.000 toneladas de cobre fino.
- Ubicada a aproximadamente 140 km. de la costa, y a 2000 m.snm

7.10 CUENCAS QUE NO CUMPLEN CON LA CONDICIÓN DE SER FOCOS DE SWAP

7.10.1 Primera Región de Tarapacá

Las cuencas en la primera región que no comparten ubicación junto a comunidades y mineras, corresponden a las cuencas Q. Río Camarones, Altiplánicas, Costeras Tilviche Loa y el Río Loa. Las mineras ubicadas aquí no podrán ser parte del estudio, ya que no tienen relación con comunas para poder realizar el intercambio de recursos.

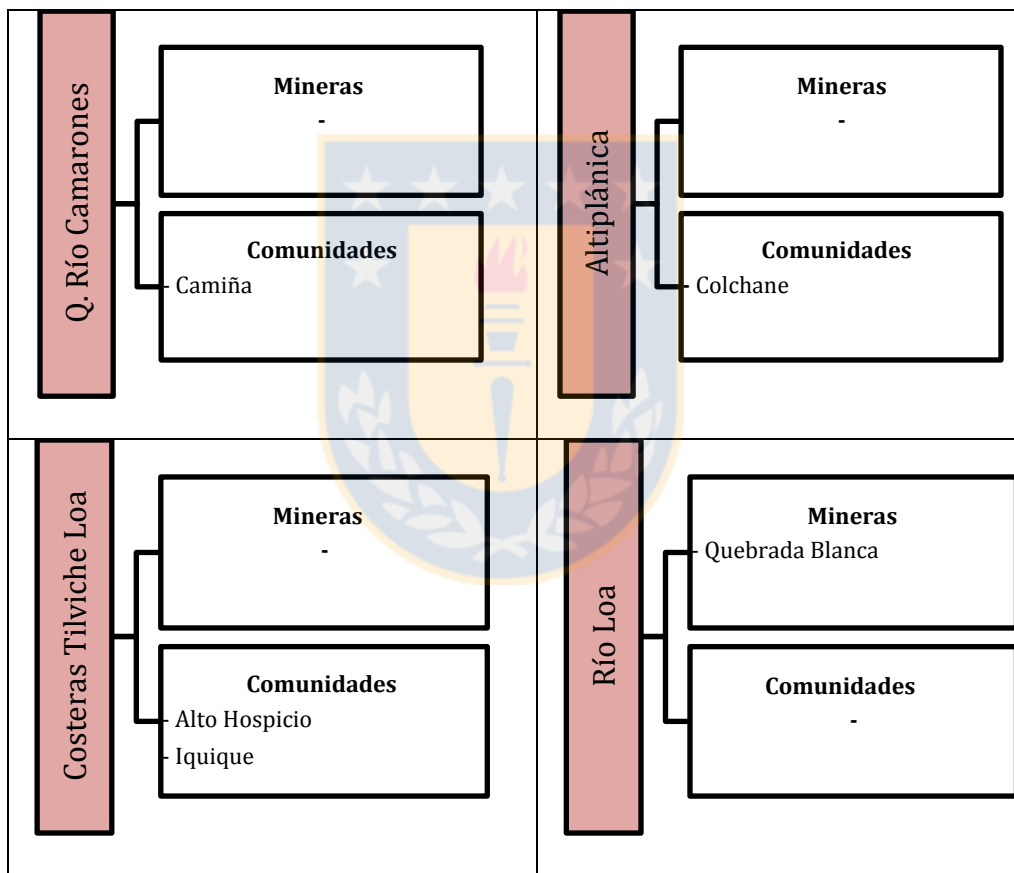


Ilustración 7.14: Cuencas de la primera región que NO cumplen con la condición de ser focos de Swap

7.10.2 Segunda Región de Antofagasta

Las cuencas en la Segunda región que no comparten ubicación junto a comunidades y mineras, corresponden a las cuencas Costeras Q. Pan de Azúcar – R. Salado, Endorreicas Salar de Atacama – Vertiente del Pacífico, Salar de Atacama, Quebrada Caracoles, Endorreicas entre Fronterizas y Salar de Atacama y por último la cuenca Quebrada la Negra. Las mineras ubicadas aquí no podrán ser parte del estudio, ya que no tienen relación con comunas para poder realizar el intercambio de recursos.

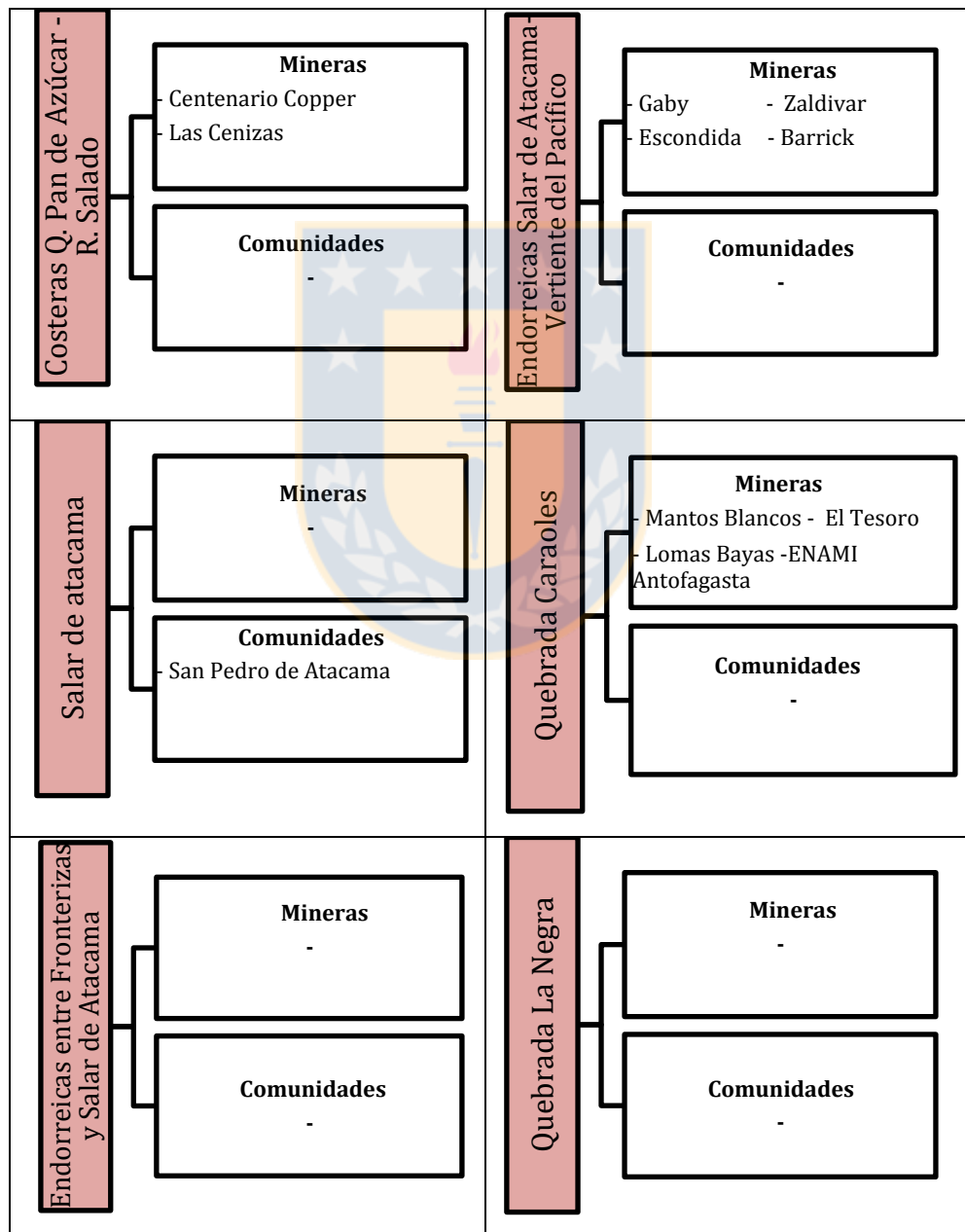


Ilustración 7.15 a: Cuencas de la segunda región que NO cumplen con la condición de ser focos de Swap

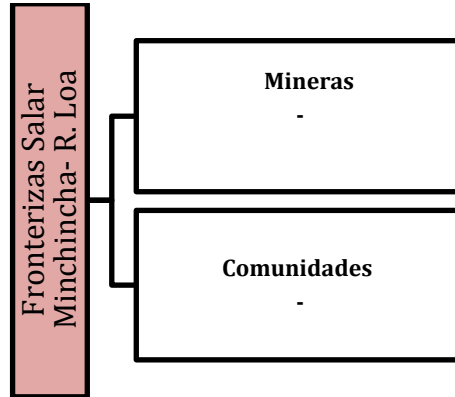


Ilustración 7.15 b: Cuencas de la segunda región que NO cumplen con la condición de ser focos de *Swap*

7.10.3 Tercera Región de Atacama

Las cuencas en la Tercera región que no comparten ubicación junto a comunidades y mineras, corresponden a las cuencas Costeras e Islas R. Salado – R. Copiapó, Río Huasco, Río los Choros, Quebrada Carrizal y costeras hasta R. Huasco, Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico, Costeras e Islas R. Huasco y Cuarta región, Q. Totoral y costeras hasta Q. Carrizal y por último Costeras entre R. Copiapó y Q. Totoral.. Las mineras ubicadas aquí no podrán ser parte del estudio, ya que no tienen relación con comunas para poder realizar el intercambio de recursos.

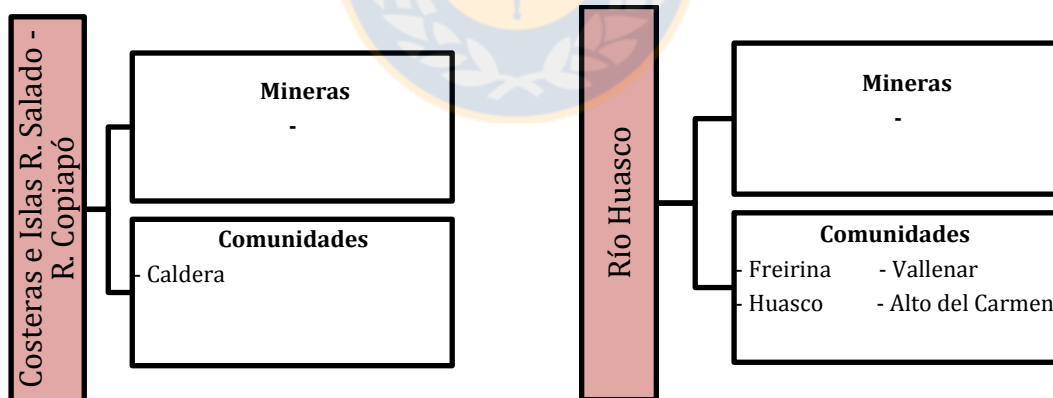


Ilustración 7.16 a: Cuencas de la tercera región que NO cumplen con la condición de ser focos de *Swap*

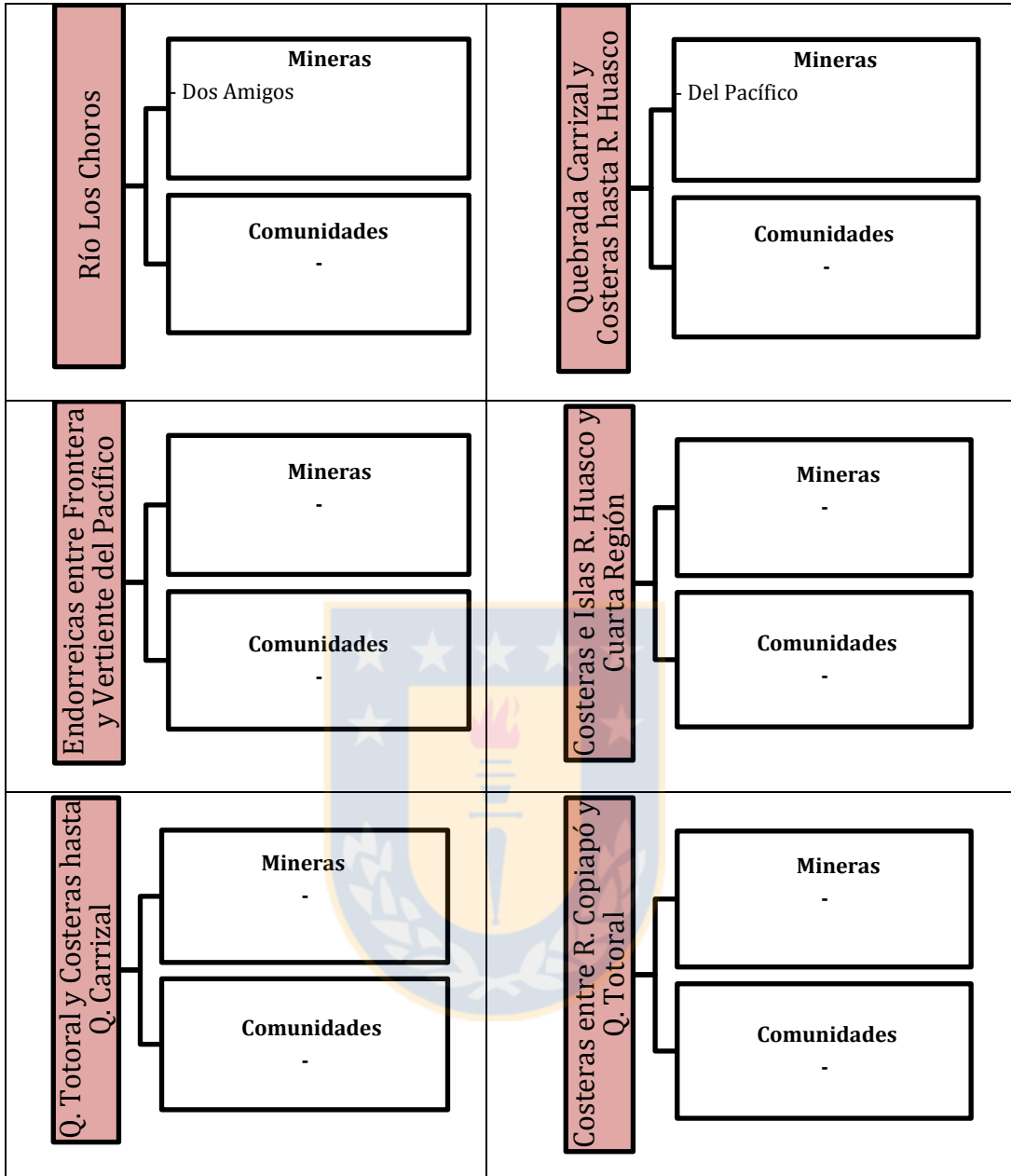


Ilustración 7.16 b: Cuencas de la tercera región que NO cumplen con la condición de ser focos de Swap

7.10.4 Cuarta Región de Coquimbo

Las cuencas en la Tercera región que no comparten ubicación junto a comunidades y mineras, corresponden a las cuencas Río los Choros, Costeras entre Río Choapa y R. Quilimari, Río Huasco, Costeras entre Río los Choros y Río Elqui y por último el Río Quilimari. Las mineras ubicadas aquí no podrán ser parte del estudio, ya que no tienen relación con comunas para poder realizar el intercambio de recursos.

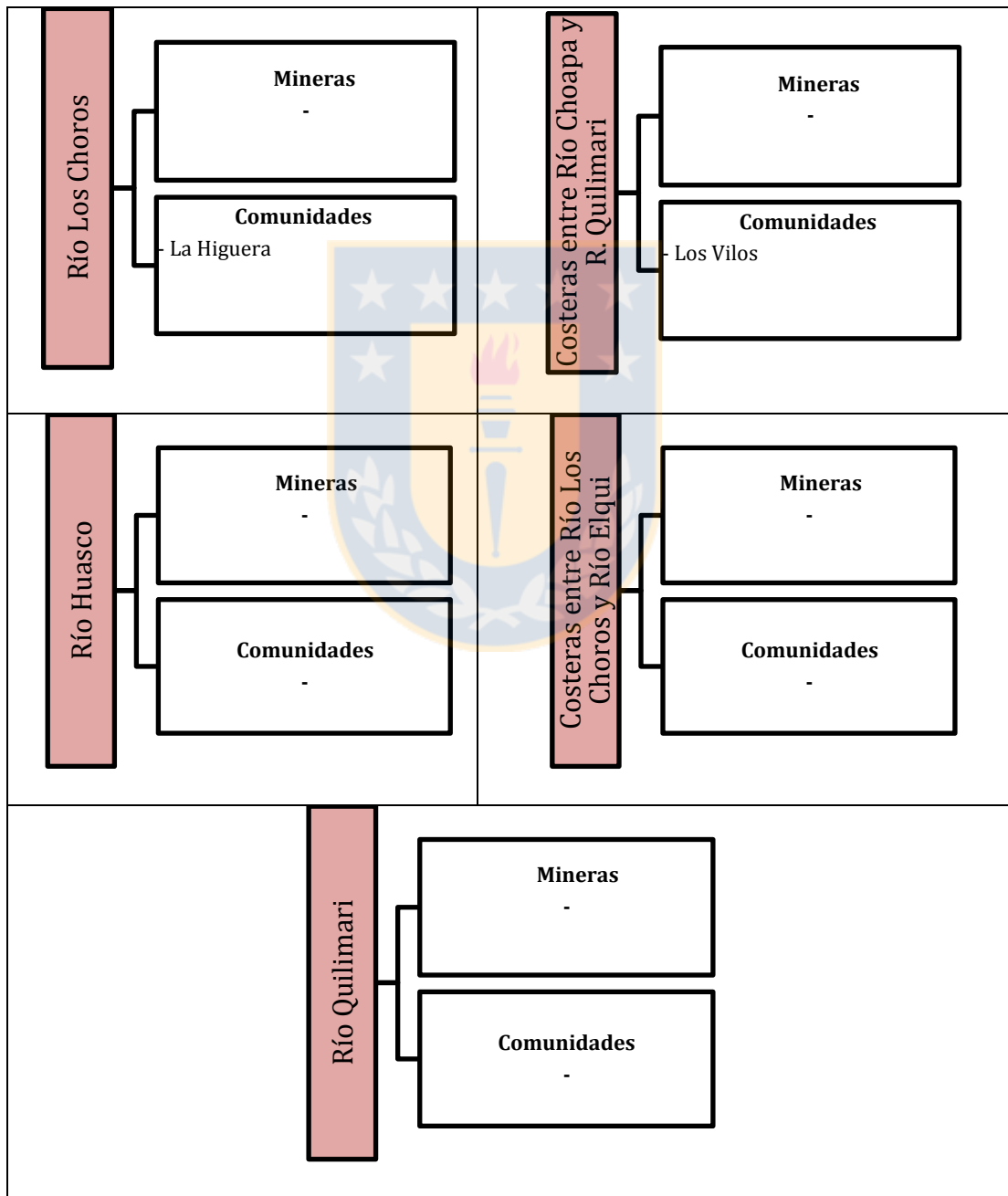


Ilustración 7.17: Cuencas de la cuarta región que NO cumplen con la condición de ser focos de Swap

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
 Hoja Resumen Memoria de Título

Título: Swapping como alternativa económica para el uso de agua de mar en minería.	
Nombre Memorista: Giovana Anabella Garcia Cuevas	
Modalidad	Profesor (es) Patrocinante (s)
Concepto	Prof. Fernando Concha Arcil
Calificación	
Fecha	
Prof. Roberto Fustos T.	
Ingeniero Supervisor: Marcelo Vergara Soto	
Institución: CRHIAM	
Comisión (Nombre y Firma)	
Prof. Ramón Díaz N.	Ing. Marcelo Vergara S.
Resumen	
<p>El desarrollo económico de Chile tiene un pilar fundamental en la utilización de los recursos naturales, dentro de los cuales se encuentra el recurso hídrico; prácticamente todas las actividades económicas utilizan el agua como un insumo fundamental en sus procesos productivos (agricultura, minería, generación de energía, etc.). Este estudio se enfocará principalmente en el sector minero y su relación con el recurso hídrico, tema de primera importancia si se quiere continuar con la actividad minera y preparar su avance de manera eficiente y responsable a futuro.</p> <p>La minería; ubicada en las primeras regiones, se ha visto obligada a buscar distintas alternativas para la obtención del agua a usar en sus procesos. Una de estas alternativas es la que estudia esta investigación, la realización de un intercambio o “<i>Swapping</i>” con las comunidades que comparten lugar junto a las faenas mineras. La principal idea es que las mineras puedan instalar plantas desaladoras en la costa, y repartir el agua desalada a las comunas aledañas en vez de ocuparla directamente. La explicación a esto, se basa en el costo que mantiene el transporte del agua desalada hacia mineras, que en la mayoría de los casos están ubicadas a grandes distancias del mar, y a elevadas alturas, por lo que el costo de incurrir en energía para el transporte de agua desalada es muy alto.</p> <p>Para cumplir con el objetivo principal, que recae en un estudio de factibilidad de la realización de un <i>swap</i> de derechos de agua entre mineras y comunidades; fue de máxima importancia el uso del programa digital <i>Google Earth</i>, el cual fue usado como base para la elección de las mineras y comunidades que pasaron a ser estudiadas, definidas principalmente por su ubicación espacial.</p> <p>Posterior al los estudios realizados a las mineras que cumplían con la condición de ser consideradas como “focos de intercambio”, según los distintos parámetros de entrada y salida estudiados con <i>Google Earth</i>; se llegó a la conclusión que en todos los casos visualizados, la realización del intercambio tenía una disminución considerable de los costos, y que esto se veía influenciado directamente por la altura en la que se encuentran las mineras y las comunidades.</p>	