

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE AGUA
DESALADA AL SISTEMA HÍDRICO EN LA CUENCA DEL
RÍO COPIAPÓ**

DANIELA GRACIELA BRAVO YAÑEZ

Santiago, Chile.

2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE AGUA DESALADA AL
SISTEMA HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ**

**ANALYSIS OF THE INCORPORATION OF DESALINATED WATER
INTO THE HYDRIC SYSTEM IN THE COPIAPÓ
RIVER BASIN**

DANIELA GRACIELA BRAVO YAÑEZ

Santiago, Chile.

2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE AGUA DESALADA AL
SISTEMA HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

DANIELA GRACIELA BRAVO YAÑEZ

Profesor Guía	Calificaciones
Rodrigo Fuster G. Ingeniero Agrónomo, M.S.	7,0
Profesores Evaluadores	
Andrés De la Fuente D. la F. Ingeniero Agrónomo	6,8
Cristian Mattar B. Ingeniero en Recursos Naturales Renovable, Dr.	7,0

Santiago, Chile.

2013

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres; Marcela y Manuel por el amor, comprensión y apoyo entregado en ésta y en todas las etapas de mi vida, gracias por permitirme hacer todo lo que he querido. Cada logro y paso que doy es gracias a ustedes y para ustedes.

A mis hermanos Claudia, Alonso y Marcela que con su amor y preocupación me dieron la fuerza para llegar al término de esta etapa. A mi Luchito, quien con su amor, apoyo y compañía me permitió avanzar en los momentos de mayor flaqueza, Gracias!

Agradecer a mi profesor guía, quien a pesar de los contratiempos tuvo la energía y disposición para construir y mejorar este trabajo, gracias por su apoyo.

Finalmente agradecer a todos quienes forman parte de esta etapa universitaria, indudablemente son parte importante en la formación de esta profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo General	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2 MATERIALES Y MÉTODO	12
2.1 Área de Estudio	12
2.2 Materiales	15
2.3 Método	15
2.3.1 Caracterización de la oferta y demanda de aguas superficiales y subterráneas en los sectores acuíferos de la cuenca	15
2.3.2 Análisis espacial de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca	17
2.3.3 Análisis de escenarios futuros de la distribución de agua desalada en la cuenca del Río Copiapó	18
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1 Caracterización espacial de la oferta y demanda de aguas superficiales y subterráneas en los sectores acuíferos de la cuenca	19
3.1.1 Caracterización de la cuenca	19
3.1.2 Caracterización de la oferta y demanda hídrica	28
3.2 Análisis espacial de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca	34
3.2.1 Breve historia de la desalación de agua	34
3.2.2 Caracterización de las desaladoras en la cuenca del Río Copiapó	38
3.2.3 Análisis de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca	40
3.3 Análisis de escenarios futuros de la distribución de agua desalada en la cuenca del Río Copiapó	41
3.3.1 Agua desalada transable	41
3.3.2 Escenario 1. Distribución del excedente de agua desalada en el sector con mayor déficit hídrico	42
3.3.3 Escenario 2. Distribución del excedente de agua desalada al usuario con mayor problema de abastecimiento	44

3.3.4 Escenario 3. Distribución del excedente de agua desalada al usuario con mayor demanda hídrica.....	45
4 CONCLUSIONES	47
5 BIBLIOGRAFÍA	48
6 APENDICES.....	53
6.1 APÉNDICE I. Procedimiento de estimación de oferta y demanda real con el modelo AQUATOOL	53
6.2 APÉNDICE II. Distribución de acciones y caudales superficiales en sectores acuíferos.....	54
6.3 APÉNDICE III. Balances Hídricos	58
6.4 APÉNDICE IV. Procesos de desalación de agua de mar.	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura media mensual y anual en estaciones de la cuenca.....	13
Cuadro 2. Precipitación media mensual y anual en estaciones de la cuenca.....	14
Cuadro 3. Series de caudales anuales en las estaciones de la cuenca	14
Cuadro 4. Distribución de unidades territoriales	16
Cuadro 5. Número de comunidades, comuneros y acciones por distrito.....	20
Cuadro 6. Caudales superficiales y acciones por temporada.....	22
Cuadro 7. Superficies según tipo de riego en la cuenca del Río Copiapó	26
Cuadro 8. Superficies según tipo de cultivo en la cuenca del Río Copiapó	26
Cuadro 9. Número de clientes según destino inmueble y consumo diario	27
Cuadro 10. Número de clientes según tipo de servicio.....	27
Cuadro 11. Oferta hídrica en la cuenca del Río Copiapó	28
Cuadro 12. DAA, caudales subterráneos y distribución de usos según cada sector acuífero	29
Cuadro 13. Acciones y caudales superficiales asociado a los sectores acuíferos y su	30
Cuadro 14. Demanda legal en la cuenca del Río Copiapó.....	30

Cuadro 15. Demanda real en la cuenca del Río Copiapó.....	31
Cuadro 16. Proyectos de desalación para las empresas mineras.....	37
Cuadro 17. Proyectos de desalación de agua de mar aprobados por el SEIA en la cuenca.	38
Cuadro 18. Nueva oferta de agua en la cuenca del Río Copiapó.....	40
Cuadro 19. Demanda hídrica y caudal de agua desalada.....	42
Cuadro 20. Distribución de las acciones y caudales superficiales por sector acuífero.....	54
Cuadro 21. Balances hídricos.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del Río Copiapó.....	13
Figura 2. Subcuencas del Río Copiapó.....	20
Figura 3. Ubicación de los distritos de la cuenca del Río Copiapó.	21
Figura 4. Sectores administrativos del acuífero de Copiapó.....	23
Figura 5. Evolución temporal del caudal otorgado en la Cuenca del Río Copiapó.....	25
Figura 6. Demanda real por uso de agua en los sectores acuíferos.....	31
Figura 7. Balance entre la oferta y la demanda legal.....	32
Figura 8. Balance entre la oferta y la demanda real.....	33
Figura 9. Capacidad contratada de desaladoras en el mundo.....	35
Figura 10. Proporción de desalación mundial por país.....	36
Figura 11. Capacidad instalada de plantas Desaladoras en el norte de Chile.....	37
Figura 12. Balance entre la nueva oferta de agua y la demanda real.....	41
Figura 13. Balance entre el déficit hídrico y agua desalada en el Sector 4.....	43
Figura 14. Balance entre el déficit hídrico y agua desalada para el uso de agua potable....	45
Figura 15. Balance entre el déficit hídrico y agua desalada para el uso agrícola.....	46

RESUMEN

La cuenca del Río Copiapó enfrenta una creciente demanda de agua por parte de las actividades productivas que, sumado a la fuerte sequía que afecta a la zona, ha disminuido considerablemente la disponibilidad del recurso hídrico en los sistemas subterráneos y superficiales. Esto ha llevado a los usuarios de agua a buscar nuevas alternativas de abastecimiento, entre ellas, la desalación de agua de mar realizada por empresas mineras. Es por ello que, en este estudio se realizó una caracterización de la oferta y demanda hídrica en la cuenca del Río Copiapó y una revisión de los proyectos de desalación aprobados por el SEIA. Posteriormente, se realizó un análisis de la incorporación de la nueva oferta de agua a través de la simulación de tres escenarios futuros de distribución de agua desalada en la cuenca. Los resultados muestran que, según los registros de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA), la agricultura utiliza más del 60% de las aguas superficiales, mientras que los usos de agua potable, minería e industrias se abastecen en su totalidad de aguas subterráneas. De un total de 20.648,7 L/s otorgados en la cuenca, el 95,03% provienen de aguas subterráneas, reflejando la fuerte dependencia de la disponibilidad de agua del acuífero por parte de los usuarios. El balance realizado entre la oferta y la demanda real estimada, señala que el Sector 4 del acuífero es el más crítico con un déficit de 2.493,60 L/s, mientras que el balance entre la oferta y la demanda legal muestra que los caudales otorgados en DAA superan en 3.971,03 L/s a la oferta. En ambos balances, tanto con demanda real como legal, sólo el Sector 1 presenta valores positivos entre oferta y demanda. En cuanto a los proyectos de desalación, existen dos aprobados y actualmente en construcción por parte de las mineras Candelaria y Compañía Minera del Pacífico, las que en su conjunto desalarán 1.100 L/s. A partir del excedente de agua desalada, una vez cubierta la demanda propia de las mineras, y asumiendo que éstas transarán sus respectivos excedentes al resto de los usuarios, se establecieron los escenarios distribuyendo el agua desalada a los usos y sectores con mayores problemas hídricos en la cuenca. Estos escenarios determinaron que: el agua potable vería satisfecha su demanda en todos los sectores acuífero; la actividad agrícola podría disminuir su déficit en un 43% aproximadamente en los Sectores 4, 5 y 6; y que el Sector 4 podría mitigar su crítica situación disminuyendo el déficit de riego y agua potable en un 67,6% y un 88,6%, respectivamente. Finalmente, se concluye que la incorporación de agua desalada por parte de la minería se presenta como una interesante alternativa para disminuir su dependencia de los cursos naturales de agua; además, la distribución de agua desalada a otros usuarios de la cuenca permitiría reducir en gran medida el problema del déficit hídrico. Sin embargo, es importante destacar que para conocer la viabilidad de la incorporación de esta nueva oferta de agua es necesario complementar este estudio con análisis de otras variables en el ámbito económico, social y ambiental.

Palabras claves: Agua desalada, cuenca del Río Copiapó, oferta hídrica, demanda hídrica.

ABSTRACT

Copiapó River basin faces an increase in its water demand from productive activities, which, in addition to the severe drought that affects the area, has considerably decreased the availability of water resources in surface and groundwater systems. This is why water users have sought new supply alternatives, including desalination of sea water by mining companies. Thus, this study characterized the water supply and demand in Copiapó River basin and also characterized the desalination projects approved by the SEIA. Subsequently, an analysis of the incorporation of the new supply of water through three simulated scenarios of desalinated water distribution in the basin. The results show that, according to the records of water use rights (DAA), agriculture uses more than 60% of surface water, while potable water, mining and industries uses are supplied entirely from groundwater. A total of 20,648.7 L/s have been granted, from which 95.03% correspond to groundwater, thus reflecting the strong dependence on the availability of water in the aquifer by the users. The water balance made between supply and estimated actual demand indicates that aquifer's Sector 4 is the most critical with a deficit of 2,493.6 L/s, while the balance between supply and legal demand, shows that the granted DAA flowrates exceed the supply by 3,971 L/s. For both balances (both real and legal demand), Sector 1 is the only one that has positive values between supply and demand. Regarding desalination, there are two projects approved and currently under construction by the Candelaria and Pacific Mining Company, which as will desalinate 1,100 L/s. From surplus desalinated water, once the demand from mining activities has been covered, and assuming that they may compromise their surpluses to other users, three scenarios were simulated according to the uses and sectors with more water problems in the basin. These scenarios determined that: potable water use would satisfy their demand in all sectors of the aquifer; the agriculture use could reduce its deficit by 43% approximately in Sectors 4, 5 and 6; or Sector 4 could mitigate their critical situation by decreasing its irrigation deficit and potable water use in 67.6% and 88.6%, respectively. Finally, it is concluded that the incorporation of desalinated water by mining companies is an interesting alternative to reduce its dependence on natural water courses; in addition, the distribution of desalinated water to other users of the basin would greatly reduce the problem of water shortage. However, it is important to note that to know the feasibility of incorporating this new supply of water is necessary to complement this study with analysis of other variables in the economic, social and environmental aspects.

Keywords: Water desalinated, Copiapó River basin, water supply, water demand.

1 INTRODUCCIÓN

El agua es considerada mundialmente como un factor fundamental para el desarrollo productivo de los sectores económicos. A lo largo del tiempo, hemos visto cómo el crecimiento de estos sectores se ha traducido en un mayor uso de agua y, por consiguiente, una menor disponibilidad de este recurso natural (Olmeda, 2006; Thorpe y Aguilar, 2010).

Si bien nuestro país es considerado como privilegiado en materia de recursos hídricos, al poseer una escorrentía media total de 53.000 m³/persona/año, cifra muy superior a la media mundial (6.600 m³/persona/año), la distribución a lo largo de él es muy desigual. Mientras que en la zona sur del país el valor medio supera los 10.000 m³/persona/año por región, desde la Región Metropolitana al norte la disponibilidad media está por debajo de los 800 m³/persona/año en cada región (World Bank, 2010).

Esta escasez de agua en la zona norte del país, ha generado una fuerte competencia entre los principales usuarios de este recurso por su acceso; minería, agricultura y empresas de suministro de agua potable han aumentado su demanda producto del crecimiento demográfico, los nuevos hábitos alimenticios, el desarrollo industrial, entre otros (CEPAL y OCDE, 2005; Saavedra, 2009).

Una de las situaciones más críticas se presenta en la cuenca del Río Copiapó, en donde la sequía que afecta a la zona y el otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) por sobre la oferta natural, ha llevado a decretar zona de prohibición de explotaciones de aguas subterráneas en los sectores con mayor demanda de la cuenca (DGA, 2008). Lo anterior, sumado a la creciente demanda de agua por parte de la minería, la agricultura y el consumo doméstico, han provocado una alta presión al sistema hídrico en la cuenca (Godoy, 2010).

Para abordar el problema de la sobreexplotación del recurso, las principales actividades productivas a lo largo de los años han mejorado su eficiencia en el uso del agua. Alrededor del 88% de la superficie agrícola ha implementado riego tecnificado y solo un 12% es con riego gravitacional (CNR, 2009). La minería en cinco años ha reducido significativamente las pérdidas hídricas del sistema, aumentando la recirculación y mejorando la eficiencia de los procesos. Minera Candelaria, ubicada en la cuenca del Río Copiapó es una de las empresas que realiza el mayor reciclaje de agua, reutilizando alrededor de un 87% del recurso (COCHILCO, 2012).

Por otro lado, se han realizado diversos estudios que proponen modelos y/o métodos de gestión del recurso hídrico en la cuenca. Uno de los primeros estudios fue realizado por la empresa consultora Álamos y Peralta (1987), en donde proponen un modelo numérico del acuífero que permite realizar simulaciones del balance hídrico y escenarios de explotación.

En los años posteriores, SERNAGEOMIN (Aguirre *et al*, 1999) y DGA (2003) realizaron estudios hidrogeológicos y evaluación de los recursos subterráneos en la cuenca. La empresa Golder Associates (2006), la cual, además de actualizar la información de los estudios anteriores generó un nuevo modelo de explotación sustentable de los recursos hídricos, junto con proponer medidas para una mejor gestión y explotación de los recursos de manera sustentable. Finalmente el año 2010, la División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad Católica (DICTUC) presenta un estudio que a partir de un modelo hidrológico de la cuenca, evalúa distintos escenarios que orientan el uso sustentable y eficiente de los recursos hídricos de la cuenca.

En el año 2006 se creó la Mesa del Agua, instancia público-privada, que reunía a usuarios de aguas subterráneas (regantes, minería, agroindustrias, empresas sanitarias y poblaciones urbanas), con el objetivo de estimular acuerdos y compromisos entre los actores para abordar iniciativas que mejoren las capacidades respecto del uso del agua y el ordenamiento general del sistema hídrico (CONAMA y DGA, 2009).

Uno de los trabajos más recientes comenzó en mayo de 2012, en el cual la Dirección General de Aguas (DGA) en conjunto con la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), agencia australiana experta en recursos hídricos realiza un estudio que tendrá como resultado una evaluación del uso del recurso hídrico en la cuenca, perfiles y proyecciones de su futura demanda, permitiendo sentar las bases del futuro del agua en la zona y conocer las tecnología y herramientas de gestión necesarias para enfrentar los problemas de abastecimiento (DGA, 2012b).

Si bien, se están realizando esfuerzos para mejorar la gestión del agua en la cuenca, éstas no han sido suficientes para asegurar el suministro de agua a las actividades productivas. Por ello, la minería se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas que permitan enfrentar esta limitada disponibilidad del recurso, entre ellas, la desalación de agua de mar.

El año 2008 comienza la tramitación ambiental de El Morro, primer proyecto minero que incluye la construcción de una planta desaladora en la cuenca del Río Copiapó, el cual se encuentra detenido, debido a que en marzo de 2011 la Corte de Apelaciones de Antofagasta fallara contra la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), principalmente a causa de que el proyecto no cumple con las exigencias de la Ley Indígena (FIMA, 2012). Luego, en los años 2009 y 2010 dos mineras apostaron por esta nueva oferta de agua, Compañía Minera del Pacífico S.A y Candelaria, las cuales producirán 600 y 500 L/s de agua desalada respectivamente (ARCADIS, 2010; Gestión Ambiental Consultores, 2009).

A partir de estas dos nuevas ofertas de agua, el presente estudio presenta una propuesta de escenarios de simulación de distribución de agua desalada a partir de la caracterización de oferta y demanda hídrica en la cuenca, teniendo como supuesto que una vez que las empresas mineras satisfagan su demanda hídrica, transarán el excedente de agua desalada a los otros usos de agua en la cuenca.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Analizar escenarios futuros de la incorporación de agua desalada en el sistema hídrico de la cuenca del Río Copiapó según la caracterización espacial de la oferta y demanda de agua.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar espacialmente la oferta y demanda de aguas superficiales y subterráneas en los sectores acuíferos de la cuenca.
- Analizar espacialmente la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca.
- Analizar escenarios futuros de la distribución de agua desalada en la cuenca del Río Copiapó.

2 MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Área de Estudio

La cuenca del Río Copiapó se localiza entre los paralelos 27° y 29° de latitud Sur y los 69° y 71° de longitud Oeste en la Región de Atacama, provincia de Copiapó, abarcando una superficie aproximada de 18.407 km², equivalente al 25% del área total de la región (Errázuriz *et al*, 1998).

El río Copiapó se forma a 1.230 m.s.n.m., en donde confluyen sus dos tributarios más importantes, el río Pulido y el río Jorquera. Aguas abajo se agrega el río Manflas, que aporta un reducido caudal, estos tres ríos son los que aportan prácticamente la totalidad de los caudales superficiales en la cuenca (PNUMA, 2007).

Desde el punto de confluencia entre los ríos Pulido y Jorquera, el cauce se inclina en dirección nornoroeste hasta la Quebrada de Paipote, a partir de ahí desciende suavemente en dirección noroeste hasta llegar a la ciudad de Copiapó para desembocar finalmente en el Océano Pacífico (CONAMA y DGA, 2009). Además, la cuenca cuenta con regulación artificial proporcionada por el embalse Lautaro, el cual se construyó en el año 1936 con una capacidad de almacenamiento inicial de 42 millones de m³; su promedio histórico mensual es de 10 millones de m³ y actualmente (año 2012) tiene un 1,3% de su capacidad total (JVRC, 2012a; JVRC 2012b; DGA 2012c) (ver Figura 1).

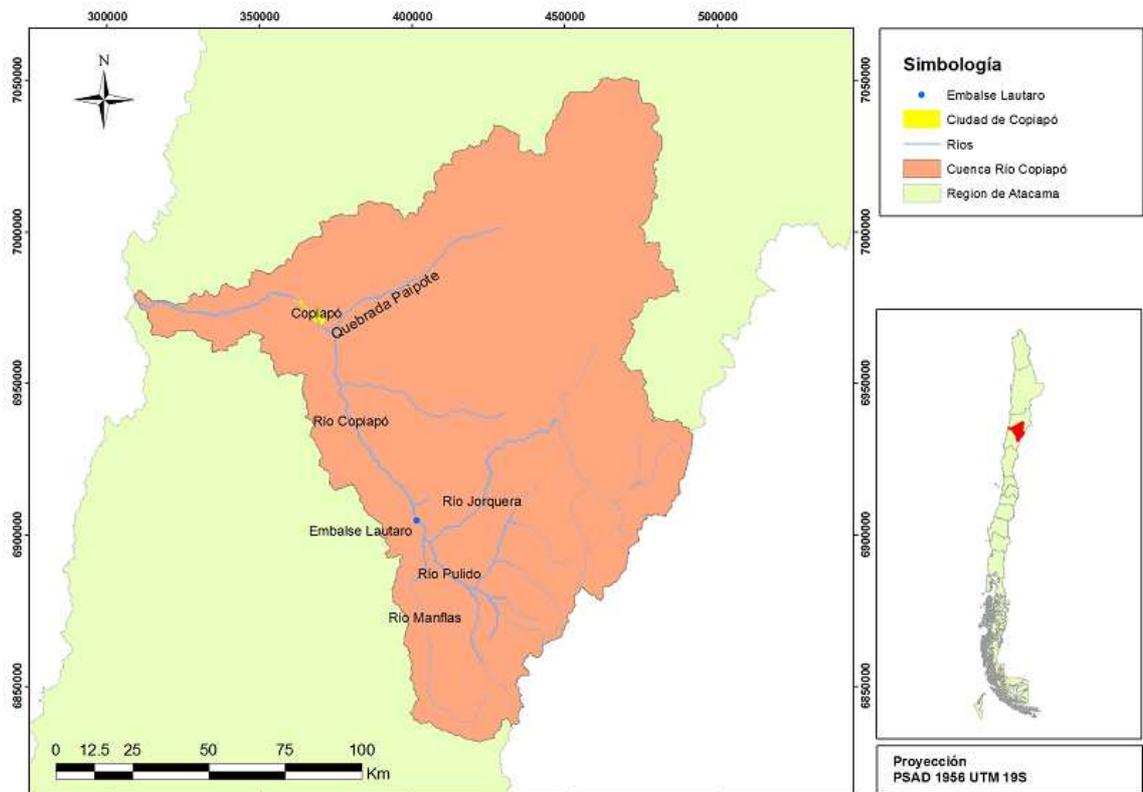


Figura 1. Cuenca del Río Copiapó

La cuenca presenta un clima de tipo semiárido con temperatura media anual de 17,8 °C y precipitación media anual de 36,8 mm. Los Cuadros 1 y 2 muestran las variaciones de temperaturas y precipitaciones medias mensuales en estaciones que operan en la zona (DICTUC 2010c).

Cuadro 1. Temperatura media mensual y anual en estaciones de la cuenca.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
	(°C)												
Canto de Agua	20,50	20,30	19,70	17,40	15,10	13,10	12,90	14,20	15,50	16,50	18,00	19,30	16,90
Conay Albaricoque	20,50	20,30	19,40	17,10	15,10	13,90	13,70	14,90	15,80	17,40	18,60	19,90	17,20
Copiapó	20,40	20,40	19,50	17,30	15,10	13,40	12,50	14,00	15,10	16,30	17,50	19,10	16,70
Iglesia Colorada	20,90	21,20	20,30	19,10	17,00	16,00	15,70	16,30	17,00	18,90	19,60	20,70	18,60
Lautaro	22,10	22,00	21,50	19,70	18,00	16,60	16,70	17,70	18,30	19,70	20,70	21,60	19,60
Los Loros	21,60	20,90	20,10	17,90	16,00	15,40	14,80	15,90	16,50	18,10	19,70	20,60	18,10
Promedio	21,00	20,90	20,10	18,10	16,10	14,70	14,40	15,50	16,40	17,80	19,00	20,20	17,80

Fuente: DICTUC 2010c.

Cuadro 2. Precipitación media mensual y anual en estaciones de la cuenca

Estación	Altitud (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año Cal.	Año Hid. (Abr - Mar)
		(mm)													
Caldera	15	0,00	0,00	0,80	0,40	1,30	5,30	4,90	5,10	0,50	0,00	0,00	0,00	18,00	17,60
Canto de Agua	330	0,20	0,00	0,40	1,20	3,10	9,70	8,80	6,60	0,40	0,40	0,00	0,20	30,10	30,60
Conay Albaricoque	1.600	0,10	1,80	2,60	3,10	8,50	26,10	19,80	14,00	0,50	0,00	0,80	1,00	57,60	64,80
Copiapo	385	0,00	0,00	1,10	0,20	1,40	6,00	4,30	3,80	0,20	0,00	0,00	0,10	17,10	17,60
El Totoral	150	0,20	0,00	0,70	0,90	3,00	10,10	7,60	5,00	0,30	0,30	0,00	0,00	28,30	28,90
Elibor campamento	750	0,00	0,00	1,00	0,60	2,60	9,10	7,50	5,90	0,40	0,10	0,00	0,00	27,70	27,70
Hacienda Manflas	1.410	0,20	0,20	1,90	2,90	4,80	13,30	10,20	10,30	1,00	0,60	0,00	0,10	44,90	44,70
Iglesia Colorada	1.550	0,20	0,20	1,50	4,00	6,00	12,20	10,90	9,50	1,40	0,80	0,00	0,30	49,70	50,40
Jorq. la Guardia	2.000	0,20	1,40	3,20	3,50	6,40	13,30	7,30	7,60	2,80	1,30	0,10	0,30	48,70	47,90
Las Vegas	2.250	0,00	1,00	2,90	0,80	5,70	6,60	26,40	4,50	0,80	0,20	0,00	0,00	50,80	49,40
Lautaro	1.110	0,30	0,40	2,70	2,40	4,20	8,90	8,10	8,80	1,50	0,30	0,20	0,20	35,00	36,80
Los Loros	940	0,00	0,00	1,20	1,40	2,80	10,50	9,30	8,10	0,90	0,10	0,00	0,10	34,70	35,60
Pastos Grandes	2.260	0,00	1,60	3,20	1,80	3,40	8,90	9,80	4,80	2,30	0,70	0,00	0,20	35,40	36,30
Promedio		0,11	0,51	1,78	1,78	4,09	10,77	10,38	7,23	1,00	0,37	0,08	0,19	36,77	37,56

Fuente: DICTUC 2010c.

El régimen de escurrimiento del río Copiapó es de tipo mixto, es decir su caudal procede de las lluvias y del derretimiento de glaciares, siendo los más importantes Los Helados, Marancel y Cerro del Potro ubicados en la alta cordillera. En el Cuadro 3 se muestran los caudales medios mensuales mínimos, máximos y promedios registrados en la cuenca del río Copiapó en un período de 30 años (DICTUC, 2010c).

Cuadro 3. Series de caudales anuales en las estaciones de la cuenca

Estación Fluviométrica	Min.	Max.	Prom.
	(m ³ /s)		
Río Copiapó en Angostura	0,10	5,29	0,44
Río Copiapó en Mal Paso Aguas Arriba Canal	0,23	4,88	1,06
Río Copiapó en Mal Paso Aguas Abajo Canal	0,69	1,28	0,99
Río Copiapó en ciudad de Copiapó	0,33	7,19	1,93
Río Copiapó en Lautaro	0,37	4,53	1,29
Río Copiapó en Pastillo	0,72	4,83	1,79
Río Copiapó en La Puerta	0,79	9,92	2,41
Río Copiapó en San Antonio	0,33	5,99	1,50
Río Jorquera en Vertedero	0,17	2,96	0,72
Canal Mal Paso después de Bocatoma	0,19	1,33	0,72
Río Manflas en Vertedero	0,09	2,58	0,46
Río Pulido en Vertedero	0,42	3,76	1,43

Fuente: DICTUC 2010c.

El río Copiapó está hidráulicamente conectado con su acuífero, lo que se observa en el estrechamiento de los valles donde hay afloramientos importantes desde el acuífero al río. Por su parte, el acuífero se recarga con la infiltración de las aguas del río Copiapó y por los sistemas de regadío del valle. El agua subterránea se encuentra a profundidades que van entre los 4 y 50 metros por debajo de la superficie, localizándose las mayores distancias entre la superficie y el nivel del agua en sectores aguas arriba de la ciudad de Copiapó (Golder Associates, 2006; DICTUC, 2010d).

2.2 Materiales

La información incluida en este estudio se obtuvo de fuentes secundarias, tales como informes técnicos, publicaciones periódicas y documentos electrónicos.

La información de las plantas desaladoras de agua de mar presentes en la cuenca se obtuvo de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y/o Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) ingresadas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Para la espacialización de las variables de estudio se utilizó información cartográfica entregada por la DGA y el Programa Territorial Integrado (PTI) Hídrico Atacama, las cuales se encuentran referenciadas en Datum WGS 1984 y PSAD 1956, ambos en proyección UTM 19S. El procesamiento de estas cartografías fue realizado en programas de Sistema de Información Geográfica (SIG).

2.3 Método

Los objetivos planteados se abordaron siguiendo la metodología que se presenta a continuación, la cual permitió analizar escenarios futuros de la incorporación de agua desalada, a partir de un previo análisis del balance entre la oferta y la demanda hídrica en la cuenca.

2.3.1 Caracterización de la oferta y demanda de aguas superficiales y subterráneas en los sectores acuíferos de la cuenca

2.3.1.a Caracterización de la cuenca

Como en Chile las aguas superficiales y subterráneas se manejan de forma independiente (Instituto de Ingenieros de Chile, 2012), primero, fue necesario realizar una recopilación de antecedentes relacionados a la administración, distribución y usos de las aguas, para

posteriormente caracterizar la oferta y demanda en la cuenca en función de la misma unidad territorial (sectores acuíferos).

2.3.1.b Caracterización de la oferta y demanda

En conjunto a la recopilación anterior, se revisaron informes, estudios y registros que permitieron obtener un catastro de DAA y acciones de aguas superficiales y subterráneas concedidas a los usuarios de agua. Además, se obtuvieron datos de las estimaciones del caudal de recarga de agua, tanto superficial como subterránea, y de la demanda hídrica, los cuales fueron generados por un modelo hidrológico de simulación de la cuenca realizado por el DICTUC. El detalle del procedimiento que utilizó esta empresa para obtener dichos datos se describe en el Apéndice I.

A partir de estos datos, se definió la oferta a partir de los valores estimados de caudales de recarga al sistema superficial y al sistema subterráneo. Luego se definieron dos demandas, la demanda legal y la demanda real. La primera contempla los caudales otorgados en DAA a los usuarios en la cuenca. Los caudales subterráneos se obtuvieron directamente de la fuente de información, ya que la administración de este sistema es en función a la unidad territorial de estudio (los sectores acuíferos). Por su parte, los caudales superficiales que son distribuidos por la Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes (JVRC) a las comunidades de agua y administrados en nueve distritos, se obtuvieron de información entregada por la misma institución. De manera que, utilizando el documento “Unifilar: Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes” (JVRC, 2011) y las unidades territoriales señaladas en el Cuadro 4, se relacionaron los canales y comunidades de aguas de cada distrito con los sectores acuífero y sus usos, con el objetivo de homogeneizar los datos de oferta y demanda en una misma unidad territorial. La demanda real se obtuvo directamente de los datos estimados por DICTUC (2010d), según uso y sector acuífero.

Finalmente se realizaron dos balances; el primero entre la oferta y la demanda legal y el segundo entre la oferta y la demanda real. Estos resultados fueron integrados en un SIG y visualizados espacialmente.

Cuadro 4. Distribución de unidades territoriales

Unid. Territorial	Subcuencas	Sectores de Riego	Distritos
Sec. Acuífero			
Sector 1.	Manflas	Manflas	–
Aguas arriba del Embalse Lautaro	Interm. Manflas - Junta Pulido	Pulido	–
	Jorquera	Jorquera	–
	Inter. Junta - Lautaro	Junta – Lautaro	1

Unid. Territorial	Subcuencas	Sectores de Riego	Distritos
Sec. Acuífero			
Sector 2. Embalse Lautaro - La Puerta	Interm. Lautaro - La Puerta	Lautaro – La Capilla La Capilla – San Antonio San Antonio – La Puerta	1 2 3
Sector 3. La Puerta - Mal Paso	Interm. La Puerta- Pabellón Interm. Pabellón - Mal Paso Lateral Quebrada Carrizalillo	La Puerta – La Turbina La Turbina – El Yeso El Yeso – Comp. Negras Pabellón Pabellón – Cerrillos Cerrillos –Mal Paso	3 4 4 5 5 6
Sector 4. Mal Paso - Copiapó	Interm. Mal Paso - Copiapó Lateral Quebrada Paipote	Mal Paso – Palermo Palermo – La Florida La Florida – Copiapó	6 7 8, 9
Sector 5. Copiapó - Pied. Colgada	Interm. Copiapó - Pied. Colgada	Copiapó – Chamonate Chamonate – P.Colgada	– –
Sector 6. Pied. Colgada- Angostura	Interm Piedra Colgada - Valle Fértil Interm. Valle Fértil - Angostura	Piedra Colgada – Valle Fértil Valle Fértil – Angostura	– – –

Fuente: DICTUC 2010d

2.3.2 Análisis espacial de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca.

2.3.2.a Desalación de agua

A pesar de que la desalación de agua ha operado hace más de una década en Chile, aún es un proceso inusual y desconocido (Álvarez y Bofill, 2012). Para conocer y contextualizar sobre la evolución e importancia de la desalación en el mundo, se realizó una breve descripción de la historia de ésta y de las experiencias de desalación en nuestro país.

2.3.2.b Análisis de la incorporación de agua desalada a la cuenca

Luego de conocer las experiencias internacionales y nacionales de desalación, se identificaron las desalinizadoras que actualmente se encuentran en construcción y/o aprobadas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en la cuenca del Río Copiapó. Luego se revisaron sus Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y/o Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), desde donde se extrajo la información referente a sus objetivos, sectores de abastecimiento y capacidad de producción.

Una vez obtenida la información, los datos del caudal a desalar por cada empresa, se incorporaron a los valores obtenidos anteriormente en la oferta hídrica, en su respectivo sector acuífero.

Con esta nueva oferta de agua para la cuenca, se realizó un balance entre ésta y la demanda real estimada en cada sector acuífero, visualizando los resultados espacialmente a través de la integración de la información a un SIG.

2.3.3 Análisis de escenarios futuros de la distribución de agua desalada en la cuenca del Río Copiapó

Se proponen tres escenarios de simulación espacial, orientados a visualizar nuevas condiciones de aprovechamiento del agua desalada para los diferentes usos de agua en la cuenca. Para el propósito de esta evaluación, y según lo declarado los DIAs y/o EIAs de los proyectos de desalación, se consideró el siguiente supuesto: una vez que las empresas mineras, propietarias de las desaladoras, satisfagan su demanda hídrica, transarán el excedente de agua desalada a los otros usuarios de agua en la cuenca. Para la distribución del agua desalada sólo se consideró el factor de disponibilidad de agua, prescindiendo de los factores económicos, ambientales, sociales y de calidad de agua.

Como la demanda hídrica de la minería, presentada anteriormente, fue estimada para el conjunto de las mineras en cada sector acuífero, se realizó un nuevo cálculo de la demanda hídrica para cada empresa minera que desalará agua de mar. Para esto, se ponderaron los valores de la producción de mineral (Ton/día) y la tasa de consumo de agua de cada minera (m^3 /Ton), resultando una nueva demanda (L/s). Finalmente, de la diferencia entre el caudal de agua desalada por cada empresa y esta nueva demanda, se obtuvo el caudal excedente disponible para transar a otros usuarios.

De esta manera fueron propuestos los escenarios de distribución de agua desalada a partir del análisis de los resultados obtenidos en el objetivo 1, los cuales se presentan a continuación:

Escenario 1: El caudal disponible se distribuye a todos los usos de agua en el sector acuífero con mayor déficit hídrico.

Escenario 2: El caudal disponible se distribuye al uso que ha tenido el mayor problema de abastecimiento de agua en la cuenca.

Escenario 3: El caudal disponible se distribuye al uso que tiene mayor demanda hídrica en todos los sectores acuíferos.

El análisis de estos escenarios se realizó a través de la comparación gráfica entre la distribución del caudal de agua desalada a los usos de agua de la cuenca con sus respectivos déficit hídricos. El caudal de agua desalada se repartió a cada uso de forma proporcional a su demanda estimada en cada sector acuífero, mientras que el déficit hídrico se obtuvo de la diferencia entre la oferta y la demanda real estimada.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización espacial de la oferta y demanda de aguas superficiales y subterráneas en los sectores acuíferos de la cuenca

3.1.1 Caracterización de la cuenca

Las aguas superficiales y subterráneas se destinan principalmente al uso de la agricultura, minería y de agua potable (CONAMA y DGA, 2009), a continuación se detallan su distribución y administración.

3.1.1.a Aguas Superficiales

Las aguas superficiales son administradas en seis subcuencas que integran la cuenca del Río Copiapó. En la Figura 2 se observa que en la zona alta se presenta la subcuenca del Río Jorquera, la cual tiene una superficie de 4.166 km² seguida de la subcuenca del Río Pulido con 2.033 km² y la subcuenca del Río Manflas con una superficie de 1.213 km². En la parte media de la cuenca se encuentra la subcuenca de la quebrada del Río Paipote con una superficie de 6.689 km² y la subcuenca del Río Copiapó Medio, con una superficie de 2.943 km² aproximadamente. En el último tramo se encuentra la subcuenca del río Copiapó Bajo con una superficie de 1.363 km² (CONAMA y DGA, 2009).

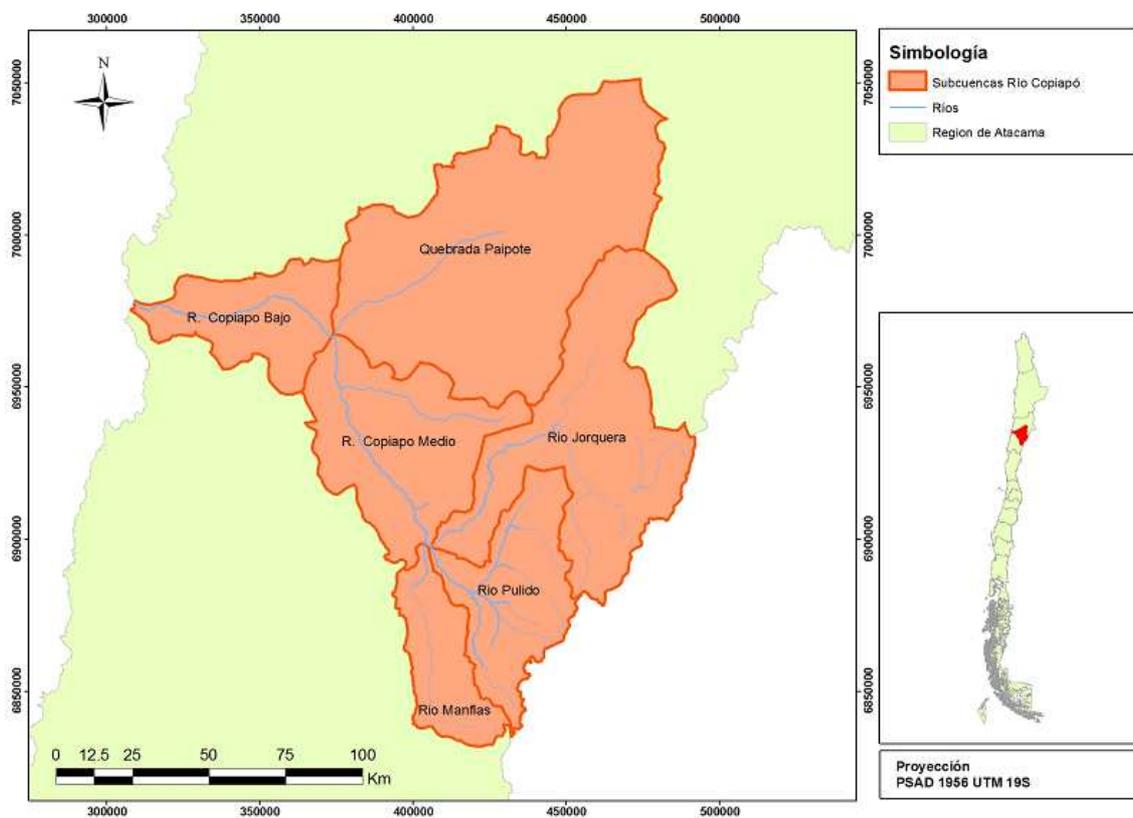


Figura 2. Subcuencas del Río Copiapó

Desde el año 1996 las aguas superficiales son administradas por la Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC) la cual reúne a 52 comunidades de agua, las que se reparten 11.978 acciones de agua. Los canales que están bajo su administración se dividen en nueve distritos a lo largo del río Copiapó, desde la parte alta de la cuenca hasta la ciudad de Copiapó (ver Figura 3). De acuerdo a la Ordenanza de Policía Fluvial y de Regadío para el Valle de Copiapó, dictada el año 1875 por la Intendencia de Atacama los regantes que se encuentran aguas abajo de la ciudad de Copiapó no son parte de las comunidades de agua asociadas a la JVRC (Universidad de Concepción, 2011). En el Cuadro 5 se muestra el número de comunidades, comuneros y acciones distribuidas en los nueve distritos y en los tres tributarios del río Copiapó.

Cuadro 5. Número de comunidades, comuneros y acciones por distrito

Distrito	Comunidades	Comuneros	Acciones
Distrito I	8	33	708
Distrito II	2	10	720
Distrito III	6	33	721
Distrito IV	5	25	748
Distrito V	2	10	1.330

Distrito	Comunidades	Comuneros	Acciones
Distrito VI	6	67	1.451
Distrito VII	11	205	1.769
Distrito VIII	3	694	2.540
Distrito IX	1	10	683
Jorquera	3	7	1.008
Pulido	5	11	156
Manflas	0	5	144
Total	52	1.110	11.978

Fuente: Universidad de Concepción 2011.

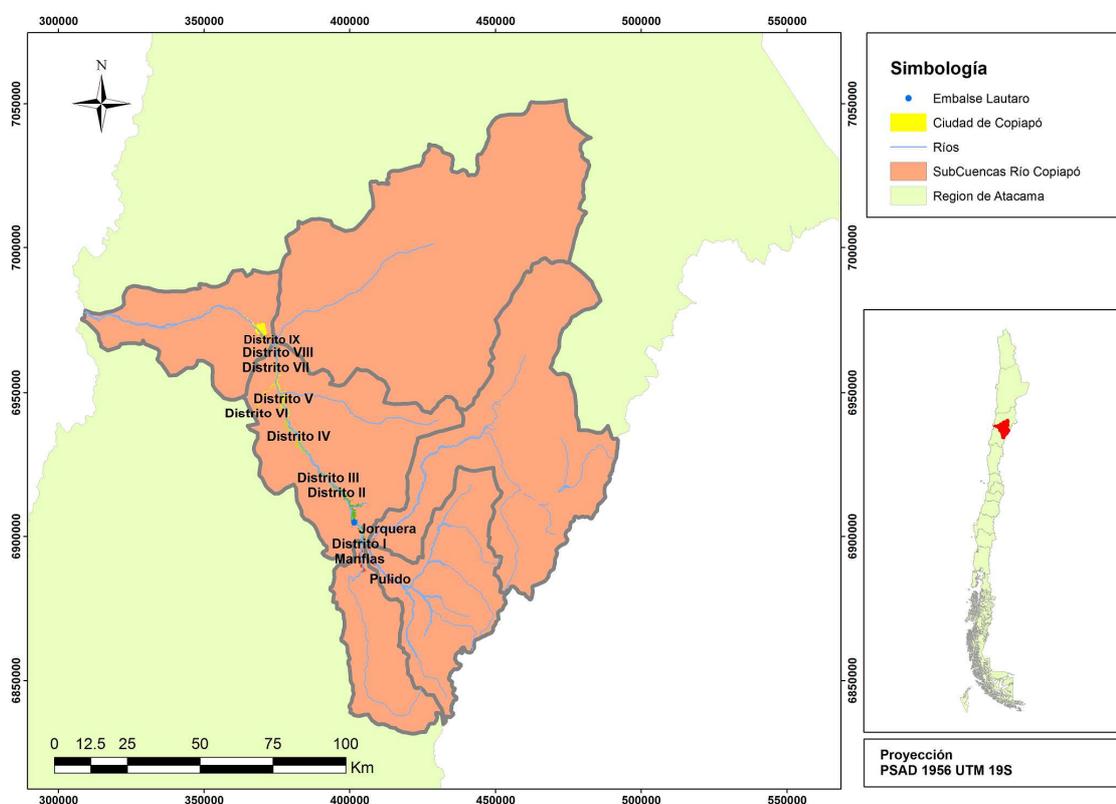


Figura 3. Ubicación de los distritos de la cuenca del Río Copiapó.

El reparto de las aguas superficiales se realiza siguiendo los siguientes puntos establecidos desde el año 1987 (JVRC, 2010):

- A todos los distritos se les entregara el mismo caudal de agua (50 a 350 L/s).
- El caudal se repartirá en cada distrito conforme a sus acciones (equivalencia).
- La idea es aumentar el reparto en los meses de alta demanda.

- Todo está en función de la disponibilidad de agua según el sector La Puerta y el Embalse Lautaro (ver Figura 4).
- La cota mínima de resguardo del embalse Lautaro, queda establecida a la cota 9 m.

En el Cuadro 6 se muestran las acciones entregadas por distrito y sus respectivos caudales entregados en temporada de alta y de baja demanda. Además se incluye los cambios en la entrega de agua por distrito, publicados el 15 de noviembre de 2012 por la JVRC la cual señala:

“Debido al inminente agotamiento del volumen de aguas acopiadas en el Embalse Lautaro a la fecha, (un 1,3% de su capacidad) y teniendo en consideración además el exiguo caudal del Río Copiapó, junta de los tres río tributarios, Manflas, Pulido y Jorquera (debido a la escasa nieve caída durante el invierno de 2012), y tratando de velar por la mejor distribución del escaso recurso hídrico, se procederá a efectuar el siguiente reparto para las distritos de aguas” (JVRC, 2012a. p.1).

Cuadro 6. Caudales superficiales y acciones por temporada

Distrito	Nombre del Sector	Mayor	Menor	Caudal	Q/Acción	Q/Acción	Q/Acción
		Demanda (sept-feb)	Demanda (mar-sept)	entregado Año 2012	Mayor demanda	Menor demanda	Año 2012
(L/s)							
Distrito I	Rodeo - Goyo Díaz	200	70	100	0,28	0,10	0,14
Distrito II	Goyo Díaz - San Antonio	200	70	100	0,28	0,10	0,14
Distrito III	San Antonio - La Puerta	200	70	100	0,28	0,10	0,14
Distrito IV	La Puerta – Pabellón	200	70	100	0,27	0,09	0,13
Distrito V	Pabellón – Cerrillos	200	70	100	0,15	0,05	0,08
Distrito VI	Cerrillos- Nantoco	200	140	100	0,14	0,10	0,07
Distrito VII	Nantoco - Fundación Hernán Videla Lira	200	140	100	0,11	0,08	0,06
Distrito VIII	Fundación Hernán Videla Lira - Ciudad de Copiapó	200	140	100	0,08	0,06	0,04
Distrito IX	Ciudad de Copiapó –Est. Fluviométrica Copiapó	67	47	70	0,10	0,07	0,10
Río Jorquera	Rodeo - Goyo Díaz	120	60	60	0,12	0,06	0,06
Río Pulido	Goyo Díaz - San Antonio	120	50	50	0,77	0,32	0,32
Río Manflas	San Antonio - La Puerta	20	10	10	0,14	0,07	0,07
Total		1.927	937	990	2,71	1,19	1,15

Fuente: JVRC 2010 y JVRC 2012a.

Los datos entregados reflejan la situación de escasez hídrica que actualmente vive la cuenca, en donde la JVRC ha tenido que repartir el caudal en partes alícuotas debido a que el río no contiene la cantidad suficiente de agua para satisfacer la demanda. Los comuneros más afectados son los de los distritos VII y VIII, ya que al poseer un alto número de acciones, el caudal por acción que se les entrega es muy bajo, lo que les ha impedido el cultivo de una importante cantidad de parronales y olivos (DICTUC, 2010a)

Del total de acciones entregadas, el 60% se destina al riego agrícola, el 3% para áreas verde y el 37% se encuentran sin uso o sin información del uso. El alto porcentaje de acciones sin uso o sin información se debe a que usuarios agrícolas han vendido sus acciones a empresas mineras, las que a la fecha no se encuentran registradas (Universidad de Concepción, 2011).

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

3.1.1.b Aguas subterráneas

El acuífero del valle del Copiapó se encuentra dividido en seis sectores administrativos (Álamos y Peralta, 1987). En la Figura 4 se muestra la disposición espacial de estos.

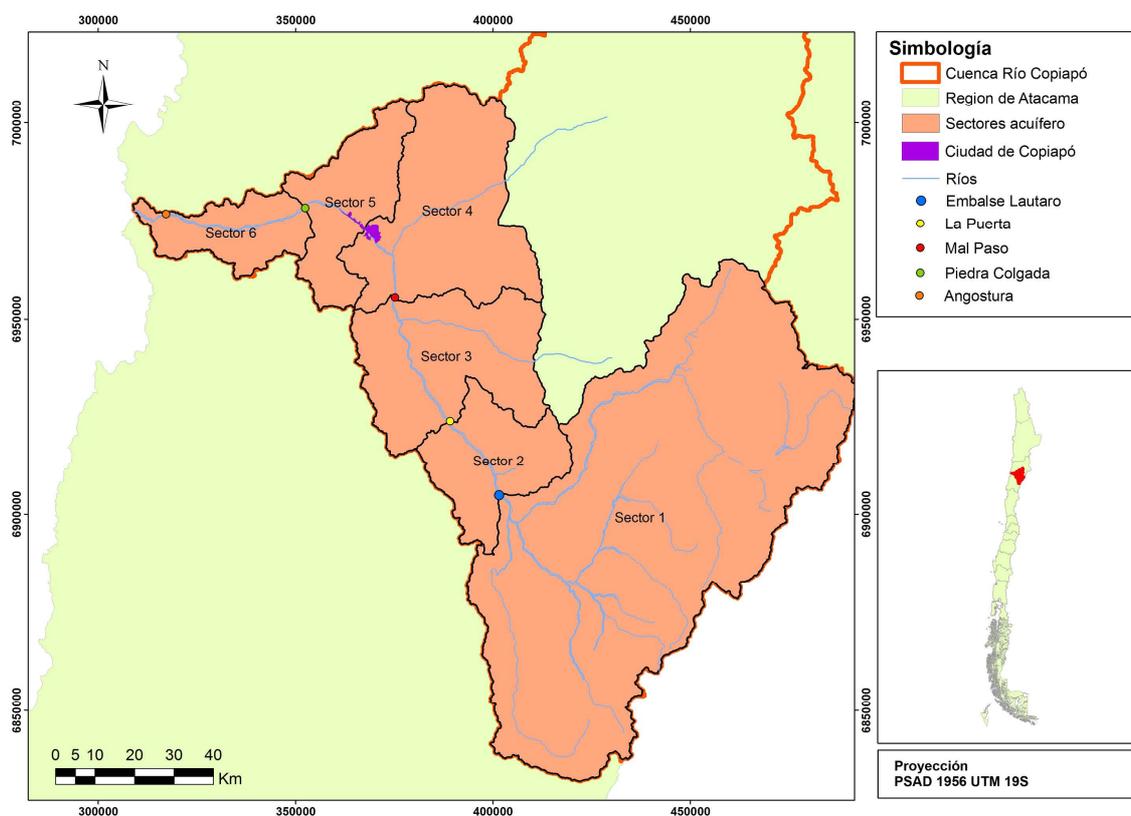


Figura 4. Sectores administrativos del acuífero de Copiapó

Los sectores se describen a continuación (DICTUC, 2010d):

Sector 1. Aguas arriba Embalse Lautaro: Abarca las subcuencas del río Manflas, río Pulido y río Jorquera. En esta zona se desarrolla la agricultura y la ganadería menor en los humedales, realizada principalmente por las comunidades Colla que habitan en la cuenca, además se desarrollan proyectos de explotación minera.

Sector 2. Embalse Lautaro – La Puerta: Se localiza en la parte alta de la cuenca del Río Copiapó Medio. En esta área se encuentra el embalse Lautaro, la obra de regulación de flujo más importante de la cuenca, siendo un factor importante en la recarga del acuífero. En este sector se concentra una importante parte de las actividades agroindustriales.

Sector 3. La Puerta – Mal Paso: Se encuentra en la parte baja de la cuenca del río Copiapó Medio. En esta área existen afloramientos de agua a la superficie, obras de canalización para riego y un desarrollo importante de la agroindustria.

Sector 4. Mal Paso – Copiapó: Este sector incluye una porción de la subcuenca del río Copiapó Bajo, río Copiapó Medio y la parte baja de la subcuenca Quebrada Paipote. En esta parte se concentra la porción urbana de la cuenca, se realiza una alta explotación minera y se desarrolla gran parte de la agricultura de la cuenca. Es en este sector en donde se extrae la mayor cantidad de agua subterránea para abastecer de agua potable a la población de la cuenca.

Sector 5. Copiapó – Piedra Colgada: Se localiza en la subcuenca del río Copiapó Bajo. En este sector también se realiza extracción de agua subterránea para el abastecimiento de agua potable, pero en mucha menos proporción que el Sector 4. Esta porción se caracteriza principalmente por la existencia de parcelas de agrado.

Sector 6. Piedra Colgada – Angostura: Es la parte más baja de la cuenca del río Copiapó la cual se caracteriza, junto con el Sector 5, por la presencia de humedales en torno al cauce del río y en su desembocadura al mar. El área se caracteriza por la presencia de cultivos de olivos.

En la Figura 5 se presenta la evolución temporal en los caudales otorgados (L/s) desde el año 1965 hasta el 2005, en ésta se observa que los caudales se incrementaron significativamente a partir del año 1980, alcanzando un caudal de hasta 3.883 L/s en el año 1985, (DICTUC, 2010a).

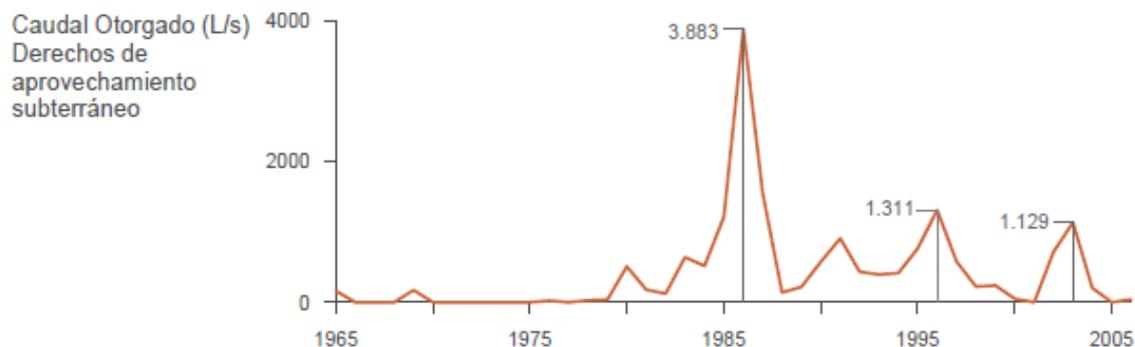


Figura 5. Evolución temporal del caudal otorgado en la Cuenca del Río Copiapó
Fuente: DICTUC 2010a.

De los 440 derechos subterráneos otorgados actualmente en el valle de Copiapó, equivalente a 19.622 L/s, el 99,2% son de uso consuntivo y el 0,8% de uso no consuntivo. De estos, un 55% está destinado al riego, 15,6% a la minería y un 8% para agua potable (DICTUC, 2010b; DGA, 2012a).

En el año 1993 la cuenca fue declarada zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas mediante la Resolución DGA N° 193. Posteriormente en el año 1994, la zona de prohibición fue modificada excluyendo la zona de recarga de las quebradas laterales afluentes al río Copiapó en su tramo superior. Finalmente, el año 2001 se revisan y analizan nuevos antecedentes y se concluye que no se cumplen las condiciones para que se mantenga la zona de prohibición en los sectores acuíferos 5 y 6. Mediante la Resolución DGA N° 162 se alza la zona de prohibición y se declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas en los sectores acuíferos 5 y 6. Es así como la DGA otorgó derechos provisionales en estos sectores por un caudal total de 1.400 L/s, los cuales, en conjunto a los DAA de carácter definitivos, son administrados por la Comunidad de Aguas Subterráneas (CASUB) (DGA, 2008).

3.1.1.c Uso Agrícola

El riego es el uso de mayor demanda de agua en la cuenca, extrae alrededor del 60% de las aguas superficiales y el 56% de las aguas subterráneas. Según el estudio realizado por DICTUC (2010b), en la cuenca existe un área cultivada de 12.753 Ha, de las cuales 9.004 Ha son parronales, 1.293 Ha son olivos y 1.234 Ha son hortalizas, el resto de la superficie corresponde a alfalfa, maíz y frutales que comprenden alrededor del 10% del área cultivada en el valle. Con respecto al sistema de riego, 11.070 Ha se riegan por goteo y 1.114 por tendido, abarcando ambas alrededor del 95% del área total regada. En los Cuadros 7 y 8 se muestran los cultivos y el tipo de riego que se desarrolla en cada sector acuífero de la cuenca.

Cuadro 7. Superficies según tipo de riego en la cuenca del Río Copiapó

Sector	Aspersión	Goteo	Micro-			Sin Información	Total
			Aspersión	Surco	Tendido (Ha)		
Sector 1	13	1.571	2	0	0	0	1.586
Sector 2	0	2.282	5	0	0	0	2.287
Sector 3	0	3.184	0	1	0	12	3.197
Sector 4	0	554	0	77	465	24	1.119
Sector 5	0	2.106	0	0	238	82	2.427
Sector 6	0	1.373	0	1	410	94	1.878
Total	13	11.070	7	78	1.113	212	12.494

Fuente: DICTUC 2010a

Cuadro 8. Superficies según tipo de cultivo en la cuenca del Río Copiapó

Sector	Parronales	Olivos	Hortalizas	Granado	Otros	Sin	
						Información	Total
Sector 1	1.557	0	2	0	27	0	1.586
Sector 2	2.282	0	5	0	0	0	2.287
Sector 3	3.185	0	0	0	0	12	3.197
Sector 4	606	80	294	0	116	24	1.119
Sector 5	1.350	89	400	490	16	82	2.427
Sector 6	24	1.124	533	32	71	94	1.878
Total	9.004	1.293	1.234	522	230	212	12.494

Fuente: DICTUC 2010a

Lo anterior muestra que en la cuenca existe una alta eficiencia del uso del agua, más del 88% de las hectáreas son regadas por goteo, un sistema que aumenta el rendimiento y el ahorro de agua en cultivo de frutales, llegando a ahorrar hasta un 48% de agua con respecto al riego tradicional. Las 1.113 Ha regadas por tendido son principalmente de pequeños agricultores de frutales y hortalizas (Lutenberg, 2012).

3.1.1.d Uso Minero

Dentro de la cuenca del Río Copiapó hay instaladas alrededor de 34 plantas productoras de mineral y 64 explotaciones mineras asociadas principalmente a la extracción de hierro y cobre, equivalentes al 67% de las mineras de la región (Golder Associates, 2006). Las principales mineras que se ubican en la zona de estudio son ENAMI, con sus plantas Matta y Fundición Paipote, produciendo 1.920.000 Ton/año, Compañía Minera del Pacífico con una producción de 5.000.000 Ton/año y Minera Candelaria, la cual produce 586.000 Ton/año (MOP, 2007). Por cada tonelada de mineral del cobre procesado se consume en promedio 0,79 m³ de agua en el proceso de concentración y 0,13 m³ de agua en promedio en el proceso de hidrometalurgia (CONAMA Y DGA, 2009).

Las mineras presentes en la cuenca extraen alrededor de un 16% de las aguas subterráneas, de éste el 65,7% es obtenido del Sector 4 del acuífero en donde existe la mayor concentración de estas empresas (DICTUC, 2010d).

En la cuenca, destaca la empresa minera Candelaria en la gestión del recurso hídrico, siendo una de las mineras que cuenta con un sistema de medición de los consumos de agua en cada etapa del proceso productivo, lo que le permite detectar deficiencias en el sistema y proponer acciones correctivas para reducir el consumo. Además la faena recicla alrededor de un del 87% del consumo total de agua, el 57% corresponde al agua recirculada de los espesadores de concentrados de cobre y del espesador de relaves y el otro 30% es recuperado de los tranques de relaves, por lo que el agua fresca que ingresa al sistema representa el 13% del consumo total de agua (COCHILCO, 2009).

3.1.1.e Abastecimiento de agua potable y servicios sanitarios

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

La empresa encargada de entregar estos servicios es Aguas Chañar, Sociedad Anónima que proporciona los servicios públicos de producción y distribución de aguas potable, recolección y disposición de aguas servidas. En los Cuadros 9 y 10 se detalla el número de clientes que tiene esta empresa en la cuenca según destino inmueble y tipo de servicio (Aguas Chañar, 2012; SISS, 2011).

Cuadro 9. Número de clientes según destino inmueble y consumo diario

Cientes 2011	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Consumo (L/hab./día)
83.614	80.119	2.320	226	949	166,90

Fuente: SISS 2011.

Cuadro 10. Número de clientes según tipo de servicio

Cientes 2011	Agua potable	Alcantarillado	Ambos
83.614	4.115	2	79.497

Fuente: SISS 2011.

El ranking de calidad de agua potable señala que Aguas Chañar es la empresa con menor porcentaje de cumplimiento de calidad con un 80,69% seguida por la empresa SMAPA 89,20%. Con respecto a la continuidad del servicio, la empresa registró el año 2010 753 interrupciones del servicio de agua potable y 6.573 en el servicio de alcantarillado (SISS, 2011).

Para mejorar su servicio, Aguas Chañar implementará un proyecto para el mejoramiento del tratamiento de aguas residuales, cumpliendo así con todos los requisitos de calidad dispuestos por las Normas Chilenas (Aguas Chañar, 2011).

3.1.2 Caracterización de la oferta y demanda hídrica

3.1.2.a Oferta hídrica por sector acuífero

El Cuadro 11 muestra la oferta hídrica definida por los caudales de recarga de agua en los sistemas superficiales y subterráneos de la cuenca modelada por DICTUC (2012d).

Cuadro 11. Oferta hídrica en la cuenca del Río Copiapó

Sector	Superficial	Subterráneo (L/s)	Total
Sector 1	3.662	1.536	5.198
Sector 2	3	66	69
Sector 3	4	476	480
Sector 4	27	396	423
Sector 5	1	139	140
Sector 6	0	37	37
Total	3.697	2.650	6.347

Fuente: DICTUC 2010d.

Estos datos reflejan que los caudales superficiales aguas abajo del Sector 1 son prácticamente inexistentes. El alto flujo de agua superficial en el Sector 1 se debe a que esta zona recibe aportes de tres ríos tributarios de la cuenca: Manflas, Pulido y Jorquera, los cuales aportan casi la totalidad de agua superficial a la cuenca en los meses de primavera y verano producto de los deshielos.

La situación del acuífero no es muy distinta a lo que sucede en el sistema superficial, más del 57% de los caudales totales de recarga se encuentran en el Sector 1 de la cuenca, disminuyendo fuertemente en los otros sectores. Según un estudio realizado por DGA (2009), el caudal medio de recarga del acuífero estimado entre los años 1974 y 2007 entre los Sectores 3 y 6 es de 1.800 L/s, valor muy superior a lo que se observa en los mismos sectores en el Cuadro 11.

3.1.2.b Demanda legal por sector acuífero.

3.1.2.b.1 Demanda legal subterránea

En el Cuadro 12 se presenta la información de los DAA subterráneos, su caudal y la proporción de uso con respecto a cada sector. Debido a la sequía que afecta la zona, el 12 de septiembre de 2012 se decretó por tercera vez consecutiva zona de escasez hídrica

(Decreto N°286), medida que permite a Aguas Chañar extraer aguas subterráneas de otros sectores acuíferos sin necesidad de contar con los DAA en dichos lugares, asegurando así el suministro de agua potable a la población. Al ser una situación excepcional, el registro de estas extracciones aún no se encuentran disponibles públicamente, por lo que no fueron integradas en este estudio.

Cuadro 12. DAA, caudales subterráneos y distribución de usos por cada sector acuífero

Sector	N° Derechos	Caudales (L/s)	Agua				
			Riego	Minería	Potable	Industria	Otros
Sector 1	39	2.187	61,54%	0%	0%	29,54%	8,91%
Sector 2	51	3.380	73,73%	11,85%	1,13%	0%	13,28%
Sector 3	71	4.107	70,86%	4,95%	0%	0%	24,19%
Sector 4	77	4.115	9,85%	50,16%	30,92%	0,50%	8,57%
Sector 5	127	3.895	55,48%	10,68%	6,54%	1,20%	26,10%
Sector 6	75	1.938	85,37%	2,85%	1,32%	0%	10,45%
Total	440	19.622					

Fuente: Elaboración propia a partir de DICTUC 2010a y DGA 2012a.

El Cuadro 12 muestra que el riego es el uso que posee mayor proporción de caudales otorgados en DAA subterráneos en todos los sectores acuíferos, exceptuando el Sector 4, en el que, como se ha señalado anteriormente, se concentra gran parte de las mineras en la cuenca y en donde opera la empresa Sanitaria Aguas Chañar, explicando el alto porcentaje de caudales otorgados a la minería y agua potable en este sector. Los bajos caudales otorgados para la industria, se debe a la poca participación de esta actividad en la zona.

3.1.2.b.2 Demanda legal superficial

Como los DAA superficiales se distribuyen entre los usuarios de los canales de cada distrito y de los ríos Pulido, Jorquera y Manflas, estos fueron asociados a los DAA que le corresponde a cada canal y comunidad de agua en cada distrito, con un sector acuífero según localización geográfica. Los caudales repartidos son los declarados por la JVRC en noviembre de 2012 (ver Cuadro 6), la cual señala que debido al inminente agotamiento de las aguas superficiales, se reparte 100 L/s a los distritos I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII, mientras que al distrito IX se le otorgará 70 L/s. El caudal entregado a los ríos tributarios Jorquera, Pulido y Manflas son de 60, 50 y 10 L/s respectivamente. En el Apéndice II se detalla la distribución de estos caudales por distrito y su asociación a cada sector acuífero. A continuación se presentan las acciones y caudales superficiales distribuidos en los distintos usos de agua según cada sector acuífero.

Cuadro 13. Acciones y caudales superficiales asociado a los sectores acuíferos y su distribución por uso

Sector	N° Acciones	Caudal (L/s)	Agua				
			Riego	Minería	Potable	Industria	Otros*
Sector 1	1.426,5	172,83	95,83%	0	0	0	4,17%
Sector 2	1.727,1	241,25	57,14%	0	0	0	42,86%
Sector 3	3.816,6	333,56	93,55%	0	0	0	6,45%
Sector 4	5.117,6	279,03	56,86%	0	0	0	43,14%
Sector 5	-	-	-	-	-	-	-
Sector 6	-	-	-	-	-	-	-
Total	12.087,8	1.026,67					

*Sin uso y/o áreas verdes

Fuente: Elaboración propia a partir de JVRC 2011; JVRC 2012a.

La inexistencia de caudales superficial en las zonas que corresponde a los Sectores 5 y 6, se explica porque los regantes de aguas abajo de la ciudad de Copiapó no son parte de las comunidades de agua asociadas a la JVRC, por lo que no existen datos acerca de este sector.

Como se observa, la información obtenida de la JVRC, señala que no existen acciones otorgadas para los usos de la minería, la industria y de agua potable y que en la categoría de “Otros” se incluye un porcentaje importante que no tiene información del uso y/o el uso de áreas verdes. Esto se vería explicado por la falta de actualización de los registro sobre las transferencias de las acciones a otros usuarios de la cuenca.

El Cuadro 14 muestra la totalidad de la demanda legal, compuesta por los caudales superficiales y subterráneos otorgados en DAA.

Cuadro 14. Demanda legal en la cuenca del Río Copiapó

Sector	Caudal (L/s)
Sector 1	2.359,83
Sector 2	3.621,25
Sector 3	4.440,56
Sector 4	4.394,03
Sector 5	3.895
Sector 6	1.938
Total	20.648,67

Al observar los Cuadros 12,13 y 14 se desprende que, de los 20.648,67 L/s otorgados en la cuenca, el 95,03% de ellos son caudales de aguas subterráneas, es decir que existe una fuerte dependencia de la disponibilidad de agua en el acuífero por parte de las actividades

productivas, especialmente para la minería y el agua potable, la cuales sólo utilizan aguas subterráneas.

3.1.2.c Demanda real por sector acuífero.

El Cuadro 15 muestra la demanda real estimada a partir de la modelación realizada por DICTUC (2010d).

Cuadro 15. Demanda real en la cuenca del Río Copiapó

Sector	Demanda (L/s)
Sector 1	715,70
Sector 2	1.126
Sector 3	1.509,5
Sector 4	2.916,6
Sector 5	1.257,1
Sector 6	697,4
Total	8.222,3

Fuente: DICTUC 2010d.

A partir de la comparación entre los Cuadros 14 y 15 se desprende que los caudales otorgados en DAA son más del doble de los caudales demandados según la modelación en cada sector, es decir que, con la mitad de los DAA otorgados, los usuarios de cada sector podrían abastecer su demanda hídrica real. La Figura 6 muestra la demanda real estimada para cada uso de agua presente en los sectores acuífero.

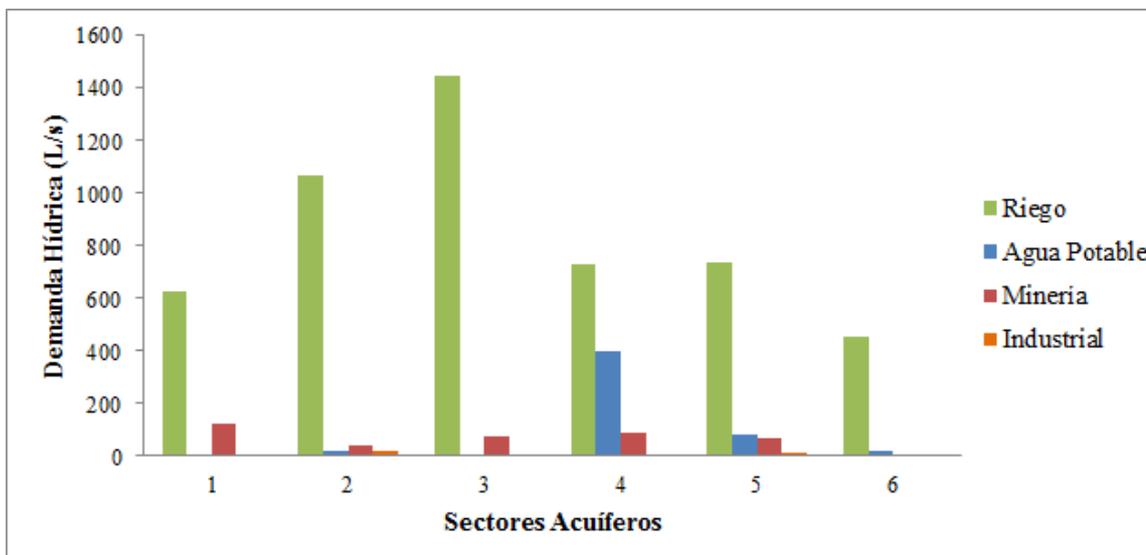


Figura 6. Demanda real por uso de agua en los sectores acuíferos

Fuente: DICTUC 2010d.

En la Figura 6 se observa que la agricultura es la que mayor demanda genera en todos los sectores, representando en los Sectores 1, 2, 3 y 6 prácticamente la totalidad de la demanda del recurso hídrico. Esto se debe a que, como se señaló anteriormente, la producción minera y tratamiento de agua potable se concentra principalmente en los Sectores 4 y 5, en donde existe mayor competencia por el uso del agua y se concentra la mayor población.

3.1.2.d Balances oferta - demanda.

La Figura 7 muestra el balance entre los datos obtenidos de la oferta y la demanda legal, definida por los caudales superficiales y subterráneos otorgados en DAA.

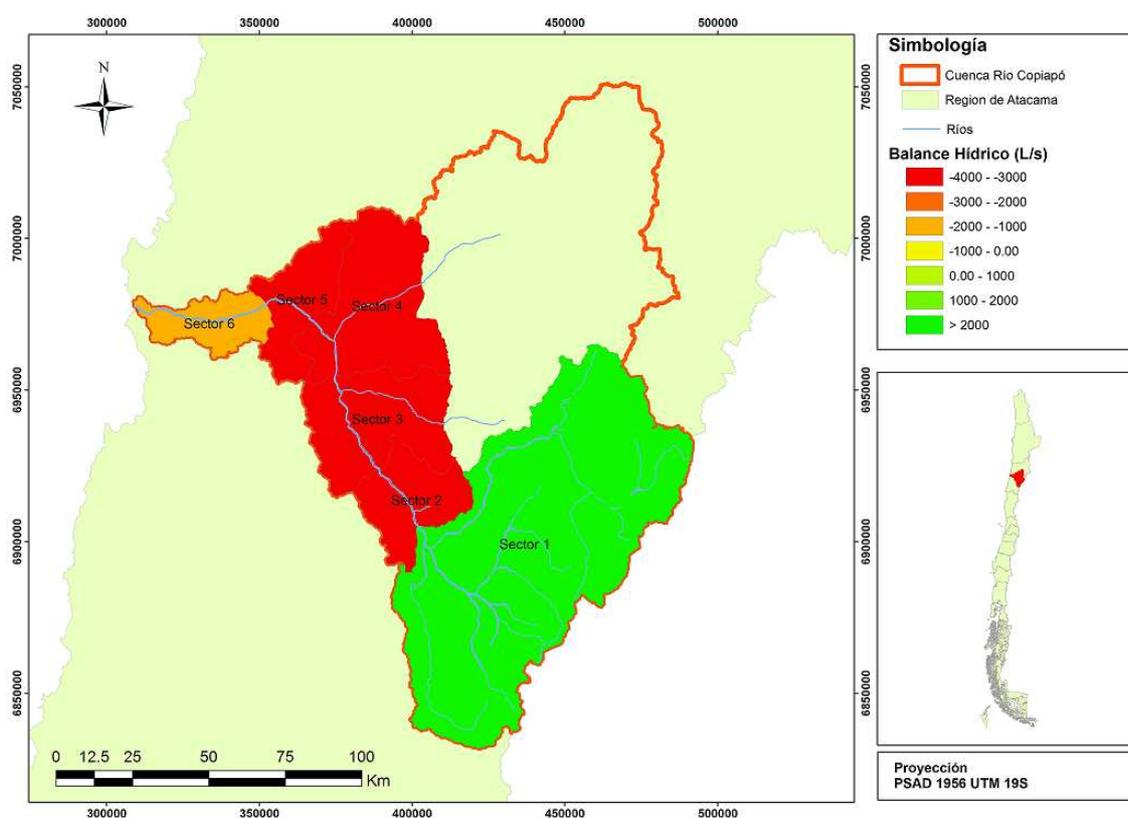


Figura 7. Balance entre la oferta y la demanda legal

En la Figura 7 se observa que en los sectores medios de la cuenca (2 a 5) son los que presentan mayor déficit, de manera que los caudales otorgados en DAA superan en más de 3.000 L/s a los caudales de recarga estimados. Entre estos, el Sector 4 es el que presenta la mayor diferencia entre la oferta y la demanda legal, con 3.971,03 L/s (ver Apéndice III). El Sector 1 es el único que presenta un balance positivo debido a que la zona presenta flujos de agua muy por sobre el resto de los sectores acuíferos, como se mencionó anteriormente.

Este gran déficit se puede explicar porque desde el año 1981, con la aprobación de un nuevo Código de Aguas, se dejó de vincular el uso efectivo del agua con el otorgamiento de los DAA de éstas. Este nuevo Código estipuló que si existe la disponibilidad del recurso, los derechos de aprovechamiento de aguas se otorgan en la medida que se solicite. Es así, como las intensas lluvias provocadas por el fenómeno de El Niño en el año 1983, aumentaron la disponibilidad del recurso y permitieron que entre los años 1984 y 1987 se entregara más del doble de los caudales otorgados hasta el año 1983 (Weisner, 2009).

La Figura 8 muestra el balance entre los datos obtenidos de la oferta y la demanda real, definida por la modelación realizada por DICTUC.

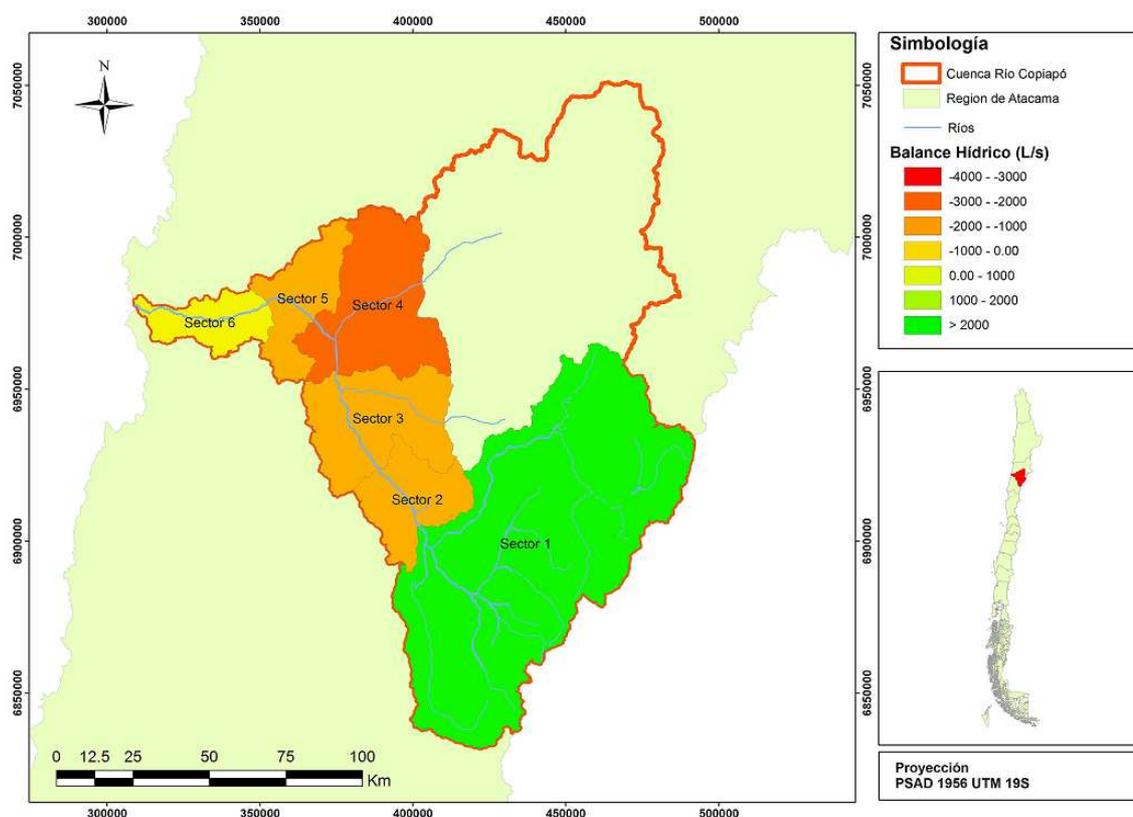


Figura 8. Balance entre la oferta y la demanda real

De la Figura 8 se desprende que existe una demanda que supera en más de 1.000 L/s a la recarga actual (oferta) en los Sectores 2, 3, 4, 5 y 6, siendo nuevamente el Sector 4 el más crítico, con un déficit que asciende a los 2.493,60 L/s (ver Apéndice III).

De igual modo que en el balance realizado con demanda legal, sólo el Sector 1 posee un balance positivo, con una oferta que sobrepasa en 4.482,30 L/s a la demanda (ver Apéndice III). Esta situación se explica, además de lo expuesto en la sección anterior, por la baja

actividad productiva en este sector, las cuales corresponden principalmente a agrícola e industrial, que demandan menor cantidad de agua que en los otros sectores.

3.2 Análisis espacial de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca.

3.2.1 Breve historia de la desalación de agua

La desalación o desalinización es un proceso mediante el cual se disminuyen el contenido de sales del agua de mar o de agua salobre a un nivel tal, que la hace aprovechable para el uso agrícola, industrial y consumo humano (Ian *et al*, 2003). Si bien el anhelo de convertir el agua de mar en un recurso aprovechable data de la época de la Grecia Clásica en donde Aristóteles discute en sus trabajos sobre la posibilidad de convertir el agua salada en agua dulce, no es hasta el año 1938 que comienza a operar la primera planta desaladora en Arabia Saudí, la que utilizó, al igual que todas las plantas desaladoras construidas en el mundo en la década de los 60 (Torres, 2005), el proceso de evaporación multi-etapas Flash (MSF), el cual a través de sucesivas etapas calienta el agua salada por medio de combustión de combustibles fósiles hasta convertirla en vapor, a mayor número de etapas, mayor la eficiencia del proceso lo que demanda grandes cantidades de energía y hacia muy costoso el proceso (WWF, 2007).

La gran masificación del proceso de desalación en el mundo se realizó en el periodo de la Segunda Guerra Mundial, debido al aumento de la demanda de agua por parte de las industrias y la contaminación de agua dulce (Cooley *et al*, 2006). En el año 1952, en Estados Unidos se aprobó la Ley “Saline Water Conversion” la cual crea y financia The Office of Saline Water (OSW), iniciándose así un importante apoyo institucional y económico en desarrollo de proyectos de investigación de plantas desaladoras, construyendo su primera planta de desalación industrial en Kuwait, con una capacidad de 4.550 m³/día (Cooley *et al*, 2006; Rodríguez, 2006). En los años 70’ comienza la investigación de nuevas tecnologías de desalación, más eficientes y menos costosas, construyéndose así, en el año 1978 la primera gran planta de desalación por Osmosis Inversa en Arabia Saudí (Rodríguez, 2006) la cual consiste en impulsar agua salada por medio de bombas de alta presión a membranas semipermeables, obteniendo como producto agua con muy baja concentración de sales y agua de rechazo o salmuera que contiene una alta concentración de sales, la cual no logra atravesar la membrana (WWF, 2007).

En los años 80’ se produce un importante aumento en la desalación mundial, con la incorporación de la tecnología de osmosis inversa se abren nuevas oportunidades a países que no habían realizado el proceso debido al alto costo de la energía que utilizaba. Esta tecnología permitía disminuir el gasto energético de 14 kWh/m³ menos de 4 kWh/ m³ y con ellos los costos de operación (Torres, 2005).

Como se observa en la Figura 9 la capacidad contratada de desaladoras a nivel mundial pasó de 1,7 hm³/día en el año 1970 a 7,5 hm³/día en el año 1980, alcanzando un valor de 37,75 hm³/día en el año 2003 (Rodríguez, 2006)

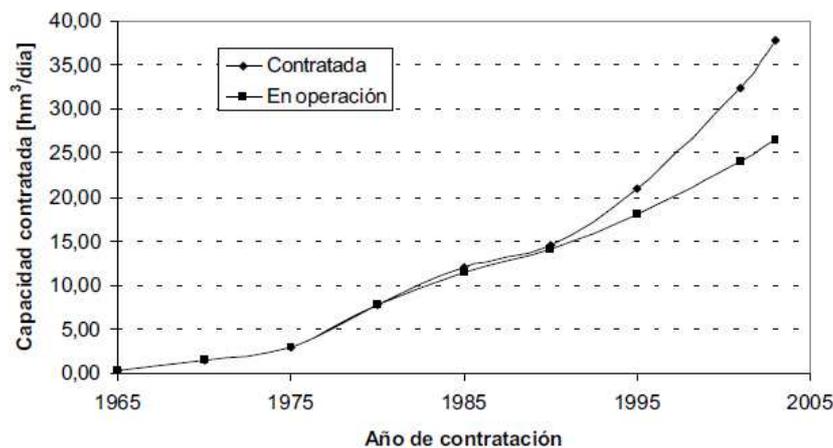


Figura 9. Capacidad contratada de desaladoras en el mundo

Fuente: Rodríguez 2006.

Según la publicación del Global Water Intelligence de la edición 2008-2009 del Desalination Yearbook elaborado por la Asociación Internacional de Desalación (IDA) la capacidad mundial contratada de desalación creció de 4,7 millones de m³/día en el año 2006 a 6,8 millones de m³/día en el año 2007, esta diferencia permite abastecer de agua potable a más de 50 millones de personas en el mundo. Se estima que para el 2025 la capacidad contratada mundial llegue a 150 millones de m³/día.

Este mismo informe señala que el año 2007 el número de plantas contratadas a nivel mundial era de 13.080, aumentando a 13.869 en el año 2008, de éstas el 59% utiliza la tecnología de osmosis inversa, el 27% la evaporación multietapa, un 9% la evaporación multiefecto y sólo un 4% la electrodiálisis, el resto corresponde a otras tecnologías, la descripción de los procesos de éstas tecnologías se detalla en el Apéndice IV.

Actualmente, alrededor de 150 países realizan el proceso de desalación, siendo los principales usos, el agua potable (68%), industrias (22%), sector energético (5%) y riego (2%). En la Figura 10 se observa los países con mayor capacidad de desalación en el mundo.

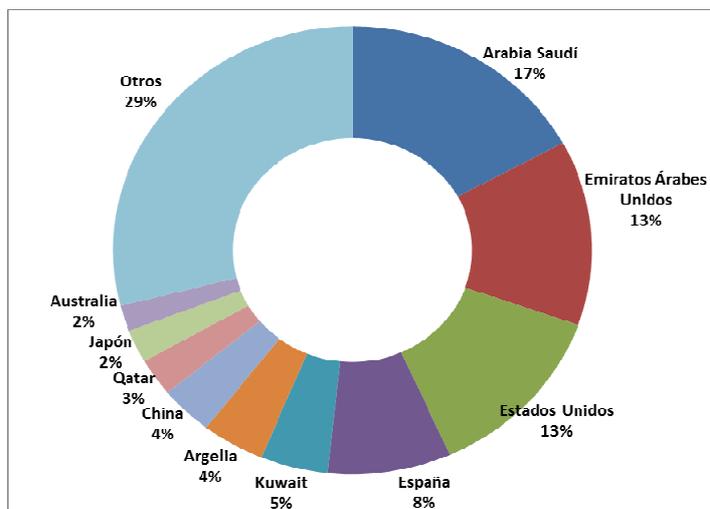


Figura 10. Proporción de desalación mundial por país.
Fuente: IDA 2009.

3.2.1.a Desalación en Chile

En la década de los 90' el norte de nuestro país pasaba por la etapa más crítica de los últimos tiempos de desabastecimiento de agua potable, localidades como Arica, Iquique, Antofagasta, Calama, Tocopilla, Caldera, entre otras no contaban con servicios continuos de agua potable; siendo afectados por constantes cortes de suministro y baja presión. Esto impulsó a que en el año 1996 la empresa de servicios sanitarios de Tarapacá ESSAT S.A. (actualmente Aguas del Altiplano) llamara a licitación pública internacional para el diseño, construcción y operación de una Planta de Tratamiento de Agua Salobre. Fue así, como en el año 1998 el Consorcio Español "INIMA" comenzó la construcción de la planta que desalaría agua salobre, proveniente de aguas subterráneas del río Lluta con tecnología de osmosis inversa y capacidad inicial de 206 L/s, la cual continúa abasteciendo de agua potable a la población de Arica (Selman *et al*, 2006)

Luego en el año 2003 la empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta S.A. (ESSAN S.A.) en conjunto a la empresa privada "Bayesa", formada por "Biwater" de Inglaterra y la compañía chilena "Aguas y Ecología", construyen la primera planta Desaladora en Chile que utiliza al mar como fuente de abastecimiento de agua potable. La planta La Chimba inició sus operaciones con una capacidad inicial de 150 L/s obtenidos a partir del proceso de Osmosis Inversa con una inversión de US\$ 54 millones (González, 2010).

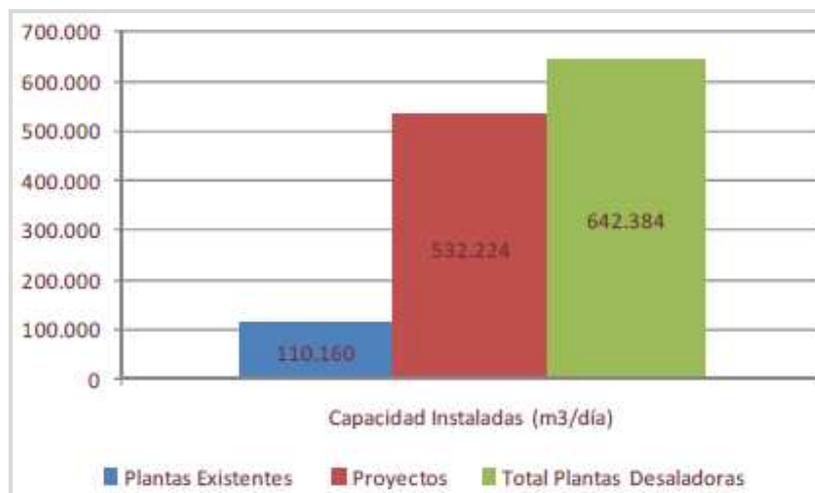


Figura 11. Capacidad instalada de plantas Desaladoras en el norte de Chile.
Fuente: González 2010.

Actualmente la planta suministra el 60% de los requerimientos de agua potable de la ciudad de Antofagasta y se espera que llegue a producir 600 L/s y así abastecer al 70% de la población de la ciudad (González, 2006). Actualmente, la capacidad instalada de las plantas Desaladoras en el norte del país es de 110.160 m³/día y se espera que llegue a 642.284 con la puesta en marcha de los proyectos de desalación que hasta la fecha estaban aprobados (González, 2010 y Selman *et al*, 2006) (ver Figura 11).

En el año 2006 se pone en marcha la primera planta desaladora construida para abastecer a la minería; Minera Escondida, construyó en el puerto Coloso, Antofagasta una planta capacidad de 525 L/s la cual cubre el 15% de las necesidades de la empresa. En el Cuadro 16 se presentan los proyectos de desalación para la minería en la III región.

Cuadro 16. Proyectos de desalación para las empresas mineras

Nombre de la Planta Desaladora	Empresa	Región	Capacidad (L/s)	Inversión (MUS\$)	Estado
	Minera				
Candelaria	Candelaria	III	500	254	RCA aprobado
Mantoverde	Anglo American	III	120	62	RCA aprobado
Punta Totalillo	CAP S.A	III	600	63	RCA aprobado
El Morro	Proyecto el Morro	III	650	390	Rechazado

Fuente: Álvarez y Bofill 2012

3.2.2 Caracterización de las desaladoras en la cuenca del Río Copiapó

Según la información entregada por el PTI Hídrico de Atacama y confirmada en el portal del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), los proyectos aprobados en la cuenca del Río Copiapó, que contemplan la construcción de una planta desaladora de mar son:

- Abastecimiento de Agua para la Minería del Valle de Copiapó, perteneciente a la compañía Minera del Pacífico S.A (ARCADIS, 2010).
- Planta Desalinizadora Minera Candelaria perteneciente a la Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) (Gestión Ambiental Consultores, 2009).
- Central Termoeléctrica Castilla perteneciente a MPX Energía de Chile Ltda (ARCADIS, 2008).

La aprobación del Estudio de Impacto Ambiental de la termoeléctrica que incluía, entre otras instalaciones, una Planta Desaladora de agua de mar para suministrar agua industrial al complejo termoeléctrico y para otros usuarios de la región, queda anulada el 6 de marzo de 2012, la Corte Suprema determinó que la Autoridad de Salud de Atacama procedió de forma ilegal y arbitraria al cambiar la calificación ambiental del proyecto Central Termoeléctrica Castilla de “contaminante” a “molesto”(Cortez, 2012), por tanto no será contemplada en el presente estudio.

En el Cuadro 17 se presenta la información relevante para la espacialización de la incorporación de agua desalada a la cuenca y para la construcción de los escenarios futuros.

Cuadro 17. Proyectos de desalación de agua de mar aprobados por el SEIA en la cuenca del Río Copiapó

Proyecto	Planta Desalinizadora Minera Candelaria	Abastecimiento de Agua para la Minería del Valle de Copiapó, desalinizadora Pta. Totalillo
Empresa Responsable	Compañía Minera Candelaria	Compañía Minera del Pacífico S.A. (CAP)

Descripción	<p>El proyecto contempla la construcción y operación de una Planta Desalinizadora de agua de mar utilizando la tecnología de Osmosis Inversa. La Planta y la infraestructura asociada a la captación de agua de mar y descarga de agua salada se localiza en la zona del Puerto Punta Padrones, aproximadamente 3 km al sur de la ciudad de Caldera, Comuna de Caldera, Provincia de Copiapó. El acueducto que transporta el agua desalada se emplaza en un trazado que va desde el Puerto Punta Padrones hasta el sector Bodega, en la Comuna de Copiapó.</p>	<p>El proyecto contempla la construcción y operación de una Planta Desalinizadora de agua de mar utilizando la tecnología de Osmosis Inversa. La Planta y la infraestructura asociada se ubican a 2,5 km aproximadamente al sur del Puerto Punta Totalillo, en la comuna de Caldera, Provincia de Copiapó, Región de Atacama. El acueducto que va entre la Planta Desalinizadora y la Estación Terminal en la comuna de Tierra Amarilla, tiene una longitud aproximada de 117 km, utiliza un trazado de una faja existente, ya intervenida por obras lineales, de 15 m que transcurre por las comunas de Caldera, Copiapó y Tierra Amarilla</p>
Objetivo	<p>Desarrollar una alternativa que ayuden a complementar el suministro de agua para su proceso de tratamiento de minerales en la comuna de Tierra Amarilla. Al respecto, señala que la minera no contempla aumentar el consumo de agua para sus operaciones si no que a medida que incorpore agua procedente de la planta desalinizadora a su proceso, habrá una disminución en la misma proporción de la extracción de agua de sus pozos, ubicados en el Sector 4 de la cuenca del Río Copiapó, sin embargo el agua de los pozos se utilizará en caso de emergencias (como maremotos, terremotos, o similares eventos de la naturaleza), contingencias operacionales y durante las mantenciones requeridas por el sistema de producción y conducción de agua desalinizada.</p>	<p>Satisfacer los requerimientos de agua del proyecto de mineral de hierro de CAP Cerro Negro Norte y proveer de agua industrial a otros clientes localizados en la Región de Atacama, específicamente a los ubicados en el Valle de Copiapó y cercanías.</p>
Capacidad de Producción (L/s)	500	600
Estado en SEIA	En construcción	En construcción

Como se describe en el Cuadro 17, la primera desaladora abastecerá a la minera del mismo nombre ubicada en la comuna de Copiapó en el Sector 4 y la segunda abastecerá a la Compañía Minera del Pacífico S.A. ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, también en el Sector 4 de la cuenca, por lo tanto la oferta de agua desalada se ingresó a este sector generando una nueva oferta de agua en la cuenca, como se observa en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Nueva oferta de agua en la cuenca del Río Copiapó

Sector	Oferta (L/s)
Sector 1	5.198
Sector 2	69
Sector 3	480
Sector 4	1.523
Sector 5	140
Sector 6	37

Es importante destacar que las dos mineras señalan que no aumentarán su producción de mineral al tener mayor disponibilidad de agua, sino más bien, disminuirán la presión sobre el acuífero a medida que integren el agua desalada y proveerán de agua a otras actividades en la cuenca.

3.2.3 Análisis de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico de la cuenca.

A continuación, en la Figura 12, se observa la espacialización del cambio generado en la oferta de agua producto de la incorporación de agua desalada a la cuenca. El ingreso de 1.100 L/s de agua desalada al Sector 4 de la cuenca, genera una disminución en la presión sobre el recurso hídrico en la zona más crítica de la cuenca, sin embargo ésta continúa con un balance hídrico negativo que se encuentran entre los 1.000 y 2.000 L/s, quedando en las mismas condiciones que lo Sectores 2,3 y 5.

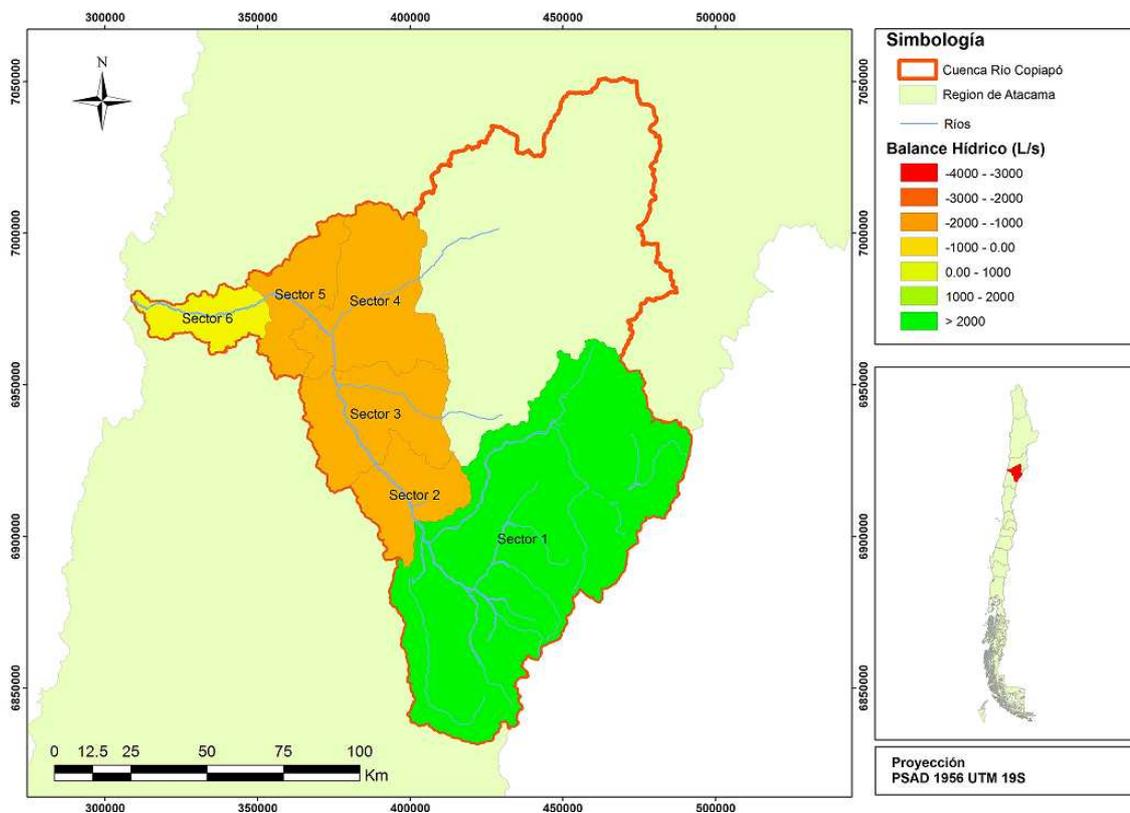


Figura 12. Balance entre la nueva oferta de agua y la demanda real

Si bien el Sector 4 muestra una disminución en la presión sobre el uso del recurso, el agua desalada es destinada sólo al uso minero, por lo que la presión se disminuye directamente en esta actividad, quedando las otras actividades en su misma condición.

Debido a lo anterior, a continuación se presentan tres escenarios de simulación que permiten visualizar nuevas condiciones de aprovechamiento de agua desalada por parte de otros usuarios en la cuenca. En cada simulación, la asignación de agua desalada se realiza en forma proporcional a la demanda de cada uso.

3.3 Análisis de escenarios futuros de la distribución de agua desalada en la cuenca del Río Copiapó

3.3.1 Agua desalada transable

Es importante recordar que estos escenarios se construyen a partir del supuesto: Una vez que las mineras hayan suplido su demanda hídrica con el agua desalada, transarán el

excedente a otros usuarios en la cuenca y que sólo se consideró la disponibilidad de agua desalada para su distribución.

El Cuadro 19 muestra la demanda hídrica de las mineras Candelaria y Compañía Minera del Pacífico (CAP), obtenida a partir de la producción diaria de mineral, tasa de consumo de agua y su respectivo caudal de agua desalada.

Cuadro 19. Demanda hídrica y caudal de agua desalada

Empresa Minera	Producción de mineral (Ton/día)	Consumo de agua (m ³ /Ton)	Demanda hídrica (L/s)	Agua Desalada (L/s)
Candelaria	60.800	0,34	239	500
CAP	4.700	0,60	107	600
Total	65.500	0,40	346	1.100

Fuente: Fundación Chile 2009; Tejos y Proust 2008; CAP 2011.

A partir de la diferencia entre el caudal de agua desalada y el de la demanda hídrica se obtuvo **754 L/s** de caudal excedente disponible para transar. Este caudal es el que se considera para ser repartido en los usuarios de agua, según cada escenario.

A continuación se muestran los tres escenarios de simulación de la distribución de agua desalada.

3.3.2 Escenario 1. Distribución del excedente de agua desalada en el sector con mayor déficit hídrico

Según los balance realizado (ver Figura 7 y Figura 8), el sector con mayor déficit hídrico es el Sector 4. En la Figura 13 se presenta la distribución de agua desalada a los usos de agua de este sector en proporción a su demanda y sus respectivos datos de déficit hídrico.

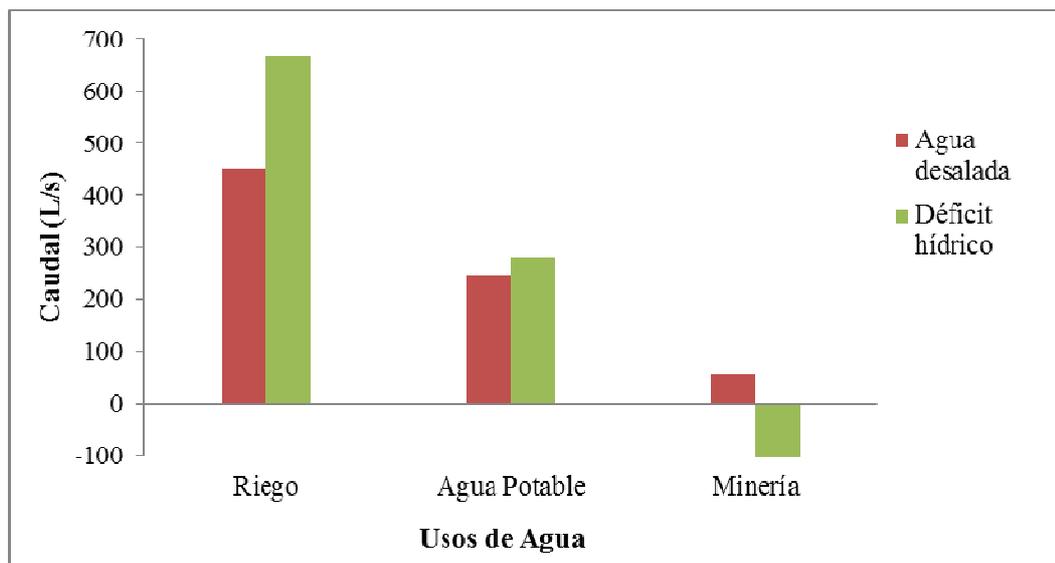


Figura 13. Balance entre el déficit hídrico y agua desalada en el Sector 4.

Este escenario, muestra que con los 247 L/s de agua desalada transada al uso de agua potable cubren alrededor del 89% del déficit hídrico estimado en este sector. Esta situación, permitiría reducir los cortes continuos de agua potable que han afectado el último tiempo a la cuenca, debido a que Aguas Chañar no puede extraer toda el agua necesaria de los pozos para el abastecimiento de la población.

En cuanto al riego, se observa que la cantidad simulada en esta transacción, no permitiría cubrir la totalidad del déficit hídrico, sin embargo con los más de 400 L/s se lograría reactivar el cultivo de decenas de hectáreas que han dejado de producir por esta falta de agua.

La comparación entre la demanda estimada por DICTUC S.A para la minería en el Sector 4 (90 L/s), utilizada en la primera etapa de este estudio, y la obtenida a partir de las dos empresas mineras (346 L/s) (ver Cuadro 19) sugiere una revisión de estos datos en futuros estudios, ya que como se observa el modelo realizado por DICTUC S.A subestima esta demanda con respecto a la declarada por las mineras.

Lo anterior explica la situación que se advierte para la minería, la cual, debido a su baja demanda no posee déficit hídrico, por lo que esta nueva oferta de agua se presentaría como una excelente alternativa para cubrir los requerimientos hídricos de otras mineras en el sector, como Sociedad Punta del Cobre S.A o Compañía Minera Ojos del Salado, las cuales tiene una demanda hídrica de 155 L/s y 89 L/s respectivamente (Tejos y Proust, 2008).

Debido al alto costo de instalación de las estaciones de bombeo, la minera Compañía Minera del Pacífico declara que; el agua desalada a transar se distribuirá a usuarios de agua ubicados en el mismo sector de abastecimiento de la minera y/o en sectores bajos de la cuenca (Gestión Ambiental Consultores, 2009). Por lo anterior, la distribución de agua desalada en los siguientes dos escenarios, se realizará sólo para los Sectores 4, 5 y 6.

3.3.3 Escenario 2. Distribución del excedente de agua desalada al usuario con mayor problema de abastecimiento.

De acuerdo a la revisión de los antecedentes obtenidos de la caracterización de los usos de agua en la primera etapa de este estudio, se concluye que el uso con mayor problema de abastecimiento es el **agua potable** debido a que:

Aguas Chañar, empresa encargada de entregar los servicios de agua potable y servicios sanitarios, de los 1.460 L/s otorgados en DAA el 79,1% de éstos los extrae del Sector 4, sector con mayor déficit hídrico.

Además, esta empresa registró en el año 2010 problemas en la continuidad en el servicio, registrando 753 interrupciones del servicio de agua potable y 6.573 en el servicio de alcantarillado (SISS, 2011).

El mayor problema de abastecimiento se advierte con la declaración, por tercera vez consecutiva en el año 2012, de zona de escasez hídrica a la cuenca del Río Copiapó, la cual tiene como finalidad aportar en la resolución de las necesidades de provisión de agua potable a la población.

En la Figura 14 se presenta la distribución de agua desalada a los usuarios de agua potable en los Sectores 4, 5 y 6 en proporción a su demanda y se compara con el déficit hídrico de cada uno.

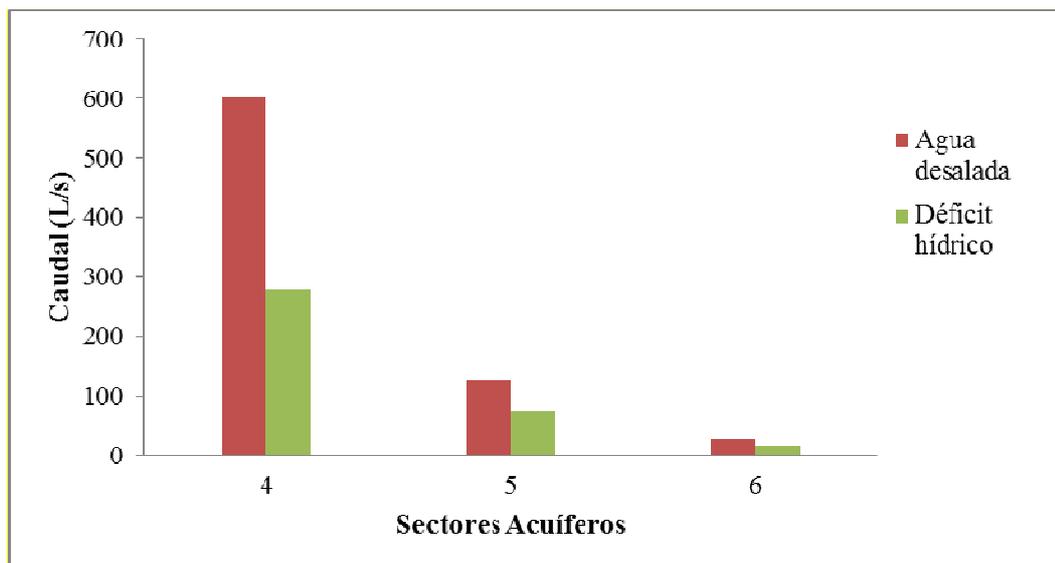


Figura 14. Balance entre el déficit hídrico y agua desalada para el uso de agua potable

Este escenario muestra que en los tres sectores acuíferos el caudal de agua desalada cubre en su totalidad el déficit hídrico. Destaca la significativa diferencia en el Sector 4 de la cuenca, en donde el caudal de agua desalada sobrepasa en más de 300 L/s al déficit hídrico. Este escenario es muy alentador para gestiones futuras, ya que esta nueva oferta permitiría disminuir la presión en la extracción de aguas subterráneas para abastecer a la población urbana, la cual se localizan en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla.

3.3.4 Escenario 3. Distribución del excedente de agua desalada al usuario con mayor demanda hídrica.

Según la demanda real estimada por uso en cada sector acuífero (ver Figura 7), quien demanda mayor recurso hídrico en la cuenca es la agricultura, con más de 600 L/s en todos los sectores acuífero. En la Figura 15 se presenta la distribución de agua desalada al uso agrícola en los Sectores 4, 5 y 6 en proporción a su demanda y se compara con su respectivo déficit hídrico.

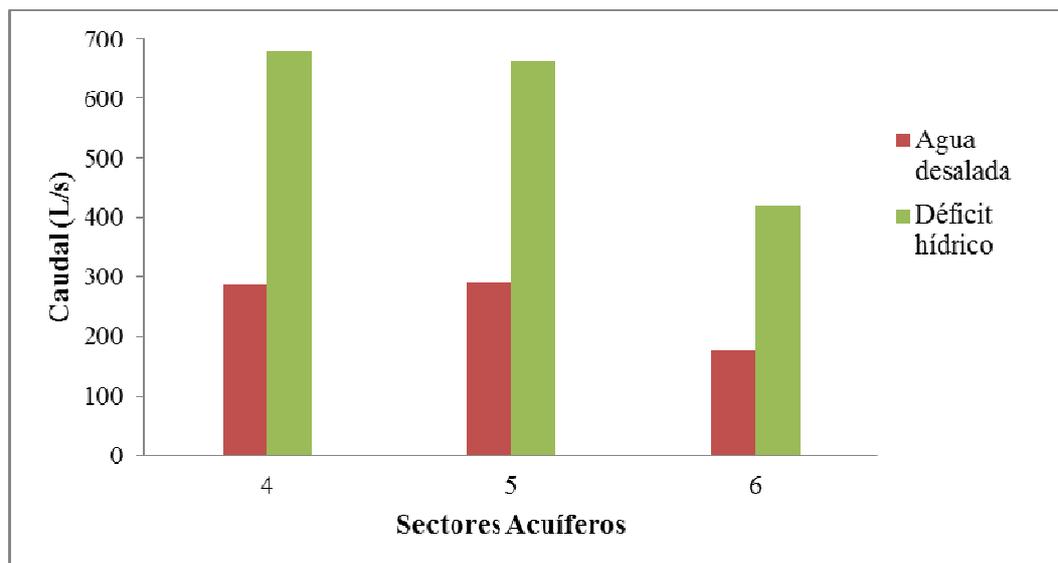


Figura 15. Balance entre el déficit hídrico y agua desalada para el uso agrícola

En este escenario se aprecia que en los tres sectores acuiferos la proporción de agua desalada transada al uso agrícola cubre en menos de un 50% el déficit hídrico. Los valores de déficit hídrico se explican por las altas demanda hídrica que tiene la agricultura en toda la cuenca, la cual, necesitaría más de 2.000 L/s de agua para revertir su situación. Estos datos sugieren que la transacción de agua desalada para el uso agrícola es una alternativa poco viable y que es necesario tomar otras medidas para enfrentar el desabastecimiento de agua de este sector productivo.

La simulación de estos tres escenarios son ejemplos de la posible distribución y uso de agua desalada por parte del uso agrícola y de agua potable. Estos muestran que, la transacción de agua desalada a otros usos en la cuenca sería una buena alternativa para solucionar en parte la problemática de escasez hídrica. Sin embargo, hay que destacar la necesidad de aumentar los antecedentes con respecto al valor de agua desalada y sus impactos ambientales y sociales, los cuales muestren la viabilidad de seguir desalando agua en la cuenca y el de transarla a otros usos.

4 CONCLUSIONES

La caracterización de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó realizada a partir de los más recientes informes y estudios referentes a la oferta y demanda hídrica, ha dejado de manifiesto que pese a los esfuerzos por optimizar la gestión hídrica minera, mejorar el tratamiento de aguas residuales y utilizar en más del 95% de la superficie agrícola riego tecnificado, la demanda hídrica de los tres principales usos de agua están muy por sobre la oferta hídrica actual.

Los balances hídricos realizados demuestran que en los sectores medios de la cuenca existe un sobre otorgamiento de DAA, el cual se traduce en más de 3.000 L/s de caudal otorgado por sobre la oferta estimada. Por su parte, los resultados obtenidos del balance entre la demanda real y la oferta constituyen un buen indicador del estado del recurso hídrico en cada sector acuífero de la cuenca, los cuales señalan que el Sector 4 es el que posee el mayor desbalance hídrico, seguido de los Sectores 5 y 3, sólo el Sector 1 presenta balance positivo debido a la baja actividad productiva que se genera en estas zonas.

El diagnóstico realizado en esta primera parte del estudio sugiere la necesidad de contar con un sistema de información única, continua e integrada sobre el uso del agua en los distintos sectores productivos y de su disponibilidad. Esto permitiría disminuir la incertidumbre acerca de la fiabilidad de los datos, tales como los entregados por la JVRC, los cuales señalan que alrededor del 37% de las acciones de agua superficial se encuentran sin información, debido a la falta de actualización de los registros.

El análisis de la incorporación de agua desalada al sistema hídrico del Sector 4 de acuífero, muestra que si bien el aporte de 1.100 L/s de agua desalada por parte de las mineras disminuye la presión sobre el uso del recurso natural de este usuario, no soluciona el problema hídrico del sector quedando un desbalance de más de 1.000 L/s.

Los escenarios simulados advierten que la potencial transacción de las aguas desaladas por parte de la minería a otros usuarios, se presenta como una buena alternativa para mitigar el problema de déficit hídrico en la cuenca. Con esta nueva oferta de agua, el servicio de agua potable cubriría la totalidad de su déficit hídrico en los Sectores 4, 5 y 6, mientras que en estos mismos sectores, la agricultura disminuye sólo en un 43% su déficit hídrico.

Estos escenarios muestran una primera aproximación sobre la distribución de agua desalada en la cuenca del Río Copiapó, la cual, necesita ser complementada con estudios económicos, sociales y ambientales que revelen la viabilidad de la inclusión de esta nueva oferta y su potencial transacción.

5 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, J y M. Bofill. 2012, dic. Desalinización de Agua de Mar y Minería. Departamento de Recursos Naturales, Abogados S.A. Santiago, Chile. 13p.

Aguirre, I.; A. Hauser y B. Schwerdtfeger. 1999. Estudio hidrogeológico del valle de Río Copiapó: segmento embalse Lautaro - Piedra Colgada: Región de Atacama. (Inf. Tec.). Servicio Nacional de Geología y Minería, Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, Alemania. 186p.

Aguas Chañar. 2011, ene. Mejoramiento Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, Copiapó - Aguas Chañar S.A. Declaración de Impacto Ambiental. 69p.

Aguas Chañar. 2012. Historia de aguas Chañar. [En línea]. Atacama, Chile. Recuperado en: <http://www.xn--aguaschaar-09a.cl/articulos_ver.php?id=26> Consultado el: 20 de octubre de 2012.

Álamos y Peralta. 1987, dic. Análisis y evaluación de los recursos hidrogeológicos del valle del Río Copiapó: III Región. Dirección General de Aguas (DGA). Santiago, Chile. 276p.

ARCADIS. 2008, jul. Estudio de impacto ambiental Central Termoeléctrica Castilla (cap. 2): Antecedentes y descripción del proyecto. Copiapó, Chile: CGX Castilla Generación. 87p.

ARCADIS. 2010, jul. Estudio de impacto ambiental planta desalinizadora minera Candelaria. (cap. 1): descripción del proyecto.. Copiapó, Chile: Compañía Contractual Minera Candelaria. 62p.

CAP (Compañía Minera del Pacífico). 2011. Producción. Recuperado en: <<http://www.capmineria.cl/productos/produccion/>> Consultado el: 28 de octubre de 2012.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos). 2005, may. Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile. (Inf. Tec.), Santiago, Chile: CEPAL. 246p.

CID, S. 2011, dic. Atacama y la macrozona norte: una mirada hacia las variables que reflejan los cambios que vive la región. Secretaría Regional Ministerial de Economía. Santiago, Chile. 33p. Recuperado en: <http://www.ineatacama.cl/archivos/files/pdf/SER/2011/Presentacion_SEREMI_economia.pdf> Consultado el: 24 de octubre de 2012.

COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2009, ene. Buenas Prácticas y Uso Eficiente de Agua en la Industria Minera. 73p

COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2012, sept. Consumo de agua en la minería del cobre 2011. 36p

CNR (Comisión Nacional de Riego), Chile, 2009, mar. Programa “Transferencia capacidades para mejorar gestión de riego, Copiapó, III Región”. Santiago, Chile: CODESSER. 72p.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) y DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2009. Plan de gestión para la cuenca del Río Copiapó: estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Copiapó, Chile: DGA. 178p

Cooley, H.; P. Gleick y G. Wolff. 2006, jun. Desalination, with a grain of salt a california perspective. (Inf. Tec.), California, USA: Pacific Institute. 88p

Cortez, C. 2012, sept. Caso Castilla: cuando la justicia se transforma en regulador. *Libertad y Desarrollo*, 1(28): 1-11.

Decreto N°286. Declaración zona de escasez a la cuenca del Río Copiapó, Región de Atacama. Santiago: MOP, 2012. 2p. [Publicada en Diario Oficial el: 17 de septiembre de 2012.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2003. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Valle del Río Copiapó. Departamento de Estudios y Planificación. 226p.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2008, sept. Definición sobre los derechos provisionales del área de restricción del acuífero de Copiapó. (Inf. Tec. N° 265), Copiapó, Chile: DGA.25p.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2009, dic. Estrategia de recursos hídricos de la cuenca del Río Copiapó: reporte complementario sobre la situación del acuífero de Copiapó entre La Puerta y Angostura, Copiapó, Chile: Gobierno Regional de Atacama.36p.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2012a, mar. Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados en la cuenca del río Copiapó. (Inf. Tec. N°327), Copiapó, Chile: DGA.85p

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2012b, jun. Senda del agua. (Inf. Tec. N°1), Santiago, Chile: DGA.7p.

DGA (Dirección General de Aguas), Chile. 2012c, dic. Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas (Boletín N° 416), Santiago, Chile: DGA. 31p.

DICTUC (División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental), Chile. 2010a, ene. Análisis integrado de gestión en cuenca del Río Copiapó: informe final – Tomo I: resumen ejecutivo (Inf. Tec. N° 901825), Santiago, Chile: DICTUC.162p

DICTUC (División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental), Chile. 2010b, ene. Análisis integrado de gestión en cuenca del Río Copiapó: informe final – Tomo II: sistematización y levantamiento de información de usos y demandas (Inf. Tec. N° 901825), Santiago, Chile: DICTUC.67p

DICTUC (División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental), Chile. 2010c, ene. Análisis integrado de gestión en cuenca del Río Copiapó: informe final – Tomo III: evaluación de recursos hídricos (Inf. Tec. N° 901825), Santiago, Chile: DICTUC. 284p

DICTUC (División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental), Chile. 2010d, ene. Análisis integrado de gestión en cuenca del Río Copiapó: informe final – Tomo IV: desarrollo e implementación de modelo hidrológico integrado (Inf. Tec. N° 901825), Santiago, Chile: DICTUC. 323p

Errázuriz, A.; P. Cereceda; J. González; M. González; M. Henríquez; R. Rio seco. 1998. Manual de geografía de Chile. 3ra.ed., Santiago, Chile: Andrés Bello. 443p.

FIMA (Fiscalía del Medio Ambiente), Chile. 2012, dic. Justicia Ambiental. *Derecho ambiental*, 4(4): 191-300.

Fundación Chile. 2009, jun. Estudio de la demanda de agua y definición de emplazamiento de la planta de generación de energía vía solar en la Región de Atacama. Copiapó, Chile. 50p.

Gestión Ambiental Consultores. 2009, nov. Proyecto abastecimiento de agua para la minería del Valle de Copiapó Región de Atacama, Chile. (cap. 1): descripción del proyecto. Copiapó, Chile: Cleanairtech Sudamérica. 62p.

Godoy, J. 2010. Copiapó: seco por indiscriminado otorgamiento de derechos de aguas. (Inf. Tec.), Copiapó, Chile. 11p.

Golder Associates. 2006. Diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del Río Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable. Resumen Ejecutivo. 10p.

González, M. 2010. Desalación para suministro de agua potable en el norte de Chile: Caso de Aguas de Antofagasta S.A.: II Seminario de desalación en Antofagasta. Chile. 27p.

Ian, C.; O.J. Morin; L. Henthorne. 2003. Desalting Handbook for Planners . 3ra.ed. Florida, USA. 310p. (Cooperative Assistance Agreement Number: 98-PG-81-0366, Desalination Research and Development Program Report No. 72)

Instituto de Ingenieros de Chile. 2012, ago. Hacia una gestión integrada de recursos hídricos: Una propuesta. Comisión de aguas. Santiago, Chile. 44p

IDA. 2009. Desalination Yearbook 2008-2009. Global Water Intelligence and International Desalination Association.

JVRC (Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes), Chile. 2010. Reparto de aguas superficiales. Copiapó, Chile. 29p.

JVRC (Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes), Chile. 2011, mar. Unifilar: Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes. Copiapó, Chile. 10p

JVRC (Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes), Chile. 2012a, nov. Comunicado: aviso de cambio en las entregas de agua. Copiapó, Chile. 2p.

JVRC (Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes), Chile. 2012b. Historia y construcción del embalse Lautaro. [En línea]. Atacama, Chile. . Recuperado en: < <http://www.jvrc.cl/Embalse%20lautaro.htm>> Consultado el: 10 de octubre de 2012.

Lutenberg, O. 2012, may. Sistema de riego de alta eficiencia: diferentes métodos de aplicación. Agencia para el Desarrollo y Cooperación Internacional del Ministerio de Exteriores de Israel. Jerusalem, Israel. 91p.

Ministerio de Sanidad y Política Social. 2009. Guía de desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. (Inf. Tec.), Madrid, España.206p

MOP (Ministerio de Obras Públicas), Chile. 2007, abr. Infraestructura para la competitividad, Chile 2007-2012 Sector minería.45p

Olmeda, J. 2006, abr. El agua y su análisis desde la perspectiva económica: una aplicación para el crecimiento económico. VIII reunión de la economía mundial. Alicante, España. 21p.

PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2007. Perspectivas del medio ambiente urbano: Geo Copiapó. (Inf. Tec. N°21). Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). Copiapó, Chile. 118p.

Ramilo, L.; S. Gómez y N. Coppari. 2003. Tecnología de proceso para desalación de aguas. 27p.

Rodríguez, J. 2006, ago. Taller internacional nuevas tecnologías para la descontaminación y provisión de agua en zonas rurales. Lima, Perú: Instituto Peruano de energía nuclear. 97p.

Saavedra, J. 2009, may. Las aguas como bien nacional de uso público: bases para un cambio regulatorio que promueva un uso sustentable. *Derecho Ambiental*, 1(5): 203- 266.

Selman, V.; J. Cordero; P. Larraín y R. Salas. 2006. La modernización del sector sanitario en Chile. (Inf. Tec.), Santiago, Chile: CORFO. 282p

SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2011. Informe de gestión del sector Sanitario. (Inf. Tec.), Santiago, Chile: Editares. 165p

Tejos, M. y J. Proust. 2008, mar. Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero regiones centro-norte de Chile. (Inf. Tec N° 146). Santiago, Chile: DGA. 33p.

Thorpe, A. y A. Aguilar. 2010, jun. Los modelos económicos de utilización de recursos naturales en Latinoamérica. *Ensayos de Economía*, 2(36): 121-143.

Torres, M. 2005. La desalación de agua de mar, ¿Recurso hídrico alternativo?: estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de Fomento, España. 16p.

Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos Hídricos, 2011, mar. Transferencia de capacidades para mejorar la gestión del riego en Copiapó, Región de Atacama: componente catastro legal de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales. (Inf. Tec. N°6.5), Concepción, Chile: Comisión Nacional de Riego. 85p.

Urrutia, F. 2005. Evolución global de la capacidad instalada de plantas desaladoras. (Inf. Tec. N° 72). 68-73p.

Weisner, R. 2009. El problema de la asignación de los derechos de aprovechamiento y la reforma legal: sustentabilidad, preferencias y competencia. Santiago, Chile. 25p.

World Bank. 2010, Abr. World Development Indicators 2010. Washington D.C., USA. 448p.

WWF. 2007. jun. Desalination: option or distraction for a thirsty world?. 53p

6 APENDICES

6.1 APÉNDICE I. Procedimiento de estimación de oferta y demanda real con el modelo AQUATOOL

Para la estimación de la oferta definida por los caudales subterráneos y superficiales aportantes, se utilizaron las estadísticas fluviométricas registradas entre los años 1971 y 2010 disponibles en las estaciones Jorquera, Pulido y Manflas en Vertedero, las tres subcuencas de cabecera que representan casi el total de los aportes superficiales al valle. La estimación de las series de caudales medios mensuales en las subcuencas donde no se dispone de información, se realizó con el modelo SEAMOD, el cual permite, transformar la estadística de precipitaciones mensuales sobre la cuenca en escorrentía a la salida de la cuenca en periodos mensuales, aplicando relaciones de balance de masa entre los diferentes componentes del sistema. El resultado es una simulación del comportamiento del flujo superficial, flujo base y flujo subterráneo, de los aporte de las diferentes quebradas una vez que se conoce la precipitación sobre ellas y las condiciones de evaporación en la zona.

Como el funcionamiento de los acuíferos es un modelo más bien del tipo caja negra, el cual considera las propiedades físicas de los acuíferos, principalmente en la sección de salida de los embalses subterráneos, la serie de caudales pasantes subterráneos fueron calculados en base a un modelo digital de la forma del basamento rocoso del acuífero y a los registros de niveles de la napa en las estaciones que mantiene la DGA.

Luego, utilizando el software Aquatool, para la calibración del modelo de la cuenca se realizó un ajuste a los valores de los parámetros de los canales, acuíferos y embalse de tal manera que las series mensuales de caudal obtenidas con el modelo sean similares a las series históricas registradas en las estaciones fluviométricas de la DGA, y a las series mensuales de volúmenes en los sectores acuíferos.

Los datos de la demanda real se obtuvieron por uso de agua. Para la demanda hídrica de la agricultura se dividió la cuenca en 20 sectores de riego y se calculó las necesidades brutas por cultivo, a partir del cociente entre la demanda neta y la eficiencia de aplicación del método de riego en el predio, entregado por la Comisión Nacional de Riego (CNR). La demanda neta se obtiene a partir de los parámetros de evapotranspiración real (mm) y la precipitación medias mensuales en cada sector de riego (mm). Luego, para el cálculo de las necesidades brutas al nivel del cultivo, se consideró la demanda neta estimada, la cual se multiplicó por la superficie del cultivo en hectáreas y se dividió por la eficiencia de aplicación del método de riego en el predio.

Luego se determinó la demanda hídrica para usos de la minería, industrias, uso doméstico y agua potable, las cuales se abastecen sólo de aguas subterráneas. Por esto, la estimación de sus demandas se realiza a través de un análisis de la información recopilada en el catastro acerca de los pozos existentes para estos usos, de los derechos con que cuentan y de los factores de uso asociados a cada actividad productiva. Para estimar el caudal explotado en el año 2007, se restó al caudal otorgado el caudal correspondiente al pago de patente por no uso de este año. Posteriormente, este valor fue ponderado por el factor de uso de cada actividad.

Una vez obtenida las demandas de riego y de los otros usos en la cuenca del Río Copiapó en función de la información extraída del catastro, con el modelo Aquatool, se procedió a estimar las series de demandas históricas para ingresar como datos de entrada para la calibración del modelo, estimando finalmente la demanda real para casa uso de agua.

6.2 APÉNDICE II. Distribución de acciones y caudales superficiales en sectores acuíferos

Cuadro 20. Distribución de las acciones y caudales superficiales por sector acuífero

Comunidades de Agua y Canales	Distrito	Sector Acuífero	Acciones	Caudal (L/s)	Caudal/Acción (L/s)
Comunidad de aguas El Quemado	Río Jorquera	1	65	3,87	0,06
Comunidad de Aguas Tres Chañares	Río Jorquera	1	128	7,61	0,06
Comunidad de Aguas Canal Rodeo	Río Jorquera	1	815	48,50	0,06
Canal Carrizal Grande	Río Jorquera	1	24	7,69	0,32
Comunidad de Aguas Iglesia Colorada	Río Pulido	1	27	8,65	0,32
Canal Junta de Montosa	Río Pulido	1	12	3,85	0,32
Comunidad de Aguas Quebrada Seca	Río Pulido	1	12	3,85	0,32
Comunidad de Aguas El Sauce	Río Pulido	1	6	1,92	0,32
Canal Carrizalillo	Río Pulido	1	15	4,81	0,32
Canal Los Hornos	Río Pulido	1	24	7,69	0,32
Comunidad de Aguas Peña Negra	Río Pulido	1	18	5,76	0,32

Comunidades de Agua y Canales	Distrito	Sector Acuífero	Acciones	Caudal (L/s)	Caudal/Acción (L/s)
Comunidad de Aguas El Huerto Y Molino	Río Pulido	1	18	5,76	0,32
Canal Manfla	RÍo Manflas	1	144	46,15	0,32
Comunidad de Aguas Tarola	Distrito I	1	27	3,81	0,14
Comunidad de Aguas Pastillo	Distrito I	1	57	8,03	0,14
Comunidad de Aguas Punta Negra	Distrito I	1	34,5	4,86	0,14
Total Sector 1			1.426,5	172,84	0,12
Comunidad de Aguas Amolana	Distrito I	2	154,5	21,78	0,14
Comunidad de Aguas Amolanitas	Distrito I	2	7	0,99	0,14
Comunidad de Aguas Goyo Diaz	Distrito I	2	106	14,95	0,14
Comunidad de Aguas Hijuela Abello Norte	Distrito I	2	260,8	36,77	0,14
Comunidad de Aguas Hijuela Abello Sur	Distrito I	2	61,2	8,63	0,14
Comunidad de Aguas La Capilla	Distrito II	2	432	60,04	0,14
Canal El Carmen	Distrito II	2	144	20,02	0,14
Comunidad de Aguas Palo Blanco	Distrito II	2	144	20,02	0,14
Canal Santa Rosa	Distrito II	2	108	15,01	0,14
Comunidad de Aguas Apacheta	Distrito III	2	108	15,01	0,14
Comunidad de Aguas Los Loros	Distrito III	2	144	20,02	0,14
Comunidad de Aguas Bolsico	Distrito III	2	57,6	8,01	0,14
Total Sector 2			1.727,1	241,25	0,14
Comunidad de Aguas El Fuerte	Distrito III	3	86,4	12,01	0,14
Canal La Pirca N° 1	Distrito III	3	23,2	3,22	0,14
Canal La Pirca N° 2	Distrito III	3	91,2	12,68	0,14
Canal Casa Blanca N° 1	Distrito III	3	38,1	5,29	0,14

Comunidades de Agua y Canales	Distrito	Sector Acuífero	Acciones	Caudal (L/s)	Caudal/Acción (L/s)
Canal Casa Blanca N° 2	Distrito III	3	9,5	1,32	0,14
Comunidad de Aguas Canal La Puerta N° 1	Distrito III	3	32,4	4,50	0,14
Comunidad de Aguas Canal La Puerta N° 2	Distrito III	3	21,6	3,00	0,14
Comunidad de Aguas Canal El Sauce	Distrito IV	3	30	4,17	0,14
Comunidad de Aguas Canal El Naranja	Distrito IV	3	42	5,84	0,14
Comunidad de aguas Canal El Jardin	Distrito IV	3	180	25,02	0,14
Comunidad de Aguas Canal La Cantera	Distrito IV	3	187	25,99	0,14
Comunidad de Aguas Canal El Carrizo	Distrito IV	3	281	39,06	0,14
Comunidad de Aguas Canal Niagara	Distrito V	3	144	9,94	0,07
Comunidad de Aguas Canal Compuertas Negras	Distrito V	3	1296	89,42	0,07
Comunidad de Aguas Canal Cerrillos	Distrito VI	3	288	19,58	0,07
Comunidad de Aguas Canal Urbina	Distrito VI	3	324	22,03	0,07
Comunidad de Aguas Canal Nantoco	Distrito VI	3	429	29,17	0,07
Comunidad de Aguas Canal Mal Paso	Distrito VI	3	132	8,98	0,07
Canal Compañía	Distrito VI		50	3,40	0,07
Comunidad de Aguas Canal Las Arayas	Distrito VI	3	131,2	8,92	0,07
Total Sector 3			3.816,6	333,56	0,09
Comunidad de Aguas Canal San Roman	Distrito VI	4	108	7,34	0,07
Comunidad de Aguas Canal Cancha de Carrera	Distrito VII	4	9	0,51	0,06
Comunidad de Aguas Canal Escorial	Distrito VII	4	92	5,24	0,06
Comunidad de Aguas Canal Palermo	Distrito VII	4	238,8	13,61	0,06
Comunidad de Aguas Canal Pedregal	Distrito VII	4	130,7	7,45	0,06
Comunidad de Aguas Canal Los Patos	Distrito VII	4	25,6	1,46	0,06

Comunidades de Agua y Canales	Distrito	Sector Acuífero	Acciones	Caudal (L/s)	Caudal/Acción (L/s)
Comunidad de Aguas Canal Las Rojas	Distrito VII	4	243,1	13,86	0,06
Comunidad de Aguas Canal La Bellavista	Distrito VII	4	268,5	15,30	0,06
Comunidad de Aguas Canal Terawaki Ronseco	Distrito VII	4	108	6,15	0,06
Comunidad de Aguas Canal Zavala	Distrito VII	4	144,4	8,23	0,06
Canal Alcaparrosa	Distrito VII	4	111,5	6,35	0,06
Comunidad de Aguas Canal Alto Melendez	Distrito VII	4	38	2,16	0,06
Canal Buitron	Distrito VII	4	120	6,84	0,06
Comunidad de Aguas Canal La Florida	Distrito VII	4	240	13,68	0,06
Comunidad de Aguas Canal Viñitas	Distrito VIII	4	468	20,12	0,04
Comunidad de Aguas Canal Punta Negra	Distrito VIII	4	468	20,12	0,04
Comunidad de Aguas Canal San Fernando	Distrito VIII	4	1.404	60,37	0,04
Comunidad de Aguas Canal Ciudad de Copiapó	Distrito IX	4	900	70,20	0,08
Total Sector 4			5.117,6	279,03	0,05

6.3 APÉNDICE III. Balances Hídricos

Cuadro 21. Balances hídricos

Sector	Balance entre la oferta y demanda legal	Balance entre oferta y demanda real (L/s)	Balance entre nueva oferta y demanda real
Sector 1	2.838,17	4.482,3	4.482,3
Sector 2	-3.552,25	-1.057	-1.057
Sector 3	-3.960,56	-1.029,5	-1.029,5
Sector 4	-3.971,03	-2.493,6	-1.393,6
Sector 5	-3.755	-1.117,1	-1.117,1
Sector 6	-1.901	-660,4	-660,4

6.4 APÉNDICE IV. Procesos de desalación de agua de mar.

Existen diversas tecnologías que permiten separar de forma eficaz el agua salada o en dos corrientes; una de agua con bajas concentraciones de sal y otra con altas concentraciones de sal llamada salmuera o agua de rechazo. Existen diversos criterios para clasificar los diferentes procesos de desalación, el más utilizado es la división en dos grandes grupos, térmico y membrana (Cooley *et al*, 2006)

El primero es un proceso de destilación que imita el ciclo natural del agua calentando el agua de mar hasta producir vapor de agua el que posteriormente se condensa, para generar el agua producto (Ian *et al*, 2003). Dentro de esta categoría se incluye los procesos de:

- Evaporación Multi-Etapas Flash (MSF): En este proceso se calienta el agua de mar en un calentador de salmuera para posteriormente reducir abruptamente la presión del agua de mar por debajo de la presión de vapor de equilibrio, lo cual produce una súbita ebullición parcial. El vapor producido pasa por mallas separadoras de gotas denominadas demisters, las cuales permiten eliminar las gotas de salmuera que hayan podido ser arrastradas por el vapor, luego este vapor es condensado en el haz tubular por donde circula el agua de mar hacia el calentador de salmuera, recogándose el condensado como agua producto y conduciendo la salmuera de rechazo a la siguiente etapa en donde existe una presión inferior, repitiendo así el proceso (Ian *et al* 2003; Ministerio de Sanidad y Política Social 2009).

Este método permite obtener agua muy pura, disminuyendo concentraciones de agua salada con más de 60.000 ppm de sólidos totales disueltos a concentraciones menores a las 10 ppm de Sólidos totales disueltos en un máximo de 25 etapas (Cooley *et al*, 2006)

- Destilación Múltiple-Efecto (MED): Al igual que el proceso anterior, la base de éste es evaporar el agua de mar para luego condensar el vapor obtenido y recuperar el calor latente de condensación para volver a elevar la temperatura del agua salada, la cual vuelve a ser evaporada en sucesivas etapas (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009). La diferencia principal entre este método y el anterior es la forma en que se produce la evaporación, en este proceso se utilizan una serie de evaporadores de películas delgadas, los que permiten generar mejor transferencia de calor que con la evaporación súbita que se realiza en la planta MSF. (Ramilo *et al*, 2003)

Estas plantas permiten recuperar entre un 30-40% de agua como producto, realizando ciclos sucesivos no superiores a 15, diseñadas para funcionar a temperaturas alrededor de los 70°C, siendo menos exigente en la calidad de los materiales de transferencia de calor (Urrutia, 2005)

- Compresión de vapor (CV): En este método de desalación el calor de evaporación de agua proviene de la compresión de vapor en lugar del intercambio directo de calor de vapor producido por una caldera (Cooley *et al*, 2006). El agua salada es pasada por un intercambiador de calor para ser calentada, para luego ser bombeada al interior del evaporador en donde se calienta hasta alcanzar la temperatura de saturación, que corresponde a la presión existente en el evaporador. El vapor pasa por los demisters y luego es aspirado por el compresor o por el eyector que lo comprime hasta alcanzar una nueva presión, generando un vapor recalentado, luego este vapor es introducido a los tubos del evaporador, en donde se condensa, generando el agua producto, el cual es extraído por bombas y debido a que aún posee calor sensible, es enfriado por el intercambiador de placas calentando así el agua salada que comienza el ciclo. La salmuera que no ha sido evaporada, cae al fondo del evaporador y es extraída por medio de bombas (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009; Ramilo *et al*, 2003).

La desalación con tecnología térmica es más utilizada en países en donde tienen una alta disponibilidad de combustibles fósiles como suceden en el medio Oriente, los cuales representan el 49,8% de los países con desaladoras en el mundo (Urrutia, 2005; WWF, 2007)

La tecnología por membrana utiliza membranas delgadas, semipermeables para desalar agua de mar y salobre a través de la selección de iones separando el agua salada en dos corrientes de concentración diferente, un producto corriente y concentrado. Esta tecnología incluye dos procesos (Ian *et al*, 2003):

- Osmosis Inversa (OI): Es el proceso en donde el agua salada pasa a través de una membrana semi-permeable impulsada por una bomba que aumenta su presión a hasta

alcanzar un valor superior a la presión osmótica natural, invirtiendo el proceso natural y obteniendo agua pura y agua de rechazo. El proceso comienza con un pretratamiento, en donde se eliminan por filtración los sólidos suspendidos en el agua salada, se realiza cloración para prevenir el desarrollo bacteriano y luego una declaración para que el cloro no dañe las membranas, además se añaden componentes químicos ácidos para disminuir el Ph del agua y así evitar que precipiten óxidos metálicos y antiincrustantes que evitan que las sales precipiten en la superficie de la membrana (Ramilo *et al*, 2003; Urrutia, 2005). Luego se realiza el bombeo hacia el bastidor, en donde se encuentra la caja de presión que contiene las membranas semipermeables y una serie de tuberías que permite la evacuación del concentrado y del permeado para su postratamiento. El agua de rechazo, la cual permanece con mucha presión, es conducida a un sistema de recuperación de energía que son generalmente una bomba invertida, una turbina hidráulica o una cámara de intercambio de presión para que así se aproveche la presión de salida de la salmuera, reutilizándola como energía de entrada en un nuevo comienzo del proceso. Finalmente el agua producto es sometida a un postratamiento, en donde se le añade cloro y NaOH para aumentar el Ph del agua además realizar una desgasificación para eliminar el CO₂ que las membranas no pueden retener (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009).

Actualmente esta tecnología es la más utilizada debido a su menor costo de inversión, bajo consumo de energía y buena calidad de agua que produce. La cantidad de agua desalada que se puede obtener por medio de esta tecnología oscila entre el 30% y el 85% del volumen del agua entrante, dependiendo principalmente de salinidad del agua entrante y de la configuración de las membranas, las cuales pueden ser de plato y marco, tubular, fibra hueca o arrollamiento en espiral (Cooley *et al*, 2006; Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009)

- **Electrodialisis (ED):** Es el proceso por el cual los iones constituyentes de las sales del agua de entrada son separados de la solución salina por medio de fuerzas eléctricas. Al igual que la OI, este proceso comienza con un pre-tratamiento para luego ser pasados por membranas selectivas, donde los iones son atraídos por los ánodos o cátodos, según su carga eléctrica, separando en diferentes compartimientos el agua pura y agua salada más concentrada (Cooley *et al*, 2006). Es importante señalar que debido a su proceso ésta tecnología sólo se puede utilizar para el tratamiento de agua salobre (1.000-10.000 ppm de sólidos totales disueltos) (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009)

Existen otros procesos que no son usados a niveles industriales debido a su alto costo o a su dificultad tecnológica por que se limitan a plantas experimentales y de baja capacidad, entre éstas se encuentran principalmente los procesos de destilación por membrana, congelación, formación de hidratos e intercambio iónico (Cooley *et al*, 2006; WWF, 2007).