

# **“DIAGNÓSTICO PLAN MAESTRO PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE COQUIMBO”**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**JULIO 2013**

**ESTUDIO REALIZADO CON FONDOS DEL  
GOBIERNO REGIONAL DE COQUIMBO**

**CONIC-BF**  
Ingenieros Civiles Consultores



## RESUMEN EJECUTIVO

0	30-07-2013	Informe Final	COA-DOS	ARM	ARM
C	12-07-2013	Emisión Preliminar	COA-DOS	ARM	ARM
B	10-07-2013	Para Revisión de Mandante	COA-DOS	EBF	EBF
A	28-06-2013	Para Revisión Interna	COA-DOS	EBF	EBF
Versión	Fecha	Revisión	Preparó	Revisó	Aprobó
CODIGO DOCUMENTO: <b>0948-INF-HD-006-0</b>		Ubicación Archivo: \\Servidor-02\conicbf\PROYECTOS\0948-Plan Maestro IV R\Etapa 4\v0			VERSION <b>0</b>
 <b>INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA.</b>					
Maitenes 2387 Providencia – Fono 22054095 e-mail: gerencia@conicbf.cl					



## INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.2.1	Objetivo General .....	1
1.2.2	Objetivos Específicos.....	2
1.3	Estructuración del Estudio.....	2
1.4	Antecedentes para el Análisis .....	3
2.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	5
2.1	Introducción .....	5
2.2	Análisis del Diagnóstico en cuanto a Oferta de Agua .....	5
3.	DIAGNÓSTICO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	6
3.1	Demanda.....	6
3.1.1	Demanda Agrícola .....	6
3.1.2	Demanda de Agua Potable.....	7
3.1.3	Demanda de la Minería e Industria.....	7
3.2	Disponibilidad Legal del Recurso Hídrico.....	7
3.3	Análisis de Tendencias.....	10
3.4	Oferta.....	11
3.5	Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca del Elqui .....	12
3.6	Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca del Limarí .....	13
3.7	Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca de Choapa .....	14
3.8	Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca Los Choros.....	16
3.9	Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca Pupío.....	17
3.10	Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca Quilimarí.....	18
3.11	Resultados Balance Oferta-Demanda.....	19
4.	DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS.....	28
4.1	Aspectos Generales .....	30
4.2	Cuenca Los Choros.....	30
4.3	Cuenca Elqui .....	32
4.4	Cuenca Limarí .....	32
4.5	Cuenca Choapa.....	33
4.6	Cuenca Pupío.....	33
4.7	Cuenca Quilimarí.....	34
5.	DIAGNÓSTICO DE EVENTOS EXTREMOS.....	35
5.1	Planes Maestros de Aguas Lluvias .....	35
5.2	Planes Maestros de Manejo de Cauces.....	35
5.3	Sistemas de Alerta en Crecidas .....	35
5.4	Sequías .....	36

6.	DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA.....	37
6.1	Infraestructura de Riego .....	37
6.2	Obras de Acumulación y Regulación .....	38
6.3	Agua Potable Rural .....	39
6.4	Agua Potable Urbana .....	39
6.5	Generación Hidroeléctrica .....	39
6.6	Pozos de Aguas Subterránea.....	40
7.	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	41
8.	DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL Y FUNCIONAL .....	45
8.1	Introducción.....	45
8.2	Principales Conclusiones .....	45
9.	PROPUESTAS DEL PLAN .....	48

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Durante las últimas décadas en Chile se ha observado un importante aumento en la demanda de recursos hídricos, por parte de distintos sectores del quehacer nacional, entre ellos los económicos, sociales y ambientales. Esto ha agudizado los conflictos entre usos y usuarios, en atención a que las necesidades de agua muchas veces superan a la oferta del recurso. Particularmente, esto ocurre con el agua en la Región de Coquimbo, en la que la oferta del recurso es escasa, y muy variable de un año a otro.

Además, la afección de la cantidad y calidad de los recursos hídricos, vinculada a la utilización de otros recursos naturales, es una situación que potencia aún más los conflictos entre usos y usuarios.

A raíz de lo anterior el Ministerio de Obras Públicas (MOP), principalmente a través de la Dirección General de Aguas (DGA) y Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), ha centrado sus esfuerzos en el desarrollo de Estudios de Factibilidad de Manejo de Cuencas Hidrográficas desde el año 1994 a la fecha para diversas cuencas críticas del país.

El Presidente de la República Sebastián Piñera Echenique y la Intendencia Regional, han manifestado su preocupación por la constante escasez de aguas en la región de Coquimbo y por ello han encomendado a la Dirección General de Aguas la identificación de formas de gestión que permitan enfrentar los desafíos existentes para lograr avanzar en una utilización armónica del agua, conciliando intereses públicos y privados. En este marco se ha elaborado la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, dentro de la cual se proponen un conjunto de acciones para abordar los problemas y desafíos existentes. De las acciones destinadas a la planificación surgen los planes directores y/o maestros como instrumentos de planificación indicativa destinada a orientar el accionar de los actores que interactúan dentro de una cuenca o en su área de influencia.

Consecuentemente, el Gobierno Regional de Coquimbo, consciente de la necesidad de buscar mejores formas de gestión que permitan enfrentar los desafíos actuales y avanzar hacia la utilización armónica del recurso hídrico, gestó la elaboración del presente Plan Maestro, contando para ello con el apoyo técnico de la DGA.

A raíz de lo anterior el GORE y la DGA-MOP adjudicaron a CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda., el desarrollo del contrato de consultoría de la formulación del Plan Maestro para la Gestión de Los Recursos Hídricos de La Región de Coquimbo.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo General

El objetivo central del presente estudio es elaborar un Plan Hídrico para la Región de Coquimbo, que constituya un instrumento de planificación que, considerando los efectos agregados de las diversas intervenciones locales, contribuya a orientar las decisiones públicas y privadas, con el fin último de maximizar la función económica, social y ambiental del agua, en armonía con el medioambiente y con condiciones de equilibrio que permitan la sustentabilidad dentro de una visión de corto, mediano y largo plazo.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Con el objeto de dar cumplimiento al objetivo indicado anteriormente, se hizo necesario el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Efectuar una revisión, actualización y sistematización de la información existente.
- Elaborar un diagnóstico de los aspectos de cantidad y calidad del recurso hídrico; diagnóstico de la infraestructura y servicios relacionados; diagnóstico en materia ambiental y funcional respecto del desempeño institucional (público y privado), diagnóstico en materia de gestión en escenarios medios y en condiciones extremas (sequías e inundaciones).
- Identificar brechas, debilidades o disfuncionalidades que constituyen la base para formular objetivos estratégicos y acciones correspondientes; en el marco de las directrices políticas vigentes.
- Formular una propuesta de plan que identifique programas y sus acciones correspondientes con el objeto de reducir o mitigar las brechas o deficiencias diagnosticadas.
- Elaborar y dimensionar, técnica y económicamente, las acciones que conforman los programas del plan de acción.
- Formular un calendario de inversión identificando horizonte de corto, mediano y largo plazo.

### 1.3 Estructuración del Estudio

El presente Plan Maestro ha sido estructurado en base a los siguientes ejes:

- Disponibilidad Hídrica
- Calidad de Aguas
- Infraestructura Hidráulica
- Eventos Extremos
- Protección Ambiental
- Desempeño Institucional y Funcional
- Actividades Valoradas por Factores No Económicos
- Herramientas para la Gestión Hídrica

Como metodología general para el desarrollo del estudio, se siguieron los siguientes pasos para cada uno de los ejes mencionados:

- Búsqueda y revisión de todos los antecedentes disponibles según cada uno de los ejes que estructuran el estudio.
- Estudio de la legislación vigente
- Elaboración de los respectivos diagnósticos
- Establecimiento de metas o imagen deseada
- Identificación de brechas, necesidades o falencias
- Proposición de acciones
- Evaluación técnica y económica de las proposiciones
- Definición de los presupuestos y calendario de inversión

#### 1.4 Antecedentes para el Análisis

Para la ejecución del Plan Maestro se revisaron más de 200 estudios anteriores efectuados en la región. A ello se agregan datos básicos como mediciones y estadísticas. Estos antecedentes fueron revisados, procesados y sintetizados para los distintos usos de que fueron objeto. Las principales instituciones consultadas para la obtención de la información han sido las siguientes:

##### Públicas:

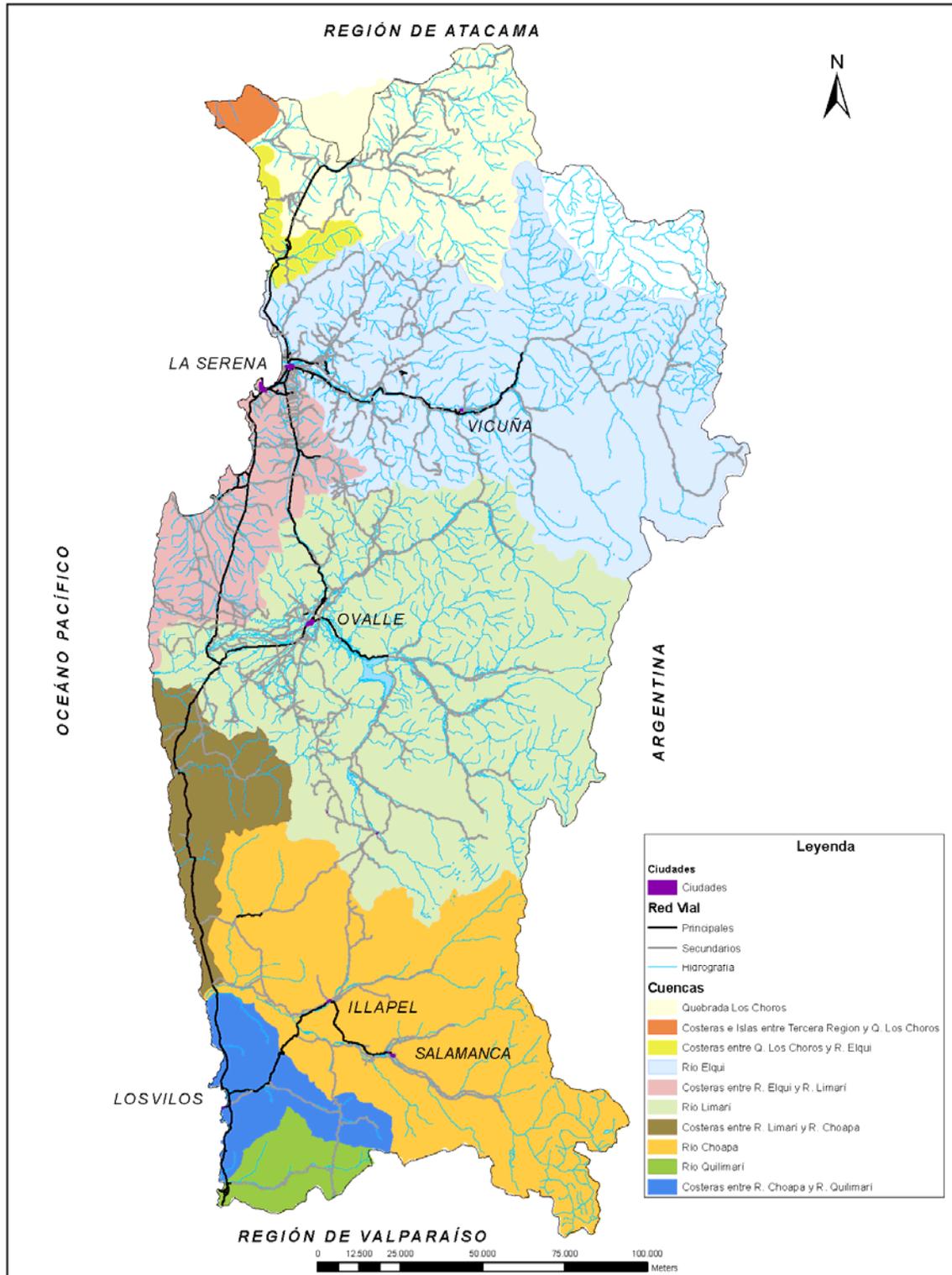
- Gobierno Regional (GORE)
- Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA)
- Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (DOH)
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI)
- Comisión Nacional de Riego (CNR)
- Oficina Regional de Emergencia (OREMI)
- Corporación Nacional Forestal (CONAF)
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
- Sistema de Evaluación Ambiental (SEA)
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE)
- Instituto Geográfico Militar (IGM)

##### Privadas:

- Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)
- Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA)
- Centro de Despacho Económico de Carga (CEDEC)
- Comisión Nacional de Energía (CNE)
- Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO)
- Universidad de La Serena (ULS)
- Organizaciones de Usuarios de Agua

Finalmente cabe comentar que la revisión de información fue realizada en forma temática respecto de antecedentes básicos como hidrología, cartografía, etc.; y de cada uno de los ejes de estudio contemplados. De cada documentación revisada se presentó una breve reseña o resumen, la que incluyó fuente, autor y año de publicación.

Figura 1.1 Área de Estudio



## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 2.1 Introducción

Para llevar a cabo este trabajo, la Empresa Consultora desarrolló las siguientes tareas:

- Recopilación, revisión y actualización de toda la información observada de caudales, precipitaciones, volúmenes afluentes a embalses, entregas desde los embalses para riego, generación de energía u otros usos, muestreos de calidad de aguas, etc.
- Recopilación y revisión exhaustiva de todos los informes anteriores relativos a estudios hidrológicos, proyectos de obras hidráulicas, proyectos de defensas fluviales, planes maestros de aguas lluvias, diseño hidráulico de puentes, revestimiento de canales, represas, etc.
- Entrevistas personales con todos los actores relevantes para el tema de los recursos de agua en la Región. Entre éstos, cabe destacar los siguientes:
  - Autoridades del Sector Público, Regionales
  - Directivos de las Organizaciones de Usuarios (Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, etc.)
  - Directivos de Empresas Concesionarias de Servicios Sanitarios
  - Directivos de CORMINCO

### 2.2 Análisis del Diagnóstico en cuanto a Oferta de Agua

Para hacer este diagnóstico, se usó el modelo MAGIC, desarrollado por la D.G.A. (MOP). Este es un modelo de simulación hidrológico y operacional, que se configura por una red de nodos, en los cuales se calcula un balance de caudales, a nivel discreto. El modelo incluye las interacciones entre caudales superficiales y aguas subterráneas; y sus parámetros pueden ser calibrados con las estadísticas existentes en las estaciones fluviométricas de superficie, las observaciones de los niveles freáticos de los acuíferos y el estado de los embalses.

Este modelo, una vez calibrado y validado, tiene un grado razonable de confiabilidad para hacer un diagnóstico cuantitativo de la satisfacción de las demandas de riego, y también de los demás sectores usuarios del agua. El equipo consultor había llevado a cabo un análisis similar de diagnóstico, con el mismo modelo, con el CAZALAC<sup>1</sup> para el Gobierno Regional algunos años atrás, por lo que la metodología para el diagnóstico cuantitativo estaba ya validada.

Por otro lado, dados algunos análisis de tendencias realizados para las series hidrológicas de caudales, se decidió usar una longitud de estadísticas de aproximadamente 20 años, lo que se considera como período más representativo del futuro próximo.

---

<sup>1</sup> Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe

### 3. DIAGNÓSTICO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA

El diagnóstico se basa fundamentalmente en el desarrollo y simulación de escenarios con el modelo MAGIC (Modelo Analítico Genérico Integrado de Cuencas), y en la interpretación de sus resultados. El desarrollo del modelo requiere una gran cantidad de información, según se explica en los puntos siguientes, para caracterizar de forma integral el funcionamiento hídrico de una cuenca.

Se efectuó una actualización de los modelos existentes creados y calibrados el año 2005, para las cuencas de Elqui (incluye Culebrón), Limarí y Choapa, la que consistió en:

- Actualización de las estadísticas de datos de entrada relativos a la oferta (pluviometría, fluviometría)
- Actualización de los datos de entrada relativos a la demanda superficial y subterránea (uso agrícola, potable, minero), en especial actualización de las áreas de riego, cultivos y métodos de riego
- Actualización de los derechos de agua

Adicionalmente se desarrolló un modelo MAGIC para cada una de las tres cuencas costeras, Los Choros, Pupío y Quilimarí. En estos casos se calibró (control en estaciones fluviométricas específicas) el modelo con la oferta y demanda del período 1989-2011, salvo en la cuenca del Pupío, en que se usó el período 1989-2009, debido a que en esta cuenca operan a contar de 2009, el tranque Mauro de Minera Los Pelambres y el embalse de cola.

Para las cuencas Los Choros, Elqui-Culebrón, Choapa, Pupío y Quilimarí, se utilizó la versión 1.8 del modelo MAGIC. Solamente para la cuenca del Limarí, se utilizó la versión 1.9, que tiene algunas diferencias con la versión anterior en el tratamiento de las infiltraciones desde zonas agrícolas.

Toda la información tanto de entrada como de salida del modelo está contenida en planillas de bases de datos y archivos de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

#### 3.1 Demanda

##### 3.1.1 Demanda Agrícola

La demanda agrícola corresponde al uso mayoritario del agua en la región. Esta se obtuvo a partir de los catastros de cultivos disponibles. En la Tabla 3.1 se presenta un resumen de las superficies de riego por cuenca.

Para efectos de la modelación, se tuvo en cuenta que la demanda se cubre con agua superficial en la medida que ella esté disponible, con agua embalsada si hay déficit, y por último, con agua subterránea, si aún persiste algún déficit. El tope del uso del agua subterránea lo constituyen los derechos constituidos.

**Tabla 3.1 Superficies de Riego por Cuenca**

<b>CUENCA</b>	<b>SUPERFICIE TOTAL (hás)</b>	<b>SUPERFICIE CIREN 2011 (hás)</b>	<b>OTRA SUPERFICIE (hás)</b>
Los Choros	176,47	56,75	119,72
Elqui	25.944,97	6.599,35	19.345,62
Limarí	51.925,74	18.826,51	33.099,23
Choapa	15.689,67	6.004,86	9.684,81
Pupío	566,94	9,78	557,16
Quilimarí	689,38	441,11	248,27
<b>TOTAL</b>	<b>94.993,17</b>	<b>31.938,36</b>	<b>63.054,81</b>

Fuente: Catastro CIREN año 2011, Catastro SAG 2009

### 3.1.2 Demanda de Agua Potable

Se consideró tanto el agua potable urbana como rural. En ambos casos, en el modelo se trabajó con la producción. Para el agua potable urbana, la producción es conocida, y para el agua potable rural, a veces es conocida, y a veces es estimada en base a la población y una dotación. En el caso del agua potable urbana, se consideró también el retorno del agua servida tratada al sistema hídrico.

### 3.1.3 Demanda de la Minería e Industria

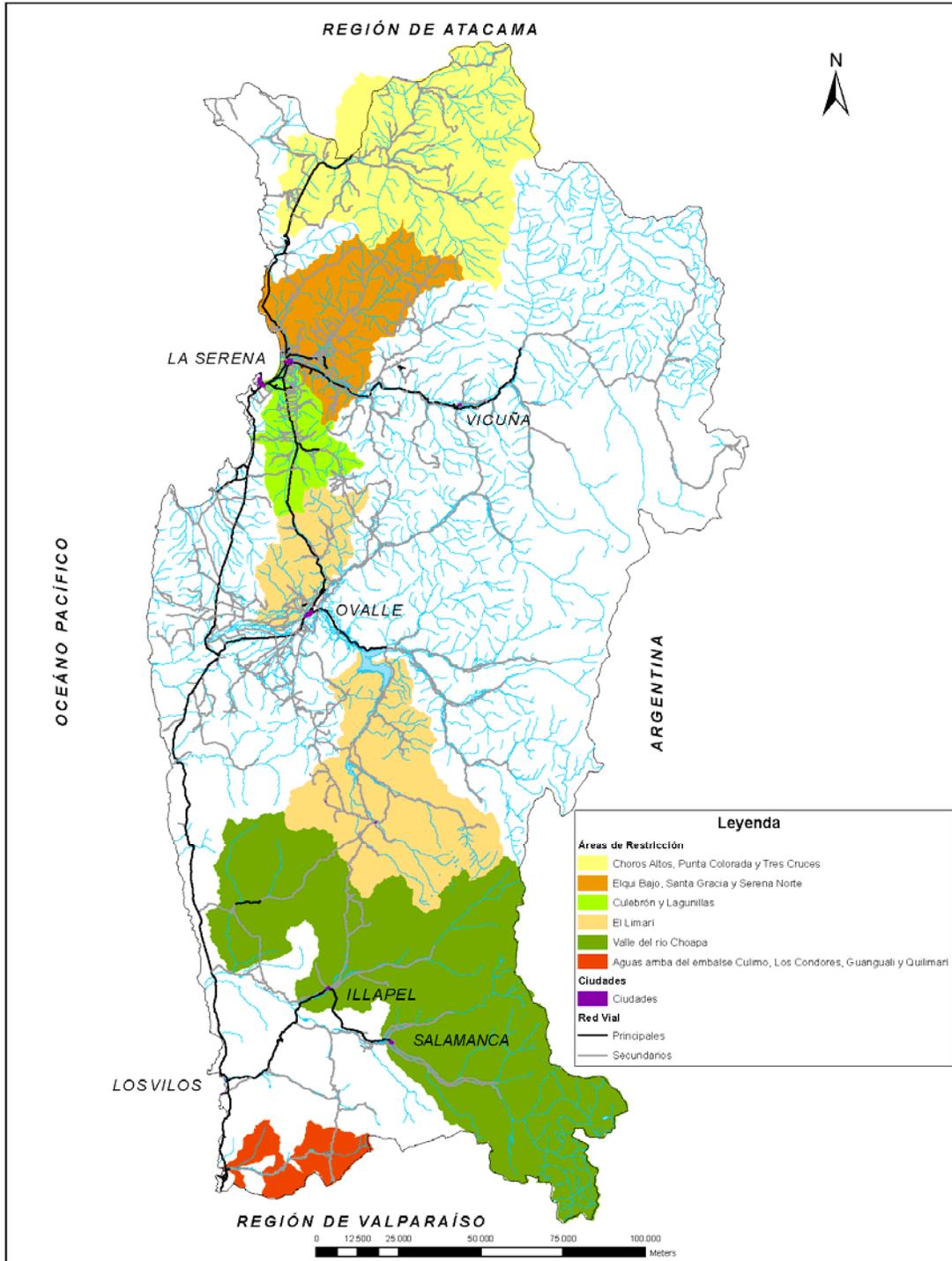
En estos casos se asumió como demanda el caudal correspondiente a los derechos de agua, con un factor de uso igual a uno.

## 3.2 Disponibilidad Legal del Recurso Hídrico

Para los efectos de simulación de escenarios históricos y futuros base, se consideraron las áreas de restricción y agotamiento que han sido decretadas para la región por la DGA. En lo subterráneo, gran parte de los acuíferos de la región se encuentra declarada como área restringida para la explotación de nuevas extracciones, según se grafica en la Figura 3.1. En lo superficial, están declaradas agotadas para efectos de constitución de nuevos derechos consuntivos y permanentes, las cuencas de Elqui, Limarí y Choapa, según Figura 3.2.

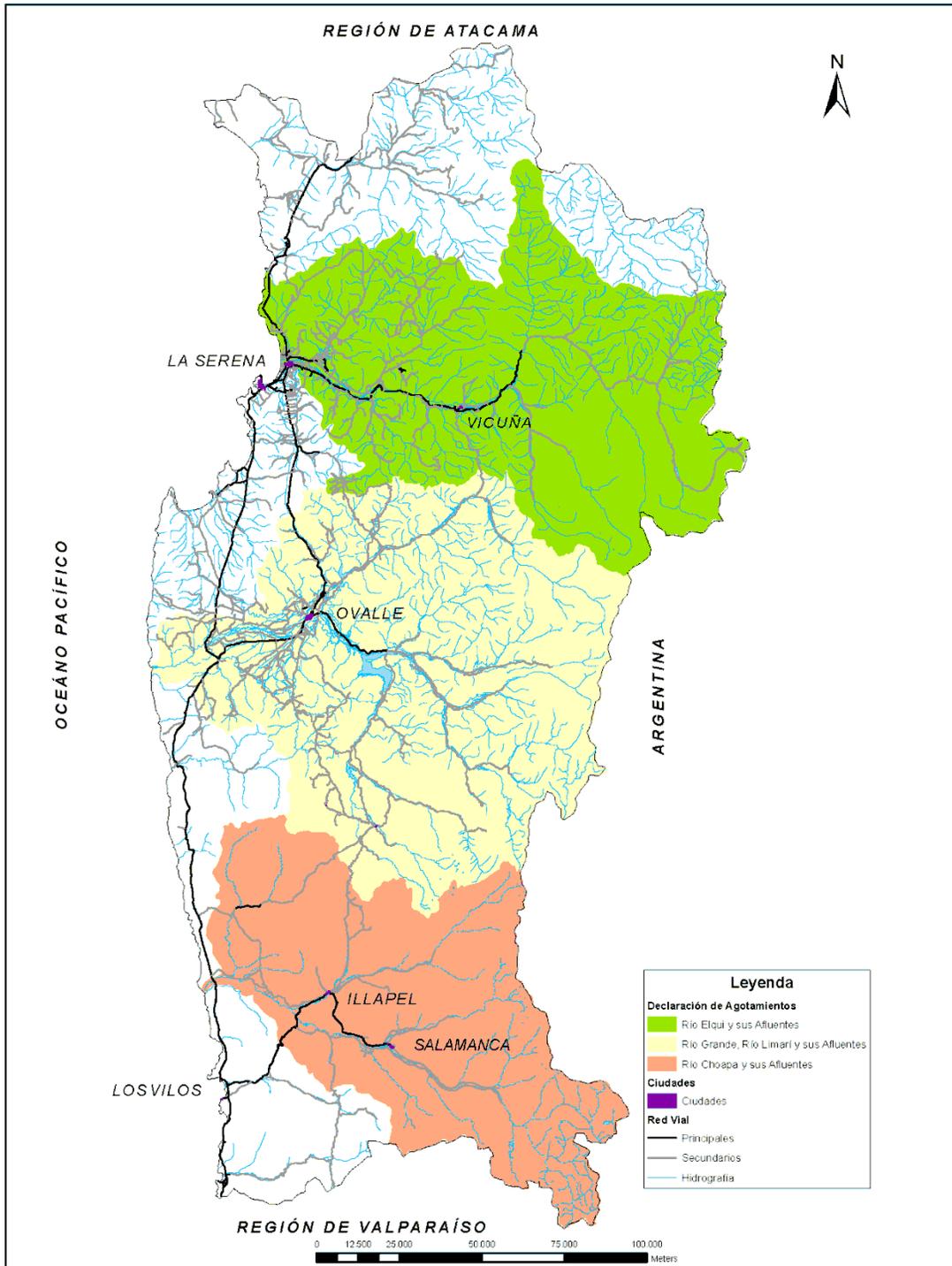
Para efectos de escenarios futuros de operación, con cambios respecto del escenario actual, se analizó el efecto y la conveniencia de levantar algunas de las restricciones actuales.

Figura 3.1 Áreas de Restricción Declaradas Región de Coquimbo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Cuencas con Declaración de Agotamiento



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Análisis de Tendencias

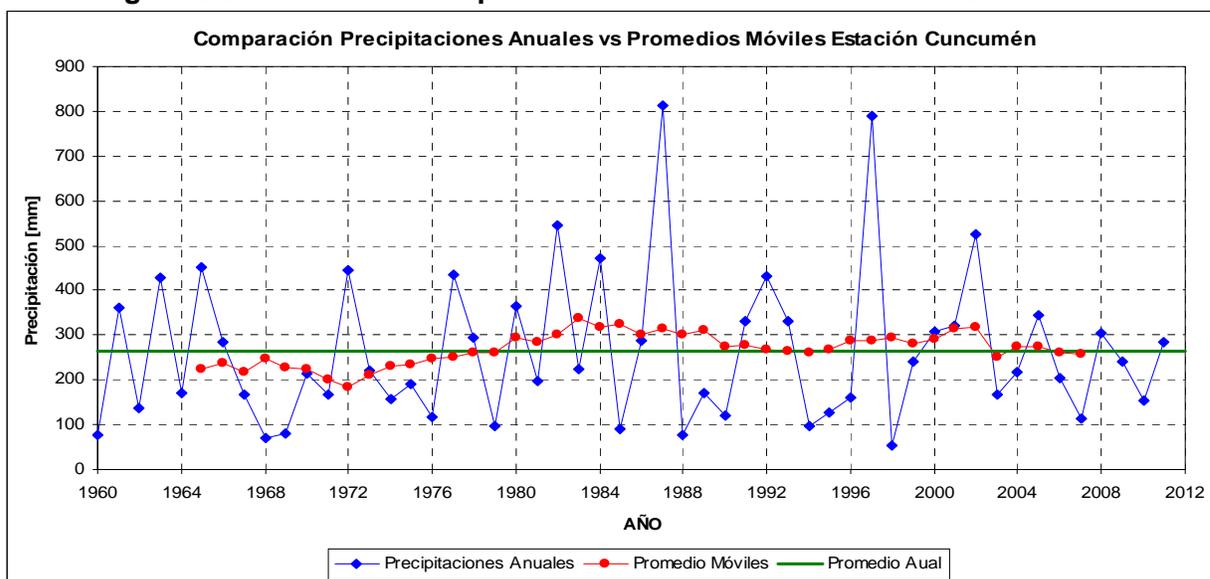
Se analizó si las cuencas de la región presentan alguna tendencia de modificación temporal de las principales variables meteorológicas (precipitaciones, volúmenes de escorrentía y caudales de deshielos).

Los resultados del análisis de precipitaciones muestran una leve ciclicidad de tipo decadal, pero no una tendencia persistente al alza o a la baja.

En la Figura 3.3 se muestra, a modo de ejemplo, el análisis de precipitaciones en la parte alta de la cuenca del Choapa, con datos de la estación Cuncumén. En este gráfico, la línea roja representa los promedios móviles de 10 años de las precipitaciones anuales registradas en dicha estación.

Los resultados del análisis de escorrentía (razón del volumen de escorrentía proveniente del deshielo respecto del volumen total de escorrentía en cada ciclo hidrológico) muestran que no existe evidencia para aseverar que se está modificando el patrón de aportes de deshielos. Por su parte, la gran variabilidad en las razones de volúmenes entre un año y otro es una situación propia del norte chico.

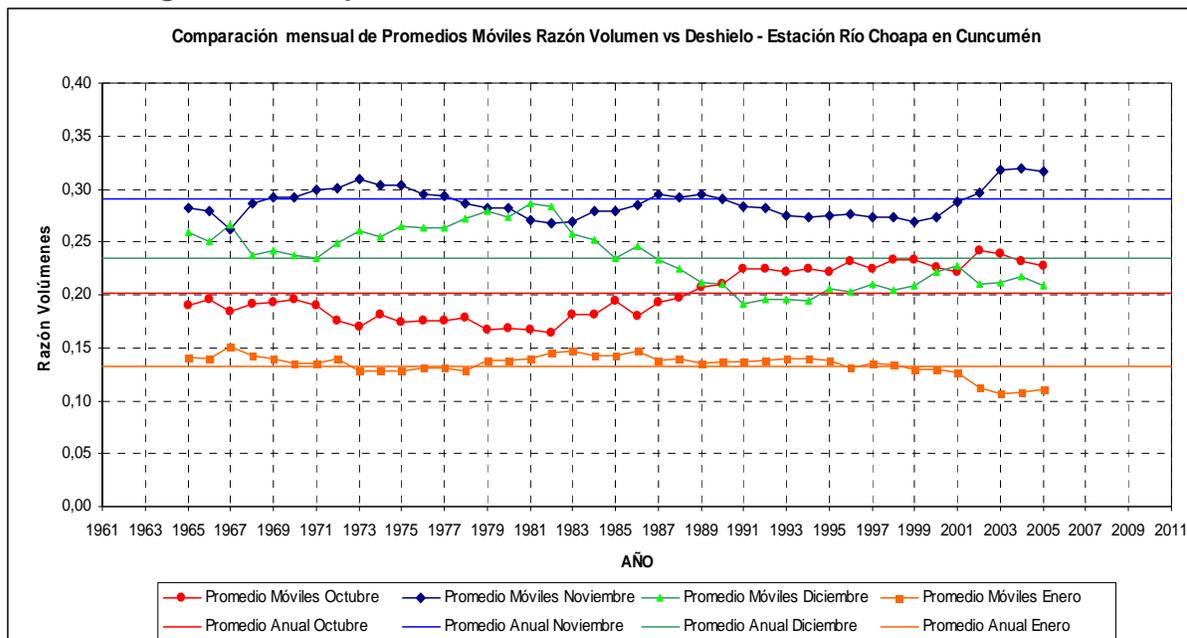
**Figura 3.3 Análisis de Precipitaciones Estación Pluviométrica Cuncumén**



A partir del análisis de volúmenes de deshielos, se observó que, a medida que se avanza de norte a sur, se puede apreciar un leve adelantamiento del ciclo de deshielo. Esto probablemente se debe a que la nieve se acumula a una mayor cota y una mayor temperatura. Este último hecho tiene como consecuencia que la radiación solar de onda corta, cuya variación en 50 años es despreciable, puede elevar anticipadamente la temperatura de la nieve, generando el derretimiento.

En la Figura 3.4 se presenta, para la estación Cuncumén, la comparación de los meses de deshielo (octubre a enero) los promedios móviles de la razón que existe entre el volumen mensual y el volumen total de deshielo del respectivo período ( $V_{mes}/V_{año}$ ).

**Figura 3.4 Comparación Mensual de Promedios Móviles de Deshielo**



Por lo tanto, no se incluyó ninguna variación en la oferta utilizada para la modelación, correspondiente a los últimos veinte años de estadística, debido a que no se perciben tendencias, y la leve tendencia al adelantamiento del deshielo ya está incluida en la estadística considerada.

### 3.4 Oferta

La oferta está representada por el caudal generado en la cuenca, el cual se obtiene por agregación de los caudales ya sea medidos o generados en cada una de las subcuencas aportantes definidas para la modelación. Los caudales aportados por las subcuencas se miden directamente en estaciones de cabecera, o bien se han generado sintéticamente mediante el modelo MPL. La oferta es un dato de entrada para la modelación.

En la Tabla 3.2 se resume la oferta hídrica para las seis cuencas estudiadas en función de la probabilidad de excedencia. Cabe recordar que los derechos de agua con carácter de permanentes, se otorgan para una probabilidad de excedencia de 85%. También es posible apreciar la gran diferencia que existe entre los caudales con probabilidad 5% (año húmedo) y 95% (año seco) cuya razón es de casi 10, situación única en el mundo.

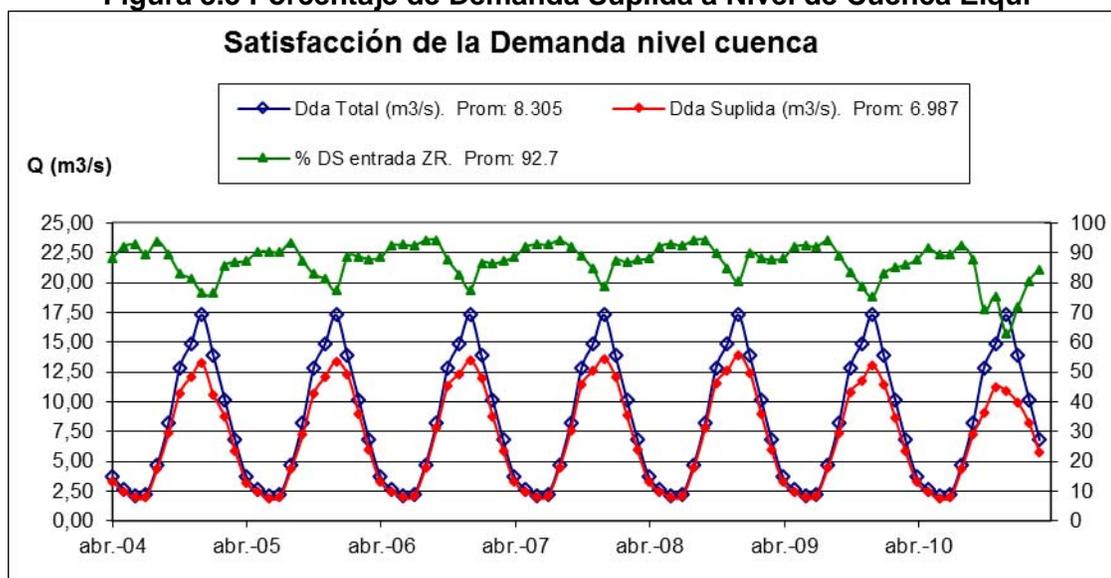
**Tabla 3.2 Caudal de Oferta y Probabilidad de Excedencia Asociada**

Pb_exc Weibull (%)	Esc. total Caudal ELQUI (m3/s)	LIMARI	CHOAPA	LOS CHOROS	PUPÍO	QUILIMARÍ
0,04	42.50	88,39	55,49	1,58	3,25	3,84
0,09	27.87	53,82	42,52	1,17	1,40	1,20
0,13	20.73	35,23	26,51	1,08	0,42	0,81
0,17	15.83	28,38	26,15	0,68	0,30	0,50
0,22	15.72	26,21	24,68	0,36	0,30	0,50
0,26	14.89	23,86	20,72	0,35	0,28	0,44
0,30	14.11	21,35	19,61	0,34	0,26	0,35
0,35	13.30	20,41	18,26	0,32	0,25	0,32
0,39	12.53	17,64	18,06	0,28	0,25	0,29
0,43	11.96	17,11	18,03	0,25	0,22	0,27
0,48	11.70	14,29	15,97	0,22	0,21	0,26
0,52	11.07	13,74	14,52	0,18	0,21	0,25
0,57	10.56	12,33	12,59	0,17	0,20	0,22
0,61	9.39	12,07	10,94	0,16	0,17	0,21
0,65	9.01	10,97	10,74	0,12	0,17	0,19
0,70	8.66	10,69	9,89	0,12	0,16	0,18
0,74	8.14	9,91	9,54	0,11	0,13	0,14
0,78	8.01	9,36	9,25	0,04	0,13	0,12
0,83	6.94	9,32	7,69	0,02	0,12	0,12
0,85	6.60	8,50	7,10	0,01	0,10	0,11
0,87	6.36	7,73	6,48	0,00	0,09	0,11
0,91	6.06	5,91	5,78	0,00	0,07	0,08
0,96	4.93	5,17	4,48	0,00	0,03	0,07

### 3.5 Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca del Elqui

Esta cuenca se dividió en 12 zonas de riego para efectos de la modelación. Dentro de los principales resultados se encuentra el nivel en que se suple la demanda de riego, situación que se grafica para la cuenca completa en la Figura 3.5.

**Figura 3.5 Porcentaje de Demanda Suplida a Nivel de Cuenca Elqui**



Para la cuenca en su conjunto se tiene que un área de aproximadamente 87% tiene una seguridad de riego sobre 85%.

Por su parte, el porcentaje de uso de los derechos de agua potable urbana en general no supera el 50%, lo que responde al rango de seguridad que las empresas deben tener en cuanto a sus derechos, para surtirse en épocas de sequía.

Para todos los acuíferos de la cuenca, se aprecia es que, bajo la condición de que el bombeo supla el déficit de las aguas superficiales sin superar los derechos constituidos, ningún acuífero sufre bajas importantes.

Esto se debe, por un lado, a que las aguas superficiales no son escasas, como ocurre en 6 de 12 sectores y, por otro lado, a que las extracciones subterráneas están efectivamente restringidas por los derechos, como ocurre en los acuíferos del Estero Derecho, Elqui bajo, Santa Gracia y Costa.

En el acuífero de Culebrón, se observa recientemente alterado el nuevo estado de equilibrio bastante crítico que había alcanzado este acuífero, antes de la última sequía. Especialmente en el sector sur, este acuífero ha logrado un estado de equilibrio en épocas normales, pero con cada sequía se deprime notablemente, porque no hay cauces de importancia para una fuerte recuperación de sus niveles. Las recargas disponibles provienen solamente de canales y zonas de riego. Así, el bombeo intensivo en el sector sur del Culebrón, ha generado sucesivas bajas de nivel localmente. Incluso se ha debido reducir la explotación, debido a que se inició una tendencia clara de descenso en los últimos años, con la entrada en operación de los derechos de la minera TECK Carmen de Andacollo.

En una situación similar se encuentra el acuífero de Santa Gracia. Es un acuífero extendido cuya recarga proviene fundamentalmente del riego. Este acuífero recibe todas las recargas que se encuentran disponibles, las que se explotan casi en su totalidad.

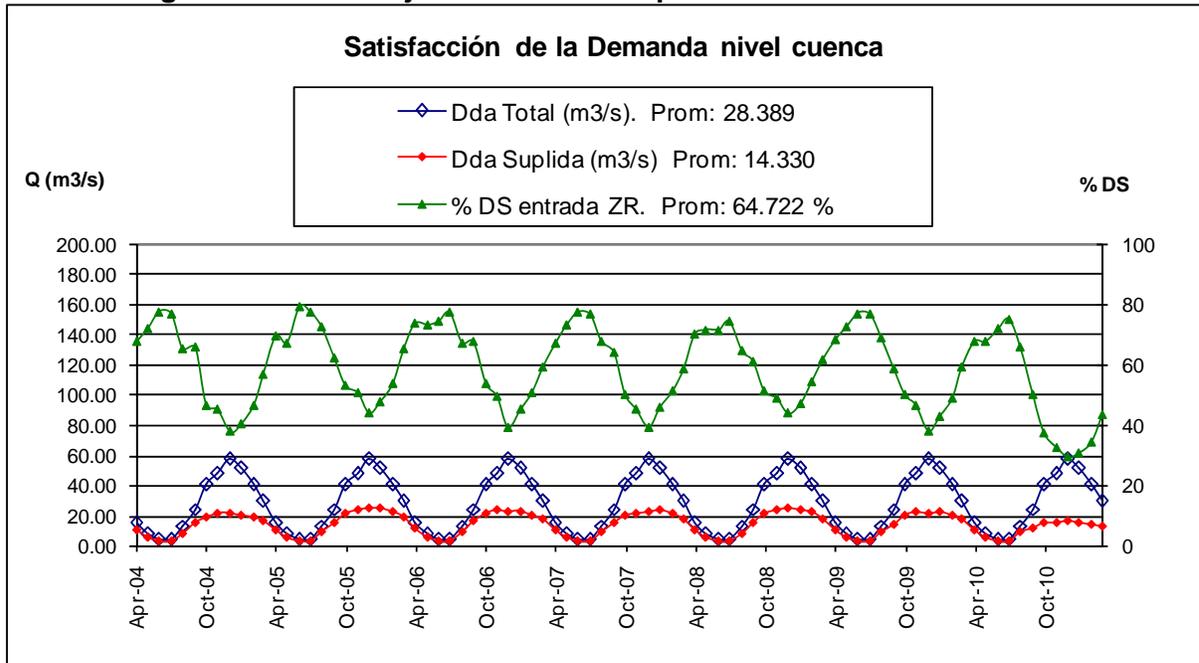
Por lo tanto, en base a lo observado, se aprecia que las restricciones impuestas a la constitución de nuevos derechos para los acuíferos Santa Gracia y Culebrón se justifican desde el punto de vista de las capacidades y recargas de los acuíferos.

### **3.6 Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca del Limarí**

Para la cuenca completa se obtiene la siguiente situación de satisfacción de la demanda, que se observa en la Figura 3.6. Se aprecia un efecto amortiguado de la actual sequía en los últimos años.

Se puede apreciar que para la cuenca completa, el porcentaje de satisfacción de demanda promedio de todo el año sería de un 64,7%, pero en los meses de verano se podría suplir aproximadamente un 55% del área con alta seguridad. El resto del área cultivable sería de riego eventual.

**Figura 3.6 Porcentaje de Demanda Suplida a Nivel de Cuenca Limarí**



En cuanto al agua potable urbana, en general, el porcentaje de uso de los derechos se mantiene bajo (51%), con la excepción de Chañaral Alto, donde es de 63%.

En los acuíferos se observa en primer lugar que las percolaciones desde las zonas de riego son pequeñas (0,53 m3/s). Sólo provienen de las zonas menos tecnificadas. En el modelo se consideró un importante reuso de las percolaciones antes de que vayan a alimentar los acuíferos. Lo anterior significa que hay una elevada eficiencia de uso del agua a nivel de zona de riego.

Lo que se aprecia es que, bajo la condición de que el bombeo supla el déficit de las aguas superficiales sin superar los derechos constituidos, ningún acuífero sufre bajas importantes. Algunos acuíferos se ven afectados por la sequía de los últimos años. La merma de aportes genera un descenso leve pero continuo. Es el caso de los acuíferos de El Palqui, Graneros y Camarico, justamente aquéllos que no están ligados a ningún cauce.

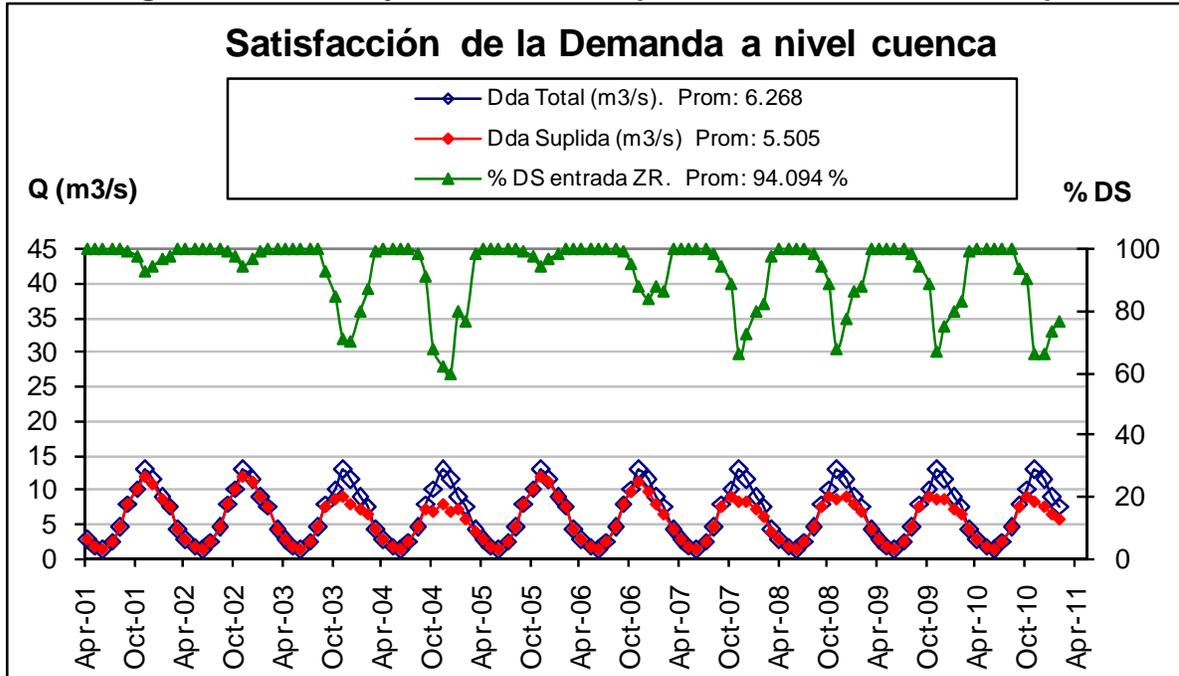
Fuera de ello, no se observa que el uso de los derechos actuales genere algún tipo de descenso importante en algún acuífero de la cuenca.

**3.7 Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca de Choapa**

Para toda la cuenca en conjunto, se presenta el gráfico de satisfacción de la demanda de riego en la Figura 3.7, donde se aprecia que aproximadamente el 85% del área tiene una seguridad de riego razonable, del 85%.

Las áreas con mayor déficit de abastecimiento son las de Quelén (ZR-06) y Chalinga, con alrededor de la mitad de su área bien regada (con seguridad de riego 85%). Como se verá más adelante, en estos sectores, además, son precarios los acuíferos, tanto en volumen como en recarga.

Figura 3.7 Porcentaje de Demanda Suplida a Nivel de Cuenca Choapa



Le siguen algunos sectores de la subcuenca de Illapel, que son Carén, Illapel sobre embalse e Illapel mismo, donde el porcentaje de área bien regada es de alrededor de 60%, y el sector de Batuco (Choapa Alto) con 73%. Estos sectores actualmente quedan directa o indirectamente beneficiados con el embalse El Bato. El resto de la cuenca (Choapa Alto, Medio y Bajo) tiene un alto porcentaje de área (sobre 80%) con seguridad de riego sobre el 85%, fundamentalmente gracias al embalse Corrales.

En cuanto al agua potable urbana, se observan en esta cuenca porcentajes de uso de los derechos, bastante altos en relación con lo que es usual. Porcentajes de uso superiores a 50% muestran que las fuentes son muy estables, pues las empresas deben tener ese rango de seguridad de derechos para surtirse en épocas de sequía.

En cuanto a los acuíferos, la fuente más importante para alimentar a los mismos la constituye por lo general, el agua del cauce. Analizando la realidad por sectores, se observa que esto es lo que sucede específicamente en el río Choapa, donde se alcanzan caudales importantes. Ahí el río es la fuente más importante de recarga para los acuíferos. Esto no es el caso para los ríos Chalinga e Illapel, donde la fuente de recarga más importante la constituye el riego.

Casi la totalidad de las recargas disponibles son rechazadas por los acuíferos, y se transforman en afloramientos, debido al elevado nivel estático que presentan casi todos los acuíferos, a pesar de la prolongada sequía. Luego, la recarga neta que entra a recargar los acuíferos, finalmente es muy pequeña, y constituye una parte menor de la recarga total disponible.

Se observa que los únicos acuíferos que denotan alguna variación de volumen son el acuífero cabecera de Chalinga y el acuífero Illapel aguas abajo de la ciudad de Illapel. En el

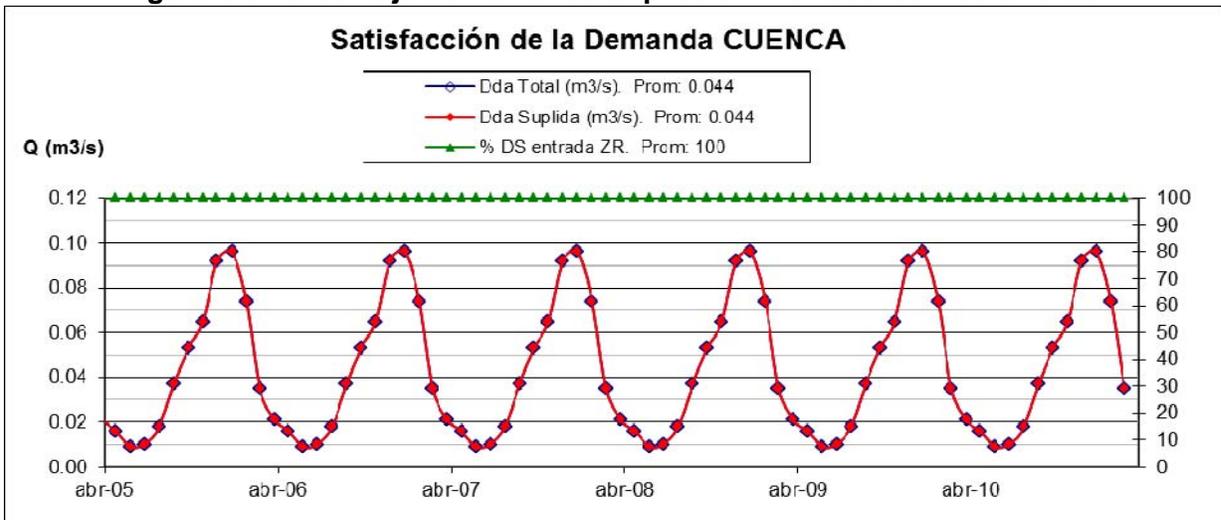
primer caso, se debe a la variación hidrológica natural de los caudales de entrada que se producen en la cabecera del río Chalinga, pues no hay pozos de explotación en este acuífero. En el segundo caso, las variaciones se deben a la intensificación del bombeo en los estiajes del período de sequía. En los demás acuíferos, en especial los del río Choapa, se observa que los volúmenes almacenados no sufren variación alguna, permaneciendo estos acuíferos siempre llenos.

### 3.8 Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca Los Choros

Esta cuenca no cuenta con redes de canales para distribución del agua de riego, sino sólo con pozos.

En la Figura 3.8 se presenta el nivel de satisfacción de la demanda de riego para la cuenca completa.

**Figura 3.8 Porcentaje de Demanda Suplida a Nivel Cuenca Los Choros**



El sistema hídrico de esta cuenca logra dar seguridad a un área de 176 hectáreas de riego, que se ubica en tres puntos: quebrada Breas, bajo Tres Cruces y en el sector de la desembocadura, sin afectar mucho los acuíferos comprometidos, que son los acuíferos 2, 4 y 8. Sin embargo, el acuífero 5 (bajo Punta Colorada), no utilizado para riego, sino que fundamentalmente para usos industriales y mineros, denota una tendencia a la baja, especialmente en su sector más alto.

Lo que se observa en la actualidad, es que los acuíferos de cabecera donde hay mediciones, muestran el efecto de la sequía, porque están descendiendo levemente, sin mediar gran explotación.

Los acuíferos centrales de la cuenca denotan descenso, por bombeo no despreciable, y falta de recarga por efecto hidrológico.

Los acuíferos bajos de la cuenca no denotan descenso, por el contrario denotan un leve ascenso durante los últimos años, probablemente porque a ellos no ha llegado aún el efecto de la sequía.

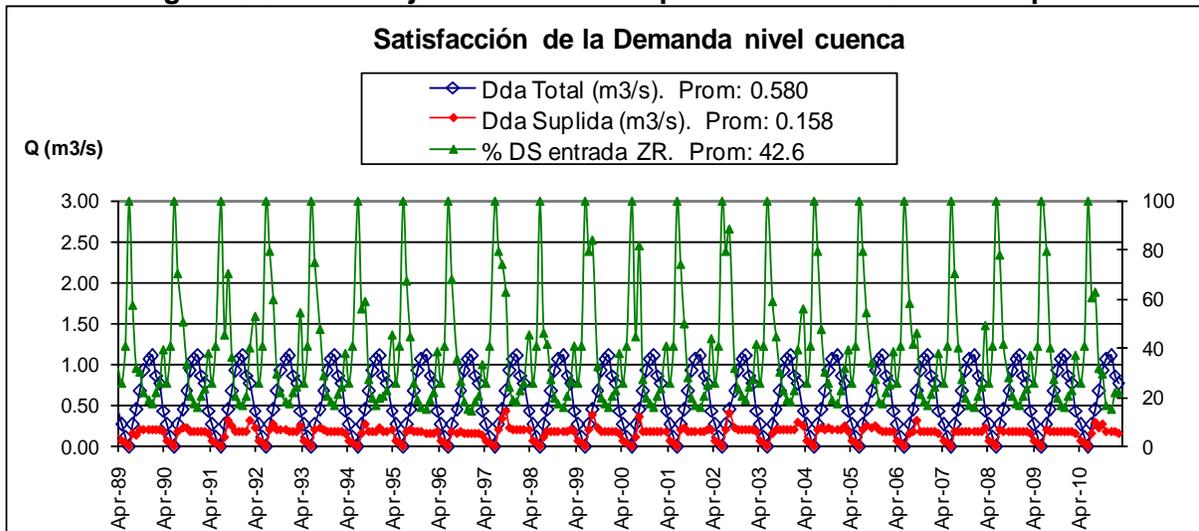
Las áreas de riego que existen en la cuenca, son suficientemente pequeñas como para ser adecuadamente suplidas con los recursos existentes. Los demás usos, también lo son, y esta situación podrá seguir mientras no se explote el sistema más allá de sus posibilidades verdaderas. Este equilibrio se logra, utilizando efectivamente sólo una décima parte de los derechos de agua otorgados.

En la cuenca del río Los Choros, no existen sistemas de agua potable urbana. Los sistemas de APR usan un total de 8 l/s de los derechos totales que alcanzan a 41 l/s.

### 3.9 Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca Pupío

Según se puede observar del análisis, todas las zonas de riego de este valle son muy pobremente suplidas. Esto se debe a que dependen del recurso superficial, y hasta el año 2009 no contaban con acceso a almacenamiento. No había embalses, los acuíferos son pequeños y no hay derechos de agua sobre ellos. En estas condiciones, para la cuenca completa se aprecia lo que muestra la Figura 3.9, que se riega adecuadamente aproximadamente un 25% del área identificada como cultivable. El resto del área sólo tiene riego eventual.

**Figura 3.9 Porcentaje de Demanda Suplida a Nivel de Cuenca Pupío**



Según se puede observar en esta cuenca, el agua superficial, sin almacenamiento de embalse, y sin acceso a los acuíferos, no alcanza más que para regar adecuadamente un 20 a 25% del área identificada de 567 hectáreas, es decir, 120 a 140 hectáreas.

Los dos sectores que tienen agricultura, que son las zonas de riego bajo Caimanes, y cerca de la desembocadura, tienen alta eficiencia de uso, con riego por goteo en casi todos los paños, especialmente la agrícola del sector bajo.

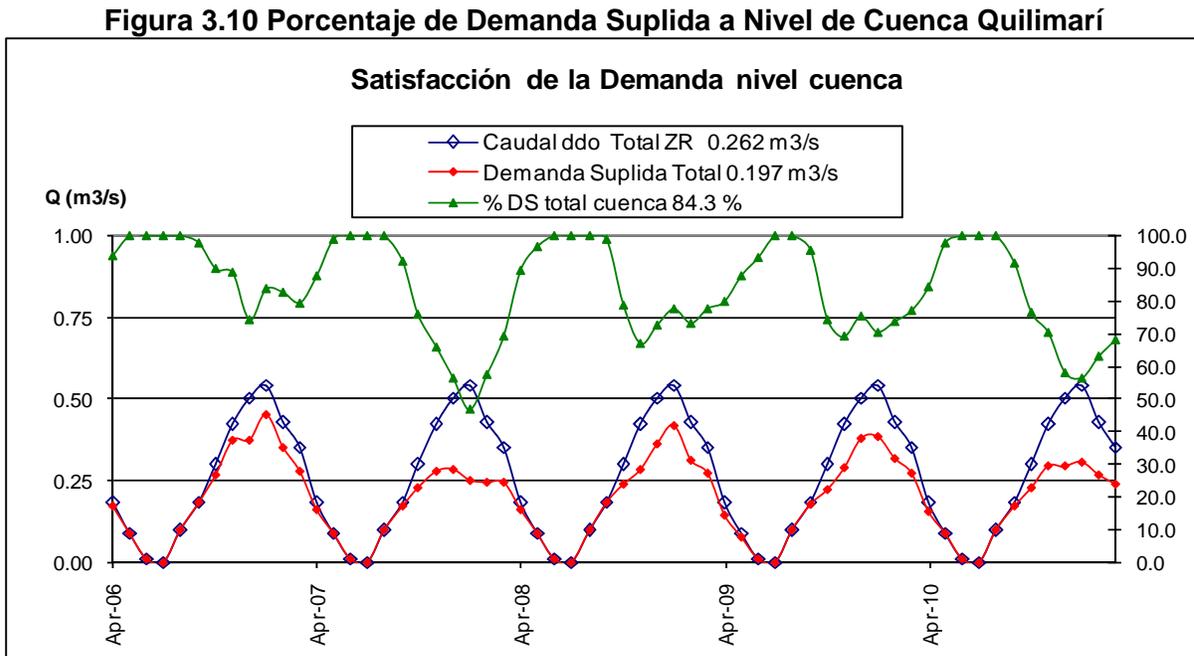
Se observa en esta cuenca un porcentaje de uso de los derechos relativamente bajo por parte del agua potable urbana (AP Los Vilos) en relación con lo usual para este uso. Esto significa que existe una seguridad de abastecimiento relativamente alta.

Respecto del efecto de la explotación y no explotación sobre los distintos acuíferos del valle, se observa que el acuífero más grande es el de la desembocadura, y presenta actualmente una leve tendencia a la baja.

No hay historia de niveles en los acuíferos de esta cuenca, salvo para un pozo en la desembocadura, cuyo comportamiento queda muy bien representado en la modelación.

### 3.10 Diagnóstico de Disponibilidad Cuenca Quilimarí

En la Figura 3.10, se entrega la serie de tiempo de los porcentajes de satisfacción de la demanda obtenidos para la cuenca completa.



Según se puede observar, el sistema hídrico de esta cuenca, explotando al máximo los almacenamientos, en la época de sequía logró satisfacer el 84,3% de la demanda. El área de riego con alta seguridad alcanza un 74,6%, es decir, unas 514 hectáreas, valor totalmente coherente con el área de cultivos permanentes y el área de riego tecnificado.

En esta cuenca, se hace un uso intensivo de todas las fuentes disponibles. El uso de las fuentes superficiales, almacenamiento superficial, y fuentes subterráneas a través de una gran cantidad de derechos subterráneos (aunque la mayoría de ellos del artículo 4ºT), hacen posible el riego seguro de unas 514 hectáreas, en una cuenca cuya oferta promedio se estimó en 480 l/s.

En el informe final del Plan Maestro se presentan los datos intermedios y resultados para los distintos escenarios de modelación. En Anexo Digital se entregan todas las bases de datos y planillas de resultados de todos los escenarios corridos.

### 3.11 Resultados Balance Oferta-Demanda

A continuación se presentan, a nivel de cuenca completa, los resultados más relevantes obtenidos del balance oferta-demanda que se realizó con el modelo MAGIC. Entre ellos, se encuentran los relacionados con las demandas totales y suplidas del sector agrícola, minero y agua potable, los balances y evolución del estado de los acuíferos, los flujos de interacción superficial-subterránea y las salidas al mar.

Se presentan, para facilitar la comprensión, los resultados de todos los escenarios corridos para cada cuenca, tanto históricos (de calibración-validación), como futuros sin proyectos y con proyectos.

**Tabla 3.3 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Elqui**

Variable	Escenarios sin proyecto		
	Elqui Validación	Futuro Base 15% aum. área	Futuro Optimizado Con algunos canales revestidos
Área total demandante (há)	25703	29478	29478
Q ddo vegetación de cauce (m3/s)	0,633	0,633	0,633
Uso agrícola			
Q ddo nivel raíz (m3/s)	5,446	6,326	6,326
Q ddo nivel ZR (m3/s)	8,305	9,227	9,227
Q captado en BT (m3/s)	12,229	8,158	8,106
Q entregado total a ZR (m3/s)	10,554	8,237	8,256
Q entregado canales a ZR (m3/s)	9,308	6,441	6,513
Q bombeo (m3/s)	1,246	1,796	1,743
Interacción superficial-subterránea			
Percolación canales (m3/s)	3,722	2,723	2,601
Percolación zonas de riego (m3/s)	1,711	1,881	1,885
Percolación cauces (m3/s)	1,819	2,208	2,209
Recarga potencial (m3/s)	7,251	6,812	6,695
Afloramiento (m3/s)	4,970	3,726	3,663
Recarga neta (m3/s)	2,281	3,086	3,032
Volumen y uso del acuífero			
Vol total promedio acuíferos (Mm3)	434,89	300,57	300,516
Bombeo total (m3/s)	2,029	2,846	2,793
Bombeo riego (m3/s)	1,246	1,796	1,742
Bombeo otros usos (m3/s)	0,782	1,05	1,05
Bombeo AP	0,362	0,412	0,412
Bombeo Minería	0,310	0,528	0,528
Bombeo industria	0,110	0,110	0,110
Porcentaje demanda suplida agrícola			
Q ddo nivel ZR (m3/s)	8,305	9,227	9,227
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	6,987	8,28	8,298
% DS promedio (%)	94,3	95,0	95,1
% DS verano (%)	87,7	93,9	94,1
Área regada 85% seguridad (há)	22531	27682	24726
Salidas al mar			
Caudal superficial al mar (m3/s)	3,503	4,018	4,165
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,84	0,795	0,781

**Tabla 3.3 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Elqui (Continuación)**

Variable	Escenarios con proyecto			
	Operac.1 Emb E. Derecho 10 MM	Operac.1b Emb E. Derecho 2 MM	Operac. 2 Rec. artificial Culebrón	Operac. 3 Explot. Acuíferos
Área total demandante (há)	29478	29478	29478	29478
Q ddo vegetación de cauce	0,633	0,633	0,633	0,633
Uso agrícola				
Q ddo nivel raíz (m3/s)	6,326	6,326	6,326	6,326
Q ddo nivel ZR (m3/s)	9,227	9,227	9,227	9,227
Q captado en BT (m3/s)	8,168	8,123	8,100	8,084
Q entregado total a ZR (m3/s)	8,318	8,276	8,297	8,591
Q entregado canales a ZR (m3/s)	6,570	6,529	6,513	6,498
Q bombeo (m3/s)	1,748	1,747	1,784	2,093
Interacción superficial-subterránea				
Percolación canales (m3/s)	2,599	2,597	2,601	2,594
Percolación zonas de riego (m3/s)	1,895	1,888	1,885	1,981
Percolación cauces (m3/s)	2,186	2,198	2,517	2,208
Recarga potencial (m3/s)	6,681	6,683	7,003	6,783
Afloramiento (m3/s)	3,649	3,649	3,672	3,478
Recarga neta (m3/s)	3,032	3,034	3,331	3,305
Volumen y uso del acuífero				
Vol total promedio acuíferos (Mm3)	299,3	299,8	396,5	287,4
Bombeo total (m3/s)	2,794	2,795	2,856	3,143
Bombeo riego (m3/s)	1,748	1,746	1,784	2,093
Bombeo otros usos (m3/s)	1,046	1,049	1,072	1,050
Bombeo AP	0,410	0,411	0,422	0,412
Bombeo Minería	0,526	0,527	0,540	0,528
Bombeo industria	0,110	0,110	0,110	0,110
Porcentaje demanda suplida agrícola				
Q ddo nivel ZR (m3/s)	9,227	9,227	9,227	9,227
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	8,365	8,319	8,298	8,634
% DS promedio (%)	95,400	95,200	95,100	97,700
% DS verano (%)	95,000	94,100	94,100	95,800
Área regada 85% seguridad (há)	28011	27749	27726	28230
Salidas al mar				
Caudal superficial al mar (m3/s)	4,100	4,139	3,871	4,116
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,775	0,777	0,790	0,666

**Tabla 3.4 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Limarí**

Variable	Escenarios sin proyecto		
	Limarí Validación	Futuro Base 20% aum. área	Futuro Optimizado Con 3 embalses sobre Emb. Cogotí
Área total demandante (há)	51925	62065	
Q ddo vegetación de cauce			
Uso agrícola			
Q ddo nivel raíz (m3/s)	14,111	16,754	16,754
Q ddo nivel ZR (m3/s)	28,389	32,084	32,084
Q captado en BT (m3/s)	20,193	21,047	20,862
Q entregado total a ZR (m3/s)	18,434	19,247	18,796
Q entregado canales a ZR (m3/s)	16,948	17,777	17,331
Q bombeo (m3/s)	1,486	1,470	1,465
Interacción superficial-subterránea			
Percolación canales (m3/s)	4,749	5,039	5,220
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,530	0,604	0,703
Percolación cauces (m3/s)	1,917	2,623	2,434
Recarga potencial (m3/s)	7,195	8,266	8,358
Afloramiento (m3/s)	5,040	5,769	5,903
Recarga neta (m3/s)	2,155	2,497	2,454
Volumen y uso del acuífero			
Vol total promedio acuíferos (Mm3)	589,98	579,85	575,08
Bombeo total (m3/s)	1,798	1,788	1,784
Bombeo riego (m3/s)	1,486	1,470	1,466
Bombeo otros usos (m3/s)	0,314	0,319	0,319
Bombeo AP	0,130	0,131	0,131
Bombeo Minería	0	0	0
Bombeo industria	0,184	0,187	0,188
Porcentaje demanda suplida agrícola			
Q ddo nivel ZR (m3/s)	28,389	32,084	32,084
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	14,33	14,782	15,901
% DS promedio (%)	64,7	60,5	61,9
% DS verano (%)	47,0	41,9	45,6
Área regada 85% seguridad (há)	24511	26019	28310
Salidas al mar			
Caudal superficial al mar (m3/s)	2,475	5,768	5,099
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0	0	0

**Tabla 3.4 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Limarí (Continuación)**

Variable	Escenarios con proyecto			
	Operac. 1 Optimiz. riego bajo embalses	Operac.2 Tecnif. y rev. canales global	Operac. 3 Explot. acuíferos selecc.	Operac. 4 Embalse Hurtado
Área total demandante (há)	62065	62065	62065	62065
Q ddo vegetación de cauce	1,378	1,378	1,378	1,378
Usos agrícolas				
Q ddo nivel raíz (m3/s)	15,671	15,671	15,671	16,754
Q ddo nivel ZR (m3/s)	29,222	24,470	24,470	32,084
Q captado en BT (m3/s)	20,703	20,619	20,481	21,732
Q entregado total a ZR (m3/s)	18,681	20,440	21,022	19,526
Q entregado canales a ZR (m3/s)	17,226	19,111	19,032	18,061
Q bombeo (m3/s)	1,455	1,329	1,990	1,465
Interacción superficial-subterránea				
Percolación canales (m3/s)	5,174	2,885	2,874	5,360
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,681	0,550	0,577	0,707
Percolación cauces (m3/s)	2,458	2,475	2,384	2,421
Recarga potencial (m3/s)	8,313	5,910	5,835	8,488
Afloramiento (m3/s)	5,862	3,693	3,004	6,034
Recarga neta (m3/s)	2,451	2,217	2,831	2,454
Volumen y uso del acuífero				
Vol total promedio acuíferos (Mm3)	575,8	559,1	544,7	575,1
Bombeo total (m3/s)	1,773	1,634	2,327	1,784
Bombeo riego (m3/s)	1,455	1,324	2,017	1,465
Bombeo otros usos (m3/s)	0,319	0,310	0,310	0,319
Bombeo AP	0,131	0,130	0,130	0,131
Bombeo Minería	0	0	0	0
Bombeo industria	0,188	0,180	0,180	0,188
Porcentaje demanda suplida agrícola				
Q ddo nivel ZR (m3/s)	29,222	24,470	24,470	32,084
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	15,768	15,226	15,837	15,917
% DS promedio (%)	66,1	72,6	74,8	61,9
% DS verano (%)	50,3	60,0	62,3	45,7
Área regada 85% seguridad (há)	31232	37239	38673	28334
Salidas al mar				
Caudal superficial al mar (m3/s)	5,159	5,225	4,716	5,080
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0	0	0	0

**Tabla 3.5 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Choapa**

Variable	Escenarios sin proyecto		
	Choapa Validación	Futuro Base 30% aum. área	Futuro Optimizado Con emb. Chalinga
Área total demandante (hás)	15690	21966	21966
Q ddo vegetación de cauce			
Uso agrícola			
Q ddo nivel raíz (m3/s)	4,241	5,635	5,635
Q ddo nivel ZR (m3/s)	6,268	7,142	7,142
Q captado en BT (m3/s)	14,399	7,068	6,994
Q entregado total a ZR (m3/s)	11,530	6,077	6,137
Q entregado canales a ZR (m3/s)	11,291	5,780	5,841
Q bombeo (m3/s)	0,239	0,297	0,296
Interacción superficial-subterránea			
Percolación canales (m3/s)	5,473	2,566	2,397
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,986	0,610	0,623
Percolación cauces (m3/s)	52,61	47,789	47,773
Recarga potencial (m3/s)	59,069	50,965	50,793
Afloramiento (m3/s)	58,395	50,326	50,164
Recarga neta (m3/s)	0,674	0,639	0,629
Volumen y uso del acuífero			
Vol total acuíferos (Mm3)	605,577	604,745	602,34
Bombeo total (m3/s)	0,592	0,651	0,650
Bombeo riego (m3/s)	0,239	0,297	0,296
Bombeo otros usos (m3/s)	0,354	0,354	0,354
Bombeo AP	0,151	0,151	0,151
Bombeo Minería	0,148	0,148	0,148
Bombeo industria	0,056	0,056	0,056
Porcentaje demanda suplida agrícola			
Q ddo nivel ZR (m3/s)	6,268	7,142	7,142
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	5,505	6,073	6,133
% DS promedio (%)	94,1	90,0	90,4
% DS verano (%)	84,5	83,3	84,2
Área regada 85% seguridad (há)	13261	18,305	18505
Salidas al mar			
Caudal superficial al mar (m3/s)	11,335	10,448	10,434
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,019	0,018	0,018

**Tabla 3.5 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Choapa (Continuación)**

Variable	Escenarios con proyecto					
	Operac.1 Tecnificación de riego	Operac.2 Revest. Canales	Operac.3 Tecn. + revest.	Operac.4 Liberación de acs. Sobre Op3	Operac.5 Liberac. Acs. + aum.dem. + aducciones sobre Op3	Operac.7 Emb. Canelillo + aum. área sobre Op 5
Área total demandante (hás)	21966	21966	21966	21966	21966	36966
Q ddo vegetación de cauce	0,877	0,877	0,877	0,877	0,877	0,877
Uso agrícola						
Q ddo nivel raíz (m3/s)	5,635	5,635	5,635	5,635	5,635	8,438
Q ddo nivel ZR (m3/s)	6,160	7,142	6,160	6,160	6,160	9,561
Q captado en BT (m3/s)	6,064	6,280	5,456	5,374	5,372	7,600
Q entregado total a ZR (m3/s)	5,361	6,196	5,409	6,163	5,951	8,012
Q entregado canales a ZR (m3/s)	5,083	5,913	5,142	5,067	5,066	7,072
Q bombeo (m3/s)	0,278	0,283	0,267	1,096	0,885	0,940
Interacción superficial-subterránea						
Percolación canales (m3/s)	2,126	1,038	0,923	0,913	0,913	1,136
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,149	0,627	0,149	0,170	0,164	0,175
Percolación cauces (m3/s)	47,991	48,191	48,395	47,579	47,735	46,035
Recarga potencial (m3/s)	50,266	49,853	49,467	48,663	48,812	47,346
Afloramiento (m3/s)	49,655	49,243	48,872	47,377	47,691	46,171
Recarga neta (m3/s)	0,611	0,613	0,596	1,286	1,121	1,175
Volumen y uso del acuífero						
Vol total acuíferos (Mm3)	600,8	601,9	600,2	578,7	587,6	587,4
Bombeo total (m3/s)	0,632	0,637	0,621	1,418	1,214	1,268
Bombeo riego (m3/s)	0,278	0,283	0,267	1,096	0,885	0,940
Bombeo otros usos (m3/s)	0,354	0,354	0,354	0,322	0,328	0,328
Bombeo AP	0,151	0,151	0,151	0,137	0,142	0,142
Bombeo Minería	0,148	0,148	0,148	0,130	0,131	0,131
Bombeo industria	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
Porcentaje demanda suplida agrícola						
Q ddo nivel ZR (m3/s)	6,160	7,142	6,160	6,160	6,160	9,561
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	5,360	6,193	5,407	6,160	5,940	8,004
% DS promedio (%)	91,2	91,2	91,8	100,0	97,8	85,9
% DS verano (%)	85,6	85,7	86,9	100,0	95,5	79,9
Área regada 85% seguridad (há)	18804	18814	19081	21966	20984	29535
Salidas al mar						
Caudal superficial al mar (m3/s)	10,412	10,438	10,412	9,825	9,680	7,878
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,018	0,018	0,018	0,016	0,017	0,016

Tabla 3.6 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Los Choros

Variable	Escenario Calibración
Área total demandante (há)	176
Q ddo vegetación de cauce (m3/s)	0
Uso agrícola	
Q ddo nivel raíz (m3/s)	0,029
Q ddo nivel ZR (m3/s)	0,044
Q captado en BT (m3/s)	0
Q entregado total a ZR (m3/s)	0,044
Q entregado canales a ZR (m3/s)	0
Q bombeo (m3/s)	0,044
Interacción superficial-subterránea	
Percolación canales (m3/s)	0
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,007
Percolación cauces (m3/s)	0,398
Recarga potencial (m3/s)	0,405
Afloramiento (m3/s)	0,137
Recarga neta (m3/s)	0,269
Volumen y uso del acuífero	
Vol total promedio acuíferos (Mm3)	172
Bombeo total (m3/s)	0,218
Bombeo riego (m3/s)	0,044
Bombeo otros usos (m3/s)	0,174
Bombeo AP	0,002
Bombeo Minería	0,040
Bombeo industria	0,132
Porcentaje demanda suplida agrícola	
Q ddo nivel ZR (m3/s)	0,044
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	0,044
% DS promedio (%)	100
% DS verano (%)	100
Área regada 85% seguridad (há)	176
Salidas al mar	
Caudal superficial al mar (m3/s)	0,001
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,004

**Tabla 3.7 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Pupío**

Variable	Escenarios		
	Pupío Calibración	Futuro Base Tranque Mauro y Cola	Operación 1 Con uso de acuíferos
Área total demandante (hás)	567	567	567
Q ddo vegetación de cauce	0,007	0,007	0,007
Uso agrícola			
Q ddo nivel raíz (m3/s)	0,184	0,184	0,184
Q ddo nivel ZR (m3/s)	0,580	0,580	0,580
Q captado en BT (m3/s)	0,094	0,080	0,074
Q entregado total a ZR (m3/s)	0,158	0,150	0,350
Q entregado canales a ZR (m3/s)	0,060	0,052	0,048
Q bombeo (m3/s)	0,098	0,098	0,302
Interacción superficial-subterránea			
Percolación canales (m3/s)	0,021	0,018	0,018
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,043	0,042	0,130
Percolación cauces (m3/s)	0,304	0,250	0,290
Recarga potencial (m3/s)	0,369	0,310	0,437
Afloramiento (m3/s)	0,126	0,079	0,005
Recarga neta (m3/s)	0,243	0,231	0,432
Volumen y uso del acuífero			
Vol total acuíferos (Mm3)	27,8	26,0	18,900
Bombeo total (m3/s)	0,127	0,128	0,346
Bombeo riego (m3/s)	0,098	0,098	0,301
Bombeo otros usos (m3/s)	0,030	0,030	0,044
Bombeo AP	0,030	0,030	0,030
Bombeo Minería	0	0	0
Bombeo industria	0	0	0
Porcentaje demanda suplida agrícola			
Q ddo nivel ZR (m3/s)	0,580	0,580	0,580
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	0,158	0,150	0,412
% DS promedio (%)	42,6	41,5	78,5
% DS verano (%)	20,5	19,6	75,1
Área regada 85% seguridad (há)	116	111	426
Salidas al mar			
Caudal superficial al mar (m3/s)	0,132	0,130	0,126
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,040	0,039	0,034

**Tabla 3.8 Resultados Balance Oferta-Demanda Cuenca Quilimarí**

Variable	Escenario			
	Calibración 22 años	Calibración 5 años	Futuro Base 00	Operación 1
Área DE RIEGO total demandante (hás)	589 / 689	689	689	689
Q ddo vegetación de cauce	0,005	0,005	0,005	0,005
Uso agrícola				
Q ddo nivel raíz (m3/s)	0,162	0,182	0,182	0,182
Q ddo nivel ZR (m3/s)	0,242	0,262	0,262	0,262
Q captado en BT (m3/s)	0,082	0,060	0,105	0,217
Q entregado total a ZR (m3/s)	0,197	0,197	0,219	0,243
Q entregado canales a ZR (m3/s)	0,055	0,040	0,074	0,162
Q bombeo (m3/s)	0,142	0,157	0,145	0,081
Interacción superficial-subterránea				
Percolación canales (m3/s)	0,026	0,021	0,041	0,084
Percolación zonas de riego (m3/s)	0,038	0,038	0,037	0,04
Percolación cauces (m3/s)	0,075	0,061	0,411	0,804
Recarga potencial (m3/s)	0,139	0,120	0,488	0,928
Afloramiento (m3/s)	0,001	0,004	0,093	0,832
Recarga neta (m3/s)	0,138	0,116	0,395	0,096
Volumen y uso del acuífero				
Vol total acuíferos (Mm3)	2,109	5,461	8,371	10,616
Bombeo total (m3/s)	0,107	0,170	0,157	0,093
Bombeo riego (m3/s)	0,097	0,157	0,145	0,081
Bombeo otros usos (m3/s)	0,010	0,013	0,012	0,012
Bombeo AP	0,013	0,013	0,011	0,012
Bombeo Minería	0	0	0	0
Bombeo industria	0	0	0	0
Porcentaje demanda suplida agrícola				
Q ddo nivel ZR (m3/s)	0,242	0,262	0,262	0,262
Demanda suplida nivel ZR (m3/s)	0,196	0,197	0,219	0,243
% DS promedio (%)	90,7	84,3	91,3	96,9
% DS verano (%)	80,6	74,6	80,1	93,1
Área regada 85% seguridad (há)	497	514	552	641
Salidas al mar				
Caudal superficial al mar (m3/s)	0,345	0,144	0,3	0,477
Caudal subterráneo al mar (m3/s)	0,004	0,004	0,004	0,004

#### 4. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS

Se efectuó un diagnóstico técnico tendiente a caracterizar la calidad de agua de las cuencas de la región.

Dentro de las actividades que se realizaron para este análisis técnico, se encuentran:

- Consultas a diversas instituciones.
- Revisión de información actualizada, a Diciembre 2011.
- Consultas a 17 estudios y/o referencias.
- Análisis técnico de la situación de calidad de aguas o caracterización de calidad.
- Elaboración de mapa temático de calidad de aguas.

En cuanto a las instituciones que miden en forma periódica y continua la calidad de las aguas (superficiales y subterráneas), a través de una amplia gama de parámetros físicos, químicos, iones mayoritarios y metales (32 en total), es la Dirección General de Aguas-DGA, la que tiene a cargo esta misión en el país. Si bien es cierto que existen otras instituciones como la Superintendencia de Servicios Sanitarios-SISS; Servicio Agrícola y Ganadero-SAG; Servicio Salud –SS; y Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante-DIRECTEMAR que también realizan mediciones y análisis de calidad; ellas sólo lo hacen en forma esporádica, y con objetivos específicos.

En la Tabla 4.1 se presenta un resumen de las obras existentes, relevantes para la calidad del agua, de las cuales se contó con información para el análisis.

**Tabla 4.1 Obras Existentes Relevantes para la Calidad de Agua**

Tipo de Obra	Cantidad
Plantas de Tratamiento Aguas Servidas (PTAS)	22
Industrias que descargan RILES a PTAS	118
Faenas mineras abandonadas (catastro SERNAGEOMIN 2010)	71

El diagnóstico se abordó desde el año 1980 hasta la actualidad, Diciembre 2011, considerando que los cambios hidrológicos de la región, así como los cambios en términos de actividades y rubros, los cuales implican a su vez cambios en los usos y demandas; y cambios en la oferta de agua en las diferentes cuencas, reducen el aporte efectivo de los datos anteriores a 1980 para la veracidad del presente análisis.

Respecto de los Anteproyectos de Normas Secundarias de Calidad de Aguas (NSCA) de la región de Coquimbo, se obtuvo información desde el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), de la situación actualizada para la región. En la región de Coquimbo, lo que actualmente existe como documento público para consulta, en relación con la preparación de la normativa ambiental para la protección de las aguas, corresponde sólo a Anteproyectos de Normas Secundarias de Calidad Ambiental, elaboradas el año 2004, sólo para las cuencas de los ríos Elqui y Limarí. Se debe destacar, que para el resto de las cuencas, incluida la cuenca del río Choapa, no existe, hasta el momento, preparación de un anteproyecto de norma.

La NCSA de Elqui considera 12 áreas de vigilancia y 18 parámetros, la NCSA de Limarí considera 14 áreas de vigilancia y 16 parámetros de calidad del agua. Las áreas de

vigilancia están definidas en función de la existencia de estaciones de calidad DGA, y los parámetros son parámetros que controla dicha institución.

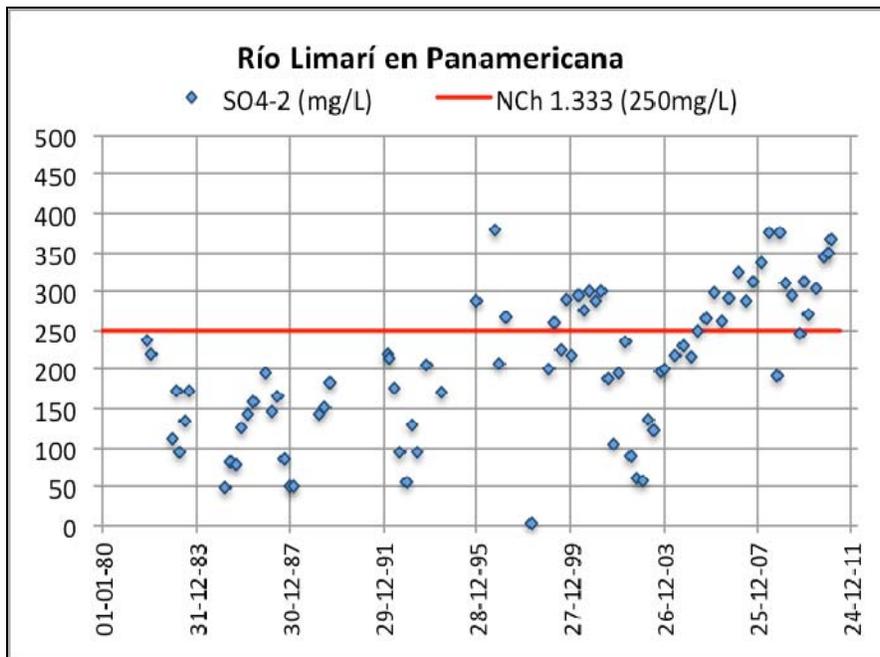
Considerando las principales actividades de las cuencas en estudio, las cuales son del tipo agrícola y minero, se utilizó como referencia, la NCh 1.333 para uso riego. Esta norma considera rangos y umbrales para 29 parámetros. Entre ellos, los parámetros relevantes analizados corresponden a: pH, conductividad específica (CE), oxígeno disuelto (OD), Cloruro (Cl<sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), aluminio (Al), arsénico (As), cobre (Cu), hierro (Fe), Manganeseo (Mn), molibdeno (Mo) y nitratos (NO<sub>3</sub>).

**Tabla 4.2 Número de Estaciones de Calidad de Agua de la DGA**

Cuenca	Nº Estaciones Superficiales	Nº Estaciones Subterráneas
Los Choros	0	2
Elqui	13	3
Limarí	13	2
Choapa	10	3
Pupío	1	0
Quilimarí	0	0

En la Figura 4.1 se muestra, a modo de ejemplo, un gráfico donde se compara el comportamiento temporal de los parámetros de calidad de agua en cada estación con respecto a la normativa (línea roja). En el informe del Plan Maestro se presentan todos los análisis correspondientes a los diferentes parámetros.

**Figura 4.1 Gráfico de Análisis de Agua Zona Limarí Bajo**



Las principales conclusiones obtenidas del diagnóstico de calidad son las siguientes:

#### 4.1 Aspectos Generales

En general las aguas de la región presentan una calidad relativamente buena en casi todas las estaciones de medición, respecto del uso en riego, con algunas grandes excepciones, en general constituidas por fuentes de contaminación natural, en algunos casos exacerbadas por la actividad minera.

En la región de Coquimbo sólo las cuencas de los ríos Elqui y Limarí poseen un anteproyecto de NSCA, las demás cuencas no cuentan con esta iniciativa. Los anteproyectos existentes, no han sido oficialmente actualizados desde el año 2004 y 2007 respectivamente. Para ambas cuencas se requiere revisar algunos umbrales, como cobre y otros metales.

En cuanto a las técnicas de medición en laboratorio, se requiere mejorar y compatibilizar con la normativa, los límites de detección de los niveles de Manganeso y Boro.

En cuanto a la red de monitoreo de calidad de agua, se aprecia que la representatividad espacial es suficiente para las aguas superficiales, e insuficiente para las subterráneas, diagnosticándose la necesidad de incorporar nuevas estaciones subterráneas en todas las cuencas.

Respecto de las fuentes de información para la obtención de los datos básicos se dispuso de la información de las estaciones de calidad de la DGA, las cuales no cuentan con parámetros orgánicos y biológicos. Por su parte cada institución dispone de su propia información la cual no siempre tienen un mismo estándar ni tipo de información y no existe la disponibilidad para obtenerla, o bien, se encuentra incompleta. La información base tampoco cuenta con todos los indicadores que se requieren para efectuar un balance iónico o análisis hidroquímico, ya que carece de los parámetros de alcalinidad, carbonatos y bicarbonatos. Por su parte, los límites de detección utilizados para los parámetros Molibdeno y Boro no son los adecuados por cuanto sólo se detectan valores que exceden la norma, sin que necesariamente esto sea verdadero.

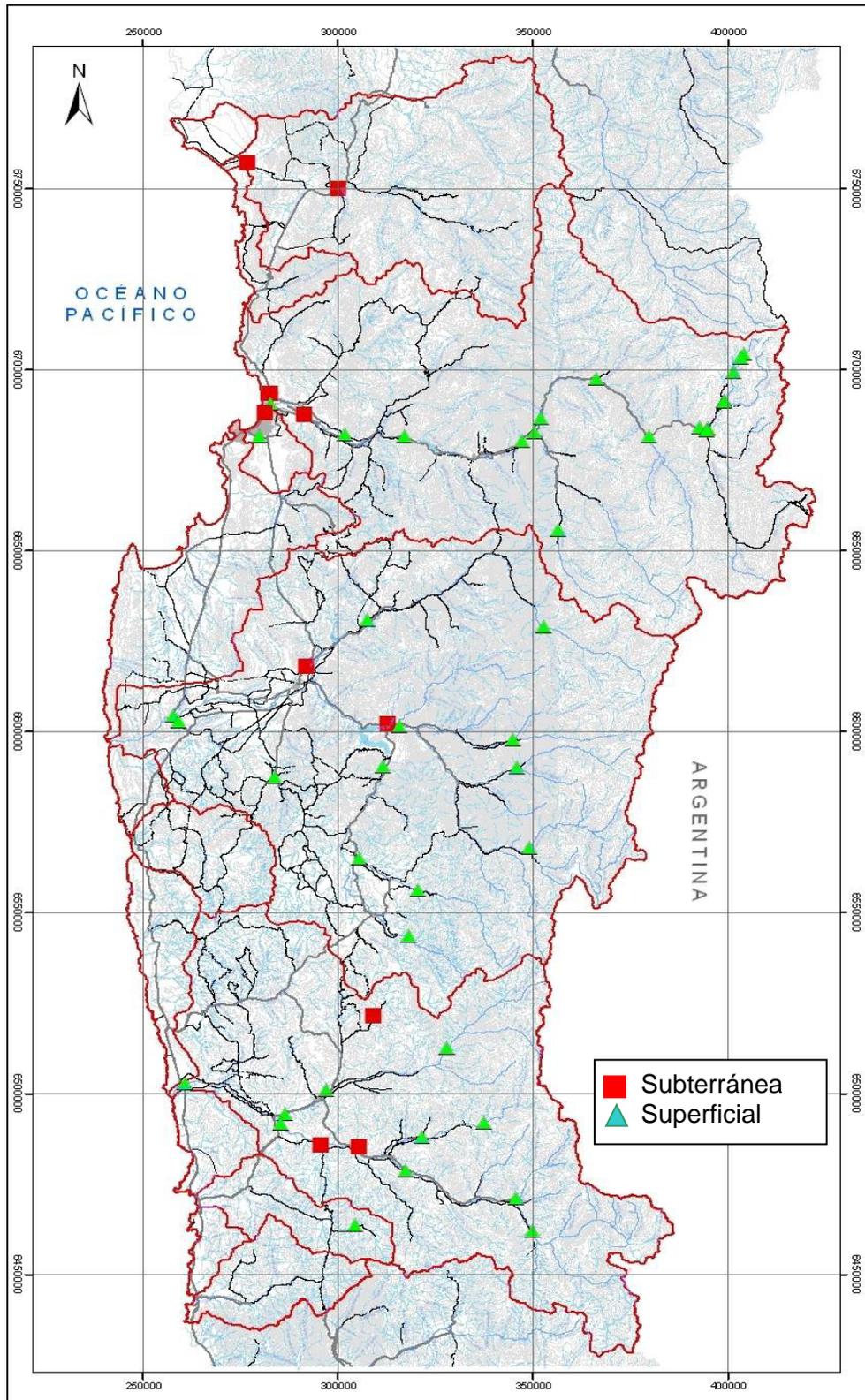
En la Figura 4.2 se presenta la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua, tanto superficiales como subterráneas en la región.

#### 4.2 Cuenca Los Choros

La mayoría de los parámetros cumple con la normativa establecida en la Norma Chilena NCh 1.333/78 (35 mg/L), con la excepción del Sodio (Na<sup>+</sup>) el cual presenta un valor máximo registrado de 170,5 mg/L, y un promedio de 120,2 mg/L.

La presencia de Cloruros (Cl<sup>-</sup>) y Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) en el acuífero cercano a la costa, se encuentra en torno a los límites permitidos en la NCh 1.333. Hacia el interior de la cuenca, alejado de la costa, se observan valores bajos de sulfatos y cloruros.

Figura 4.2 Distribución de Estaciones de Calidad de Agua



El Mercurio (Hg) tiene una concentración promedio en los pozos similar al establecido en la norma. El Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), exceden los límites máximos establecidos por la NCh 1.333 en el pozo ubicado al interior del valle.

En esta cuenca se identificó una faena minera abandonada con riesgo de contaminación del recurso hídrico.

### 4.3 Cuenca Elqui

Se concluyó que las zonas más críticas en términos de la calidad de las aguas son:

Zona alta del río Elqui, sector el Indio, con los ríos Malo, Turbio y Toro, principalmente. Estos ríos presentan altos valores de CE,  $\text{SO}_4^{-2}$ , Al, As, Cu, Fe y Mn, que provienen de una fuente natural, pero que ha sido exacerbada por la fuente antrópica de la minería, cuyos índices seguirán siendo altos pese al cierre de la Mina El Indio. Destaca el alto contenido de Arsénico. El manganeso y el Arsénico mantienen altos valores hasta la zona media del valle, no así los demás parámetros, cuya concentración se va diluyendo con los aportes de buena calidad provenientes del sur de la cuenca.

Zona media, por su alto contenido de Arsénico (0,3 mg/L, sobre norma) hasta el embalse Puclaro, y el aumento de la concentración de sulfatos, aunque no superan la norma.

La desembocadura del Río Elqui, con altos valores de CE,  $\text{SO}_4^{-2}$  (límite de norma), para sus aguas superficiales, y las aguas subterráneas con altos contenidos de Cloruros, Fe, y Mn. Los sulfatos y cloruros indicarían un proceso de salinización, debido probablemente a naturaleza del sustrato.

Sector de Culebrón Lagunillas, Para las aguas superficiales de este sector Culebrón, se observan altos valores de CE, Cl<sup>-</sup>,  $\text{SO}_4^{-2}$ . En las aguas subterráneas en cambio, los contenidos de  $\text{SO}_4^{-2}$  en el último tiempo presentan una tendencia notoria a la baja, pero los contenidos de Fe y Mn son altos. Es importante destacar que esta conclusión se realiza en base a un solo pozo de medición de calidad de aguas subterráneas en la zona de Culebrón, por lo que estos efectos pueden ser sólo locales, o también consecuencia de un proceso espacial más amplio.

### 4.4 Cuenca Limarí

En resumen, se concluyó que, para el valle del Limarí, las zonas más críticas en términos de la calidad de las aguas son:

Zona del estero Punitaqui: Las aguas superficiales del estero Punitaqui, indican altos valores de CE (400-1000 a 3000 mg/L) en la zona baja donde confluye con el río Limarí. También destaca la presencia de Cl<sup>-</sup> y  $\text{SO}_4^{-2}$ , éste último con claras tendencias al ascenso (400 mg/L). Si bien es cierto que no existen pozos con registros de calidad de aguas para esta zona, se analizaron estudios realizados en el acuífero del Punitaqui (Seguimiento de Variables Ambientales para el Control y la Fiscalización en Materia de Contaminación y Afección Ambiental DGA SIT 193, 2009), los cuales indican que el acuífero presenta concentraciones altas de ( $\text{SO}_4^{-2}$  y Mg) y que no se puede discernir si son producto de causas naturales, antrópicas, o ambas. Debido a la existencia de los yacimientos de Mercurio, Oro y Cobre, es

inegable una contaminación natural, la que podría estar siendo sólo exacerbada por las faenas mineras, exponiendo las aguas a los Sulfatos existentes en el yacimiento.

Zona baja del río Limarí: En esta zona, se observa una mayor salinidad, tanto por cloruros como por sulfatos, y por lo tanto conductividad eléctrica, posiblemente debido al sustrato natural del sector. También presenta valores altos, con promedios por sobre la norma, el Boro.

En esta cuenca se encontraron 4 faenas abandonadas que presentan riesgo de contaminación de las aguas. En la cuenca costera Limarí-Choapa se encuentra una más.

#### 4.5 Cuenca Choapa

Se concluyó que para el valle del Choapa, existe sólo una zona crítica en términos de la calidad de las aguas, la cual corresponde a:

Zona Río Illapel - Estero Aucó. Específicamente por los altos valores de  $CE^-$  y  $SO_4^{-2}$ , que están presentes hasta la actualidad y tienden al ascenso, especialmente en las aguas subterráneas. Para el CE se observan concentraciones en el estero Aucó  $> 1200$  mg/L y en ascenso, y para el Pozo Matancilla  $> 1800$  mg/L y también aumentando en el tiempo. En el caso del  $SO_4^{-2}$ , en el estero Aucó se observa una tendencia media de 450 mg/L y para el pozo Matancilla de 800 mg/L en la actualidad y con tendencia al aumento.

La Zona del Estero Cuncumén – Cuenca Choapa Alto presentó altos valores de CE, Cobre, Sulfatos y Molibdeno pero sólo hasta antes del 2005. Después del 2005, presentan una fuerte tendencia de descenso en sus valores, los cuales se mantienen en la actualidad con tendencias medias bajo los 400 umhos/cm (CE), 0,2 mg/L (Cu) y 200 mg/L ( $SO_4^{-2}$ ), por lo cual no constituye una zona crítica en la actualidad.

En la cuenca del Choapa se encuentran dos faenas abandonadas que presentan riesgo de contaminación de las aguas.

#### 4.6 Cuenca Pupío

Las conclusiones del análisis se basan en una estación de agua superficial que existe en la cuenca, y en el Informe Anual de Monitoreo de calidad de aguas, del Proyecto Integral de Desarrollo - PID MLP, informe que es entregado a la DGA regional, con datos de monitoreo de MLP tanto en estero Cuncumén, como en el estero Pupío, desde 2005 al 2010.

Lo que se observa es que en general las aguas superficiales de la estación Pupío en El Romero son aguas de buena calidad.

El pH sólo excede la norma muy ocasionalmente por el límite superior (básico). La CE se mantiene entre 300 y 800 umhos/cm, con tendencia a la baja. El Arsénico no tiene ninguna presencia en la cuenca. Los parámetros de Cloruros, Sulfatos, Sodio ( $Na^+$ ), y los metales Aluminio, Cobre, Hierro, Manganeseo y Molibdeno se mantienen bajo norma, incluso sus valores máximos están bajo norma, o la exceden mínimamente. Cobalto (Co), Boro (B) y Mercurio (Hg) se mantienen bajo norma, con excedencias muy ocasionales y sin ninguna tendencia.

Para el resto de los parámetros no mencionados, no se observan excedencias ni concentraciones de significación para las aguas superficiales.

En general se puede indicar, que las aguas del estero Pupío, serian aptas para su uso en riego y agua potable.

#### **4.7 Cuenca Quilimarí**

No hay información de calidad, ni superficial ni subterránea, para la cuenca del Quilimarí.

Se identificaron tres faenas abandonadas con riesgo de contaminación, que debieran ser investigadas y neutralizadas.

## 5. DIAGNÓSTICO DE EVENTOS EXTREMOS

En el ámbito de los aspectos técnicos, se realizaron las siguientes tareas y actividades:

- Identificación de sectores de inundación e infraestructura asociada.
- Análisis de estudios técnicos sobre la sequía y sus impactos en la Región de Coquimbo.

En el ámbito de los aspectos institucionales, administrativos, legales, se realizaron las siguientes tareas y actividades:

- Descripción bases marco Legal Sistemas de Evacuación y Drenaje Aguas Lluvias.
- Reuniones con representantes de las principales Instituciones (ONEMI-SERVIU-DGA-DOH) relacionadas con el tema. Dichas reuniones estuvieron orientadas a interiorizarse y conocer el actual funcionamiento de la Institución frente al tema en cuestión.
- Análisis Técnico Declaraciones Administrativas ante Situaciones de Escasez Hídrica.
- Análisis Legal.

### 5.1 Planes Maestros de Aguas Lluvias

En la región sólo existen tres instrumentos de planificación de aguas lluvias para las ciudades de La Serena, Coquimbo y Ovalle, las cuales cuentan con una población superior a 50.000 habitantes, cumpliendo con la legislación al respecto. Las demás localidades no cuentan con este tipo de instrumento. Tampoco existe información de los sistemas de recolección existentes en las mismas.

En cuanto a la materialización de las soluciones propuestas en los Planes Maestros, estos han tenido poco avance, lo cual se debe básicamente a que los eventos extremos por el lado de la abundancia no son prioritarios en la región, habiéndose asignado más recursos para paliar la sequía.

### 5.2 Planes Maestros de Manejo de Cauces

Este tipo de instrumento no se ha elaborado para ningún cauce en la región, ya que en cada temporada de crecidas las municipalidades van informando a la ONEMI y DOH los puntos críticos que presentan problemas de inundación por desbordes o erosión de riberas.

Las faenas de extracciones de áridos son autorizadas sin estudios a nivel global de los cauces, basándose solo en los informes presentados por los interesados, los cuales son de tipo local, en el entorno de las faenas.

### 5.3 Sistemas de Alerta en Crecidas

Se dispone de un sistema de alerta temprana ante crecidas de cauces naturales, basada en el monitoreo que realiza la DGA de algunas estaciones fluviométricas que cuentan con registro remoto en tiempo real. Este plan incluye coordinación con la ONEMI para que ésta tome las medidas correspondientes.

Actualmente los embalses no se encuentran formalmente dentro de la red de control de crecidas, no obstante las mayores crecidas registradas en la última década han sido retenidas por completo por estas estructuras.

El embalse Puclaro ha sido declarado como controlador de crecidas, sin embargo, no se ha decretado oficialmente.

#### **5.4 Sequías**

Se analizó la información existente en varios estudios previos sobre el tema de sequía, analizando efectos económicos y técnicos.

Se analizó el proceso de declaración administrativa ante situaciones de sequía, a la luz de la legislación vigente, la cual ha sido modificada durante el año 2012. Se analizó el modo de distribuir las aguas en estos períodos (sequía ordinaria y sequía extraordinaria) con respecto a los períodos de normalidad.

Se revisó, además, la existencia de seguros que estén disponibles en el mercado para asistir a los usuarios en eventos de sequías. Sin embargo, solo existen algunos con muchas restricciones, que no ofrecen una adecuada solución para suplir las pérdidas económicas que ocasionan los episodios de escasez.

Finalmente, no existen formalmente planes de sequía, de modo que se pueda disponer de infraestructura, monitoreo y medidas que permitan a la autoridad efectuar una gestión de emergencia de recursos hídricos adicionales ante la ocurrencia de eventos de extrema escasez.

## 6. DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA

El uso principal en la región, corresponde al riego, el cual abarca la mayor parte de los valles, haciendo uso de canales, pozos y embalses. Otros usos reconocidos corresponden a agua potable urbana y rural, procesos mineros y, en menor medida, industriales y generación hidroeléctrica.

En la Tabla 6.1 se presenta un resumen de la cantidad de obras de infraestructura para las distintas cuencas de la región.

**Tabla 6.1 Resumen Infraestructura Regional por Cuenca**

Tipo de Obras	Los Choros	Elqui	Limarí	Chopa	Pupío	Quilimarí	Otras cuencas
Canales de riego (km)	0	952	2146	886	55	51	574
Bocatomas	0	205	897	574	31	29	11
Embalses mayores	0	2	3	2	0	1	0
Agua Potable Rural (APR)	5	29	88	43	1	4	12
Agua Potable Urbana	0	6	8	4	1	2	5
Plantas de Tratamiento	0	6	7	4	0	3	6
Generadoras hidroeléctricas	0	1	2	0	0	0	0
Pozos	145	478	1620	509	40	241	1126 (*)
Estaciones Fluviométricas	0	8	18	8	3	0	1
Estaciones Meteorológicas	1	9	20	10	0	4	2
Pozos de monitoreo de Nivel	13	37	36	4	1	2	2

(\*) Incluye pozos cuyas coordenadas no permitieron definir su ubicación

### 6.1 Infraestructura de Riego

La mayor parte de la infraestructura de riego en la región tiene varias décadas de existencia. En la mayoría de los casos no ha sufrido intervenciones importantes de mejoramiento, sino más bien arreglos locales en sectores específicos cuyo financiamiento ha tenido apoyo de subsidios en el marco de la Ley 18.450 a través de la Comisión Nacional de Riego.

En las distintas cuencas el estado de conservación de los canales es variable, pudiendo destacarse sistemas más precarios en las cuencas de Combarbalá, Illapel, Pama, Chalinga, Pupío y Quilimarí.

En general, las bocatomas no cuentan con barreras fijas en sus cauces alimentadores y se requiere intervención en todas las temporadas para permitir que el agua llegue hasta las compuertas de admisión.

Las obras de arte existentes ya han cumplido su vida útil, es necesario reparar o reemplazar la gran mayoría de ellas.

Sólo algunos sistemas tienen mediciones de pérdidas por conducción en sus canales, en tanto en la mayoría de los casos no se tienen registros. Sin embargo, para presentar solicitudes de subsidios para proyectos de mejoras, la CNR solicita mediciones.

En algunos casos las pérdidas por infiltración en la conducción llegan al 80%, lo que tiene como consecuencia un mayor consumo de agua para entregar a los usuarios que se ubican en los tramos finales de los canales. Un buen ejemplo de lo anterior se da en los canales del río Huatulame donde existen largos tramos de canal sin extracciones y los mayores usos se ubican en los tramos finales. Estos no se pueden abastecer en los años de sequías debido a que prácticamente toda el agua se pierde en la conducción.

En algunas cuencas como las de Elqui y Limarí ha comenzado un proceso paulatino de incorporación de elementos de medición y monitoreo remoto de los caudales entregados a los canales. Este hecho ha permitido disminuir los tiempos de respuesta ante cambios de caudales en la fuente. En particular en cinco canales del río Elqui se ha incorporado, además, compuertas de operación automática que permiten su ajuste remoto sin la necesidad de ser asistidas por celadores.

Los trazados de canales y ubicación de las obras de captación y distribución han experimentado poca variación en comparación con los planos de los diversos estudios de catastros de usuarios llevados a cabo principalmente en la década de los 80s. La excepción la constituyen los embalses construidos recientemente, como Puclaro, El Bato y Corrales, y todos los sistemas de canales asociados; fuera de éstos existen algunos nuevos canales detectados, básicamente en la cuenca del Choapa.

## **6.2 Obras de Acumulación y Regulación**

En términos generales los embalses principales de la región presentan buenas condiciones de operabilidad, con estructuras de control funcionales y con estructuras de contención (muros) sin problemas visibles.

Las diferencias se presentan en el estado de las obras de control, ya que en el embalse Puclaro todo el sistema de control se encuentra automatizado y monitoreado en forma remota desde dependencias de la Junta de Vigilancia, en tanto en los demás embalses esto no ocurre, debiendo operarse los sistemas en forma manual.

La incorporación de centrales hidroeléctricas de pasada en la salida de los embalses Puclaro y La Paloma ha permitido aumentar los ingresos de los usuarios de riego asociados a ambos sistemas. Sin embargo, no ha sido posible determinar si la necesidad de generar electricidad ha menoscabado la eficiencia en la distribución de los recursos para riego.

Han pasado casi 35 años, desde que se determinó las reglas de operación del sistema Paloma, antes señaladas; y dado que la estadística hidrológica en la Cuenca del río Limarí, exhibe ciertos cambios en sus patrones típicos, tal como se ha señalado en el Diagnóstico de Disponibilidad Hídrica de este mismo estudio, resulta necesario efectuar una revisión para validarlas o modificarlas en las condiciones hidrológicas actuales.

### 6.3 Agua Potable Rural

Los sistemas de APR son construidos y asistidos por la DOH del MOP. Existe un convenio entre esta institución y la empresa sanitaria regional para apoyo técnico de los sistemas denominados “concentrados”.

En general, los sistemas existentes no cuentan con sistemas de tratamiento de los efluentes, algunos tienen problemas con la propiedad de los terrenos que ocupan y la tarifa cobrada a los socios solo alcanza para mantención de los sistemas, no permitiendo reparaciones mayores ni ampliaciones de estos.

Estos sistemas se alimentan mayoritariamente de pozos profundos, en un 51% y de norias, en un 31%.

Existen otros sistemas denominados “no concentrados” que dependen de las municipalidades y que, en general, no cuentan con apoyo técnico ni económico. Muchos de estos sistemas pasarán a la tuición de la DOH prontamente.

### 6.4 Agua Potable Urbana

Los sistemas de agua potable urbana dependen de las empresas concesionarias de la Región de Coquimbo, entre las que se identifican:

- Aguas del Valle S.A., Aguas La Serena S.A.
- Empresa de Servicios Totoralillo (ESSETO S.A)
- Empresa de Servicios Sanitarios San Isidro ESSSI S.A.

Además, es necesario señalar a ECONSSA Chile S.A., sociedad anónima CORFO, continuadora de la empresa ESSAN S.A. que vela por el cumplimiento de los contratos de concesión entre el Estado y aquellas empresas no privatizadas sino que entregadas en concesión a empresas privadas por 30 años, entre las cuales se encuentra ESVAL S.A., dueña de Aguas del Valle S.A.

Las empresas concesionarias deben abastecer a la población de las localidades que están bajo su jurisdicción, encargándose de la producción y distribución de agua potable como así mismo de su recolección y disposición final.

Estos sistemas se encuentran fuertemente regulados por la ley sanitaria, teniendo la obligación de abastecimiento continuo a la población de los centros poblados. La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) tiene a su cargo la fiscalización del cumplimiento de ésta y todas las demás obligaciones que impone la ley.

Los principales problemas para el abastecimiento se detectaron en las comunas de Canela y Combarbalá, básicamente por la escasez de las fuentes.

### 6.5 Generación Hidroeléctrica

Las tres centrales hidroeléctricas de la región son pocas en comparación con las regiones ubicadas más al sur, debido a la relativa menor cantidad de recurso hídrico. La de mayor potencia instalada es la central Los Molles con 10,3 MW, la cual tiene más de 6 décadas operando.

Las centrales Paloma y Puclaro han aprovechado la operación de sendos embalses destinados al riego y tienen menos de 10 años de antigüedad. A pesar de contar con la seguridad del agua almacenada en los embalses, la condición de sequía imperante ha impedido su aprovechamiento en los últimos meses.

Sin embargo, estas centrales han aprovechado las instalaciones existentes, evitando construir largas obras de aducción, bocatomas y desarenadores, como ocurre por lo general en las centrales de pasada ubicadas en los cauces. Si se considera que existen otros embalses para riego en la región, resulta interesante estudiar la posibilidad de replicar estas obras en los mismos. También existen otros lugares con potencial hidroeléctrico estudiado por la CNR.

Cabe señalar que la CNR efectuó un estudio para determinar potenciales de generación hidroeléctrica en obras de riego existentes a objeto de desarrollar proyectos de mini centrales en la modalidad de ERNC. Sin embargo, no tiene asociado un estudio de conexión a sistemas de conducción de la energía eléctrica, obras que en algunos casos, pueden ser de muy alto costo lo que podría hacer inviables económicamente estos proyectos.

## **6.6 Pozos de Aguas Subterránea**

Los pozos de aguas subterráneas fueron ubicados a partir de los datos contenidos en el CPA de la DGA, de la revisión de expedientes y estudios anteriores efectuados en los Conservadores de Bienes Raíces.

En general, no se tiene certeza del estado de los pozos ya que son de dominio particular, tampoco se tiene registro de los que cuentan con medidor de flujo para controlar los caudales y volúmenes construidos, puesto que es un proceso gradual que está llevando a cabo la DGA.

## 7. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Se realizó un diagnóstico ambiental que incluyó la identificación y caracterización de temáticas que se vinculan con los recursos hídricos a saber: pasivos ambientales, conflictos y emergencias ambientales, áreas de protección y conservación existentes y propuestas de nuevas áreas de conservación.

En lo que respecta a los pasivos ambientales el estudio consideró el análisis de aquéllos más relevantes de la región y que corresponden a las faenas mineras abandonadas o paralizadas y los suelos degradados.

Respecto de los primeros cabe destacar que a la fecha no existe un catastro, solamente se dispone de un registro de las faenas abandonadas o paralizadas, las cuales ascienden a un total de 130 en toda la región. De este total solamente 59 cuentan con una evaluación preliminar del riesgo.

Precisamente son las faenas clasificadas con un riesgo alto de contaminación de las aguas las que tienen una relación directa con los recursos hídricos y cuya cifra asciende a 9.

Dada la falta de una evaluación de riesgo para la totalidad de las faenas mineras abandonadas y paralizadas de la región, se realizó una evaluación preliminar complementaria la cual consideró el análisis de una de las variables evaluadas según la metodología de SERNAGEOMIN, es decir la distancia entre el emplazamiento de ésta y los cauces naturales. Ello bajo el supuesto que aquellas faenas que se ubican más próximas a los cauces representan una condición de riesgo mayor.

Los resultados alcanzados permitieron identificar un total de 38 faenas mineras que se ubican a una distancia menor a los 200 m de los cauces.

Otro pasivo ambiental que tiene importancia a nivel regional se relaciona con la existencia de suelos degradados. La degradación de los suelos además de conllevar a una pérdida de la cobertura de suelos, tiene implicancias socioeconómicas e importantes efectos en el ciclo del agua, afectando la escorrentía superficial y la capacidad de infiltración y alimentación de los acuíferos.

A nivel regional la mayor parte de las cuencas poseen problemas de degradación de suelos que comprometen incluso más del 50% de la superficie total de ellas. Las situaciones más críticas se presentan en las cuencas de la quebrada Los Choros, Costeras entre quebrada Los Choros y río Elqui, río Elqui y río Choapa.

Por otro lado, también se analizaron los conflictos y emergencias ambientales.

De acuerdo con la Política Ambiental de la Región de Coquimbo los principales problemas que se presentan son los siguientes:

- Déficit hídrico (presente en toda la región, con particular énfasis en el sistema de montaña media, en el sector norte de la clase de interfluvios semiráridos, excluyéndose las zonas próximas a los ejes hidráulicos de los grandes ríos bajo regulación).

- Agotamiento de recursos naturales no renovables por explotación minera (comunas de: La Higuera, Vicuña, Andacollo e Illapel).
- Contaminación de ríos, esteros y quebradas, debido a la disposición de residuos mineros (en particular el río Illapel en la cuenca del Choapa, río Hurtado afluente del río Limarí, quebrada de Marquesa en la cuenca baja del río Elqui, quebrada La Hermosa y Los Negritos, en la localidad de Andacollo).
- Contaminación de cursos de agua por agroquímicos en sectores de agricultura intensiva (como parronales) y por basurales (con especial énfasis en las comunas de: Monte Patria, río Hurtado, Punitaqui y Combarbalá) (la cual no ha sido pesquisada mediante análisis químicos).

Las emergencias ambientales de la región fueron identificadas a partir de una revisión de los procesos sancionatorios que ha formulado la autoridad ambiental a proyectos que han ingresado al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a través de Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) o Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en el portal [www.e-seia.cl](http://www.e-seia.cl)

Los episodios de emergencia ambiental identificados en la región ascienden a un total de 19 los cuales están relacionados principalmente con la operación de proyectos mineros.

Los principales eventos se han traducido en la afectación de la calidad de las aguas de los cuerpos receptores, ya sea por derrames de materiales de relaves, aguas claras o concentrados

Respecto de las áreas de protección y conservación vigentes el análisis consideró la identificación y caracterización de todas aquellas áreas que se encuentran en alguna categoría oficial de conservación.

El análisis de nuevas áreas de conservación incluyó la identificación y caracterización de todos aquellos ecosistemas relevantes en la región, sobre los cuales existe un reconocimiento de su importancia y que a la fecha no se encuentran en ninguna categoría oficial. La ubicación de estos sitios se muestra en la Figura 7.1.

En la superficie continental de la región existe un total de 4 áreas de conservación bajo protección ambiental, a lo que se suma un área insular (Reserva Marina Islas Choros y Damas).

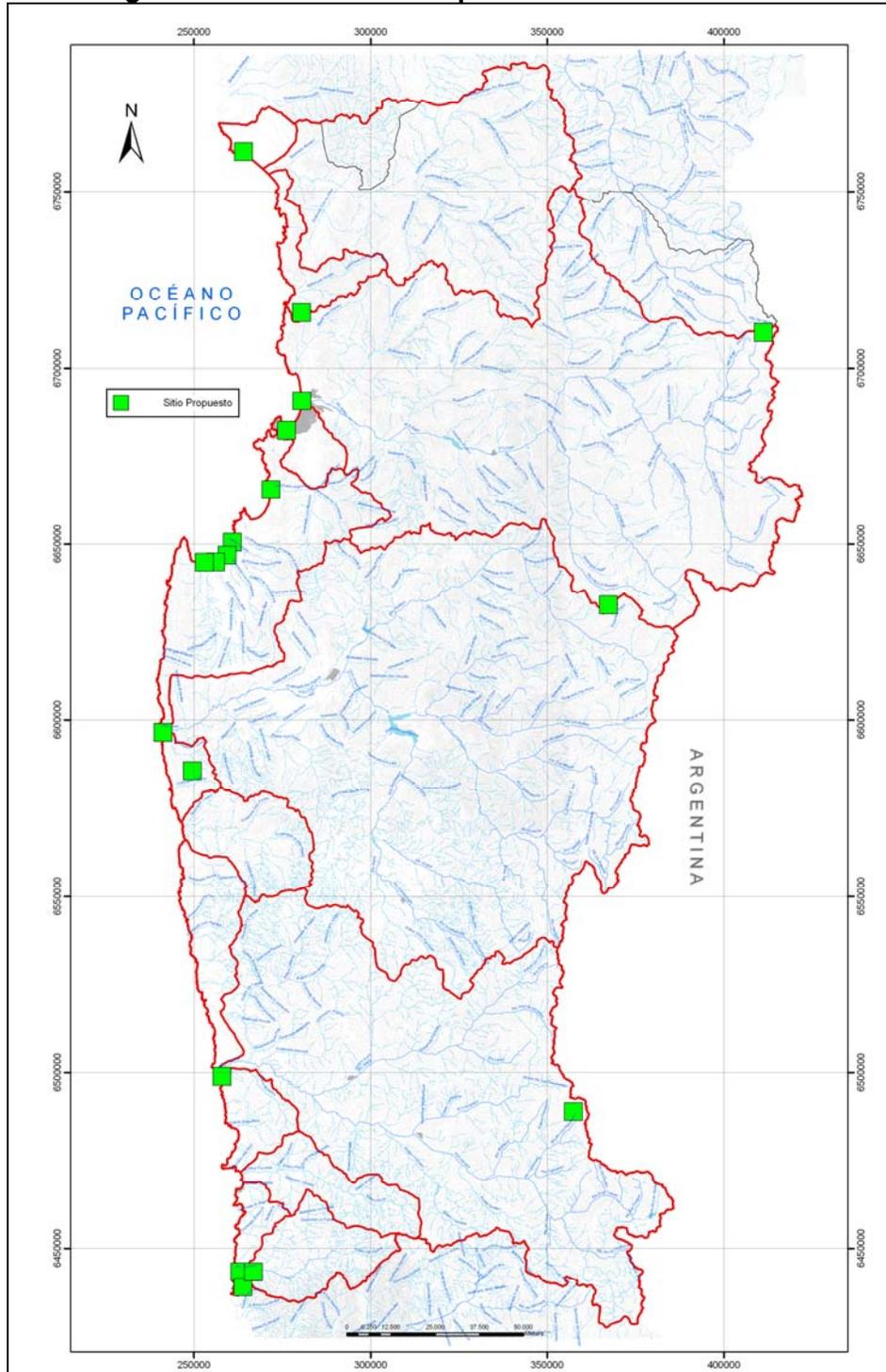
Las áreas existentes son: el Monumento Natural Pichasca (SNASPE), Reserva Nacional Bosque de San Jorge (SNASPE), Reserva Nacional Las Chinchillas (SNASPE) y Laguna Conchalí (Santuario de La Naturaleza y sitio RAMSAR).

Respecto de la proposición de nuevas áreas se identificó un total de 18 ecosistemas que han sido propuestos para su protección ambiental y en cuya preservación juega un rol relevante la disponibilidad de los recursos hídricos, dado que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida acuática que se desarrolla en torno a él.

La mayor parte de los sitios propuestos corresponde a humedales costeros y, en menor medida, a otros ecosistemas frágiles como quebradas y sistemas altoandinos.

En el caso particular de los humedales costeros, ellos tienen una gran extensión longitudinal concentrándose principalmente en las cuencas costeras que se desarrollan entre los ríos Elqui y Limarí. Respecto de los humedales altoandinos, ellos se ubican en las cuencas altas de los ríos Elqui y Choapa, respectivamente.

**Figura 7.1 Sitios de Interés para Protección Ambiental**



Cabe señalar que gran parte de estas unidades se encuentran expuestas frecuentemente a amenazas derivadas de la acción antrópica, que se traduce ya sea en contaminación por residuos, extracción de sus aguas, caza, sobrepastoreo, turismo no controlado, urbanizaciones, entre otros.

Para estos ecosistemas a la fecha no existen estudios previos de sus demandas hídricas, que permitan establecer las características del escurrimiento, de los tramos de cauces donde ellos se emplazan.

Finalmente, para cada medida propuesta en los diferentes escenarios futuros, se realizó una cuantificación del efecto sobre el recurso hídrico, en la ubicación de los puntos de interés ambiental, es decir, áreas de protección y de conservación existentes y propuestos.

Los resultados obtenidos permiten concluir, en términos generales, que la intensificación del uso del recurso hídrico dentro de la cuenca origina una disminución del caudal en la desembocadura de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Esto ocurre, por ejemplo, en el escenario futuro base, el cual incorpora una cantidad importante de áreas cultivadas: un aumento de 15 % en el Elqui, 20% en el Limarí y 30% en el Choapa).

Todo lo señalado muestra la necesidad de contar con una estimación de los caudales ecológicos en los puntos de interés ambiental, de modo de precisar el alcance de las medidas propuestas, y controlar los efectos de cada medida sobre el caudal.

## 8. DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL Y FUNCIONAL

### 8.1 Introducción

El procedimiento metodológico para efectuar este diagnóstico comprendió los siguientes aspectos:

- Identificación de las Instituciones Públicas y Privadas cuyo quehacer está relacionado con los recursos hídricos, en la Región de Coquimbo. Como corresponde a la naturaleza del Estado en Chile, las instituciones públicas son todas oficinas regionales, y dependen del Servicio Central. En el caso de las instituciones privadas, ellas son efectivamente regionales, e incluso, la mayoría se distribuye por cuencas hidrográficas.
- Revisión de todos los estudios recientes relativos a análisis de diagnóstico institucional del funcionamiento del sector recursos de agua en Chile. Dos de éstos (Ref. <sup>2</sup> y <sup>3</sup>), fueron particularmente de interés.
- Realización de entrevistas estructuradas, para obtener las principales impresiones del funcionamiento institucional en la región, y orientadas a identificar los principales problemas, a juicio de los principales actores, sobre el tema de recursos hídricos de la región.

### 8.2 Principales Conclusiones

El informe del Instituto de Ingenieros de Chile (2011), señala las siguientes fallas en la institucionalidad del agua en Chile:

- Existe superposición de funciones y actividades de las distintas instituciones relacionadas con el manejo del recurso hídrico y no existe una autoridad pública superior que coordine el conjunto de funciones del Estado relacionadas con el agua, lo que hace difícil generar e implementar políticas coherentes y lograr que las funciones se ejerzan en forma armónica.
- Competencia presupuestaria entre las instituciones para el desarrollo de actividades y funciones similares, lo que tiende a generar ineficiencias en sus actividades e ineficacias en el logro de sus objetivos a corto y mediano plazo.
- Algunas áreas en las cuales se observa una inadecuada delimitación y descoordinación de funciones son: gestión de la calidad del agua, gestión de los cauces naturales y autorización de obras, y la regulación y fiscalización de los aspectos ambientales relativos a recursos hídricos.

El citado estudio también destaca que en las últimas dos décadas ha aumentado en más de tres veces la solicitud de derechos de agua lo que, sumado a la incorporación de políticas de requerimientos ambientales (Ley de Bases del Medio Ambiente y modificaciones y reglamentos asociados), ha significado una mayor complejidad y conflictividad, lo que generó

---

<sup>2</sup> IICh. (2011) "Temas Prioritarios para una Política Nacional de R. H."

<sup>3</sup> Banco Mundial (2011) "Diagnóstico de la Gestión de los Recursos de Agua en Chile".

una mayor demanda por atención de parte de los servicios públicos.

El informe del grupo de expertos del Banco Mundial, plantea las siguientes conclusiones:

- Existe una falta de claridad de procedimientos sobre cómo se reparten y desarrollan las distintas funciones necesarias asociadas a la gestión del riesgo hidrológico. La aplicación práctica del concepto de dominio público hidráulico y de las labores de policía para la protección del mismo resultan difusos. Así, si bien existe el concepto de deslinde, éste no comprende una determinada distancia a partir de las riberas de los cauces y no está claro cómo se ejerce la fundamental labor de protección de los mismos ante agresiones de cualquier tipo. Por ejemplo, son las entidades municipales las responsables de conceder licencias para la extracción de áridos de un río, por lo que la posibilidad de conflicto con la DGA, responsable última de la protección del cauce resulta evidente. En el caso de inundaciones, no parece existir una vinculación normativa entre área inundable, analizada mediante estudios técnicos y, por ejemplo, zonas de actividades restringidas debido al riesgo existente.
- En cuanto a los aspectos físicos de las aguas, hay deficiencias en la información respecto a su cantidad y calidad. Hay datos limitados de disponibilidad de aguas superficiales por cuenca y usos principales por sector y usuario, incluyendo flujos de retorno. Incluso más limitada es la disponibilidad de datos de aguas subterráneas y sus usos. La falta de involucramiento generalizada de muchas Juntas de Vigilancia en los temas de aguas subterráneas contribuye a agravar el problema. Aunque la DGA es responsable de recopilar información sobre la calidad, ésta no tiene atribuciones para controlar la contaminación. La información en ciertos aspectos institucionales tampoco es fácilmente accesible, como la que se refiere a las estructuras, prácticas y gestiones de las organizaciones de usuarios; o con respecto a los conflictos de agua, disputas y denuncias.
- Un enfoque de cuenca como unidad de análisis, planificación y gestión es a menudo necesario para evitar el riesgo de que se incrementen las externalidades por un inadecuado manejo del recurso. No sólo eso; a veces es ventajoso si todos los grupos interesados tienen la oportunidad de involucrarse a nivel de cuenca. En Chile el único acercamiento a este enfoque lo constituye el hecho de que unas pocas Juntas de Vigilancia tienen toda una cuenca bajo su jurisdicción.
- Las organizaciones de usuarios y los tribunales de justicia son responsables de la resolución de conflictos sobre el agua. El hecho de que las organizaciones de usuarios de agua sean capaces de resolver conflictos internamente ahorra tiempo y recursos a los usuarios y alivia la carga de trabajo de los tribunales; sin embargo las organizaciones de usuarios de agua no cubren todo el país ni incluyen a todos los usuarios. Además, sería importante regular las facultades jurisdiccionales de las organizaciones de usuarios de agua de manera que no se involucren en la resolución de conflictos en que tengan un interés directo, y mejorar los estándares procesales en la actuación de este tipo de tribunal, de manera que se garantice a todas las partes el respecto a las normas esenciales del proceso y la legítima defensa.
- Debido a la falta de un tribunal especializado, un gran número de conflictos no resueltos llegan a instancias de los tribunales ordinarios de justicia, los cuales no poseen el grado

de especialización adecuado para interpretar técnicamente las causas. Adicionalmente, existe una baja calidad técnica en las resoluciones judiciales dictadas en temas de aguas. Por último, la Contraloría General de la República tiene a su cargo el control preventivo de la legalidad de diversos actos en el sistema judicial a través del trámite de toma de razón; sin embargo se percibe que la mayoría de los dictámenes de la Contraloría General de la República contienen especificaciones altamente técnicas, cuyo conocimiento correspondería a órganos específicos creados especialmente para tales efectos.

Las conclusiones anteriores concuerdan con los antecedentes recabados en entrevistas y los procesos utilizados durante el desarrollo del Plan Maestro.

El otro aspecto que es conveniente destacar, es la gran disparidad que se puede observar, entre las diferentes Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) en la Región. Es así como existen OUA's que han invertido en mejorar sus instalaciones de reparto de aguas conforme a derechos, y que tienen un grado de avance en sus instalaciones, en cuanto a automatización, que están a un primer nivel, como por ejemplo la Junta de Vigilancia del río Elqui; mientras que muchas otras operan con un nivel de recursos muy pobre. Por otro lado, se observa que muchos canales de riego tienen grandes pérdidas en su trayecto, que aún no han sido adecuadamente identificadas, en cuanto a tramos o magnitudes. Aún más, no existen en la zona Comunidades de Aguas Subterráneas constituidas.

Además existen OUA's que no están en condiciones de formular proyectos de mejoramiento de sus sistemas de conducción, a los organismos que, como la Comisión Nacional de Riego, tienen concursos públicos que entregan subsidios para mejorar las obras de riego existentes, debido a su bajo caudal medio y baja capacidad de copago, siendo ambos parámetros que gravitan mucho en la asignación de los subsidios.

En cuanto a la Conservación de Actividades no Valoradas económicamente, se identificó como principal actividad el desarrollo turístico, donde resulta importante la conservación del recurso hídrico tanto en cantidad como en calidad. Se incluyó un análisis de disponibilidad hídrica en todos los escenarios de modelación, asociado a 10 puntos de interés turístico.

También se analizaron las herramientas utilizadas habitualmente en la gestión del recurso hídrico, entre las que se distinguen: Planes y Políticas, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Modelos computacionales Infraestructura, Mercado del Agua y Bases de Datos.

## 9. PROPUESTAS DEL PLAN

A partir de las falencias detectadas en cada eje de diagnóstico, se propusieron medidas tanto a nivel general, como regional y para las distintas cuencas estudiadas.

Desde el punto de vista de los costos, las medidas propuestas se dividen en tres grupos:

- Las medidas generales que se proponen a nivel nacional o regional, para las cuales no es posible evaluar un costo ni hacer una estimación del beneficio, en la presente consultoría.
- Las medidas que se proponen para la región, o para alguna cuenca en particular, para las cuales, dentro de los alcances de la presente consultoría, no es posible evaluar un beneficio, pero sí un costo, el cual se estima en cada caso, de la forma en que se indica.
- Las medidas específicas que se proponen para mejorar la disponibilidad hídrica, y que han podido ser modeladas con MAGIC. Para esas medidas, es posible evaluar tanto costos como beneficio, a través del aumento de demanda agrícola suplida. Estas se pudieron evaluar económicamente.

Para el tercer grupo se efectuó una evaluación económica de las medidas, determinándose si son rentables tanto a precios privados como sociales.

En la Tabla 9.1 se presentan las proposiciones, tanto generales como específicas por cuenca, agrupadas ya no por eje, sino que por objetivo (conceptuales, información, legales, estudios, operativos, monitoreo, campañas), indicándose la entidad que debiese hacerse cargo de cada medida en primera instancia, sus costos privados y si resultan o no rentables (en el caso de las que son evaluables).

En el presente Plan Maestro se propone, además, una calendarización para todas las medidas propuestas. En principio, los plazos de implementación de cada una fueron establecidos en función de los tiempos que se requieren para su implementación, siendo algunas a corto plazo (5 años), otras a mediano plazo (10 años) y otras a largo plazo (20 años).

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
<b>Proposiciones Generales</b>			
<b>Conceptuales</b>			
Definir el derecho de agua sin distinción de origen	DGA	NA	-
Reestudiar la Ley de Transparencia de la información pública	Gob. Central	NA	-
Centros de investigación: estudios acordes con necesidades de actores de RH	Centros de Investigación	NA	-
<b>Modificaciones a la Institucionalidad</b>			
Estudiar la creación de una Superintendencia de Recursos Hídricos	Gob. Central, MOP	NA	-
Creación de Tribunales del Agua	Min Justicia	NA	-
Crear Depto. de gestión integrada de Recursos Hídricos en la DGA	DGA	NA	-
<b>Plataformas de Información</b>			
Creación plataforma única estudios públicos RH	Consejo Ministros por la Sustentabilidad	NA	-
Creación plataforma única información y datos generados en sector público	Consejo Ministros por la Sustentabilidad	NA	-
Creación de una plataforma única que incluya la información de datos de privados	Consejo Regional de Desarrollo Productivo	NA	-
Entrega digital y completa de información que vende el Estado	Reparticiones que venden información a público	NA	-
Georreferenciación de toda la información espacial	Todas las entidades que manejan información espacial	NA	-
Reformular CPA. Incluir nombre del canal entre las características esenciales del derecho	DGA	NA	-
<b>Legales</b>			
Dejar de cobrar patente por no uso en acuíferos sobreexplotados: Los Choros, Culebrón, Palqui, Quilimarí	DGA	NA	-
Publicación de las áreas que se encuentran en condición de escasez	Gobierno Central, MOP	NA	-

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

<b>Propuestas del Plan</b>	<b>Entidad encargada</b>	<b>Rentable</b>	<b>Costo (mill. \$)</b>
Simplificación procedimiento de perfeccionamiento de DA (Reglamento CPA)	DGA	NA	-
Establecer para aguas del minero: Caudal, registro CPA	Gobierno Central, MOP	NA	-
Establecer para aguas de uso mínimo: caudal, registro en CPA	Gobierno Central, MOP	NA	-
Control de dobles inscripciones (DGA instruir a CBR, JV)	DGA, CBR, JV	NA	-
<b>Estudios</b>			
Mejorar modelos integrados de simulación (MAGIC)	DGA, CDRP	NA	150
Mejorar modelos de pronóstico: Elqui, Limarí, Choapa, (Pupío, Quilimarí)	DGA, CDRP	NA	100
Redacción de normas para abandono de cultivos en laderas	MinAgri	NA	-
Redacción de normas para tenencia de ganado caprino	MinAgri	NA	-
Estudiar caudales ecológicos en 18 zonas de protección ambiental	DGA	NA	360
Estudios para incentivar generación mini hidroeléctrica y bonificar vía ley de riego	CNR	NA	-
Estudios para mejorar el conocimiento de los acuíferos (geofísica, modelación)	Instituciones públicas y privadas	NA	500
Ejecución de catastros integrales de obras de riego y la integración de la información a nivel regional	JV, DOH	NA	600
Ejecución de catastros integrales de obras de protección fluvial y la integración de la información a nivel regional	DOH	NA	280
Estudiar Nuevos Planes Maestros de Aguas Lluvias (población < 50.000 hab.)	DOH	NA	1500
Elaborar planes maestros de manejo de cauces	DOH	NA	1800
Actualización catastro de usuarios - derechos - SIG	DGA	NA	2500
<b>Operativos Largo Plazo</b>			
Plan de sequía nivel público (construcción pozos riego y AP-APR)	DGA, DOH	NA	1200
Plan de sequía nivel privado (acuerdos internos JV)	JV	NA	300

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
Mejorar planificación general de infraestructura de riego	DOH	NA	-
Continuar con la implementación de planes maestros de aguas lluvias vigentes	DOH	NA	43120
<b>Operativos Corto Plazo</b>			
Levantamiento de parámetros para balance de iones mayores (falta alcalinidad)	Lab.DGA	NA	10
Adecuación de Límites de detección para Molibdeno y Boro	Lab.DGA	NA	20
Agregar dato de caudal o nivel en datos muestrales de calidad	DGA	NA	-
Continuar con programas de apoyo a usuarios	CNR, INDAP, DOH	NA	-
Verificar el Cumplimiento de la normativa DS 609/1998	Empresa Sanitaria	NA	-
Revestir tramos específicos en canales	CNR, comunidades	NA	42000
Tecnificar riego	CNR, JV, Comunidades de usuarios	soc	33900
Revisar criterios de otorgamiento de beneficios ley 18.450 CNR (canales pequeños, porcentaje de aporte)	CNR	NA	-
Proyectos de remediación de faenas mineras abandonadas	SERNAGEOMIN	NA	-
<b>Monitoreo</b>			
Completar red de monitoreo subterráneo para calidad (24 estaciones adicionales)	DGA	NA	200
Completar red de monitoreo de nieves para pronóstico (8 estaciones)	DGA	NA	320
Completar red de monitoreo de niveles para planes de sequía	DGA	NA	250
Completar red de monitoreo fluviométrico para modelación (5 estaciones)	DGA	NA	325
<b>Organización</b>			
Incentivar la creación de comunidades de aguas subterráneas	DGA, JV	NA	-
Incentivar la inclusión de usuarios subterráneos en JV	JV	NA	-

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
<b>Proposiciones específicas para cuenca Elqui</b>			
<b>Legales</b>			
Constituir derechos provisionales en acuíferos subexplotados Vicuña, Elqui Bajo, Costa	DGA	soc.	-
<b>Estudios</b>			
Revisión regla de operación embalse Puclaro	JV	NA	120
Finalizar análisis Norma Secundaria de Calidad Ambiental	MMA	NA	20
Recarga artificial acuífero Culebrón caudal promedio 300 l/s	DGA, DOH	no	5918
Estudiar recarga artificial otros acuíferos	DGA, DOH	NA	200
Estudiar embalse Estero Derecho	DOH, Comunidad	soc	1000
<b>Operativos Largo Plazo</b>			
Mejorar sistema de compuertas interiores artesanales	CNR, Comunidades	NA	800
Mejorar eficiencia de conducción canales en tramos específicos: Estero Derecho, Elqui Bajo, Costa	CNR, Comunidades	NA	12000
<b>Operativos Corto Plazo</b>			
Aumentar tecnificación de riego: Estero Derecho, Santa Gracia, Elqui Bajo, Costa	CNR, Comunidades	NA	8500
Fomentar el micro embalsamiento	CNR, Comunidades	NA	1500
Fomentar mercado de volúmenes de agua	DGA, JV	NA	-
Incluir colectores en urbanizaciones nuevas	DOH, MINVU	NA	-
<b>Monitoreo</b>			
Implementar monitoreo de nieves para modelos de pronóstico (2 estaciones)	DGA	NA	80

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

<b>Propuestas del Plan</b>	<b>Entidad encargada</b>	<b>Rentable</b>	<b>Costo (mill. \$)</b>
Reestablecer monitoreo fluviométrico para modelación (2 estaciones)	DGA	NA	130
Implementar monitoreo de glaciares (Estero Derecho)	DGA	NA	150
Implementar monitoreo de acuíferos Plan Sequía	DGA	NA	60
Complementar red de calidad de aguas subterráneas (5 estaciones adicionales)	DGA	NA	40
<b>Campañas</b>			
Campañas para reducir eventos puntuales de empresas mineras	JV, MMA	NA	50
Campañas para evitar recontaminación antrópica de canales	JV, Comunidades	NA	120
<b>Proposiciones específicas para cuenca Limarí</b>			
<b>Legales</b>			
Constituir nuevos derechos subterráneos: Grande , Mostazal, Rapel, Pono, Hurtado, Limarí	DGA	soc, priv	-
Declarar restringidos los acuíferos de El Palqui, Punitaqui, Graneros, Camarico, La Chimba	DGA	NA	-
Declarar prorrata en acuíferos sobreconstituidos y sobreexplotados	DGA, Org. Usuarios Subt.	NA	-
<b>Estudios</b>			
Revisión regla de operación sistema Paloma	DOH, CASEP	NA	180
Finalizar análisis Norma Secundaria de Calidad Ambiental	MMA	NA	20
Recarga inducida o artificial Acuíferos Punitaqui, Graneros, La Chimba, Camarico	DGA, DOH, JV	NA	-
<b>Operativos Largo Plazo</b>			
Embalse Nuevo en Río Hurtado	DOH, Comunidad	no	1540
Mejorar eficiencia de conducción canales (revestimientos)	CNR, Comunidad	soc, priv	17000

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
<b>Operativos Corto Plazo</b>			
Aumentar uso de telemetría	CNR, JV	NA	1250
Implementar control a distancia	CNR, JV	NA	3200
Mejorar sistema de compuertas interiores artesanales	CNR, Comunidades	NA	950
Aumentar tecnificación de riego: Pama, Combarbalá,	CNR, Comunidades	soc, priv	2000
Aumentar tecnificación de riego: Hurtado, Mostazal, Camarico, Punitaqui	CNR, Comunidades	soc, priv	6500
<b>Monitoreo</b>			
Implementar monitoreo de nieves para modelos de pronóstico (4 estaciones)	DGA	NA	160
Reestablecer monitoreo fluviométrico para modelación (2 estaciones)	DGA	NA	130
Implementar monitoreo de glaciares (Río Hurtado)	DGA	NA	150
Implementar monitoreo de acuíferos Plan Sequía	DGA	NA	60
Complementar red de calidad de aguas subterráneas (5 estaciones adicionales)	DGA	NA	40
<b>Proposiciones específicas para cuenca Choapa</b>			
<b>Legales</b>			
Constituir derechos provisionales en acuíferos subexplotados: todos salvo Quelén y Chalinga	DGA	soc	-
<b>Estudios</b>			
Estudio y propuesta Norma Secundaria de Calidad Ambiental	MMA	NA	150
Tubería de aducción hacia Canela (recarga acuífero Canela con aguas excedentarias de Choapa)	DOH, Comunidades	no	11564

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
<b>Operativos Largo Plazo</b>			
Embalse Nuevo Canelillo	DOH, JV	soc, priv	56759
Mejorar eficiencia de conducción canales	CNR, Comunidades	soc	12000
Mejorar planificación de obras de entrega desde embalses	DOH	NA	-
<b>Operativos Corto Plazo</b>			
Aumentar uso de telemetría	CNR, JV	NA	1250
Aumentar control a distancia	CNR, JV	NA	3200
Mejorar sistema de compuertas interiores artesanales	CNR, Comunidades	NA	850
Aumentar tecnificación de riego: Choapa, Illapel, Chalinga, Quelén	CNR, JV, Comunidades	no	17000
Fomentar micro embalsamiento	CNR, JV, Comunidades	NA	3000
Fomentar mercado de volúmenes de agua	DGA, JV	NA	-
Incentivar la conversión hacia cultivos más rentables	INDAP, CNR, privados, comunidades	NA	-
<b>Monitoreo</b>			
Incrementar monitoreo de nieves para modelos de pronóstico (2 estaciones)	DGA	NA	80
Implementar monitoreo de acuíferos Plan Sequía	DGA	NA	60
Complementar red de calidad de aguas subterráneas (5 estaciones adicionales)	DGA	NA	40
<b>Campañas</b>			
Campañas para reducir eventos mineros		NA	50
Campañas para conversión a cultivos más rentables	CNR, INDAP, Comunidades	NA	120

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
<b>Proposiciones específicas para cuenca Pupío</b>			
<b>Legales:</b>			
Constituir nuevos derechos subterráneos	DGA	no	874
<b>Monitoreo</b>			
Implementar monitoreo de niveles de aguas subterráneas	DGA	NA	90
Complementar red de calidad de aguas subterráneas (3 estaciones adicionales)	DGA	NA	24
<b>Proposiciones específicas para cuenca Quilimarí</b>			
<b>Estudios:</b>			
Estudiar regla de operación embalse Culimo	JV Quilimarí	NA	100
Trasvase de agua desde Choapa (recarga embalse Culimo con aguas excedentarias de Choapa)	DOH, Comunidades	no	26102
<b>Operativos CP</b>			
Mejorar eficiencia de conducción canales	CNR, Comunidades	NA	5000
Mejorar sistema de compuertas interiores artesanales	CNR, Comunidades	NA	550
Aumentar tecnificación de riego: Tilama	CNR, Comunidades	NA	300
Fomentar micro embalsamiento	CNR, Comunidades	NA	500
<b>Monitoreo</b>			
Implementar monitoreo de acuíferos Plan Sequía	DGA	NA	15
Complementar red de calidad de aguas subterráneas (2 estaciones adicionales)	DGA	NA	16

**Tabla 9.1 Resumen y Costos de las Proposiciones del Plan Maestro (Continuación)**

Propuestas del Plan	Entidad encargada	Rentable	Costo (mill. \$)
<b>Proposiciones específicas para cuenca Los Choros</b>			
<b>Legales:</b>			
Dejar de cobrar patentes por no uso	DGA	NA	-
<b>Monitoreo:</b>			
Complementar red de calidad de aguas subterráneas (4 estaciones adicionales)	DGA	NA	32

Nota:

NA: No aplica

Soc.: Rentable solo socialmente

Priv.: Rentable a nivel privado y social