GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL
VOLUMEN 1

REALIZADO POR:

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.

S.I.T. Nº 291

Santiago, Diciembre 2012

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministra de Obras Públicas
Abogada Sra. María Loreto Silva Rojas

Director General de Aguas (TP)
Abogado Sr. Francisco Echeverría Ellsworth

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Industrial Sr. Norberto Portillo Araya

Profesionales División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sra. Andrea Osses Vargas
Ingeniero Civil en Geografía Sr. Juan Salvador Atán Díaz

ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L.

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Sr. Felipe Espinoza Contreras

Profesionales
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Sra. Paulina León Toro (Coordinadora)
Ingeniero Civil Luis Arrau del Canto
Ingeniero Civil José Lagos Rehfeld
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Sra. Claudia Lizana Zapata
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Sra. Roxana Bórquez González
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Sr. Yuri Castillo Ávalos
Ingeniera Civil Srta. Lucía Scaff Fuenzalida
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Srta. Catalina Eastman Mendoza
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Srta. Valeska Cárcamo Azócar
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Srta. Mónica Martínez Olivares
Licenciado en Antropología Sr. Luis Hernández Astudillo
Ingeniero Industrial Sr. Nicolás Jadue Majluf

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE GENERAL

Resumen Ejecutivo

Volumen 1

Capítulo	Descripción
1.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS
2.	RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES
3.	DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA
4.	DIAGNÓSTICO DE CALIDAD SEGÚN FUENTES Y TIPO DE USO
5.	DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD Y COBERTURA DE LA INFRAESTRUCTURA

Volumen 2

Capítulo	Descripción
6	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
7.	DIAGNÓSTICO FUNCIONAL
8.	DIAGNÓSTICO DE LAS HERRAMIENTAS E INSUMOS PARA LA GESTIÓN HÍDRICA
9.	DIAGNÓSTICO DE CONSERVACIÓN DE ACTIVIDADES VALORADAS POR FACTORES NO ECONÓMICOS
10.	VOCACIÓN PRODUCTIVA REGIONAL
11.	PARTICIPACIÓN CIUDADANA
12.	EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA (EAE)
13.	RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DEL TERRITORIO
14.	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS Y NECESIDADES
15.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Anexos

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
1.	**INTRODUCCION Y OBJETIVOS**	**1-1**
1.1.	INTRODUCCIÓN	1-1
1.2.	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-1
1.2.1.	Objetivo General	1-1
1.2.2.	Objetivos Específicos	1-2
1.3.	ÁREA DE INFLUENCIA	1-2
1.4.	CONTENIDO DEL INFORME FINAL DEL ESTUDIO	1-8
2.	**RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES**	**2-1**
2.1.	GENERALIDADES	2-1
2.2.	REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	2-1
2.3.	PROYECTOS EN SEIA	2-9
2.4.	PROYECTOS EN EL BANCO INTEGRADO DE PROYECTOS	2-13
2.5.	HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS	2-25
2.5.1.	Información SIG	2-25
2.6.	PLANES DE ALERTA TEMPRANA	2-26
2.7.	TRABAJOS EN TERRENO	2-27
2.7.1.	Generalidades	2-27
2.7.2.	Reunión Inicial con DGA Antofagasta	2-27
2.7.3.	Reuniones con Personal de Reparticiones Públicas	2-27
3.	**DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA**	**3-1**
3.1.	INTRODUCCIÓN	3-1
3.2.	CARACTERIZACIÓN RECURSOS HÍDRICOS	3-5
3.2.1.	Introducción	3-5
3.2.2.	Recursos Superficiales	3-5
3.2.3.	Caracterización de Recursos Subterráneos	3-38
3.3.	DEMANDAS HÍDRICAS POR USO	3-51
3.3.1.	Generalidades	3-51
3.3.2.	Agua Potable	3-51
3.3.3.	Uso Agrícola	3-60
3.3.4.	Producción de Energía Eléctrica	3-80
3.3.5.	Minería	3-90
3.3.6.	Uso Industrial	3-108
3.3.7.	Uso paisajístico, Turístico y Recreacional	3-113

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
3.3.8.	Caudales Ecológicos en la Zona de Estudio	3-120
3.4.	BALANCE HÍDRICO DE CUENCAS RELEVANTES	3-126
3.4.1.	Introducción	3-126
3.4.2.	Comparación con los Resultados del BHN 1987	3-126
3.4.3.	Balance Hídrico en Cuenca del Río Loa	3-135
3.4.4.	Balance Hídrico Cuenca del Salar de Atacama	3-144
3.4.5.	Oferta Hídrica en Cuencas Altiplánicas	3-147
3.4.6.	Consideraciones Finales sobre los Métodos Empleados	3-151
3.5.	CONCLUSIONES	3-152
3.5.1.	Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos	3-152
3.5.2.	Demandas	3-153
3.5.3.	Balance Hídrico de Cuencas Relevantes	3-156
4.	**DIAGNÓSTICO DE CALIDAD SEGÚN FUENTES Y TIPO DE USO**	**4-1**
4.1.	Generalidades	4-1
4.2.	Análisis de la Calidad de las Aguas	4-1
4.2.1.	Introducción	4-1
4.3.	Aguas Superficiales	4-1
4.3.1.	Introducción	4-1
4.3.2.	Parámetros Físico-Químicos	4-2
4.3.3.	Parámetros Microbiológicos	4-4
4.3.4.	Cuenca Río Loa	4-5
4.3.5.	Cuenca Salar de Atacama	4-33
4.4.	Aguas Subterráneas	4-44
4.4.1.	Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de La Zona Norte de Chile	4-44
4.4.2.	Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos	4-51
4.4.3.	Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas	4-54
4.5.	Información Disponible en Proyectos Presentados al SEA (o SEIA)	4-60
4.5.1.	Generalidades	4-60
4.5.2.	Planes de Alerta Temprana en la Región de Antofagasta	4-62
4.6.	Fuentes Emisoras sobre Aguas Superficiales o Subterráneas	4-65
4.6.1.	Aguas Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	4-69
4.6.2.	Aguas Efluentes de Tranques de Relave	4-70
4.7.	Caudales de Dilución Establecidos en Cursos Superficiales	4-72
4.8.	Vulnerabilidad de Acuíferos	4-72
4.9.	Conclusiones	4-73

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
5.	**DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD Y COBERTURA DE LA INFRAESTRUCTURA**	**5-1**
5.1.	INTRODUCCIÓN	5-1
5.2.	DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD	5-1
5.2.1.	Infraestructura de Agua Potable Urbana	5-1
5.2.2.	Infraestructura Para Riego	5-2
5.2.3.	Redes de Control	5-25
5.2.4.	Tranques de Relaves	5-51
5.2.5.	Obras de Control Aluvional y de Aguas Lluvia	5-55
5.3.	DIAGNÓSTICO DE DESEMPEÑO ANTE EVENTOS EXTREMOS	5-68
5.3.1.	Introducción	5-68
5.3.2.	Catastro de Eventos Extremos	5-69
5.3.3.	Catastro de Daños	5-75
5.3.4.	Diagnóstico Red de Monitoreo DGA en Eventos de Crecidas	5-94
5.3.5.	Seguridad de Abastecimiento Ante Sequías de Diferente Probabilidad de Excedencia	5-96
6.	**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**	**6-1**
6.1.	INTRODUCCIÓN	6-1
6.2.	SEGUIMIENTO RESOLUCIONES DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL (RCA)	6-1
6.3.	SEGUIMIENTO PLANES DE ALERTA TEMPRANA (PAT)	6-20
6.3.1.	Generalidades	6-20
6.3.2.	Contenido de los Planes de Alerta Temprana	6-20
6.3.3.	Planes de Alerta Temprana en la Región de Antofagasta	6-21
6.3.4.	Revisión Informes Planes de Alerta Temprana	6-40
6.4.	CONSERVACIÓN Y BIODIVERSIDAD	6-45
6.4.1.	Introducción	6-45
6.4.2.	Áreas de Conservación Bajo Protección Oficial	6-47
6.4.3.	Áreas de Conservación Sin Protección Oficial	6-53
6.4.4.	Protección de Vegas y Bofedales	6-63
6.4.5.	Servicios Ambientales de las Áreas Protegidas	6-67
6.5.	PROBLEMAS AMBIENTALES	6-71
6.5.1.	Introducción	6-71
6.5.2.	Pasivos Ambientales Mineros	6-71
6.5.3.	Contaminación Recursos Hídricos	6-93

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
6.5.4.	Aire	6-102
6.5.5.	Suelo	6-110
6.5.6.	Requerimientos Hídricos para los Ecosistemas y Servicios Asociados	6-111
6.6.	CONFLICTOS POR EL USO DEL AGUA	6-115
6.6.1.	Introducción	6-115
6.6.2.	Cuenca del Río Loa	6-119
6.6.3.	Cuenca Salar de Atacama	6-127
6.6.4.	Problemáticas Comunes en Ambas Cuencas	6-129
6.7.	CONCLUSIONES	6-130
7.	**DIAGNÓSTICO FUNCIONAL**	**7-1**
7.1.	INTRODUCCIÓN	7-1
7.2.	DESEMPEÑO INSTITUCIONAL	7-1
7.2.1.	Introducción	7-1
7.2.2.	Etapa 1: Nivel Micro y Meso	7-4
7.2.3.	Etapa 2: Nivel Macro	7-26
7.2.4.	Etapa 3: Nivel Combinado	7-47
7.2.5.	Análisis General	7-61
7.3.	MERCADO DEL AGUA	7-63
8.	**DIAGNÓSTICO DE LAS HERRAMIENTAS E INSUMOS PARA LA GESTIÓN HÍDRICA**	**8-1**
8.1.	INTRODUCCIÓN	8-1
8.2.	INFORMACIÓN RECOPILADA	8-1
8.3.	DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE INSUMOS Y HERRAMIENTAS	8-2
8.3.1.	DIAGNÓSTICO DE LOS INSUMOS	8-2
8.3.2.	DIAGNÓSTICO DE LAS HERRAMIENTAS	8-3
9.	**DIAGNÓSTICO DE CONSERVACIÓN DE ACTIVIDADES VALORADAS POR FACTORES NO ECONÓMICOS**	**9-1**
9.1.	INTRODUCCIÓN	9-1
9.2.	FESTIVIDADES INDÍGENAS	9-1
9.2.1.	Generalidades	9-1
9.2.2.	Festividades Atacameñas (LickanAntai)	9-1
9.2.3.	Festividades Aymarás	9-10
9.2.4.	Festividades Quechuas	9-11

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
9.3.	LIMPIA DE CANALES	9-11
9.4.	EL AGUA EN LA COSMOVISIÓN Y RITUALIDAD ANDINA	9-13
10.	**VOCACIÓN PRODUCTIVA REGIÓN DE ANTOFAGASTA**	**10-1**
10.1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	10-1
10.2.	RESULTADOS HIDRO -ECONÓMICOS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA	10-2
10.2.1.	Introducción	10-2
10.2.2.	Población y Empleo	10-2
10.2.3.	Exportaciones y Estructura Productiva	10-3
10.3.	BASES CONCEPTUALES	10-3
10.4.	RESULTADOS DETALLADOS	10-4
11.	**INTRODUCCION Y OBJETIVOS**	**11-1**
11.	PARTICIPACIÓN CIUDADANA	11-1
11.1.	INTRODUCCIÓN	11-1
11.2.	OBJETIVOS COMPONENTE PARTICIPACIÓN CIUDADANA	11-1
11.2.1.	Objetivo General	11-1
11.2.2.	Objetivos Específicos	11-2
11.3.	METODOLOGÍA	11-2
11.3.1.	Introducción	11-2
11.3.2.	Fuentes de Recolección de Información	11-2
11.4.	ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES	11-3
11.4.1.	Análisis de Resultados	11-3
11.5.	RECOMENDACIONES	11-8
11.5.1.	Recomendaciones Generales	11-8
11.5.2.	Recomendaciones en Torno a la Aplicación del Convenio 169 de la OIT	11-9
12.	**EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA (EAE)**	**12-1**
12.1.	INTRODUCCIÓN	12-1
12.2.	ASPECTOS GENERALES SOBRE LA EAE	12-1
12.2.1.	¿Qué es la EAE?	12-1
12.2.2.	La Dimensión Ambiental Estratégica de los Planes	12-2
12.2.3.	Enfoque EAE de la Guía del Ministerio del Medio Ambiente	12-2
12.2.4.	Metodología y Fases de la EAE	12-2
12.3.	ALCANCE EAE DE LA PRESENTE CONSULTORÍA	12-5

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
12.4.	INFORME DE EAE PRELIMINAR	12-5
12.4.1.	Generalidades	12-5
12.4.2.	Justificación de la Realización de una EAE	12-5
12.4.3.	Objetivo de la EAE	12-6
12.4.4.	Marco Institucional	12-6
12.4.5.	Matriz de Actores Involucrados	12-9
12.4.6.	Criterios Preliminares de Desarrollo Sustentable	12-10
12.4.7.	Objetivos Ambientales Preliminares	12-12
12.5.	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL ESTRATÉGICO	12-14
12.5.1.	Problemas Ambientales	12-14
12.5.2.	Identificación Temas Claves	12-18
12.5.3.	Identificación de Dinámicas Ambientales	12-20
12.5.4.	Objetivos Ambientales Definitivos Propuestos	12-22
13.	**RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DEL TERRITORIO**	**13-1**
13.1.	INTRODUCCIÓN	13-1
13.2.	CARTOGRAFÍA BASE	13-1
13.3.	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA EXISTENTE	13-1
13.4.	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA RESULTANTE DE ESTE ESTUDIO	13-2
14.	**IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS Y NECESIDADES**	**14-1**
14.1.	INTRODUCCIÓN	14-1
14.2.	BRECHAS	14-1
14.2.1.	Introducción	14-1
14.2.2.	Brechas Legales	14-2
14.2.3.	Brechas Político-Institucionales (Estado)	14-3
14.2.4.	Brechas Organizacionales (Comunidad y Sector Privado)	14-3
14.2.5.	Brechas de Comunicación y en el Acceso a la Información	14-4
14.2.6.	Brechas en los Procesos de Participación	14-5
14.2.7.	Brechas de Investigación	14-5
14.2.8.	Brechas de Infraestructura	14-5
14.3.	NECESIDADES	14-6
14.3.1.	Generalidades	14-6
14.3.2.	Necesidades Legales	14-6

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE

Acápite	Descripción	Pág.
14.3.3.	Necesidades Político-Institucionales (Estado)	14-7
14.3.4.	Necesidades Organizacionales (Comunidad Y Sector Privado)	14-8
14.3.5.	Necesidades de Comunicación y Acceso a Información	14-9
14.3.6.	Necesidades en los Procesos de Participación	14-10
14.3.7.	Necesidades de Investigación	14-10
14.3.8.	Necesidades de Infraestructura	14-12
14.4	ANÁLISIS GENERAL	14-12
15.	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	**15-1**
15.1.	INTRODUCCIÓN	15-1
15.2.	CONCLUSIONES	15-1
15.3.	CONCLUSIONES DEL PROCESO DE VOCACIÓN PRODUCTIVA	15-4
15.4.	RECOMENDACIONES PARA LAS SIGUIENTES ETAPAS DEL PLAN ESTRATÉGICO	15-5
15.4.1.	MARCO DE ANÁLISIS	15-5
15.4.2.	PROCESO DE DISEÑO DEL PLAN	15-7

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
1.3-1	Ubicación Región de Antofagasta en Contexto Nacional	1-3
1.3-2	Cuencas Región de Antofagasta	1-5
2.4-1	Proyectos en el Banco Integrado de Proyectos	2-23
2.7.3-1	Fotografías de Reuniones con Actores Regionales Públicos	2-28
3.1-1	Cuencas Área de Estudio	3-3
3.2.2.2-1	Estaciones Meteorológicas Seleccionadas	3-9
3.2.2.2-2	Curvas de Duración: Precipitación Anual en las Estaciones Que Pasan el Test X^2	3-19
3.2.2.3-1	Red de Medición Fluviometría Seleccionada	3-25
3.2.2.3-2	Serie Temporal de Caudales Medios Anuales en las 12 estaciones Fluviométricas	3-31
3.2.2.3-3	Promedio en 47 Años de la Serie Temporal de Caudales Medios Mensuales en 8 estaciones Fluviométricas	3-33
3.2.2.3-4	Promedio en 47 Años de la Serie Temporal de Caudales Medios Mensuales en 4 Estaciones Fluviométricas	3-35
3.2.3.1-1	Zonas de Acuíferos	3-39
3.3.2.2-1	Zonas de Concesión Urbana y Sistemas de APR	3-53
3.3.3.4-1	Zonas Agrícolas	3-75
3.3.4.1-1	Distribución Porcentual de Capacidad de Generación Por Sistema 2009	3-80
3.3.4.1-2	Capacidad Instalada en el SING Por Combustible	3-79
3.3.4.2-1	Diagrama del SING, con Incorporación de Taltal (SIC)	3-84
3.3.4.2-2	Combustible Utilizado Por Termoeléctricas Regionales Según Potencia Bruta Instalada	3-85
3.3.5.1-1	Instalaciones Mineras, Región de Antofagasta	3-97
3.3.5.1-2	Evolución de la Tasa Unitaria de Consumo de Agua en el Sector Minero	3-102
3.3.6.1-1	PIB Regional y Su Participación en el PIB Nacional	3-109
3.3.7.3-1	Número de Turistas A Establecimientos de Alojamiento Turístico, Región de Antofagasta	3-118
3.4.2.1-1	Ubicación General Cuencas Analizadas	3-127
3.4.2.2-1	Series Temporales de Precipitación Total Anual del Período Disponible con Curvas Promedio y Tendencia	3-130
3.4.2.2-2	Correlación Entre P 1987 y P Actual	3-131

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
3.4.2.3-1	Temperaturas Medias Anuales 1987 (Isotermas)	3-132
3.4.2.3-2	Temperaturas Medias Anuales Atlas Bioclimático	3-133
3.4.2.3-3	Comparación Temperaturas Medias Anuales (mm)	3-134
3.4.3.2-1	Cuencas Según Recta de Gradiente Asignada	3-138
3.4.3.2-2	Gradiente Térmico Empleado	3-140
3.4.4.1-1	Esquema del Sistema Hídrico Salar de Atacama	3-145
3.4.5.1-1	Manto de Precipitaciones Medias Anuales	3-149
4.3.4.1-1	Cauces y Códigos Segmentos Cuenca Río loa	4-6
4.3.4.2-1	Red de Medición de Calidad de Agua Seleccionada Para la Cuenca del Río Loa	4-13
4.3.4.2-2	Relación Distancia – Calidad Parámetro PH	4-16
4.3.4.2-3	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro pH	4-17
4.3.4.2-4	Relación Distancia – Calidad Parámetro Conductividad Eléctrica	4-18
4.3.4.2-5	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro Conductividad Eléctrica	4-19
4.3.4.2-6	Relación Distancia – Calidad Parámetro Arsénico	4-20
4.3.4.2-7	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro Arsénico	4-20
4.3.4.2-8	Relación Distancia – Calidad Parámetro Boro	4-21
4.3.4.2-9	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro Boro	4-22
4.3.4.2-10	Relación Distancia – Calidad Parámetro Cloruro	4-23
4.3.4.2-11	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro Cloruro	4-23
4.3.4.2-12	Relación Distancia – Calidad Parámetro Cobre	4-24
4.3.4.2-13	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro Cloruro	4-24
4.3.4.2-14	Relación Distancia – Calidad Parámetro Mercurio	4-25
4.3.4.2-15	Relación Distancia – Calidad Parámetro Sulfatos	4-26
4.3.4.2-16	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Parámetro Sulfatos	4-28
4.3.4.2-17	Perfil Longitudinal Calidad de Agua – Estacional Oxígeno Disueltos	4-29
4.3.5.1-1	Cauces y Códigos Segmentos Cuenca Salar de Atacama	4-34
4.3.5.2-1	Red de Medición de Calidad de Agua Seleccionada Para la Cuenca del Salar de Atacama	4-39

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
4.4.1.2-1	Distribución de los Parámetros Físico-Químicos de Aguas Subterráneas y Superficiales en Conjunto	4-45
4.4.1.2-2	Distribución de los Elementos Mayoritarios de Aguas Subterráneas y Superficiales en Conjunto	4-47
4.4.1.2-3	Distribución de los Elementos Minoritarios en Aguas Subterráneas y Superficiales en Conjunto	4-48
4.4.1.3-1	Distribución de los Parámetros Físico-Químicos en Aguas Subterráneas	4-49
4.4.1.3-2	Distribución de los Elementos Mayoritarios de Aguas Subterráneas	4-50
4.4.1.3-3	Distribución de los Elementos Minoritarios en Aguas Subterráneas	4-51
4.4.2.2-1	Índice de Calidad General Para el Sector Acuífero el Loa	4-53
4.4.3-1	Cuencas Cerradas de la Región de Antofagasta	4-55
4.6-1	Fuentes Emisoras Sobre Aguas Superficiales o Subterráneas	4-67
5.2.2-1	Infraestructura de Riego	5-7
5.2.3-1	Red de Control de Aguas Subterráneas	5-27
5.2.3-2	Red de Control de Calidad de Aguas Superficiales	5-29
5.2.3-3	Red de Medición de Pluviometría	5-31
5.2.3-4	Red de Control Fluviométrico	5-33
5.2.5-1	Mapa Localización de las Obras Construidas en la Quebrada Carmen y Foto desde la Desembocadura del Salar El Carmen	5-59
5.2.5-2	Mapa Localización de las Obras Construidas en la Quebrada la Cadena y Fotos de las Piscinas Disipadoras Con Vista Este (Inferior Izquierda) y Oeste (Inferior Derecha)	5-60
5.2.5-3	Mapa Localización de las Obras Construidas en la Quebrada que Desemboca en Taltal y Fotos de las Piscinas Disipadoras	5-61
5.2.5-4	Localización de las 14 Quebradas Donde se han Hecho Estudios a Nivel de Diseño Para la Construcción de Obras de Disipación de Energía	5-68
5.3.3.2-1	Fotografías Aluvión 1991	5-91
6.2-1	Proyectos en el Sistema de Evaluación Ambiental con R.C.A. Aprobada	6-3

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
6.3.3.1-1	Ubicación Referencial de Planes de Alerta Temprana en la Región de Antofagasta	6-23
6.4.2-1	Áreas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas	6-49
6.4.2-2	Sitios RAMSAR Ubicados en la Región	6-51
6.4.3.2-1	Sitios Prioritarios para la Biodiversidad Ubicados en la Región	6-55
6.4.3.2-2	Humedales Existentes en la Región	6-61
6.4.4-1	Vegas y Bofedales Protegidos y Acuíferos Protegidos Asociados en la Región	6-65
6.5.2.8-1	Pasivos Ambientales Mineros	6-91
6.5.3.1-1	Fuentes Potenciales de Contaminación Hídrica	6-95
6.5.4.1-1	Fuentes Potenciales de Contaminación Atmosférica	6-105
6.5.4.5-1	Distribución de Arsénico en una Planta de Fundición	6-109
6.5.4.6-1	Esquema de Formación de Deposiciones Ácidas	6-110
6.5.6-1	Áreas con Caudal Ecológico Asignado en la Región	6-113
6.6.1-1	Zonas con Conflictos por el uso del Agua en la Región	6-117
7.2.1-1	Componentes y Niveles de la Capacidad Institucional	7-2
7.2.1-2	Relación entre la capacidad Institucional y el Diagnóstico	7-3
7.2.2.3-1	Áreas de desarrollo Indígena	7-21
7.2.3.2-1	Funciones Públicas Sobre los Recursos Hídricos	7-40
7.2.3.2-2	Funciones Públicas Sobre los Recursos Hídricos	7-44
7.3-1	Variación de Caudales Transados	7-64
7.3-2	Valor de Mercado del Agua Adoptado	7-65
12.2.4-1	Fases Propuestas de la EAE	12-3
12.2.5-2	Dinámica de Integración de las Fases de la EAE en el Proceso de Diseño del Instrumento y Con el Reglamento de EAE	12-4
12.3-1	Ámbito de Acción de la Presente Consultoría en el Proceso EAE	12-5
12.5.3-1	Dinámicas Ambientales	12-21
15.3.1-1	Triángulo de Moore	15-6

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
1.3-1	Cuencas Región de Antofagasta	1-7
2.2-1	Documentos, Estudios y Otros Considerados Para el Desarrollo del Plan Estratégico	2-2
2.3-1	Estudios de Saneamiento Ambiental Sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	2-9
2.3-2	Proyectos Mineros Sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	2-10
2.4-1	Banco de Proyectos Ministerio de Planificación Sector Silvoagropecuario	2-15
2.4-2	Banco de Proyectos Ministerio de Planificación Sector Agua Potable	2-17
2.5.1-1	Información SIG	2-25
2.7.3-1	Resumen Reuniones con Actores Regionales Públicos y Privados	2-28
3.2.2.2-1	Estaciones meteorológicas en la Región de Antofagasta	3-6
3.2.2.2-2	Información Meteorológica Disponible	3-11
3.2.2.2-3	Estaciones Meteorológicas Seleccionadas Para el Análisis	3-15
3.2.2.2-4	Precipitación Promedio Anual Estaciones Seleccionadas (mm)	3-16
3.2.2.3-1	Estaciones Fluviométricas Con Información Disponible en la Región de Antofagasta	3-20
3.2.2.3-2	Estaciones Fluviométricas Seleccionadas	3-22
3.2.2.3-3	Información Fluviométrica Disponible	3-23
3.2.2.3-4	Resumen de Caudales Medio Anuales Y Valores Medios de Los Últimos 30 Años (m^3/s)	3-27
3.2.3.3-1	Unidades Hidrogeológicas	3-42
3.2.3.4-1	Cuadro Resumen Características Principales Acuíferos Sedimentarios Región de Antofagasta	3-43
3.2.3.4-2	Cuadro Resumen Características Principales Acuíferos de Salares Región de Antofagasta	3-45
3.2.3.4-3	Cuadro Resumen Características Principales Otros Acuíferos	3-47
3.3.2.2-1	Clasificación de la Cantidad de Clientes Abastecidos Por Tipo de Inmueble y Tipo de Servicio el 2011	3-52
3.3.2.2-2	Coberturas en Número de Inmuebles, Población Y Porcentajes en l s 5 Localidades Más Importantes	3-55
3.3.2.2-3	Detalle de Facturación Mensual Para Aguas Antofagasta en Volumen de Agua (Año 2011)	3-55

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
3.3.2.3-1	Detalle de Los Servicios de Agua Potable Rural Operativos Al Año 2011 en la Región de Antofagasta	3-56
3.3.2.4-1	Catastro de las Captaciones de Agua en el Año 2011 en el Sistema Norte de la Región de Antofagasta	3-57
3.3.2.4-2	Catastro de las Captaciones de Agua en el Año 2011 en el Sistema Sur de la Región de Antofagasta	3-58
3.3.2.4-3	Proyección de Producción de Agua Potable (L/s)	3-58
3.3.2.4-4	Consumo Histórico y Proyecciones a 20 Años (hm^3)	3-59
3.3.3.2-1	Sectores de riego	3-61
3.3.3.3-1	Superficie Regada Por Grupo de Cultivo y Comuna (ha)	3-63
3.3.3.3-2	Superficie Regada Por Rubro y Comuna (ha)	3-65
3.3.3.4-1	Demanda Hídrica Anual Por Comuna (m^3)	3-72
3.3.3.4-2	Demanda Hídrica Anual Por Cuenca Hidrográfica (m^3)	3-73
3.3.3.5-1	Superficie Agrícola Proyectada Por Comuna (ha)	3-78
3.3.3.5-2	Superficie Agrícola Proyectada Por cuenca (ha)	3-78
3.3.3.5-3	Demanda Hídrica Agrícola Proyectada Por Comuna (m^3/año)	3-79
3.3.3.5-4	Demanda Hídrica Agrícola Proyectada Por cuenca (m^3/año)	3-79
3.3.4.2-1	Centrales de Generación Eléctrica, Región de Antofagasta	3-83
3.3.4.2-2	Estudios de Generación Eléctrica Regionales del SING Sometidos Al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	3-86
3.3.4.2-3	Fuente de Utilización de Agua de las Centrales del SING y SIC, Región de Antofagasta	3-87
3.3.4.2-4	Estudios de Generación Eléctrica Regionales Sometidos Al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental No Presentes en el SING	3-88
3.3.4.2-5	Caudal Utilizado Por Termoeléctricas de la Región de Antofagasta Según Estudio DGA (2007)	3-89
3.3.5.1-1	Producción Metálica Nacional y Regional	3-93
3.3.5.1-2	Producción No Metálica Nacional y Regional	3-94
3.3.5.1-3	Principales Empresas Mineras Con Operaciones en la Región	3-94
3.3.5.1-4	Empresas Mineras de Relevancia Según Su Producción de Mineral Cobre	3-99
3.3.5.1-5	Tasa Unitaria de Consumo de Agua Por Empresa Minera Analizada en la Región de Antofagasta	3-101
3.3.5.1-6	Estimación de Consumo de Agua en la Minería Considerando las Tasas de Consumo Unitario y Su Actual Producción Al Año 2011	3-103

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
3.3.5.1-7	Consumo de Agua en la Minería en Los Años 2009, 2010, 2011	3-105
3.3.5.1-8	Asignación de Consumos de Agua Por Cuencas Hidrográficas, Región de Antofagasta	3-106
3.3.5.1-9	Consumos de Agua de la Minería Por cuenca Hidrográfica, Región de Antofagasta	3-106
3.3.5.2-1	Estimación de la Demanda de Agua de la Minería 2012-2032	3-108
3.3.6.1-1	PIB Por Actividad Económica Regional y Participación Nacional de la Región de Antofagasta	3-110
3.3.6.1-2	Número de Empresas en la Región de Antofagasta Por Tipo de Actividad Económica y sus Variaciones en el Período 2005 - 2010	3-111
3.3.6.1-3	Número de Industrias Por Comuna	3-112
3.3.6.2-1	Caudal Actual Asignado Según Tipo de Actividad Industrial	3-113
3.3.6.2-2	Demanda Actual Estimada Con Base en Derechos Consuntivos	3-113
3.3.7.2-1	Vegas y Bofedales	3-116
3.3.7.3-1	Derechos Concedidos	3-119
3.3.8.2-1	Derechos Concedidos	3-121
3.3.8.2-2	Derechos Concedidos, No Consuntivos	3-123
3.3.8.3-1	Caudales Ecológicos Utilizados en el Estudio DGA (2005) Para Cada Tramo Analizado en la Cuenca del Río Loa	3-125
3.4.2.1-1	Cuencas región de Antofagasta	3-126
3.4.2.1-2	Períodos de Análisis y Fuentes de Información	3-127
3.4.2.2-1	Precipitaciones Medias Anuales Antiguas y Actuales	3-128
3.4.2.3-1	Comparación Temperaturas Medias Anuales (°C)	3-134
3.4.3.2-1	Datos de Precipitación Empleados en Estimación de Oferta Hídrica	3-137
3.4.3.2-2	Datos de Temperatura Utilizados	3-139
3.4.3.2-3	Escorrentía Total (Oferta Hídrica) Cuenca del Loa (m^3/s)	3-140
3.4.3.2-4	Comparación Entre Superficies Empleadas	3-141
3.4.3.3-1	Balance Oferta-Demanda Cuenca Río Loa	3-142
3.4.5.1-1	Estimación Escorrentía Total de Largo Plazo en Cuencas Altiplánicas	3-150
4.3.2-1	Límites Máximos Admisibles en Parámetros de Calidad del Agua	4-2
4.3.4.1-1	Antecedentes de Población en la Cuenca del Río Loa	4-7
4.3.4.2-1	Valores Promedio, Mínimos, Máximos y Desviación Estándar Parámetros en Estaciones de Calidad de Aguas Cuenca del Río Loa	4-9
4.3.4.2-2	Distancia de Cada Estación A la Estación Principal	4-16

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
4.3.4.3-1	Estaciones de Calidad Agua Potable	4-31
4.3.5.2-1	Valores Parámetros de Calidad en Estaciones de Calidad de Aguas	4-37
4.4.1.2-1	Distribución de Los Elementos Mayoritarios de aguas Subterráneas y Superficiales en Conjunto	4-46
4.4.1.3-1	Distribución de Los Elementos Mayoritarios en Aguas Subterráneas	4-50
4.4.2.2-1	Origen Principal de Parámetros en Sector Acuífero el Loa	4-54
4.4.3-1	Caracterización de la Calidad de las Aguas en Cuencas Cerradas de la Región de Antofagasta	4-56
4.5-1	Contenido Catastro RCA Con Monitoreo de Calidad de Agua	4-60
4.5.1-1	Planes de Alerta Temprana en la Región de Antofagasta	4-63
4.6.1-1	Límites Máximos Permitidos Para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Aguas Fluviales	4-69
4.6.2-1	Concentraciones de Calidad de Aguas de Relave	4-71
4.6.2-2	Caracterización Físico Química de las Aguas de Relave	4-71
5.2.1-1	Infraestructura de Producción	5-2
5.2.2-1	Canales por Sectores de Riego en la Región	5-3
5.2.2-2	Detalle Canales por Sectores de Riego en la Región	5-4
5.2.2-3	Infraestructura de Regulación en la Región de Antofagasta	5-5
5.2.2-4	Infraestructura Financiada por la Ley 18.450	5-9
5.2.3-1	Cantidad de Estaciones Vigentes Redes de Control	5-25
5.2.3-2	Densidad Mínima de Estaciones (km²/#)	5-35
5.2.3-3	Caracterización de Estaciones Redes de Control	5-36
5.2.3-4	Caracterización Información Meteorológica Disponible	5-37
5.2.3-5	Caracterización Información Fluviométrica Disponible	5-41
5.2.3-6	Caracterización Información Calidad de Aguas Superficiales Disponible	5-43
5.2.3-7	Caracterización Información Niveles de Aguas Subterráneas Disponible	5-47
5.2.4-1	Catastro Tranques de Relaves	5-53
5.2.5-1	Algunos Estudios de la DOH Sobre Obras de Control Aluvional	5-56
5.2.5-2	Informes de Control Aluvional en el SEIA	5-57
5.2.5-3	Soluciones Propuestas	5-63
5.2.5-4	Costos de Inversión de las Soluciones de Aguas Lluvias	5-64
5.2.5-5	Sectores Críticos del Río Loa (SCL)	5-64
5.2.5-6	Propuestas de Solución A Los Problemas de desborde del Río	5-65

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
5.2.5-7	Priorización de las Soluciones A Los Problemas del Río	5-66
5.3.2-1	Estadísticas de Caudales Instantáneos Diarios Máximos (m^3/s)	5-71
5.3.2-2	Estadísticas de Caudales Instantáneos Diarios Máximos (m^3/s)	5-73
5.3.3.1-1	Resumen Eventos Extremos Región de Antofagasta	5-77
5.3.3.1-2	Recopilación de las Noticias de Los Últimos Eventos Extremos en la Zona	5-87
5.3.3.2-1	Comparación de la Precipitación de Junio 1991 Con el Promedio Climático	5-92
5.3.4-1	Estaciones Fluviométricas Seleccionadas Para el Monitoreo de Eventos Extremos	5-94
5.3.4-2	Caudales de Crecidas determinados (m^3/s)	5-95
5.3.5-1	Ajuste de Frecuencia en Periodo Anual	5-97
5.3.5-2	Extracciones de Agua Para 2 de Los Usos (L/s)	5-98
6.2-1	Proyectos en la Región de Antofagasta Con Monitoreos A Fiscalizar Por la DGA Y Con RCA Aprobada	6-5
6.2-2	Proyectos Con Seguimiento Y Fiscalización en la Región de Antofagasta	6-14
6.2-3	Proyectos Con RCA Aprobada Por Sector Productivo	6-14
6.2-4	Proyectos Con Procesos Sancionatorios Que Afectan A Solo Los Recursos Hídricos	6-17
6.2-5	Sanciones Vinculadas A Los Recursos Hídricos, en la Región de Antofagasta	6-19
6.2-6	Otros Procesos Sancionatorios, en el Marco del SEIA, en la Región de Antofagasta	6-19
6.3.3.1-1	Planes de Alerta Temprana en la Región de Antofagasta	6-22
6.3.3.2-1	Pat Acuífero Calama	6-26
6.3.3.3-1	Pat Acuífero Pampa Puno	6-29
6.3.3.4-1	Pat Acuífero Monturaqui - Negrillar –Tilopozo	6-32
6.3.3.5-1	Pat Acuífero de Elvira	6-34
6.3.3.6-1	Pat Acuífero Los Morros	6-36
6.3.3.7-1	Pat Acuífero Salar de Ollagüe	6-38
6.3.4.3-1	Volúmenes de Extracción Reales Y Estimados Acuífero Monturaqui – Negrillar – Tilopozo	6-43
6.3.4.3-2	Discrepancia Entre Volúmenes Estimados Y Extraídos Acuífero Monturaqui – Negrillar – Tilopozo	6-43

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
6.4.1-1	Categorías de Manejo Para la Conservación	6-46
6.4.2-1	Áreas Bajo Protección Oficial en la Región de Antofagasta.	6-48
6.4.3.2-1	Sitios Prioritarios Definidos en la Estrategia Regional de Biodiversidad	6-54
6.4.3.2-2	Sitios Priorizados Para la Región de Antofagasta y Su Estado Actual	6-57
6.4.5-1	Clasificación y Funciones de Los Servicios Ambientales.	6-68
6.4.5-2	Valor Por Hectárea Por Año de Los Servicios Ecosistémicos	6-70
6.5.2-8-1	Resumen formulario E400	6-75
6.5.2.8-1	Pasivos Ambientales Mineros en la Región de Antofagasta.	6-77
6.5.2.8-2	Puntaje Asignado a Distintos Grados de Probabilidad de Ocurrencia de Un Suceso	6-87
6.5.2.8-3	Puntaje Asignado a Distintos Grados de Influencia de Un Suceso (Consecuencias)	6-87
6.5.2.8-4	Puntaje Asignado a Distintos Niveles de Riesgo	6-87
6.5.2.8-5	Pasivos Ambientales Mineros en la Región de Antofagasta	6-88
6.5.3.2-1	Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas de la Región de Antofagasta	6-97
6.5.3.2-2	Límites Máximos Permitidos Para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales (DS 90/00-Tabla Nº1) Aplicable a la PTAS de Calama	6-98
6.5.3.4-1	Residuos Mineros y Metalúrgicos	6-100
6.5.3.4-2	Resumen Depósitos de Relave, Región de Antofagasta	6-102
7.2.2.2-1	Tipología	7-4
7.2.2.2-2	Instituciones Públicas de interés	7-5
7.2.2.2-3	Invitados por Reunión y Tipo de Invitado	7-7
7.2.2.2-4	Invitados por Reunión y Tipo de Invitado	7-7
7.2.2.3-1	Organizaciones de Usuarios de Agua Vigentes al Año 2012	7-14
7.2.2.3-2	Principales Empresas Mineras con Operación en la Región	7-17
7.2.2.3-3	Organizaciones de Regantes y Agricultores	7-19
7.2.2.3-4	Organizaciones Indígenas de la Región de Antofagasta	7-22
7.2.2.3-5	Detalle de los Servicios de Agua Potable Rural Operativos al Año 2011 en la Región de Antofagasta	7-24
7.2.2.3-6	Comités de Agua Potable que No se Registran en Estudios	7-25

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
8.2-1	Principales Insumos Utilizados	8-1
8.2-2	Herramientas Identificadas	8-2
8.3.1-1	Análisis de la Calidad de la Información	8-2
9.2.2-1	Fiestas Religiosas Atacameñas de las Localidades de Alto el Loa	9-3
9.2.2-2	Fiestas Atacameñas de las Localidades de la Cuenca del Salar de Atacama	9-11
11.3.2.2-1	Actividades Levantamiento de Información Primaria	11-3
12.4.4-1	Marco Institucional Internacional	12-6
12.4.4-2	Marco Institucional Nacional	12-7
12.4.4-3	Marco Institucional Regional	12-8
12.4.5-1	Tipología de Actores	12-9
12.4.5-2	Invitados Por Reunión y Tipo de Invitado	12-10
12.4.6-1	Criterios de Sustentabilidad	12-11
13.2-1	Cartografía Base	13-1
13.3-1	Cartografía Temática Existente	13-2
13.4-1	Cartografía Temática Resultante de este Estudio	13-3
14.3.2-1	Cuadro de Necesidades Legales y Brechas que Aborda	14-7
14.3.3-1	Cuadro de Necesidades Político – Institucionales y Brechas que Aborda	14-8
14.3.4-1	Cuadro de Necesidades Organizacionales y Brechas que Aborda	14-9
14.3.5-1	Cuadro de Necesidades de Comunicación y Brechas que Aborda	14-9
14.3.7-1	Cuadro de Necesidades de Investigación y Brechas que Aborda	14-11
14.3.8-1	Cuadro de Necesidades de Infraestructura y Brechas que Aborda	14-12
14.4-1	Tabla Resumen de Brechas y Necesidades	14-13

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
ANEXOS

Figura	Descripción	Tipo
2-1	Fichas Bibliográficas	Digital
3-1	Pluviometría	Mixto
	Descripción Metodología	Impreso
	Precipitación Datos & Resumen	Digital
	Precipitación Relleno & Estadísticos	Digital
	Precipitación CDA	Digital
	Estaciones con Problemas	Digital
3-2	Fluviometría	
	Caudales Datos & Resumen	Digital
3-3	Demandas Agua Potable	Digital
3-4	Demandas Agrícola	Digital
3-5	Demandas Mineras	Digital
3-6	Demandas Industriales	Digital
3-7	Demandas Uso Paisajístico, Turístico y Recreacional	Impreso
3-8	Balance Hídrico	Digital
	Cálculo oferta Cuencas Altiplánicas	Digital
	Cálculos Balance Loa	Digital
	Comparación BHN_1987	Digital
	Correlación PP 1987-PP Actual	Digital
	Series Temporales de Precipitación	Impreso
4-1	Caracterización Calidad Río Loa	Impreso
4-2	Datos Analizados Estaciones Calidad Río Loa	Mixto
4-3	Datos Analizados Estaciones Agua Potable	Digital
4-4	Caracterización Calidad Salar de Atacama	Impreso
4-5	Datos Analizados Estaciones Calidad Salar de Atacama	Impreso
4-6	Datos Calidad Aguas en RCAs	Digital
5-1	Registro Est. Control de Crecidas	Digital
6-1	Listado de RCA Analizadas	Digital
6-2	Planes de Alerta Temprana	Digital
6-3	Listado de vegas protegidas por resoluciones DGA 909_96 y 529_2003	Impreso
6-4	Catastro Pasivos Ambientales Mineros, Región de Antofagasta	Digital

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

ÍNDICE
ANEXOS

Figura	Descripción	Tipo
6-5	Cumplimiento DS 90 tabla 1 PTAS Calama 2002-2012	Digital
6-6	Fuentes Potenciales de Contaminación de Recursos Hídricos	Digital
6-7	Fuentes Potenciales de Contaminación Atmosférica	Digital
7-1	Otras Instituciones de Interés	
10-1	Vocación Productiva Regional	Mixto
11-1	Participación Ciudadana	Mixto

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se desarrolla por encargo de la DGA, según resolución DGA 1.669 del 12 de Junio de 2012.

La visión del Consultor para llevar a cabo el trabajo solicitado se enmarca en la idea que, como otros sistemas conformados por un componente físico natural que admite múltiples interacciones antrópicas, los problemas y conflictos vinculados al uso social del recurso hídrico, en particular en una región con una notoria estrechez de disponibilidad de agua, pueden llegar a ser de gran complejidad. Este hecho lleva al Consultor a sugerir dos criterios importantes que pueden ayudar a abordar los componentes solicitados para realizar un diagnóstico que resulte un instrumento eficaz para el diseño de un plan estratégico de los recursos hídricos regionales:

- Establecer, en concordancia con los TR del estudio, las potencialidades del recurso hídrico en la región, y determinar los factores que inciden en el corto, mediano y largo plazo en el uso social del agua, identificando al mismo tiempo los problemas y conflictos actuales o potenciales que inciden en ese aprovechamiento.

- El segundo de los criterios adoptados tiene relación con lograr alcanzar el objetivo principal de un Plan Estratégico, cual es contribuir a la maximización de la función económica, social y ambiental (de corto, mediano y largo plazo) del agua. Ante el surgimiento de conflictos, debilidades, carencias, o problemas para alcanzar metas de desarrollo de los recursos hídricos, se pueden concebir muchas soluciones alternativas así como combinaciones sinérgicas de ellas.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1. Objetivo General

Tal como se establece en los TR, el objetivo central del estudio es elaborar el diagnóstico del Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos para la Región de Antofagasta. Se indica además que *"el Plan Estratégico es un instrumento de planificación indicativa que, considerando los efectos agregados de las diversas intervenciones locales, contribuye 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 permita la sustentabilidad dentro de una visión de corto y largo plazo, dotando a los actores de las herramientas y capacidades para abordar los desafíos que esto impone"*.

Este objetivo central se desglosa en un grupo de objetivos específicos tendientes, en lo fundamental, a conocer la realidad del recurso hídrico en una región caracterizada por una baja disponibilidad de agua y desajustes notorios entre oferta y

demanda del recurso. De igual modo, estos objetivos específicos deben permitir la identificación de los factores que limitan desde la perspectiva del recurso hídrico el desarrollo productivo regional; así como los factores relevantes que afectan el patrimonio ambiental o social regional.

1.2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos para el desarrollo del estudio son:

- Hacer un diagnóstico respecto del conocimiento del recurso hídrico, del uso del agua y del estado de las fuentes, a través de una revisión, actualización y sistematización de la información existente.

- Elaborar un diagnóstico de los aspectos de cantidad y calidad del recurso hídrico, incluyendo diagnóstico de la infraestructura y servicios relacionados; como también en materia ambiental y funcional respecto del desempeño institucional (público y privado) en materia de gestión en escenarios medios y en condiciones extremas (sequías o inundaciones).

- Identificar los factores más relevantes que limitan, desde la perspectiva del recurso hídrico, el desarrollo productivo regional.

- Identificar los factores más relevantes que afectan el patrimonio ambiental o social dentro del territorio regional.

- Identificar las capacidades y brechas institucionales, públicas y privadas, relacionadas con la gestión y manejo del recurso hídrico

- Identificar y levantar las necesidades existentes relacionadas con el recurso hídrico.

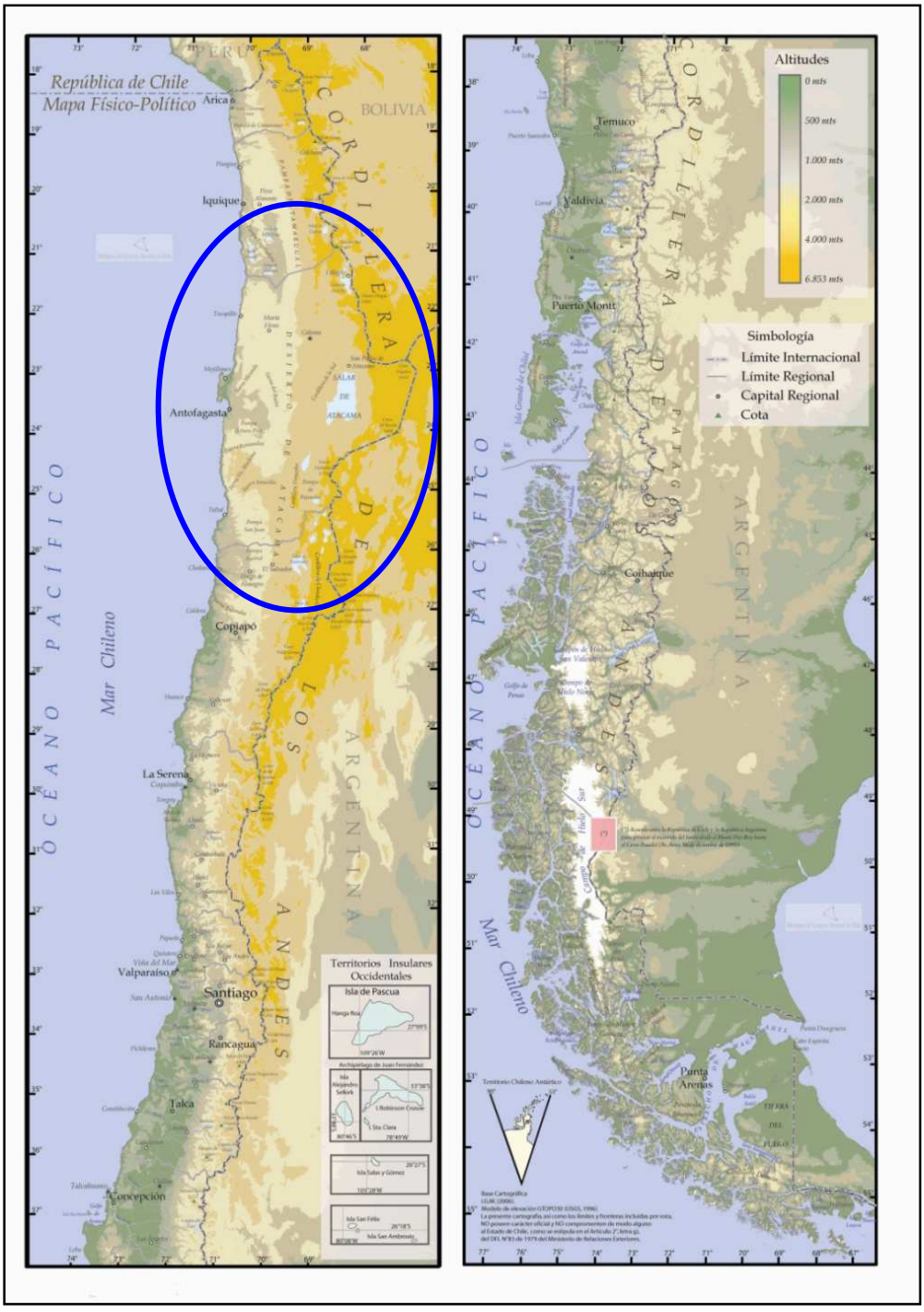
- Identificar las acciones, proyectos y programas en ejecución, aprobados para implementar y considerados para el corto y mediano plazo, de entidades públicas y privadas.

1.3. ÁREA DE INFLUENCIA

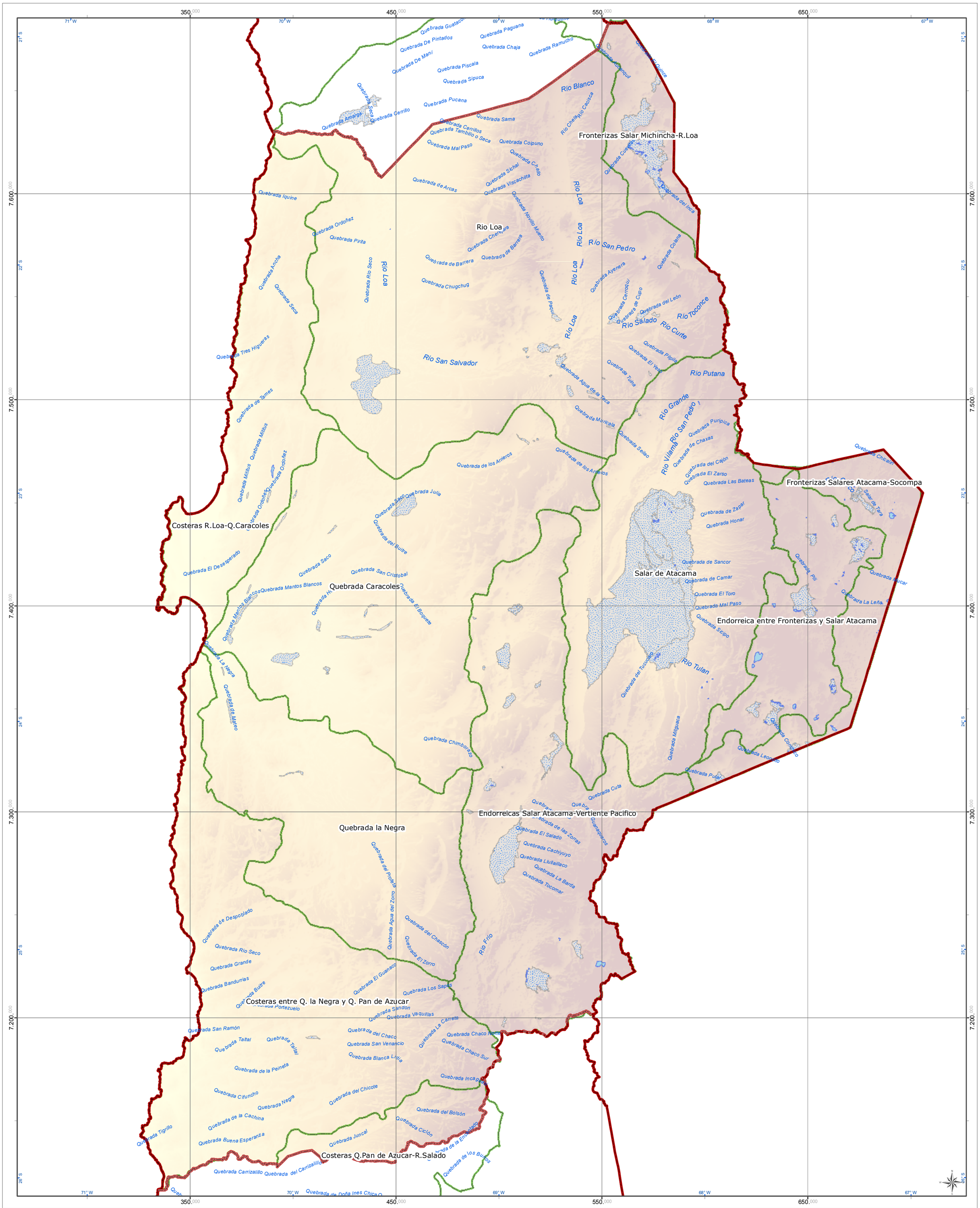
El estudio abarca la Región completa, tal como se muestra en la Figura 1.3-1, en la que se observa la ubicación de la región en el contexto nacional. Posteriormente se muestra en la Figura 1.3-2 la distribución de las cuencas principales así como las cuencas costeras y endorreicas, priorizando las siguientes cuencas principales: cuencas altiplánicas (Pampa Colorada, Alta Puna, Ollagüe y Ascotán), Cuenca Salar de Atacama, Cuenca del Río Loa.

La región de Antofagasta se localiza aproximadamente entre las latitudes 21º y 26º Sur y entre 71 y 67º Oeste, con la distancia más grande a nivel nacional entre frontera y océano, justo en 23º sur, aproximadamente de 340 km desde la costa al límite con Argentina.

FIGURA 1.3-1
UBICACIÓN REGIÓN DE ANTOFAGASTA EN CONTEXTO NACIONAL



Fuente: http://www.bcn.cl/siit/images/chile_fisico.jpg/image_view_fullscreen



LEYENDA

Nombre Cuenca	Código D.G.A.
Rio Loa	021
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	020
Costeras R.Loa-Q.Caracoles	022
Salar de Atacama	025
Quebrada Caracoles	027
Fronterizas Salares Atacama-Socompa	023
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	024
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	026
Quebrada la Negra	028
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar	029
Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado	031

SIMBOLOGÍA

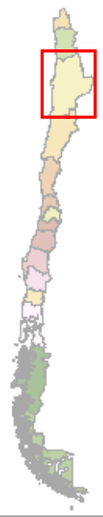
- Límite Regional
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Límite Cuencas

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

CUENCAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 1.3-2

La región se compone por 10 cuencas, tal como se muestra en el Cuadro 1.3-1, donde se destaca la cuenca del río Loa, que es la de mayor contribución de agua, la cuenca del salar de Atacama, y las zonas Alto-Andinas (altiplánicas), que se compone por Pampa Colorada, Alta Puna, Ollagüe y Ascotán.

CUADRO 1.3-1
CUENCAS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Nº	Cuenca
1	Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa
2	Río Loa
3	Costera – Loa – Caracoles
4	Fronteriza – Salares Atacama – Socompa
5	Endorreica – entre Fronterizas y Salar de Atacama
6	Salar de Atacama
7	Endorreica – Salar de Atacama – Vertiente Pacífico
8	Quebrada Caracoles
9	Quebrada La Negra
10	Costera – Quebrada La negra – Quebrada Pan de Azúcar

Fuente: Elaboración propia en base a:
Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA Ltda.-DGA. 1996.
Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras Zona I Norte.
Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.-DGA, 2007

La siguiente información se basa en las estadísticas de medioambiente de la región entregadas por el INE el año 2010.

La región abarca una superficie de 127.221 km^2, y por distribución de tipo de suelo las tres clasificaciones más importantes pertenecen al 99,8% del área, donde se tiene que el 85,2% del territorio corresponde a zonas desprovistas de vegetación, un 14,3% son praderas y matorrales y un 0,4% son humedales.

Existen diversas clasificaciones geomorfológicas de la región, dependiendo del detalle que se quiere presentar. A grandes rasgos el territorio se divide en una zona costera; con un característico farellón, que se presenta a lo largo de toda la región. Hacia el interior se presenta la cordillera de la costa, y posteriormente el desierto de Atacama y la cordillera de Domeyko. Luego de esta zona, continuando hacia el este, se presenta una zona prealtiplánica (planicie) acompañada por salares y finalmente el altiplano.

De las tres zonas, la de mayor interés es la cuenca del río Loa, la que tiene el mayor aporte al caudal superficial de la región. El río Loa es el más largo de Chile, con una longitud de 440 km, y un área de aporte de 33.082 km^2. El Loa tiene un caudal medio anual de 0,55 m^3/s en la estación fluviométrica "Río Loa Antes Represa Lequena" localizada en la parte alta (3.315 m.s.n.m.), con un caudal en su desembocadura de 0,3 m^3/s.

La precipitación media anual (calculada por la DMC) en Antofagasta es de 1,7 mm y en Calama de 5,7 mm. En la costa, la precipitación se produce en los meses de

invierno, a diferencia de la parte alta de la región (altiplano), donde la mayor contribución de agua por precipitación es entre diciembre y marzo.

1.4. CONTENIDO DEL INFORME FINAL DEL ESTUDIO

Este informe final del estudio se presenta dividido en 15 capítulos con el siguiente detalle:

Capítulo	Nombre	Descripción
Cap. 1	Introducción y Objetivos	Presenta la introducción al informe , al igual que los objetivos del estudio, y una descripción del área en estudio
Cap. 2	Recopilación y Análisis Crítico de Antecedentes	Presenta la recopilación de antecedentes realizada
Cap. 3	Diagnóstico de Disponibilidad Hídrica	Incluye un completo análisis de la problemática del agua en la región en términos de cantidad. Contiene caracterización de la oferta superficial y subterránea, evaluación de demandas, y determinación del balance hídrico
Cap. 4	Diagnóstico de Calidad Según Fuente y Tipo de Uso	Incluye un completo análisis de la problemática del agua en la región en términos de calidad. El análisis se realiza tanto para la componente superficial como subterránea.
Cap. 5	Diagnóstico de Capacidad y Cobertura de la Infraestructura	Corresponde a un análisis de la infraestructura existente, tanto en términos de cantidad, ubicación funcionamiento, capacidad, y gestión
Cap. 6	Diagnóstico Ambiental	Corresponde a un análisis de los problemas ambientales existentes en la región
Cap. 7	Diagnóstico Funcional	Corresponde al análisis del funcionamiento de las instituciones ligadas directa o indirectamente con la gestión de los recursos hídricos en la región
Cap. 8	Diagnóstico de las Herramientas e Insumos Para la Gestión Hídrica	Corresponde a un análisis de la calidad y capacidad de las herramientas de análisis existentes para la caracterización de los recursos hídricos de la región
Cap. 9	Diagnóstico de Conservación de Actividades Valoradas por Factores No Económicos	Corresponde a la identificación de elementos no cuantificables económicamente, tales como conservación y protección de las etnias, cultura, etc.
Cap. 10	Vocación Productiva Regional	Incluye los principales resultados de este análisis

Capítulo	Nombre	Descripción
Cap. 11	Participación Ciudadana	Se presentan los aspectos metodológicos y principales resultados del trabajo de socialización del estudio
Cap. 12	Evaluación Ambiental Estratégica	Corresponde a los lineamientos para desarrollar la Evaluación Ambiental Estratégica a desarrollar en la etapa de proposición del plan
Cap. 13	Recopilación y Revisión de Información Geográfica como Herramientas de Análisis del Territorio	Corresponde a la representación gráfica de la información mediante el uso de herramientas SIG
Cap. 14	Identificación de Brechas y Necesidades	Corresponde a la identificación de tipos de información faltante, y trabajos específicos que se deben realizar con el fin de complementar y/o completar el trabajo desarrollado
Cap. 15	Conclusiones y Recomendaciones	Corresponde a las recomendaciones y conclusiones que se derivan del trabajo desarrollado

CAPÍTULO 2

RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS CRÍTICO DE ANTECEDENTES

2. RECOPILACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES

2.1. GENERALIDADES

Considerando la gran cantidad de estudios, informes y proyectos existentes para la Región de Antofagasta, se hace necesaria su clasificación y ordenamiento. A continuación se enumeran los que de alguna manera contienen información de utilidad para el desarrollo del presente trabajo, y que en general recogen antecedentes de otros trabajos anteriores.

2.2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

El detalle de los estudios analizados es el siguiente:

- Recursos Hídricos: 23
- Calidad de Aguas: 4
- Ambientales: 5
- Demanda Agrícola: 6
- Demanda Agua Potable: 3
- Demanda Agua Industrial: 3
- Energía: 2
- Estudios Generales: 7
- Oferta Aguas Superficiales: 2
- Paisaje: 2
- Planes, Políticas y Programas: 8
- Demanda Minera: 4

En el Cuadro 2.2-1 se presentan los informes analizados, separados por temas, y en el Anexo 2-1, se presentan las fichas bibliográficas de los estudios.

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Recursos Hídricos				
Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Acuífero del Salar de Atacama.	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	2012	RH-01
Revisión de Proyectos de Control de Extracciones Regiones de Antofagasta y Atacama	DGA	CONIC-BF. Ingenieros Civiles Consultores Ltda.	2011	RH-02
Mejoramiento de la Red Fluviométrica para el Control de Crecidas	DGA	CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda.	2011	RH-03
Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas Seleccionadas	-	División de Estudios y Planificación	2011	RH-04
Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica	DGA	AQUATERRA Ingenieros Ltda.	2011	RH-05
Actualización de la Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para Constituir Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región.	DGA	GCF Ingenieros Limitada	2010	RH-06
Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas Entre el Río Copiapó y la Región de Antofagasta	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	2009	RH-07
Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos	DGA	GEOHIDROLOGÍA Consultores Ltda.	2009	RH-08
Actualización y Complementación de Información de Organizaciones de Usuarios. Informe Final	DGA	AQUATERRA Ingenieros Ltda.	2009	RH-09
Levantamiento de Información Sobre Derechos No Inscritos Susceptibles de Regularizar en las Cuenca del Río Salado y Salar de Atacama, Quilimarí y Pupío y Ligua y Petorca.	DGA	RODHOS Asesorías y Proyectos Limitada.	2008	RH-10

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO
(Continuación)

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Recursos Hídricos				
Determinación de Reservas de Aguas Superficiales de Acuerdo a lo Dispuesto en el Artículo 147 Bis Inciso 3 de la Ley 20.017 de 2005 que Modifica el Código de Aguas. Caudales de reserva para Abastecimiento de la Población y Usos de Interés Nacional.	DGA	AQUATERRA Ingenieros Ltda.	2008	RH-11
Programa de Seguimiento del Control de Extracciones de Agua Subterránea. Regiones de Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. 1° Etapa, Región de Antofagasta.	-	DGA	2007	RH-12
Inventario Público de Extracciones Autorizadas de Agua Superficial Regiones de Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana de Santiago.	DGA	AC Ingenieros Consultores Ltda.	2007	RH-13
Hidrogeología de la II Región y Asesoría para la Revisión de Informes de Evaluación de Recursos Hídricos.	DGA	Ingeniería DICTUC	2005	RH-14
Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Rio Loa	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	2005	RH-15
Informe Técnico Evaluación de los Recursos Hídricos Sectores Calama y Llalqui, Cuenca del Río Loa	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	2003	RH-16
Modelación Hidrogeológica Sector Pampa Llalqui. Cuenca Río Loa, II Región de Antofagasta.	-	Departamento de Estudios y Planificación	2003	RH-17
Informe Técnico N°194	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	2000	RH-18

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO
(Continuación)

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Recursos Hídricos				
Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para Constituir Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región. Minuta Técnica N° 60	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	1999	RH-19
Determinación de la Disponibilidad de Aguas Subterráneas en el Sector de Aguas Blancas, Comuna y Provincia de Antofagasta, II Región. Minuta Técnica N°162	-	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	1999	RH-20
Diagnóstico de Sistemas Alternativos de Disipación de Energía en las Quebradas de Antofagasta.	DOH	ELECTROWATT, Ingenieros Consultores	1995	RH-21
Crecidas Súbitas y Corrientes de Detritos Ocurridas el 18 de Junio de 1991 en Antofagasta	DGA	Universidad De Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Centro de Recursos Hidráulicos	1993	RH-22
Calidad de Aguas				
Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo De Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II y III.	DGA	Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile	2009	CA-01
Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos	DGA	Geohidrología Consultores Ltda.	2009	CA-02
Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad	DGA	Cade-Idepe Consultores en Ingeniería	2003	CA-03
Geoquímica de aguas en cuencas cerradas. Volumen III: Estudio de Cuencas de la II Región	DGA	François Risacher, Hugo Alonso, Carlos Salazar	1999	CA-04

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO
(Continuación)

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Ambientales				
Actualización Delimitación De Acuíferos Alimentadores De Vegas y Bofedales, II Región Informe Final	DGA – CONADI	Departamento de Estudios y Planificación	2004	AM-01
Actualización Delimitación De Acuíferos Alimentadores De Vegas y Bofedales de la Región de Antofagasta.	-	Departamento de Estudios y Planificación	2006	AM-02
Actualización Delimitación de Acuíferos que Alimentan Vegas y Bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta.	-	Departamento de Estudios y Planificación	2003	AM-03
Actualización Delimitación de Acuíferos que Alimentan Vegas y Bofedales, región de Antofagasta	DGA – CONADI	Departamento de Estudios y Planificación	2001	AM-04
Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta.	-	Departamento de Estudios y Planificación	1996	AM-05
Demanda Agrícola				
Catastro de Iniciativas de Embalses y Canales. Informe Final	CNR	Aquaterra Ltda.	2011	AG-01
Informe Anual Agropecuario 2010	-	INE	2010	AG-02
Diagnóstico de Fuentes de Agua No Convencionales en el Regadío Inter – Regional. Informe Final.	CNR	Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción	2010	AG-03
Censo Agropecuario 2007 – Región de Antofagasta	-	Instituto Nacional de Estadísticas	2007	AG-04
Demanda Agrícola				
Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en la II Región. Informe Final.	CNR	AC Ingenieros Consultores LTDA.	2003	AG-05
Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile	DGA	IPLA LTDA.	1996	AG-06
Demanda Agua Potable				
Informe Anual de Coberturas Urbanas y Servicios Sanitarios	-	SISS	2011	AP-01
Informes mensuales de facturación	-	SISS	2011	AP-02

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO
(Continuación)

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Demanda Agua Potable				
Plan Regional de Infraestructura y gestión del recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta	-	MOP	2011	AP-03
Demanda Industrial				
Cuentas Nacionales de Chile 2008 – 2011	-	Banco Central	2012	IN-01
Estadísticas Servicio Impuestos Internos	-	SII	2011	IN-02
Plan Antofagasta 2010 – 2014	-	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2010	IN-03
Energía				
Anuario y Estadísticas de Operación	-	Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado del Norte Grande (CDEC-SING)	2011	EN-01
Informe Anual de Energía Eléctrica	-	Instituto Nacional de Estadística	2009	EN-02
Estudios Generales				
Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile	Biblioteca del Congreso Nacional	Universidad de Chile	2010	EG-01
Chile 2020. Obras Públicas para el Desarrollo	-	Ministerio de Obras Públicas	2009	EG-02
Estudios Generales				
Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras Zona I norte. Regiones I a IV	DGA	Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.	2007	EG-03
Eventos Meteorológicos severos ocurridos en Chile Continental: Descripción y patrones sinópticos tipos asociados	DMC	Dirección Meteorológica de Chile (DMC)	2006	EG-04
Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos. Chile	Banco Mundial	Banco Mundial	2011	EG-05
Convenio 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes	OIT	OIT	2006	EG-06

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO
(Continuación)

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Oferta de Aguas Superficiales				
Análisis y Determinación de Caudales de Reserva para Abastecimiento de la Población y Usos de Interés Nacional	DGA	AC Ingenieros consultores Ltda.	2006	AS-01
Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del río Loa	DGA	Departamento de Administración de Recursos Hídricos	2005	AS-02
Paisaje				
Enfoque Ecológico-Social de la Variabilidad Climática, Extracciones de Agua y Demandas Territoriales en las Cuencas del Desierto de Atacama	Iniciativa Milenio NS 100022, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, FONDECYT Nº 1120204 y VID-UChile	Hugo Romero, Manuel Méndez, Pamela Smith, Magaly Mendonça	2012	PA-01
Diseño del Inventario Nacional de Humedales y el Seguimiento Ambiental	Ministerio del Medio Ambiente	Centro de Ecología Aplicada	2011	PA-02
Planes Políticas Programa				
Plan Región Antofagasta 2011 – 2014		Gobierno de Chile	2011	PP-01
Cuenta Pública Regional 2011. Región de Antofagasta		Gobierno de Chile	2011	PP-02
Planes Políticas Programas				
Plan Región Antofagasta 2011 – 2014		Gobierno de Chile	2011	PP-01
Cuenta Pública Regional 2011. Región de Antofagasta		Gobierno de Chile	2011	PP-02
Estrategia Nacional de Desarrollo 2009 – 2020		Gobierno Regional de Antofagasta	2009	PP-03

CUADRO 2.2-1
DOCUMENTOS, ESTUDIOS Y OTROS CONSIDERADOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO
(Continuación)

Nombre	Mandante	Ejecutor	Año	Ficha
Planes Políticas Programas				
Actualización Plan Director de Infraestructura Ministerio de Obras Públicas – Región de Antofagasta	DIRPLAN	INECON, Ingenieros y Economistas Consultores S.A.	2009	PP-04
La Política Ambiental y Territorial Participativa del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones de Chile		Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Telecomunicaciones (MOPTT)	2001	PP-05
Política Nacional de los Recursos Hídricos		DGA	1999	PP-06
Política Ambiental de la Región de Antofagasta		Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta	1998	PP-07
Planes Reguladores Comunales (PRC)	Gobierno Regionales – Secretaría Regional del MINVU	Municipalidades	Distintas fechas	PP-08
Demanda Minera				
Consumo de agua en la Minería 2010		Comisión chilena del Cobre (COCHILCO)	2010	DM-01
Anuario de la Minería de Chile		Servicio Nacional de Minería y Geología	2011	DM-02
Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero Regiones centro-norte de chile	Dirección General de Aguas	Proust Consultores Ltda.	2008	DM-03
Demanda Minera				
Gestión del recurso hídrico y la minería en Chile, Diagnóstico para Mesa Público-Privada Nacional		Comisión Nacional del Cobre (COCHILCO)	2007	DM-04

Fuente: Elaboración propia

2.3. PROYECTOS EN SEIA

Otra fuente de información considerada fue el SEIA. En el Cuadro 2.3-1 se muestran los proyectos del área de saneamiento ambiental que se encontraron en situación aprobada o en trámite. De los 7 proyectos incluidos, 5 corresponden a plantas desalinizadoras, es decir, representan nuevas fuentes de agua para satisfacer la creciente demanda por el recurso hídrico. Posteriormente en el Cuadro 2.3-2 se presentan 49 proyectos mineros, los que de alguna manera ejercen presión ya sea sobre la demanda o sobre la calidad del agua.

CUADRO 2.3-1
ESTUDIOS DE SANEAMIENTO AMBIENTAL SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

N°	NOMBRE DEL PROYECTO	EMPRESA	WEB EXPEDIENTE
1	Planta Desaladora Sur Antofagasta	Aguas de Antofagasta S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6055342
2	Planta de Potabilización, Planta de Tratamiento de Aguas Servidas y Nuevo Campamento MEL	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5532518
3	Planta Desalinizadora Hornitos	Caja de Compensación Los Andes	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4628309
4	Instalación Planta Desalinizadora	Moly-Cop Chile S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=322640
5	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas	PCS Yumbes S.C.M.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5587
6	Planta de Osmosis Inversa	Cemento Polpaico S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5438
7	Planta Desalinizadora de Antofagasta II Región	Aguas de Chile Ltda.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1339

Fuente: Elaboración propia a partir de http://seia.sea.gob.cl

CUADRO 2.3-2
PROYECTOS MINEROS
SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

N°	Nombre del Proyecto	Empresa	Web Expediente
1	Ampliación Capacidad de Almacenamiento de Combustibles Líquidos Lomas Bayas	Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6341051
2	Ampliación de la Capacidad de Disposición de Ripios Lixiviados	Minera Rayrock Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4530922
3	Ampliación Lixiviación Secundaria de Ripios	Corporación Nacional del Cobre de Chile, División Radomiro Tomic	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6099551
4	Ampliación Planta SOP	SQM Salar S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4929945
5	ANTAKENA	Sociedad Contractual Minera Antakena	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5940363
6	Área de Explotación Subterránea, Sector Fortuna	Minera Meridian Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4937197
7	Aumento de Capacidad de Procesamiento de Carnalita de Potasio	SQM Salar S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5026841
8	Declaración de Impacto Ambiental Prospección Augusta Victoria	Minera Meridian Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5910985
9	Depósito de Relaves Dmb	Anglo American Norte S. A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5950815
10	Disposición Controlada de Hormigones en Botadero de Estéril	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5710382
11	EMPERATRIZ	Minera Rayrock Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4547051
12	Expansión Depósito de Relaves Filtrados Faena El Peñón	Minera Meridian Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4601640

CUADRO 2.3-2
PROYECTOS MINEROS
SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
(Continuación)

N°	Nombre del Proyecto	Empresa	Web Expediente
13	Expansión Santa Bárbara	Anglo American Norte S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5013427
14	Exploraciones Atacama Metals	MINERA ATACAMA METALS CHILE LTDA.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5989989
15	Explotación Rajo Aurora	Minera Michilla S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4924823
16	Extracción de Áridos Empréstito E-63	Skanska Chile S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6092873
17	Extracción de Áridos Empréstitos E11K y E35L	Skanska Chile S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6155827
18	Mejora Planta Prilado - Granulado Coya Sur	SQM Industrial S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4827280
19	MERCEDES	Anglo American Norte S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4959146
20	Mina Chuquicamata Subterránea	Codelco Chile, División Chuquicamata	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4272480
21	Modificación Proyecto Minero Algorta Sector Pampa	Algorta Norte S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4470829
22	Nueva Planta de Secado y Compactado de Cloruro de Potasio	SQM Salar S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4662962
23	Optimización de Disposición de Ripios de Lixiviación, Planta Taltal	EMPRESA NACIONAL DE MINERIA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4909208
24	Pila Dinámica de Lixiviación de Óxidos de Cobre	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5237957
25	Pilas de lixiviación adicionales	Sociedad Contractual Minera Franke	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5180152

CUADRO 2.3-2
PROYECTOS MINEROS
SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
(Continuación)

N°	Nombre del Proyecto	Empresa	Web Expediente
26	Planta de Emulsión Encartuchada	ENAEX SERVICIOS S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5758805
27	Planta de Emulsiones Encartuchadas	Orica Chile Distribution S.A	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5340304
28	Planta de Producción de Ácido Sulfúrico Antucoya	Minera Antucoya Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6496503
29	Planta de Recuperación de Molibdeno	Ecometales Limited Agencia en Chile	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6000749
30	Planta de Sulfato Cobre Pentahidratado Minera Refimin Ltda.	Refimin Servicios Industriales Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4309486
31	Planta Materias Primas y Polvorines para Tronaduras Centro de Trabajo Radomiro Tomic	Codelco Chile, División Codelco Norte	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4470486
32	Planta Obtención de Cemento de Cobre a través de la utilización de Ripios Lixiviados, Compañía Minera Cochrane Ltda.	Compañía Minera Cochrane Ltda.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4477324
33	Prospección Galería Pinta Verde	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5954602
34	Prospección Minera Penacho Blanco	Antofagasta Minerals S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6725973
35	Prospección Minera Polo Sur	Antofagasta Minerals S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5373994
36	Proyecto Ampliación y Normalización Petrolera Mina	Minera Gaby SpA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4970730
37	Proyecto Antucoya	Minera Antucoya Limitada	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5117166

CUADRO 2.3-2
PROYECTOS MINEROS
SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
(Continuación)

N°	Nombre del Proyecto	Empresa	Web Expediente
38	Proyecto Lixiviación Secundaria	Minera Michilla S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6037719
39	Proyecto Obras Complementarias - Lomas Bayas	Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4898574
40	Proyecto Optimización de Emplazamiento de Instalaciones en Minera Escondida	MINERA ESCONDIDA LIMITADA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6080052
41	Proyecto Santa Bárbara - Fase 8	Anglo American Norte S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4437390
42	Proyecto Sierra Gorda	Minera Quadra Chile S.C.M.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4629469
43	Reinicio de la Operación de la Planta de Renio. Subgerencia de Concentración	Codelco Chile, División Chuquicamata	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4330384
44	Relocalización Planta de Explosivos	Compañía Minera Zaldívar	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6339235
45	Segunda Actualización Proyecto Esperanza	Minera Esperanza	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4510219
46	Sondajes de Prospección y Exploración Distrito Codelco Norte	Codelco Chile, División Chuquicamata	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=4320873
47	TAP OFF SIERRA GORDA	SIERRA GORDA S.C.M.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6033945

Fuente: Elaboración propia a partir de http://seia.sea.gob.cl

2.4. PROYECTOS EN EL BANCO INTEGRADO DE PROYECTOS

A fin de conocer las iniciativas públicas de inversión en la región, se examinó el Banco Nacional de Proyectos del Ministerio de Planificación: Se identificaron 5 proyectos del sector silvoagropecuario que se muestran en el Cuadro 2.4-1, además de 13 proyectos de agua potable mostrados en el Cuadro 2.4-2, y la Figura 2.4-1.

CUADRO 2.4-1
BANCO DE PROYECTOS MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN
SECTOR SILVOAGROPECUARIO

Código BIP	Nombre Iniciativa	Provincia	Comuna	Costo Total (miles $)	Institución Responsable	Localización Geográfica	Descripción Etapa	Beneficiarios
30099376-0	Conservación y Reparac. Infraest. Obras Fiscales de Riego II Región	El Loa	Calama	389.525	Dirección de Obras Hidráulicas	Infraestructura de Riego Embalse Conchi y Zonas Aledañas	Las obras a desarrollar tienen que ver con el mejoramiento y conservación de la infraestructura existente en donde se destaca, la mantención de válvulas, torre toma, vertederos, túnel, y sistema de protección en zonas aledañas contra eventos aluvionales	6.000
30036786-0	Construcción Obras de Control de Crecidas en el Río Salado	El Loa	Calama	649.818	Dirección de Obras Hidráulicas	Comuna de Calama Río Salado	Los ríos Toconce y salado pertenecen a la hoya del río loa, el cual es una de las fuentes de agua más importante de la II región, sus aguas son usadas en las más diversas actividades económicas como lo son la minería, la industria (servicios sanitarios) y la agricultura. El objetivo propuesto de esta etapa es realizar a nivel de prefactibilidad los estudios técnicos, ambientales y económicos de alternativas de solución para mitigar los efectos de inundaciones producto de las crecidas del río loa y sus afluentes, con el objeto de determinar la solución más conveniente para la cuenca. Entre las alternativas a estudiar se encuentran embalses de regulación, obras de defensas fluviales y de encauzamiento.	2.500
30073340-0	Conservación Infraestructura Obras Fiscales de Riego en el Río Loa	El Loa	Calama	1.148.113	Dirección de Obras Hidráulicas	Comuna de Calama y María Elena	Para el año 2008 se tiene contemplado iniciar la conservación de las obras ejecutadas con el programa de mejoramiento el cual comprenderá intervenir 2.450 m de canal en el sistema de riego de Calama, y Lasana. El programa de conservación solo busca revestir la red de canales cuyo trazado está definido a través del actual loteo de parcelas y obras que fueron ejecutadas por la D.O.H.	300
30108793-0	Conservación y Mejoramiento Infraestructura de Riego en el Río Loa			330.000	Dirección de Obras Hidráulicas MOP II Región	Localidades de Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua	Corresponde a las obras necesarias relativas a conservación y al mejoramiento de la infraestructura de riego en el río loa, en su paso por las zonas agrícolas, especialmente, Lasana, Chiu Chiu, Calama y Quillagua, cuyas hectáreas de riego alcanzan las 1.389	830
30104013-0	Construcción para Embalse Rio San Pedro, Comuna de San Pedro	El Loa	San Pedro de Atacama	629.401	Comisión Nacional de Riego	Comuna San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta	Definir alternativas de mejoramiento del riego, en la zona de San Pedro, que considere: una obra de embalse para riego, el mejoramiento y/o diseño de las redes de conducción y distribución que permitan transportar el agua del embalse, y que además genere regulación de las crecidas, pudiéndose aprovechar los recursos de estas aguas lluvias para los sectores agrícolas, aumentando así la superficie de riego, potenciando la agricultura de la comuna y evitando los daños producidos por las crecidas. Se espera además un análisis del potencial de generación hidroeléctrica que pudiera obtenerse de este embalse.	338

Fuente: Banco Integrado de Proyectos, Ministerio de Planificación

CUADRO 2.4-2
BANCO DE PROYECTOS MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN
SECTOR AGUA POTABLE

Código BIP	Nombre Iniciativa	Provincia	Comuna	Costo Total (miles $)	Institución Responsable	Localización Geográfica	
30127527-0	Mejoramiento Ampliación Sistema de Agua Potable Rural de Lasana	El Loa	Calama	1.086.167	Servicio de Agua Potable Rural II Region	Localidad de Lasana	La etapa consider las que se traduce y el mejoramiento
30101208-0	Construccion Alcantarillados Talabre y Rio Grande, Spa	El Loa	San Pedro de Atacama	54.590	Municipalidad de San Pedro Atacama	Talabre y Río Grande Comuna de San Pedro de Atacama	El proyecto dará s grande y Talabre se encuentran col de población en c
30108039-0	Mejoramiento Sistema de Agua Potable Localidad de Talabre	El Loa	San Pedro de Atacama	31.645	Municipalidad de San Pedro Atacama	Talabre	La etapa contem detalles de las ob de Talabre en la estudios previos predimensionamie generales, presup ingeniería de de especificaciones autorización sanit
30007097-0	Instalacion Sistema Agua Potable Rural de Quillagua	Tocopilla	Maria Elena	712.025	Dirección de Obras Hidráulicas Mop II Región	Quillagua	Construcción de llegar a un estan CONADI) de 100 tratamiento y po estanque de cap estanques existen una impulsión de manera alimentar potable para su sistema de filtrad del agua.
30070201-0	Mejoramiento Sistema Agua Potable y Alcantarillado Michilla	Antofagasta	Mejillones	594.319	Municipalidad de Mejillones	Localidad Rural de Carolina de Michilla	Consiste en la in minera esperanza principales obras 1.- Reubicación y 2.-Instalacion de respaldo 3.- Construcción desde planta hast 4.- Construcción 5.- Instalación de 6.- Construcción

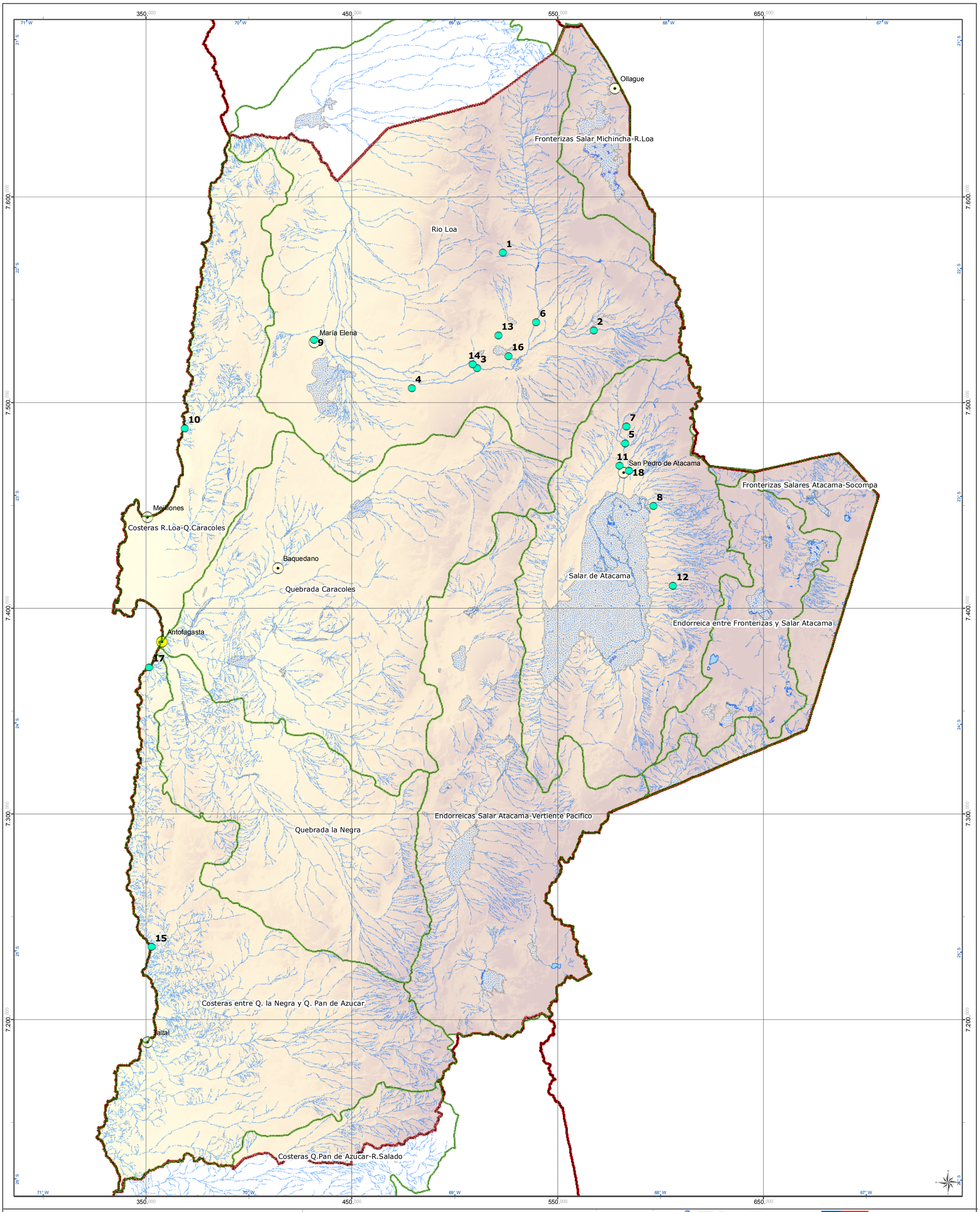
CUADRO 2.4-2
BANCO DE PROYECTOS MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN
SECTOR AGUA POTABLE
(Continuación)

Código BIP	Nombre Iniciativa	Provincia	Comuna	Costo Total (miles $)	Institución Responsable	Localización Geográfica	
30070826-0	Construcción Sistema de APR Localidad de Rio Grande	El Loa	San Pedro de Atacama	259.008	Municipalidad de San Pedro Atacama	Localidad de Rio Grande, Comuna San Pedro de Atacama, Provincia El Loa, Segunda Región	El proyecto consis de la vertiente Hu de 5 km, la constr implementación d normalización de l proyecto solucion en la localidad de potable en el terri
30070833-0	Mejoramiento Sistema APR Localidad de Camar	El Loa	San Pedro de Atacama	310.608	Municipalidad de San Pedro Atacama	Localidad de Camar, Comuna San Pedro de Atacama, Provincia El Loa, Región de Antofagasta	El proyecto consis de aducción HDPE de regulación de 3 26 arranques
30072466-0	Construcción Sistema Agua Potable Rural de Caspana	El Loa	Calama	1.182.484	Servicio de Agua Potable Rural II Región	Localidad de Caspana	La iniciativa consi construcción 16,3 regulación de 40 m desinfección y el t además considera
30072499-0	Instalación Sistema de Agua Potable Calama Rural Chunchuri	El Loa	Calama	3474.58	Servicio De Agua Potable Rural II Región	Zona Rural De Calama	Actualmente este lugareños compra calama. Los princi no contar con aba generando un pro 1.- construcción y caseta de tratami de distribución. 6. de conjunto, oper estudio de ingenie

CUADRO 2.4-2
BANCO DE PROYECTOS MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN
SECTOR AGUA POTABLE
(Continuación)

Código BIP	Nombre Iniciativa	Provincia	Comuna	Costo Total (miles $)	Institución Responsable	Localización Geográfica	
30072543-0	Instalación Sistema de Agua Potable Rural Caleta Paposo	Antofagasta	Taltal	635.683	Servicio de Agua Potable Rural II Región	Caleta Paposo	Las obras definida necesarias, para c construcción de n de osmosis invers ii (agua potable), distribución, obra adiestramiento.
30072751-0	Mejoramiento Ampliación Sistema de Agua Potable Rural de Chiu-Chiu	El Loa	Calama	1.137.374	Servicio de Agua Potable Rural II Región	Localidad de Chiu-Chiu	Las obras a consi sectorización, con automatización de
30079227-0	Reposición Planta de Tratamiento Aguas Servidas, Coloso	Antofagasta	Antofagasta	381.612	Gobierno Regional - Región II Antofagasta	Antofagasta	Reposición de pla saneamiento de lo la tecnología de b mejorando la cali general
30090231-0	Mejoramiento Integral Sistema de Agua Potable San Pedro de Atacama	El Loa	San Pedro de Atacama	2.469.689	Dirección de Obras Hidráulicas MOP II Región	Localidad de San Pedro de Atacama	Mejorar el sistema requerimientos de estimadas en la e relevantes; sisten

Fuente: Banco Integrado de Proyectos, Ministerio de Planificación



LEYENDA

ID	Código BIP	Nombre
1	30099376-0	Conservación y reparac. infraest. obras fiscales de riego II región
2	30036786-0	Construcción obras de control de crecidas en el río Salado
3	30073340-0	Conservación infraestructura obras fiscales de riego en el río Loa
4	30108793-0	Conservación y mejoramiento infraestructura de riego en el río Loa
5	30104013-0	Construcción para embalse río san pedro, comuna de San Pedro
6	30127527-0	Mejoramiento ampliación sistema de agua potable rural de lasana
7	30101208-0	Construcción alcantarillados talabre y río grande, San Pedro
8	30108039-0	Mejoramiento sistema de agua potable localidad de Talabre
9	30007097-0	Instalación sistema agua potable rural de Quillagua
10	30070201-0	Mejoramiento sistema agua potable y alcantarillado Michilla
11	30070826-0	Construcción sistema de apr localidad de río Grande
12	30070833-0	Mejoramiento sistema apr localidad de Camar
13	30072466-0	Construcción sistema agua potable rural de Caspana
14	30072499-0	Instalación sistema de agua potable calama rural Chunchuri
15	30072543-0	Instalación sistema de agua potable rural caleta Paposo
16	30072751-0	Mejoramiento ampliaciën sistema de agua potable rural de Chiu-Chiu
17	30079227-0	Reposición planta de tratamiento aguas servidas, Coloso
18	30090231-0	Mejoramiento integral sistema de agua potable San Pedro de Atacama

SIMBOLOGÍA

- Capital regional
- Capitales comunales
- Proyectos Banco Integrado Proyectos

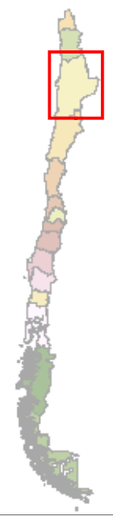
Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1

- Límite Regional
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Embalses
- Salares



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

PROYECTOS EN EL BANCO INTEGRADO DE PROYECTOS

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
BIP. 2012.
ARRAU INGENIERÍA. 2012.

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 2.4-1

2.5. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

2.5.1. Información SIG

Los sistemas geográficos tienen un carácter integrador de información que se puede aplicar a diferentes rubros de la ciencia y/o toma de decisiones. En específico, contribuyen en la búsqueda de relaciones y cohesión entre diferentes capas de información espacial y, cuando estos datos espaciales se encuentran bien estructurados, ayudan en la planificación y análisis espacial a varios niveles de detalle. Conjuntamente a lo anterior, tienen la capacidad de ser flexibles permitiendo visualizar diferentes escenarios de las problemáticas de manera ágil y de fácil interpretación para grupos de estudio o tomadores de decisión.

La información base del estudio con las coberturas de información geográfica recopiladas para el Estudio se presentan en el Cuadro 2.5.1-1, diferenciada entre cartografía base y temática

CUADRO 2.5.1-1
INFORMACIÓN SIG

CARTOGRAFÍA BASE			
DATABASE	**DATASET**	**FUENTE**	**AÑO DE ACTUALIZACIÓN**
Cartografía base	Límites administrativos	DGA	2012
	Poblados	DGA	2012
	Áreas de Ciudades	DGA	2012
	Capital regional	DGA	2012
	Capitales comunales	DGA	2012
	Capitales provinciales	DGA	2012
	Modelo Digital de elevación Aster GDEM (30 m)	Servidor ERDSAC	-
Balance hídrico actual	Isoyetas de precipitación 1987	DGA	2010
Otros estudios de Balance Hídrico	Zonificación Salar de Atacama	DGA	2010
Hidrología subterránea	Acuíferos explorados y delimitados	DGA	2012
Derechos de agua	Áreas de restricción, prohibición o agotamiento	DGA	2012
Obras hidráulicas	Canales	SIIR	2003
Rubro energético	Empresas energía	M. DE ENERGIA	2009
Rubro turismo	Áreas turísticas	RIDES, SITHA	2010
Desarrollo indígena	Áreas indígenas	CONADI	2012

CUADRO 2.5.1-1
INFORMACIÓN SIG
(Continuación)

CARTOGRAFÍA TEMÁTICA EXISTENTE			
DATABASE	**DATASET**	**FUENTE**	**AÑO DE ACTUALIZACIÓN**
Hidrología superficial	Cuencas hidrográficas	DGA	2012
	Red hídrica	DGA	2012
	Lagos y lagunas	DGA	2012
Áreas de protección	Sitios RAMSAR	SINIA	2012
	Sitios prioritarios	SINIA	2012
	SNASPE	SINIA	2012
	Vegas y bofedales protegidos	DGA	2012
	Acuíferos protegidos	DGA	2012
	Humedales	SINIA	2012
	Embalses	DGA	2012
Red de medición	Estaciones fluviométricas	DGA,	2012
	Estaciones pluviométricas	DGA,	2012
	Estaciones de medición de niveles de pozos	DGA,	2012
	Estaciones calidad de agua	DGA,	2012

Fuente: Elaboración propia

2.6. PLANES DE ALERTA TEMPRANA

El Plan de Alerta Temprana (PAT) tiene como objetivo pronosticar, seguir y verificar los efectos que potencialmente pudiesen producir el ejercicio de los derechos de aprovechamiento específicos en cuestión.

Los PAT deben lograr predecir oportunamente los impactos sobre los caudales, niveles de agua y/o vegas activas, de modo de prevenir afecciones negativas en el sector o cuenca y suspender o reducir el ejercicio de los derechos analizados.

En la región se encuentran vigentes los siguientes PAT:

1. Acuífero Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10

2. Pampa Puno (acuífero)

3. Salar de Atacama: Monturaqui - Negrillar –Tilopozo

4. Salar de Elvira

5. Acuífero los Morros

6. Ollagüe

Adicionalmente, existen tres PAT en proceso:

1. Salar de Ascotán

2. Quebrada Pampa Perdiz

3. Acuífero Pampa Yalqui

El análisis de los PAT se presenta posteriormente en el Capítulo 6.

2.7. TRABAJOS EN TERRENO

2.7.1. Generalidades

En este acápite se detallan las actividades realizadas en terreno para la etapa de recopilación de antecedentes. En particular las actividades realizadas se dividen en 2 categorías:

- Reuniones iniciales con DGA Antofagasta
- Reuniones con personal de reparticiones públicas para dar a conocer el proyecto e identificar sus expectativas del trabajo.

En las siguientes secciones se detallan estas actividades.

2.7.2. Reunión Inicial con DGA Antofagasta

Las reuniones iniciales con el personal de la DGA Antofagasta se desarrollaron los días 10 y 11 de Julio de 2012. En estas reuniones se discutió con el Director Regional, así como personal de la repartición, los elementos más relevantes para el Plan desde el punto de vista regional. Entre otros, se analizaron los siguientes temas:

- Planificación general del estudio
- Actores relevantes a nivel regional
- Características Red Hidrometeorológica Regional
- Planificación global de actividades de Participación Ciudadana

2.7.3. Reuniones con Personal de Reparticiones Públicas

Entre el día 24 de julio y el día 27 de Julio, se han desarrollado las visitas de presentación del proyecto a diversas entidades públicas.

Todas las reuniones tuvieron como primer objetivo dar a conocer el proyecto, e identificar la utilidad de éste para cada institución. En el Cuadro 2.7.3-1 se detalla el nombre de la persona, la repartición a la que pertenece y los objetivos logrados en la

reunión. En las fotografías de la Figura 2.7.3-1 se muestran imágenes de algunas de las reuniones desarrolladas.

FIGURA 2.7.3-1
FOTOGRAFÍAS DE REUNIONES CON ACTORES REGIONALES PÚBLICOS



Fuente: Equipo Consultor

CUADRO 2.7.3-1
RESUMEN REUNIONES CON ACTORES REGIONALES PÚBLICOS Y PRIVADOS

FECHA	NOMBRE	REPARTICIÓN	OBJETIVO
24/07/12	Alejandro San Toro	CONAF	Se definieron las áreas de mayor interés en la región. Se pidió poder participar en presentaciones y recibir informes publicados.
24/07/12	Rodrigo Mendiburú	SEREMI MINERÍA	Se obtuvo una lista con los principales contactos en minería para solicitar su cooperación. Se está consiguiendo el apoyo del SEREMI mediante una carta ya enviada.
24/07/12	Hugo Thenoux	SEREMI MEDIO AMBIENTE	Se identificaron los lugares y proyectos más importantes relacionados con el agua, de la región. Se solicitaron algunos informes relacionados con estos proyectos.

CUADRO 2.7.3-1
RESUMEN REUNIONES CON ACTORES REGIONALES PÚBLICOS Y PRIVADOS
(Continuación)

FECHA	NOMBRE	REPARTICIÓN	RESUMEN
24/07/12	Miguel Irarrázabal	SERNATUR	El director señala que las zonas más importantes están en San Pedro (salar de Atacama), y algunos sectores del río Loa. Se entrega el contacto del encargado de turismo en San Pedro para conocer la población móvil.
25/07/12	José Moreno	SEA	Se muestran dispuestos a colaborar, mencionan que la evaluación de los proyectos mineros son los más importantes en envergadura. Importante análisis del uso de agua desalinizada para la minería v/s la energía necesaria para el transporte.
25/07/12	Mario Corvalán	Aguas Antofagasta	Se conversa sobre la desalinización del agua, los proyectos de nuevas plantas desalinizadoras. La eficiencia del sistema actual es muy buena, y las pérdidas se dan en la red de distribución (Física) y en robos (comercial). Hay un proyecto de cooperación con agua desalinizada para cultivo de hortalizas en la zona costera de la región.
26/07/12	Jeannette Araya	INDAP	La zona de mayor interés es la parte alta dEl Loa, el Salar de Atacama y la zona costera de Tal-Tal, donde están regularizando la agricultura que se desarrolla en ese sector. El censo agrícola entrega buenas cifras.
27/07/12	Sandra Espinoza	CONADI	Hubo especial interés en la regulación de los derechos de agua de los pueblos indígenas. Si necesitamos ese listado, o los derechos ya regularizados, los pueden facilitar mediante correo electrónico.
27/07/12	Víctor Ramírez	TRATACAL (Tratamiento Aguas Servidas Calama)	Se conversa de los aportes de la ciudad de Calama (80% aprox.) y de los camiones provenientes de diversas faenas (20%). Disponibilidad para entregar información mediante solicitudes formales vía correo electrónico

CUADRO 2.7.3-1
RESUMEN REUNIONES CON ACTORES REGIONALES PÚBLICOS Y PRIVADOS
(Continuación)

FECHA	NOMBRE	REPARTICIÓN	RESUMEN
05/09/2012	Aníbal Torrejón	ECONSSA (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios)	Se conversa acerca de las proyecciones para el sector sanitario, sugiriendo considerar los Planes de Desarrollo y las proyecciones de crecimiento demográfico para establecer los escenarios futuros de demanda de agua potable. También, recomienda consultar a la SISS por los juicios relacionados con SWAP. Confirma que los derechos de agua que poseen son 2.500 L/s, de los cuales 800 están inutilizables por conflictos de derechos con Bolivia. Además, señalan que este caudal debiera coincidir con el registro del CPA. También se contó con la participación de Oscar Celis, asesor legal.
25-09-2012	Claudia Garcés y Nivaldo Flores	AltoNorte, Xstrata Copper	Uso de agua para el acido sulfúrico-enfriamiento y producción. Se extrae agua subterránea aprox.80 L/s en estación Yungay, pero ahora tiene aprox. 10 o 5 L/s. Usan también aguas servidas que le compran a la planta de tratamiento de Antofagasta de un caudal de 70 L/s. No tienen planes de expansión, pero sí de mejorar su seguridad de fuente de recursos hídricos, por lo tanto tienen planes de tener una toma de agua de mar en conjunto con otras mineras.
27-09-2012	Marta Aguilera	SQM	SQM tiene 4 centros de extracción en la región de Antofagasta; María Elena (Nitratos y yodo), Coya Sur: (yodo), Pedro de Valdivia (nitratos) y SQM Salar (litio). La tasa de consumo en el proceso de producción se estima en 0,8-1 L/t, pero para tener un valor preciso, hay que pedirlo en una solicitud formal a Daniel Jiménez. Hay aforos entre 2 y 4 veces al mes entre Conchi y Calama, pues usan agua superficial de El Loa para el tratamiento del Yodo. Los planes futuros son mejorar la eficiencia del uso de agua, mejorando la recirculación. El contacto en el salar es el Sr. Juan Carlos Barrera (juan.carlos.barrera@sqm.com)

CUADRO 2.7.3-1
RESUMEN REUNIONES CON ACTORES REGIONALES PÚBLICOS Y PRIVADOS
(Continuación)

FECHA	NOMBRE	REPARTICIÓN	RESUMEN
28-09-2012	Luis Contreras	Sierra Gorda, KGHM International	La empresa tiene dos centros de extracción; Franke que está funcionando desde el 2004, y Sierra Gorda, que está en instalación. La primera usa agua que compran a Codelco Salvador y la segunda utilizará agua de mar extraída desde Mejillones. La información de tasas de consumo de agua por producción se puede obtener de la última Declaración de Impacto Ambiental.
01-10-2012	Rolando Bahamondez	El Peñón, Yamana Gold	La mina se encuentra en la subcuenca de la Qda. De Buenos Aires. Realizan la extracción de agua dentro de la planta de derechos de agua subterráneos. Extraen aprox. 14 L/s y producen entre 150.000 y 200.000 Oz de oro al año. Las tasas de producción hay que solicitarlas vía e-mail a rolando.bahamondez@yamana.com

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA

3. DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA

3.1. INTRODUCCIÓN

La cuantificación de los recursos hídricos disponibles en la cuenca, ha sido una actividad que preocupa a la diversidad de organismos públicos y privados que tienen relación con el tema.

Durante los últimos 15 años, se han hecho esfuerzos por cuantificar de forma precisa el recurso hídrico, superficial y subterráneo, en la región de Antofagasta (localización, cuencas principales y fuentes superficiales en la Figura 3.1-1), como los estudios generales publicados por la DGA el año 1996[1] y el 2007[2], además de otros trabajos realizados en las zonas específicas de mayor importancia hídrica[3] o informes desarrollados desde otro punto de vista que sea necesario para la toma de decisiones[4].

El diagnóstico de la disponibilidad hídrica es una herramienta esencial para diseñar o definir la estrategia de recursos hídricos regional, pues representa una actualización de la situación de oferta y de demanda espacializada.

Para lograr construir el diagnóstico, es necesario comenzar el análisis verificando, ordenando y cuantificando la información básica necesaria. En el caso de las aguas superficiales, esto se hace rellenando las estaciones de medición de caudal y precipitación, para luego ajustar curvas de frecuencia, lo que permite en definitiva estimar la oferta de recursos hídricos. Por otro lado, para las aguas subterráneas, la cuantificación se hace caracterizando las unidades hidrogeológicas existentes. Luego se requiere caracterizar las demandas de aguas. Finalmente se procede a desarrollar el balance hídrico, herramienta que en definitiva permite diagnosticar la disponibilidad de recursos hídricos en la región.

En primer lugar se hace notar que los recursos de agua de la Segunda Región están concentrados en dos cuencas principalmente: el Río Loa y el Salar de Atacama representan cerca del 90% de los recursos de agua de la Región. La última es una cuenca grande y cerrada, mientras que, en Río Loa es el único río de la región que desemboca en el mar. Estas cuencas contienen los ríos, salares, vegas y playas que presentan afloraciones de aguas subterráneas. El 10% restante de los recursos hidráulicos se encuentra en los salares de Punta Negra y Ascotán, y en Agua Verde.

La descarga en el Río Loa proviene de afloramientos de agua subterránea en el Río Loa Alto y en el tramo entre Chiu-Chiu y Calama, y de las descargas de los ríos San Pedro, Salado, y San Salvador. Debe indicarse además que el aporte (tanto superficial como subterráneo) desde el salar de Llamara es de aproximadamente 1,1 m^3/s Aguas abajo de Calama la contribución de aguas subterráneas al flujo del Río

[1] Análisis uso actual y futuro recursos hídricos de Chile I II III IV región.
[2]Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras, zona norte I II III IV región.
[3]Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Loa.
[4]Análisis y determinación de caudales de reserva para abastecimiento de la población y usos de interés nacional.

Loa es nula, con excepción de los caudales de retorno provenientes de irrigación y el aporte del Río San Salvador.

El Río Loa Alto fluye en un valle norte-sur, angosto y de pendiente suave cuya ribera oriental es una línea de volcanes nevados con una altura promedio de 5.500 m.s.n.m. La parte baja del Río Loa, entre Calama y el Río Loa Alto, se llama Río Loa Medio. Los principales tributarios del Río Loa Medio, los ríos San Pedro y Salado, corren en dirección este-oeste desde los volcanes hacia el Río Loa.

La subcuenca del Río San Pedro consiste de dos partes cuya conexión hidráulica es incierta. La parte superior de la cuenca contiene los Ríos Siloli, Inacaliri y Colana, que fluye a un valle ancho y se infiltra en el aluvión permeable. Debajo el valle se encuentra una vega larga llamada Ojos de San Pedro donde se origina el Río San Pedro.

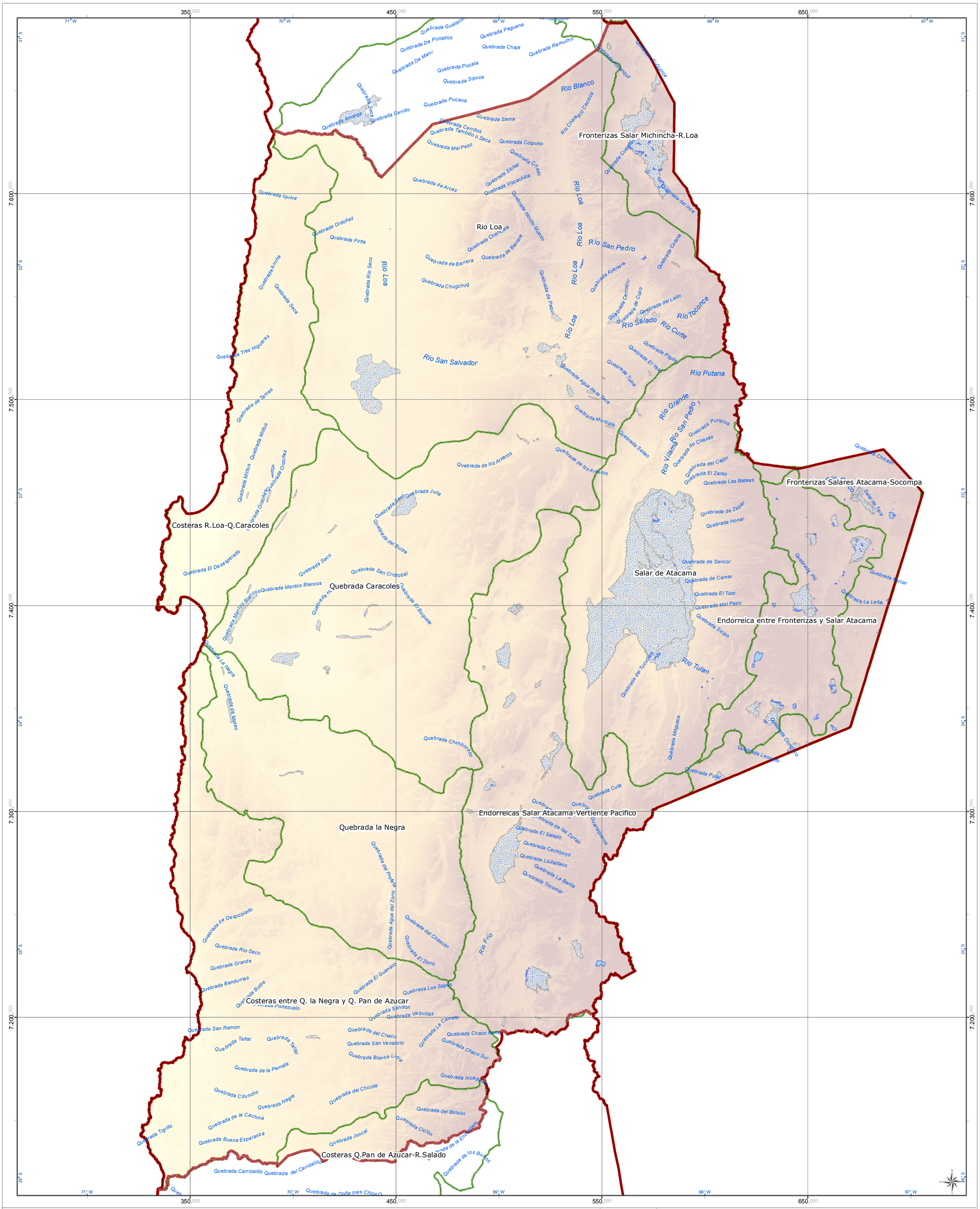
El aporte de agua subterránea a la descarga del Río Loa disminuye rápidamente aguas abajo de Conchi. El río desciende aproximadamente 500 m desde la cota 3000 m.s.n.m. aguas arriba de Conchi hasta la confluencia con el Río Salado, en una dirección de creciente aridez.

En la subcuenca del Río Salado pueden identificarse tres zonas. La cuenca superior que está formada por la confluencia de seis ríos pequeños en un tramo de 20 km los cuales suministran aproximadamente dos tercios del caudal de base del Río Salado. La cuenca media, que tiene una longitud aproximada de 13 km y drena la Vega de Turi.

El tercer tributario del Río Loa es el Río San Salvador. Este río nace en la Vega de Calama y fluye hacia el oeste por un cañón profundo hasta su confluencia con el Río Loa en la pampa, al noreste de María Elena.

El Salar de Atacama es el más grande de la región. La cuenca tiene un área de drenaje de aproximadamente 16.000 km^2, mientras que el Salar, ubicado en la zona central, cubre una superficie de aproximadamente 3.100 km^2. La recarga de agua subterránea ocurre a lo largo del borde oriental del Salar.

En el sector noreste de la cuenca del Salar de Atacama hay dos ríos, el Río Grande de San Pedro y el Río Vilama, que fluyen a través de la Vega San Pedro de Atacama y se infiltran en los depósitos aluviales antes de alcanzar el salar. A lo largo del lado oriental del salar existen varios ríos pequeños y numerosas vertientes que se originan de la percolación de las aguas subterráneas, pero que también se infiltran en el aluvión antes de llegar al salar.



LEYENDA

Nombre Cuenca	Código D.G.A.
Rio Loa	021
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	020
Costeras R.Loa-Q.Caracoles	022
Salar de Atacama	025
Quebrada Caracoles	027
Fronterizas Salares Atacama-Socompa	023
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	024
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	026
Quebrada la Negra	028
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar	029
Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado	031

SIMBOLOGÍA

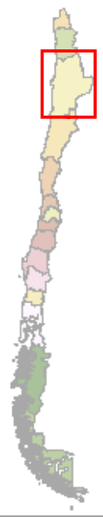
- Límite Regional
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Límite Cuencas

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

CUENCAS, ZONA DE ESTUDIO

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Fecha: Diciembre 2012

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

FIGURA 3.1-1

3.2. CARACTERIZACIÓN RECURSOS HÍDRICOS

3.2.1. Introducción

En este acápite se presenta la caracterización de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos.

3.2.2. Recursos Superficiales

3.2.2.1. Generalidades

El objetivo de este acápite, comprende la recopilación, análisis y presentación de resultados de las series de datos pluviométricos y fluviométricos. De acuerdo a los Términos de Referencia de este trabajo, en lo principal, se considera aquí la actualización de la información para el período 1960/61 a 2010/11.

Para desarrollar el trabajo, se efectuó una revisión de la información existente, tomándose conocimiento de los procedimientos empleados para la generación y síntesis de la información, incluyendo caudales de cabecera, caudales de cuencas intermedias, precipitaciones de entrada para los modelos hidrológicos, entre otros.

Primero se realiza una completa revisión de las estadísticas disponibles, verificándose la existencia de la información medida en las estaciones; en caso de encontrarse datos faltantes, se realizaron las correlaciones o regresiones correspondientes y se utiliza algún otro método estadístico para completar los valores ausentes y así obtener estadísticas completas. Se tiene en consideración que los valores observados o medidos tienen preferencia con respecto a los valores estimados. Seguidamente, se revisa la consistencia tanto de la información existente como la de relleno para, eventualmente, poder detectar valores anómalos que pudiesen ser corregidos o reemplazados para obtener una buena consistencia en las estadísticas y así poder utilizar estos datos en cálculos posteriores sin problemas. Finalmente severifica la consistencia entre las estaciones de las mismas cuencas mediante el método de las Curvas Doble Acumuladas.

Luego de todos los cálculos realizados y los resultados obtenidos, tanto de relleno como de corrección de estadísticas pluviométricas y fluviométricas anuales y mensuales, se obtuvieron las estaciones que se presentan con estadísticas hasta el año 2011 completas y corregidas.

Finalmente para las series tanto de precipitaciones como de caudales medios anuales rellenadas y corregidas de cada estación, se efectuaron análisis de frecuencia analíticos, ajustando las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson III, Log-Normal y Log-Pearson III, considerando 5 probabilidades de excedencia 5%, 20%, 50%, 85% y 95%.

3.2.2.2. Pluviometría

a) Selección y Relleno de Datos

Primero se realiza una completa revisión de las estadísticas disponibles, verificándose la existencia de la información medida en las estaciones; en caso de

encontrarse datos faltantes, se realiza el relleno de datos con el objeto de lograr una mejor estimación de los valores característicos de largo plazo registrados en cada estación.

Se tiene en consideración que los valores observados o medidos tienen preferencia con respecto a los valores estimados mediante la metodología de relleno presentada en el Anexo 3-1. Seguidamente, se revisa la consistencia tanto de la información existente como la de relleno para, eventualmente, poder detectar valores anómalos que pudiesen ser corregidos o reemplazados para obtener una buena consistencia en las estadísticas y así poder utilizar estos datos en donde se necesite estimar la precipitación y su cambio en el tiempo.

Para conocer la información disponible, se identifican los nombres, códigos BNA y localización de las estaciones entregadas por la DGA a la fecha. En el Cuadro 3.2.2.2-1 se muestran todas las estaciones recopiladas que también se presentan en la Figura 3.2.2.2-1. De estas estaciones se obtiene la precipitación media anual, para el análisis en distintos puntos de la cuenca. La información se acota a los últimos 50 años; desde 1960 a 2011.

CUADRO 3.2.2.2-1
ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

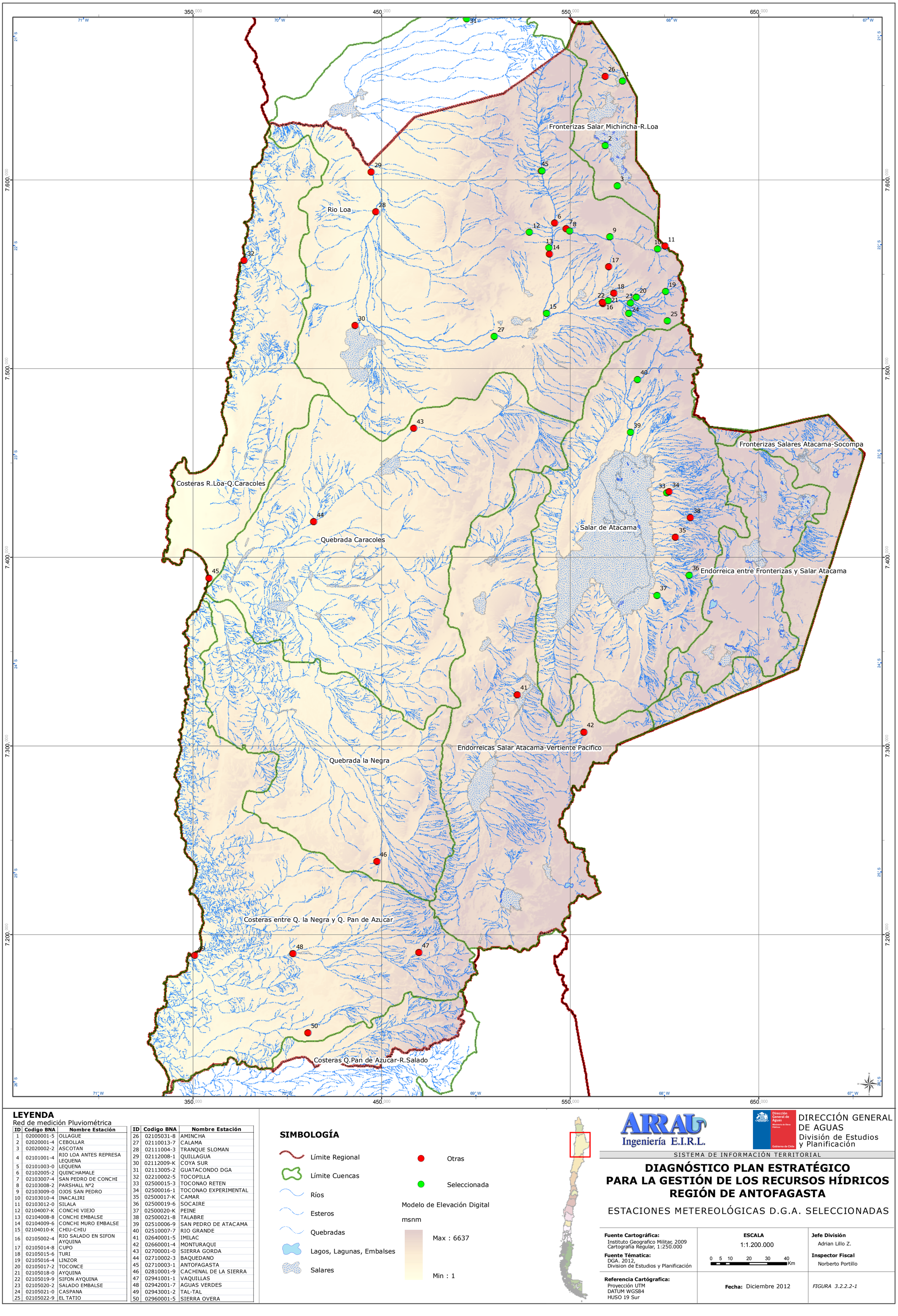
N°	Código BNA	Nombre Estación	Altura (m.s.n.m.)	Coord. UTM (m)	
				Norte	Este
1	02000001-5	OLLAGUE	3.700	7.652.920	577.892
2	02020001-4	CEBOLLAR	3.730	7.618.895	568.495
3	02020002-2	ASCOTAN	3.970	7.597.374	574.925
4	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	3.315	7.605.197	534.950
5	02101003-0	LEQUENA	3.320	7.605.259	535.065
6	02102005-2	QUINCHAMALE	3.080	7.577.571	541.690
7	02103007-4	SAN PEDRO DE CONCHI	3.217	7.574.448	547.879
8	02103008-2	PARSHALL Nº 2	3.318	7.573.397	549.826
9	02103009-0	OJOS SAN PEDRO	3.800	7.570.241	570.954
10	02103010-4	INACALIRI	4.040	7.563.772	596.385
11	02103012-0	SILALA	4.305	7.565.285	600.236
12	02104007-K	CONCHI VIEJO	3.491	7.572.650	528.511
13	02104008-8	CONCHI EMBALSE	3.010	7.564.326	538.788
14	02104009-6	CONCHI MURO EMBALSE	3.000	7.561.141	539.161
15	02104010-K	CHIU-CHIU	2.524	7.529.707	537.415
16	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	2.980	7.534.956	567.504
17	02105014-8	CUPO	3.370	7.554.284	570.481
18	02105015-6	TURI	3.070	7.540.311	573.367
19	02105016-4	LINZOR	4.100	7.541.388	600.714

CUADRO 3.2.2.2-1
ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)

N°	Código BNA	Nombre Estación	Altura (m.s.n.m.)	Coord. UTM (m)	
				Norte	Este
20	02105017-2	TOCONCE	3.310	7.538.221	585.178
21	02105018-0	AYQUINA	3.031	7.536.512	570.229
22	02105019-9	SIFON AYQUINA	3.000	7.535.635	566.991
23	02105020-2	SALADO EMBALSE	3.200	7.535.316	582.129
24	02105021-0	CASPANA	3.260	7.529.664	581.126
25	02105022-9	EL TATIO	4.370	7.525.730	601.585
26	02105031-8	AMINCHA	3.860	7.655.452	568.562
27	02110013-7	CALAMA	2.300	7.517.389	509.832
28	02111004-3	TRANQUE SLOMAN	985	7.583.594	446.897
29	02112008-1	QUILLAGUA	802	7.604.648	444.557
30	02112009-K	COYA SUR	1.250	7.523.409	435.920
31	02113005-2	GUATACONDO DGA	2.460	7.685.876	495.262
32	02210002-5	TOCOPILLA	150	7.557.838	377.253
33	02500015-3	TOCONAO RETEN	2.460	7.434.668	601.376
34	02500016-1	TOCONAO EXPERIMENTAL	2.500	7.435.152	602.573
35	02500017-K	CAMAR	2.700	7.411.015	605.954
36	02500019-6	SOCAIRE	3.251	7.391.031	613.011
37	02500020-K	PEINE	2.460	7.380.388	596.017
38	02500021-8	TALABRE	3.300	7.421.415	613.727
39	02510006-9	SAN PEDRO DE ATACAMA	2.450	7.466.710	582.019
40	02510007-7	RIO GRANDE	3.250	7.494.705	585.709
41	02640001-5	IMILAC	3.000	7.327.668	522.066
42	02660001-4	MONTURAQUI	3.430	7.307.823	557.288
43	02700001-0	SIERRA GORDA	1.616	7.468.680	466.978
44	02710002-3	BAQUEDANO	1.032	7.419.265	414.151
45	02710003-1	ANTOFAGASTA	50	7.389.614	358.510
46	02810001-9	CACHINAL DE LA SIERRA	2.640	7.239.220	447.507
47	02941001-1	VAQUILLAS	3.250	7.191.149	469.963
48	02942001-7	AGUAS VERDES	1.560	7.190.372	403.100
49	02943001-2	TAL-TAL	9	7.189.371	350.934
50	02960001-5	SIERRA OVERA	1.900	7.148.340	410.954

Fuente: BNA

En el Cuadro 3.2.2.2-2 se presenta la disponibilidad de registros anuales en todas las estaciones meteorológicas disponiblesa lo largo del periodo de estudio. Las estadísticas observadas de las distintas estaciones, proporcionadas por la Dirección General de Aguas (DGA), se encuentran en formato digital en el Anexo 3-1 del presente informe. Después de revisar las distintas estaciones y analizar cuáles de éstas contenían una estadística más extensa, completa y espacialmente eran significativas, se seleccionaron para los cálculos posteriores las estaciones que se muestran en el Cuadro 3.2.2.2-3 y se representan en la misma Figura 3.2.2.2-1.



LEYENDA

Red de medición Pluviométrica

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02000001-5	OLLAGUE
2	02020001-4	CEBOLLAR
3	02020002-2	ASCOTAN
4	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA
5	02101003-0	LEQUENA
6	02102005-2	QUINCHAMALE
7	02103007-4	SAN PEDRO DE CONCHI
8	02103008-2	PARSHALL N°2
9	02103009-0	OJOS SAN PEDRO
10	02103010-4	INACALIRI
11	02103012-0	SILALA
12	02104007-K	CONCHI VIEJO
13	02104008-8	CONCHI EMBALSE
14	02104009-6	CONCHI MURO EMBALSE
15	02104010-K	CHIU-CHIU
16	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA
17	02105014-8	CUPO
18	02105015-6	TURI
19	02105016-4	LINZOR
20	02105017-2	TOCONCE
21	02105018-0	AYQUINA
22	02105019-9	SIFON AYQUINA
23	02105020-2	SALADO EMBALSE
24	02105021-0	CASPANA
25	02105022-9	EL TATIO

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
26	02105031-8	AMINCHA
27	02110013-7	CALAMA
28	02111004-3	TRANQUE SLOMAN
29	02112008-1	QUILLAGUA
30	02112009-K	COYA SUR
31	02113005-2	GUATACONDO DGA
32	02210002-5	TOCOPILLA
33	02500015-3	TOCONAO RETEN
34	02500016-1	TOCONAO EXPERIMENTAL
35	02500017-K	CAMAR
36	02500019-6	SOCAIRE
37	02500020-K	PEINE
38	02500021-8	TALABRE
39	02510006-9	SAN PEDRO DE ATACAMA
40	02510007-7	RIO GRANDE
41	02640001-5	IMILAC
42	02660001-4	MONTURAQUI
43	02700001-0	SIERRA GORDA
44	02710002-3	BAQUEDANO
45	02710003-1	ANTOFAGASTA
46	02810001-9	CACHINAL DE LA SIERRA
47	02941001-1	VAQUILLAS
48	02942001-7	AGUAS VERDES
49	02943001-2	TAL-TAL
50	02960001-5	SIERRA OVERA

SIMBOLOGÍA

- Límite Regional
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Otras
- Seleccionada

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ESTACIONES METEREOLÓGICAS D.G.A. SELECCIONADAS

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 3.2.2.2-1

CUADRO 3.2.2.2-2
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DISPONIBLE

Estación/Año calendario	1960										1970										1980										1990										2000										2010	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
OLLAGUE												2	3		c	c	c	c	c	1	c	c	c	c	c	c	c	b							9	6				9	a	3		6	c	c	c	c	b	c	b	9
CEBOLLAR																3	c	c	c	c	b	c	c	c	b	c	c	c	c	7					9	c	c	c	c	c	c	c						c	c	c	c	c	c	c		
ASCOTAN															5	c	c	c	c	7	b	c	c	c	c	c	5				c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	9
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA																																											c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
LEQUENA														2	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	a
QUINCHAMALE																																				c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	a
SAN PEDRO DE CONCHI																																																			
PARSHALL Nº 2										9	c	c	c	7	c	b	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a
OJOS SAN PEDRO										a	c	8	3						1	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	b	c	9
INACALIRI										b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	6	c	c	c	b	b	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	9
SILALA																																											c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
CONCHI VIEJO														6	c	c	9	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	2				7	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	8
CONCHI EMBALSE								4	2	2	8	1				6	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	c	c	a
CONCHI MURO EMBALSE																			b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9	c	6																					
CHIU-CHIU															5	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	6	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA																																									2	c	c	c	c	c	c	c	c	b	9
CUPO																		2	c	c	c	c	9	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	c	c	b	c	c	c	c	9
TURI																					c	c	c	c	c	c	c	c	8	c	c	c	5																	
LINZOR														2	c	c	c	c	b	8	c	c	c	c	c	b	c	c	c	7	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9	c	b	c	2	7	a
TOCONCE													a	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9	c	b	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a
AYQUINA								4	c	c	a	7	c	c	c	c	6	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	c	a
SIFON AYQUINA																6	c	c																																	
SALADO EMBALSE																3	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	c	c	b	c	7	5	7	9
CASPANA												c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	8	c	9	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	5			
EL TATIO																		7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	8	8	c		b	a	c	c	9
AMINCHA																		1	3		5																															
CALAMA						b	9	b	c	b	b	c	c	7		9	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	8			c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	b	7
TRANQUE SLOMAN																																					a	c	c	c	c	c	c	c						
QUILLAGUA											6	c	b	c	c	3			7	b	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	9
COYA SUR															7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	8	c	6																		
GUATACONDO DGA																		4	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	a
TOCOPILLA																																			7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
TOCONAO RETEN																c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	1																			
TOCONAO EXPERIMENTAL																																																			
CAMAR																			c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	9

CUADRO 3.2.2.2-2
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DISPONIBLE
(Continuación)

Estación/Año calendario	1960										1970										1980										1990										2000										2010	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
SOCAIRE															5	c	c	c	c	c	9	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
PEINE															2	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a
TALABRE																																				5	c	c	c	c	c	c	c	c	b	9	c	7
SAN PEDRO DE ATACAMA	b	c	a	8	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	6	c	c	3																							
RIO GRANDE																		c	9	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	8
IMILAC													2	c	c	c	c	4																																
MONTURAQUI															2	c	c	c	c	c																															
SIERRA GORDA																																			4	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	a
BAQUEDANO																7	6	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	b	c	8	c	8	4				c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
ANTOFAGASTA																			c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
CACHINAL DE LA SIERRA																											2																							
VAQUILLAS																												a	2																			
AGUAS VERDES																												4	c	a	c	c	a	7	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	a
TAL-TAL												3	c	c	c	b	6										1	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	9
SIERRA OVERA																											1	c	6																					

a, b, c : año con 10, 11,12 meses de información, respectivamente.
1,2,..9 : número de meses con información.

Fuente: Elaboración propia, en base a la información del Banco Nacional de Aguas, DGA

CUADRO 3.2.2.2-3
ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS

Nº	Código	Nombre	Instalación	supresión	Altura (m.s.n.m.)	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)
1	02000001-5	OLLAGUE	01/11/1971		3.700	7.652.920	577.892
2	02020001-4	CEBOLLAR	01/10/1975	31/12/2006	3.730	7.618.895	568.495
3	02020002-2	ASCOTAN	01/08/1974		3.970	7.597.374	574.925
8	02103008-2	PARSHALL Nº 2	01/04/1969		3.318	7.573.397	549.826
9	02103009-0	OJOS SAN PEDRO	01/03/1969		3.800	7.570.241	570.954
10	02103010-4	INACALIRI	01/02/1969		4.040	7.563.772	596.385
12	02104007-K	CONCHI VIEJO	01/07/1973		3.491	7.572.650	528.511
13	02104008-8	CONCHI EMBALSE	01/09/1967		3.010	7.564.326	538.788
5	02101003-0	LEQUENA	01/11/1973		3.320	7.605.259	535.065
19	02105016-4	LINZOR	01/11/1973		4.100	7.541.388	600.714
20	02105017-2	TOCONCE	01/03/1972		3.310	7.538.221	585.178
21	02105018-0	AYQUINA	01/09/1967		3.031	7.536.512	570.229
23	02105020-2	SALADO EMBALSE	01/10/1975		3.200	7.535.316	582.129
24	02105021-0	CASPANA	01/01/1971	31/12/2008	3.260	7.529.664	581.126
25	02105022-9	EL TATIO	01/06/1977		4.370	7.525.730	601.585
15	02104010-K	CHIU-CHIU	01/08/1974		2.524	7.529.707	537.415
27	02110013-7	CALAMA	01/03/1965		2.300	7.517.389	509.832
31	02113005-2	GUATACONDO DGA	01/09/1977		2.460	7.685.876	495.262
39	02510006-9	SAN PEDRO DE ATACAMA	01/09/1958	31/03/1989	2.450	7.466.710	582.019
33	02500015-3	TOCONAO RETEN	01/01/1975	31/01/1991	2.460	7.434.668	601.376
36	02500019-6	SOCAIRE	01/08/1974		3.251	7.391.031	613.011
37	02500020-K	PEINE	01/11/1974		2.460	7.380.388	596.017
40	02510007-7	RIO GRANDE	01/01/1977		3.250	7.494.705	585.709
45	02710003-1	ANTOFAGASTA	01/01/1978		50	7.389.614	358.510

Fuente: Elaboración propia a partir de la información entregada por la DGA

En el Cuadro 3.2.2.2-4 se presenta el resultado de la estadísitca con relleno de la precipitación de algunas de las estaciones seleccionadas con su variabilidad anual y el promedio climatológico.

Las estadísticas finales corregidas y rellenadas se presentan en el Anexo 3-1 y en los documentos de trabajo adjuntos. Luego, para revisar la homogeneidad de las estadísticas definitivas de los caudales medios anuales, se elaboraron las curvas doble acumuladas de las estadísticas, en función del patrón correspondiente.

CUADRO 3.2.2.2-4
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL ESTACIONES SELECCIONADAS (mm)

AÑO HIDROLÓGICO (MAY-ABR)	OLLAGUE	CEBOLLAR	ASCOTAN	PARSHALL Nº 2	OJOS SAN PEDRO	CHIU-CHIU	CALAMA	GUATACONDO DGA	SAN PEDRO DE ATACAMA	TOCONAO RETEN	SOCAIRE
1960/61									42,8		
1961/62									0,0		
1962/63											
1963/64									0,0		
1964/65									0,0		
1965/66							8,1		10,0		
1966/67							0,0		28,0		
1967/68				5,3			5,1		21,0		
1968/69				7,6			2,0		17,0		
1969/70				0,0	0,0		0,2		17,0		
1970/71				3,0	32,9		0,0		0,0		
1971/72				109,0	101,2		13,5		62,7		
1972/73				24,7	73,3		6,8		68,9	76,0	
1973/74			71,7	7,7	45,0				3,6	48,9	
1974/75	165,8	101,8	137,2	54,5	125,7	5,0			31,0	42,8	
1975/76	150,9	53,8	110,0	13,3	89,1	5,9	3,5		43,5	54,5	71,9
1976/77	130,9	74,1	181,3	81,7	120,6	9,5	10,2		65,5	67,0	75,9
1977/78	73,4	51,5	50,5	10,3	39,5	1,1	1,0	3,4	18,0	15,0	41,0
1978/79	82,3	90,5	90,5	21,5	70,8	8,0	8,6	8,5	15,1	8,0	28,0
1979/80	31,4	15,8	42,5	12,0	92,4	1,5	0,0	1,8	19,0	31,3	34,8
1980/81	82,0	48,5	77,2	24,0	69,5	1,5	0,0	5,1	23,5	64,0	22,0
1981/82	48,0	10,6	13,4	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	11,5
1982/83	32,6	36,5	65,5	24,5	66,3	1,0	1,0	1,0	12,5	8,0	22,6
1983/84	196,0	82,5	132,5	57,9	128,0	15,0	16,2	59,0	18,5	98,1	168,5
1984/85	123,0	65,6	124,4	40,0	165,0	11,0	8,7	31,0	45,0	44,5	91,4
1985/86	121,5	99,5	64,5	37,3	81,0	11,5	2,0	4,0	35,2	71,5	28,5
1986/87	115,5	89,0	120,0	65,8	100,5	22,5	0,4	33,5	60,0	82,6	101,3
1987/88	0,5	20,0	57,5	20,7	28,7	4,0	6,1	4,0	3,5	1,5	14,0
1988/89		16,0	73,1	30,0	48,5	1,0	2,5	3,0	43,4	38,0	40,0
1989/90		1,8	6,2	13,9	15,3	0,0	0,0	3,0	10,7	5,0	7,5
1990/91	130,6	100,4	125,5	21,5	44,5	0,0	0,0	3,0	17,5	44,9	26,4
1991/92	35,4	25,2	30,0	0,0	19,0		0,0	0,0	6,0	7,8	14,0
1992/93	72,3	52,6	64,6	50,6	79,0	6,5	11,5	7,0	31,2	41,2	15,5

CUADRO 3.2.2.2-4
RESUMEN DE RESULTADOS DE DATOS RELLENADOS DE ALGUNAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS
(Continuación)

AÑO HIDROLÓGICO (MAY-ABR)	OLLAGUE	CEBOLLAR	ASCOTAN	PARSHALL Nº 2	OJOS SAN PEDRO	CHIU-CHIU	CALAMA	GUATACONDO DGA	SAN PEDRO DE ATACAMA	TOCONAO RETEN	SOCAIRE
1993/94	36,0	23,6	17,3	32,1	61,5	6,0	0,0	17,0	19,9	27,4	7,8
1994/95	64,1	26,5	32,8	24,2	68,5	0,0	0,0	22,3	24,0	34,2	46,7
1995/96	15,4	8,5	4,5	0,0	0,5	0,0	2,0	2,0	11,5	11,6	7,1
1996/97	130,5	139,4	114,5	61,8	115,5	5,3	5,3	34,0	30,6	46,5	71,5
1997/98	59,4	9,5	52,7	15,5	29,9	6,0	1,3	8,0	20,3	29,2	23,0
1998/99	110,9	72,5	107,8	21,8	92,0	9,0	0,5	4,5	27,1	35,6	23,0
1999/0	48,5	92,5	86,0	54,5	65,5	8,0	1,5	75,8	34,9	61,3	68,0
2000/1	154,5	153,2	175,0	80,9	181,0	22,0	11,5	37,0	78,6	148,5	50,0
2001/2	65,6	75,0	57,5	3,5	35,0	3,5	0,8	16,6	20,8	31,1	36,0
2002/3	43,2	39,5	27,0	24,0	5,4	4,0	3,9	30,0	10,8	11,4	13,0
2003/4	68,1	36,5	48,9	22,0	66,5	10,0	8,0	56,0	11,6	20,2	27,0
2004/5	48,2	63,0	74,4	30,5	51,3	2,9	6,5	132,8	26,9	43,3	13,5
2005/6	71,0	46,0	74,8	5,5	87,6	2,6	1,0	24,5	23,8	32,1	13,0
2006/7	29,5	13,7	10,5	2,5	29,0	0,6	0,0	1,5	7,7	8,5	7,2
2007/8	0,5	5,2	7,4	20,9	16,5	2,5	0,0	23,0	8,8	8,4	4,8
2008/9	0,0	19,3	17,2	8,8	3,0	9,9	0,0	4,5	10,0	11,3	3,8
2009/10	0,0	13,1	10,0	8,0	15,4	2,5	0,2	21,5	10,8	9,8	0,5
2010/11	0,3	42,2	63,1	37,2	48,0	0,0	0,0	7,0	25,6	34,7	83,1
PROMEDIO	64,5	48,2	61,8	26,6	59,9	5,5	2,8	21,0	22,9	35,7	34,3
MAX	196,0	153,2	175,0	80,9	181,0	22,5	16,2	132,8	78,6	148,5	168,5
MIN	0,0	1,8	4,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,5

Fuente: Elaboración propia

b) Curvas Doble Acumuladas

Usualmente las estaciones meteorológicas y fluviométricas que han estado midiendo durante décadas tienen errores de medición, tanto por periodos de tiempo donde el instrumento no experimentó una adecuada mantención y/o calibración, como por cambios en la localización de los sensores. Es por esto que un análisis previo de la información registrada es útil para la confiabilidad de los datos. El detalle del procedimiento y los resultados con los gráficos correspondientes se encuentran en el Anexo 3-1.

c) Análisis de Ajuste de Frecuencias

Luego del relleno de información en escala mensual y de la verificación de las CDA, se realiza un ajuste de Frecuencia para cada una de las estaciones seleccionadas. Con este análisis se logra estimar las precipitaciones con diferente probabilidad de excedencia.

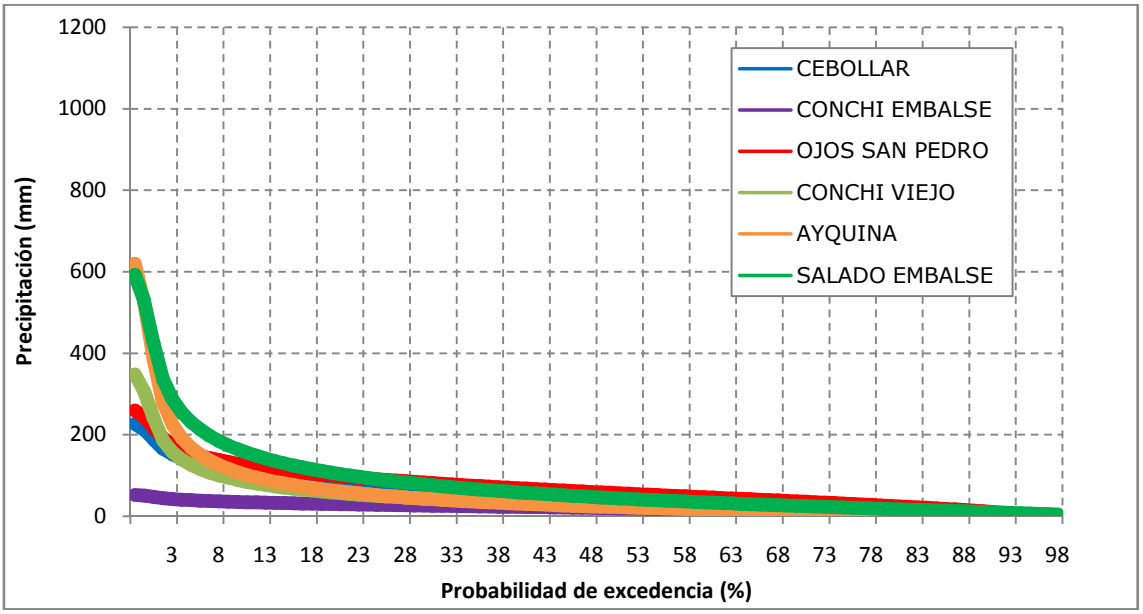
Entonces las estadísticas definitivas de precipitaciones medias anuales, fueron sometidas a un análisis de frecuencia, con el fin de determinar las precipitacionescon probabilidades de excedencia del 0,3%, 1%, 5%, 20%, 50%, 70%, 85%, 95% y 98% ajustando las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson III, Log Normal y Log Pearson III, en el caso que corresponda a cada una. El detalle del procedimiento los resultados y gráficos está en el Anexo 3-1.

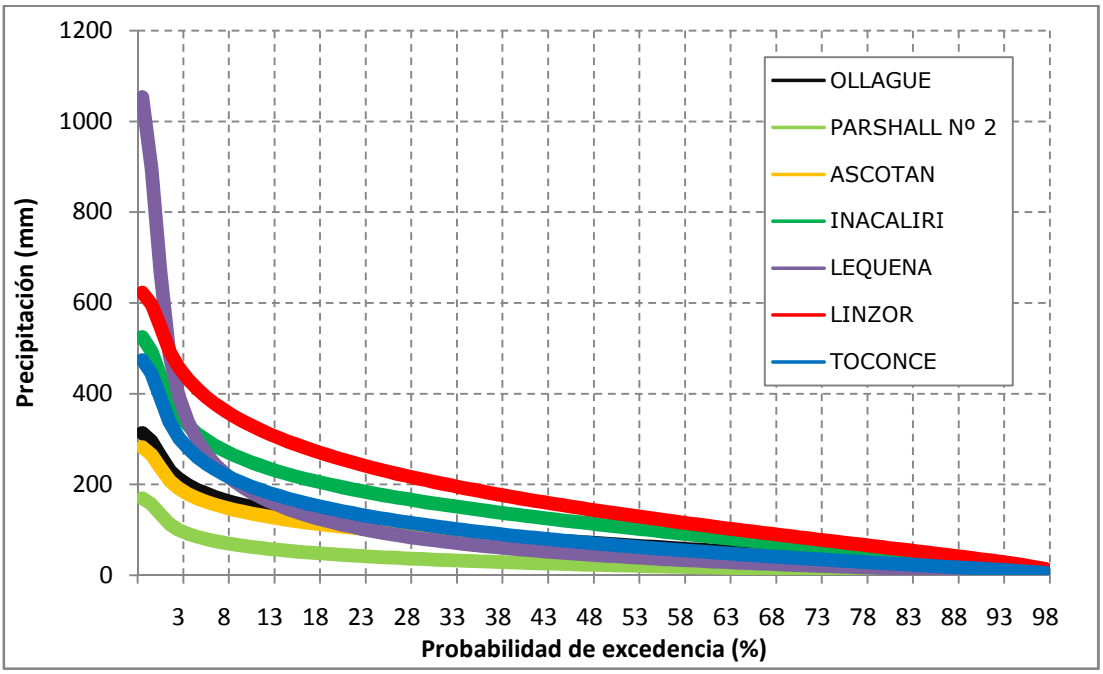
De todo lo anteriormente realizado, se logra entonces conseguir las Curvas de Duración de la precipitación media anual de las estaciones seleccionadas. En la Figura 3.2.2.2-2 se muestran las Curvas de Duración de las estaciones de la región. Con esta información se logra entonces caracterizar pluviométricamente la zonas controladas de la región de Antofagasta y así también tener una herramienta (como las Curvas de Duración) que logren predecir ciertos comportamientos de la precipitación con alguna probabilidad de excedencia en sus valores promedio.

De las estaciones analizadas, se ve y se verá en el Acápite de Balance hídrico que hay 5 estaciones (Lequena, Ollagüe, Caspana, Ayquina y Toconce) que presentan problemas en sus valores medios. Estos problemas se identifican por la gran diferencia en los promedios obtenidos en este estudio y los que se han presentado anteriormente. Para verificar estas diferencias, y la consistencia de los datos, se presenta en el mismo Anexo 3-1 en el archivo denominado "EstPluvio c_problemas.xlsx" donde se presenta la serie temporal de precipitaciones anuales mas los promedios publicados en el Balance Hídrico Nacional del año 1987 y en el costado derecho las Curvad Doble Acumuladas de cada una. De esta información se puede verificar que no hay casos evidentes de errores en la toma de datos históricos. Solo se puede ver en algunas de las estaciones la curva no es perfectamente recta, pero en ningun caso se identifica algun quiebre claro o desplazamiento no despreciable de la recta.

De los análisis recién realizados con la información de las estaciones meteorológicas se vio que: Las estaciones pluviométricas abarcan una mayor cobertura espacial y temporal desde la década de 1970, siendo las últimas dos décadas las con mejor continuidad de los datos observados. Se eligieron 24 de las 50 estaciones disponibles para el procesamiento de datos. Se observa del resultado que las estaciones de Ollague, Ascotan y Ojos San Pedro son las que muestran mayor precipitación media anual de 64,5 61,8 y 59,9 respectivamente. A su vez se destacan ciertos años donde se identifican periodos húmedos para toda laparte alta de la región, como es son los últimos años hidrológicos (Mayo-Abril) del: 1996/97, 2000/01, 2003/04 y 2010/11 entre otros.

FIGURA 3.2.2.2-2
CURVAS DE DURACIÓN: PRECIPITACIÓN ANUAL EN LAS ESTACIONES QUE PASAN EL TEST X^2





Fuente: Elaboración propia

El análisis de las Curvas Doble Acumuladas (CDA), muestran que para la mayoria de las estaciones el resultado de las CDA es aceptable, salvo algunas estaciones

con problemas evidentes, estas son: Guatacondo, Calama, Conchi Viejo y Peine, donde se ve que las curvas CDA tienen cambios en las pendientes y traslación de sus rectas. Para conocer con certeza y corregir estos errores, se hace necesario un estudio específico del historial de las estaciones y sus registros, lo que se podría encontrar en las bitácoras de las estaciones DGA.

Las Curvas de Duración muestran un comportamiento similar en todas las estaciones de precipitación, aunque se puede notar una mayor precipitación para probabilidades de excedencia pequeñas en la estación de Lequena y una precipitación menor al promedio para la estación de Conchi Embalse en probabilidades de excedencia pequeñas.

3.2.2.3. Fluviometría

a) Selección de Datos

En lo que sigue se detalla el trabajo que se realizó para analizar las series de caudales de las estaciones fluviométricas en la región de Antofagasta. Para conocer la información disponible, se identificaron los nombres, códigos BNA y localización de las estaciones entregadas por la DGA a la fecha. En el Cuadro 3.2.2.3-1 se muestran todas las estaciones recopiladas.

CUADRO 3.2.2.3-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CON INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Nº	Nombre de la Estación	Código BNA	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)	Altura (m.s.n.m.)
1	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	02101001-4	7.605.197	534.950	3.315
2	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	02103001-5	7.570.727	565.449	3.700
3	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)	02103002-3	7.573.426	550.371	3.318
4	RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL	02103003-1	7.574.048	548.222	3.320
5	RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB	02103014-7	7.565.684	600.440	4.000
6	RIO LOA EN CONCHI	02104001-0	7.568.412	540.605	3.010
7	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	02104002-9	7.564.018	539.132	2.950
8	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"2	02104003-7	7.569.795	540.523	2.932
9	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"1	02104004-5	7.569.980	540.609	2.975
10	RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA(DOH)	02104013-4	7.570.195	540.438	2.950
11	RIO SALADO A. J. CURTI	02105001-6	7.536.045	578.012	3.080
12	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	02105002-4	7.534.956	567.504	2.980

CUADRO 3.2.2.3-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CON INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)

Nº	Nombre de la Estación	Código BNA	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)	Altura (m.s.n.m.)
13	RIO SALADO A. J. LOA	02105005-9	7.526.665	536.865	2.500
14	RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS	02105007-5	7.536.667	588.204	S/D
15	VERTIENTE TURI TURI	02105008-3	7.541.630	574.117	S/D
16	RIO LOA EN ESCORIAL	02110001-3	7.518.218	511.462	2.450
17	RIO LOA EN YALQUINCHA	02110002-1	7.517.664	512.605	2.300
18	RIO LOA EN CHINTORASTE	02110003-K	7.511.488	502.342	2.200
19	RIO LOA EN FINCA	02110004-8	7.511.120	501.142	2.100
20	RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	02110007-2	7.523.201	445.672	1.238
21	RIO LOA EN QUILLAGUA	02112001-4	7.605.787	444.811	802
22	CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA	02112002-2	7.606.523	444.263	910
23	RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA	02112005-7	7.598.875	446.559	950
24	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR (CHACANCE)	02112006-5	7.523.630	445.441	1.238
25	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)	02112007-3	7.529.060	441.818	1.240
26	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE	02113001-K	7.685.196	512.130	1.850
27	RIO LOA EN DESEMBOCADURA	02120001-8	7.630.449	390.803	0
28	RIO VILAMA EN VILAMA	02500001-3	7.470.975	583.780	2.550
29	CANAL AGUAS BLANCAS	02500002-1	7.425.937	600.918	2.415
30	CANAL TULAN EN TILOMONTE	02500003-K	7.368.734	590.873	2.450
31	CANAL VILAMA EN VILAMA	02500004-8	7.470.634	584.206	2.550
32	CANAL CUNO EN SOCAIRE	02500005-6	7.388.227	617.637	3.600
33	CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	02500006-4	7.367.957	592.170	4.000
34	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	02510001-8	7.475.873	582.268	2.585

Fuente: Elaboración propia, en base a la información del Banco Nacional de Aguas, DGA

De estas estaciones se obtuvo el caudal medio mensual, para el análisis estadístico de la oferta de agua en distintos puntos de la cuenca. La información se acotó a los últimos 50 años; desde 1960 a 2011.

Después de revisar las distintas estaciones y analizar cuáles de éstas contenían una estadística más extensa, completa, y espacialmente eran significativas, fueron seleccionadas para los análisis posteriores, las que se muestran en el Cuadro 3.2.2.3-2 y se representan en la Figura 3.2.2.3-1.

CUADRO 3.2.2.3-2
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS

Nombre	BNA	Altura (m.s.n.m.)	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)	Instalación	supresión	Área (km²)
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	02101001-4	3315	7.605.197	534.950	01-07-1967		2.010
RIO LOA EN DESEMBOCADURA	02120001-8	0	7.630.449	390.803	01-10-1989		32.820
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	02103001-5	3700	7.570.727	565.449	01-01-1968		1.060
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)	02103002-3	3318	7.573.426	550.371	01-11-1967		1.150
RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	02104002-9	2950	7.564.018	539.132	01-10-1977		S/D
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	02105002-4	2980	7.534.956	567.504	01-03-1975		770
RIO LOA EN YALQUINCHA	02110002-1	2300	7.517.664	512.605	01-06-1947		9.770
RIO LOA EN CHINTORASTE	02110003-K	2200	7.511.488	502.342	01-05-1958	23-03-1972	10.500
RIO LOA EN QUILLAGUA	02112005-7	950	7.598.875	446.559	01-10-1998		S/D
RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE	02113001-K	1850	7.685.196	512.130	01-12-1977		0
RIO VILAMA EN VILAMA	02500001-3	2550	7.470.975	583.780	01-01-1976		0
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	02510001-8	2585	7.475.873	582.268	01-06-1947		933

Fuente: Elaboración propia, en base a la información del Banco Nacional de Aguas, DGA

Las estadísticas de caudales medios mensuales de las 12 estaciones seleccionadas se analizaron con el fin de generar las estadísticas para hacer posible, posteriormente, la cuantificaciónde de la disponibilidad hídrica superficial. El detalle de los datos utilizados se presenta en el Anexo 3-2. En el Cuadro 3.2.2.3-3 es posible apreciar la disponibilidad de registros anuales en todas las estaciones fluviométricas disponibles a lo largo del periodo de estudio. Las estadísticas observadas de las distintas estaciones, proporcionadas por la Dirección General de Aguas, se encuentran en formato digital en el Anexo 3-2 del presente informe. En el Cuadro 3.2.2.3-4 se presenta el resultado de los caudales de algunas de las estaciones seleccionadas con su variabilidad anual y el promedio climatológico.

Un procedimiento más detallado debiera contar con un relleno y corrección de datos, para luego analizar las curvas doble acumuladas y finalmente estimar el mejor ajuste de frecuencia a los caudales con diferente probabilidad de excedencia. Este procedimiento sería posible si se pudiera disponer de las estadísticas en régimen natural.

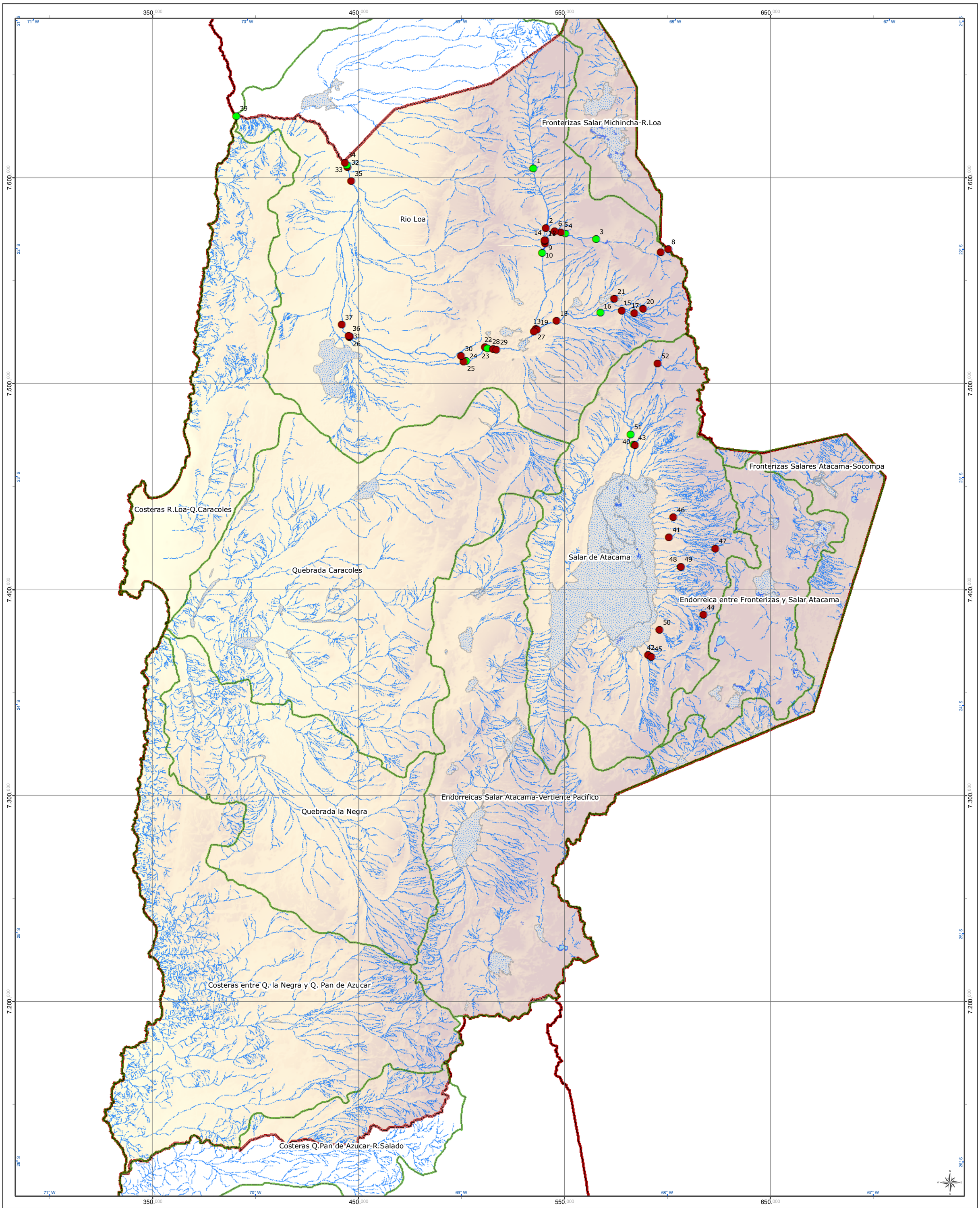
.

CUADRO 3.2.2.3-3
INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA DISPONIBLE

Estación/Año hidrológico	1960										1970										1980										1990										2000										2010	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA								7	2	c	6	9	2	3	4	a	9	c	c	9	b	c	c	b	c	b	a	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	3	c	c	c	c	c	c	c	b	c	8
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1								3	b	b	c	b	c	8	b	0	0	0	0	0	0	0	4	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	7
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)								4	b	0	4	c	c	9	c	9	0	a	c	c	b	c	c	c	b	c	5	b	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	6
RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL																				5	a	c	c	c	c	5	c	c	c	1																						
RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB																																									c	c	c	c	c	c	c	c	a	a	6
RIO LOA EN CONCHI	a	c	9	c	c	b	8	c	a	9	c	c	c	c	c	a																																				
RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI																	1	5	c	c	c	c	c	c	c	c	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	4	b	c	c	c	c	c	c	c	c	8
RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"2																				7	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	1						
RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"1																		4	c	6																															
RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA (DOH)																																													c	b	a	9	7	5
RIO SALADO A. J. CURTI																3	b	b	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	b	c	c	1
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA																c	8	c	c	c	c	c	c	c	c	a	0	0	4	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	2	c	c	8
RIO SALADO A. J. LOA																																													7	c	c	b	c	c	c	c	a	
RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS																							4	b	c	c	2	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	0	3	c	c	a	b	c	7	9	6	6
VERTIENTE TURI TURI																					a	6																															
RIO LOA EN ESCORIAL					c	c	b	5	4	8	a	c	c	3	8	c	8	2																												b	a	c	c	c	b	5	7
RIO LOA EN YALQUINCHA	b	b	c	c	a																			c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	0	b	a	c	c	c	c	b	3		
RIO LOA EN CHINTORASTE	b	b	b	b	c	c	a	b	8	c	c	c	1																																							
RIO LOA EN FINCA												9	5	0	4	b	a	9	c	c	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	4		3	8
RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR																								3	7																											
RIO LOA EN QUILLAGUA	5	8	c	c	b	a	c	4	9	b	c	c	c																																							
CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA																		5	b	b	4	b	6	a	c	9	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	3										
RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA																																									5	c	c	0		8	c	c	c	c	9	c	c	8
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR (CHACANCE)																									4	b	2																5	c	c	c	c	c	c	9	b	b	7
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)																																			c	c	c	c	c	c	c	1	0	2	c	c	c	c	3	c	b	7
RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE																		1	b	c	c	c	c	a	b	c	c	b	b	b	c	b	3		3	2		2	4	1	3	b	9	b	c	b	c	9	6	b	c	7
RIO LOA EN DESEMBOCADURA																														5	c	b	c	c	c	c	c	c	b	c	1	a	c	c	c	c	c	7	b	7	1
RIO VILAMA EN VILAMA											c	2				8	8	c	a	7	c	6	b	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	7
CANAL AGUAS BLANCAS																	a	a	b	7	0	3									7	c	c	c	a	c	c	c	c	2										
CANAL TULAN EN TILOMONTE																	6													a	b	c	c	b	c	9	9	6	b	6										
CANAL VILAMA EN VILAMA																8	a	c	a	7	c	5	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	5
CANAL CUNO EN SOCAIRE																													4	a	5	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	7
CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA																																					b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	5	c	8
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	c	c	8	8	c	c	8	4	8	9	b	4	0	0	0	2	9	3	c	c	c	b	3	c	c	a	b	c	c	b	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	a	c	c	b	b	c	b	7	c	b	4

* Año hidrológico de abril a marzo
a, b, c : año con 10, 11,12 meses de información, respectivamente.
1,2,..9 : número de meses con información.

Fuente: Elaboración propia, en base a la información del Banco Nacional de Aguas, DGA



LEYENDA

Red de Medición Fluviométrica

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA
2	02102001-K	RIO LOA EN QUEBRADA QUINCHAMALE
3	02103001-5	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1
4	02103002-3	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2 (BT. CHILEX)
5	02103003-1	RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL
6	02103004-K	RIO SAN PEDRO EN SAN PEDRO
7	02103013-9	RIO SILOLI ANTES REPRESA INACALIRI
8	02103014-7	RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB
9	02104001-0	RIO LOA EN CONCHI
10	02104002-9	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI
11	02104003-7	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°2
12	02104004-5	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°1
13	02104005-3	RIO LOA ANTES JUNTA RIO SALADO
14	02104013-4	RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA(DOH)
15	02105001-6	RIO SALADO A. J. CURTI
16	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA
17	02105003-2	RIO SALADO ANTES REPRESA CHILEX
18	02105004-0	RIO SALADO ANTES JUNTA RIO YALQUI
19	02105005-9	RIO SALADO A. J. LOA
20	02105007-5	RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS
21	02105008-3	VERTIENTE TURI TURI
22	02110001-3	RIO LOA EN ESCORIAL
23	02110002-1	RIO LOA EN YALQUINCHA
24	02110003-K	RIO LOA EN CHINTORASTE
25	02110004-8	RIO LOA EN FINCA
26	02110007-2	RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
27	02110008-0	RIO LOA DESPUES JUNTA RIO SALADO (CA)
28	02110009-9	CANAL YALQUINCHA O.D. N* 1
29	02110010-2	CANAL YALQUINCHA O.I. N* 2
30	02111001-9	VERTIENTES OJOS DE OPACHE
31	02111002-7	RIO SAN SALVADOR ANTES JUNTA RIO LOA
32	02112001-4	RIO LOA EN QUILLAGUA
33	02112002-2	CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA
34	02112003-0	RIO LOA EN PANAMERICANA
35	02112005-7	RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA
36	02112006-5	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR (CHACANCE)
37	02112007-3	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)
38	02113001-K	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE
39	02120001-8	RIO LOA EN DESEMBOCADURA
40	02500001-3	RIO VILAMA EN VILAMA
41	02500002-1	CANAL AGUAS BLANCAS
42	02500003-K	CANAL TULAN EN TILOMONTE
43	02500004-8	CANAL VILAMA EN VILAMA
44	02500005-6	CANAL CUNO EN SOCAIRE
45	02500006-4	CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA
46	02500007-2	QUEBRADA DE JEREZ
47	02500008-0	QUEBRADA DE TALABRE EN TUMBRE
48	02500009-9	QUEBRADA DE CAMAR - VERTIENTE 1
49	02500010-2	QUEBRADA DE CAMAR - VERTIENTE 2
50	02500011-0	VERTIENTE PEINE EN PEINE
51	02510001-8	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI
52	02510003-4	RIO JAUNA DESPUES DE JUNTA PUTANA

SIMBOLOGÍA

Otras

Seleccionada

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1

Límite Regional

Límite Cuencas

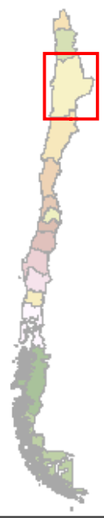
Ríos

Esteros

Quebradas

Lagos, Lagunas, Embalses

Salares



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE MEDICIÓN DE FLUVIOMETRÍA SELECCIONADA

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Temática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA: 3.2.2.3-1

CUADRO 3.2.2.3-4
RESUMEN DE CAUDALES MEDIO ANUALES Y VALORES MEDIOS DE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS (m^3/s)

AÑO HIDROLÓGICO (MAY-ABR)	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	RIO LOA EN DESEMBOCADURA	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	RIO LOA EN YALQUINCHA	RIO LOA EN CHINTORASTE	RIO LOA EN QUILLAGUA	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE	RIO VILAMA EN VILAMA	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI
1965/66								0,99	0,86			
1966/67								0,70	0,69			
1967/68								0,98				
1968/69			1,06	1,11				1,13	0,93			0,83
1969/70			0,82					0,99	0,84			0,75
1970/71			0,78					0,88	0,61			0,89
1971/72			0,81	0,87				1,28	0,88		0,24	
1972/73			0,75	0,82					0,61			
1973/74			0,73	0,82								
1974/75			0,73	0,86								
1975/76				0,74		0,61						
1976/77						0,57						
1977/78				0,66		0,43					0,27	
1978/79				0,82	0,96	0,43				0,03	0,22	0,69
1979/80				0,97	0,93	0,44				0,03	0,23	0,74
1980/81				0,88	0,89	0,53				0,02	0,23	0,76
1981/82				0,78	0,84	0,49				0,02	0,21	0,70
1982/83				0,81	0,91	0,33				0,01	0,20	
1983/84			0,82	0,82	1,33	0,48	1,65			0,02	0,19	0,83
1984/85			0,76	0,84	1,06	0,48	1,88			0,03	0,18	0,73
1985/86			0,80	0,79	0,92	0,37	1,59			0,04	0,17	0,76
1986/87			0,89	0,85	1,17		1,73			0,02	0,18	0,75
1987/88			0,88	0,86	0,89		1,64			0,03	0,20	0,75
1988/89			1,03	0,95	0,68		1,67			0,01	0,20	0,69
1989/90	0,54	0,14	0,97	0,91	0,67	0,34	1,23			0,01	0,19	0,76
1990/91	0,57	0,21	0,94	0,87	0,60	0,36	1,23			0,01	0,17	0,68
1991/92	0,57	0,24	1,14	0,97	0,65	0,33	1,27			0,01	0,17	0,65
1992/93	0,61	0,24	1,04	0,96	0,56	0,29	1,27				0,15	0,66
1993/94	0,61	0,17	1,16	1,13	0,59	0,32	1,25				0,15	0,62
1994/95	0,53	0,19	1,17	1,06	0,62	0,41	1,43				0,16	0,67
1995/96	0,58	0,29	1,19	1,13	0,55	0,41	1,02				0,11	0,56

CUADRO 3.2.2.3-4
RESUMEN DE CAUDALES MEDIO ANUALES Y VALORES MEDIOS DE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS (m^3/s)
(Continuación)

AÑO HIDROLÓGICO (MAY-ABR)	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	RIO LOA EN DESEMBOCADURA	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	RIO LOA EN YALQUINCHA	RIO LOA EN CHINTORASTE	RIO LOA EN QUILLAGUA	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE	RIO VILAMA EN VILAMA	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI
1996/97	0,60	0,23	0,96	0,97	0,58	0,44	1,13				0,09	0,75
1997/98	0,61	0,25	0,98	1,02	0,59	0,38	1,20				0,13	0,62
1998/99	0,63	0,21	1,08	1,07	0,56	0,50	1,18				0,10	0,64
1999/0	0,72	0,68	1,16	1,24	0,64	0,58	1,32				0,10	0,66
2000/1	1,01	1,02	1,21	1,14	0,86	0,62	1,52				0,13	1,84
2001/2			1,21	1,20	0,83	0,61	1,54			0,04	0,14	0,58
2002/3	0,52	0,22	1,19	1,20	0,73	0,42	1,41			0,02	0,12	0,70
2003/4	0,58	0,23	1,07	1,03	0,82	0,58	1,50			0,01	0,17	0,74
2004/5	0,55	0,22	0,98	1,03	0,76	0,45	1,51			0,02	0,20	0,66
2005/6	0,60	0,35	1,02	1,00	0,72	0,69	1,65			0,03	0,11	0,62
2006/7	0,51	0,27	1,07	1,03	0,65	0,41	1,52			0,03	0,13	0,58
2007/8	0,49	0,16	1,12	1,14	0,47	0,63	1,44			0,01	0,11	0,72
2008/9	0,43	0,20	1,09	1,04	0,46		1,32			0,01	0,14	0,55
2009/10	0,41	0,23	1,10	1,05	0,49	0,41				0,01	0,12	0,63
2010/11	0,40	0,37	1,13	1,08	0,49	0,59				0,01	0,07	0,64
PROM	0,6	0,3	1,0	1,0	0,7	0,5	1,4	1,0	0,8	0,0	0,2	0,7
DESV	0,13	0,20	0,16	0,14	0,21	0,11	0,21	0,18	0,13	0,01	0,05	0,21
MAX	1,0	1,0	1,2	1,2	1,3	0,7	1,9	1,3	0,9	0,0	0,3	1,8

*: Para las estaciones de RIO LOA EN CHINTORASTE y RIO LOA ANTES ZONA AGRÍCOLA QUILLAGUA se presenta el promedio de los años en que hay mediciones, y no de los últimos 30 años.

Fuente: Elaboración propia

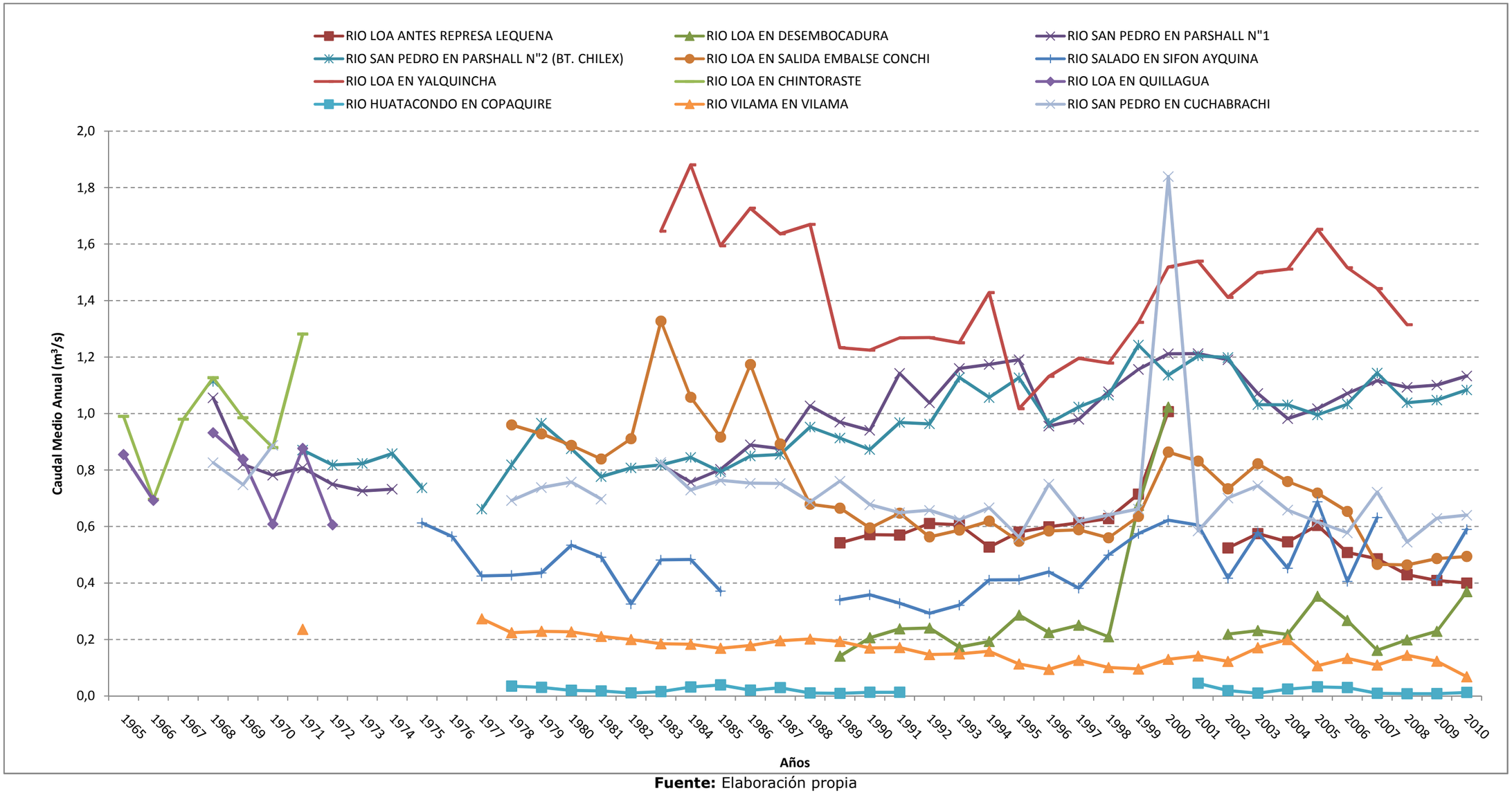
b) Análisis de las Series de Tiempo

Una forma de caracterizar los caudales de las estaciones fluviométricas seleccionadas, se presenta en la Figura 3.2.2.3-2, que muestra las series de tiempo del caudal medio anual de cada una de las 12 estaciones; donde se nota que el caudal actual registrado en la región fluctua entre 0,01 y 2 m^3/s siendo la estación de Guatacondo en Coparique la con menor magnitud promedio y la estación de Loa en Yalquincha con la mayor magnitud promedio.

En cuanto a la tendencia a lo largo de los años se ve tanto estaciones con aumento del caudal promedio, como con valores constantes y con disminucion. No se puede generalizar una tendencia para las estaciones. Por otra parte, se nota que los caudales tienen variaciones año por año, lo que podría deberse tanto por la variabilidad natural de los aportes al caudal de precipitación y derretimiento de nieve, como por las actividades de extracción en cada una de las fuentes de agua. Para lograr identificar e interpretar estos cambios de caudales a nivel anual, se hace necesario revisar en detalle la historia de cada estación y conociendo las extracciones (localización, caudal, serie temporal, etc.).

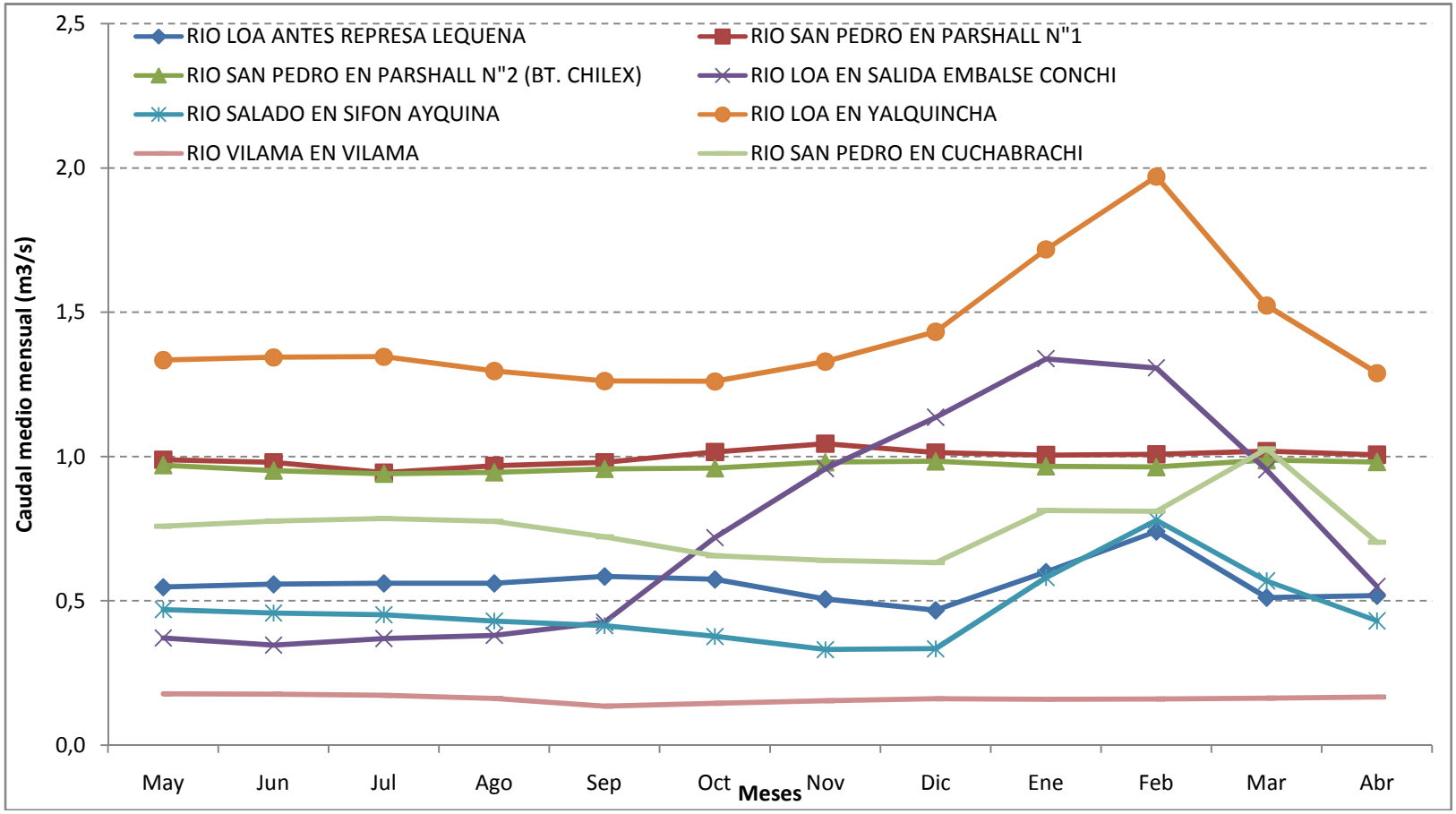
Por otra parte, se presenta en las Figuras 3.2.2.3-3 y 3.2.2.3-4 los hidrogramas de los caudales medios mensuales promedio de los 47 últimos años. En la Figura 3.2.2.3-3 se presentan las estaciones con régimen pluvial (afectados por el invierno Altiplánico), con sus máximos promedio en verano. En la Figura 3.2.2.3-4 se presentan las estaciones con sus máximos de caudales medios en invierno, que obedecen tambien a un régimen pluvial pero de lluvias invernales.

FIGURA 3.2.2.3-2
SERIE TEMPORAL DE CAUDALES MEDIOS ANUALES EN LAS 12 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS



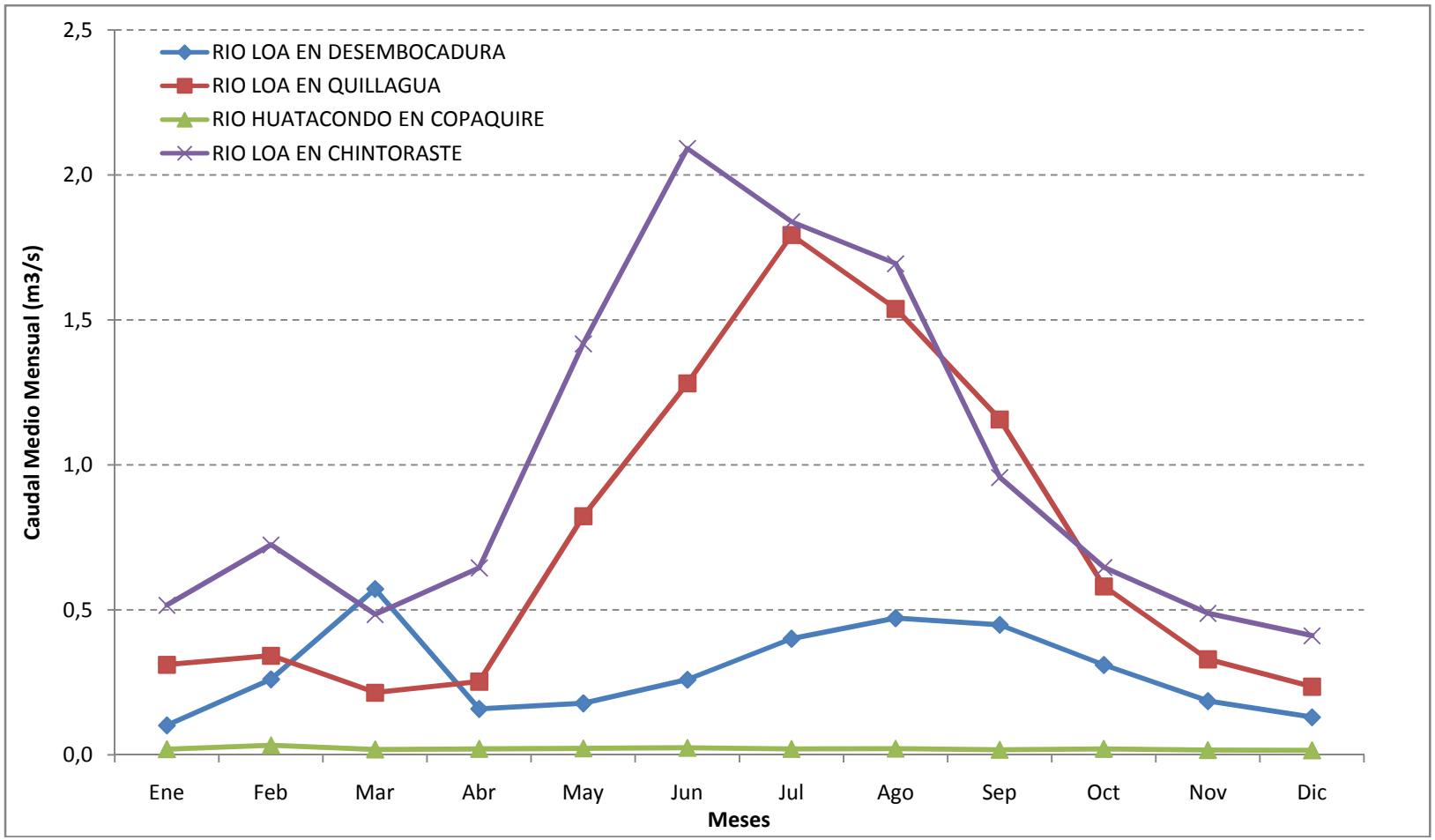
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.2.2.3-3
PROMEDIO EN 47 AÑOS DE LA SERIE TEMPORAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN 8 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.2.2.3-4
PROMEDIO EN 47 AÑOS DE LA SERIE TEMPORAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN 4 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS



Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4. Conclusiones Caracterización Recursos Hídricos Superficiales

El diagnóstico de la disponibilidad hídrica superficial representada mediante la precipitación y el caudal ha mostrado en esta región lo siguiente:

- Las estaciones pluviométricas abarcan una mayor cobertura espacial y temporal desde la década de 1970, siendo las últimas dos décadas las con mejor continuidad de los datos observados.

- Se eligieron 24 de las 50 estaciones disponibles para el procesamiento de datos. Se observa del resultado que las estaciones de Ollague, Ascotan y Ojos San Pedro son las que muestran mayor precipitación media anual de 64,5 mm, 61,8 mm, y 59,9 mm, respectivamente. A su vez se destacan ciertos años donde se identifican periodos húmedos para toda laparte alta de la región, como son los últimos años hidrológicos (Mayo-Abril) de los años: 1996/97, 2000/01, 2003/04 y 2010/11 entre otros.

- El análisis de las Curvas Doble Acumuladas (CDA), muestran que para la mayoría de las estaciones el resultado de las CDA es aceptable, salvo algunas estaciones con problemas evidentes, estas son: Guatacondo, Calama, Conchi Viejo y Peine, donde se ve que las curvas CDA tienen cambios en las pendientes y traslación de sus rectas. Para conocer con certeza y corregir estos errores, se hace necesario un estudio específico del historial de las estaciones y sus registros, lo que se podría encontrar en las bitácoras de las estaciones DGA. Lo anterior corresponde a un estudio detallado que escapa de los alcances de este estudio.

- Las Curvas de Duración muestran un comportamiento similar en todas las estaciones pluviométricas, aunque se puede notar una mayor precipitación para probabilidades de excedencia bajas en la estación de Lequena y una precipitación menor al promedio para la estación de Conchi Embalse en probabilidades de excedencia bajas.

- Para el análisis fluviométrico se dispone de 34 estaciones de las cuales se eligieron 12 para el análisis de estadísticas. Estas estaciones muestran un aumento en la continuidad y cantidad de información registrada a lo largo de los años, lo que entrega mayor confiabilidad en los datos para calcular la disponibilidad de agua.

- El análisis de las series temporales de caudales entrega un acercamiento a la caracterización del estado actual de los cauces superficiales en la región. La mayor parte de las estaciones muestran un régimen pluvial dominado por las precipitaciones de verano en la parte alta.

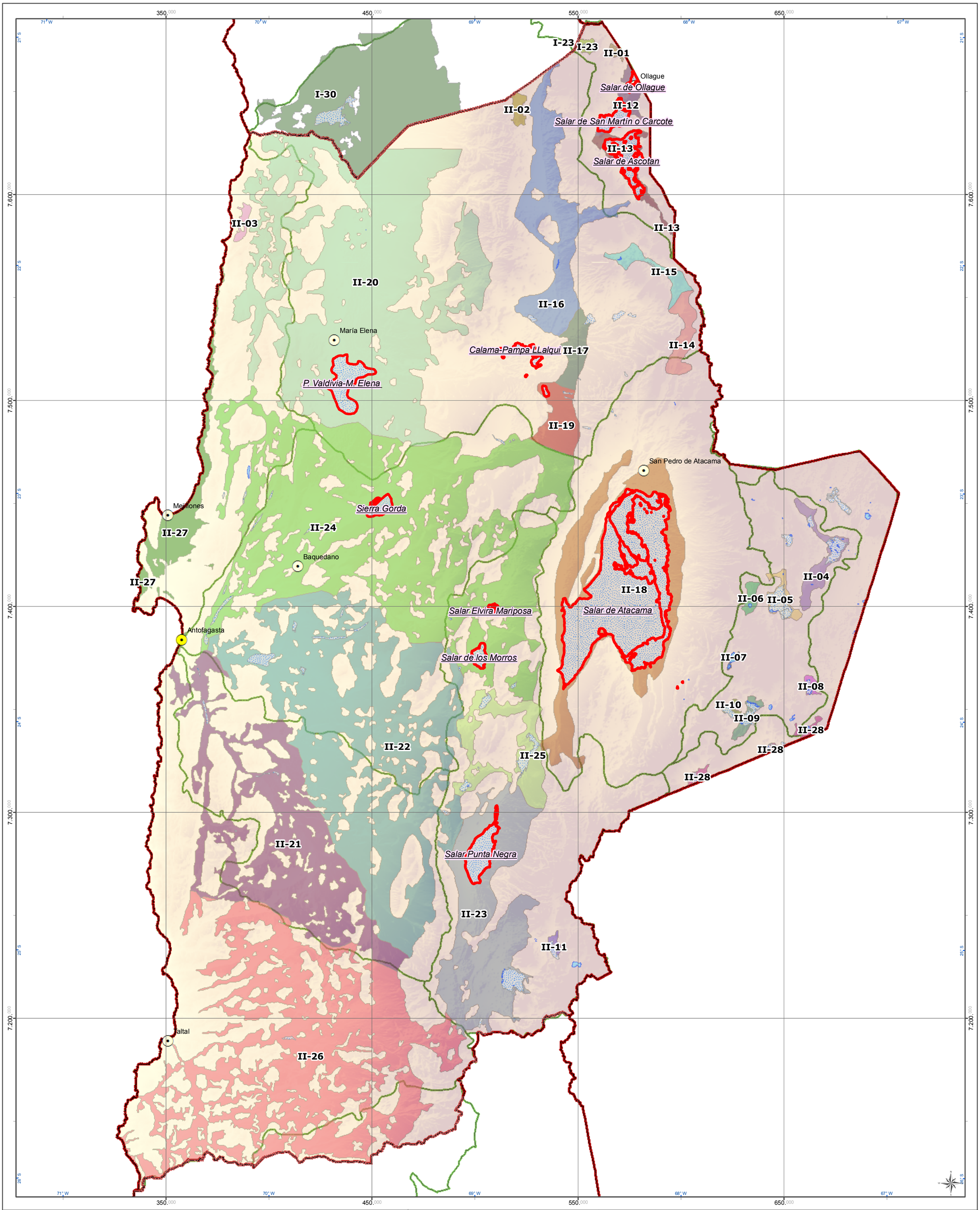
- Un adecuado análisis de frecuencia de los caudales hace necesario llevar los gastos medidos a régimen natural, para lo cual se requeriría un estudio más detallado, ya sea conociendo en detalle las extracciones o bien mediante modelación.

El diagnóstico de la disponibilidad de recursos hídricos muestra que la región tiene varias estaciones operando normalemente hace más de 3 décadas para la situación promedio del sistema.

3.2.3. Caracterización de Recursos Subterráneos

3.2.3.1. Generalidades

En esta sección del informe se presenta una carectización de los recursos subterráneos de la región, partiendo por una caracterización de los principales acuíferos de la región, los que se ubican según se muestra en la Figura 3.2.3.1-1.



LEYENDA

CÓDIGO ACUÍFERO	NOMBRE
I-23	Salar de Alconcha
I-30	Salar de Llamara
II-01	SN
II-02	Pampa Puno
II-03	Costa Interior Punta del Urcu-Cabo Paquica
II-04	Salar de Loyoques
II-05	Salar de Aguas Calientes
II-06	Laguna LejÝa
II-07	Laguna Miscanti
II-08	Salar El Laco
II-09	Salar de Talar
II-10	Salar de Capur
II-11	Salar Pajonales
II-12	Salar de Carcote

CÓDIGO ACUÍFERO	NOMBRE
II-13	Salar de Ascotßn
II-14	TatÝo
II-15	RÝo Incaliri
II-16	RÝo Loa
II-17	Pampa Llalqui-RÝo Salado
II-18	Salar de Atacama
II-19	Llano del Quimal
II-20	RÝo Loa-Salar de Llamara
II-21	II Reg. Dep. Int. Centro-Sur
II-22	II Reg. Dep. Int. Centro
II-23	Salar de Punta Negra
II-24	II Reg. Dep. Int. Centro-Norte
II-25	Salares
II-26	II Reg. Dep. Int. Sur
II-27	Costa Tocopilla-Antofagasta
II-28	Frontera Oriente

SIMBOLOGÍA

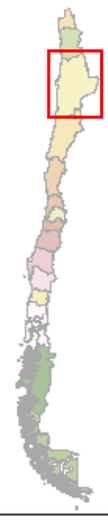
- Sectores estudio 2005
- Límite Regional
- Capital regional
- Capitales comunales
- Límite Cuencas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ACUÍFEROS SIIR Y ZONAS DE ACUÍFEROS ESTUDIO DGA AÑO 2005

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
RESOLUCIÓN D.G.A. Nº 529
DEL AÑO 2003

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 3.2.3.1-1

3.2.3.2. Antecedentes de las Aguas Subterráneas

El flujo de las aguas subterráneas de la región, en general, se puede decir que escurre de este a oeste, desde la zona de recarga en los volcanes hacia la Cordillera Media.

La zona de recarga de aguas subterráneas es un gran cinturón de lavas andesíticas, riolitas, ignimbritas y tufts, con dirección norte-sur a lo largo de las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes. Las lavas e ignimbritas parecen ser el medio principal de transmisión del agua de recarga a través de fisuras y rajaduras. La Cordillera Media, que forma las estribaciones occidentales de las cuencas, consiste en roca sedimentaria plegada y lavas de poca o nula conductividad.

Las áreas de descarga de aguas subterráneas incluyen principalmente:

- Los ríos de la cuenca del Río Loa y la franja oriental del Salar de Atacama.
- En los salares, vegas y playas, la descarga de agua subterránea es a través de evaporación de las superficies freáticas y transpiración de las plantas. Además, los salares tienen generalmente pequeñas lagunas que están orientadas en forma transversal a la dirección del flujo de agua subterránea. De las vegas, solamente Ojos de San Pedro tiene lagunas; algunas aparecen en la vega de Chiu-Chiu, pero éstas parecen estar relacionadas a una formación de tipo kárstico.

El área entre la zona de recarga y la zona de descarga está formada por arenas y gravas entremezcladas con acuitardos de ignimbritas, arcillas y cenizas volcánicas. Estas zonas son los principales acuíferos, y alcanzan generalmente varios cientos de metros de espesor.

3.2.3.3. Unidades Hidrogeológicas

En el estudio "Desarrollo de los Recursos de Agua en el Norte Grande", desarrollado por Harza Enginieering para las Naciones Unidas en el año 1978, se identificaron cuatro clases principales de unidades hidrogeológicas que fueron mapeadas para la Segunda Región. Las subdivisiones están basadas en el grado y tipo de conductibilidad hidráulica. La subdivisión primaria comprende dos grupos de rocas: rocas no consolidadas las cuales tienen permeabilidad primaria; rocas consolidadas con permeabilidad en la forma de poros entre granos de los sedimentos consolidados y con permeabilidad secundaria en la forma de fracturas (resultado de efectos tectónicos o a contracción durante el enfriamiento de coladas de lava).

Las clases definidas se incluyen en el Cuadro 3.2.3.3-1.

La conductibilidad hidráulica aumenta desde la "clase A" a la "clase D". La conductibilidad hidráulica para los sedimentos no consolidados es mucho mayor que en las rocas consolidadas. Asimismo, para las rocas consolidadas la conductibilidad hidráulica se reduce con la profundidad; por el contrario, para rocas no consolidadas no hay relación general de la conductibilidad hidráulica con la profundidad

CUADRO 3.2.3.3-1
UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Clase	Descripción
A	Rocas Consolidadas y Fracturadas
B	Rocas pre-Terciario Superior que consisten en rocas sedimentarias y lavas, deformadas por los ciclos orogénicos, más intrusivos graníticos asociados con estos ciclos. Lavas e ignimbritas post-Terciario Superior, las cuales no han sido deformadas por orogénesis, aunque se presentan fracturadas por fallas.
C	Rocas No Consolidadas
D	Sedimentos lacustres y aluviales del Terciario Superior. Sedimentos cuaternarios y también Terciario Superior, incluyendo sedimentos de salares, playas, ríos y abanicos aluviales.

Fuente: Recursos de Agua en el Norte Grande, Harza Enginieering

Las rocas no consolidadas se ubican principalmente entre las Cordilleras de la Costa, Domeyko y los Andes, es decir, en valles antiguos, flancos de las cordilleras y en cuencas intramontañas. La exploración, por medio de pozos, ha sido exclusivamente desarrollada en las rocas de la clase D.

Las zonas de descarga de aguas subterráneas están constituidas por ríos, salares, vegas y playas. La distribución de las zonas de descarga indica que el flujo de agua subterránea ocurre principalmente a través de las rocas no consolidadas y, en menor grado, en lavas terciarias, ignimbritas, arcillas o cenizas. Los acuíferos, en las rocas no consolidadas, están constituidos por arena y grava, separados por los acuitardos de ignimbrita, arcilla o ceniza.

3.2.3.4. Resultados

Los resultados de la carcaterización de los principales acuíferos sedimentarios se muestran en el Cuadro 3.2.3.4-1, en el que incluyen las características principales de los acuíferos de la cuenca de Calama, Ojos de San Pedro y Vegas de Turi. Posteriormente se muestra en el Cuadro 3.2.3.4-2 las características de los acuíferos asociados a salares. Por último, en el Cuadro 3.2.3.4-3 se muestran las características de otros acuíferos.

CUADRO 3.2.3.4-1
CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ACUÍFEROS SEDIMENTARIOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Cuenca	Geología y Geomorfología	Hidrogeología	Parámetros Elásticos
Ojos de San Pedro	Ocupan el valle antiguo del Río San Pedro sedimentos fluviales y aluviales del Terciario Superior y Cuaternario. En las paredes existen abanicos aluviales que nacen a los pies de volcanes. En el centro del valle se tiene más de 350 m de sedimentos con intercalaciones de roca volcánica, ceniza e ignimbrita. No existen sedimentos en el valle, al oeste de Ojos de San Pedro, donde se presentan afloramientos de ignimbrita.	El agua subterránea fluye de Este a Oeste a lo largo del valle antiguo y desde las paredes del valle. A partir de la red de pozos de poca profundidad se sabe que la gradiente hidráulica en la Vega de Ojos de San Pedro varía en 0,4 ‰ hasta 1, 5 ‰. Existe una barrera de basamento impermeable (ignimbrita) a través del valle anterior al río San Pedro que ha causado el flujo vertical y la descarga natural del agua subterránea a Ojos de San Pedro.	Los valores de transmisibilidad son altos y en el rango de 2000-4500 m^2/día. Los coeficientes de almacenamiento en los acuíferos no confinados también son altos del orden de 0,15-0,20.
Vegas de Turi	La cuenca sedimentaria de Turi se presenta constituida por grava y arena de origen fluvial y lacustre, intercalados con horizontes de ignimbrita y ceniza, alcanzando un espesor de aproximadamente 120 m; la zona se caracteriza por la presencia de una vasta llanura, cuya pendiente es hacia el SW, con valor de 0,008. La cuenca es limitada al NE por lavas dacíticas y andesíticas y al NW, NE y SE por ignimbritas.	En este acuíferos existe uno libre y otro confinado, debajo de la capa de ignimbrita. El agua subterránea entra a las zonas de descarga en la región de Turi por 3 vías principales; desde el NNE a través de sedimentos aluviales; otra desde el NE a través de un flujo de lava andesítica, y la tercera desde el E por sedimentos aluviales. La zona de recarga está ubicada en la línea de volcanes que limitan la cuenca desde el este hacia el norte. El afloramiento de aguas subterráneas ocurre en tres localidades: Baños de Turi; Río Salado y en la Salar y Playa, mediante evapotranspiración.	Los valores de la transmisibilidad se estiman en 500 m^2/día en la zona B, en base a registros de bombeo existentes, los cuales varían desde 565 a 2.710 m^2/día.
Cuenca de Calama	Esta cuenca es sedimentaria que se extiende desde Calama hacia el norte de Chiu-Chiu. Este gran llano que sube paulatinamente hacia el este, es surcado por el curso Inferior del río loa. La depresión es ocupada por sedimentos terciarios y cuaternarios, capas de tobas y calizas Lacustres. El basamento de la cuenca, constituida por rocas Volcánicas y sedimentarias principalmente del jurásico y Cretácico inferior, afloran en la cordillera del Domeyko y en serranías aisladas al este de la cordillera.	Existe un acuífero libre localizado en las rocas carbonatadas y sedimentarias, y probables numerosos acuíferos confinados, principalmente debajo de horizontes de arcilla. Estos acuíferos son probablemente de poca extensión. La recarga principal es por flujo de agua subterránea, proveniente del valle del Río Loa y del valle del Río Salado. Las principales zonas de descarga se presentan en las vegas de Calama y Chiu-Chiu y en el Río Loa entre Isla Grande y Escorial.	

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes recopilados

CUADRO 3.2.3.4-2
CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ACUÍFEROS DE SALARES REGIÓN

Cuenca	Geología y Geomorfología	Hidrogeología
Salar de Atacama	El Salar de Atacama es una cuenca tectónica cerrada, formada por grandes fallas normales y movimiento diferenciales de bloques de dirección N-S. En la zona se diferencian rocas paleozoicas representadas por volcanitas queratofíricas, rocas jurásicas que corresponden a andesíticas y sedimentos clásticos; rocas terciarias representados por la formación San Pedro e ignimbritas y sedimentos cuaternarios que corresponden a depósitos aluviales, piedemonte, depósitos eólicos, lanares y coladas andesíticas.	Se han reconocido 3 sistemas acuíferos alberg depósitos del relleno aluvial circundante a la zona del depósitos salinos. Estos acuíferos se denominan Acuí Este, Acuífero del Núcleo del salar y acuífero de Negrillar-Tilopozo, estando el primero conformado po los dos últimos por agua dulce. No se cuenta con antecedentes suficientes para c sistema de aguas subterráneas que se desarrolla en y norte del salar, si bien existen antecedentes de qu de la paciencia las precipitaciones serían escasas subterráneas serían altamente salobres, po probablemente, no se habrían efectuado explorac zona. La recarga proviene del sector este donde se le Cordillera y su descarga se produce principalmente oriental del salar.
Salar de Punta Negra	Rocas no consolidadas y ceniza del Terciario Superior y Cuaternario se presentan en un graben limitado por rocas ígneas. Los pozos indican que su espesor es mayor de 400 m. Parte de la zona central de la cuenca tectónica es ocupada por una vasta playa.	En los subsuperficiales del sector del salar de Pta. estudiado un sistema acuífero el cual puede ser div zonas principales, zona norte, zona centro y zona su sus características geológicas e hidrogeológicas. distingue un acuífero confinado semiaislado con u hidrogeología. Al centro se reconoce un acuífero me el cual es dividido en un acuífero superior libre, en su y un acuífero confinado en su porción sur. Pr reconocido un acuífero sur, ubicado al sur del cerro Pu cual tendría un carácter libre. La recarga del ac estimado, a partir de un balance hidrológico, en 240 L
Agua Verde	La parte central de la zona constituye una llanura formada por sedimentos aluviales no consolidados. El basamento está constituido principalmente por rocas graníticas. El espesor de sedimentos alcanza aproximadamente 300 m. La zona forma parte de la pampa existente entre las Cordilleras de la Costa y Domeyko.	El agua subterránea se encuentra en acuíferos libres de arena, en las rocas no consolidadas que ocupan el excavado en el basamento granítico. La zona de encuentra al Este, en la Cordillera de los Andes con hidráulico en sentido E-W.

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes recopilados

CUADRO 3.2.3.4-3
CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES OTROS ACUÍFERO

Cuenca	Descripción
Sector Salar de Ollagüe	Las unidades hidrogeológicas definidas en la cuenca comprenden: una primera unidad superficial de relleno sedim una potencia de 20 m, la cual formaría los niveles más permeable de acuífero. La Segunda unidad comprende u ceniza y piroclastos tamaño lapilli y alcanza una potencia de 100 m. Por último se reconoció una unidad inferior d hidrogeológico con precisión, debido a que sólo un sondaje la atravesó y sin evidenciar su base. Para este acuífe un rendimiento específico de 0,014, y un almacenamiento medio de 0,03Se estima que la profundidad del acu aproximadamente de 2.200 hm^3 suponiendo una superficie acuífera de 200 km^2. Por último, las recargas producto
Sector Salar de Carcote	En la cuenca del Salar de Carcote se han identificado tres acuíferos. El primero de estos acuíferos está constitui volcánicas fracturadas y el tercero, por depósitos salinos. Los acuíferos de depósitos aluviales y coluviales y costados oeste y norte, respectivamente. Estos constituyen las fuentes de recarga del acuífero de salmuera anid vegas presentes en los márgenes norte y oeste del salar. En este acuífero, se estima un total de recarga por pre cuenca de Ascotán de entre 15 y 20 L/s. La transmisividad se estima alrededor de 150 y 300 m^2/d asociados a 2 de bombeo en calicatas.
Sector Salar de Ascotán	El salar de Ascotán se ubica en una depresión estructural inter volcánica, en cuyo sector más deprimido se loc salinos se encuentran los depósitos aluviales y coluviales intercalados entre coladas de lavas, los cuales lim sedimentarios, corresponden principalmente a andesitas en el sector este e ignimbritas en el sector oeste. Los de rocas volcánicas fracturadas intercaladas y subyacentes y los sectores fracturados de la roca de caja infiltrante, acuífero en la cuenca de Ascotán. En el acuífero del salar de Ascotán se estima un volumen de almacenamien bombeos una transmisividad que varía entre 3.000 y 23.000 m^2/d, y así mismo se estima un coeficiente de alm Finalmente la recarga del sistema se estima mediante un balance hidrológico, y es del orden de 800 L/s.
Sector Pedro de Valdivia - María Elena	El acuífero de María Elena - Pedro de Valdivia, ubicado en el extremo occidental de la Depresión Central, comp encuentra limitado por rocas paleozoicas y mesozoicas que conforman una franja impermeable de orientación general la geología de subsuperficie, está definida por una cubierta aluvial cuaternaria no saturada de 10 a 50 arenas y gravas con una potencia del orden de 200 a 300 m. Dentro de esta sucesión se pueden diferenciar la orden de 10 a 20 m. La Unidad 3, de arenas y gravas con pocos finos, se dispone bajo la unidad anterior, con esp con limos y arcillas con una potencia de 40 m aproximadamente. Por último se reconoció la unidad 5, de grav espesores entre los 100 y 200 m. Los rellenos con mejores características para constituir acuíferos corresponden 55 m de profundidad y aunque no se conoce su volumen de almacenamiento, si se cuenta con una estimación de transmisividad mediante las pruebas de bombeo en un rango de 30 a 150 m^2/d.
Sector Sierra Gorda	El acuífero de Sierra Gorda consta de dos zonas principales, por el norte Pampa Lina y por el sur Pampa Blanc características hidrogelógicas han permitido definir en total 5 zonas acuíferas con fronteras bastante bien definid Acuífero 1: Sector Of. Sargento Aldea - La Pampita. Acuífero 2: Sector La Pampita - Of. Edwards. Acuífero 3 : Arturo Prat - Estación Chela. SECTOR PAMPA LINA: Acuífero 5: Sector Pampa Lina. El carácter de la mayoría de lo 4 unidades sedimentarias de origen aluvial con distintas características granulométricas e hidrogeológicas. En reconocido dos unidades (U1 y U2) que en conjunto constituyen un acuífero de buenas características hidrogeoló

CUADRO 3.2.3.4-3
CUADRO RESUMEN CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES OTROS ACUÍFERO
(Continuación)

Cuenca	Descripción
Sector Calama - Pampa Llalqui	En el sector Calama - Pampa Llalqui se desarrolla un sistema acuífero alojado en los medios permeables conform formaciones terciarias corresponden a los depósitos de relleno de la denominada Cuenca de Calama. El sist confinado, conformado por las grabas de la Formación Calama y los sedimentos más finos de la Formación Ja presencia de una capa volcánica de ignimbrita que las sobreyace, la cual se extiende sobre la cuenca desde volcánica alcanza hasta el sector de Pampa Llalqui. El acuífero superior, formado por las calizas de la formación exceptuando las zonas en que es sobreyacido por la Formación Chiu-Chiu, cuyos sedimentos arcillosos de carácte Las aguas se infiltran al acuífero superior desde las precipitaciones que ocurren en el sector suroriental (Sierra cauces de los río Loa y Salado y una afluencia subterránea desde el noreste, desde el área del Salar de Turi. En e de los valles de los río Loa y Salado, desde donde proviene la recarga subterránea al acuífero mediante prueba 170 m^2/d para el acuífero superior y 250 m^2/d en el acuífero inferior. El almacenamiento varía entre 10^{-1} y 10 Calama - Pampa Llalqui se calcula en 349 L/s en el acuífero superior y 677 L/s en el inferior.
Sector Pampa Elvira - Llano Mariposa	Sobre la base de los antecedentes estratigráficos disponible, es posible reconocer un acuífero de carácter freáti conformada por gravas y arenas polimícticas con escasa presencia de limos y arcillas, que presenta una buena co del relleno es variable y, de acuerdo a los antecedentes disponibles, fluctúa entre los 47 y 273 m de espesor. S pertenecientes a la Formación Purilactis, que si bien en algunas zonas actúa como límite inferior impermeable d del medio permeable saturado. La napa en el sector del acuífero de Elvira- Mariposa varía su profundidad entre cuenca Elvira es 222,81 L/s (aportado por infiltración de precipitación, por flujo desde el sector Mariposas permeabilidad se estima entre 1 y 25 m/d, un rendimiento específico entre 2 y 15% y la transmisividad en el ran agua embalsada en el acuífero contenido en la cuenca de Elvira en 3.922 hm^3.
Sector Salar de los Morros	En la cuenca de Los Morros se reconoce un acuífero freático conformado por la cobertura detrítica del área, compu arcillas. Los límites físicos del acuífero corresponden al basamento rocoso y a los cerros que bordean la depresión impermeables. La roca basal, en el sector central de la cuenca se encuentra alrededor de los 250 m de profundida encuentran en el sector nor-este. De pruebas de bombeo en 6 pozos se llega a adoptar un valor de la permeabilid 1.000 m^2/d y de 4 y 8% para el coeficiente de almacenamiento, que a largo plazo fluctúa entre 7 y 10%. La recar estima un volumen de agua embalsada en 1.500 hm^3

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes recopilados

3.3. DEMANDAS HÍDRICAS POR USO

3.3.1. Generalidades

En este acápite se presenta la caracterización de las demandas por uso, incluyendo en los casos más relevantes una proyección de las demandas en el corto, mediano y largo plazo, es decir, a 5, 10 y 20 años.

3.3.2. Agua Potable

3.3.2.1. Antecedentes Generales

El crecimiento demográfico en todo el territorio hace de la disponibilidad de agua para la población, un tema prioritario en Chile. En particular, en las regiones norte del país, donde las condiciones de aridez caracterizan y condicionan el estilo de vida, el tipo de actividades recreativas o productivas que se pueden desarrollar etc.

En esta primera etapa se busca actualizar la cuantificación de demandas de agua potableen la región; dividiéndolas en urbanas y rurales. Para luego, en la tercera etapa, integrar esta demandaal balance hídrico general.

Actualmente en Chile operan 54 empresas sanitarias, que logran cubrir un universo de 15.395.991 habitantes.

En la actualidad las empresas a cargo de la producción y distribución de agua potable urbana en la región es Aguas Antofagasta, empresa que es regulada permanentemente por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

La información de coberturas, cantidad y porcentajes del servicio de agua potable en la región fue obtenida por los datos que maneja la SISS actualizada al 2011.

3.3.2.2. Aguas Antofagasta

En la región de Antofagasta, la concesionaria de servicios sanitarios ECONSSA contrata a la empresa Aguas Antofagasta para la producción y distribución de agua potabley tratamiento de aguas servidas en zonas urbanasAdemás es la encargada de apoyar a los sistemas de Agua Potable Rural (APR) de la región.

Aguas Antofagasta a su vez, subcontrata a CASCAL y TRATACAL para operar las plantas de tratamiento de aguas servidas en la ciudad de Antofagasta y Calama respectivamente.

Considerando los planes de desarrollo de todas las sanitarias recién mencionadas (y a nivel nacional), la SISS construye estadísticas de la población abastecida, cobertura, volúmenes de agua facturados, pérdidas de los sistemas, etc. que publican en su sitio web.

Para aguas Antofagasta se tiene que la población abastecida de agua potable llega al 100% y que corresponde en el sector residencial a aproximadamente 145.000 para el año 2011 (Cuadro 3.3.2.2-1) que en proporción representa aproximadamente el 96% del total (tablas de cálculo en el Anexo 3-3).

CUADRO 3.3.2.2-1

CLASIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE CLIENTES ABASTECIDOS POR TIPO DE INMUEBLE Y TIPO DE SERVICIO EL 2011.

Total Clientes	Clientes según destino inmueble				Clientes según tipo de servicio		
	Residencial	Comercial	Industrial	Otro	Solo agua potable	Solo alcantarillado	Agua potable y alcantarillado
150.646	145.390	4.384	252	620	525	1	150.120

Fuente: Tomado del Informe Anual de Coberturas Urbanas y Servicios Sanitarios,SISS (2011)

Es importante notar que en el uso del agua por abastecimiento de agua potable, se presenta, aparte de la población residencial, a la población comercial (incluye consumo turístico) e industrial.

Si se analiza la distribución por localidad abastecida, se observa en el Cuadro 3.3.2.2-2 (tablas de cálculo en el Anexo 3-3) que la ciudad de Antofagasta representa un 64% del total de la población abastecida por la empresa y Calama corresponde a un 27%, siendo estas dos localidades las de mayor demanda en la región (el área de cobertura del 2011 se muestran en Figura 3.3.2.2-1).

Para el año 2011 la empresa facturópor un volumen de 25.510.160 m³ en el total del consumo residencial, como se muestra en el Cuadro 3.3.2.2-3 (tablas de cálculo en el Anexo 3-3). Este valor corresponde a la demanda residencial de agua potable urbana de la región. Aparte de este consumo, se tiene también la categoría de "otros usuarios" que corresponde a los clientes comerciales, institucionales e industrial y los "no asociados a inmuebles" que se refiere a usos como consumo de agua potable para riego de areas verdes.

En total se observa que la demanda de agua potable asciende a 34.562.586 m³ por año.

Ollague
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa
Rio Loa
María Elena
San Pedro de Atacama
Fronterizas Salares Atacama-Socompa
Mejillones
Costeras R.Loa-Q.Caracoles
Baquedano
Quebrada Caracoles
Salar de Atacama
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama
Antofagasta
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico
Quebrada la Negra
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar
Taltal
Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado

SIMBOLOGÍA

- Límite Regional
- Capital regional
- Capitales comunales
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Área concesión Sanitaria Antofagasta
- Área concesión Sanitaria Calama
- Agua Potable Rural (APR)

Modelo de Elevación Digital
msnm
Max : 6637
Min : 1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ZONAS DE CONCESIÓN URBANA ACTUAL Y SISTEMAS APR

Fuente Cartográfica: Instituto Geografico Militar, 2009 Cartografía Regular, 1:250.000
Fuente Témática: SISS. 2012.

ESCALA 1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División Adrian Lillo Z.
Inspector Fiscal Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica: Proyección UTM DATUM WGS84 HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA: 3.3.2.2-1

CUADRO 3.3.2.2-2
COBERTURAS EN NÚMERO DE INMUEBLES, POBLACIÓN Y PORCENTAJE EN LAS 5 LOCALIDADES MÁS IMPORTANTES.

Localidad	Clientes residenciales de agua potable	Total de inmuebles residenciales AP	Población urbana estimada	Población urbana abastecida AP	Cobertura de agua potable
ANTOFAGASTA	92.970	92.970	349.226	349.226	100,0%
CALAMA	38.917	38.917	163.248	163.248	100,0%
MEJILLONES	2.496	2.496	10.025	10.025	100,0%
TAL TAL	3.148	3.148	10.512	10.512	100,0%
TOCOPILLA	7.859	7.859	28.255	28.255	100,0%
TOTAL	145.390	145.390	561.266	561.266	100,0%

Fuente: Tomado del Informe Anual de Coberturas Urbanas y Servicios Sanitarios,SISS (2011)

Con la información recién presentada, se puede estimar una dotación urbana promedio para la región. Tomando entonces el total de inmuebles residenciales con agua potable (145.390 viviendas) y el volumen de agua facturado para el total residencial, se obtiene una dotación promedio de 14.62m³/residencia/mes.

CUADRO 3.3.2.2-3
DETALLE DE FACTURACIÓN MENSUAL PARA AGUAS ANTOFAGASTA EN VOLÚMEN DE AGUA (AÑO 2011)

Año 2011	Consumos mensuales en m³			
Mes	**Total Residencial**	**Total Otros**	**No asociado a Inmuebles**	**Total**
Enero	2.303.407	509.739	207.934	3.021.079
Febrero	2.130.494	493.828	207.378	2.831.699
Marzo	2.178.787	559.235	194.681	2.932.703
Abril	2.102.959	580.137	198.161	2.881.257
Mayo	2.089.785	560.913	184.125	2.834.824
Junio	1.995.437	537.293	201.533	2.734.263
Julio	2.018.677	541.138	170.311	2.730.126
Agosto	2.041.236	515.119	193.725	2.750.080
Septiembre	2.090.305	485.048	284.246	2.859.600
Octubre	2.108.455	566.830	203.424	2.878.708
Noviembre	2.223.178	601.272	217.403	3.041.852
Diciembre	2.227.442	614.943	224.010	3.066.395
Total	**25.510.160**	**6.565.495**	**2.486.931**	**34.562.586**

Fuente: Tomado del Informe Anual de Facturación, SISS (2011)

3.3.2.3. Sistemas de Agua Potable Rural (APR)

En la región existen una división geográfica entre el sector alto andino y la zona costera, las cuales se diferencian en su dinámica hídrica, en la distribución demográfica, entre otras características que las identifican en su proceso de desarrollo, especialmente en la infraestructura y métodos de tratamiento del agua potable y en algunos casos, servidas.

En la actualidad el catastro de zonas rurales con sistemas APR operativos muestra 10 localidades. Por su parte, la CONADI identifica 12 zonas rurales que debieran contar con un APR[5]. En el Cuadro 3.3.2.3-1 (tablas de cálculo en el Anexo 3-3) se detallan las características de las 10 zonas en las que actualmente operan los sistemas de APR.

CUADRO 3.3.2.3-1
DETALLE DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE RURAL OPERATIVOS AL AÑO 2011 EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.

Servicios APR operativos					
Provincia	**Comuna**	**Localidad**	**Nº Arranques**	**Habitantes**	**Derechos (L/s)**
El Loa	San Pedro de Atacama	San Pedro de Atacama	1402	S/D	40
	San Pedro de Atacama	Toconao	340	750	3,5
	San Pedro de Atacama	Socaire	90	300	2
	Calama	Caspana	95	353	2
	Calama	Lasana	98	210	2
	Calama	Chiuchiu	163	770	
	San Pedro de Atacama	Peine	155	600	2
	San Pedro de Atacama	Río Grande	30	100	S/D
	Calama	Ollagüe	75	160	S/D
Tocopilla	María Elena	Quillagüa	120	150	S/D

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta, Ministerio de Obras Públicas

3.3.2.4. Proyección de Extracciones, Producción y Consumo

Usando la información de los planes de Desarrollo presentados por la empresa concesionaria de agua potable de la región, se han estimado las extracciones (actual) y la producción asociados a la oferta actual y futura. Para estimar la proyección del

[5]Basado en el Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta, Ministerio de Obras Públicas.

consumo, se unen las proyecciones presentados por los planes de desarrollo y la proyección de población entregadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Así se ha llegado al resultado de las extracciones actuales (en escala anual) mostrado en el Cuadro 3.3.2.4-1 para el sistema Norte con solo fuentes superficiales y una planta desaladora, y en el Cuadro 3.3.2.4-2 para el sistema Sur, que cuenta con captaciones de agua subterránea y también con una planta desaladora. (todas las tablas de cálculo en el Anexo 3-3).

Las proyecciones a corto, mediano y largo plazo (5, 10 y 20 años) de producción de agua potable se muestran en el Cuadro 3.3.2.4-3. Se observa que la explotación actual es casi igual a la producción máxima diaria calculada para el 2011, eso es justamente lo que se busca para asegurar el abastecimiento actual de la región.

CUADRO 3.3.2.4-1
CATASTRO DE LAS CAPTACIONES DE AGUA EN EL AÑO 2011 EN EL SISTEMA NORTE DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA.

Punto de captación	Localización	Explotación Actual Anual (2011) (L/s)	UTM N	UTM E	CUENCA
Lequena	Río Loa	428	7.595.050	537.514	Río Loa
Quinchamale	Río Loa	232	7.575.808	541.207	Río Loa
Toconce	Río Toconce	296	7.537.850	586.476	Río Loa
Linzor	Río Linzor	0	7.541.993	600.649	Río Loa
Hojalar	Río Hojalar	0	7.540.363	600.697	Río Loa
San Pedro (CODELCO)	Río San Pedro	90	7.574.139	545.377	Río Loa
Puente Negro	Río Loa	40,0	7.517.749	511.747	Río Loa
Desaladora, La Chimba	mar de Chile	600	7.395.700	357.189	Quebrada Caracoles
	TOTAL	**1.686**			

Fuente: Tomado de los planes de desarrollo de Aguas Antofagasta, SISS (2011)

Por otra parte el consumo proyectado en los tres periodos de análisis se presenta en el Cuadro 3.3.2.4-4, donde se detalla la demanda de las cinco principales ciudades, que tienen sistema de abastecimiento de agua potable urbano y una proporción de lo que representan los sistemas de APR en relación al total urbano.

CUADRO 3.3.2.4-2
CATASTRO DE LAS CAPTACIONES DE AGUA EN EL AÑO 2011 EN EL SISTEMA SUR DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Punto de captación	Localización	Explotación Actual 2011 (L/s)	UTM N	UTM E	CUENCA
Sondaje Nº 843 A	Sector Aguas Verdes	6	7.190.519	402.931	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar
Sondaje Nº 844		5			
Sondaje Nº 846 A		5			
Sondaje Nº 864		6			
Sondaje AV 48		9			
Desaladora Taltal	Taltal	5	7.188.907	350.039	
TOTAL		**36**			

Fuente: Tomado de los planes de desarrollo de Aguas Antofagasta, SISS (2011)

CUADRO 3.3.2.4-3
PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE (L/s)

SISTEMA NORTE DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA			
Caudal	**2012**	**2016**	**2026**
Medio Anual	1.402	1.513,2	1.856,9
Máximo Diario	1.668,2	1.802,9	2.216,5
SISTEMA SUR DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA			
Caudal	**2010**	**2014**	**2024**
Medio Anual	26,5	27,6	30,5
Máximo Diario	33,9	35,6	39,3

Fuente: Tomado de los planes de desarrollo de Aguas Antofagasta, SISS (2011)

CUADRO 3.3.2.4-4
CONSUMO HISTÓRICO Y PROYECCIONES A 20 AÑOS (hm³)

año	Antofagasta	Calama	Tocopilla	Mejillones	Taltal	APR	TOTAL
1992	11,62	6,23	1,29	0,30	0,56		
1993	12,85	6,86	1,34	0,37	0,59		
1994							
1995	12,94	6,66	1,29	0,37	0,55		
1996	14,07	7,11	1,37	0,40	0,57		
1997	14,61	7,26	1,38	0,42	0,58		
1998	15,51	7,58	1,44	0,45	0,60		
1999	15,36	7,39	1,39	0,44	0,58		
2000	15,52	7,35	1,37	0,45	0,57		
2001	15,73	7,34	1,36	0,46	0,57		
2002	16,02	7,59	1,33	0,44	0,57		
2003	16,36	7,42	1,36	0,48	0,58		
2004	17,08	7,64	1,39	0,50	0,60		
2005	17,32	7,64	1,38	0,50	0,61		
2006	18,20	7,92	1,42	0,53	0,64		
2007	18,68	8,02	1,43	0,55	0,66		
2008	19,55	8,29	1,47	0,57	0,70		
2009	19,88	8,32	1,47	0,58	0,71		
2010	21,23	8,79	1,54	0,62	0,77	**0,87**	**34,00**
2011	22,35	9,14	1,59	0,66	0,82	**0,89**	**35,00**
2012	22,79	9,24	1,60	0,67	0,84	0,91	36,05
2013	23,59	9,47	1,63	0,69	0,87	0,94	37,20
2014	24,39	9,71	1,67	0,72	0,91	0,96	38,35
2015	25,18	9,94	1,70	0,74	0,94	0,99	39,50
2016	25,98	10,17	1,73	0,77	0,97	1,02	40,65
2017	26,78	10,41	1,76	0,79	1,01	1,05	41,80
2018	27,58	10,64	1,79	0,81	1,01	1,08	42,91
2019	28,37	10,88	1,83	0,84	1,04	1,11	44,07
2020	29,17	11,11	1,86	0,86	1,08	1,14	45,22
2021	29,97	11,34	1,89	0,89	1,11	1,17	46,37
2022	30,77	11,58	1,92	0,91	1,14	1,19	47,52
2023	31,56	11,81	1,96	0,93	1,18	1,22	48,67
2024	32,36	12,05	1,99	0,96	1,21	1,25	49,82
2025	33,16	12,28	2,02	0,98	1,25	1,28	50,97
2026	33,96	12,51	2,05	1,01	1,28	1,31	52,12
2027	34,75	12,75	2,08	1,03	1,31	1,34	53,27
2028	35,55	12,98	2,12	1,05	1,35	1,37	54,42
2029	36,35	13,22	2,15	1,08	1,38	1,40	55,57
2030	37,15	13,45	2,18	1,10	1,42	1,43	56,72
2031	37,95	13,68	2,21	1,13	1,45	1,46	57,87
2032	38,74	13,92	2,24	1,15	1,48	1,48	59,02

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Uso Agrícola

3.3.3.1. Introducción

El objetivo de esta etapa es conocer la información disponible para el cálculo de los requerimientos hídricos agrícolas en la Región de Antofagasta y tener una visión general de las aproximaciones ya realizadas en estudios preliminares.

3.3.3.2. Escala de Análisis

En los estudios de IPLA (1996)[6], de Ayala y Cabrera (2007)[7] y del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción (2010)[8], se define a las cuencas hidrográficas de la Región como unidad de análisis de la demanda hídrica de distintos usos. Dicha delimitación coincide con las cuencas chilenas usadas por el Banco Nacional de Aguas (BNA), operado por la Dirección General de Aguas (DGA).Asimismo, en Ayala y Cabrera (2007) se señala la carencia de información a nivel de cuenca relacionada con la actividad de riego, dado que los estudios efectuados por la Comisión Nacional de Riego (CNR) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)trabajan a nivel de sectores de riego, los cuales coinciden con las secciones deriego que operan a nivel de organizaciones de regantes. Por este motivo, larepresentación de las cuencas se efectuó en función de la distribución delas comunas al interior de ellas.

Asimismo, en el estudio de la IPLA (1996) se determinaron las secciones del río que constituyen la principal fuente de recurso hídrico de cada cuenca, cuencas que fueron presentadas anteriormente en el Cuadro 1.3-1. Estas secciones son las unidades territoriales de preferencia en las cuales se determinaron las demandas. Las secciones se subdividieron en los casos donde el área que ocuparan perteneciera a distritos agroclimáticos diferentes. De acuerdo a ello, solo la **cuenca del Río Loa** queda subdividida en cuatro sectores de riego:

- Lasana
- ChiuChiu
- Calama
- Quillagua

[6] Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA Ltda.-DGA. 1996.
[7] Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras Zona I Norte. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.- DGA. 2007.
[8]Diagnóstico de Fuentes de Agua No Convencionales en el Regadío Inter – Regional. Informe Final. Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción. 2010. Mandante: Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura (MINAGRI).

Por otra parte, en el estudio de Ayala y Cabrera (2003)[9] se describen sectores de riego, los que se concentran en torno a los oasis, ayllos, y en mucho menor medida en suelos aptos de centros urbanos. En el Cuadro 3.3.3.2-1 se mencionan los sectores de riego definidos.

CUADRO 3.3.3.2-1
SECTORES DE RIEGO

Sector	Comuna
Alto del Río Loa	San Pedro de Atacama
	Calama
Ollagüe	Ollagüe
Antofagasta	Antofagasta
Bajo del Río Loa	María Elena
	Tocopilla

Fuente: Elaboración propia en base a Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en la II Región. Informe Final. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. -CNR, 2003.

Cabe señalar que las comunas de San Pedro de Atacama y Calama son las que poseen mayor cantidad de hectáreas regadas (ver Cuadro 3.3.3.3-1), por lo que podría suponerse que el sector de riego "Alto del Río Loa" es el de mayor eficiencia de riego. Sin embargo, también pueden influir otros factores en el desarrollo de la actividad agrícola, como por ejemplo: el asentamiento de población (especialmente indígena), la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad, la capacidad de captar los recursos hídricos por parte de los agricultores y la capacidad agrícola del suelo.

3.3.3.3. Patrón de Cultivos

En el Cuadro 3.3.3.3-1 se muestra la superficie regada por grupo de cultivo y comuna de la Región, y en el Cuadro 3.3.3.3-2 se detalla la superficie regada por cada rubro y comuna.

[9] Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en la II Región. Informe Final. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.-CNR, 2003.

CUADRO 3.3.3.3-1
SUPERFICIE REGADA POR GRUPO DE CULTIVO Y COMUNA (ha)

Provincia	Comuna	Cereales, leguminosas y tubérculos	Industriales	Hortalizas	Flores	Frutales y huertos caseros	Viñas y parronales viníferos	Plantas forrajeras	Total
Antofagasta	Antofagasta	0,01	0	16,88	0,46	3,59	0	0,02	**20,96**
	Mejillones	0	0	0,02	0	0,04	0	0	**0,06**
	Sierra Gorda	0	0	0	0	0,16	0	0	**0,16**
	Taltal	0	0,05	0,16	0	8,87	0	0,78	**9,86**
El Loa	Calama	132,25	0,1	207,73	4,02	4,35	0	336,97	**685,42**
	Ollagüe	0,78	0	1,31	0	0	0	1,18	**3,27**
	San Pedro de Atacama	56,12	0	123,02	0,09	135,3	6,02	750,65	**1.071,2**
Tocopilla	María Elena	1	0	0,58	0	0	0	7,3	**8,88**
Total		**190,16**	**0,15**	**349,7**	**4,57**	**152,31**	**6,02**	**1.096,9**	**1.799,81**

Fuente: Elaboración propia basado en el Censo Agropecuario del 2007

CUADRO 3.3.3.3-2
SUPERFICIE REGADA POR RUBRO Y COMUNA(ha)

Grupo	Rubro	Antofagasta	Mejillones	Sierra Gorda	Taltal	Calama	Ollagüe	San Pedro de Atacama	María Elena	Total
Cereales, leguminosas y tubérculos	Otras Chacras	0,01	0	0	0	0	0	0	0	**0,01**
	Otros cereales	0	0	0	0	2,43	0,3	0,01	1	**3,74**
	Cebada forrajera	0	0	0	0	0	0	0,29	0	**0,29**
	Papa	0	0	0	0	0,84	0,1	3,55	0	**4,49**
	Quínoa	0	0	0	0	0	0,38	7,29	0	**7,67**
	Trigo Candeal	0	0	0	0	2,42	0	0	0	**2,42**
	Trigo blanco	0	0	0	0	0	0	17,82	0	**17,82**
	Centeno (grano seco)	0	0	0	0	0	0	1,2	0	**1,2**
	Maíz (grano seco)	0	0	0	0	126,56	0	25,96	0	**152,52**
Industriales	Otras plantas medicinales permanentes cultivadas	0	0	0	0,05	0	0	0	0	**0,05**
	Otros industriales	0	0	0	0	0,1	0	0	0	**0,1**
Hortalizas	Acelga	2,48	0	0	0,05	1,11	0	0	0	**3,64**
	Ajo	0	0	0	0	2,54	0	10,22	0	**12,76**
	Albahaca	0,58	0	0	0	0	0	0	0	**0,58**
	Apio	0,46	0	0	0	0	0	0	0	**0,46**
	Betarraga	0,07	0	0	0,01	2,99	0	0	0	**3,07**
	Cebolla temprana	0,09	0	0	0	0,42	0	0,34	0	**0,85**
	Choclo	0	0	0	0	75,84	0	82,39	0	**158,23**
	Cilantro	2,65	0	0	0	0,64	0	0	0	**3,29**
	Coliflor	0	0	0	0	0	0	1	0	**1**

CUADRO 3.3.3.3-2
SUPERFICIE REGADA POR RUBRO Y COMUNA(ha)
(Continuación)

Grupo	Rubro	Antofagasta	Mejillones	Sierra Gorda	Taltal	Calama	Ollagüe	San Pedro de Atacama	María Elena	Total
Hortalizas	Espinaca	0,99	0	0	0	0	0	0	0	**0,99**
	Haba	0	0	0	0	5,14	1,26	14,77	0	**21,17**
	Huerta casera	0,01	0	0	0,02	4,62	0,04	9,35	0	**14,04**
	Lechuga	6,08	0	0	0,03	1,75	0	1,01	0	**8,87**
	Otras hortalizas	1,44	0,02	0	0,05	3,2	0,01	2,7	0,58	**8**
	Perejil	0,89	0	0	0	0,41	0	0	0	**1,3**
	Rábano o Nabo	1,14	0	0	0	0	0	0	0	**1,14**
	Tomate consumo fresco	0	0	0	0	0	0	0,16	0	**0,16**
	Zanahoria	0	0	0	0	109,07	0	0,55	0	**109,62**
	Zapallo temprano y de guarda	0	0	0	0	0	0	0,53	0	**0,53**
Flores	Flores	0,46	0	0	0	4,02	0	0,09	0	**4,57**
Frutales y huertos caseros	Chirimoyo	0	0	0	0,07	0	0	0	0	**0,07**
	Ciruelo japonés	0	0	0	0	0	0	1,52	0	**1,52**
	Damasco	0	0	0	0	0,24	0	0,2	0	**0,44**
	Higuera	0	0	0	0,03	0	0	0	0	**0,03**
	Huerto casero	0,05	0,04	0	0,66	1,88	0	82,96	0	**85,59**
	Limonero	0	0	0	0,46	0	0	3,56	0	**4,02**
	Manzano rojo	0	0	0	0	0,3	0	0,97	0	**1,27**
	Manzano verde	0	0	0	0	0	0	3,55	0	**3,55**
	Membrillo	0	0	0	0	0	0	12,7	0	**12,7**
	Naranjo	0	0	0	0,10	0	0	3,86	0	**3,96**
	Níspero	0	0	0	0,04	0	0	0	0	**0,04**

CUADRO 3.3.3.3-2
SUPERFICIE REGADA POR RUBRO Y COMUNA(ha)
(Continuación)

Grupo	Rubro	Antofagasta	Mejillones	Sierra Gorda	Taltal	Calama	Ollagüe	San Pedro de Atacama	María Elena	Total
	Olivo	3,07	0	0	6,54	0	0	1,6	0	**11,21**
Frutales y huertos caseros	Otros frutales	0,47	0	0,16	0,25	0,73	0	4,79	0	**6,4**
	Palto	0	0	0	0,72	0	0	0	0	**0,72**
	Peral europeo	0	0	0	0	0,15	0	14,89	0	**15,04**
	Tuna	0	0	0	0	1,05	0	1,12	0	**2,17**
	Uva de mesa	0	0	0	0	0	0	3,58	0	**3,58**
Viñas y parronales viníferos	Tintas viníferas corrientes	0	0	0	0	0	0	4,21	0	**4,21**
	Blancas viníferas corrientes	0	0	0	0	0	0	1,62	0	**1,62**
	Blancas viníferas finas	0	0	0	0	0	0	0,19	0	**0,19**
Plantas Forrajeras	Plantas Forrajeras	0,02	0	0	0,78	336,97	1,18	750,65	7,3	**1.096,9**
Total		**20,96**	**0,06**	**0,16**	**9,86**	**685,42**	**3,27**	**1.071,2**	**8,88**	**1.799,81**

Fuente: Elaboración propia basado en el Censo Agropecuario del 2007

3.3.3.4. Cálculo de la Demanda Hídrica Agrícola

Se revisaron las metodologías tradicionales e información base empleadas para el cálculo de la demanda hídrica agrícola en la Región de Antofagasta.

A continuación se presenta una síntesis de la metodología utilizada.

Se utilizó la comuna como unidad territorial de análisis, dado que no se contaba con información de la distribución de las superficies regadas de cada cultivo por cuenca. Por ello, se utilizó la información de superficies por tipo de cultivo del Censo Agropecuario del año 2007. Para cada unidad territorial de análisis se obtuvo:

- Estructura de cultivo.
- Precipitación efectiva (ppf), expresada en mm, de acuerdo a la precipitaciones medias mensuales (Pp) entregadas por el Atlas Bioclimático de Chile (2012)[10], utilizando la fórmula Blaney y Criddle, modificada por H. Merlet y F. Santibáñez:

  $-0{,}0022Pp^2+1{,}0903Pp$

- Evapotranspiración potencial (ETo) del área, expresada en mm/mes, utilizando los valores mensuales ya calculados en el Atlas Bioclimático de Chile (2012).
- Coeficiente de cultivo (Kc), expresado como valor absoluto, para cada cultivo tipificado y mes, basado en la publicación FAO N°56 y en el estudio de Ayala y Cabrera (2007).
- Evapotranspiración mensual actual o real (Eta) de cada cultivo, expresada en mm/mes, mediante la relación:

  $ETa = Kc \cdot ETo$

- Demanda neta, mediante la relación:

  $Dn = Eta - ppf$

- Eficiencias de riego promedio, basadas en la Ley de Fomento a la inversión Privada en Obras de Riego *y* Drenaje, Ley N°18.450, utilizando los sistemas de riego entregados por el Censo Agropecuario del año 2007.

[10] Atlas Bioclimático de Chile. Uribe, Cabrera, De la Fuente y Paneque. 2012. Universidad de Chile, CORFO y Ministerio de Bienes Nacionales de Chile. Disponible en línea: http://www.agrobiotec.uchile.cl/atlas/

- Tasas de riego (Tr), expresada en mm/mes, mediante la relación:

  Tr = Dn / (Eficiencia riego)

- Demanda bruta de los cultivos, mediante la relación:

  Demanda bruta = Tr · Sup

  Donde:

  Sup (ha) = superficie regada del cultivo

Cabe señalar que la superficie de cada cultivo se ajustó de acuerdo a la superficie total entregada por el Censo Agropecuario, que no coincidía con la suma de las superficies de los cultivos detalladas. El Anexo 3-4 contiene el detalle de los valores calculados, además se muestran las demandas hídricas para la Región de otros estudios revisados, utilizados como referencias metodológicas.

En el Cuadro 3.3.3.4-1 se muestran los resultados del cálculo de la demanda hídrica anual por comuna.

Para efectos del cálculo del balance hídrico, se realizó un análisis para asignar la demanda hídrica a las cuencas hidrográficas. Para ello se espacializaron las zonas agrícolas (Figura 3.3.3.4-1) obtenidas de distintas fuentes[11], logrando ubicar las zonas de cada comuna, en alguna de las cuencas. Para aquellas comunas donde no se obtuvo información espacial en Sistema de Información Geográfica, se recurrió a información secundaria y primaria (PRODESAL Municipios) que permitió localizar la demanda. El Cuadro 3.3.3.4-2 muestra las demandas por cuenca hidrográfica.

CUADRO 3.3.3.4-1
DEMANDA HÍDRICA ANUAL POR COMUNA (m³)

COMUNA	DEMANDA AÑO 2007 (m^3/año)
Antofagasta	81.898,05
Mejillones	549,18
Sierra Gorda	1.748,75
Taltal	68.946,61
Calama	15.799.747,43
Ollagüe	26.328,53
San Pedro de Atacama	33.537.340,85
María Elena	345.128,54
TOTAL	**49.861.687,94**

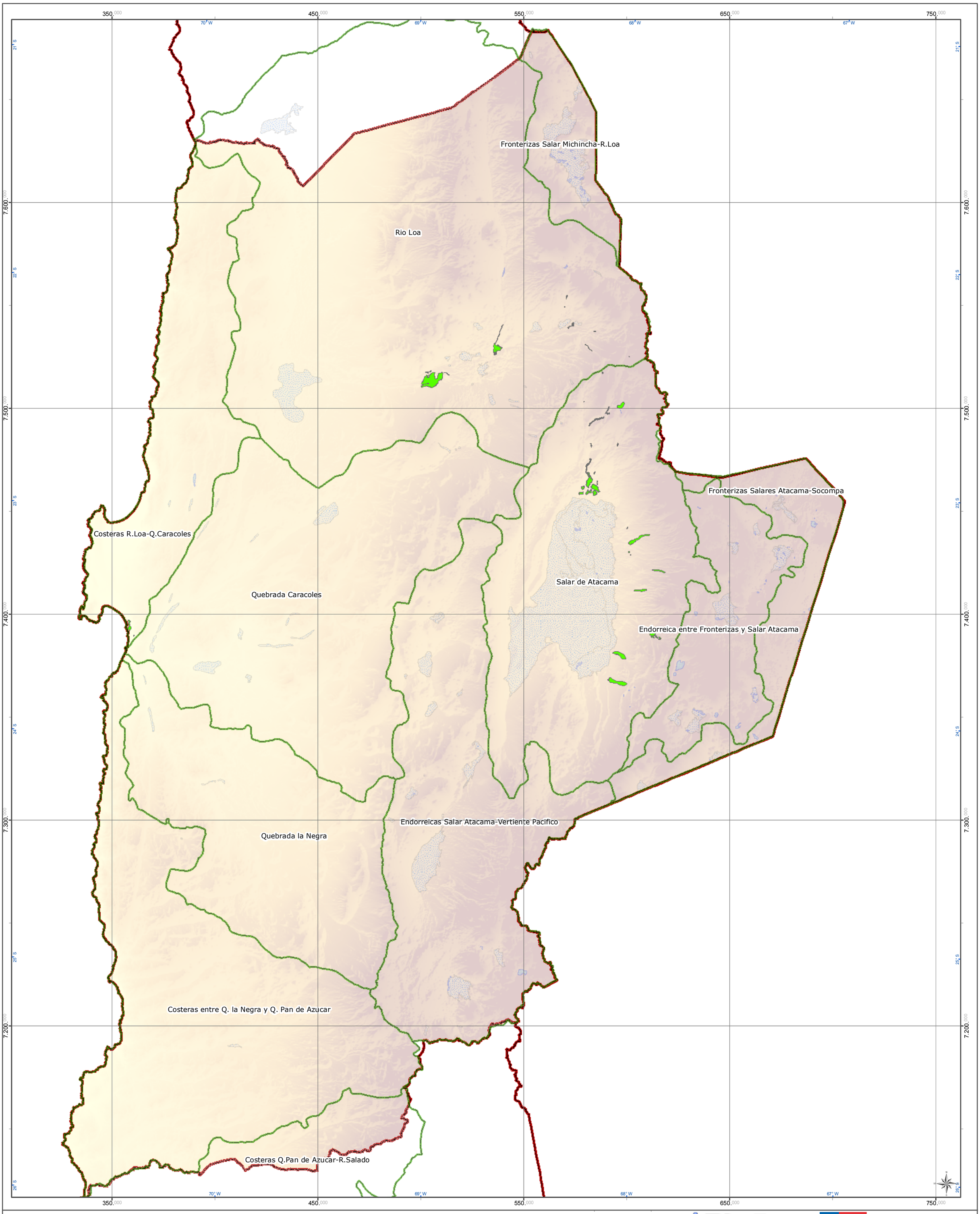
Fuente: Elaboración propia

[11] Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF, 1998), Evaluación ecosistémica del Mileno: Bienestar Himano y Manejo Sustentable en San Pedro de Atacama - Chile (Rides, 2005), SIIR – CNR y SITHA-CIREN (Actividades Productivas y Uso Actual).

CUADRO 3.3.3.4-2
DEMANDA HÍDRICA ANUAL POR CUENCA HIDROGRÁFICA (m³)

CUENCA	DEMANDA AÑO 2007 (m^3/año)
Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa	26.328,53
Río Loa	16.144.875,97
Costera – Loa – Caracoles	82.447,23
Fronteriza – Salares Atacama – Socompa	0,00
Endorreica – entre Fronterizas y Salar de Atacama	0,00
Salar de Atacama	33.537.340,85
Endorreica – Salar de Atacama – Vertiente Pacífico	0,00
Quebrada Caracoles	1.748,75
Quebrada La Negra	0,00
Costera – Quebrada La negra – Quebrada Pan de Azúcar	68.946,61
TOTAL	**49.861.687,94**

Fuente: Elaboración propia



SIMBOLOGÍA

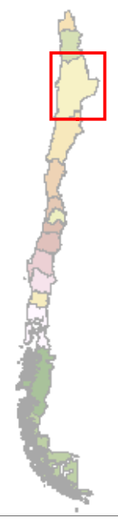
- Límite Regional
- Límite Cuencas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Zonas agrícolas

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ZONAS AGRÍCOLAS

Fuente Cartográfica: Instituto Geografico Militar, 2009 Cartografía Regular, 1:250.000 **Fuente Témática:** ARRAU INGENIERÍA. 2012,	**ESCALA** 1:1.200.000 0 5 10 20 30 40 Km	**Jefe División** Adrian Lillo Z. **Inspector Fiscal** Norberto Portillo
Referencia Cartógrafica: Proyección UTM DATUM WGS84 HUSO 19 Sur	**Fecha:** Diciembre 2012	*FIGURA: 3.3.3.4-1*

3.3.3.5. Proyección de la Demanda Hídrica Agrícola

Para la proyección de la superficie de riego a nivel regional, se utilizó, de manera preliminar, el estudio "Proyección de la superficie regada al 2020"[12], solicitado por la CNR y pendiente de aprobación, que recoge información de una serie de documentos, planes y estudios relacionados con infraestructura y obras públicas de riego, catastro de embalses y canales, factores climáticos y socioeconómicos que inciden en la superficie regada. Utilizando la proyección histórica de este estudio, se obtuvo el incremento o disminución de la superficie de riego, según especie representativa, a corto, mediano y largo plazo; lo que corresponde a 5, 10 y 20 años, respectivamente. Cabe señalar que la superficie regada al año 2012 se calculó en base a la misma proyección histórica del estudio señalado, ya que las estadísticas agropecuarias más actualizadas corresponden a las del año 2007. Asimismo, la proyección de la superficie por año obtenida a partir del estudio de la CNR, corresponde a una función lineal.

Se utilizaron las mismas variables climáticas, estructuras,coeficientes de cultivo y eficiencias de riego expuestas en el Acápite 3.3.3.4., ajustando las superficies de cada cultivo a la superficie total proyectada para cada año.

En los Cuadros 3.3.3.5-1 y 3.3.3.5-2 se muestra la superficie agrícola proyectada por comuna y cuenca, respectivamente, para el corto (5 años), mediano (10 años) y largo plazo (20 años); en tanto en los Cuadros 3.3.3.5-3 y 3.3.3.5-4 se muestra la demanda hídrica agrícola proyectada por comuna y cuenca hidrográfica, respectivamente. En el Anexo 3-4 se presentan en detalle los resultados de los años intermedios proyectados, tanto para superficie como para demanda hídrica del rubro agrícola.

Por último, debe hacerse notar que en la determinación delas demandas de riego, no se ha incluido la existencia de derrames, reusos, recuperaciones, y otros, ya que eso requiere un mayor conocimiento de los sectores de riego. Por lo anterior, las demandas proyectadas, son las máximas demandas posibles de requerir.

[12] Lagos Rehfeld, José. 2012. Proyección de la superficie regada al 2020. 2012. Comisión Nacional de Riego

CUADRO 3.3.3.5-1
SUPERFICIE AGRÍCOLA PROYECTADA POR COMUNA (ha)

COMUNA	2012	2017	2022	2032
Antofagasta	26,59	29,08	31,96	40,98
Mejillones	0,08	0,10	0,12	0,20
Sierra Gorda	0,20	0,28	0,38	0,70
Taltal	12,51	16,74	22,31	40,55
Calama	869,43	924,80	976,80	1.108,93
Ollagüe	4,15	4,37	4,58	5,09
San Pedro de Atacama	1.358,78	1.516,15	1.691,42	2.195,94
María Elena	11,26	12,15	13,00	15,10
TOTAL	**2.283,00**	**2.503,66**	**2.740,56**	**3.407,50**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.3.5-2
SUPERFICIE AGRÍCOLA PROYECTADA POR CUENCA (ha)

CUENCA	2012	2017	2022	2032
Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa	4,15	4,37	4,58	5,09
Río Loa	880,70	936,94	989,80	1.124,03
Costera – Loa – Caracoles	26,66	29,18	32,08	41,19
Fronteriza – Salares Atacama – Socompa	0,00	0,00	0,00	0,00
Endorreica – entre Fronterizas y Salar de Atacama	0,00	0,00	0,00	0,00
Salar de Atacama	1.358,78	1.516,15	1.691,42	2.195,94
Endorreica – Salar de Atacama – Vertiente Pacífico	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebrada Caracoles	0,20	0,28	0,38	0,70
Quebrada La Negra	0,00	0,00	0,00	0,00
Costera – Quebrada La negra – Quebrada Pan de Azúcar	12,51	16,74	22,31	40,55
TOTAL	**2.283,00**	**2.503,66**	**2.740,56**	**3.407,50**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.3.5-3
DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA PROYECTADA POR COMUNA (m^3/año)

COMUNA	2012	2017	2022	2032
Antofagasta	81.447,11	91.201,58	102.933,43	140.119,79
Mejillones	546,15	697,61	895,58	1.544,05
Sierra Gorda	1.739,12	2.377,35	3.223,38	6.006,52
Taltal	68.566,98	90.639,04	119.571,71	214.000,40
Calama	15.712.752,61	16.906.932,96	18.059.548,92	20.946.981
Ollagüe	26.183,56	27.768,75	29.228,14	32.881,41
San Pedro de Atacama	33.352.681,24	36.957.507,95	40.838.369,9	51.575.620,89
María Elena	343.228,23	371.826,19	399.603,78	468.061,21
TOTAL	**49.587.145,01**	**54.448.951,43**	**59.553.374,82**	**73.385.215,29**

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.3.3.5-4
DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA PROYECTADA POR CUENCA (m^3/año)

CUENCA	2012	2017	2022	2032
Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa	26.183,56	27.768,75	29.228,14	32.881,41
Río Loa	16.055.980,84	17.278.759,15	18.459.152,70	21.415.042,23
Costera – Loa – Caracoles	81.993,26	91.899,19	103.829,00	141.663,84
Fronteriza – Salares Atacama – Socompa	0,00	0,00	0,00	0,00
Endorreica – entre Fronterizas y Salar de Atacama	0,00	0,00	0,00	0,00
Salar de Atacama	33.352.681,24	36.957.507,95	40.838.369,89	51.575.620,88
Endorreica – Salar de Atacama – Vertiente Pacífico	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebrada Caracoles	1.739,12	2.377,35	3.223,38	6.006,52
Quebrada La Negra	0,00	0,00	0,00	0,00
Costera – Quebrada La negra – Quebrada Pan de Azúcar	68.566,98	90.639,04	119.571,71	214.000,40
TOTAL	**49.587.145,01**	**54.448.951,43**	**59.553.374,82**	**73.385.215,29**

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Producción de Energía Eléctrica

3.3.4.1. Introducción

En Chile existen cuatro sistemas eléctricos que cubren el territorio nacional:

- Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)
- Sistema Interconectado Central (SIC)
- Sistema Eléctrico de Aysén
- Sistema Eléctrico de Magallanes

El de interés para este estudio es principalmente el SING, de la cual es parte la Región de Antofagasta[13], que es el segundo sistema más importante del país (ver Figura 3.3.4.1-1). Los clientes principales del SING son mineros e industriales (90%), no sometidos a regulación de precios según la normativa legal.

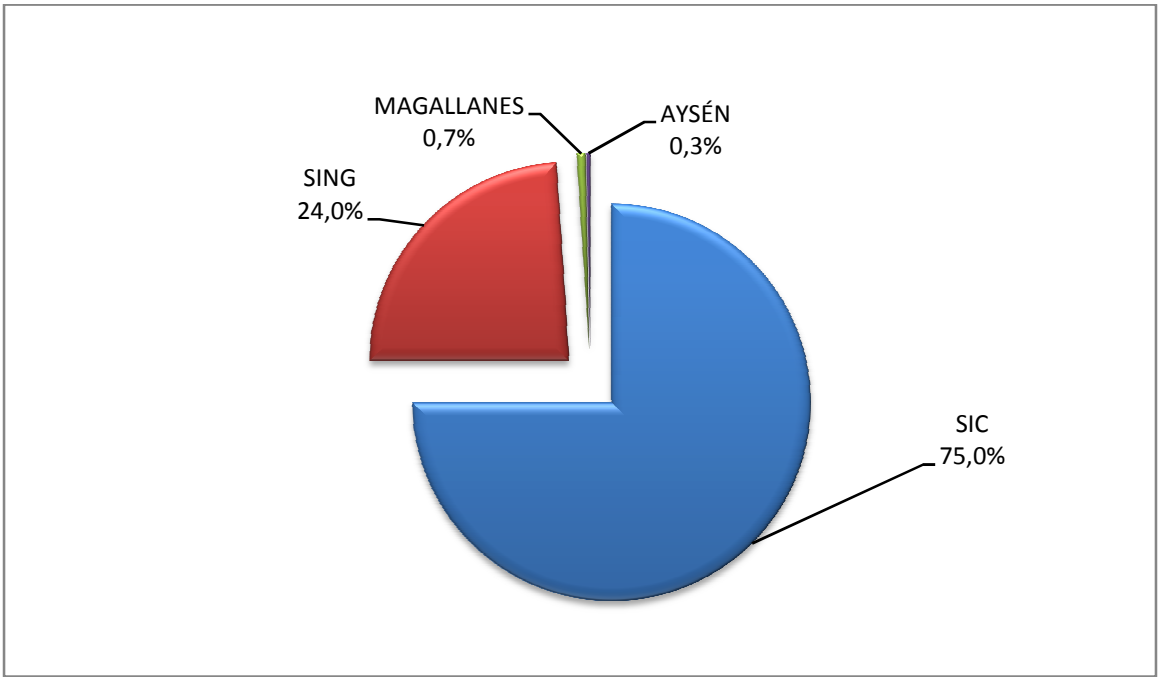
El mercado eléctrico en el país se divide en tres tipos de actividades: generación, transmisión y distribución de energía, siendo la "generación" la única que podría determinar una demanda de agua importante del sector, es decir, una demanda que no esté relacionada solamente al uso en servicios de oficina y los servicios básicos de sus trabajadores.

Las principales fuentes de generación de energía eléctrica en el país son la hidráulica y la termoeléctrica, existiendo experiencias menores en el uso de energías renovables no convencionales.

Si se analiza la demanda de agua para la generación de energía a nivel general, se puede afirmar que las mayores demandas se encuentran asociadas a centrales hidroeléctricas y luego en centrales termoeléctricas, que también requieren de agua en el proceso de generación, ya sea como vapor (ciclo combinado) orefrigeración (DGA, 2007[14]).

[13]Existe una mínima relación con el SIC, ya que una de las centrales generadoras de energía ubicada en Taltal entrega energía al SIC.
[14] DGA. 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras, zona 1 norte. Regiones I a IV. Realizado por Ayala, Cabera y Asociados Ltda. S.I.T. N°122. 596 p.

FIGURA 3.3.4.1-1
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN POR SISTEMA, 2009

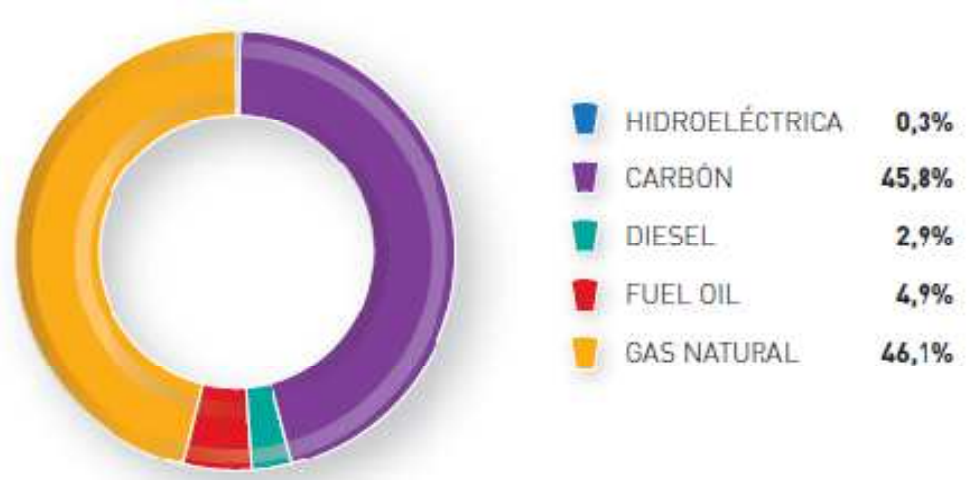


Fuente: Energía Eléctrica: Informe Anual 2009. Instituto Nacional de Estadística.INE, 2009.

Si la revisión se realiza por sistema, claramente la predominante en el SING, de interés en el presente estudio, es la fuente térmica de energía, con un 99,6% por centrales térmicas a carbón, fuel, diesel y de ciclo combinado a gas natural[15], tal como se muestra en la Figura 3.3.4.1-2.

[15]En el SING sólo existen dos unidades hidroeléctricas, correspondientes a las centrales Chapiquiña y Cavancha, pero éstas no se encuentran en la Región de Antofagasta.

FIGURA 3.3.4.1-2
CAPACIDAD INSTALADA EN EL SING POR COMBUSTIBLE



Fuente: CDEC-SING, 2011[16]

3.3.4.2. Demandas Actuales para Generación Eléctrica

La Región de Antofagasta cuenta principalmente con generación a través de centrales termoeléctrica, para el consumo fundamentalmente minero. Parte de estas centrales se encuentran conectadas al SING, una de ellas al SIC (Sistema Interconectado Central), y además se cuenta con un número no determinado de centrales que abastecen directamente a centros mineros, y que no inyectan energía al SING.

En la Figura 3.3.4.2-1 se observan las fuentes de generación del SING, incorporando además la Central Térmica de Taltal, que está integrada al SIC. En dicha figura se muestra que gran parte de las centrales se ubican en la zona costera de la región. En el Cuadro 3.3.4.2-1 se presentan cada una de ellas individualizadas, correspondiendo a un total de 11 centrales pertenecientes al SING y una perteneciente al SIC.

Al analizar la capacidad instalada regional según tipo de combustible utilizado en el proceso de generación de energía (Figura 3.3.4.2-2), y se compara con las cifras del SING, se observan algunas coincidencias y diferencias, dado que el combustible principal de la región es el carbón (49%) y no el gas natural como en todo el SING[17], pasando, este último, de un 46,1% en el SING a 37% a nivel regional.

[16] CDEC-SING. 2011. Anuario y Estadísticas de Operación. Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado de Norte Grande. 74 p.
[17]En el SING el gas natural representa el 46,1% del combustible utilizado por las centrales.

CUADRO 3.3.4.2-1
CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

N	CENTRAL	SISTEMA	TIPO	UNIDAD	POTENCIA BRUTA INSTALADA UNIDAD (MW)	TIPO DE COMBUSTIBLE
1	TERMOELÉCTRICA ANDINA	SING	Térmica	CTA	168,8	Carbón
2	TERMOELÉCTRICA ANGAMOS	SING	Térmica	ANG1	272,357	Carbón
				ANG2	272,596	Carbón
3	DIESEL MANTOS BLANCOS	SING	Térmica	MIMB	28,64	Diesel + Fuel Oil
4	DIESEL TAMAYA	SING	Térmica	SUTA	103,68	Fuel Oil Nro. 6
5	TERMOELÉCTRICA MEJILLONES	SING	Térmica	CTM1	165,9	Carbón
				CTM2	175	Carbón
				CTM3	250,75	Gas Natural + Diesel
6	TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA	SING	Térmica	TG1	24,698	Diesel
				TG2	24,931	Diesel
				TG3	37,5	Gas Natural
				U10	37,5	Fuel Oil Nro. 6
				U11	37,5	Fuel Oil Nro. 6
6	TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA			U12	85,3	Carbón
				U13	85,5	Carbón
				U14	136,4	Carbón
				U15	132,4	Carbón
				U16	400	Gas Natural
7	ATACAMA	SING	Térmica	CC1	395,9	Gas Natural
				CC2	384,7	Gas Natural
8	TERMOELÉCTRICA HORNITOS	SING	Térmica	CTH	170,1	Carbón
9	TERMOELÉCTRICA NORGENER	SING	Térmica	NTO1	136,3	Carbón
				NTO2	141,04	Carbón
10	DIESEL ANTOFAGASTA	SING	Térmica	GMAN	16.8	Diesel y Fuel oil
				MAAN	11.872	
11	DIESEL ENAEX	SING	Térmica	DEUTZ	1,959	Diesel
				CUMMINS	0,722	Diesel
12	TERMOELÉCTRICA TALTAL	SIC	Térmica		120	Gas natural
					120	Gas natural

Fuente: Elaboración propia a partir información CDEC-SING y CDEC-SIC

Para poder determinar el caudal utilizado por las centrales de la región, ya sea para la refrigeración como para la generación de vapor de éstas, se buscaron diversas fuentes de información, pero la disponibilidad de estos datos no se encuentran fácilmente disponible, por lo cual se determinó revisar los datos de derechos concedidos

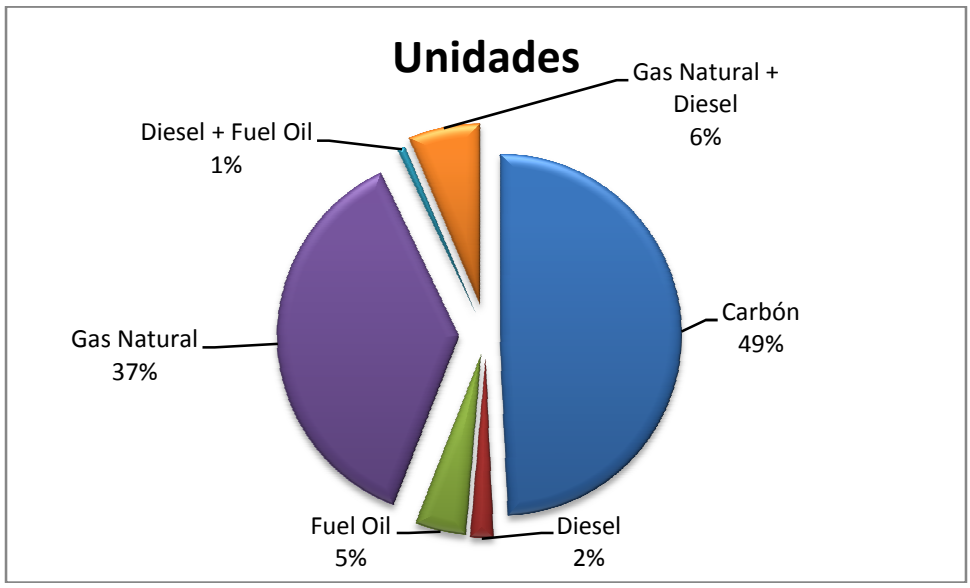
de la DGA, información del CDEC-SING, de la Comisión Nacional de Energía (CNE), de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, de la Sociedad de Fomento Fabril (SOFOFA) y finalmente de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación Ambiental.

FIGURA 3.3.4.2-1
DIAGRAMA DEL SING, CON INCORPORACIÓN DE TALTAL (SIC)



Fuente: CDEC-SING (www.cdec-sing.cl)

FIGURA 3.3.4.2-2
COMBUSTIBLE UTILIZADO POR TERMOELÉCTRICAS REGIONALES SEGÚN POTENCIA BRUTA INSTALADA



Fuente: Elaboración propia a partir de CDEC-SING

Se debe indicar que en el caso del CDEC-SING, de la CNE, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y de la SOFOFA, sólo existen datos económicos y operacionales del sistema eléctrico y sus centrales, e información sobre futuros proyectos, por lo cual dicha información ha sido de utilidad para la caracterización del sistema, y para futuras etapas del estudio, pero no así para determinar los caudales utilizados por centrales.

En el caso de la DGA, se revisaron los derechos concedidos por la Dirección General de Aguas[18], donde no se presentan empresas relacionadas con el ámbito eléctrico. Cosa distinta a los derechos en trámite, presentándose una empresa que solicita 467 L/s en la región, entre derechos permanentes alternados y continuos.

Finalmente, dado la falta de información, se revisaron cada uno de los proyectos de centrales de generación de energía de la región que han ingresado el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, ya sea por estudios o declaraciones de impacto ambiental, desde 1994 a la fecha.

En el Cuadro 3.3.4.2-2 se presentan los estudios analizados, la empresa que presenta el estudio y la página web del expediente, donde se puede obtener información sobre la documentación y estudios entregados por la empresa respectiva y la documentación y resoluciones emanadas desde la institucionalidad ambiental. Debe

[18] Presentándose datos al primer semestre del año 2012.

aclararse que en ocasiones corresponde al estudio para la incorporación de nuevas unidades de generación en centrales ya existentes.

CUADRO 3.3.4.2-2
ESTUDIOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA REGIONALES DEL SING SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

N°	NOMBRE DEL PROYECTO	EMPRESA	WEB EXPEDIENTE
1	Central Térmica Andino	Suez Energy Andino S.A	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1506312
2	Central Termoeléctrica Tocopilla	Electroandina S.A	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=923 http://seia.sea.gob.cL/seia-web/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=908&idExpediente=908&modo=ficha http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=890
3	Central Termoeléctrica Angamos	Empresa Eléctrica Angamos S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1819307
4	Central Termoeléctrica Mejillones	EDELNOR S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1420 http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=911
5	Central Termoeléctrica Taltal	ENDESA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2589 http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2769
6	Central Térmica Atacama	NOPEL LTDA	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=919

Fuente: Elaboraciónpropia a partir de http://seia.sea.gob.cl

La información existente en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental incluye a 6 de los 12 proyectos presentes en el SING. Al realizar un análisis de cada uno de ellos se destaca que cinco de esos seis proyectos (Andina, Tocopilla, Angamos, Mejillones, Atacama) utilizan agua de mar en sus procesos, incluyendo además plantas desalinizadoras. En el caso de la faltante, Central Termoeléctrica Taltal, no se indica en el

estudio la utilización de agua en sus procesos correspondiente a un ciclo simple que no requiere generación de calor.

De las centrales que no ingresaron al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y que son reportadas al SING, se debe indicar que según información de fuentes relacionadas a la empresa que pertenecen, las Centrales Termoeléctricas Norgener (Carbón) y Hornitos (Carbón) también utilizan agua de mar para sus procesos, y la Central Diesel Antofagasta (Diesel) se encuentra fuera de servicio y no cuenta con dicha información. Igualmente de las centrales Diesel Mantos Blancos (Diesel), DieselEnaex y DieselTamaya (Diesel), no fue posible encontrar mayor información.

En síntesis, como se observa en el Cuadro 3.3.4.2-3, según informan los estudios y resoluciones del Sistema de Evaluación de Impacto ambiental y otras fuentes secundarias, 7 de las 12 centrales que inyectan al SING utilizan agua de mar para sus procesos, no existiendo información en cinco de ellas, dos de las cuales se encuentran en el interior de la región y las tres faltantes, en la zona costera.

CUADRO 3.3.4.2-3
FUENTE DE UTILIZACIÓN DE AGUA DE LAS CENTRALES DEL SING Y SIC, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

N°	CENTRAL	SISTEMA	FUENTE DEL RECURSO
1	TERMOELÉCTRICA ANDINA	SING	Agua de Mar
2	TERMOELÉCTRICA ANGAMOS	SING	Agua de Mar
3	DIESEL MANTOS BLANCOS	SING	Sin Información
4	DIESEL TAMAYA	SING	Sin Información
5	TERMOELÉCTRICA MEJILLONES	SING	Agua de Mar
6	TERMOELÉCTRICA TOCOPILLA	SING	Agua de Mar
7	ATACAMA	SING	Agua de Mar
8	TERMOELÉCTRICA HORNITOS	SING	Agua de Mar
9	TERMOELÉCTRICA NORGENER	SING	Agua de Mar
10	DIESEL ANTOFAGASTA	SING	Sin Información
11	DIESEL ENAEX	SING	Sin Información
12	TERMOELÉCTRICA TALTAL	SIC	Sin Información

Fuente: Elaboración propia a partir de CDEC-SING, CDEC-SIC y Servicio de Evaluación Ambiental

Además se encuentran en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental otros 9 proyectos termoeléctricos no nombrados en el SING, como se observa en el

Cuadro 3.3.4.2-4. Esto podría deberse a que pertenecen a empresas mineras y no inyectan al SING, o porque corresponde a proyectos que aun no entran en operación.

CUADRO 3.3.4.2-4
ESTUDIOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA REGIONALES SOMETIDOS AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL NO PRESENTES EN EL SING

N°	NOMBRE DEL PROYECTO	EMPRESA	WEB EXPEDIENTE
1	Central Termoeléctrica Cochrane	NORGENER S.A	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=3030994
2	Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Coloso	Electroandina S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1080
3	Central Termoeléctrica Salar	Codelco	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2841903
4	Central de Generación Eléctrica Minera Cerro Dominador	Minera Cerro Dominador S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2935
5	Planta Bicentenario	Suministro de Energía GASRED S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=6121
6	Central Kelar	NEWCOAL GENERACION S.A.	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1853582
7	Planta de Generación Eléctrica de Respaldo	Minera Escondida	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2529877
8	Grupos de Generación Eléctrica	Minera Spence S.A	http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2372164
9	Parque de Generación Eléctrica Minera El Tesoro	Minera El Tesoro	http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2619330

Fuente: Elaboraciónpropia a partir de http://seia.sea.gob.cl

En los casos antes indicados, la Central Termoeléctrica Salar, de Codelco, indica un consumo medio anual de 3,7 L/s y como máxima instantánea de 5,8 L/s. Además, los proyectos hidroeléctricos Cochrane, Coloso y Kelar indican utilizar agua de mar, y el proyecto Central Minera Cerro Dominador indica ocupar agua del proceso industrial. Las otras presentadas en el Cuadro 3.3.4.2-4 no presentan información sobre los caudales a utilizar.

Para una mayor información, el estudio "Estimaciones de la Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. de la DGA (2007) indica que "*para el caso de las centrales termoeléctricas de la zona norte (…) se ha determinado que el caudal demandado se extrae desde los acuíferos de la zona donde ellas se ubican y las magnitudes requeridas son del orden de 0,5 L/s/MW*". Esto, si bien es realizado para centrales que indican utilizar agua de mar, es una información que podría ser de utilidad para futuras centrales de la zona. Así, en el Cuadro 3.3.4.2-4 se muestran los datos de caudales indicados por el consultor de dicho estudio.

CUADRO 3.3.4.2-5
CAUDAL UTILIZADO POR TERMOELÉCTRICAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA SEGÚN ESTUDIO DGA (2007)

NOMBRE	PROPIETARIO	UBICACIÓN	POTENCIA NOMINAL (MW)	Q ACTUAL (L/s)
Central Termoeléctrica Mejillones (a)	EDELNOR S.A.	Mejillones	591,0	296,0
Central Termoeléctrica Norgener (b)	NORGENER S.A.	Tocopilla	277,3	139,0
Central Termoeléctrica Atacama (a)	Gas Atacama Generación Ltda.	Mejillones	780,6	390,0
Central Termoeléctrica Diesel ENAEX (c)	Gas Atacama Generación Ltda.	Norte de Antofagasta	2,7	1,4
Central Termoeléctrica Tocopilla (a)	Electroandina	Tocopilla	1.029,0	515,0
Central Termoeléctrica Antofagasta (c)	EDELNOR S.A.	Antofagasta	28,7	14,5
Central Termoeléctrica Mantos Blancos (c)	EDELNOR S.A.	Oriente de Antofagasta	28,6	14,5
Central Termoeléctrica Taltal (c)	ENDESA	Norte de Taltal	243,0	122,5

(a) Utilizan agua de mar según los estudios presentados al SEIA.
(b) Utilizan agua de mar según otras fuentes de información
(c) No se posee información del afluente

Fuente: Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras Zona I Norte.Ayala, Cabrera y Asociados LTDA. Ingenieros Consultores-DGA, 2007

En definitiva, se podría indicar que de las centrales presentadas por estudio de la DGA (2007), podrían considerarse los caudales de la central que se encuentran al interior de la región (Mantos Blancos: 14,5 L/s), y podría suponerse utilización de agua de mar en las de Taltal, ENAEX y Antofagasta, dado que se ubican en zona costera y las empresas propietarias no presentan derechos de aprovechamiento concedidos.

De las centrales que no pertenecen al SING y que si presentan estudios o declaraciones en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, se pueden indicar dos elementos que sirven al análisis, primero, que estas centrales principalmente pertenecen a empresas mineras, y segundo, al no existir derechos concedidos a empresas eléctricas en la región, estos derechos podrían pertenecer a la empresa minera, por lo cual quedan dentro de las demandas generales de estas empresas.

3.3.4.3. Proyección de Demandas

Dado que la energía eléctrica satisface su demanda de agua fundamentalmente con agua de mar, no se hace necesario preparar proyecciones de demanda para este consumo.

3.3.5. Minería

3.3.5.1. Demandas Actuales

a) Introducción

Los procesos mineros son altamente dependientes de un continuo acceso al agua para su desarrollo, por ende el recurso hídrico constituye un recurso estratégico para la actividad. Sumado a lo anterior, hay que considerar que la minería en Chile se desarrolla esencialmente en la zona norte del país, zona de extrema aridez en la que el agua, tanto superficial como subterránea, es un bien escaso. Por tanto, la disponibilidad y gestión del agua resultan clave en la minería.

La disponibilidad de agua es un elemento estratégico clave para la sustentabilidad de la actividad minera en Chile. Asimismo, la escasez del recurso es fuente permanente de conflictos no sólo entre sectores productivos competidores por su uso (minería vs agricultura) sino que también respecto a su disponibilidad para consumo humano. Las proyecciones de demanda crecientes de agua imponen aún mayor presión a un sistema que ya se encuentra muy estresado.

Existe un volumen importante de información referida a la disponibilidad de agua que se ha generado a partir de la aplicación de instrumentos de gestión bajo la tutela de distintos organismos del Estado. Esta información proviene en forma importante de los mismos usuarios del agua que la generan en función de permisos y derechos de aprovechamiento que solicitan a las autoridades.

En el año 1996 la D.G.A. publicó el estudio: ***"Análisis del uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile"***, el cual realiza una evaluación de las demandas actuales y futuras de los recursos hídricos en todas las cuencas y subcuencas principales del país, el cual sirvió como una primera aproximación a lo que era la demanda hídrica para distintos rubros económicos y no económicos incluida la minería.

En el año 2007 la D.G.A publicó un estudio de similar temática titulado: ***"Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I norte. Regiones I a IV",*** el cual otorga información actualizada de la situación actual y futura de las demandas de este recurso en el país, para diferentes usos, a nivel regional, de cuencas y subcuencas. En particular, se contempló estimar las demandas futuras para

horizontes de 10 y 25 años, identificando zonas críticas, ya sea por escasez del recurso o por uso intensivo del mismo y, finalmente, plantear las recomendaciones que permitan oportunamente reducir o eliminar los efectos que podrían imponer al desarrollo económico y social del país, las restricciones sobre la disponibilidad del recurso en el área de influencia de este trabajo, entre otros.

El 18 de abril de 2007, se convocó la "***Mesa Público-Privada Nacional"*** con el objetivo de abordar la problemática del recurso hídrico, con especial atención a su relación con la actividad minera. Como primer paso, la Mesa concordó realizar, con la coordinación de COCHILCO, un informe incluyendo un levantamiento de la información actualmente disponible, una compilación de iniciativas en curso por parte de distintos organismos, un catastro preliminar de conflictos, y la identificación de posibles sinergias, con miras a consensuar un diagnóstico integrado que permita abordar, en una segunda fase, la problemática del recurso hídrico en el futuro inmediato a partir de la elaboración de una Hoja de Ruta.

El estudio publicado en el año 2008 con datos del año 2006: ***"Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centronorte de Chile"***, elaborado por Proust Consultores (representando a Consejo Minero y la Sociedad Nacional de la Minería) en conjunto con la Dirección General de Aguas dió el paso inicial en dar a conocer los consumos de agua de la minería en el país y además, informar sobre los avances del sector en la eficiencia en el consumo unitario de agua fresca en los procesos de concentración e hidrometalurgia en el período 2000-2006.

En el año 2009, COCHILCO decidió recopilar, sistematizar y analizar información del consumo de agua en las faenas mineras con el objeto de proporcionar información de calidad sobre la situación actual de la minería frente al recurso hídrico. Así se generó el estudio: ***"Consumo de agua en la minería del cobre 2009"*** basado en datos al año 2009 proporcionados por las empresas mineras. El cual fue actualizado en el año 2010 bajo el nombre: "Consumo de agua en la minería del cobre 2010".

Finalmente el Servicio Nacional de geología y minería en el año 2011 publicó el ***Anuario de la minería de Chile 2011*** En esta publicación, se presenta un resumen económico del sector minero nacional y las estadísticas mineras sociales del país, actualizadas al año 2011, que se refieren a producción, seguridad, concesiones, gestión ambiental minera y capacitación. El cual nos coloca en el marco de la actividad minera y sus niveles de producción para la segunda región de Antofagasta.

b) Metodología

En este estudio no se pretende ser exhaustivo con el cálculo de demanda sino más bien se pretende llegar a una correcta estimación que permita planificar de manera acertada las siguientes etapas del proyecto.

Es así como para la estimación de la demanda de agua en la minería se recurrió a una revisión de información secundaria detallada con el fin de llegar a determinar de manera aproximada los recursos hídricos que se utilizan en el ámbito minero. Para ello se procedió primeramente a establecer la producción minera, tanto

metálica como no metálica de la región, para luego estimar, para los productos principales, los requerimientos de agua para su producción.

Para todo este procedimiento se revisó principalmente documentos publicados por el Ministerio de Minería, la Corporación Chilena del Cobre -Cochilco, Codelco y el Servicio Nacional de Geología y Minería – Sernageomin. Los pasos seguidos sepresentan a continuación:

a) Para efectos de la situación actual, se consideró la productividad minera del año 2011. Las actuales instalaciones de producción minera metálica y no metálica de la región se obtuvo de la publicación "Anuario minería 2011" publicado por Cochilco, donde se mencionan las 42 empresas más importantes de la región.

b) Posteriormente para esta primera aproximación se seleccionaron las instalaciones de procesamiento del cobre, cuya producción según la base de datos estadística de la sociedad Nacional de Minería (SONAMI) supera el 50% de la producción a nivel nacional. Se contempló solo el consumo realizado por el procesamiento de este mineral por ser sustancialmente más relevante que los otros minerales procesados en la Región.

c) Por otro lado, se analizó la tasa unitaria de consumo de agua para cada instalación considerada.La información anterior fue extraída del estudio "Gestión del Recurso Hídrico y la Minería en Chile, Proyección Consumo de Agua en la Minerìa del Cobre 2009-2020" realizado por COCHILCO.

Antes de mencionar la tasa unitaria se hizo una pequeña reflexión acerca de la eficiencia hídrica de los procesos mineros y la utilización de fuentes de agua alternativas (marinas).

d) Una vez determinados los requerimientos de agua de los principales yacimientos de la industria minera para esta región, se procedió a distribuirlos por cuenca hidrográfica.

Para lo anterior, se consideró la ubicación de las extracciones de agua de cada una de las instalaciones. Esta información geográfica se extrajo del estudio "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centronorte de Chile" Realizado por Proust Consultores en conjunto con la DGA en el año 2007complementandola con la información de derechos de agua otorgados, proveniente del CPA, actualizado al año 2012, donde se detalla los lugares donde cada empresa posee derechos de extracción.

De acuerdo a la información consultada, se logró obtener los requerimientos de agua para la industria minera distribuidos por cuenca hidrográfica. Respecto a lo anterior es importante tener en cuenta que la ubicación de las plantas de procesamiento del mineral no coincide necesariamente con la ubicación de la extracción de agua pudiendo ser en algunos casos, incluso, en una cuenca adyacente.

e) Finalmente se revisará el Catastro Público de Aguas de la D.G.A y se recopilaran los derechos de aguas pertenecientes a estas empresas con el fin de tener presente el agua consumida real y la cantidad máxima que teóricamente podrían llegar a utilizar.

En lo que sigue se muestra la información recopilada.

c) Resultados

c.1) Participación de la Región en la Producción Minera Chilena

La producción mineral metálica anual en la Región de Antofagasta al año 2011 es la mostrada en el Cuadro 3.3.5.1-1. Para el caso del Cobre se observa que la región en estudio produce el 51,76 % de la producción nacional de este mineral, otros minerales metálicos como la Plata, el Oro y el Molibdeno, tienen producciones del orden del 53%, 45%, y 31% de la producción nacional respectivamente.

Por otro lado, en menos envergadura pero de gran importancia nacional, en la región también se trabaja otros tipos de rocas y minerales no metálicos. Dentro de ellos cabe destacar los compuestos de Litio y potasio que son únicamente producidos en esta región, además de los nitratos cuya producción en Antofagasta alcanza más del 91% nacional. Esta información se puede observar en el Cuadro 3.3.5.1-2.

CUADRO 3.3.5.1-1
PRODUCCIÓN METÁLICA NACIONAL Y REGIONAL

Mineral Metálico	Producción de la Región	Producción de la Región en relación a la producción nacional	Producción Total Nacional
Cu (tmf)	2.721.201	51,76%	5.257.195
Mo (tmf)	12.837	31,54%	40.698
Au (kg)	20.632	45,70%	45.137
Ag (kg)	682.401	52,84%	1.291.272

Nota: tmf: toneladas de Material Fino

Fuente: Elaboración propia en base a, Anuario Minería, SERNAGEOMIN(2011)

Las anteriores producciones se encuentran en su totalidad a cargo de las instalaciones mineras mencionadas en el Cuadro 3.3.5.1-3, así mismo se puede observar su ubicación geográfica en la Figura 3.3.5.1-1.

CUADRO 3.3.5.1-2
PRODUCCIÓN NO METÁLICA NACIONAL Y REGIONAL

Mineral No Metálico o Roca	Producción de la Región (t/año)	Producción anual de la Región en relación a la producción anual nacional	Producción Total Nacional (t/año)
Carbonato de Calcio	1.579.044	25,18%	6.269.692
Compuestos de Azufre	2.125.583	43,26%	4.913.000
Compuestos de Boro	25.128	5,09%	491.421
Compuestos de Litio	69.597	100%	69.597
Compuestos de Potasio	1.371.689	100%	1.371.689
Nitratos	849.243	91,48%	927.922
Pumicita	99.840	12,23%	816.565
Recursos Silicios	85.600	0,006%	1.236.843
Rocas fosfóricas	9.879	62,5%	15.929
Rocas de ornamentación	4.117	57,14%	7.318
Sulfato de Cobre	2.214	18,18%	11.187
Yeso	26.292	2,83%	917.759
Yodo	4.995	31,25%	16.000

Fuente: Elaboración propia en base a Anuario Minería, SERNAGEOMIN (2011).

CUADRO 3.3.5.1-3
PRINCIPALES EMPRESAS MINERAS CON OPERACIONES EN LA REGIÓN

ID	Nombre Empresa	Nombre Instalación	Pasta principal
1	Quiborax S.A.	Salar Ascotán	Ulexita
2	Minera Capacho Viejo	Capacho viejo	Sulfato de Cobre
3	El Abra	El Abra	Cobre
4	Codelco	Rodomiro Tomic	Cobre
5	Codelco	Chuquicamata	Cobre
6	Codelco	Codelco norte	Acidosulfurico
7	S.Q.M. industrial	María Elena	Nitratos
8	Cía Minera Mantos de la Luna	Mantos de La Luna	Cobre
9	S.Q.M.	Coya Sur	Yodo

CUADRO 3.3.5.1-3
PRINCIPALES EMPRESAS MINERAS CON OPERACIONES EN LA REGIÓN
(Continuación)

ID	Nombre Empresa	Nombre Instalación	Pasta principal
10	Sulfatos del Norte	Sulfatera Petronila	Sulfato de potasio
11	Canteras Atacama	Canteras Atacama	Travertino
12	S.Q.M. industrial	Pedro de Valdivia	Nitratos
13	Minera Michilla S.A.	Lince	Cobre
14	Minera Michilla S.A.	Polo Central	Cobre
15	Cía Minera Spence	Mina Spence	Cobre
16	Minera Cerro Dominador S.A.	Faride	Cobre
17	El Tesoro	El Tesoro	Cobre
18	CedricFernandez	Eliana 21	Cuarzo
19	Sierra Miranda S.C.M.	Sierra Miranda	Cobre
20	Compañía Minera Soledad	Yeso Norte	Yeso
21	Minera el Way S.A.	Patty	Yeso
22	Minera Rayrock Ltda.	Iván	Cobre
23	Minera Gaby S.A.	Gaby	Cobre
24	Lomas Bayas	Lomas Bayas	Cobre
25	Mantos Blancos	Mantos Blancos	Cobre
26	S.Q.M. Salar	S.Q.M. Salar	Cloruro de Litio
27	Soc. Chilena del Litio	Chepica del Salar	Carbonato de Litio
28	Minera El Way S. A.	El Way	Caliza
29	Atacama Minerals	Atacama Minerals	Yodo
30	Zaldivar	Zaldivar	Cobre
31	Minera El Way S. A.	Juana	Pumicita
32	Simunovic	Simunovic	Cuarzo
33	Minera Capacho viejo	Puzolana Norte	Puzolana
34	Escondida	Escondida	Cobre
35	Meridian	Meridian	Oro
36	Minera Las Cenizas	Las Luces	Cobre
37	Compañía Minera Franke	Mina Franke	Cobre
38	Minera Las Cenizas	Altamira	Cobre
39	Cesar Fromas Ortiz	Mariela e Ignacia	Apatita
40	Minera Esperanza	Esperanza	Cobre
41	Minera Guanaco	Guanaco	Oro, Plata
42	Soc. contractual Minera Bullmine	Tana	Yodo

Fuente: Anuario Minería, SERNAGEOMIN (2011)

REGIÓN DE TARAPACA

REGIÓN DE ATACAMA

Ollague

Salar Ascotán

Capacho viejo

El Abra

Rodomiro Tomic

Chuquicamata

Codelco norte

María Elena

Mantos de La Luna

Coya Sur

Sulfatera Petronila

María Elena

Canteras Atacama

Pedro de Valdivia

Lince

Polo Central

Faride

Mina Spence

San Pedro de Atacama

Eliana 21

Esperanza

El Tesoro

Mejillones

Sierra Miranda

Yeso Norte

Iván

Patty

Baquedano

Mantos Blancos

Lomas Bayas

Gaby

S.Q.M. Salar

Antofagasta

Chepica del Salar

El Way

Atacama Minerals

Juana

Simunovic

Puzolana Norte

Zaldivar

Escondida

Meridian

GuanacoTana

Taltal

Las Luces

Mina Franke

Mariela e Ignacia

Altamira

SIMBOLOGÍA

- Límite Regional
- Límite Provincial
- Límite Comunal
- Capital regional
- Capitales comunales
- Ciudades

Faenas Mineras

- Rocas y Minerales Industriales

Minerales Metálicos

- Cobre
- Oro
- Oro, Plata

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Faenas Mineras, zona de estudio

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
SERNAGEOMIN. 2011,

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 3.3.5.1-1

c.2) Instalaciones Mineras Representativas

Las instalaciones consideradas en esta primera aproximación se muestran en el Cuadro 3.3.5.1-4 y corresponden a todas las empresas que trabajan con el cobre y que en el procesamiento de este mineral significan más del 50 % en relación a la producción nacional y el 97% de la producción regional

CUADRO 3.3.5.1-4
EMPRESAS MINERAS DE RELEVANCIA SEGÚN SU PRODUCCIÓN DE MINERAL COBRE

Tipo Minería	Empresa Minera	Producción 2011 (miles de toneladas/ año)	% Minería Regional	Porcentaje
Minería estatal	División Codelco Norte (Chuquicamata y Rodomiro Tomic)	913,5	33,6	97%
	Minera Gaby	118	4,3	
Minería Privada	Escondida	817,7	30,0	
	Anglo American Norte (**)	130,9	4,8	
	El Abra	123,4	4,5	
	Lomas Bayas	73,6	2,7	
	Zaldivar	132,3	4,9	
	Michilla	41,6	1,5	
	El Tesoro	97,1	3,6	
	Spence	181	6,7	
	Otras	92,1	3,4	3%
Total Región Antofagasta		**2721,2**	**100**	

Fuente: Elaboración propia en base a Base estadística SONAMI, 2011

d) Eficiencia Hídrica y Análisis de la Reutilización del Agua

Para entender las tasas de consumo actuales de la minería es importante mencionar que los procesos de beneficio de minerales, cualquiera sea su tipo (flotación, lixiviación u otro), requieren suministrar agua. En la mayoría de las faenas mineras es posible manejar el recursohídrico en circuito cerrado dentro del proceso, recirculando el agua una y otra vez, requiriéndose el suministro de agua nueva o "fresca" sólo para reponer las pérdidasinevitables que se generan por evaporación y la humedad remanente en los residuos sólidos. Sólo bajo ciertas condiciones geográficas, de distancia y/o diferencia de altitud entre el procesoprincipal y los sitios en que se obtiene el producto final o se dispone el residuo sólido, no resulta posible recircular toda el agua de proceso, haciéndose necesario eliminar el excedente, lo que genera un mayor requerimiento de agua fresca en la planta de procesos y afecta directamente la tasa unitaria de consumo de agua para el proceso.

El informe consumo de agua en la minería analiza con detención la reutilización del agua en las concentradoras. Se calculó que, en promedio, sólo el 33% del total del agua usada en los procesoscorresponde a extracciones de agua fresca y el resto es agua de recirculación.

e) Otras Fuentes de Extracción de Agua

En un escenario de limitada disponibilidad de recurso hídrico el desarrollar mecanismos que permitan aumentar la oferta de agua como lo es el uso deagua de mar, ya sea directo o desalinizada en los procesos productivos, aparece como una atractiva alternativa de suministro. En cualquier caso, existeuna importante dificultad derivada de la necesidad de transportar el agua deorigen marítimo al lugar de las faenas mineras que, por lo general, seencuentran a elevada altura sobre el nivel del mar. Dicho transporte, ademásde requerir inversiones en infraestructura, demanda altos consumos de energíalo que - en un escenario de disponibilidad energética restrictivo – conllevaaumentos significativos de costos. Dentro de las Formas de obtener agua desde el mar existen las siguientes:

1. **Uso directo de agua de mar en operaciones mineras:** En relación al uso directo de agua de mar, es posible de aplicar en faenas que tengan la infraestructura necesaria para resistir la salinidad presente en el agua y en las que el mineral por su características mineralógicas así lo permita. Ambos requisitos establecen una importante barrera de entrada para los proyecto antiguos, ya que habría que evaluar la factibilidad técnica (mineralización del yacimiento) y económica (características de los equipos e instalaciones) de la operación, antes de iniciar cualquier proyecto de sustitución de agua dulce por agua de mar. Por ello, el uso directo de agua de mar, es más bien una opción factible para proyectos nuevos.

2. **Desalinización:** La desalinización es un proceso mediante el cual se elimina el contenido de sales del agua de mar teniendo como producto agua dulce. El desarrollo de la tecnología ha permitido que en hoy en día la desalinización de agua de mar sea una opción factible tanto técnica como económica de obtener agua fresca, ya sea para consumo industrial o humano. Actualmente el uso de agua desalinizada en proyectos mineros ya representa una posibilidad concreta de suministro de agua alternativo a la extracción de agua fresca.Existen 11 proyectos ligados a la minería sobre la mesa, 2 de ellos en operación (Minera Michilla y Minera Escondida)

f) Consumo Unitario de Agua Fresca Para Uso Minero

Otra forma de aproximarse a la estimación del uso de agua en los procesos mineros es analizar detalladamente cada etapa de ellos. En el estudio ***"Gestión del Recurso Hídrico y la Minerìa en Chile, Proyección Consumo de agua en la Minería del Cobre 2009-2020" (COCHILCO 2009)*** se presenta la información sobre tasa de consumo unitario de agua fresca clasificada por proceso de beneficio de minerales de cobre (concentración e hidrometalurgiade cobre) para instalaciones mineras de la región. En general la tasa de consumo de agua fresca en los procesos de concentración fluctúa

en un rango amplio de 0,3 a 2,1 m³/t. Los valores más altos corresponden a operaciones en que no es posible recircular las aguas desde los depósitos de relave. Por su parte, la tasa de consumo deagua fresca en los procesos de hidrometalurgia fluctúa en un rango de 0,08 a 0,25 m³/t. Este último análisis muestra que el consumo unitario de agua en proceso de concentración de cobre (Fc) y el consumo unitario de agua en proceso de hidrometalurgia de cobre (Fh) por Compañía Minera, expresado en metros cúbicos de agua fresca por tonelada de mineral ingresado a proceso, es como muestra el Cuadro 3.3.5.1-5.

Sin embargo, dado que este estudio es de un periodo en particular, se hace necesario ver como se ha comportado este parámetro en el tiempo. Debido a ello es que se recurrió al estudio: "***Consumo de agua en la minería del cobre 2010"*** donde se realiza un análisis comparativo de la tasa unitaria de consumo de agua promedio a nivel nacional en un período aproximado de 10 años, el cual considera valores para los años 2001, 2006, 2009, 2010. Las características de la evolución de este valor se pueden observar en la Figura 3.3.5.1-2.

CUADRO 3.3.5.1-5

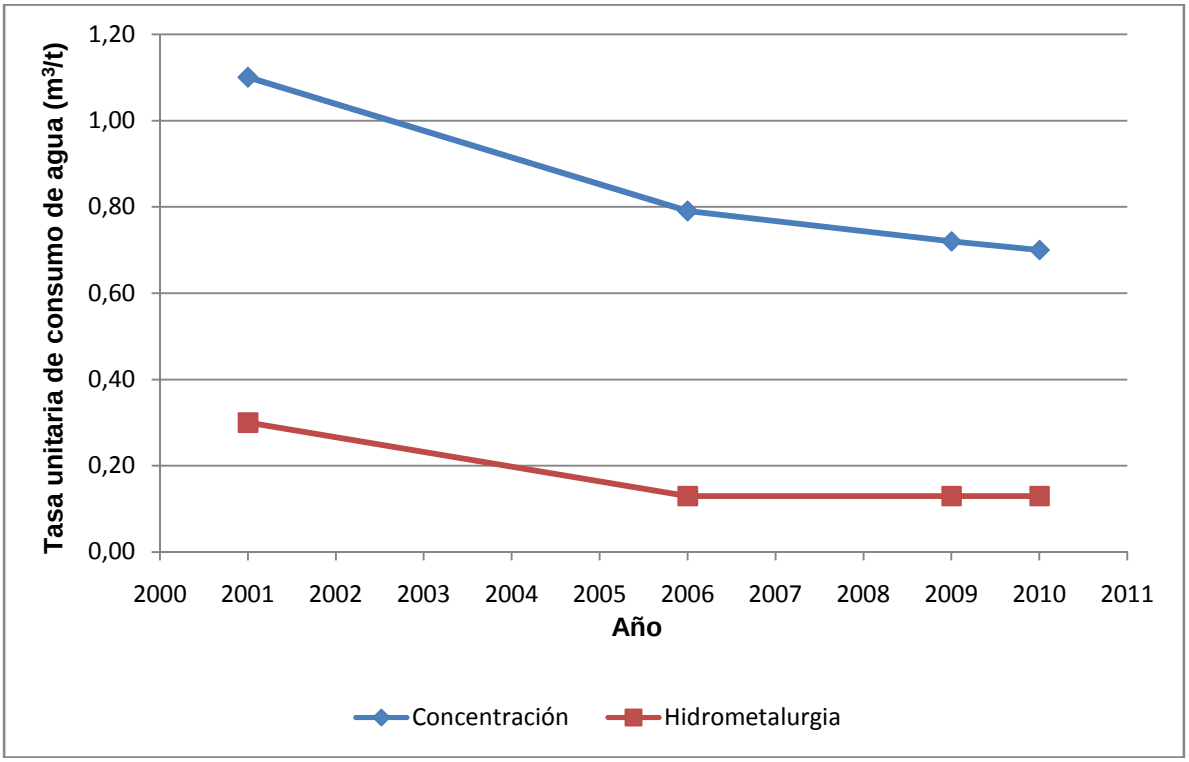
TASA UNITARIA DE CONSUMO DE AGUA POR EMPRESA MINERA ANALIZADA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

EMPRESA MINERA	CONSUMO UNITARIO (m³/t)	
	FC (CONCENTRACIÓN)	FH (HIDROMETALURGIA)
Codelco Norte	0,74	0,17
Rodomiro Tomic	0,74	0,17
El Abra	0,74	0,11
Anglo Norte (Mantos Blancos)	0,74	0,10
Lomas Bayas	0,74	0,13
Spence	0,74	0,13
Escondida	0,74	0,17
Gaby	0,74	0,13
Zaldivar	0,74	0,13
El Tesoro	0,74	0,26
Michilla	0,74	0,17
Esperanza	0,74	0,17
Meridian	0,74	0,17
Altonorte	0,74	0,17

Fuente: Elaboración propia en base a estudio: "Gestión del Recurso Hídrico y la Minería en Chile, Proyección Consumo de agua en la Minería del Cobre 2009-2020.", COCHILCO (2009).

Luego de este análisis, se realizó una estimación de consumo de agua en la minería considerando las tasas de consumo unitario para cada subproceso en la región y su actual producción al año 2011. Este resultado se puede observar en el Cuadro 3.3.5.1-6.

FIGURA 3.3.5.1-2
EVOLUCIÓN DE LA TASA UNITARIA DE CONSUMO DE AGUA EN EL SECTOR MINERO



Fuente: Elaboración propia en base a los siguientes estudios:
Año 2001, Uso Eficiente de Aguas en la industria minera, APL (2002);
Año 2006, Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile, Proust Consultores 2008.
Año 2009 Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2009, COCHILCO (2009).
Año 2010 "Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2010", COCHILCO (2010)

CUADRO 3.3.5.1-6
ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE AGUA EN LA MINERÍA CONSIDERANDO LAS TASAS DE CONSUMO UNITARIO Y SU ACTUAL PRODUCCIÓN AL AÑO 2011

Instalación minera	Mineral ingresado (t/día) *[1]	Mineral procesado por flotación (concentración) (t/día)	Mineral procesado por oxidos de lixiviación (hidrometalurgia) (t/día)	Consumo de agua concentración (m^3/día) *[2]	Consumo de agua hidrometalurgia (m^3/día) *[2]	Consumo asimilabe al procesamiento del mineral (m^3/día)	Consumo de agua (m^3/año)	Consumo de agua (m^3/s)	Consumo de agua (L/s)
CODELCO DIVISIÓN CHUQUICAMATA	244.103,0	250.000,0	0,0	185.000,0	0,0	185.000,0	67.525.000,0	2,1412	2.141,2
R TOMIC	109.834,0	30.000,0	100.000,0	22.200,0	17.000,0	39.200,0	14.308.000,0	0,4537	453,7
EL ABRA	56.868,0	-	60.000,0	0,0	6.600,0	6.600,0	2.409.000,0	0,0764	76,4
ANGLO NORTE (MANTOS BLANCOS)	54.675,0	25.000,0	30.000,0	18.500,0	.3000,0	21.500,0	7.847.500,0	0,2488	248,8
LOMAS BAYAS	28.121,0	-	30.000,0	0,0	3.900,0	3.900,0	1.423.500,0	0,0451	45,1
SPENCE	69.754,0	-	75.000,0	0,0	9.750,0	9.750,0	3.558.750,0	0,1128	112,8
ESCONDIDA	425.610,0	20.0000,0	225.000,0	148.000,0	38.250,0	186.250,0	67.981.250,0	2,1557	2.155,7
GABY	45.863,0	-	50.000,0	0,0	6.500,0	6.500,0	2.372.500,0	0,0752	75,2
ZALDIVAR	56.398,0	-	57.000,0	0,0	7.410,0	7.410,0	2.704.650,0	0,0858	85,8
EL TESORO	37.325,0	-	40.000,0	0,0	10.400,0	10.400,0	3.796.000,0	0,1204	120,4
MICHILLA	16.136,0	-	17.000,0	0,0	2.890,0	2.890,0	1.054.850,0	0,0334	33,4
ESPERANZA	90.000,0	90.000,0	-	66.600,0	0,0	6.6600,0	24.309.000,0	0,7708	770,8
MERIDIAN	3.550,0	3.550,0	-	2.627,0	0,0	2.627,0	958.855,0	0,0304	30,4
ALTONORTE	3.000,0	-	3.000,0	0,0	510,0	510,0	186.150,0	0,0059	5,9
TOTALES	**1.241.237,0**	**598.550,0**	**687.000,0**	**442.927,0**	**106.210,0**	**549.137,0**	**200.435.005,0**	**6,3558**	**6.355,8**

*[1] considera ley del mineral = 0.84% y recuperación del mineral del 74%

*[2] considera tasas de consumo unitario mencionadas en el cuadro 3.3.5.1-5

Fuente: Elaboración propia

Según la estimación anterior, el consumo de agua en la minería alcanza los 193.392.418,6 m^3 al año, lo que equivale a 6.355,75 L/s. No obstante este valor considera el consumo de agua por parte de Minera Esperanza y Michilla, las cuales ocupan agua desalada en sus procesos En el Cuadro 3.3.5.1-7 se muestra el consumo de agua en la minería del cobre según estudios realizados en los años 2009, 2010 y el estudio actual.

CUADRO 3.3.5.1-7
CONSUMO DE AGUA EN LA MINERÍA EN LOS AÑOS 2009, 2010 Y 2011

Fuente	Año	Producción (t/año)	Consumo de Agua Aproximado (L/s)
COCHILCO	2009	2.940.184	5.711
COCHILCO	2010	2.942.178	5.408
Este estudio	**2011**	**2.721.201**	**6.355***

Fuente: * Considera los consumos de agua de Minera Michilla y Esperanza, las cuales ocupan agua desalada y no fueron consideradas en los otros estudios
Elaboración propia en base a los siguientes estudios:
Año 2009 Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2009, COCHILCO (2009).
Año 2010 "Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2010", COCHILCO (2010)

g) Distribución de Demanda por Cuenca Hidrográfica

A continuación a los consumos de agua calculados les fueron asignadas Cuencas Hidrográficas de extracción del recurso, según la ubicación de la extracción del agua para cada instalación minera. El resultado de esto se puede observar en el Cuadro 3.3.5.1-8. Luego el consumo de agua, por cuenca hidrográfica se puede observar en el Cuadro 3.3.5.1-9.

CUADRO 3.3.5.1-8
ASIGNACIÓN DE CONSUMOS DE AGUA POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Planta Minera	Consumo de agua (L/s)	Cuenca de extracción
Codelco Norte	2.141	Río Loa
R Tomic	454	Río Loa
El Abra	76	Fronterizas salar michincha-Río Loa
Anglo Norte (ms-blanco)	249	**Compra de agua a empresas sanitarias Aguas Antofagasta, Agua pura y aguas FAB**
Lomas Bayas	45	Río Loa
Spence	113	Salar de Atacama
Escondida	2.156	Salar de Atacama 56% y Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico 44%
Gaby	75	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico
Zaldivar	86	Salar de Atacama
El tesoro	120	Río Loa
Michilla	33	**No corresponde ya que utiliza agua de mar en sus procesos**
Esperanza	771	**No corresponde ya que utiliza agua de mar en sus procesos**
Meridian	30	Quebrada La Negra 88% y Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico 12%
AltoNorte	6	Quebrada La Negra
TOTALES	**6.355,75**	

Fuente: Elaboración propia en base a "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile, Proust Consultores (2008) y Derechos de Afua otorgados, Catastro Público de Aguas, D.G.A. (2012)

CUADRO 3.3.5.1-9
CONSUMOS DE AGUA DE LA MINERÍA POR CUENCA HIDROGRÁFICA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Cuenca	Consumo asociado al uso minero (L/s)
Cuenca del Río Loa	2.760
Cuenca Fronterizas Salar Michincha-Río Loa	76
Cuenca Salar de Atacama	1.406
Cuenca Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	1.027
Cuenca Quebrada La Negra	33
TOTAL	5.303

Fuente: Elaboración propia

h) Derechos de Agua

Finalmente, considerando que los derechos de agua son la forma en la cual el Estado otorga a los particulares el uso y goce de este recurso, en conformidad a las reglas que establece el Código de Aguas, podría servir para estimar en una primera instancia la cantidad máxima de agua que podrían llegar a utilizar las instalaciones mineras. No obstante se debe considerar que no siempre lo solicitado corresponde a la real utilización del recurso, sobre esto, es que el documento ***"Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centronorte de Chile"***señalaqueel análisis comparativo de información de derechos de agua entre el Catastro Público de Aguas de la DGA y los antecedentes informados por las empresas mineras acerca de la extracción efectiva, arrojó como resultado que a nivel global, el total de derechos consuntivos de agua informados por las empresas mineras es mayor en un 12,5% respecto de la información disponible en el CatastroPúblico de Aguas de la DGA.

En una primera etapa se consultó la información disponible en el Catastro Público de Aguas de la Dirección General de Aguas (CPA). Esta información se analizó diferenciando los siguientes tipos de derechos:

- Derechos consuntivos superficiales, sub-clasificados en: (a) derechos permanentes; y (b) derechos eventuales.

- Derechos consuntivos subterráneos, sub-clasificados en: (a) derechos permanentes; y (b) derechos provisionales.

Lo derechos no consuntivos fueron considerados separadamente, debido a que, por definición, no constituyen un derecho que pueda emplearse para respaldar un consumo de extracción de agua fresca.

Para el análisis de los derechos se consideraron las empresas que representaban en su conjunto el 97% de la producción de cobre de la región (ver Cuadro 3.3.5.1-5).

Los resultados se muestran en el Anexo 3-5 (Derechos consuntivos otorgados por empresa minera, región de Antofagasta). Cabe hacer mención que aún queda estudiar en detalle el caso de Antofagasta Minerals, la cual contempla muy poca información de derechos en el CPA, lo mismo ocurre con Minera Gaby y Minera Mantos Blancos. Así mismo se debe considerar el arrendamiento de derechos a terceros, los que solo trabajando el CPA no se pueden detectar.

3.3.5.2. Demandas Futuras

Se realizó una estimación aproximada de proyección a corto-plazo (2012-2017 de la demanda de agua en la industria Minera. Para ello se consideraron cálculos basados en producción anual de mineral y tasas de consumo unitario de agua para el periodo 2001-2011. Añadido a lo anterior se consideraron estimaciones de producción que contemplaban las inversiones programadas hasta el año 2020 presentes en el estudio: "Gestión del Recurso Hídrico y la Minería en Chile, Proyección Consumo de agua en la Minería del Cobre 2009-2020.", Proust Consultores COCHILCO (2009). Los

resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3.3.5.2-1. Por último su memoria de cálculo se encuentra en el Anexo 3-5.

CUADRO 3.3.5.2-1
ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA DE LA MINERÍA
2012-2017

AÑO	DEMANDA (hm³/AÑO)
2012	142,0
2013	136,1
2014	129,9
2015	168,0
2016	166,6
2017	**154,8**

Fuente: Elaboración propia

Se hace notar que la proyección de demandas futuras de mediano y largo plazo no son posibles de realizar, ya que dependen de los proyectos mineros que se ejecuten, las tecnologías de explotación y producción seleccionadas parámetros que no es posible proyectar, por lo que no se hace posible presentar una demanda hídrica minera.

3.3.6. Uso Industrial

3.3.6.1. Introducción

El objetivo del presente acápite consiste dar cuenta de las demandas industriales en la cuenca. Tal como se indicó anteriormente, el uso industrial está incluido en el uso potable, lo que para efectos de balances posteriores es el valor a ser considerado. Por lo anterior, la información que se presenta es más bien de tipo informativo, y no se hace necesario preparar proyecciones de demanda de uso industrial. Se hace notar que en las proyecciones de agua potable se utiliza la nomenclatura de clientes y no de habitantes, ya que están considerados familias e industrias y comercio en forma simultánea.

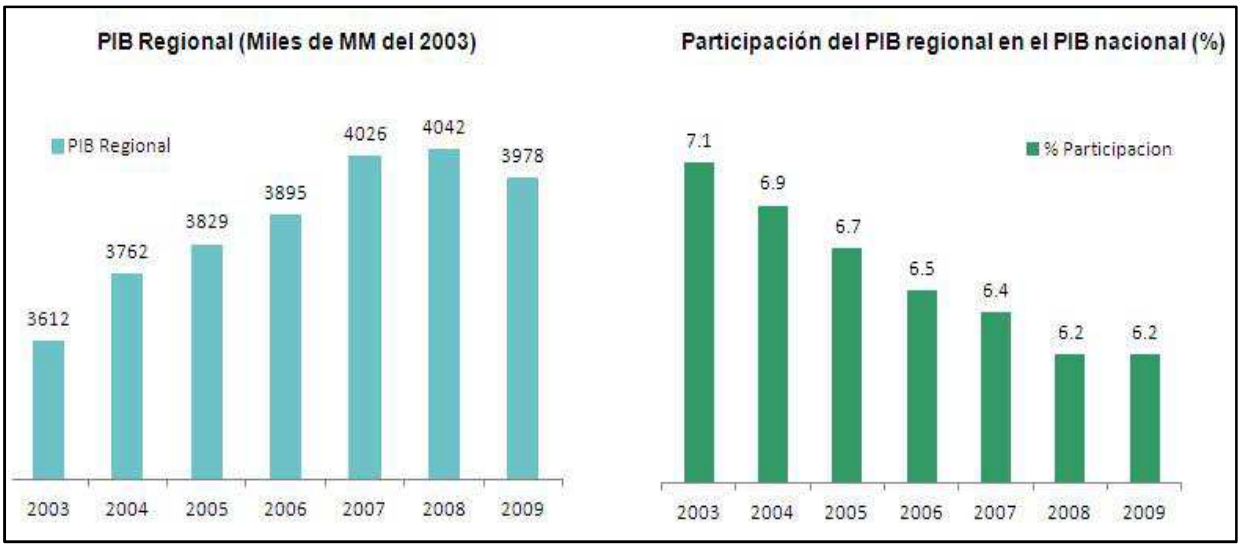
La Región de Antofagasta, tiene como actividad económica principal la minería, la que representa en promedio casi el 60% de la actividad económica regional y aporta cerca del 50% del PIB minero del país. Además, esta Región genera entre el 25% y 30% de las exportaciones del país, y dentro de éstas la minería corresponde a más del 90%.

Según lo informado en el Plan Antofagasta 2010-2014, con base en datos del Banco Central (2003 – 2009), el PIB per cápita de esta región es el segundo más alto del país y alcanza una suma de US$18.232, lo que casi duplica al PIB per cápita nacional para el mismo periodo de tiempo. En el caso del PIB regional, el Banco Central ha indicado que este se ha mantenido en torno a los MM$4.000 y que su participación en el PIB nacional ha disminuido para mantenerse en un 6.2% en los últimos años, tal como se observa en la Figura 3.3.6.1-1.

Aunque la actividad minera es una actividad productiva primordial a nivel regional, en el último periodo informado por el Banco Central (Cuentas nacionales 2003-2001, con referencia 2008) esta ha tenido una leve baja dentro de la participación regional y ha aumentado el aporte de rubros como la Construcción, Transportes y Telecomunicaciones y Energía. Así mismo, el sector de la Industria manufacturera ocupa el cuarto lugar de participación en el PIB regional, manteniéndose estable a través de los años. Esto se puede apreciar en el Cuadro 3.3.6.1-1.

En relación a la estructura productiva, la Región de Antofagastaa pesar de tener vocación minera y ser ésta la actividad de mayor aporte al PIB, según datos del Servicio de Impuestos Internos, esta actividad es desarrollada por un número reducido de empresas y ha presentado un incremento significativo en los últimos años, superado ampliamente por el área relacionada con la construcción y los servicios como transporte, telecomunicaciones, hotelería y salud. (Cuadro 3.3.6.1-2), aunque esto en gran parte se debe a la necesidad de entregar dichos servicios al mismo sector minero.

FIGURA 3.3.6.1-1
PIB REGIONAL Y SU PARTICIPACIÓN EN EL PIB NACIONAL



Fuente: Plan Antofagasta 2010-2014

CUADRO 3.3.6.1-1
PIB POR ACTIVIDAD ECONÓMICA REGIONAL Y PARTICIPACIÓN NACIONAL DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Actividad económica	PIB por actividad económica (referencia 2008) en %					
	Participación en PIB Regional			Participación en PIB sectorial País		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Agropecuario - Silvícola	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
Pesca	0,1	0,1	0,1	3,2	2,6	4,2
Minería	67,3	67,9	65,9	51,1	51,3	50,9
Industria manufacturera	4,4	4,6	4,4	4,2	4,5	4,3
Electricidad, gas y agua	2,6	2,0	2,1	10,3	6,8	6,9
Construcción	9,2	8,6	10,1	13,3	13	15,5
Comercio, restaurant y hoteles	3,2	3,1	3,3	3,5	3,5	3,4
Transportes y comunicaciones	4,8	4,7	4,7	7,6	7,8	7,4
Servicios financieros y empresas	2,1	2,2	2,2	1,3	1,3	1,3
Propiedad de vivienda	1,8	1,9	1,9	4,0	4,0	4,1
Servicios personales	3,4	3,5	3,7	3,6	3,5	3,6
Administración Pública	1,1	1,3	1,2	3,1	3,1	3,1

Fuente: SUBDERE Antofagasta, 2012

El sector Industrial, en este caso se entiende compuesto por los ítems "Explotación de Minas y Canteras","Industria Manufacturera Metálica" e "Industria Manufacturera no Metálica" presentados en el Cuadro 3.3.6.1-2. Esta clasificación obtenida del Servicio de impuestos internos indica en términos resumidos:

- Industrias manufactureras no metálicas, esta categoría agrupa a las industrias productoras de todo tipo de alimentos, insumos para la industria alimenticia, textiles, plásticos, etc.
- Industrias manufactureras metálicas, aquí se agrupan fundiciones, fabricación de piezas y maquinarias.
- Explotación de minas y canteras, esta categoría reúne a todas las empresas relacionadas con la minería, tanto metálica como no metálica.

De lo presentado en el Cuadro 3.3.6.1-2, queda de manifiesto la disminución considerable de las actividades silvoagropecuarias en un 45% y pesqueras en un 30%, disminución potencialmente asociada a la disponibilidad de recursos naturales para dichas actividades y la rentabilidad de las mismas.

CUADRO 3.3.6.1-2
NÚMERO DE EMPRESAS EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTAPOR TIPO DE ACTIVIDAD ECONÓMICA Y SUS VARIACIONES EN EL PERIODO 2005-2010

TIPO DE ACTIVIDAD ECONOMICA	AÑOS		VARIACIÓN (%)
	2005	2010	
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	230	126	-45,0%
Pesca	126	88	-30,0%
Explotación de minas y canteras	305	414	36,0%
Industrias manufactureras no metálicas	932	963	3,0%
Industrias manufactureras metálicas	428	695	62,0%
Suministro de electricidad, gas y agua	47	56	19,0%
Construcción	2,503	2,524	1,0%
Comercio al por mayor y menor, Servicios de Reparación	10,455	9,897	- 5,0%
Hoteles y restaurantes	1,283	1,592	24,0%
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	3,256	3,203	-2,0%
Intermediación financiera	208	328	58,0%
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	2,591	3,225	24,0%
Administración Pública y defensa, planes de seg. Social afiliación obligatoria	16	18	13,0%
Enseñanza	197	231	17,0%
Servicios sociales y de salud	459	636	39,0%
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	1,277	2,201	72,0%
Consejo de administración de edificios y condominios	3	6	1,0%
Organizaciones y órganos extraterritoriales	1	1	0,0%

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Servicio de Impuestos Internos

Respecto a la distribución comunal de las actividades industriales en la Región, estas se encuentran mayoritariamente concentradas en las comunas de Antofagasta y Calama, abarcando en conjunto un 87,23% de las industrias no metálicas y un 93,96% de las industrias metálicas. (Cuadro 3.3.6.1-3).

CUADRO 3.3.6.1-3
NÚMERO DE INDUSTRIAS POR COMUNA

COMUNA	INDUSTRIAS		
	MANUFACTURERAS NO METÁLICAS	MANUFACTURERAS METÁLICAS	EXPLOTACION DE MINAS Y CANTERAS
ANTOFAGASTA	555	483	182
CALAMA	285	170	83
MARIA ELENA	7	2	0
MEJILLONES	18	13	6
OLLAGUE	0	0	0
SAN PEDRO DE ATACAMA	20	4	3
SIERRA GORDA	2	0	4
TALTAL	21	3	100
TOCOPILLA	55	20	36

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Servicio de Impuestos Internos

3.3.6.2. Demanda Actual

En este punto, se presentan las estimaciones de las demandas actuales del sector industrial, realizadas en función de los derechos de aprovechamiento vigentes registrados en el Catastro Público de Aguas, ya que no existe información respecto a las demandas del sector industrial para la Región de Antofagasta en el Estudio "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile" desarrollado por IPLA Ltda. para la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas en 1996.

Respecto a la demanda de agua para estas actividades productivas cabe señalar que:

- La demanda correspondiente a las industrias manufactureras metálicas y no metálicas, según los antecedentes recopilados a la fecha 252 de estas empresas satisfacen su demanda a través del suministro de agua potable, es decir, es parte del servicio que presta la empresa Aguas Antofagasta. Las industrias en su mayoría ubicadas en Antofagasta descargan sus residuos al mar, por lo que no es posible correlacionar sus consumos con las descargas, ya que no hay registros de estos últimos antecedentes.

- -Respecto a la explotación de minas y canteras, dada la intensidad e importancia de esta actividad en la Región, la demanda de agua requerida por la **industria minera metálica** para el desarrollo de sus procesos productivos ha sido incorporada en el acápite 8.5 "Demandas de agua para uso en la Minería". Con respecto a las actividades industriales de extracción y procesamiento de minerales no metálicos, estos han sido considerados dentro del presente capítulo.

- Aquellos mencionados como correspondientes a tipo de industria "no especificada", considera a aquellos derechos que si bien se encuentran inscritos como derechos de uso industrial no se detalla a qué tipo de industria serían destinados y se encuentran inscritos a nombre de particulares.

Dados estos antecedentes, el análisis de la demanda actual se realiza en función de los derechos constituidos, registrados y vigentes en el Catastro Público de Aguas, en el cuál se seleccionaron los antecedentes de la Región de Antofagasta que se encuentran inscritos como derechos para uso industrial (los cuales se presentan en el Anexo 3-6), los cuales clasificados según categoría de industria, se presentan sintetizados en el Cuadro 3.3.6.2-1.

A fin de especificar la demanda de recursos hídricos para el sector industrial en la Región de Antofagasta, se separaron los derechos según el tipo, para considerar específicamente aquellos derechos de uso consuntivo dada la naturaleza de estos, así la demanda queda determinada exclusivamente por los derechos consuntivos, lo que se presenta en el Cuadro 3.3.6.2-2.

CUADRO 3.3.6.2-1
CAUDAL ACTUAL ASIGNADO SEGÚN TIPO DE ACTIVIDAD INDUSTRIAL

TIPO DE INDUSTRIA	CAUDAL DEMANDADO	UNIDAD
INDUSTRIA EXPLOSIVOS	256	L/s
MINERIA NO METALICA (LITIO, AZUFRE, YESO, ETC.)	2946,1	L/s
NO ESPECIFICADA	9232	L/s
TOTAL	**12434,1**	**L/s**

Fuente: Elaboración propia con base en el Catastro Público de Aguas, DGA. 2012

CUADRO 3.3.6.2-2
DEMANDA ACTUAL ESTIMADA CON BASE EN DERECHOS CONSUNTIVOS

	CAUDAL POR TIPO DE DERECHO (L/s)	
NATURALEZA DEL AGUA	**CONSUNTIVOS**	**NO CONSUNTIVOS**
SUBTERRÁNEA	177	11,3
SUPERFICIAL Y CORRIENTE	322,8	9.934,3
TOTAL	**499,8**	**11.934,3**

Fuente: Elaboración propia con base en el Catastro Público de Aguas, DGA. 2012

3.3.7. Uso paisajístico, Turístico y Recreacional

3.3.7.1. Aspectos Generales

La Región de Antofagasta tiene un valor paisajístico, ambiental y cultural alto. Si bien posee una extrema aridez y formaciones vegetacionales escazas, en la región existen ecosistemas de suma importancia y fragilidad (producto de las condiciones climáticas de temperaturas y aridez extremas, y a la larga data de ocupación humana,

más de 10.000 años), que entregan equilibrio ecológico a la región y un valor histórico-cultural importante, dada la alta presencia de comunidades indígenas, principalmente en la zona altiplánica.

En la región se desarrollan una serie de actividades relacionadas con los usos paisajísticos, turísticos y recreacionales que aprovechan directamente los recursos naturales, algunas de estas actividades se desarrollan en sitios que cuentan con la infraestructura adecuada: zonas de camping y/o picnic, termas, senderos, además de hoteles, cabañas y hospedajes de alto nivel.

No existe un método empírico que permita fijar un caudal o volumen en un cierto lugar, y por lo tanto es difícil estimar la demanda de agua para fines turísticos, paisajísticos y recreacionales.En los casos de las zonas protegidas los caudales existentes corresponden a caudales naturales generados por losafloramientos, precipitaciones y/o deshielos. Una forma de asegurar el uso turístico, paisajístico, recreacional consiste en mantener el caudal natural sin alteraciones (CONIC, 2007[19]).

Como indican Romero, Méndez, Smith y Mendonça(2012)[20], en esta zona "*las enormes variabilidades interanuales de las precipitaciones y su asociación con los fenómenos El Niño y La Niña representan, en primer lugar, la complejidad de las teleconexiones que abarcan ambas vertientes de Los Andes y en segundo lugar,* ***la incertidumbre que impide conocer las reales disponibilidades de agua***". Esto era manejable cuando existían solo economías locales y campesinas, generando procesos de adaptación, pero las actuales presiones por el uso de los recursos hídricos contraponen diversos actores que tienen como objetivo: la conservación de las tierras y las aguas, los servicios de protección de la naturaleza, y de abastecimiento de agua para las ciudades y sus procesos productivos.

3.3.7.2. Áreas de Interés y Protección Ambiental

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres[21] Protegidas del Estado (SNASPE), corresponde a un programa de cobertura nacional administrado por CONAF y responsable de las áreas silvestres en ambientes naturales que cuentancon la protección legal del Estado de Chile. Las categorías consideradas son: Reservas de Regiones Vírgenes, Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales.

La Región de Antofagasta posee 365.573 ha de Áreas Silvestres Protegidas, correspondiente al 2,5% del total de áreas protegidas del país, contando con 3 categorías de conservación (parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales), de

[19] CONIC. 2007. Bases para la Formulación de un Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos, Cuenca del Río Maipo, Etapa I, Diagnóstico. Dirección General de Aguas.

[20]Romero, H., Méndez, M., Smith, P. y Mendonça, M. 2012. Enfoque ecológico-social de la variabilidad climática, extracciones de agua y demandas territoriales en las cuencas del Desierto de Atacama. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.4, N.4, p.261 – 287

[21]Un área silvestre, según la Ley que crea el SNASPE (Ley 18.362 de 1984), corresponde a "*los ambientes naturales, terrestres o acuáticos, pertenecientes al Estado y que éste protege y maneja para la consecución de los objetivos señalados en cada una de las categorías de manejo contempladas*".

los cuales hay 3 parques nacionales, 2 exclusivamente regionales, el Llullaillaco y Morro Moreno y uno que pertenece administrativamente a la Región de Atacama, el Parque Nacional Pan de Azúcar. Posee dos reservas nacionales, la Reserva Nacional Los Flamencos, divida en 7 subunidades (sectores) repartidas en la comuna de San Pedro de Atacama, y la Reserva Nacional La Chimba, en la comuna de Antofagasta (Ministerio de Obras Públicas, 2011)[22].

La región también cuenta con 4 de los 12 sitios RAMSAR a nivel nacional, todos en la Provincia de El Loa, que tienen por objetivo la protección del hábitat de especies de aves, principalmente las tres especies de flamencos (andino, de James y chileno). Los sitios son: Salar de Pujsa y Aguas Calientes IV, Sistema Hidrológico de Soncor y Salar de Tara.

Además se han determinado áreas prioritaria para la biodiversidad, que corresponden a territorios que poseen características ecológicas únicas y que constituyen áreas de alimentación, refugio y/o reproducción de especies de flora y fauna representativa, con problemas de conservación y/o endémica de un ecosistema particular, entre otros aspectos, contando en la Región de Antofagasta con 14 Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad, correspondientes a un total de 888.454 ha (Ministerio de Obras Públicas, 2011)[23].En el Anexo 3.7 se presentan mayores detalles de las especies de flora y fauna más vulnerables de la región y que motivan la necesidad de protección.

La región cuenta con otras áreas protegidas, como por ejemplo 228 humedales protegidos por la DGA, correspondiente a 5.149 Km^2, equivalente al 4,07% de la superficie total regional, siendo el sustento de actividades agroganaderas y de sobrevivencia de las comunidades andinas[24].

Es importante destacar la existencia, en el altiplano del norte de Chile, un suministro más o menos constante de agua que permite la existencia de sistemas vegetacionales conocidos por vegas y bofedales, que técnicamente corresponden a un ambiente de humedal (Salazar, Rojas, Lillo y Aguirre, 2004)[25]. Estos corresponden a ecosistemas caracterizados por una condiciónhídrica de saturación permanente, presentando una gran diversidad biológica respecto del entorno. Esta diversidad se ve representada con una mayor cantidad de especies vegetales y de fauna, propias de estosecosistemas, constituyendo zonas de forraje y abrevadero de especies amenazadas en su conservación (vicuña, guanaco, llama y alpaca entre otros). Estos ecosistemas tienen una importancia social cultural, ambiental yeconómica, ya que constituyen el sustento para las comunidades indígenas altiplánicas,proporcionando a éstas agua y vegetación para sus animales por miles de años. Actualmente corresponden a ecosistemas únicos,los cuales deben ser estudiados en profundidad con el fin de

[22]Ministerio de Obras Públicas. 2011. Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta.
[23]Ministerio de Obras Públicas. 2011. Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta.
[24] Sitio web www.dga.cl
[25]Salazar, C., Rojas, L., Lillo, A. y Aguirre, E. 2004. Análisis de Requerimiento hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile. Dirección General de Aguas.

reconocer la complejainteracción de sus componentes básicos como la tierra, el agua los animales y las plantas (CIREN, 2010)[26].

En el estudio "Caracterización base de vegas y bofedales altoandinos para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Primera parte: Región de Antofagasta" desarrollado por CIREN el año 2010 se identifican los humedales por sub-cuenca altoandina, como se observa en el Cuadro 3.3.7.3-1.

CUADRO 3.3.7.2-1
VEGAS Y BOFEDALES

SUBCUENCA	N° HUMEDALES	ÁREA DE DESARROLLO INDÍGENA
Subcuenca Hidrográfica Salar de Ollagüe	16	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Salar de Carcote	6	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Salar de Ascotán	5	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	10	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	0	-
Subcuenca Hidrográfica Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	3	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	7	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	2	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	34	Alto El Loa
Subcuenca Hidrográfica Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera	3	Alto El Loa (1) Área de Calama (2)
Subcuenca Hidrográfica Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera	0	--
Subcuenca Hidrográfica Cajón	0	--
Subcuenca Hidrográfica Salar de Tara	29	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Entre Laguna Gucchalajte y Pampa del Lari	8	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar de Incaguasi	1	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar de Pular	2	Atacama La Grande
Subc. Hidrográfica Laguna Parico, Laguna Helada, y Salar de Pujsa	12	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar de Quisquiro	12	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar de Aguas Calientes y Alto del Lari	7	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Laguna Lejía	1	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Lagunas Miscanti y Meñiques	1	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Laguna Tuyajto Chico y Salar de Laco	2	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar de Talar y Purisunchi	6	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar de Atacama	42	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Río San Pedro	31	Atacama La Grande
Subcuenca Hidrográfica Salar Punta Negra	10	--
Subc. Hidrográfica Salar de Aguas Calientes y Laguna de La Azufrera	1	--

Fuente: CIREN. 2010. Caracterización base de vegas y bofedales altoandinos para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Primera parte: Región de Antofagasta.

El detalle de las áreas de interés y protección ambiental se presentan en el Acápite 6.4 (Conservación y biodiversidad).

[26]CIREN. 2010. Caracterización base de vegas y bofedalesaltoandinos para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Primera parte: Regiónde Antofagasta. Proyecto CIREN-INNOVA DE CORFO. CÓDIGO: 08CM01-23

Un estudio realizado por profesionales de la Dirección General de Aguas el año 2004 (Salazar, C., Rojas, L., Lillo, A. y Aguirre, E. 2004) titulado "Análisis de Requerimiento hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile" buscó "*avanzar en la estimación de requerimientos hídricos de los sistemas de humedales en las zona altiplánica chilena, sobre la base de la estimación de las tasas de evapotranspiración y evaporación en zonas de vegas y bofedales*", a través de:

- La caracterización hidrobiológica de las formaciones vegetacionales.
- La caracterización del régimen hidrológico de la zona de estudio.
- La caracterización hidroquímica e isotópica de las aguas que alimentan estos humedales.
- La estimación de la evaporación desde superficies libres en torno a estos humedales.

Este estudio preseleccionó humedales de lasregiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, determinándose la focalización en dos humedales: Bofedal de Isluga y Bofedal de Chungará. Ninguno de ellos se ubica en la Región de Antofagasta, pero permiten una primera aproximación sobre los requerimientos hídricos, ya que no se encuentran disponibles estudios similares en la región.

Los resultados, que son preliminares y forman parte de un trabajo de mayor alcance, muestran que las diferencias entre los caudales entrantes y salientes son similares a la evapotranspiración estimada[27], siendo posible indicar que corresponde a una primera aproximación que no se encuentra tan alejada de la realidad, y que tal como lo indica el estudio, los aportes y salidas de agua subterránea en los tramos analizados son escasos o nulos, y que "*las diferencias de caudal entre la entrada y salida de un sistema en régimen se deberían principalmente a la evapotranspiración*".

Es estudio indica que es posible estimar preliminarmente una demanda evapotranspirativa máxima del sistema en 0,81 L/s/ha[28]. Por su parte las unidades vegetacionales básicas definidas poseen un valor máximo de 0,96 L/s/ha para cojines y de 0,55 L/s/ha para vegas.

Lamentablemente no se puede relacionar dicha demanda con las existentes en las vegas y bofedales de la Región de Antofagasta, dado que sería apresurado y generaría errores.

3.3.7.3. Uso Turístico

La Región de Antofagasta posee dos tipos de turismo, el Turismo de Intereses Especiales y el Turismo de Negocios, asociado a la gran minería, los que han permitido un gran desarrollo de equipamiento turístico en relación a los servicios de alojamiento, alimentación, entretención y otros, relacionados con la demanda de población flotante.

[27] 300 L/s v/s 335 L/s y 206 L/s y 240 L/s

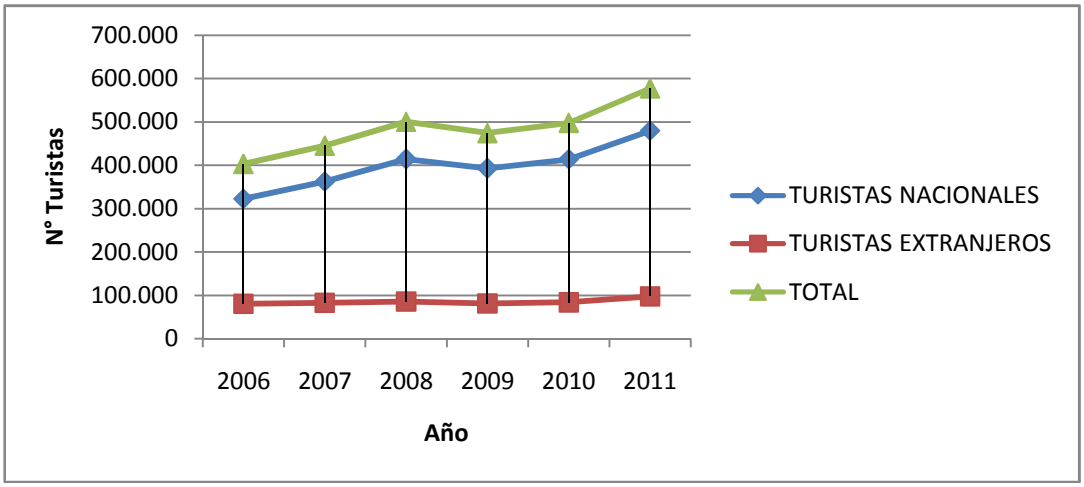
[28] Calculada a partir de un valor máximo de evaporación de bandeja en la Estación Collacagua que resultó de 11 mm/día.

En relación al Turismo de Intereses Especiales, esta Región posee un importante número de atractivos turísticos de importancia nacional e internacional, siendo el más nombrado el Desierto de Atacama (San Pedro de Atacama y sus alrededores), donde se cuenta con un gran número de sitios que poseen visitas durante todo el año.

En la Región, los atractivos turísticos están íntimamente relacionados con la naturaleza y se relacionan con los tres ecosistemas regionales de alta importancia: la cuenca del Río Loa, la red de lagunas y salares altoandinos y los sitios costeros de concentración de surgencias marinas. Es así como el "Plan para el Desarrollo Turístico de la Región de Antofagasta 2011-2014" presenta tres destinos turísticos principales: Antofagasta – Mejillones, El Loa y Calama y San Pedro de Atacama, donde este último concentra el 25% de los atractivos turísticos de la región.

En relación al número de turistas, cifras del Instituto Nacional de Estadística indican que anualmente, en los últimos 5 años han llegado más de 400.000 turistas a establecimientos de alojamiento de la región, siendo principalmente nacionales, los cuales muestran una tendencia de crecimiento anual, observándose poca variación en el total de visitas de turistas extranjeros (Figura 3.3.7.3-1).

FIGURA 3.3.7.3-1
NÚMERO DE TURISTAS A ESTABLECIMIENTOS DE ALOJAMIENTO TURÍSTICO, REGIÓN DE ANTOFAGASTA



Fuente: Elaboración propia a partir de SERNATUR Región de Antofagasta. 2011. Plan para el Desarrollo Turístico de la Región de Antofagasta 2011-2014

En relación a los derechos de aprovechamiento concedidos en la región, la información del catastro no es determinante, ya que solo es posible identificar el uso turístico a través de nombres relacionados con empresas hoteleras, que para este caso sólo son 3, pudiendo quedar fuera empresas cuyo nombre no se identifica necesariamente con el rubro turístico. En el Cuadro 3.3.7.5-1 se presentan estos 3 derechos de aprovechamiento concedidos, todos consuntivos.

CUADRO 3.3.7.3-1
DERECHOS CONCEDIDOS

CÓDIGO EXPEDIENTE	COMUNA	EJERCICIO DERECHO	NATURALEZA AGUA	CUENCA	TIPO CAUDAL	CAUDAL (L/S)
ND-0202-2808	San Pedro de Atacama	Permanente y Continuo	Subterránea	Salar de Atacama	Captación	15.000
ND-0202-800059	San Pedro de Atacama	Permanente y Continuo	Subterránea	Salar de Atacama	Captación	18.000
NR-0202-1684	San Pedro de Atacama	Permanente y Alternado	Superficial y Corriente	Rio Loa	Captación	18

Fuente: DGA, 2012 (CPA)

Dado la falta de la información sobre la demanda de agua del sector turismo, se puede realizar una estimación en base a las pernoctaciones realizadas en la región en hoteles, presentadas en el Anexo 3-7, sin embargodebe tenerse en consideración que el desarrollo del turismo en la región se realiza principalmente en zonas urbanas o rurales que poseen sistema de agua potable, donde los recintos turísticos están adscritos a estos sistemas, por lo tanto la demanda de ellos queda cuantificada dentro de la demanda de agua potable. Es por esto que no se considera esta demanda, como tal, para el desarrollo del balance hídrico, ya que su consideración generaría una sobreestimación de la demanda, provocando errores.

3.3.7.4. Valoración de las Demandas para Usos Paisajísticos, Turísticos y Recreacionales

Esta zona constituye sistemas territoriales complejos, formados por cuencas que vinculan fuentes de agua superficial y subterránea, flujos y zonas de surgencia, permitiendo su habitabilidad y la explotación de sus recursos naturales, por lo tanto asegurar la recarga de los cuerpos de agua y sus flujos a través del desierto más árido del mundo posee profundas implicancias ecológico-sociales (Romero, Méndez, Smith y Mendonça, 2012[29]).

Lamentablemente, como se indica al inicio de la sección, no existen estudios ni información suficiente que permita determinar la demanda hídrica de las áreas con interés ambiental, como es el caso de las áreas con protección oficial, sitios prioritarios y vegas y bofedales no protegidos, pero que representan un sustento determinante para los sistemas altoandinos. Igualmente es importante determinar la demanda turística, estudios que también son inexistentes, y cuyas aproximaciones son estimativas. Es por esto que se hacen fundamentales los estudios que logren disminuir los vacíos de información existentes en este tema.

[29]Romero, H., Méndez, M., Smith, P. y Mendonça, M. 2012. Enfoque ecológico-social de la variabilidad climática, extracciones de agua y demandas territoriales en las cuencas del Desierto de Atacama. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.4, N.4, p.261 – 287

3.3.8. Caudales Ecológicos en la Zona de Estudio

3.3.8.1. Introducción

El caudal ecológico es entendido por la DGA (2005)[30] como el "*caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes preservando la calidad ecológica*". La constitución de este caudal en los ríos, según la modificación al Código de Aguas del año 2005, solamente puede afectar a nuevos derechos que se constituyan (Artículo 129 bis).

3.3.8.2. Caudales Ecológicos Reales Constituidos

La revisión de antecedentes para determinar el caudal ecológico en la región comenzó por el registro de derechos de aprovechamiento concedidos, y luego continuó con la revisión de estudios realizados en la zona, y que presenten este tipo de información.

La revisión del registro de la DGA muestra que existen 20 expedientes donde se indica el caudal ecológico que los solicitantes deben de dejar libres. Se presentan tres tipos de usos, el minero, el industrial y otros usos. En el Cuadro 3.3.8.2-1 se presentan los derechos consuntivos, correspondientes a usos minero y otros usos, con un total de 261,75 L/s de caudal ecológico, y en el Cuadro 3.3.8.2-2 se presentan los derechos no consuntivos, correspondiente al uso industrial, con un caudal de 1 L/min.

No existe mayor información en estudios y otros documentos sobre caudales ecológicos efectivos, y tampoco en los derechos actualmente en trámite.

[30]DGA. 2005. Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Loa. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas. S.D.T. Nº 192

CUADRO 3.3.8.2-1
DERECHOS CONCEDIDOS

CONSUNTIVOS									
TIPO DE SOLICITANTE	**AÑO**	**COMUNA**	**EJERCICIO DERECHO**	**NATURALEZA AGUA**	**CLASIFICACIÓN FUENTE**	**CUENCA**	**FUENTE**	**CAUDAL (L/s)**	**UNIDAD**
USO MINERO									
Persona natural	2003	Ollague	Eventual y Continuo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	Rio Pajancha	2	L/s
Empresa	2005	María Elena	Eventual y Discontinuo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Rio Loa	Rio Loa	66	L/s
Empresa	2009	María Elena	Eventual y Discontinuo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Rio Loa	Rio San Salvador	30	L/s
Empresa	2005	María Elena	Eventual y Discontinuo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Rio Loa	Rio Loa	140	L/s
OTROS USOS									
Persona natural	2006	Tocopilla	Eventual y Discontinuo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Rio Loa	Rio Loa	20	L/s
Empresa	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente Chimbanito	0,03	L/s
Empresa	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Quebrada la Negra	Vertiente Atravieso	0,30	L/s
Persona natural	2002	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente El Rubio	1	L/s
Persona natural	2002	Antofagasta	Eventual y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente El Rubio	1	L/s
Persona natural	2003	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Endorreicas S. Atacama-Vert. Pacifico	Vertiente Agua Pelada	0,10	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente Los Caballos	0,10	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente El Golf	0,006	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente Trocadero	0,006	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente Las Yeguas	0,05	L/s

CUADRO 3.3.8.2-1
DERECHOS CONCEDIDOS
(Continuación)

CONSUNTIVOS									
TIPO DE SOLICITANTE	**AÑO**	**COMUNA**	**EJERCICIO DERECHO**	**NATURALEZA AGUA**	**CLASIFICACIÓN FUENTE**	**CUENCA**	**FUENTE**	**CAUDAL (L/s)**	**UNIDAD**
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente Las Yeguas	0,05	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R.Loa-Q.Caracoles	Vertiente CRLP	0,50	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente el Volcado	0,20	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente La Caverna	0,06	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente EL Socavon	0,20	L/s
Persona natural	2007	Antofagasta	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Vertiente	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Vertiente La Cascadita	0,20	L/s

Fuente: DGA, 2012 (CPA)

CUADRO 3.3.8.2-2
DERECHOS CONCEDIDOS, NO CONSUNTIVOS

TIPO DE SOLICITANTE	EJERCICIO DERECHO	NATURALEZA AGUA	CLASIFICACIÓN FUENTE	CUENCA	FUENTE	CAUDAL	UNIDAD
Empresa	Permanente y Continuo	Superficial y Corriente	Rio/Estero	Rio Loa		1	L/min

Fuente: DGA, 2012 (CPA)

3.3.8.3. Caudales Ecológicos Teóricos

Existe un estudio realizado por la DGA el año 2005, donde determinan caudales ecológicos para la Cuenca del Río Loa, que no necesariamente corresponden a los caudales disponibles, sino más bien a los caudales ecológicos que teóricamente deberían tener los cauces, entendiendo que posiblemente dichos cauces no tengan posibilidad de dejar esa disponibilidad.

El estudio titulado "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Loa" desarrollado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas (2005) estima el caudal utilizando uno de los criterios recomendados para la estimación de caudales ecológicos para la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas. Este criterio indica que:

Q ECOLÓGICO = 50 % DEL CAUDAL MINIMO DEL ESTIAJE DEL AÑO 95 %

Dejando presente que en situaciones especiales el caudal ecológico total a respetar podrá ser igual al caudal ecológico más la demanda hídrica.

Así, los caudales ecológicos determinados por este estudio para cada tramo y sección del Río Loa, que "*fija las condiciones ambientales que debieran cumplir aquellas solicitudes no resueltas y que sean factibles de constituirse y para satisfacer los derechos constituidos y el caudal ecológico determinado*", se presentan en el Cuadro 3.3.8.3-1.

CUADRO 3.3.8.3-1
CAUDALES ECOLÓGICOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO DGA (2005) PARA CADA TRAMO ANALIZADO DE LA CUENCA DEL RÍO LOA

TRAMO DEL RÍO	CAUCE	CAUDAL ECOLÓGICO (L/s)
Desde Yalquincha a junta con San Salvador	Río Loa	140
Desde Loa en junta San Salvador hasta Quillagua	Río Loa	66
Desde Estación Loa en Desembocadura al mar	Río Loa	20
Desde Estación Sifón Ayquina a Junta con río Loa	Río Salado	40
Desde Estación río San Salvador hasta junta río Loa	Río San Salvador	30

Fuente: Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Loa. Departamento de Administración de Recursos Hídricos. DGA, 2005.

3.4. BALANCE HÍDRICO DE CUENCAS RELEVANTES

3.4.1. Introducción

En esta sección del informe se presenta el balance hídrico en cuencas relevantes de la región. El análisis se presenta en varias secciones, presentando en primer lugar una comparación con los parámetros de entrada del Balance Hídrico Nacional vigente realizado por la DGA el año 1987. En dicho análisis también se exponen los valores presentados en el Atlas Bioclimático (Universidad de Chile, 2012) con fines de comparar los resultados de las variables entre distintas fuentes de información. Posteriormente se presenta el balance hídrico de cuencas relevantes en la región.

3.4.2. Comparación con los Resultados del BHN 1987

3.4.2.1. Introducción

Con el fin de analizar las diferencias existentes entre la situación actual y la del año 1987, se realiza a continuación una comparación de las precipitaciones y temperaturas medias entre ambos períodos, para cada cuenca perteneciente a la región de Antofagasta. La Figura 3.4.2.1-1 muestra la ubicación general de las cuencas analizadas. El Cuadro 3.4.2.1-1 indica el nombre de las cuencas de la región y sus códigos.

CUADRO 3.4.2.1-1
CUENCAS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Nombre Cuenca	Código Cuenca
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	020
Río Loa	021
Costeras R.Loa-Q.Caracoles	022
Fronterizas Salares Atacama-Socompa	023
Endorreica entre Fornterizas y Salar Atacama	024
Salar de Atacama	025
Endorreicas Salar Atacama-Vertente Pacífico	026
Quebrada Caracoles	027
Quebrada La Negra	028
Qs.Entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	029

Fuente: Elaboración propia

Las precipitaciones y temperaturas medias anuales de los períodos actual y antiguo, se obtuvieron de las fuentes de información que se presentan en el Cuadro 3.4.2.1-2.

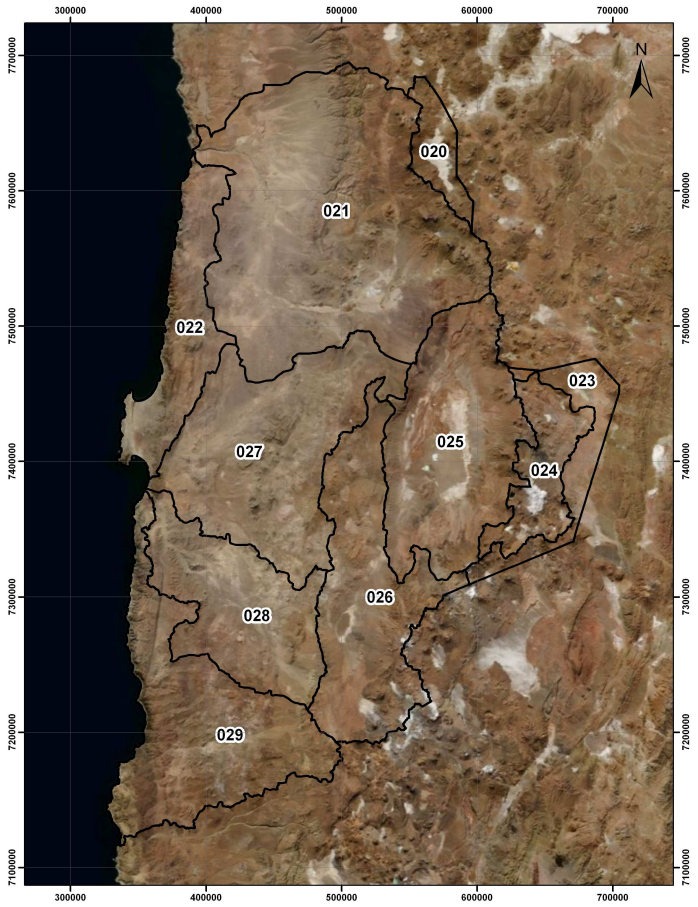
En lo que sigue se presentan los métodos y antecedentes en forma detallada.

CUADRO 3.4.2.1-2
PERÍODOS DE ANÁLISIS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Período	Precipitación	Temperatura
Actual (desde 1979/80 hasta 2010/11)	Precipitaciones actualizadas (elaboración propia a partir de estaciones DGA)	Atlas Bioclimático de Chile (U. de Chile, 2012)
Antiguo (desde 1961/62- hasta 1980/81)	Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987)	Isotermas Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987)

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.4.2.1-1
UBICACIÓN GENERAL CUENCAS ANALIZADAS



Fuente: Elaboración propia a partir de SIG DGA y Bing Maps

3.4.2.2. Precipitación Media Anual

Para actualizar el valor de las precipitaciones, primero se rellenaron y corrigieron las series estadísticas de las estaciones pluviométricas mediante los métodos expuestos en el Acápite 3.2 del presente informe (Caracterización recursos hídricos). En el Cuadro 3.4.2.2-1 se muestra el listado de estaciones utilizadas en el análisis y su rango de P_{media} actualizados (rango de la media móvil de 30 años en los años disponibles de información), y también los valores consignados en dichas estaciones en el BHN (DGA, 1987).

En el Cuadro 3.4.2.2-1 se observa en algunos casos una gran diferencia entre los valores de precipitación entre el BHN y el promedio de la precipitación actual, lo cual se explicaría por una baja en los montos medidos del período más reciente. Con el fin de visualizar mejor esta tendencia, se presenta en la Figura 3.4.2.2-1 las series de tiempo de precipitación anual de todos los años disponibles de las tres estaciones que muestran mayores diferencias en la comparación de sus datos. También se muestra en una línea roja el promedio hasta el año hidrológico 1980-1981 (tal como se utilizó en el BHN), en una línea morada el promedio de los últimos 30 años y en línea punteada negra, la tendencia lineal de todos los datos observados. Si bien el R^2 lineal que ahí se muestra (Figura 3.4.2.2-1) es bajo, esto es esperable en series de datos oscilantes, sin embargo lo importante es que se observa una leve tendencia a la baja con variaciones interanuales de ciclos con frecuencia de aproximadamente 10 años. Asimismo, es importante tener un período extenso de información para conocer el valor climatológico (medio), este período por convención se ha establecido en 30 años. Se presenta además, el Anexo 3-8 con las series de tiempo de todas las estaciones donde existían dudas de los valores medios actuales (Ollagüe, Lequena, Linzor, Toconce, Salado Embalse y Caspana).

CUADRO 3.4.2.2-1
PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES ANTIGUAS Y ACTUALES

Estación	DGA 1987(*)	Período actual	
		Rango de promedios de 30 años	Valor actual (período más reciente)
Antofagasta	5,2	3,4-3,5	3,5
Ascotan	85,5	61,8-79,6	62,0
Ayquina	47,4	31,4-46,6	31,4
Calama	4	3,0-4,1	3,0
Caspana	98,7	62,1-92,4	62,1
Cebollar	52,5	49,3-57,1	49,3
Chiu-Chiu	3,5	5,7-6,2	5,8
Conchi Embalse	18,7	17,2-20,1	17,2
Conchi Viejo	32,4	37,2-40,9	37,2
El Tatio	145,3	144,2-162,6	146,3
Guatacondo DGA	21,7	21,0-22,2	22,2
Inacaliri	110,2	115,1-138,4	118,4
Lequena	146	51,4-114,6	51,6
Linzor	195,8	147,6-184,3	147,6

CUADRO 3.4.2.2-1
PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES ANTIGUAS Y ACTUALES
(Continuación)

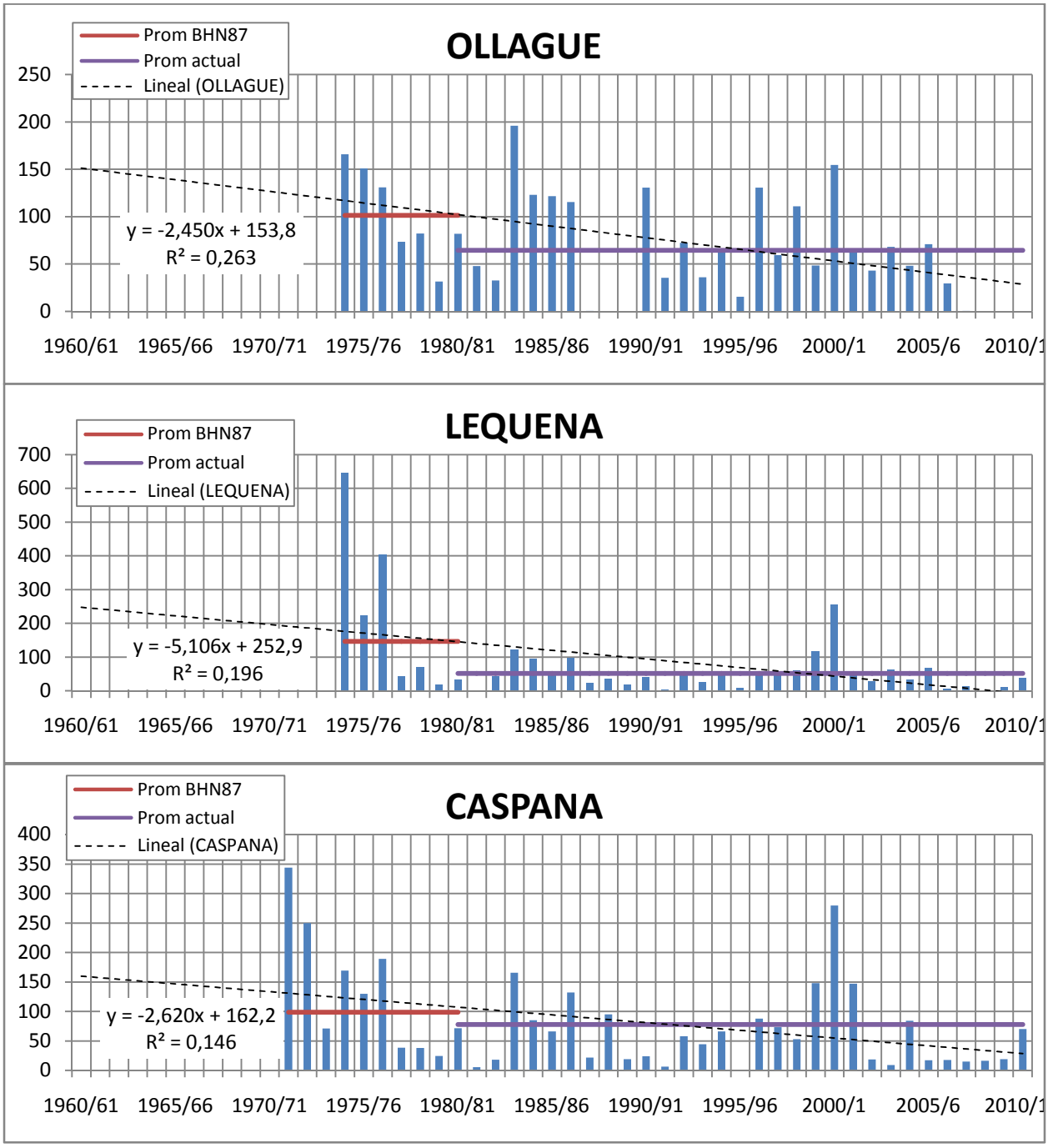
Estación	DGA 1987(*)	Período actual	
		Rango de promedios de 30 años	Valor actual (período más reciente)
Ojos San Pedro	74,6	58,5-74,1	58,5
Ollague	101,5	64,5-96,8	65,0
Parshall Nº 2	26,7	26,8 33,7	27,2
Peine	20,4	18,3-21,5	18,6
Rio Grande	86,8	64,3-87,9	64,3
Salado Embalse	90,7	63,0-81,0	63,2
San Pedro de Atacama	27,8	22,9-29,4	23,0
Socaire	56,8	32,6-42,8	34,7
Toconao Retén	41,7	34,9-42,5	34,9
Toconce	120	78,3-102,0	79,3

(*)Nota: Las medias del BHN 1987 fueron obtenidas con series de datos del 1961/62 al 1980/81 en el mejor de los casos, y la gran mayoría de las estaciones contó únicamente con información del período 1970/71 a 1980/81 aproximadamente.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA

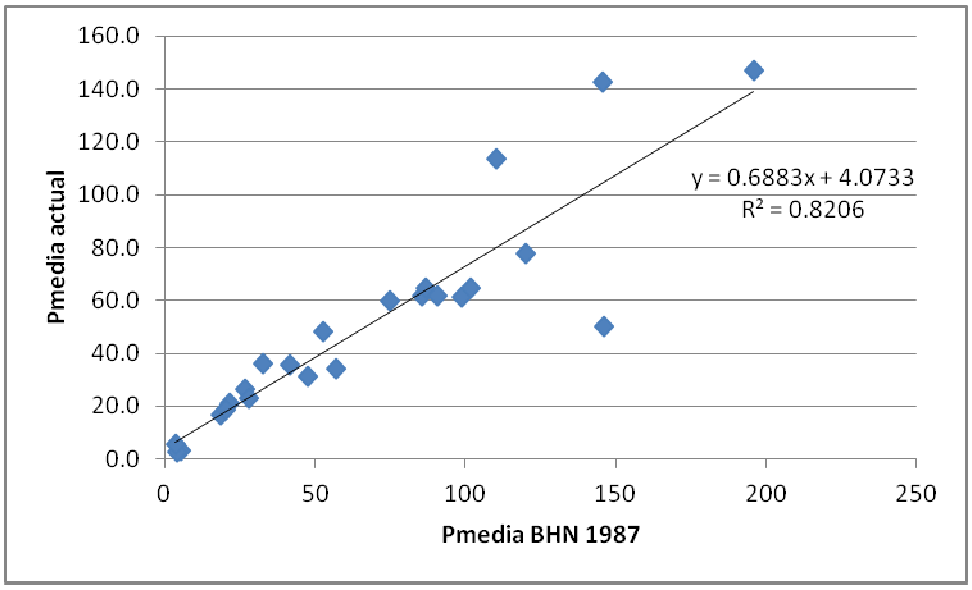
Esta tendencia a la baja es también apreciable en el gráfico de la Figura 3.4.2.2-2 (detalles en el Anexo 3-8). En general se observa una baja en las precipitaciones del período actual respecto del antiguo, ya que la recta ajustada (con un R^2 igual a 0,82) posee una pendiente de 0,69 y pasa cerca del origen indicando que toda la serie se encuentra en valores más bajos.

FIGURA 3.4.2.2-1
SERIES TEMPORALES DE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL DEL PERIODO DISPONIBLE CON CURVAS PROMEDIO Y TENDENCIA



Fuente: Elaboración propia con información del BNA-DGA

FIGURA 3.4.2.2-2
CORRELACIÓN ENTRE P 1987 Y P ACTUAL



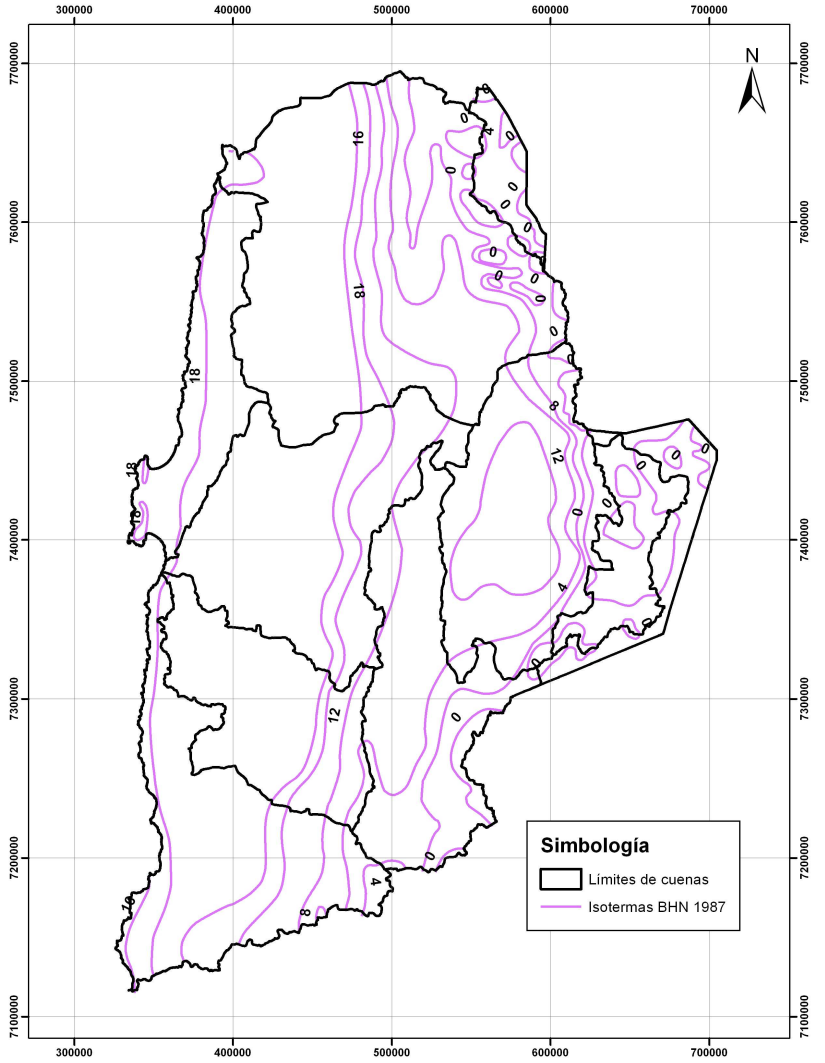
Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3. Temperaturas Medias Anuales

a) Isotermas BHN (DGA, 1987)

El BHN 1987 entrega las isotermas medias anuales para todo el territorio nacional. Sin embargo, no entrega los valores promedios a nivel de cuenca, por lo tanto, se procedió a calcularlos para las cuencas de la región usando el método convencional de isolíneas, calculando el promedio ponderado la superficie de cada sección de cuenca entre 2 isotermas consecutivas, por su respectiva temperatura media. La Figura 3.4.2.3-1 muestra las isotermas del BHN.

FIGURA 3.4.2.3-1
TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES 1987 (ISOTERMAS)

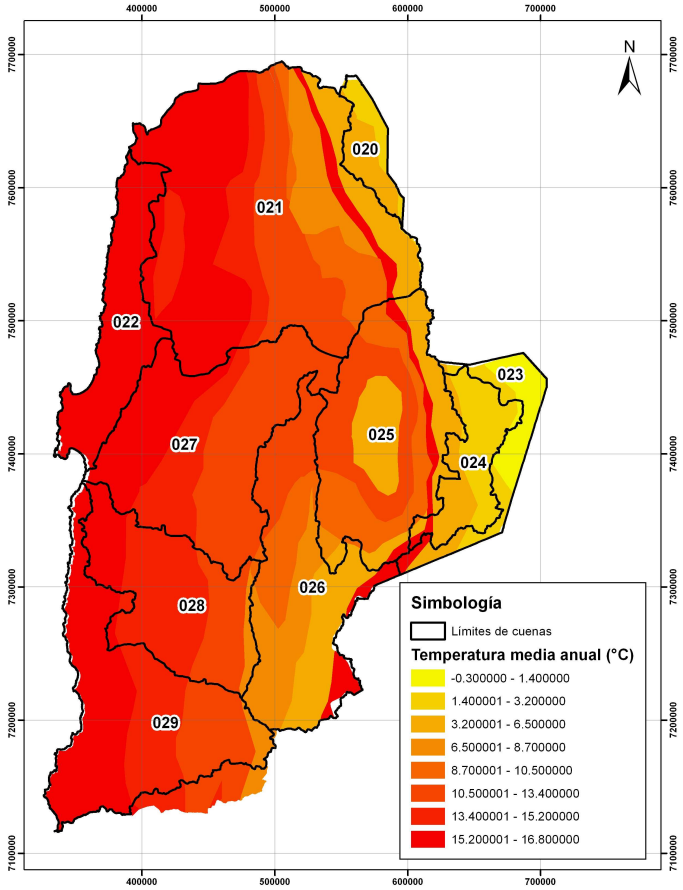


Fuente: DGA (1987)

b) Atlas Bioclimático (U. de Chile, 2012)

El Atlas Bioclimático de Chile (U. de Chile, 2012), generó mapas de temperaturas medias mensuales y medias anuales, zonificando el territorio nacional en distritos bioclimáticos en escala gruesa (1:250.000). La Figura 3.4.2.3-2 muestra la distribución espacial de las temperaturas medias anuales para la región de Antofagasta.

FIGURA 3.4.2.3-2
TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES ATLAS BIOCLIMÁTICO



Fuente: Elaboración propia a partir de Universidad de Chile (2012)

Posteriormente, usando la herramienta SIG, se calcularon las temperaturas medias de cada cuenca usando promedio ponderado, al igual que con las isotermas.

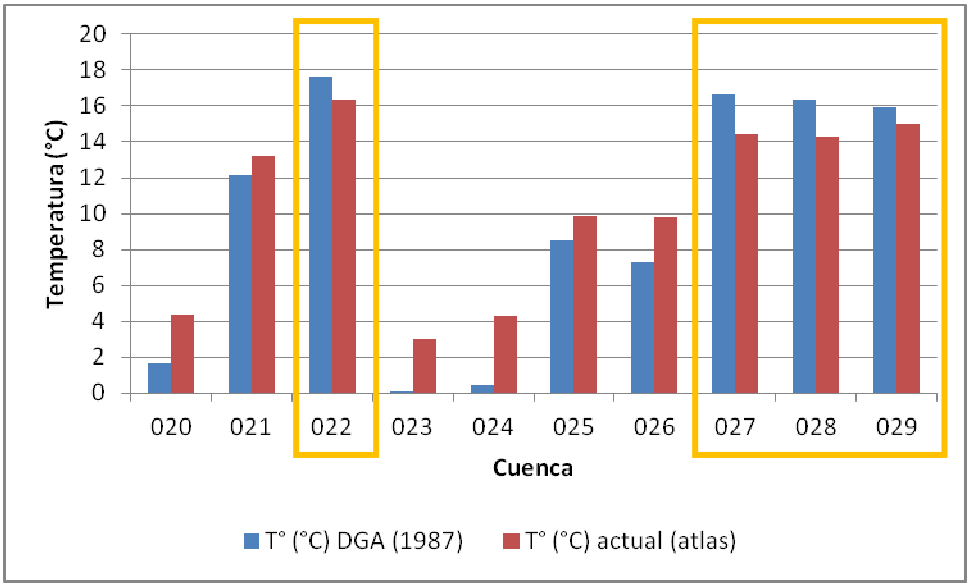
En el Cuadro 3.4.2.3-1 y Figura 3.4.2.3-3 se muestran los resultados obtenidos. En dicha figura, en recuadros amarillos se destacan las cuencas del área costera (el detalle de estos valores, se puede ver en el Anexo 3-8).

CUADRO 3.4.2.3-1
COMPARACIÓN TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES (°C)

Cuenca	Actual (Atlas Bioclimático 2012)	1987 (DGA)
020	4,34	1,65
021	13,20	12,14
022	16,38	17,63
023	2,99	0,00
024	4,32	0,44
025	9,88	8,48
026	9,80	7,31
027	14,40	16,64
028	14,30	16,34
029	14,99	15,93

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (1987), Universidad de Chile (2012)

FIGURA 3.4.2.3-3
COMPARACIÓN TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES (mm)



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (1987) y Universidad de Chile (2012)

3.4.2.4. Análisis de Resultados

Las diferencias observadas con el período antiguo pueden explicarse por distintas razones. Una de ellas tiene relación con la confiabilidad de los datos más antiguos ya que provienen desde la década del 60.

Un segundo motivo, evidentemente podría ser la variabilidad climática, reforzado en el hecho de que los datos de temperatura también indican diferencias, pero menos comparables por la diferencia entre los métodos. Sin embargo, tal como se observa en la Figura 3.4.2.3-2, las cuencas que disminuyen su temperatura media son la 022, 027, 028 y 029, es decir, las cuencas costeras (en recuadros amarillos), mientras que las cuencas del interior (incluyendo las altiplánicas y la del río Loa), todas aumentan su temperatura. Esta condición podría no ser casual y explicarse en un efecto de variabilidad climática, tal como ha sido expuesto por Schultz et al. (2011), Quintana et. al. (2012)[31] en los que se detecta la tendencia negativa de la serie de precipitaciones del último siglo.

Dado lo anterior, podría plantearse entonces que en las cuencas de mayor interés para la gestión del recurso hídrico (Loa, Salar de Atacama y Altiplánicas) ha disminuido la oferta hídrica por disminución de las precipitaciones, y por otro lado ha aumentado la temperatura, con lo cual aumentarían también las pérdidas por evaporación y evapotransipiración, todo lo cual llevaría a concluir que la disponibilidad natural del recurso ha disminuido en las últimas décadas.

3.4.3. Balance Hídrico en Cuenca del Río Loa

3.4.3.1. Introducción

Se efectuó una actualización del balance hídrico de la cuenca del río Loa usando la metodología empleada por la DGA en el estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos sectores Calama y LLalqui, Cuenca del Río Loa" (DGA, S.I.T. Nº85, 2003), estudio que se menciona en la revisión de antecedentes del presente capítulo.

La ecuación general del balance empleado en DGA 2003 es la siguiente:

$$Entradas = Salidas$$

O sea,

$$Escorrentía\ total = Evaporación + Qsuperficial + Qsubterráneo$$

La Escorrentía calculada ya lleva descontada la evapotranspiración desde las superficies naturales por lo tanto queda restarle la evaporación desde cuerpos de agua.

Si se incorporan los usos del agua (extracciones superficiales y subterráneas), la ecuación puede ser reescrita como:

$$Esc.total = Ev + Usos + Qefluentesup + Qefluentesub$$

A continuación se explica cómo se obtuvo la oferta hídrica de la cuenca, lo que equivale a la escorrentía total generada.

[31]Schulz, N., Boisier, J. P., & Aceituno, P. (2011). Climate change along the arid coast of northern Chile.*International Journal of Climatology*, n/a–n/a. doi:10.1002/joc.2395
Quintana, J. M., & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43°S, *25*(3450), 1–22.

3.4.3.2. Oferta Hídrica Total

El método empleado consiste en evaluar la oferta hídrica total de la cuenca estimando el aporte total por las precipitaciones y restándoles las pérdidas por evapotranspiración desde las superficies naturales. De este forma se obtuvo la escorrentía total (superficial más subterránea), lo que equivale a la oferta hídrica de la cuenca.

Para ello la cuenca fue dividida en varias subcuencas, sin embargo, en DGA 2003 no se presentan detalles sobre cuál es la delimitación de dichas subcuencas ni tampoco presenta figuras explicativas, sólo se mencionan los nombres y se entregan resultados tabulados, razón por la cual fue difícil reproducir el método de forma estricta.

De acuerdo al método empleado en 2003, la cuenca fue subdividida en:

- Cuanca Alto Loa (hasta Lequena)
- Subcuenca río San Pedro
- Sector Lasana ChiuChiu
- Subcuenca río Salado
- Pampa Llalqui
- Sector Calama
- Subcuenca Salar de Llamara

Además, se consideró que la generación de escorrentía ocurría únicamente sobre la cota 2200.

La forma empleada para distribuir las precipitaciones en el espacio fue a través de gradientes de precipitación v/s altura para un conjunto de estaciones, usando relaciones lineales diferentes para las distintas subcuencas. El Cuadro 3.4.3.2-1 muestra los datos empleados por DGA (2003).

CUADRO 3.4.3.2-1
DATOS DE PRECIPITACIÓN EMPLEADOS EN ESTIMACIÓN DE OFERTA HÍDRICA

Estación	Cota (m.s.n.m.)	Pp media anual (mm)
Calama	2260	4,0
Huatacondo	2460	21,7
Chiuchiu	2524	3,5
Conchi Embalse	3010	18,7
Ayquina	3031	47,4
Salado embalse	3200	90,7
San Pedro de Conchi	3217	30,5
Caspana	3260	98,7
Parshall 2	3318	26,7
Lequena	3320	146
Toconce	3350	120
Conchi viejo	3491	32,4
Ollague	3650	101,5
Cebollar	3730	52,5
Ojos de San Pedro	3800	74,6
Ascotán	3956	85,5
Linzor	4096	195,8
Inacaliri	4100	110,2
Ujina	4200	200,1
Collahuasi	4250	139,6
El tatio	4320	145,3

Fuente: DGA (2003)

El cálculo de los gradientes, en DGA 2003 se llevó a cabo tomando por separado aquellas estaciones ubicadas en la vertiente con exposición predominantemente Este, de aquellas ubicadas en exposición predominantemente Oeste. De esta forma se obtuvieron 2 rectas, una superior y una inferior y a partir de éstas se trazó una tercera recta intermedia que representara el comportamiento de las precipitaciones en las cuencas de características intermedias. La asignación de las rectas a cada cuenca en DGA 2003, quedó de la siguiente forma:

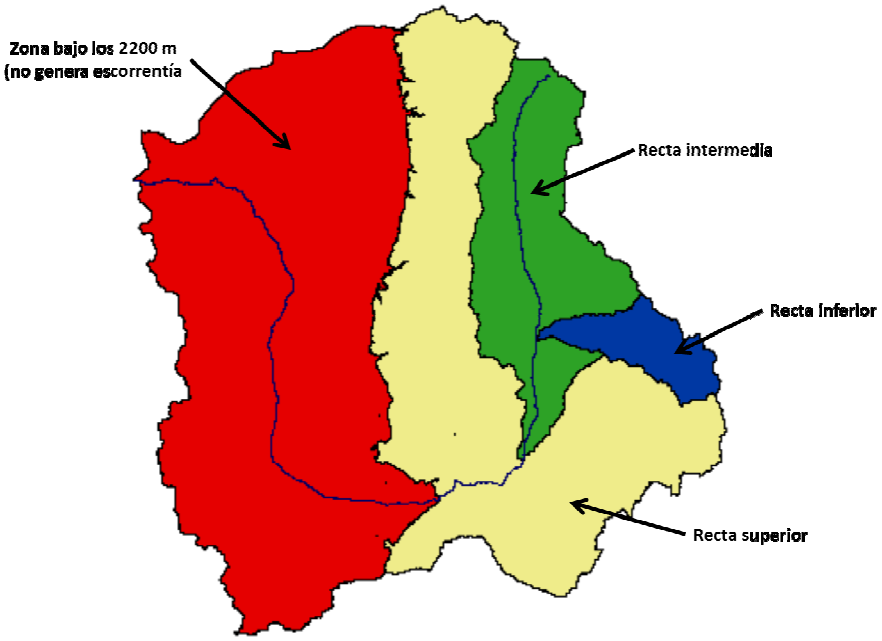
- Cuanca Alto Loa (hasta Lequena): **Intermedia**
- Subcuenca río San Pedro: **Inferior**
- Sector LasanaChiuChiu: **Intermedia**
- Subcuenca río Salado: **Superior**
- Pampa Llalqui: **Superior**
- Sector Calama: **Superior**

- Subcuenca Salar de Llamara: **Superior**

La Figura 3.4.3.2-1 muestra la subdivisión de subcuencas de acuerdo a la recta asignada (la delimitación de las cuencas fue realizada en SIG a partir del DEM satelital).

En DGA 2003 las ecuaciones de los gradientes precipitación v/s altura fueron usados en bandas de 1.000 m, lo cual corresponde una discretización bastante gruesa de la cuenca pudiendo mejorarse mediante el uso del DEM satelital (píxeles de 90 x 90 m), no obstante se mantiene la subdivisión en bandas para evaluar las diferencias explicadas únicamente por la actualización de los datos de superficies de las sub cuencas. De esta forma la precipitación fue distribuida en toda la cuenca sobre los 2.200 m al evaluar el gradiente en la cota media de cada banda. Las precipitaciones que resultaron con valor negativo se dejaron en cero.

FIGURA 3.4.3.2-1
CUENCAS SEGÚN RECTA DE GRADIENTE ASIGNADA



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, para calcular las pérdidas por evapotranspiración desde las superficies naturales (ETRn) en mm de cada banda, se usó la fórmula de Turc, tal como se hizo en DGA 2003, la cual depende de la temperatura media anual (en °C) y de la precipitación media anual P en mm. La fórmula es:

$$ETRn = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde L es un término que depende de la Temperatura media anual T (en °C) y se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$L = 300 + 25T + 0{,}05T^3$$

Para distribuir espacialmente la temperatura, se usó el gradiente térmico temperatura v/s altura. Se usaron los mismos datos de temperatura que en DGA 2003. El Cuadro 3.4.3.2-2 muestra los datos empleados mientras que la Figura 3.4.3.2-2 muestra el gráfico de T respecto de la altura y la ecuación del gradiente térmico.

CUADRO 3.4.3.2-2
DATOS DE TEMPERATURA UTILIZADOS

Estación	Cota(m.s.n.m.)	T media anual (°C)
Ollague	3.650	5,8
Ascotán	3.956	4,6
Parshall 2	3.318	8,5
Inacaliri	4.100	3
Conchi Embalse	3.010	9
Linzor	4.096	1,1
Caspana	3.260	8,8
El Tatio	4.320	0,8
Calama	2.260	12,2
Coya sur	1.290	18,3

Fuente: DGA 2003

La ecuación del gradiente térmico fue aplicada a la cota media de cada banda, obteniendo la distribución espacial de las temperaturas medias anuales.

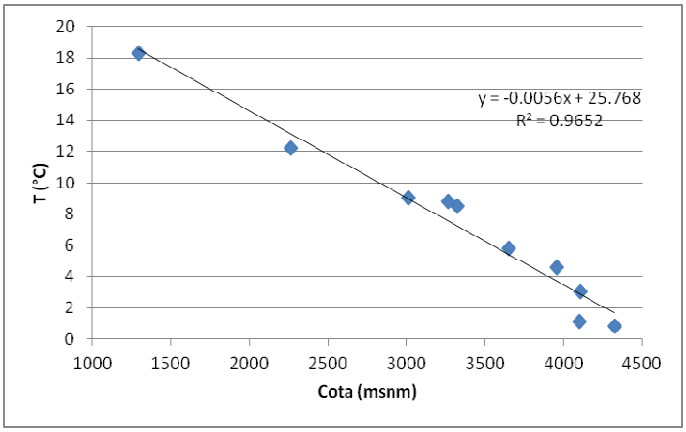
Posteriormente se aplicó la fórmula de Turc y se realizó el cálculo de escorrentía (Esc) en mm por cada banda, siguiendo la siguiente expresión.

$$Esc = P - ETRn$$

En caso de resultar una escorrentía negativa, esta fue dejada en 0, ya que corresponde a un sector donde toda la lluvia caída es evaporada o evapotranspirada en su totalidad, por lo tanto la Escorrentía no existe. Una vez realizado el cálculo, se llevó el valor de Esc de mm a m³/s. El Cuadro 3.4.3.2-3 muestra la comparación de resultados

entre DGA 2003 y la presente consultoría para la Escorrentía total, usando el valor original de DGA 2003 para las superficies de las distintas cuencas y el valor recalculado en el presente estudio, en ambos casos se consideran los valores originales de precipitación (las planillas con los cálculos detallados de este apartado pueden verse en el Anexo 3-8). Se observa una diferencia del 34% entre el resultado de DGA 2003 y aquel obtenido en el presente estudio, lo cual se debe únicamente a las discrepancias entre las superficies originales y las recalculadas.

FIGURA 3.4.3.2-2
GRADIENTE TÉRMICO EMPLEADO



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2003)

Tal como se observa en el Cuadro 3.4.3.2-4, existe una diferencia de 1.415 km^2 entre los totales de ambos cálculos, lo cual corresponde a una cifra significativa, produciendo una incertidumbre innecesaria, dadas las actuales herramientas (SIG y DEM satelital) que permiten calcular áreas y delimitar cuencas en forma precisa, y por lo tanto grandes diferencias entre los resultados.

CUADRO 3.4.3.2-3
ESCORRENTÍA TOTAL (OFERTA HÍDRICA) CUENCA DEL LOA (m^3/s)

Zona/Cuenca	DGA 2003	Presente Estudio (Áreas recalculadas)
Loa Alto hasta Lequena	2,62	1,21
Río San Pedro	1,04	0,62
LasanaChiuChiu	0,02	0,65
Río Salado	1,63	1,21
Pampa Llalqui	0,00	0,02
Sector Calama	0,00	0,00
Salar Llamara	1,11	1,09
Total	**6,42**	**4,80**

Fuente: Elaboración propia y DGA 2003

CUADRO 3.4.3.2-4
COMPARACIÓN ENTRE SUPERFICIES EMPLEADAS
(INCLUYEN SÓLO SECTORES SOBRE LOS 2.200 m.s.n.m.) (km^2)

Zona/Cuenca	DGA 2003	Presente Estudio
Loa Alto hasta Lequena	3.871	2.109
Río San Pedro	1.330	1.191
LasanaChiuChiu	2.360	2.723
Río Salado	2.510	2.398
Pampa Llalqui	2.120	1.763
Sector Calama	800	397
Salar Llamara	5.920	6.914
Total	**18.911**	**17.496**

Fuente: Elaboración propia y DGA 2003

3.4.3.3. Balance entre Oferta y Demanda

La ecuación general del balance empleado en DGA 2003 es la siguiente:

$$Entradas = Salidas$$

O sea,

$$Escorrentía\ total = Evaporación + Qsuperficial + Qsubterráneo$$

La Escorrentía fue calculada en el acápite anterior, sin embargo sólo se descontó la evapotranspiración (Turc) por lo tanto queda restarle la evaporación desde cuerpos de agua.

Si se incorporan los usos del agua (extracciones superficiales y subterráneas), la ecuación puede ser reescrita como:

$$Esc.total = Ev + Usos + Qefluentesup + Qefluentesub$$

Del capítulo de demandas (Acápite 3.3 del presente informe) se obtiene el valor total de los usos antrópicos y del acápite de actualización de estadísticas hidrológicas (Acápite 3.2 del presente informe) se obtiene el valor del caudal superficial en la desembocadura (media anual de estación Río Loa en desembocadura) de 0,29 m³/s. El caudal efluente subterráneo puede ser considerado como 0 por que en general las secciones de salida es muy pequeña y el gradiente muy bajo, de modo que no produce flujo de salida. El estudio de DGA 2003 cuantifica evaporaciones desde superficies de agua y desde cauce por un caudal de 1,585 m³/s.

Del acápite 3.3 se realiza un resumen de las demandas por uso, esto es, agua potable, uso agrícola actual y demandas mineras. El Cuadro 3.4.3.3-1 muestra la operación final del balance oferta y demanda resultante.

Debe tomarse en cuenta algunos elementos al analizar la información contenida en el Cuadro 3.4.3.3-1:

- Tal como se indicó en el caso del cálculo de la demanda agrícola, al no considerarse derrames, reusos y otros en el balance, se tendría que la demanda real es en realidad menor a lo indicado, aunque la verdadera magnitud de esta variable escapa al cálculo en este estudio.

- En el caso de la demanda de agua potable, no se consideran los reusos posibles del agua de desecho de las pérdidas es las redes (que migra al sistema subterráneo).

- En el caso de la minería, se sabe que algunas empresas reusan aguas de relave y reciclan aguas de desecho, lo que en definitiva disminuye la magnitid de la demanda real de agua.

- Los elementos anteriores explican el desbalance entre la oferta hídrica y las necesidades. Lo anterior hace necesario desarrollar estudios de detalle para determinar de mejor forma los elementos del balance.

CUADRO 3.4.3.3-1
BALANCE OFERTA-DEMANDA CUENCA RÍO LOA

Ítem	Caudal (m³/s)	Fuente
Oferta	**4,80**	Cuadro 3.4.3.2-3
Demanda agrícola	0,51	Cuadro 3.3.3.4-2
Demanda Agua Potable	1,09	Cuadro 3.3.2.4-1
Demanda Minera	2,76	Cuadro 3.3.5.1-9
Evaporación cuerpos de agua	1,59	DGA 2003
Caudal en desembocadura	0,29	Cuadro 3.2.2.3-4
Reusos de Agua Potable	Desconocido	Su cuantificación escapa a los alcances de este estudio
Reusos en Riego	Desconocido	
Reusos en Minería	Desconocido	

Nota: No está considerado caudal ecológico

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.4. Análisis Crítico de Método y Resultados y Diferencias con DGA 2003 para la Evaluación de la Oferta Hídrica

Tal como es apreciable, las diferencias de resultados obtenidos son bastante importantes, el cálculo con áreas corregidas entrega una escorrentía igual al 75% del valor obtenido en DGA 2003. Se recalca que los valores entregados en este ejercicio corresponden sólo a cifras generales, obtenidas además por un método muy general.

Tal como se mencionó antes, la fuente de las diferencias está dada por varios por las diferencias de áreas, factor que se explica a continuación:

- **Subdivisión de la Cuenca y Valores de las Áreas:** Dado que DGA 2003 no indica gráficamente los límites que usaron en la subdivisión de la cuenca, para el ejercicio de actualización se realizó una subdivisión supuesta según sentido común usando como única guía el nombre de cada subcuenca. Si bien algunas de éstas eran obvias (ej: Loa alto hasta Lequena), al delimitar la cuenca mediante el DEM satelital y calcular posteriormente su superficie, el valor obtenido distaba enormemente de aquel entregado por DGA 2003. En el caso de la subcuenca "Loa Alto hasta Lequena" por ejemplo, la superficie de la subcuenca fue de 2.109 km^2 mientras que en DGA 2003, la misma subcuenca figura con 3.871 km^2 tal como se mostró en el Cuadro 3.4.3.2-4. Debe tenerse en consideración que la delimitación de cuencas mediante SIG a partir del DEM satelital es altamente confiable, más aún en zonas montañosas y de altas pendientes, por lo que en este caso no se pondría en duda el cálculo actual al menos en la mencionada subcuenca. Dado que la distribución de las precipitaciones y el volumen de escorrentía depende de la cuenca en cuestión y su tamaño, las diferencias originadas a partir de discrepancias entre superficies podrían ser significativas. Similares efectos podrían esperarse del resto de las subcuencas.

Se mencionan además algunos elementos a tener en consideración para eventuales mejoras del método.

- **Discretización de las Subcuencas**: DGA 2003 discretiza las subcuencas por bandas de elevación de 1000 m evaluando el gradiente en la cota media de cada banda. Tal como se dijo anteriomente este es una simplificación bastante gruesa y podría involucrar un error significativo, el cuál sería evitable si se mejora la precisión de la discretización.

- **Ecuación de Turc**: La fórmula de Turc no constituye necesariamente una aproximación confiable para calcular pérdidas por evapotranspiración anual. Tanto es así que si se realiza el mismo ejercicio pero usando los datos del Atlas Bioclimático de la Universidad de Chile (2012) en lugar que los datos de la DGA (tanto en temperaturas como precipitaciones), la escorrentía resultaría 0 en toda la cuenca, lo que quiere decir que los resultados del balance son extremadamente dependientes del método empleado y de la fuente de información y la diferencia de los resultados son importantes.

- **Caudales.** Es necesario mencionar que en el presente estudio no se realizó un análisis de caudales en régimen natural ni por subcuenca (sólo a nivel de la desembocadura del Loa), por lo que se requiere un estudio de detalle de la cuenca para cuantificar tanto los caudales en régimen natural y analizar el detalle de las estaciones (corrección de datos, ver si hubo irregularidades en las mediciones, cambios de instrumentación, traslado, etc).

- **Precipitaciones.** Dado que los valores puntuales de precipitación utilizados corresponden a los mismos empleados por DGA en el 2003, se estima necesario poder realizar un nuevo balance con la información pluviométrica actualizada, y usando un modelo inegrado para la cuenca del río Loa. Para esto se hace necesario un estudio detallado de las distintas estaciones, conocer su historial, bitácoras, realizar visitas a terreno, entrevistas con los encargados regionales de la recolección de datos, todo lo cual serviría para cerciorarse si eventuales cambios identificados en las tendencias y montos pluviométricos corresponden a cambios reales de la precipitación o si estarían dados por problemas de medición, cambios instrumentales, cambios en los protocolos de recolección de datos, problemas de mantención, etc. De esta forma se podrían generar las series de precipitaciones actualizadas de manera confiable.

3.4.4. Balance Hídrico Cuenca del Salar de Atacama

3.4.4.1. Introducción

Del mismo modo que lo realizado en la cuenca del Loa, se efectuó una análisis del balance hídrico hecho en la cuenca del Salar de Atacama, usando el estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Acuífero del Salar de Atacama" (Informe Técnico SDT N°324, DGA 2012) el cual a su vez se basa en los resultados obtenidos en un estudio anterior denominado "Actualización de la Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para la Constitución de Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región" (Documento SIT N°210 realizado por GCF Ingenieros Consultores Lmtda y DGA en 2010).

La cuenca del Salar de Atacama es una cuenca endorreica, por lo que no posee punto de control, todas las aguas que ingresan a la cuenca producto de las precipitaciones fluyen hacia el salar ya sea por la vía superficial o subterránea, alimentando finalmente al acuífero o evaporándose. Por este motivo, se define como volumen de control al salar propiamente tal. La Figura 3.4.4.1-1 muestra un esquema del funcionamiento hidrológico de la cuenca.

De lo anterior se obtiene la ecuación general del balance planteado en el volumen de control (salar) en una condición de equilibrio y sin extracciones por pozos:

$$Recarga\ efectiva = Q_{afluente\ superficial} + Q_{afluente\ subterraneo} + PP_{sobre\ salar}$$

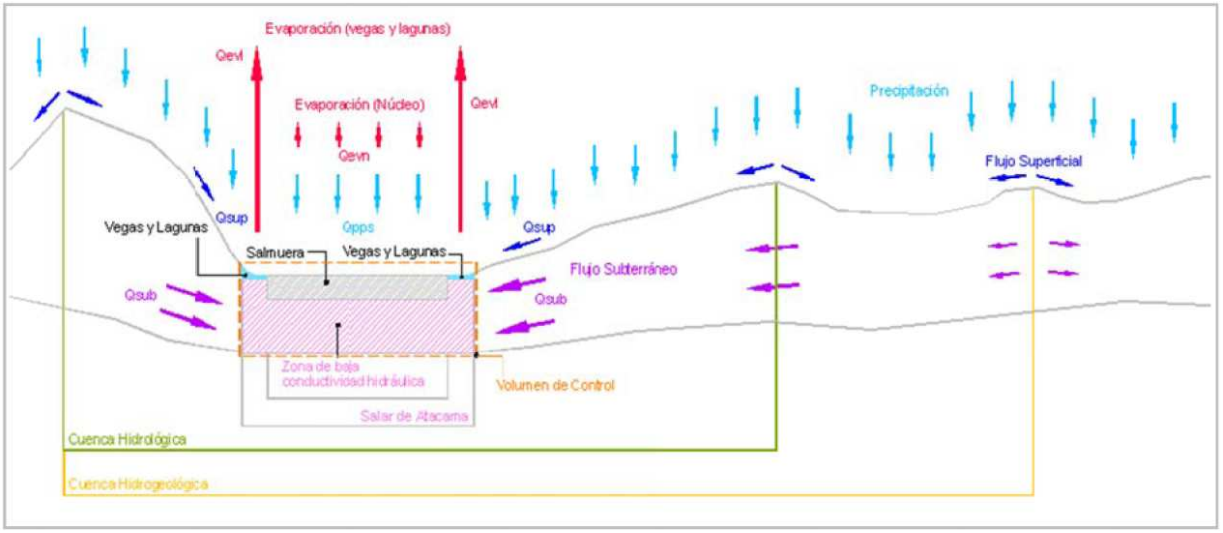
De igual modo la recarga efectiva debe ser igual a las salidas desde el salar, por lo tanto también se cumple que:

$$Recarga\ efectiva = Evaporación_{desde\ salar} + Evapotranspiración_{desde\ salar}$$

De acuerdo a mediciones efectuadas por Mardones entre 1983 y 1984 (citado también en el Informe Técnico SDT N°324, DGA 2012), se ha calculado que las salidas de agua desde el salar, incluyendo evaporación desde el núcleo y periferia del núcleo, lagunas y evapotranspiración de vegas y bofedales corresponde a 5,6 m³/s (oferta

hídrica en volumen de control). Dicha cifra se ha mantenido como válida hasta la actualidad y los balances hasta ahora realizados en el salar están determinados por ese valor.

FIGURA 3.4.4.1-1
ESQUEMA DEL SISTEMA HÍDRICO SALAR DE ATACAMA



Fuente: Informe Técnico SDT N°324, DGA 2012

3.4.4.2. Sectorización del Salar

En DGA 2012, se subdivide la cuenca del Salar de Atacama en 13 sectores o subcuencas (ver Figura 1 del Informe Técnico SDT N°324, DGA 2012). En dicha sectorización, el Sector 13 corresponde al núcleo del Salar y el Sector 12 es la zona periférica del núcleo. Ambos corresponden a la proyección en planta del volumen de control.

3.4.4.3. Cálculo de la Escorrentía Total Efectiva hacia Salar

Cada uno de los sectores que rodean al salar, aportan una cantidad de agua a éste, ya sea por la vía superficial como por la subterránea. La Escorrentía Total Efectiva (Eef) corresponde a la suma de los aportes superficiales más subterráneos que recargan el Salar. Se sabe que la recarga total del Salar es de 5,6 m³/s, por lo tanto las Eef de los sectores del 1 al 11 sumadas con la precipitación que cae directamente sobre los sectores 12 y 13 debe dar 5,6 m³/s.

Dentro del proceso de cálculo de los estudios DGA 2010 y 2012, se detectó una inconsistencia en los aportes de las distintas subcuencas al salar que suman 5,6 m³/s, pues no se considera la precipitación que cae directamente sobre el salar (sectores 12 y 13) incumpliendo lo que estipula la ecuación del balance general. Es decir, se omite la participación de la precipitación que cae directamente sobre el salar como parte de la recarga lo cual se traduce en una sobreestimación de los aportes de las cuencas laterales ya que se ajusta el total de la recarga al valor 5,6 m^3/s.

Las subcuencas fueron discretizadas en bandas altitudinales de 100 m cada una y las precipitaciones fueron distribuidas mediante un gradiente orográfico lineal que consideró 6 estaciones ubicadas dentro de la cuenca del salar. Posteriormente, el gradiente de precipitación fue evaluado en la cota media de cada banda, para luego calcular los caudales de Escorrentía Total ajustando el caudal resultante, al valor de recarga considerado (5,6 m^3/s).

Otro elemento clave que determina el balance, es sin duda, la evaporación desde la costra. Si bien el método considera que el agua "evaporable" es agua disponible para extracciones, debe considerarse que el salar está permanentemente evaporando a través de la costra, ya sea desde la zona saturada como la no saturada, precisamente por este proceso es que se forman los salares en un comienzo, razón por la cual no puede omitirse una salida de agua producto de este proceso aún cuando pueda verse disminuida.

3.4.4.4. Análisis Crítico del Método y Resultados

El método propuesto por DGA se basa en un punto que merece discusión puesto que no necesariamente se ajusta o acerca a la realidad: la recarga constante del salar de 5,6 m^3/s. Se sabe que la recarga es la suma de las Precipitaciones que caen sobre el salar (aporte omitido en el estudio DGA 2010-2012), más la escorrentía superficial y subsuperficial que llega desde las subcuencas aportantes a éste. Como se sabe, todas estas entradas están condicionadas inicialmente por la precipitación que cae en toda la cuenca. Esto indica que a menor precipitación habría menor recarga y a mayor precipitación, mayor recarga. En otras palabras, los 5,6 m^3/s expuestos como recarga promedio obedecen a una precipitación media dada de magnitud conocida. Si cambia ese valor de precipitación media (que es lo que ocurriría en un escenario de variabilidad climática) también debe cambiar la recarga media. Esto último no es considerado por el método ya que independientemente del valor obtenido en el cálculo de la precipitación, siempre se cierra la recarga en la cifra establecida (5,6 m^3/s).

Por otro lado, no existe certeza de que la evaporación estimada por Mardones represente una condición inicial o "de equilibrio" dado que en la década del 80 ya existían extracciones, así como no es del todo acertado mantener vigente una tasa de evaporación real del año 1983-84 (Mardones), sobre todo ante la eventual presencia de variabilidad climática. Lo anterior hace necesaria que se realicen nuevas mediciones de evaporación desde las costras del salar que sean representativas del actual escenario de explotación de éste.

Otro punto de discusión del método DGA 2010-2012, y que fue mencionado al final del acápite anterior, reside en el hecho de no cuantificar la evaporación desde las costras como un caudal de salida del volumen de control. Si bien se considera que el agua evaporable es agua disponible para extracción, la evaporación nunca será cero aún cuando pueda minimizarse, por lo tanto todo balance que no considere esta evaporación de costras estará siendo demasiado optimista pero poco realista.

Asimismo, hace falta un adecuado monitoreo de los niveles de las aguas subterráneas por parte de la DGA, para poder corroborar si la explotación del acuífero es o no sustentable en el tiempo.

Tal como fue mencionado en el desarrollo, no se considera dentro del balance la precipitación que cae directamente sobre el salar. Esto produce una sobreestimación de la oferta en las cuencas laterales ya que todas deben aumentar su escorrentía para ajustar la recarga del salar previamente establecida.

Finalmente, mencionar que el método del gradiente orográfico lineal también es un aspecto que puede ser mejorado, ya que en rigor no es recomendable extrapolar la ecuación obtenida por sobre o por debajo los límites del intervalo, se podría también incluir más estaciones e incorporar métodos de modelación más sofisticados.

3.4.5. Oferta Hídrica en Cuencas Altiplánicas

3.4.5.1. Estimación de la Escorrentía total de largo plazo

Las Cuencas Altiplánicas consideradas dentro del presente análisis corresponden a (ver Figura 3.4.2-1):

- **Cuenca 020**: Incluye las sub cuencas de los Salares Ascotán, Carcote y Ollague y Fronterizas (también conocida como "Fronterizas entre Salar de Michincha y Río Loa").
- **Cuenca 023**: Incluye subcuencas de los Salares Tara, Incahuasi, Púlar y Fronterizas (también conocida como Fronterizas entre Salares de Atacama y Salar Socompa).
- **Cuenca 024**: Incluye subcuencas de salares Cápur, Talar, Aguas Calientes, Pujsa, Loyeque y Quisquiro (también conocida como "Endorreicas entre Fornterizas y Salar de Atacama").

El método empleado para estas cuencas corresponde al descrito en el informe técnico "Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas Seleccionadas" realizado por la División de Estudios y Planificación de la DGA en agosto de 2011 (Documento SDT n°317). En él se plantea un método simple para estimar escorrentía total y recargas en cuencas no controladas. El uso del método está recomendado para cuencas altiplánicas o de vertiente Pacífico de alturas superiores a los 1.500 m.s.n.m.

A continuación se explica el método propuesto por DGA 2011 para estimar la escorrentía total media anual de largo plazo.

Se describe el mismo método con 2 variantes: La Hidrogeológica y la Hidrológica, optándose por el segundo dado el tipo de información que se maneja y los resultados obtenidos por DGA 2011. Dicha variante considera una desagregación estacional de la precipitación entre los períodos de invierno y verano. La fórmula general del método de acuerdo a la variante hidrológica es la siguiente:

$$Qinv = finv * Pinv * A$$

$$Qvno = fvno * Pvno * A$$

$$Qs = Qinv + Qvno$$

Donde Pinv y Pvno, son la precipitación media anual del período de invierno y verano respectivamente, A es el área de la cuenca, finv y fvno son coeficientes de escorrentía totalde invierno y verano respectivamente, Qinv, Qvno y Qs son los caudales de escorrentía total de largo plazo de invierno, verano y total respectivamente.

El valor de la precipitación media anual es requerido para ejecutar el método, y de acuerdo a lo indicado por DGA 2011, los mejores resultados se obtuvieron usando las Isoyetas del Balance Hídrico de 1987, habiéndolas comparado previamente. Para un cálculo más preciso, las isoyetas del BHN 1987 fueron interpoladas a una grilla de 200x200 m, y el valor de la precipitación media fue obtenido mediante promedio aritmético de las celdas al interior de cada cuenca. La Figura 3.4.5.1-1 muestra la distribución espacial de las precipitaciones medias anuales.

La desagregación temporal de la precipitación media anual se hizo multiplcando el valor anual por los coeficientes de distribución F(x)inv o F(x)vno según correspondiese, usando los valores propuestos en el informe de DGA 2011 (Tabla número 4 de dicho documento) en función de la latitud de la cuenca (UTM Norte). El valor de la UTM Norte representativa de cada subcuenca se obtuvo con en el centroide de cada una de ellas.

Los factores finv y fvno se obtuvieron de acuerdo al método propuesto en DGA 2011, mediante ajuste lineal de datos observados de precipitación y escorrentía en cuencas controladas. Las relaciones lineales propuestas en DGA 2011 son las siguientes:

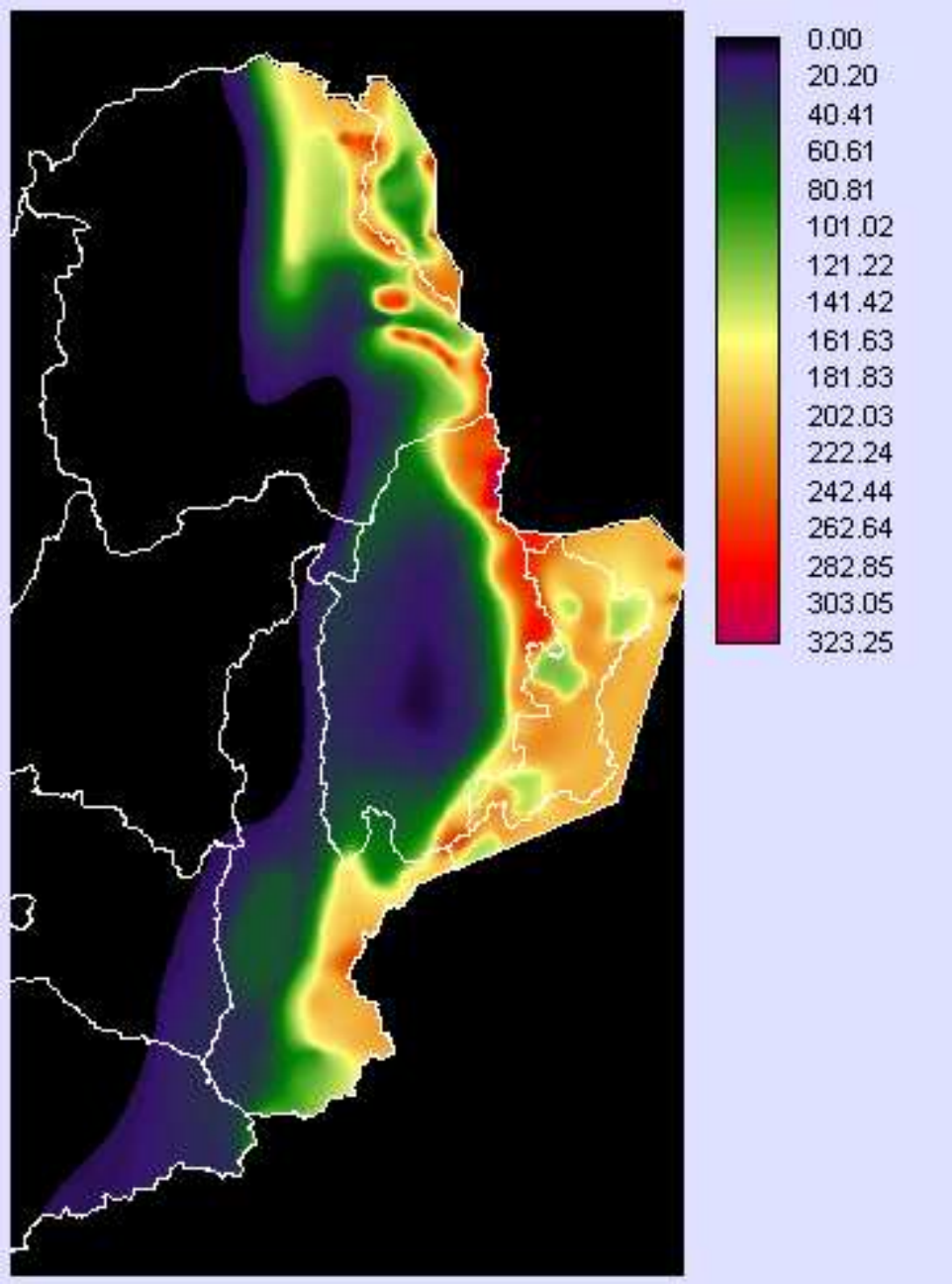
$$finv = \frac{Pinv - 100}{800}$$

$$fvno = \frac{Pvno - 20}{1500}$$

Siguiendo con la metodología, la recarga neta mínima de cada cuenca, corresponde al 40% de la escorrentía media anual de largo plazo ya estimada.

Finalmente, el Cuadro 3.4.5.1-1 muestra los resultados obtenidos en las cuencas estudiadas (detalles en Anexo 3-8).

FIGURA 3.4.5.1-1
MANTO DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES



Nota: La interpolación sólo es válida dentro del campo de acción de las isoyetas, por este motivo el manto de precipitaciones sólo abarca la parte alta de la región. No quiere decir que en la parte baja llueva cero.

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3.4.5.1-1
ESTIMACIÓN ESCORRENTÍA TOTAL DE LARGO PLAZO EN CUENCAS ALTIPLÁNICAS

Parámetro	Cuenca		
	020	023	024
PP media anual (mm)	162,1	164,8	196,9
A (km^2)	2502,4	4035,2	5084,4
UTM Norte Centroide Cuenca (m)	7.630.278	7.403.628	7.394.796
F(x) inv	0,073	0,236	0,251
F (x) vno	0,927	0,764	0,749
Pinv (mm)	11,83	38,88	49,41
Pvno (mm)	150,28	125,87	147,45
finv	0,000	0,000	0,000
fvno	0,09	0,07	0,08
Qinv (m^3/s)	0,000	0,000	0,000
Qvno (m^3/s)	1,036	1,137	2,020
Qs (m^3/s)	**1,036**	**1,137**	**2,020**
Recarga neta mínima (m^3/s)	**0,414**	**0,455**	**0,808**

Fuente: Elaboración propia

3.4.5.2. Análisis Crítico del Método y Resultados

Pese a que se obtienen valores de escorrentía generada en un orden de magnitud aceptable, existe gran incertidumbre en torno a si se acerca a la realidad, puesto que los factores "f" fueron obtenidos a partir de cuencas de exposición oeste donde las condiciones de escorrentía pueden variar.

Por otro lado, no debe ignorarse de que nos encontramos en cuencas transfronterizas, es decir, el límite de la cuenca en este caso estuvo dado por la frontera con Argentina y no por el límite natural de las cuencas. Dado que existen muchos casos en que la frontera pasa por el medio de un salar, la escorrentía generada eventualmente puede pasar al lado argentino. En otras palabras, se establece que el caudal obtenido corresponde a aquel generado por el área aportante presente en Chile pero no quiere decir que toda permanezca en el país.

En DGA 2011 se aclara que se debe poner atención en la interpretación de resultados en ciertas situaciones específicas, como por ejemplo en la aplicación del método en subcuencas de aporte de acuíferos regionales, a salares o zonas terminales de cuencas altiplánicas endorreicas, precisamente los casos analizados. Dependiendo de cada situación específica, la recarga podrá responder y adoptar conceptualmente un valor distinto, que se encontrará entre la escorrentía total estimada y el valor de la recarga neta mínima (40% de la escorrentía total). Este es un punto de gran relevancia, ya que, tratándose de cuencas endorreicas, la recarga del acuífero es primordial.

No es posible hasta la fecha completar el balance hídrico ya que no se dispone de los datos de evaporación de las costras de los distintos salares, ni se encuentra del todo documentado los elementos que permitan calcular las demandas de las zonas agrícolas, además de las vegas y bofedales en las zonas de los salares (principalmente superficies).

Pese a que no es explicitado en el método DGA 2011, se asume que los coeficientes de escorrentía "f", ya descuentan de la precipitación total, evaporación desde laderas, así como demandas evapotranspirativas de las formaciones vegetales de existentes en las mismas cuencas aguas arriba de los puntos de control. De no ser correcto este supuesto debe reflexionarse en torno a poder considerar estas demandas que representan salidas de agua del sistema.

3.4.6. Consideraciones Finales sobre los Métodos Empleados

El estar en presencia de cuencas tan complejas como las altiplánicas y/o endorreicas, cuya hidrología es en general bastante distinta a las cuencas del centro y sur del país, con regímenes de lluvias distintas, con procesos de formación de precipitaciones particulares, con condiciones geográficas y climáticas particulares (desierto, altiplano, salares, etc.), y que además se insertan en un entorno económico y social complejo, constituye una difícil misión desde el punto de vista de la comprensión del sistema y por lo tanto de la cuantificación del recurso hídrico para una correcta regulación. Cada decisión metodológica, cada supuesto, afecta significativamente el resultado y la posterior decisión, que puede ser el otorgar o no un derecho de aprovechamiento, un plan, una política, o cualquier. Es por todo esto que el análisis crítico de los métodos empleados se hace tan relevante.

A continuación se detallan otras consideraciones (además de las señaladas en los Acápites anteriores) de los métodos empleados que se consideran relevantes:

- **Gradientes Basados en la Variación de Altura:** El método de los gradientes lineales ya sea de precipitación v/s altura o temperatura v/s altura, en estricto rigor debe ser empleado únicamente en el rango de acción de los datos observados, es decir sólo para interpolar, no para extrapolar, ya que en sentido estricto se desconoce el comportamiento de la relación fuera del rango de la recta. Esta condición, podría traducirse, eventualmente, en una fuerte sobreestimación de la precipitación en zonas altas, y por lo tanto, de la oferta hídrica de la cuenca.

- **Coeficientes de Escorrentía:** Tal como fue mencionado en el caso de las cuencas altiplánicas, pero también es aplicable al salar de atacama. No existe certeza respecto de qué parte de la escorrentía total ve descontado luego de la aplicación de los coeficientes de escorrentía. A simple vista, se entiende que es el agua que se evapora desde los suelos y laderas de las cuencas, pese a que no se dice explícitamente. En el caso del salar queda claro que es así ya que se expone como es descontada posteriormente la ETR y la Evaporación de cuerpos de agua, pero en el caso de las cuencas altiplánicas DGA (2011) no queda claro si los coeficientes f fueron determinados para cuencas con una

determinada superficie de vegas o bofedales, o zonas de cultivo, de modo de poder suponer que el sólo hecho de aplicar el factor f ya asegura que se han descontado estas demandas, o si deben ser descontadas posteriormente. Qué pasaría por ejemplo si se usa el factor f en una cuenca con una cantidad de vegas o zonas de cultivo lo suficientemente grandes para que afecte la validez de la ecuación.

- **Posible Aplicación de Métodos Altiplánicos para Loa y Salar:** Tal como fue mencionado antes, existen distintos métodos cada uno de los cuales arrojan distintos resultados. Podría aplicarse por ejemplo, el método de las cuencas altiplánicas a la cuenca del Salar de Atacama y probablemente el balance se vería afectado.

- **Incertidumbre:** El punto anterior origina una fuerte incertidumbre en torno cuánta confianza existe en el método y en los resultados que éste entrega, sobre todo por que las decisiones que se tomen a partir de ello son trascendentales y adquieren aún más importancia dado el entorno social y económico en el que se insertan.

- **Representatividad Espacial del Balance:** Debe tenerse en consideración que el resultado de un balance realizado con condiciones promedios anuales y a nivel de cuenca, sin mayor desagregación espacial, no necesariamente da cuenta de una situación hídrica favorable o desfavorable ya sea en el tiempo o en el espacio. Si un balance entrega un almacenamiento positivo, no quiere decir en lo absoluto, que todas las demandas al interior de la cuenca están cubiertas ya sea entre distintos sectores o entre distintos momentos, ya que puede haber agua en un sector y no en otro, o bien haber agua en un determinado mes o año y no en otro.

- **Modelación Hidrológica.** De lo anterior se desprende, que se hace altamente necesario implementar un modelo de simulación hidrológica en las cuencas, que puedan efectuar balances apropiadamente espacializados, con el fin de abordar la situación hídrica en los puntos clave, y conocer la satisfacción de la demanda real de las zonas sensibles y relevantes.

3.5. CONCLUSIONES

3.5.1. Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos

En lo que recursos hídricos superficiales y subterráneos, se tiene que estos están satisfactoriamente cuantificados, en el caso de los recursos superficiales en volumen y ubicación, y en el caso de los recursos subterráneos en su ubicación y ocurrencia.

La red de medición de la DGA entrega una buena distribución de las mediciones de caudales, precipitación y niveles de pozos actualizadas en la región. Se ve que fue posible ajustar una distribución de frecuencias en el caso de los caudales y la

precipitación, lo que entrega entonces los valores de estas variables para distintas probabilidad de excedencia.

De todas formas, para lograr construir un balance o utilizar un modelo hidrológico, se hace necesaria un mayor monitoreo constante de pozos, pues el recurso subterráneo es un elemento importante dentro de la cuantificación del ciclo hidrológico.

3.5.2. Demandas

3.5.2.1. Agua Potable

En la región, es Aguas Antofagasta la encargada de la generación, suministro y tratamiento del agua potable. La región ha logrado tener un 100% de la cobertura de los servicios de agua potable y tratamiento de aguas servidas en las zonas urbanas. Por su parte, los sistemas de Agua Potable Rural están actualmente en desarrollo.

Las fuentes de información para hacer un análisis de los sistemas de agua potable están ordenadas, actualizadas y disponibles por la SISS, lo que facilitó y otorgó confiabilidad a los resultados aquí expuestos. Por la misma razón, la proyección de consumo de agua potable también fue hecha con toda la información necesaria.

3.5.2.2. Agrícolas

El cálculo de la demanda por cultivo puede variar de un estudio a otro dependiendo de muchos factores. En este caso, uno de los motivos de discrepancia con otros estudios puede ser la utilización del Atlas Bioclimático para las variables de precipitación y evapotranspiración. Se optó por utilizar dicha referencia, debido a la necesidad de actualizar la información. No obstante, los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de valores que muestran estudios previos.

Es importante considerar que la información de estructura de cultivos y eficiencia de riegomás actualizada corresponde a la del Censo Agropecuario y Forestal del año 2007, a nivel comunal, por lo que estudios más detallados, por ejemplo a nivel predial, y actualizados permitirían mejorar las estimaciones.

Calama y San Pedro de Atacama son las comunas con mayor demanda hídrica agrícola, lo que es consistente en todos los estudios. Esto se traduce en que las cuencas del Río Loa y del Salar de Atacama son las más demandantes en los mismos términos.

Respecto a las proyecciones, el modelo utilizado proyecta un aumento gradual de la superficie cultivada, lo que trae como consecuencia, dada la dependencia de riego de la zona, un aumento también gradual de la demanda de agua por agricultura en el corto, mediano ylargo plazo. De los resultados, se observa que las comunas con mayor porcentaje de aumento corresponden a Sierra Gorda, seguida de Taltal, lo que puede deberse a la mayor superficie, en relación al total de la comuna, que se encuentra cultivada con frutales, cultivo que tiene mayor porcentaje de incremento. Las cuencas hidrográficas que presentarían mayor aumento en relación a su demanda actual, son Quebrada Caracoles y Costera – Quebrada La negra – Quebrada Pan de Azúcar.

En términos generales, de aquí a 20 años más, se esperaría un incremento del 48% de la demanda hídrica debido a actividades agrícolas en la Región, lo que corresponde a un caudal del orden de los 23 hm^3 al año.

Por último, debe hacerse notar que en la determinación delas demandas de riego, no se ha incluido la existencia de derrames, reusos, recuperaciones, y otros, ya que eso requiere un mayor conocimiento de los sectores de riego. Por lo anterior, las demandas proyectadas, son las máximas demandas posibles de requerir.

3.5.2.3. Energía Eléctrica

La Región de Antofagasta posee fundamentalmente generación a través de centrales termoeléctrica, para el consumo minero principalmente. Una parte de las centrales se conectadas al SING, una al SIC, y otra parte, número no determinado, abastecen directamente a centros mineros, y que no inyectan energía al SING.

La determinación del caudal utilizado por las centrales de la región se realizó a través de diversas fuentes de información, pero la disponibilidad de estos datos no se encuentran disponible, donde por ejemplo, en el caso del CDEC-SING, de la CNE, de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y de la SOFOFA, sólo existen datos económicos y operacionales del sistema eléctrico y sus centrales, e información sobre futuros proyectos. Es por esto que se determinó revisar los datos de derechos concedidos de la DGAy finalmente de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación Ambiental.

En el caso de la DGA, se revisaron los derechos concedidos por la Dirección General de Aguas, donde no se presentan empresas relacionadas con el ámbito eléctrico. Cosa distinta a los derechos en trámite, presentándose una empresa que solicita 467 L/s en la región, entre derechos permanentes alternados y continuos.

En relación al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, según informan los estudios y resoluciones y otras fuentes secundarias, 7 de las 12 centrales que inyectan al SING utilizan agua de mar para sus procesos, no existiendo información en cinco de ellas, dos de las cuales se encuentran en el interior de la región y las tres faltantes, en la zona costera.

Además es posible encontrar en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental otros 9 proyectos termoeléctricos no nombrados en el SING, pudiendo pertenecer a empresas mineras y,por lo tanto, no inyectan al SING, o pudiendo corresponder a proyectos que aun no entran en operación. De estas se pueden indicar dos elementos que sirven al análisis, primero, que estas centrales principalmente pertenecen a empresas mineras, y segundo, al no existir derechos concedidos a empresas eléctricas en la región, estos derechos podrían pertenecer a la empresa minera, por lo cual quedan dentro de las demandas generales de estas empresas.

Dado que la energía eléctrica satisface su demanda de agua fundamentalmente con agua de mar, no se hace necesario preparar proyecciones de demanda para este consumo.

3.5.2.4. Minería

Es importante considerar que los cálculos de estimación de consumo de agua en la minería para el año 2011 están realizados con los supuestos que la metodologá menciona, la que considera ciertas variables como parámetros que no necesariamente lo son. Por lo que su uso esta restringido a referencial y no absoluto.

Así mismo existe un porcentaje de agua que una vez que sale del ciclo de producción como parte de otros materiales de desecho, es reutilizada nuevamente en los procesos. Este porcentaje de agua se hace cada vez más importante considerando que las tecnologías avanzan en el sentido de maximizar el uso de este recurso todo lo posible.

Además es interesante también el inminente cambio de fuente de abastecimiento de agua que se ha visto especialmente en los últimos años, el cual se hace presente actualmente en los procesos de 2 de las mineras consideradas en este estudio, las que utilizan agua de mar en sus procesos.

Respecto a la proyección del consumo de agua en la minería es importante destacar que el crecimiento de este rubro, que se encuentra intrínsecamente relacionado con el consumo de agua que esta industria tendrá, es fluctuante, y depende de variables económicas (inversiones y rentabilidad) y ambientales (disponibilidad del recurso o agotamiento paulatino), que no son posibles de determinar a largo plazo, por los resultados reflejan la tendencia del comportamiento de este consumo pero no el consumo real que se tendrá año a año.

Respecto a la ubicación de las extracciones de agua para suplir la demanda del rubro, se tiene que este se concentra, en orden de importancia, en las cuencas del Loa, del Salar de Atacama y Cuenca Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico, las que aportan más del 98% del agua consumida por la minería.

3.5.2.5. Industria

Tal como se indicó anteriormente, las industrias se abastecen de la red de agua potable existente, por lo que su uso se encuentra considerado en la el ítem de agua potable de este estudio.

3.5.2.6. Uso Paisajístico, Turístico y Recreacional

La Región de Antofagasta tiene un valor paisajístico, ambiental y cultural alto, desarrollándose una serie de actividades relacionadas con los usos paisajísticos, turísticos y recreacionales que aprovechan directamente los recursos naturales. Los ecosistemas altoandinos corresponden a ecosistemas muy frágiles debido a que los procesos necesarios para su mantención y perpetuaciónson muy sensibles a cambios producidos por catástrofes naturaleso la acción del hombre

Actualmente no existe un método empírico que permita fijar un caudal necesario para mantener el uso paisajístico, y por lo tanto es difícil estimar la demanda de agua para fines turísticos, paisajísticos y recreacionales.

El desarrollo del turismo en la región se realiza principalmente en zonas urbanas o rurales que poseen sistema de agua potable, donde los recintos turísticos están adscritos a estos sistemas, por lo tanto la demanda de ellos queda cuantificada dentro de la demanda de agua potable. Es por esto que no se considera esta demanda, como tal, para el desarrollo del balance hídrico, ya que su consideración generaría una sobreestimación de la demanda, provocando errores.

3.5.2.7. Caudales Ecológicos en la Zona de Estudio

La DGA (2005) indica que el Caudal Ecológico es el "*caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes preservando la calidad ecológica*". La constitución de este caudal en los ríos,solamente puede afectar a nuevos derechos que se constituyan (Artículo 129 bis del Código de Aguas).

El registro de la DGA indica que actualmente 20 expedientes (uso minero, industrial y otros usos) deben dejar caudal libre, como caudal ecológico. En el caso de los consuntivos se deben dejar 261,75 L/s de caudal ecológico, y no consuntivos de debe dejar un caudal de 1 L/min.Lamentablemente no existe mayor información en estudios y otros documentos sobre caudales ecológicos efectivos, y tampoco en los derechos actualmente en trámite, solamente existe una estimación teórica.

3.5.3. Balance Hídrico de Cuencas Relevantes

3.5.3.1. Comparación Entre Situación Actual y Situación al Año 1987

Se advierte una tendencia a la baja entre los montos de las precipitaciones medias (anuales) entre los períodos actuales y antiguo (al año 1987). Entre las razones se mencionan las siguientes:

- Confiabilidad de los datos. En períodos más antiguos (ej.: década del 60) existe menor confiabilidad de los datos registrados por motivos de instrumentación y manejo de información.

- Variabilidad climática. Tal como ha sido expuesto en el presente estudio y reafirmado por trabajos de investigación publicados en medios científicos (ver las citas específicas en el apartado 3.4.2), se observa una tendencia negativa en las precipitaciones del norte de Chile como producto de la variabilidad climática.

3.5.3.2. Cuenca del Río Loa

Al realizar los cálculos del balance del Loa recalculando las áres de las subcuencas, las diferencias de resultados obtenidos respecto del estudio base DGA 2003 son bastante importantes, el cálculo actualizado entrega una escorrentía (oferta hídrica) igual al 75% del valor obtenido el DGA 2003.

La fuente de esta diferencia está dada por la discrepancia en la subdivisión de la Cuenca y Valores de sus Áreas entre ambos estudios. No existe certeza sobre los límites de subcuencas empleados en 2003.

Dentro de los aspectos clave se pueden abordar para mejorar las estimacioes se encuentran:

- Discretización de las Subcuencas: Se pueden mejorar las estimaciones aumentando la precisión de la discretización.
- Ecuación de Turc. No representa necesariamente un método confiable a esta escala de análisis dado el objetivo de estos balances.
- Caudales. Se requiere un estudio de los caudales a nivel de subcuencas en régimen natural.
- Precipitaciones. Se requiere un estudio detallado de las precipitaciones que incluya un análisis exhaustivo del historial de las estaciones.

3.5.3.3. Cuenca del Salar de Atacama

Existen algunos puntos, en el estudio DGA 2010-2012 que merecen mayor discusión, en el caso de que se quiera actualizar este balance, mejorando el método y la información utilizada. Los aspectos relevantes son:

- La recarga del Salar. Resulta discutible la cifra empleada como recarga promedio del salar, principalmente por su vigencia. Son necesarias nuevas mediciones de evaporación en este aspecto.
- No se considera la precipitación que cae directamente sobre el salar lo que produce una sobreestimación de la oferta en las cuencas aportantes.
- No se considera un caudal de salida como evaporación directamente desde las costras del salar. Son necesarias mediciones de evaporación en este aspecto.
- Es necesario un monitoreo de los niveles de las aguas subterráneas por parte de la DGA.
- Los gradientes orográficos de precipitación v/s altura en rigor sólo debiesen ser empleados dentro del rango de los datos y no para extrapolaciones ya que se corre el risgo se sobreestimar la oferta de las zonas altas.

3.5.3.4. Cuencas Altiplánicas

En general, en la estimación de la oferta hídrica realizada usando el método simple DGA 2011, se obtuvieron cifras en un orden de magnitud aceptable para la zona. Debe considerarse que las cuencas altiplánicas analizadas son transfronterizas y las cifras obtenidas corresponden a la escorrentía generada en el territorio nacional.

3.5.3.5. Consideraciones Finales y Recomendaciones

- La alta compejidad hidrológica y del entorno social, cultural, económico y ambiental de las cuencas estudiadas hacen altamente necesario y recomendable la implementación de herramientas, métodos y

plataformas más sofisticadas para el estudio y la gestión del recurso hídrico.

- Existe una alta incertidumbre asociada a los métodos empledos en los balances hídricos que tienen un importante efecto en los resultados, y por consiguiente, repercuten a nivel de las decisiones que se toman a partir de estos, con todo lo que ello implica en el entorno económico, social y ambiental antes descrito.

- En general los balances hídricos realizados a nivel de cuenca y en condiciones promedio no dan cuenta necesariamente una situación favorable o desfavorable al interior de la cuenca (independientemente de los resultados del balance). Por lo anterior se estima necesario generar e implementar un modelo hidrológico de las distintas cuencas que posea la desagregación espacial necesaria, que permita el análisis de los procesos hidrológicos más relevantes y analizar la satisfacción de la demanda para distintos sectores. Asimismo se hace necesario aumentar la cantidad y calidad de información hidrometeorológica disponible de la mano con la mejora y sofisticación los métodos.

CAPÍTULO 4

DIAGNÓSTICO DE CALIDAD SEGÚN FUENTE Y TIPO DE USO

4. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD SEGÚN FUENTES Y TIPO DE USO

4.1. GENERALIDADES

El objetivo central del presente capítulo es realizar una evaluación en lineamientos generales, de la calidad de los recursos hídricos – superficial y subterránea – para su uso en riego y consumo humano de las principales cuencas de la Región de Antofagasta.

Si bien el principal usuario de los recursos hídricos es la actividad minera, el consumo humano y la agricultura son usuarios de importancia y se debe evaluar la calidad de las aguas que utilizan, especialmente por compartir las fuentes hídricas con la minería, que generalmente presenta efectos adversos al medio ambiente, especialmente en el ambiente de escasez que presenta la región.

4.2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

4.2.1. Introducción

Se realizó una revisión de los antecedentes bibliográficos existentes en cada una de las cuencas, tanto para aguas superficiales como subterráneas. En el caso del agua superficial, al contar con datos más actualizados se pudo complementar la información de los estudios revisados. En el caso del agua subterránea, no hubo un complemento con información más reciente.

Además se realizó una revisión de la información de calidad de aguas disponible en proyectos presentados al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) y la que se encuentra disponible en Planes de Alerta Temprana (PAT).

Adicionalmente, se ubicaron espacialmente las potenciales fuentes emisoras de contaminación sobre aguas superficiales o subterráneas.

4.3. AGUAS SUPERFICIALES

4.3.1. Introducción

El presente capítulo toma como base el estudio de la Dirección General de Aguas "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad", desarrollado por CADE-IDEPE el año 2004, el que recopila una cantidad importante de información para la cuenca del río Loa y cuenca del Salar de Atacama. El análisis busca conocer la calidad de las aguas superficiales.

Esto se complementó con el análisis de la información con la revisión de la información existente en el BNA, facilitada por la DGA para la realización de éste estudio.

Posteriormente se realiza un análisis espacial y temporal de la calidad del agua en distintas estaciones a lo largo de la cuenca.

4.3.2. Parámetros Físico-Químicos

Se realiza una selección de los parámetros físico químicos para el análisis espacial de la información.

Sobre la base de las normas NCh 1.333, recomendaciones de FAO y NCh409, se ha confeccionado el Cuadro 4.3.2-1, donde se presenta un listado de los parámetros físicos y químicos incluidos en dichas normas y los límites máximos admisibles para cada uno de ellos.

CUADRO 4.3.2-1
LÍMITES MÁXIMOS ADMISIBLES EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Parámetros	Unidad	Expresión	Límite Máximo		
			Agua Potable	Riego	Riego FAO
Aluminio	mg/L	Al		5	5
Amoníaco	mg/L	N	0,25		
Arsénico	mg/L	As	0,05	0,1	0,1
Berilio	mg/L	Be		0,1	
Boro	mg/L	B		0,75	3
Bario	mg/L	Ba		4	
Cadmio	mg/L	Cd	0,01	0,01	
Cianuro	mg/L	CN-	0,2	0,2	
Cloruros	mg/L	Cl-	250	200	15
Cobalto	mg/L	Co		0,05	
Cobre Total	mg/L	Cu	1	0,2	0,2
Compuestos Fenólicos	mg/L	Fenol	0,002		
Cromo	mg/L	Cr		0,1	
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,05		
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	CE		750	3.000
Detergentes	mg/L	SAAM	0,5		
Fluoruro	mg/L	F-	1,5	1	
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	0,3	5	5
Litio	mg/L	Li		2,5	
Magnesio	mg/L	Mg	125		
Manganeso	mg/L	Mn	0,1	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	Hg	0,001	0,001	
Molibdeno	mg/L	Mo		0,01	0,01
Níquel	mg/L	Ni		0,2	0,2
Nitrato	mg/L	NO_3^-	10		
Nitritos	mg/L	NO_2	1		
pH	Unidad	pH	6,0-8,5	5,5-9,0	7,5
Plata	mg/L	Ag		0,2	
Plomo	mg/L	Pb	0,05	5	5

CUADRO 4.3.2-1
LÍMITES MÁXIMOS ADMISIBLES EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
(Continuación)

Parámetros	Unidad	Expresión	Límite Máximo		
			Agua Potable	Riego	Riego FAO
Residuos Sólidos Filtrables	-		1000		
Selenio	mg/L	Se	0,01	0,02	
Sodio Porcentual	%	Na		35	
Sólidos Suspendidos	mg/L	SS			2.000
Sulfatos	mg/L	SO_4	250	250	20
Vanadio	mg/L	Va		0,1	
Zinc	mg/L	Zn	5	2	2

Fuente: Elaboración propia a partir de NCh 1.333 y NCh 409 y FAO, 29 Water Quality for Agriculture, 1987

De estos parámetros, se han seleccionado los siguientes para el análisis espacial: pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, Arsénico, Boro, Calcio, Cloruros, Cobre, Magnesio, Mercurio, Sulfatos, Sodio y Nitrato.

En lo que sigue se entrega una breve noción de los efectos del exceso de ciertos parámetros de calidad en la producción agrícola y o en la salud pública:

- ***Conductividad eléctrica:*** Es una medida de la concentración de sales de una solución. Los altos valores de conductividad eléctrica podrían provocar efectos en cultivos sensibles, obstrucción en los sistemas de goteo y salinización del suelo.

- ***Arsénico:*** La exposición prolongada de concentraciones de arsénico en el agua está asociada a efectos crónicos, entre ellos problemas cutáneos tales como melanosis, queratosis y cáncer de piel; cáncer de vejiga, riñón y pulmón; enfermedades de los vasos sanguíneos de las piernas y pies, y posiblemente también diabetes, hipertensión arterial, trastornos reproductivos y menoscabo del desarrollo intelectual de los niños. La intoxicación por arsénico (arsenicismo) se manifiesta de forma característica a lo largo de un periodo de cinco a 20 años. Como algunos efectos de la exposición al arsénico son irreversibles, la principal medida de salud pública consiste en prevenir la exposición humana.

- ***Boro:*** La utilización de altos niveles de Boro en riego podría provocar efectos en cultivos tolerantes como mora, durazno, cereza, uva, cebolla, ajo, camote, trigo, cebada, girasol, frutillar, alcachofa y porotos. Otros cultivos menos sensibles son pimienta roja, arveja, zanahoria, rábano, papa y pepino.

- ***Cloruro:*** Existen cultivos con mayor sensibilidad al Cloruro, por lo que se puede ver afectado el rendimiento de éstos. Entre los cultivos con mayor

sensibilidad se encuentran cítricos, frutilla, soya, cebolla, lechuga, papa y tabaco; con una sensibilidad moderada se encuentran espinaca, alfalfa, tomate, brócoli, maíz. La concentración puede afectar en mayor medida en combinación con fertilizantes con este principio activo y en condiciones de sequía.

- ***Cobre:*** Puede funcionar como bactericida y resulta tóxico para algunos peces, dependiendo de la forma y características químicas del agua. Los cultivos con mayor sensibilidad al Cobre verán afectada su productividad ante altas concentraciones.

- ***Hierro:*** El exceso en concentraciones de hierro produce problemas en el color, olor y sabor en el agua. La precipitación del hierro en los sistemas de riego podría afectar bombas, tuberías y a las plantas. No es tóxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno esencial.

- ***Manganeso:*** El Manganeso es tóxico para muchos cultivos en suelos ácidos, por lo que se debe tener especial cuidado en este tipo de suelos.

- ***Molibdeno:*** Puede ser tóxico para el ganado, en el caso que el forraje crezca en suelos con altas concentraciones de este elemento, debido a su absorción y concentración en las plantas.

- ***Mercurio:*** El mercurio puede provocar efectos en el riego sobre cultivos sensibles como zanahorias, lechugas, porotos, cebada, arroz, cereal, entre otros.

- ***Sulfatos:*** Los sulfatos podrían contribuir a la acidificación de los suelos, pero no tiene efectos tóxicos importantes. Más bien presenta una influencia sobre la salinidad del agua, repercutiendo en los valores de conductividad eléctrica al ser el anión predominante en el agua de riego. Puede afectar cultivos sensibles y los problemas de infiltración/salinidad se pueden mitigar a través de buenas prácticas agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan en combinación con Calcio, pueden producirse efectos asociados al riego por aspersión, debido a la formación de depósitos e incrustaciones en los sistemas de riego.

4.3.3. Parámetros Microbiológicos

Los Coliformes Totales y Fecales son los principales parámetros microbiológicos de utilidad para caracterizar el grado de contaminación de las aguas debido a residuos domésticos e industriales orgánicos (principalmente aguas servidas no tratadas) que son directamente perjudiciales para la salud de la población.

Las coliformes fecales para aguas de riego no deben sobrepasar de los 1000 NMP/100 mL, de acuerdo con la norma de riego.

Por otra parte, no se acepta la presencia de coliformes fecales en las aguas destinadas a consumo humano.

4.3.4. Cuenca Río Loa

4.3.4.1. Generalidades

La cuenca del río Loa es la única cuenca exorreica que logra llevar recursos hídricos desde la cordillera andina hasta el Océano Pacífico. Tiene un cauce de 440 km de longitud y atraviesa del Desierto de Atacama. Su hoya hidrográfica comprende una superficie de 33.570 km^2, pero es activa en solo un 20%, en el sentido de captar recursos hídricos de precipitaciones en la cordillera.

El río Salado tiene sus orígenes en más de 30 vertientes frías y termales surgentes, en una gran hoyada que se extiende a los pies de la cadena del volcán Tatio, a unos 4.200 m.s.n.m. Después de un breve recorrido S-N, toma dirección al W, labrando también un profundo cañón de 100 m o más de altura en las tobas soldadas e ignimbritas riolíticas. En su curso medio recibe desde el norte el río Toconce reunido con el Hojalar; más abajo recibe por su orilla izquierda al río Caspana. En los afluentes del norte es donde se encuentra la principal toma de agua dulce con fines domésticos para Antofagasta, Tocopilla y las oficinas salitreras.

Ligadas al curso medio del río Salado se encuentran extensas vegas que constituyen lugares de pastoreo para el ganado de los habitantes de Toconce, Caspana y Ayquina; las más famosas de ellas son las vegas de Turi y de Ayquina. Desde su nacimiento en los géisers del Tatio hasta su desembocadura en el río Loa, 3 km aguas abajo de Chiu Chiu, el Salado tiene un desarrollo de 80 km. y su hoya hidrográfica comprende 2.210 km^2. El otro afluente de importancia es el río San Salvador, que viene a afluir en el curso medio del Loa. Nace de la reunión de varias quebradas secas con cabeceras en las proximidades de salares de la pampa. Después de un desarrollo de aproximadamente 25 km, al cauce así formado se le reúne por su ribera izquierda la quebrada Opache, en cuya pared surgen dos poderosas vertientes asociadas a una formación de calizas antiguas y muy compactas. El lugar se conoce con el nombre de Ojos de Opache y se considera el verdadero nacimiento del río. Su recorrido, hasta su junta al Loa en Chacance, es de 56 km. y el caudal aportan las vertientes de Opache es de alrededor de 600 L/s. Su cuenca cubre 619 km^2.

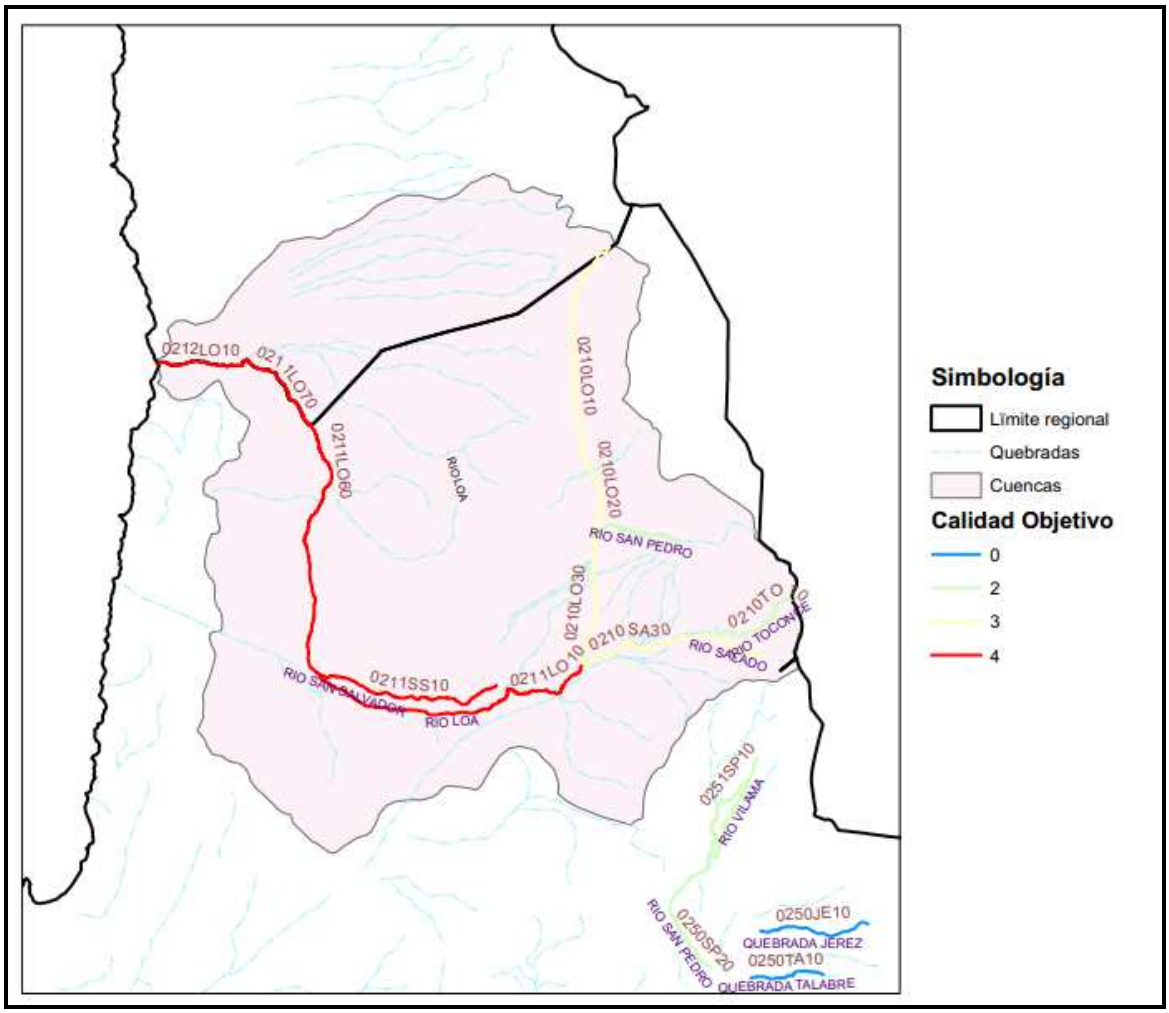
Los cauces incluidos en el estudio son: río Loa, río Salado, río San Pedro, río Toconce y río San Salvador, los que se presentan en la Figura 4.3.4.1-1, con los respectivos segmentos establecidos en el estudio.

Desde el punto de vista político-administrativo, la cuenca del río Loa forma parte de las Regiones I y II, constituyendo el límite occidental entre ambas. La cuenca abarca parte de las provincias de Iquique, Tocopilla y El Loa y las comunas de Iquique, Pozo Almonte, Pica, Tocopilla, María Elena, Calama y Ollagüe. Las localidades pobladas de mayor importancia en la cuenca, según el número de habitantes se presentan en el Cuadro 4.3.4-1.

La actividad económica más importante en la cuenca, deriva de las explotaciones cupríferas de Chuquicamata, El Abra y Radomiro Tomic, lo que le confiere

un carácter eminentemente minero a la cuenca y especial vitalidad a la ciudad de Calama. También es importante la minería no metálica, con la presencia de SOQUIMICH S.A. Destaca también la actividad agrícola, con presencia de algunos cultivos en oasis de altura, tales como los de Chiu Chiu, Lasana, Calama y Quillagua, donde existen pequeñas huertas dedicadas al cultivo de frutas y hortalizas, así como la presencia de praderas artificiales.

FIGURA 4.3.4.1-1
CAUCES Y CÓDIGOS SEGMENTOS CUENCA RÍO LOA



Fuente: Elaboración propia a partir información CADE-IDEPE (2004)

La cuenca del Salar de Atacama posee solo un Área bajo Protección Oficial perteneciente al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), correspondiente a la Reserva Nacional Los Flamencos. Este sitio posee una superficie de 20.806 ha equivalentes al 1,3% de la superficie total de la cuenca. La

actividad pecuaria se ve centrada en la crianza de ganado ovino, caprino, bovino y porcino.

CUADRO 4.3.4.1-1
ANTECEDENTES DE POBLACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO LOA

Nombre Asentamiento	Población Total (2002)	Población Urbana (2002)	Cauce Asociado a la Localidad
Calama	138.402	136.600	Río Loa
Chuquicamata*	17.097	ND	San Salvador
María Elena	7.530	7.412	Río Loa
Pedro de Valdivia*	7.769	ND	Río Loa

*Los datos de población dada por el Censo 2002 corresponden a datos de nivel comunal y no de ciudad reportados en el estudio base

Fuente: INE

En el río Loa en sus segmentos 210-LO-10, 210-LO-20, 211-LO-10, y el río Toconce en el segmento 210-TO-10, el agua se utiliza para la captación de agua potable. El agua se utiliza para riego en los segmentos 210-LO-30, 211-LO-10, 211-LO-20, 211-LO-30, 211-LO-60, 210-TO-10 y 210-SA-20. El agua se utiliza para la generación de hidroelectricidad en el segmento 211-SS-10. El agua se utiliza para la actividad minera en los segmentos 211-LO-40 y 211-LO-50. Su uso para biodiversidad se desarrolla en los sitios SNASPE, sitios priorizados, etc., en los segmentos 211-LO-60, 211-LO-70 y 212-LO-10. Los usos ancestrales se realizan en los segmentos 210-LO-10, 210-TO-12 y 210-SP-10.

En el Anexo 4-1 se presentan los factores incidentes en la calidad del agua en la cuenca del río Loa. El análisis de los factores incidentes que afectan la calidad del agua se realiza mediante una tabla de doble entrada en la cual se identifica en la primera columna el segmento en estudio, mediante la estación de calidad asociada a éste. La segunda identifica los factores tanto naturales como antropogénicos que explican los valores de los parámetros contaminantes. La tercera identifica aquellos parámetros seleccionados que sobrepasan la clase de excepción del Instructivo asociados al segmento correspondiente y de los cuales se dispone de información ya sea proveniente de la red de monitoreo de la DGA y/o de muestreos puntuales realizados por otra entidad. La última columna fundamenta y particulariza los factores incidentes.

En el Anexo 4-1 también se identifican clases según instructivo que corresponden a la calidad objetivo establecida para la elaboración de la norma secundaria. Los valores a considerar tienen por objetivo general proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales.

Por último, en el Anexo 4-1 se presenta la segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la Cuenca del río Loa.

De esta manera, las normas de calidad secundarias asociadas a los usos prioritarios deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

a) **Excepcional:** Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.

Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.

b) **Clase 1:** Muy buena calidad. Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.

c) **Clase 2:** Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.

d) **Clase 3:** Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

e) Las clases de calidad comprendidas entre la Clase Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.

4.3.4.2. Análisis de la Información

El análisis de la calidad del agua se realiza efectuando un recorrido desde aguas arriba hacia aguas abajo del río Loa, analizando los parámetros seleccionados, utilizando diagramas que facilitan la visualización de la calidad de las aguas. Las estaciones que formaron parte del análisis se presentan en el Cuadro 4.3.4.1-1, además se presentan los parámetros analizados y los valores promedio para cada parámetro (cálculo de la media aritmética entre los valores resultantes de los análisis físico-químicos existentes en las bases de datos facilitadas por la DGA). Los valores puntuales se pueden encontrar en el Anexo 4-2.

CUADRO 4.3.4.2-1
VALORES PROMEDIO, MÍNIMOS, MÁXIMOS Y DESVIACIÓN ESTANDAR
PARÁMETROS EN ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS CUENCA DEL RÍO LOA

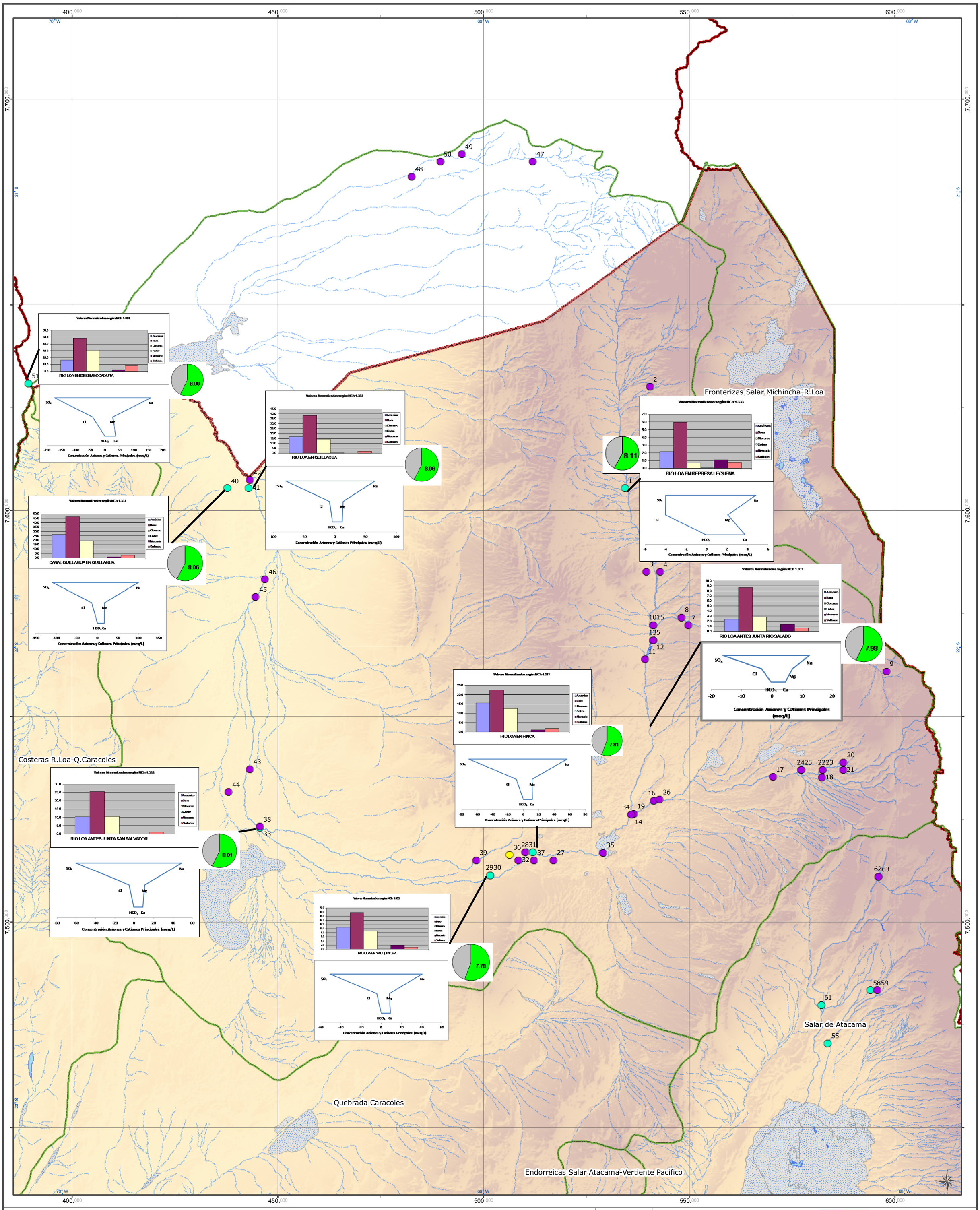
Parámetro		pH				CE				OD				Arsénico				Boro			
Estación	Distancia (km)	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
Río Loa en Represa Lequena	0	8,11	6,85	9,50	0,419	1.102	405	2.200	165	8,00	1,72	13,83	2,20	0,219	0,000	0,450	0,102	4,46	1,30	10,70	1,34
Río Loa antes junta Río Salado	83	7,99	6,80	8,53	0,364	2.458	1.590	5.741	638	7,10	1,07	12,03	1,71	0,242	0,000	1,056	0,185	6,52	0,50	19,00	3,29
Río Loa en Yalquincha	115	7,78	6,30	8,46	0,329	6.187	3.399	9.460	857	7,45	0,68	7,45	2,33	1,040	0,001	2,200	0,328	13,26	4,00	26,00	4,60
Río Loa en Finca	125	7,81	6,80	9,64	1,06	8.286	3585	12.500	1.370	8,00	1,18	15,91	1,91	1,552	0,001	2,900	0,511	16,90	4,10	30,00	5,26
Río Loa antes junta San Salvador	180	8,01	7,10	8,48	0,244	6.613	4.510	8.540	836	-	-	-	-	1,030	0,000	2,240	0,493	19,15	1,00	61,00	12,49
Río Loa en Quillagua	274	8,06	6,80	9,05	0,301	8.943	5.130	27.100	3.098	8,52	4,40	17,88	2,81	-	-	-	-	28,90	8,80	100,00	13,09
Canal Quillagua en Quillagua	274	7,76	7,35	8,35	0,265	11.173	1.264	16.970	4.630	7,81	0,70	9,73	2,13	2,653	0,041	7,790	2,122	35,14	25,00	49,00	9,15
Río Loa en Desembocadura	339	8,00	7,10	9,42	0,37	19.239	2.150	38.100	5.754	7,94	0,42	13,77	2,20	1,664	0,001	4,161	0,697	36,40	4,00	64,00	12,40

Parámetro		Carbonato				Calcio				Cloruro				Cobre				Magnesio			
Estación	Distancia (km)	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
Río Loa en Represa Lequena	0	4,1	0,0	49,06	8,62	74,9	29,3	128,0	11,46	140,5	42,2	281,1	27,0	0,02	0,00	0,07	0,01	24,9	5,0	59,6	6,0
Río Loa antes junta Río Salado	83	18,2	0,0	74,4	16,8	90,0	31,2	218.4	33,2	564,9	354,5	2.223,4	206,4	0,02	0,00	0,22	0,04	81,7	1,0	154,6	29,2
Río Loa en Yalquincha	115	0,7	0,0	31,8	4,56	178,7	20,6	301,7	52,9	1778,6	133,2	2.207,5	310,0	0,02	0,00	0,08	0,02	95,8	7,4	128,5	15,8
Río Loa en Finca	125	4,5	0,0	87,0	13,8	228,0	102,8	353,9	48,9	2481,0	1.092,0	3.155,1	433,2	0,03	0,00	0,37	0,05	137,5	87,0	203,9	24,9
Río Loa antes junta San Salvador	180	26,4	45,8	439,3	76,55	178,9	87,8	247,3	22,4	2117,9	1.542,1	2.669,7	221,6	-	-	-	-	128,9	84,9	283,1	25,3
Río Loa en Quillagua	274	27,6	0,0	76,5	22,0	-	-	-	-	2806,3	1.347,1	8.917,4	988,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Canal Quillagua en Quillagua	274	3,3	0,0	42,7	11,8	325,4	76,9	418,5	89,7	3833,5	238,6	5.713,1	1.356,3	0,02	0,01	0,06	0,02	204,4	23,9	302,0	90,8
Río Loa en Desembocadura	339	6,6	0,0	86,7	18,1	729,0	371,0	1.361,0	211,2	6109,6	2.802,9	10.754,8	1.378,6	0,21	0,01	9,00	1,28	320,8	0,01	602,8	85,7

CUADRO 4.3.4.2-1
VALORES PROMEDIO, MÍNIMOS, MÁXIMOS Y DESVIACIÓN ESTANDAR
PARÁMETROS EN ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS CUENCA DEL RÍO LOA
(Continuación)

Parámetro		Mercurio				Nitrato				Sodio				Sulfatos			
Estación	Distancia (km)	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
Río Loa en Represa Lequena	0	0,001	0,001	0,003	0,000	0,335	0,010	9,098	1,417	110,4	32,1	147,9	17,1	193,0	60,5	355,4	56,8
Río Loa antes junta Río Salado	83	0,001	0,000	0,010	0,002	0,353	0,010	0,920	0,217	286,0	1,0	644,0	88,0	161,4	39,9	327,5	66,0
Río Loa en Yalquincha	115	0,002	0,001	0,040	0,005	0,186	0,010	3,237	0,447	931,5	109,4	1.278,8	176,1	222,4	66,3	516,0	75,3
Río Loa en Finca	125	0,001	0,000	0,004	0,000	0,563	0,045	9,915	1,308	1300,2	154,1	2.773,2	326,4	456,4	210,0	4.417,4	496,5
Río Loa antes junta San Salvador	180	-	-	-	-	0,047	0,047	0,047	-	1130,5	655,2	1.655,1	190,4	259,4	70,1	720,5	93,4
Río Loa en Quillagua	274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Canal Quillagua en Quillagua	274	0,001	0,001	0,004	0,000	0,172	0,041	0,786	0,183	2281,5	151,0	4.636,2	1.040,9	692,7	58,5	1.124,0	322,2
Río Loa en desembocadura	339	0,002	0,000	0,035	0,005	1,327	0,010	37,839	5,796	3632,9	186,1	8.792,2	1.412,6	2099,1	687,5	5.446,3	921,3

Fuente: Elaboración propia



Leyenda

Red de Medición de Pozos

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02010001-K	SALAR CARCOTE
2	02010002-8	SALAR CARCOTE
3	02020003-0	SALAR ASCOTAN
4	02020004-9	SALAR ASCOTAN
5	02020005-7	SALAR ASCOTAN
6	02020006-5	SALAR ASCOTAN
7	02020007-3	SALAR ASCOTAN
8	02020008-1	SALAR ASCOTAN
9	02020009-K	SALAR ASCOTAN
10	02020010-3	SALAR ASCOTAN
11	02020011-1	SALAR ASCOTAN
12	02020012-K	SALAR ASCOTAN
13	02020013-8	SALAR ASCOTAN
14	02020014-6	SALAR ASCOTAN
15	02020015-4	SALAR ASCOTAN
16	02020016-2	SALAR ASCOTAN
17	02020017-0	SALAR ASCOTAN
18	02105023-7	CHIU-CHIU
19	02105024-5	CUPO 1
20	02105025-3	TURI 2
21	02105026-1	TURI 4
22	02105027-K	TURI 5 I
23	02105028-8	TURI 7
24	02105029-6	TURI 9
25	02105030-K	TURI 1 I
26	02105032-6	TURI -10

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
27	02110015-3	ISLA GRANDE 1
28	02110016-1	ISLA GRANDE 2
29	02110017-K	AEROPUERTO
30	02110018-8	MOCTEZUMA
31	02110019-6	ISLA GRANDE 3
32	02500022-6	ALANA N°1
33	02500023-4	SOCAIRE N°5
34	02500024-2	MULLAY N°1
35	02942002-5	PIQUE AV-1
36	02942003-3	PIQUE AV- 15
37	02942004-1	PIQUE AV - 16
38	02942005-K	PIQUE AV - 17
40	02942007-6	PIQUE AV - 39
41	02942008-4	PIQUE AV - 42
42	02942009-2	PIQUE AV - 43
43	02942010-6	PIQUE AV - 45
44	02942011-4	ESSAN AV - 48
45	02942012-2	PIQUE AV - 49
46	02942013-0	PIQUE AV -
47	02942014-9	PIQUE AV - NVO.A
49	02942016-5	POZO 4 ESSAN
50	02942017-3	ESSAN S-843-A
51	02942018-1	ESSAN S - 844
52	02942019-K	ESSAN S - 846 - A
53	02942020-3	ESSAN S - 864
55	02942022-K	PIQUE MINAS CLEMENTINA N (2)
56	02942023-8	ESSAN AV - 48

SIMBOLOGÍA

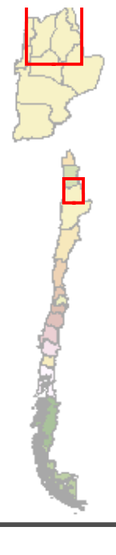
- Límite Regional
- Otras
- Seleccionada
- Seleccionada para Agua Potable
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares

Modelo de Elevación Digital

Value

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA SELECCIONADA PARA LA CUENCA DEL RÍO LOA

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Temática:
DGA. 2012,
ARRAU INGENIERÍA. 2012.

ESCALA
1:600.000
10 5 0 10 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA: 4.3.4.2-1

En la Figura 4.3.4.2-1 se presentan las estaciones analizadas, y adyacentes a ellas los diagramas correspondientes.

En primer lugar se presenta el pH, en una figura circular, sombreando los valores como en un reloj, pero con valores del 0 al 14.

Se acompaña de un diagrama de Stiff modificado, que consiste en diagramar los cationes en el lado izquierdo del eje y los aniones del lado derecho. Los extremos de los trazos representan los valores de las concentraciones de los 6 iones, formando un polígono, que busca representar el equilibro entre los cationes y los aniones.

Los elementos arsénico, boro, cloruros, cobre, mercurio y sulfatos son representados en un gráfico de barras con los valores promedio de las estaciones respectivas, normalizados a la norma de riego NCh 1.333, por lo que el valor indicado representa la cantidad de veces que el parámetro supera la norma.

Todos estos gráficos se encuentran en el Anexo 4-2, separado por estación, junto con los datos base usados.

Como se puede ver en la Figura 4.3.4.1-1, la calidad inicial del río Loa no es buena, es clasificada en clase 3 hasta aproximadamente la altura de la ciudad de Calama, donde la calidad hasta la desembocadura en el mar es de clase 4.

En la Figura 4.3.4.2-1 se aprecia la evolución de los distintos parámetros, los que son explicados a continuación.

Los promedios de los parámetros que superan la NCh 1.333 en todas las estaciones son Arsénico, Boro, Cloruros y el Cobre, Mercurio y Sulfatos en menor medida. Esto será analizado para cada parámetro en párrafos posteriores.

De los diagrama de Stiff se observa que el agua pasa de estar en un equilibrio con un leve predominio de sulfatos cálcicos, a tener una gran predominancia de estas sales, predominancia que va aumentando hacia aguas abajo. Esto concuerda con los altos valores de CE.

El análisis por parámetro se realiza a través de gráficos que reflejan la evolución desde la estación Río Loa en Represa Lequena, indicando la distancia de cada una de las estaciones a la estación citada, complementando la información de la figura 4.3.4.2-1. La distancia de las estaciones a la estación de referencia se muestra en el Cuadro 4.3.4.2-2.

Los valores de pH no tienen grandes variaciones a lo largo de la cuenca, en general son levemente alcalinos y no hay un patrón de aumento o disminución a lo largo del cauce, esto también se aprecia en las Figuras 4.3.4.2-2 y 4.3.4.2-3. En el anexo 4-2 se aprecian valores puntuales que han superado la norma para riego y para vida acuática (pH 9,0 en ambos casos), en las estaciones ubicadas en la Represa Lequena, en La Finca, en Quillagua y en la Desembocadura. No se puede concluir respecto de los eventos en

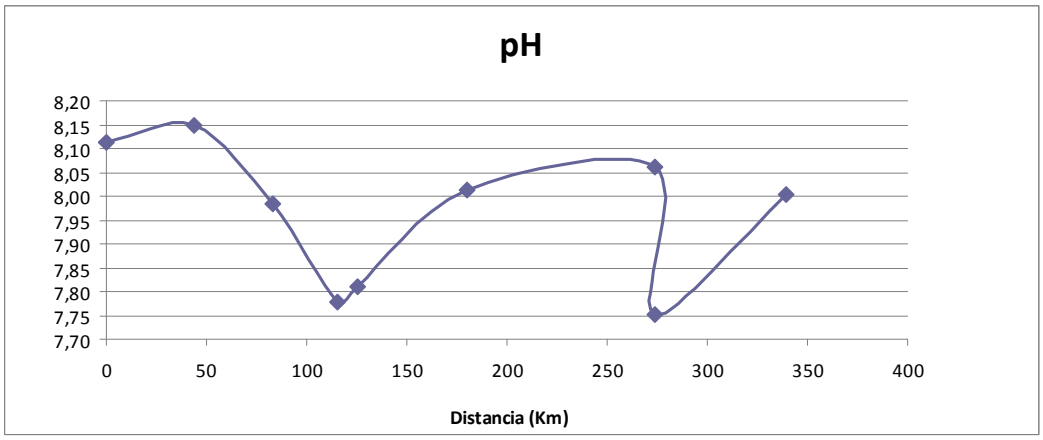
que se han obtenido las mediciones que exceden la NCh 1.333, ya que las mediciones son puntuales y temporalmente no son coincidentes entre estaciones.

CUADRO 4.3.4.2-2
DISTANCIA DE CADA ESTACIÓN A LA ESTACIÓN INICIAL

Estación	Distancia (km)
Río Loa en Represa Lequena	0
Río Loa Antes Junta Río Salado	83
Río Loa en Yalquincha	115
Río Loa en Finca	125
Río Loa Antes Junta San Salvador	180
Río Loa en Quillagua	274
Canal Quillagua en Quillagua	274
Río Loa en Desembocadura	339

Fuente: Elaboración propia en base a información BNA

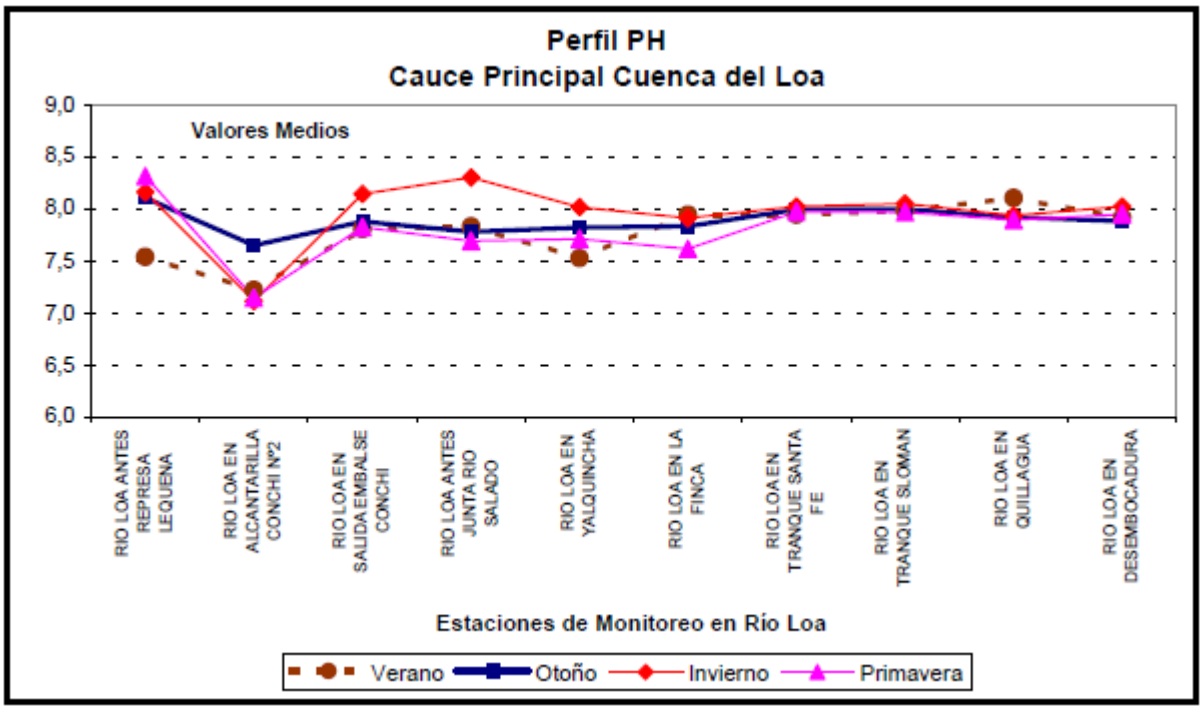
FIGURA 4.3.4.2-2
RELACIÓN DISTANCIA–CALIDAD
PARÁMETRO PH



Fuente: Elaboración propia

El contenido salino es reflejado en los valores de Conductividad eléctrica, la que se incrementa desde la estación Loa en represa Lequena hasta la desembocadura (Figuras 4.3.4.2-4 y 4.3.4.2-5). El valor promedio de todas las estaciones sobrepasa las recomendaciones de la NCh 1.333, en el sector de Yalquincha el agua puede ser utilizada solo en cultivos tolerantes, en el sector de Quillagua ya no es recomendable el riego por la reducción de los rendimientos. De hecho, el 99% de los datos de todas las estaciones, sobrepasan los valores recomendados para riego sin restricción.

FIGURA 4.3.4.2-3
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO PH



Fuente: DGA, 2004

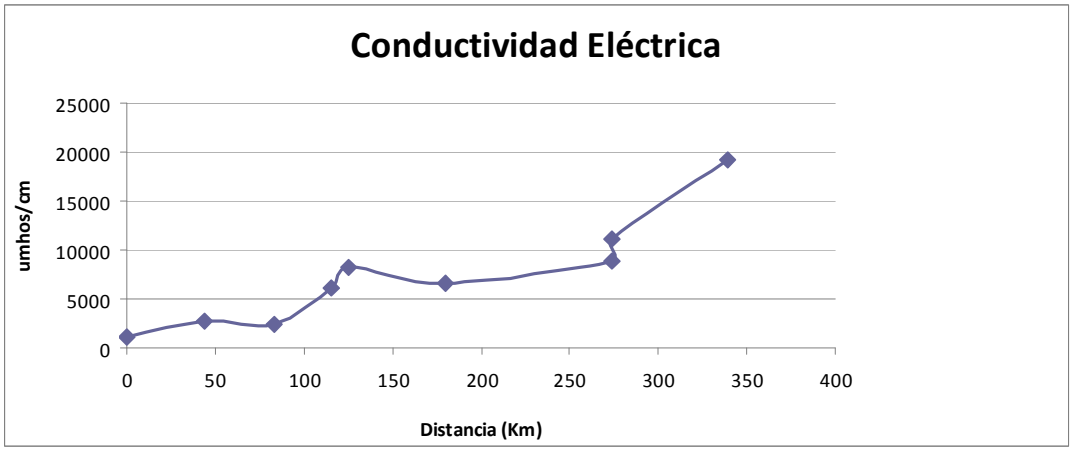
Esto se debe principalmente a factores naturales como la disolución y lixiviación de una gran cantidad de sales minerales y metales presentes en el suelo, además de la alta radiación que favorece la evaporación del agua y la que en la zona geomorfológica de altiplano y montaña el agua tiende a cambiar a fase vapor, lo que origina una mayor concentración en los parámetros de calidad (no solo en CE).

El río salado adiciona un gran contenido de iones al Loa, teniendo origen en las recargas de aguas geotermales y su paso por la cercanía de salares y la litología propia del lugar. A su vez el río Loa atraviesa en toda su extensión el Salar de Rudolph, además se ve influenciado por la formación geológica en el sector de Calama, constituida por un gran depósito de rocas carbonatadas. En la zona geomorfológica de desierto, se encuentran capas de sales minerales conocidas como caliches, las cuales son fuentes permanentes de aporte de iones a las aguas del Loa (DGA, 2004). Al estar en Clase 4, permite su uso en riego, pero con restricciones, según lo recomendado en la NCh 1.333 de calidad de agua para el riego, que sugiere que el agua puede ser utilizada en plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.

El arsénico se encuentra en Clase 4 en toda la cuenca, siendo el origen de este parámetro la gran cantidad de sales y metales presentes en la litología de la cuenca, en especial la franja metalogénica F-8 presente en la zona es rica en arsénico, lo cual se manifiesta como un contaminante de importancia en la minería del cobre de la región

(DGA, 2004). En la figura 4.3.4.2-1 se observa que los niveles de Arsénico de la NCh 1.333 se superan por los valores promedio de todas las estaciones analizadas, cosa que va aumentando en la medida que se avanza hacia aguas abajo, superándose la norma más de 25 veces en al la estación canal Quillagua en Quillagua, como se aprecia en las Figuras 4.3.4.2-6 y 4.3.4.2-7. El valor de la norma es de 0,100 mg/L.

FIGURA 4.3.4.2-4
RELACIÓN DISTANCIA – CALIDAD
PARÁMETRO CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



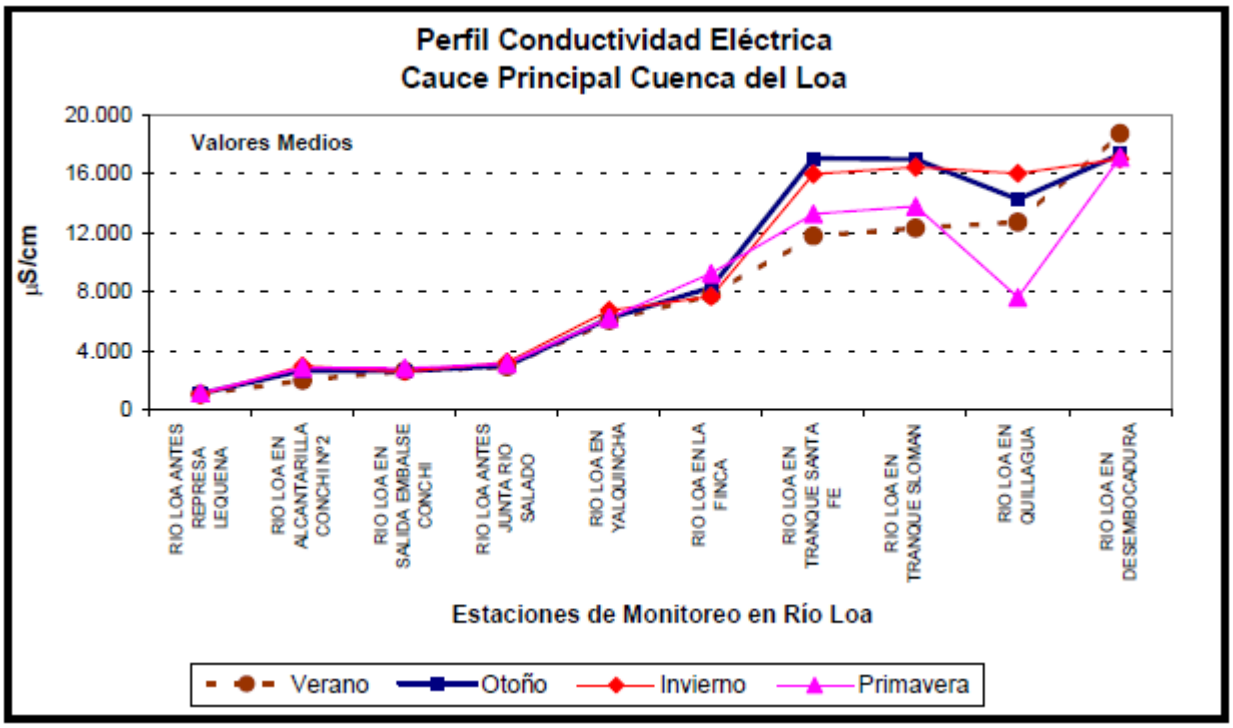
Fuente: Elaboración propia

Este parámetro tiene gran repercusión en la salud pública, debido a que la ingestión de arsénico inorgánico durante largos periodos puede provocar intoxicación crónica (arsenicosis). Román, D (2000)[1], en base a datos del Servicio de Salud de Antofagasta, señala que la Segunda Región se caracteriza porque "el cáncer bronco-pulmonar presenta la más alta incidencia del país, llegando a triplicar el promedio nacional. En la ciudad de Antofagasta fue la primera causa de defunción en 1994, y en la Región la segunda causa después del infarto al miocardio. El cáncer vesical en la Región presenta una incidencia cuatro veces mayor que el promedio nacional y junto al cáncer renal contribuyen a que la II Región tenga una de las incidencias de cáncer más altas del país. Los tumores constituyen la primera causa de consulta en el policlínico de especialidades del Hospital Regional de Antofagasta". Además, cita a Smith *et. al.* en el sentido que en "un reciente estudio se ha encontrado que el impacto de As sobre la mortalidad en la II Región es la más grande que a la fecha se haya informado por exposición a un carcinógeno en cualquier otra parte". Además, señala que "es importante dejar en claro que el problema del impacto del As es sólo el más conocido y está ampliamente acreditado en la literatura. Sin embargo, varios otros metales pesados

[1] Román, D. 2000. La cuenca del Loa un ecosistema en riesgo y su propagación. En: SAG, 2005. Análisis General del Impacto Económico de Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Loa en el Sector Silvoagropecuario.

pueden estar impactando la calidad de vida de mineros y habitantes de la cuenca del Loa".

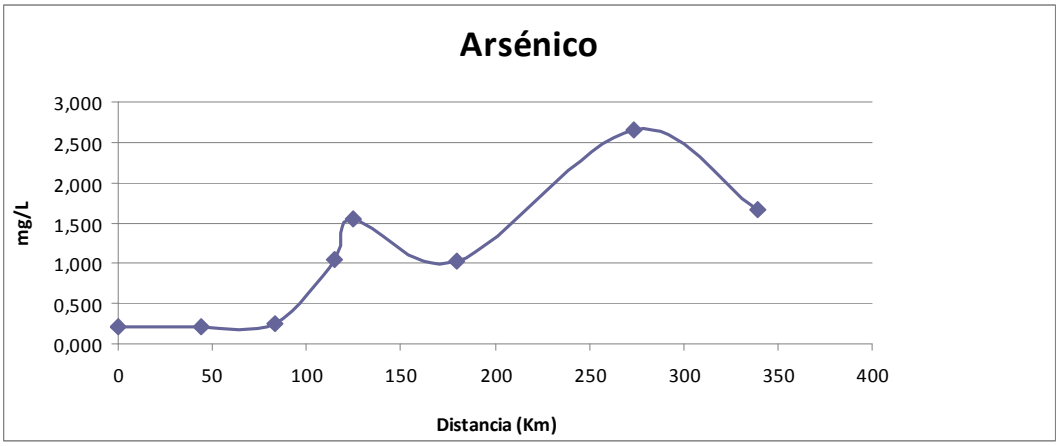
FIGURA 4.3.4.2-5
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Fuente: DGA, 2004

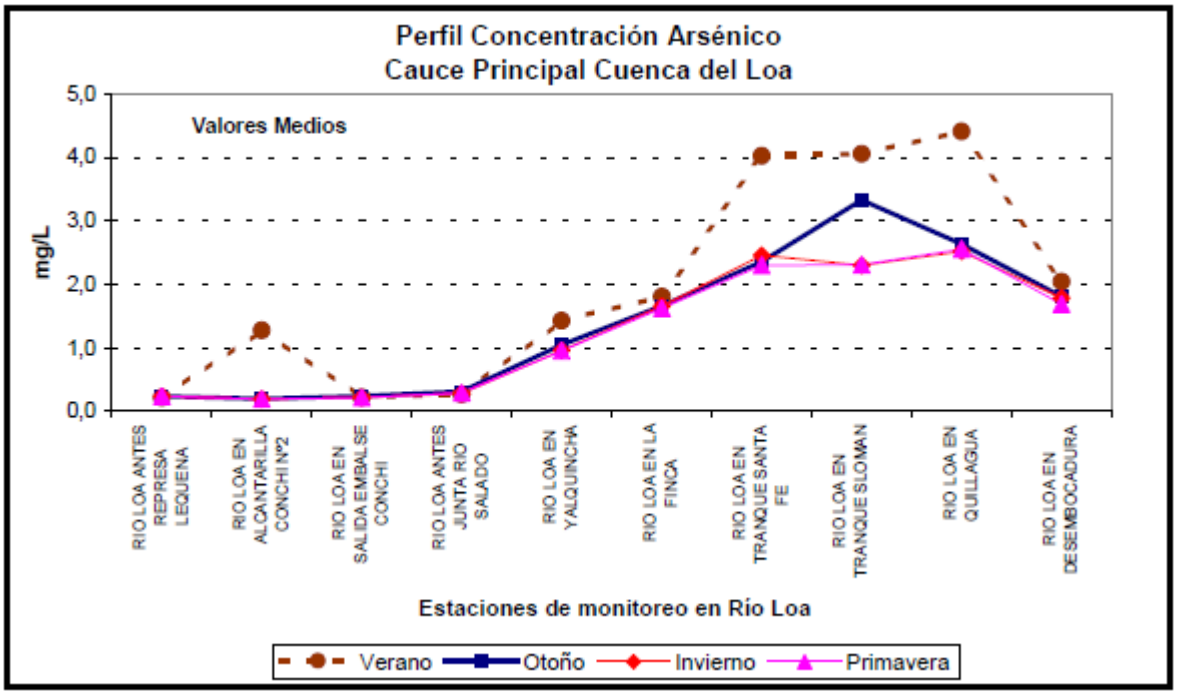
El valor establecido para el Boro en la NCh 1.333 es de 0,75 mg/L, el cual es superado por el 100% de los datos para todas las estaciones analizadas, y en las estaciones del Canal Quillagua y de la desembocadura el superado el valor promedio por cerca de 50 veces. Estos valores aumentan en la medida que se avanza a lo largo del río Loa, como se aprecia en las Figuras 4.3.4.2-8 y 4.3.4.2-9.

FIGURA 4.3.4.2-6
RELACIÓN DISTANCIA–CALIDAD
PARÁMETRO ARSÉNICO



Fuente: Elaboración propia

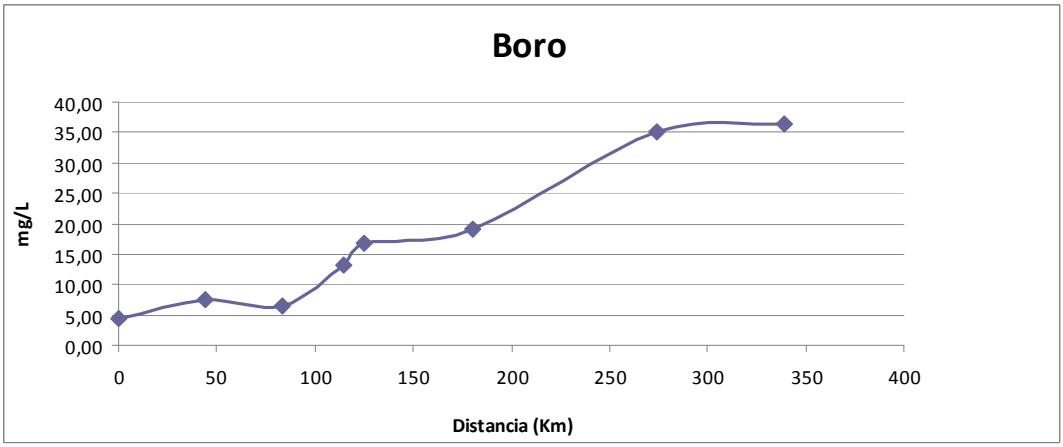
FIGURA 4.3.4.2-7
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO ARSÉNICO



Fuente: DGA, 2004

El Boro se encuentra en Clase 4 para toda la cuenca y se debe a factores naturales y antropogénicos. Los factores naturales son principalmente los depósitos de bórax y ácido bórico existente en los salares y en rocas de origen sedimentarias ubicadas en la zona geomorfológica de desierto. El aporte antrópico de boro al río Loa queda dado principalmente por los drenajes difusos de materiales de acopio de estériles de yacimientos de bórax en los alrededores del río Salado. La mala calidad del agua respecto de este parámetro junto con la alta evapotranspiración de la zona, puede provocar efectos en los cultivos sensibles tales como crecimiento lento de la planta, malformación de la hoja, colores café y amarillento en hojas, marchitez, entre otros.

FIGURA 4.3.4.2-8
RELACIÓN DISTANCIA–CALIDAD
PARÁMETRO BORO



Fuente: Elaboración propia

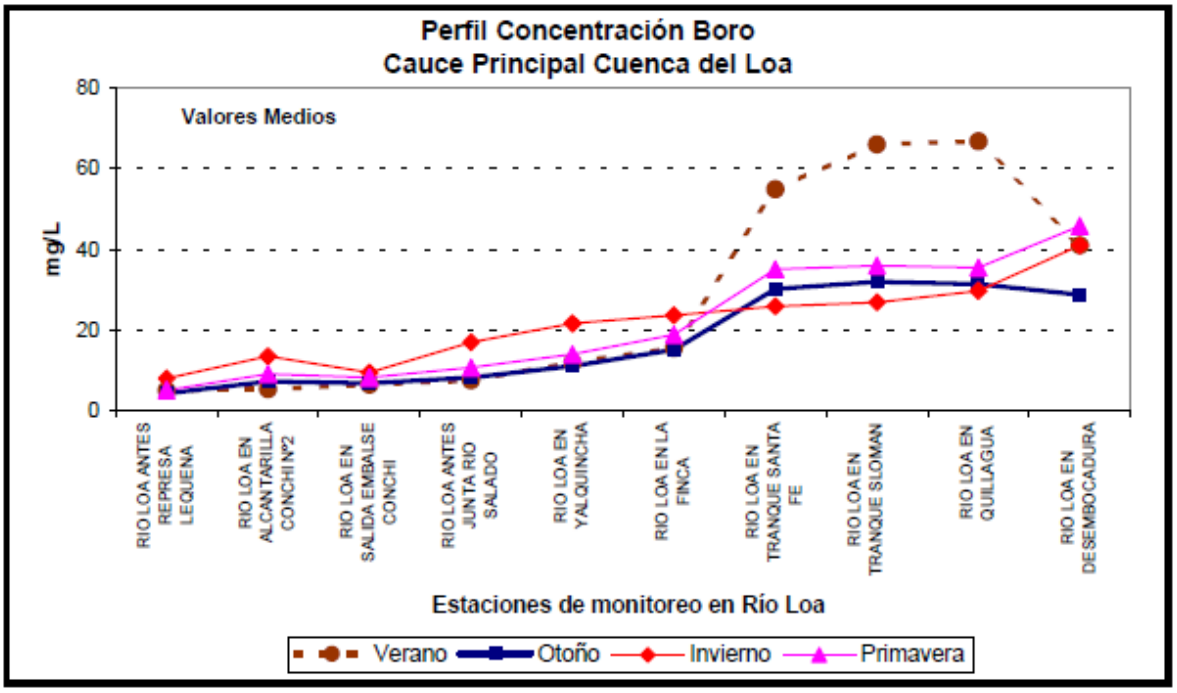
En la Figura 4.3.4.2-10 se aprecia que los niveles de cloruro aumentan aguas abajo, sobrepasando el valor de 200 mg/L establecido en la NCh 1.333 en todas las estaciones, con excepción de río Loa en represa Lequena. Los niveles de cloruro se encuentran en Clase 4 en toda la extensión del río Loa, con excepción del primer segmento (Clase 2), en el río San Pedro, en el río Salado y en el río San Salvador. Los efectos sobre la agricultura se podrían ver acrecentados en combinación con fertilizantes con este principio activo y en condiciones de sequía, viéndose afectados cultivos de mayor sensibilidad como cítricos, cebolla, alfalfa, maíz, entre otros.

El Cobre se encuentra en Clase 2 para la mayor parte de la cuenca del río Loa y del río Salado, sin embargo en el río San Salvador se encuentra en Clase 4. La sección de la cuenca del Loa cercana a la longitud 69º W, se caracteriza por tener los depósitos minerales de cobre más grandes del país, los que se encuentran insertos en formaciones geológicas volcánicas de los períodos Cretácico y Terciario, que originaron en su formación inmediata y posterior una concentración importante de minerales de cobre y molibdeno en forma de depósitos porfíricos. La presencia de cobre es atribuible esencialmente a la existencia de la franja metalogénica, la cual por procesos de lixiviación de los filones mineralizados y minerales de pirita oxidada adicionan cobre a

todos los cauces de la cuenca. En el sector medio de la cuenca (latitud 69º) se encuentran gran cantidad de minas de cobre (El Abra, Radomiro Tomic y Chuquicamata) junto con relaves, plantas de beneficio de minerales y depósitos de estériles que aumentan la cantidad de cobre en solución al río (DGA, 2004). Puede afectar la vida acuática, debido a su efecto bactericida, además de cultivos sensibles en la agricultura. En las Figuras 4.3.4.2-12 y 4.3.4.2-13 se aprecia una tendencia creciente de los valores en la desembocadura. En el río Loa, el cobre no sobrepasa mayormente el valor de 0,20 de la NCh 1.333.

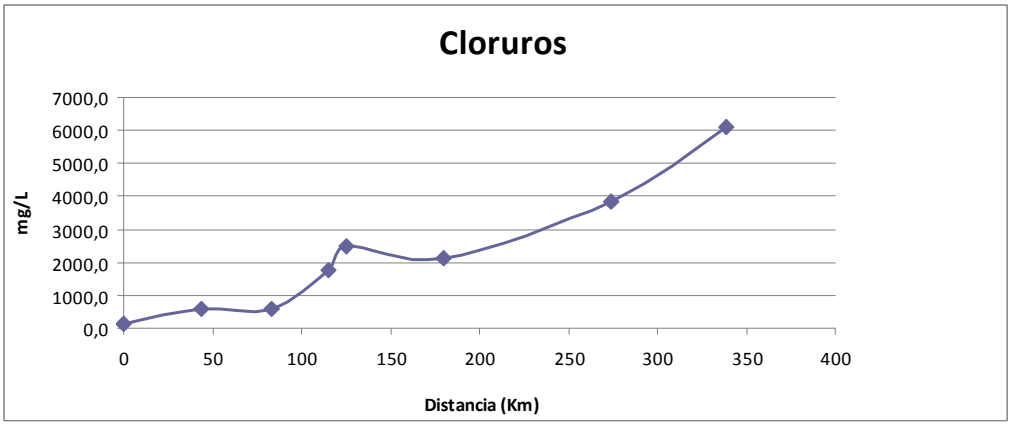
El mercurio no se encuentra analizado en detalle en el estudio DGA (2004), a pesar que se encuentra en clase 4 y 3 para gran parte de la cuenca. Los valores de la norma de riego son superados en todas las estaciones, pero el valor máximo supera por cientos de veces el valor de la norma (0,001 mg/L). Como se aprecia en la Figura 4.3.4.2-14 los valores promedio más altos se ubican en las estaciones Río Loa en Yalquincha y en la desembocadura. Los altos valores pueden atribuirse tanto a factores naturales como antropogénicos, sin embargo el valor máximo que se presenta en todas las estaciones con datos, asociado a las crecidas ocurridas el año 2000, refleja un fuerte fenómeno de contaminación del río.

FIGURA 4.3.4.2-9
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO BORO



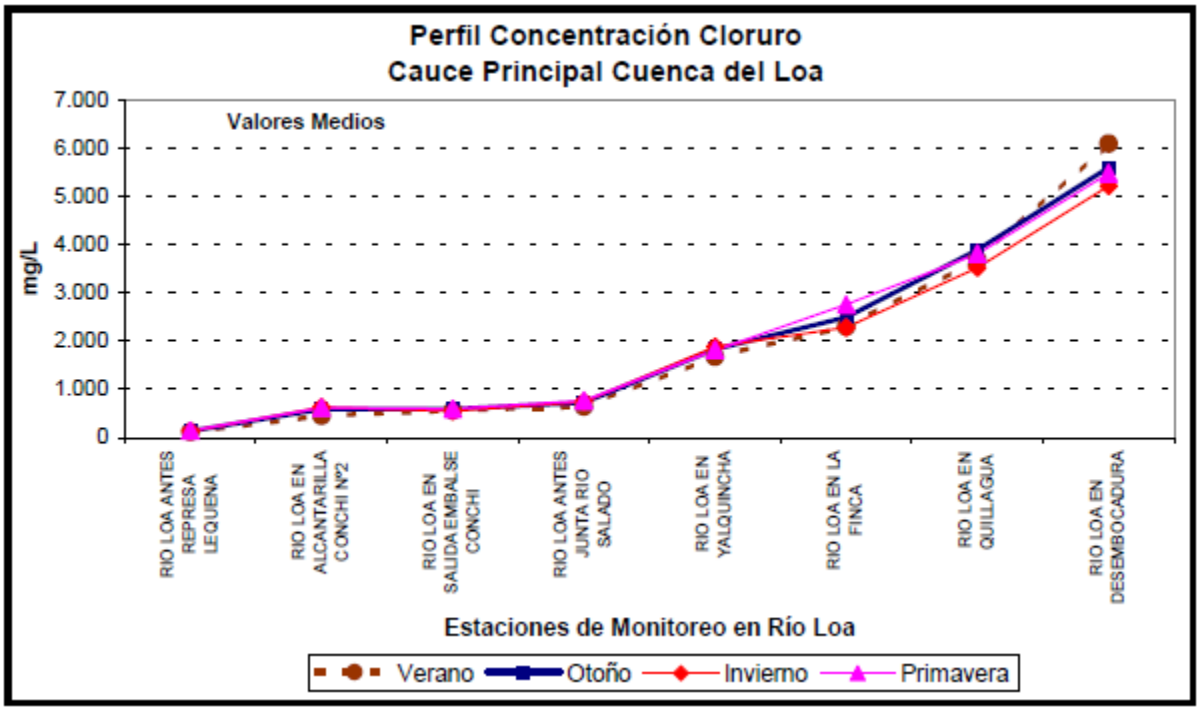
Fuente: DGA, 2004

FIGURA 4.3.4.2-10
RELACIÓN DISTANCIA – CALIDAD
PARÁMETRO CLORURO



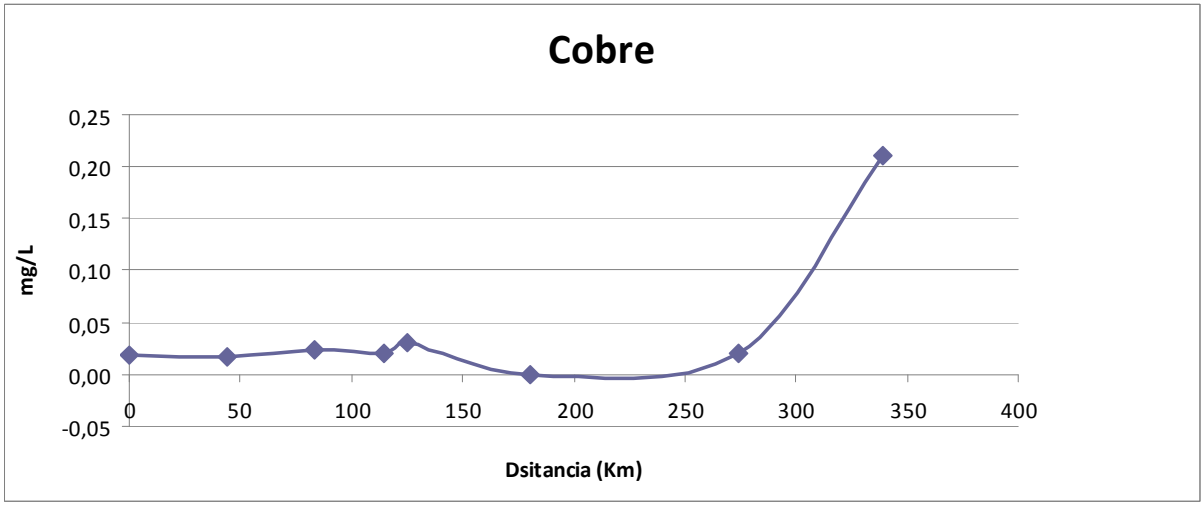
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.3.4.2-11
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO CLORURO



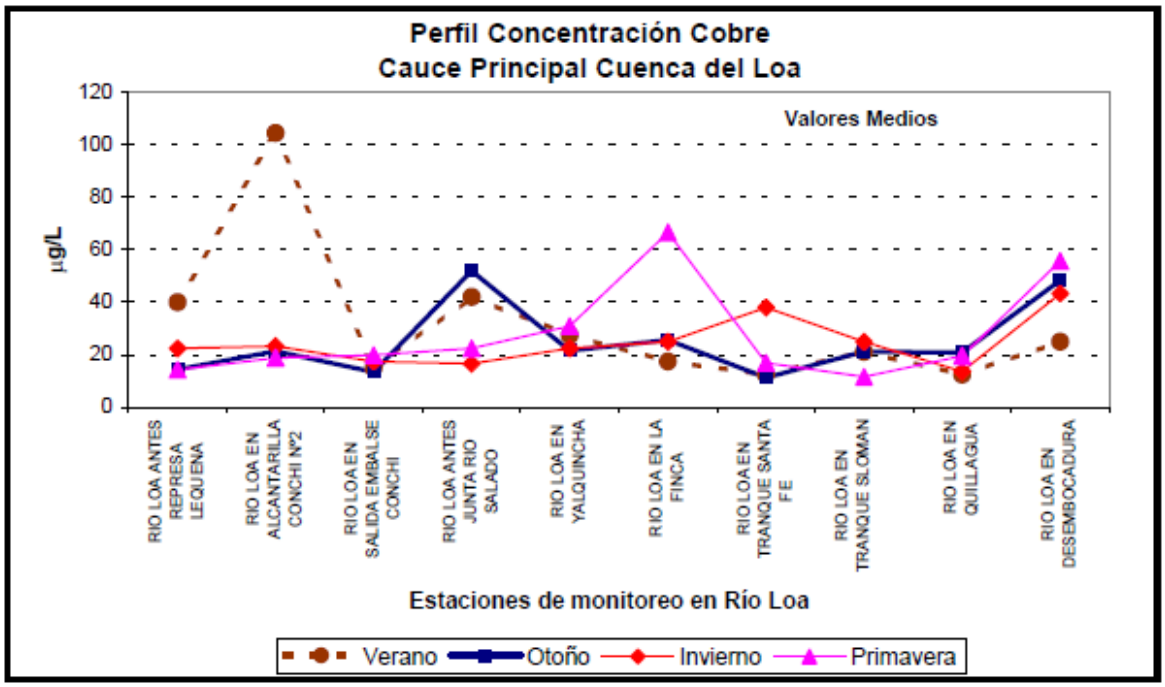
Fuente: DGA, 2004

FIGURA 4.3.4.2-12
RELACIÓN DISTANCIA – CALIDAD
PARÁMETRO COBRE



Fuente: Elaboración propia

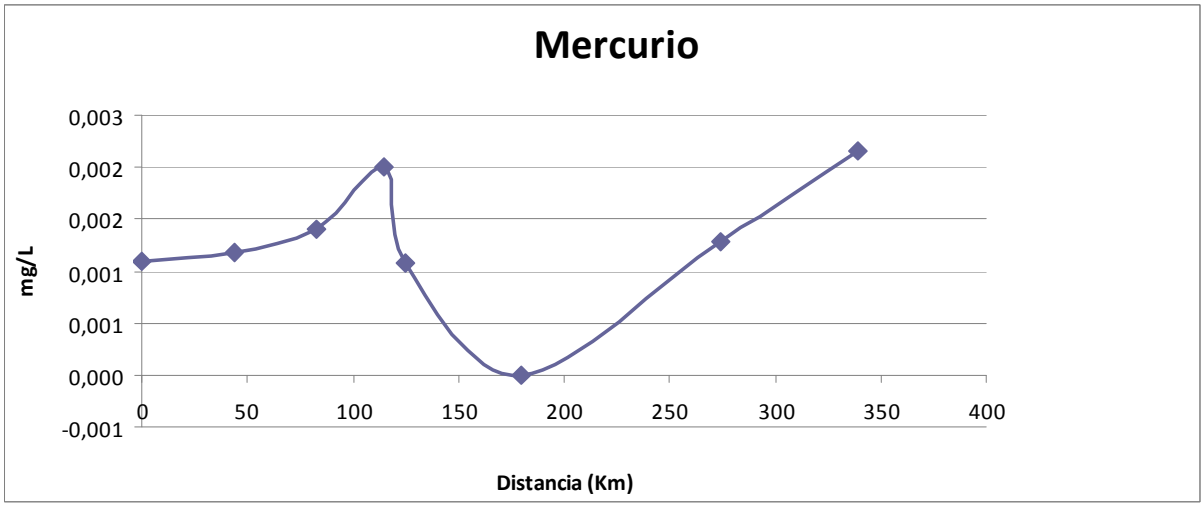
FIGURA 4.3.4.2-13
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO COBRE



Fuente: DGA, 2004

Este parámetro tiene gran influencia en la salud pública, ya que puede significar una amenaza en el desarrollo del niño en el útero y en las primeras etapas de la vida (OMS, 2010). El riesgo de regar con aguas contaminadas por mercurio aumenta el riesgo de consumo humano y su influencia en la salud pública, ya que es bioacumulable, ya que es absorbido por las raíces de las plantas, además de tener efectos en el crecimiento de cultivos sensibles.

FIGURA 4.3.4.2-14
RELACIÓN DISTANCIA – CALIDAD
PARÁMETRO MERCURIO



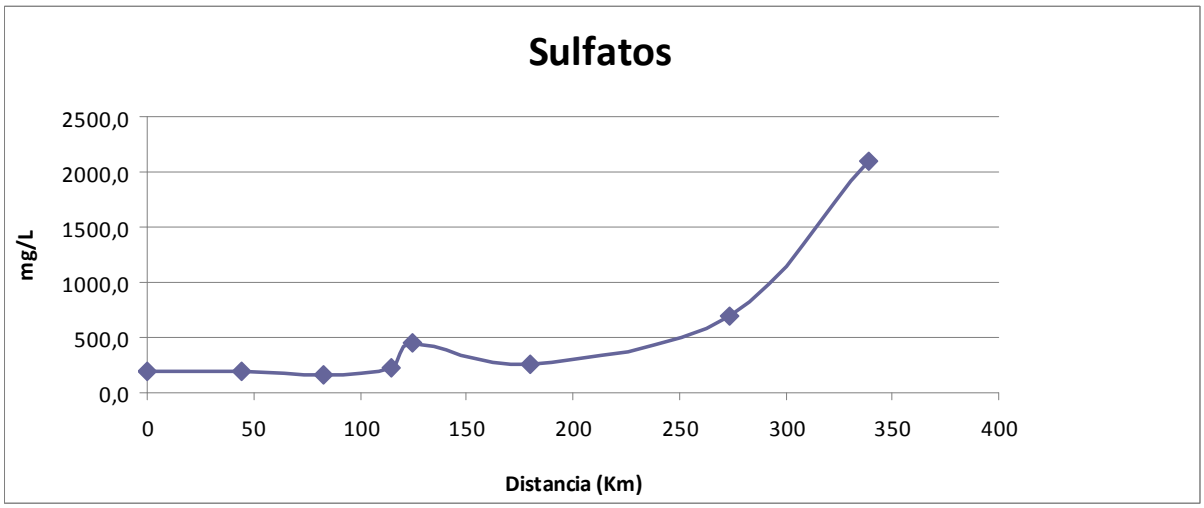
Fuente: Elaboración propia

El valor establecido por la NCh 1.333 para los sulfatos, es de 250 mg/L el que se supera desde la estación río Loa en Finca, hacia aguas abajo. Los sulfatos se encuentran en Clase 2 en el río Loa, hasta el segmento Río Loa en Coya Sur donde cambia a Clase 3 y desde el segmento Río Loa en Quillagua pasa a Clase 4, lo que da cuenta del cambio en las condiciones hacia aguas abajo. Los factores son naturales y antropogénicos; los naturales se deben principalmente a los sulfatos que existen en las rocas volcánicas fracturadas del macizo andino y a las rocas sedimentarias ubicadas en la zona geomorfológica de desierto, además del volcanismo en la parte alta; los factores antrópicos que adicionan sulfatos a las aguas quedan dados por los aportes difusos de tranques de relaves que aportan metales, iones y sulfatos en solución al Loa antes y después de la ciudad de Calama.

Los valores promedio de oxígeno disuelto observado cumplen con la NCh 1.333 para Vida Acuática, sin embargo hay valores puntuales que se alejan de ese valor (5 mg/L), estos valores se presentan en un bajo porcentaje. En todo el largo del río hay un valor puntual que llama la atención ocurrido en febrero de 2000, en que todas las estaciones presentan valores insuficientes para albergar vida en el río; valores que se han asociado al fenómeno de lluvias altiplánicas ocurrido en 2000 que fue acompañado de un proceso de contaminación química de las aguas, el que fue estudiado por el SAG

en el mismo año y donde se sugiere que la contaminación proviene de los tranques El Indio y Talabre.

FIGURA 4.3.4.2-15
RELACIÓN DISTANCIA – CALIDAD
PARÁMETRO SULFATOS



Fuente: Elaboración propia

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad actual del río Loa (DGA, 2004):

- En general, la calidad natural del río es clasificada como de regular a mala calidad, donde exceden la clase de excepción los metales como el cobre, cromo, molibdeno, boro, aluminio, los sólidos disueltos y conductividad eléctrica.
- La parte media de la cuenca posee actividad minera importante cuyos efectos antrópicos han cambiado la calidad natural, las que sumadas a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas[2] han ocasionado presencia de metales como el cobre, hierro y cromo.
- Los factores incidentes en la calidad del agua de la cuenca se pueden dividir en tres zonas geomorfológicas: Altiplano, zona media y desierto: En el Altiplano predominan los factores climáticos y litológicos, en la zona media

[2] Las franjas metalogénicas existentes en Chile se ajustan a la definición de Provincia Metalogénica, pero en trabajos previos se ha considerado a Los Andes como una Provincia Metalogénica dominada por yacimientos cupríferos. Esto ha llevado a definir en detalle ya sea sub-provincias o franjas metalogénicas (Maksaev, J. 2001. Reseña Metalogénica de Chile y de los Procesos que determinan la Metalogenesis Andina)

los efectos de la franja metalogénica F-8[3], y en la zona de desierto el efecto del suelo rico en componentes inorgánicos.

- La calidad natural de los tributarios de la parte media y alta de la cuenca, presenta gran cantidad de metales y iones en solución, los que son de origen natural y cuyo origen está influenciado especialmente por la franja metalogénica F-8.
- La existencia de dos franjas metalogénicas F-8 y F-7[4] son las grandes modificadoras de la calidad natural en la cuenca, en lo referente a metales.
- El río Salado provoca una alteración importante en la calidad natural del río Loa debido a que en el existen suelos salinos y surgencia de aguas geotermales.
- Existen varias recargas de aguas subterráneas en el río Loa que modifican significativamente la calidad natural del río Loa.
- La existencia de tranques (Santa Fe y Sloman) modifican la calidad natural del agua del río, introduciendo disminución del oxígeno disuelto, y provoca un aumento de metales y iones concentrados en los sedimentos de estos tranques.
- La alta radiación solar contribuye de manera activa a concentrar la mayoría de los parámetros de calidad.

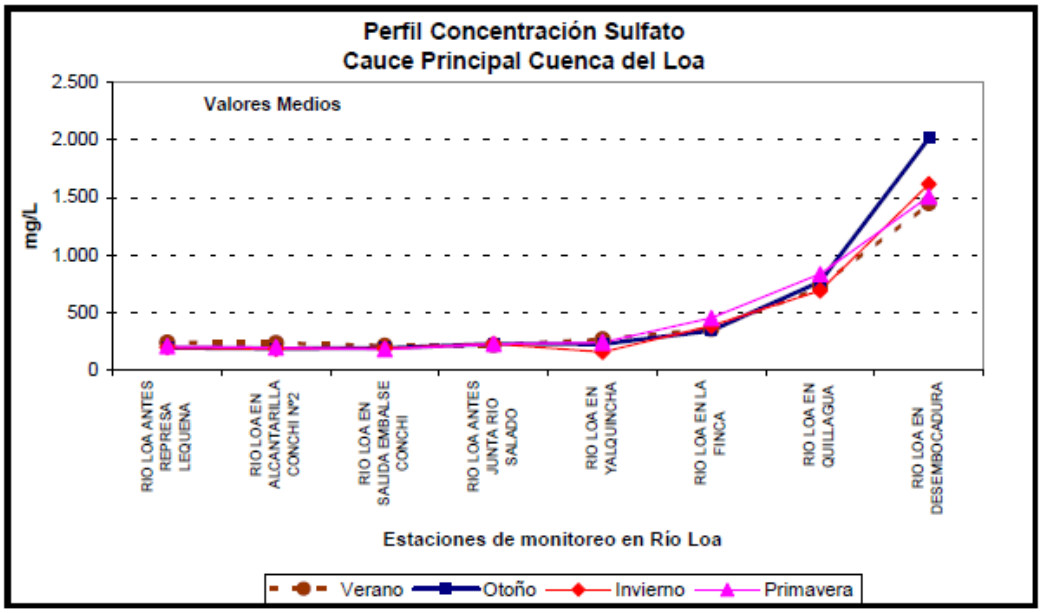
Cabe destacar que los segmentos a partir de la junta del río Loa con el río Salado, el agua del río Loa ha sido clasificada en Clase 4, es decir, no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas ni para los usos prioritarios (riego, acuicultura, pesca, bebida animal), sin perjuicio de su utilización en potabilización con tratamiento apropiado o para aprovechamiento industrial.

En el estudio Análisis General del Impacto Económico de Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Loa en el Sector Silvoagropecuario (SAG, 2005), realizan un análisis de otras investigaciones, indicando que H. Román y C. Valdovinos (2001) llegan a la conclusión que "la cuenca del río Loa se encuentra antropogénica y significativamente intervenida por una serie de actividades industriales que la utiliza de diversa forma. De acuerdo a las sustancias contaminantes orgánicas xenobióticas encontradas en distintos puntos del curso del río Loa y a sus concentraciones, se puede concluir que el fenómeno obedece a una contaminación de origen antropogénico. La cual en su manifestación visual y organoléptica es gatillada por un fenómeno natural como lo es la crecida del río originada por las lluvias estivales del altiplano. El deterioro progresivo del río desde su parte superior hacia aguas abajo es constante a lo largo del año, es decir no existen diferencias entre las crecidas y los periodos normales salvo en la magnitud de las concentraciones de los contaminantes inorgánicos, los que se elevan significativamente en los períodos de crecida".

[3] F-8: Franja metalogénica de cobre-molibdeno del Eoceno Superior-Oligoceno

[4] F-7: Franja metalogénica de cobre-plata-oro del paleoceno (entre los 22º50" y 25º55" S)

FIGURA 4.3.4.2-16
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO SULFATOS



Fuente: DGA, 2004

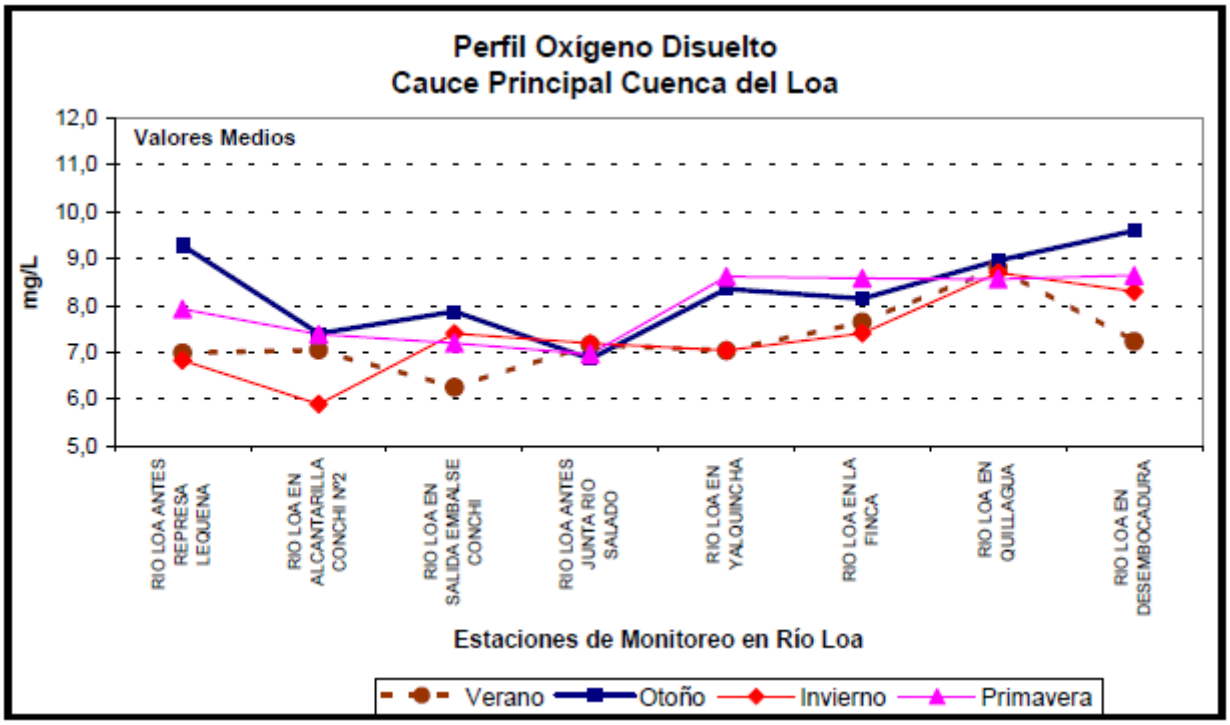
Coincidentemente, D. Román (2000) llega a la conclusión que "el ecosistema de la cuenca del Loa está sometido a un estrés medioambiental crónico, cuya manifestación macroscópica se revela con el fenómeno climático denominado "Invierno Altiplánico", el cual sólo pone de manifiesto la resultante vectorial de varias componentes antrópicas, en que la actividad minera es la más importante".

En la misma línea de pensamiento, Bembow y Rojas (2005) citando a Romero (2003) señalan que "se han observado removilizaciones altamente contaminantes importantes asociadas a eventos puntuales de lluvia en exceso durante los años 1997, 2000 y 2001, constituyéndose en el mayor riesgo ambiental. Durante estos eventos el retrabajamiento de sedimentos contaminados y de desechos mineros abandonados en grandes cantidades a lo largo y cerca del lecho del río en especial donde hay acumulaciones artificiales de sedimentos como ocurre en los tranques Sloman y Santa Fe, existe un gran peligro potencial que puede afectar la cuenca aguas abajo e incluso el litoral, después de la desembocadura."

Adicionalmente, se mencionan en diversos casos relaciones entre aspectos de cantidad y calidad de aguas. Por ejemplo, Bembow y Rojas (2005) señalan que la cada vez más baja capacidad de dilución del río genera mayores problemas de calidad. En particular, que "es una realidad que los cursos menos afectados por contaminantes son aquellos de los tramos Loa-1 (inicio del río), San Pedro-1 y Toconce-1. Por ello,

obviamente las mayores captaciones / aducciones de agua para fines absolutamente necesarios tales como el uso doméstico e industrial provienen desde estos sectores. Sin embargo, con el fin de al menos mantener las malas condiciones hidroquímicas actuales del río Loa es necesario que se restrinjan al mínimo nuevas captaciones/abducciones de agua ya sea desde los cursos o acuíferos, los cuales podrían provocar una disminución aun mayor de la recarga al río produciendo una mayor concentración de los parámetros, especialmente hacia la zonas media e inferior".

FIGURA 4.3.4.2-17
PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD DE AGUA - ESTACIONAL
PARÁMETRO OXÍGENO DISUELTO



Fuente: DGA, 2004

En definitiva, la cuenca es pobre en su capacidad de asimilación de nuevos aportes tóxicos, puesto que se encuentra saturada y es pobre en recursos hídricos puesto que las extracciones concentrarían los elementos presentes.

4.3.4.3. Agua Potable

El análisis de la calidad del agua potable se realiza según los datos aportados del BNA. Se analizaron las tres estaciones de calidad de aguas para los parámetros de la NCh 409 de agua potable. Las estaciones que formaron parte del análisis se presentan en Cuadro 4.3.4.3-1, además se presentan los parámetros analizados y los valores promedio para cada parámetro (cálculo de la media aritmética entre los valores

resultantes de los análisis físico-químicos existentes en las bases de datos facilitadas por la DGA).

Las celdas que se encuentran destacadas muestran que el valor promedio de la estación señalada, para el parámetro específico, supera el valor establecido en la NCh 409. En el Anexo 4-3 se presentan los datos de cada estación.

El agua potable de Antofagasta presenta niveles de cloruro que superan en un 55% de las veces el valor señalado en la NCh 409, de 250 mg/L. El agua potable de Tocopilla supera este valor en un 51% de las muestras y el agua potable de Calama supera el valor en un 44% de los casos.

El caso del Pozo Chiu Chiu supera en un 100% la norma para cloruro, el arsénico se supera el 90% de los casos. El hierro se supera en el 79% de los casos.

La medición del Cadmio no permite interpretar los valores, ya que el límite de detección es igual o mayor en algunos casos, al valor de la norma.

El arsénico se presenta como un problema de salud pública, por la gravedad de la exposición prolongada al contaminante, como ya se relató, por lo que el agua potable es tratada a través de plantas de abatimiento de arsénico.

CUADRO 4.3.4.3-1
ESTACIONES DE CALIDAD AGUA POTABLE

Parámetro	Arsénico				Cadmio				Cloruros				Cobre Total			
NCh 409	0,05				0,01				250,00				1,00			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
AGUA POTABLE CALAMA	0,12	0,001	3,402	0,515	0,01	0,002	0,01	0,001	252,30	4,30	399,33	77,32	0,18	0,01	1,30	0,23
AGUA POTABLE TOCOPILLA	0,09	0,001	2,600	0,399	0,01	0,002	0,02	0,002	372,71	136,91	4.751,00	720,94	0,03	0,01	0,10	0,03
AGUA POTABLE ANTOFAGASTA	0,03	0,001	0,56	0,085	0,01	0,002	0,01	0,001	253,36	142,8	379,8	53,03	0,06	0,01	0,60	0,10

Parámetro	Cromo Hexavalente				Magnesio				Manganeso				Mercurio			
NCh 409	0,05				125				0,1				0,001			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
AGUA POTABLE CALAMA	0,01	0,01	0,02	0,001	32,9	4,4	40,0	7,6	0,01	0,005	0,020	0,003	0,001	0,001	0,002	0,000
AGUA POTABLE TOCOPILLA	0,01	0,01	0,05	0,009	31,8	4,0	269,8	42,6	0,01	0,01	0,03	0,004	0,001	0,001	0,002	0,000
AGUA POTABLE ANTOFAGASTA	0,01	0,01	0,02	0,002	23,8	11,9	36,4	4,7	0,01	0,005	0,03	0,004	0,001	0,001	0,003	0,000

Parámetro	Nitrato				pH				Plomo				Selenio			
NCh 409	10,0				6,0-8,5				0,05				0,01			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
AGUA POTABLE CALAMA	0,2	0,01	4,05	0,60	7,50	6,33	8,60	0,50	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA POTABLE TOCOPILLA	0,3	0,05	4,25	0,66	7,77	6,29	9,61	0,52	0,03	0,01	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
AGUA POTABLE ANTOFAGASTA	0,2	0,01	3,24	0,49	7,74	6,66	9,66	0,54	0,03	0,01	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00

Parámetro	Sulfatos				Zinc			
NCh 409	250,0				5,0			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
AGUA POTABLE CALAMA	153,0	1,0	153,0	48,4	0,1	0,01	0,65	0,12
AGUA POTABLE TOCOPILLA	185,9	77,5	937,5	132,0	0,1	0,01	0,72	0,13
AGUA POTABLE ANTOFAGASTA	135,0	30,9	275,0	39,0	0,0	0,01	0,15	0,04

Fuente: Elaboración propia en base a información del BNA

4.3.4.4. Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Loa

La Norma Secundaria de Calidad de Aguas del río Loa aun no ha sido dictada y se encuentra desde el año 2006 a nivel de anteproyecto. Actualmente el proyecto definitivo se encuentra en elaboración.

Se estima que se requiere un amplio nivel de acuerdo para la fijación de límites, los que debieran fomentarse a partir del Ministerio del Medio Ambiente.

Cabe destacar que esta medida legal debe ser consultada a las Comunidades Indígenas presentes en el territorio, debido a la vigencia del Convenio 169 de la OIT.

4.3.5. Cuenca Salar de Atacama

4.3.5.1. Generalidades

La cuenca del Salar de Atacama se desarrolla al centro oriente de la Región de Antofagasta y es la tercera en tamaño. El fondo de la cuenca de Atacama está ocupado por el salar propiamente tal, en el cual subsisten algunas lagunas remanentes. La extensión húmeda alcanza aproximadamente a 1.500 km^2, lo que representa un 10% de la superficie total, con una altitud media de 2.400 m.s.n.m. constituye la base de equilibrio de una profusa red de drenaje, cuyas principales vías de escurrimiento desembocan en la cabecera norte del salar a través de los ríos San Pedro y Vilama. El río San Pedro es el principal aporte superficial al Salar de Atacama, ya que existen importantes aportes subterráneos por todo el límite oriental, un gran número de pequeños aportes generados en vertientes que caen desde el oriente y también por el extremo sur (DGA, 2004).

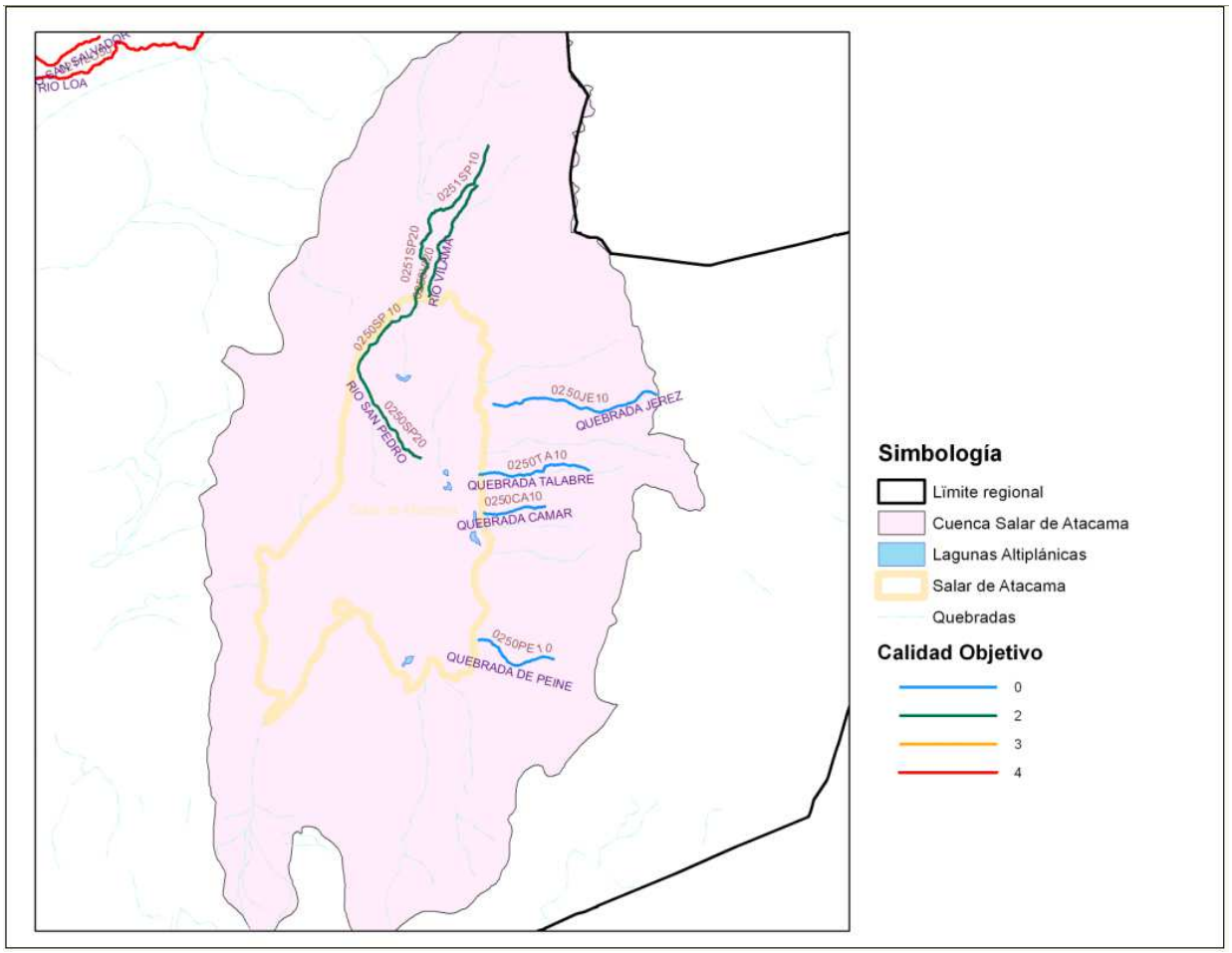
En el sector que ocupa actualmente el Salar de Atacama existe un vasto embalse de agua subterránea que es abastecido desde el norte por un acuífero procedente de un curso paralelo al río San Pedro, por el nororiente, que nace de las estribaciones occidentales del volcán Licancabur y por el sur de las faldas del cerro Pular. Los principales aportes al acuífero del Salar de Atacama provienen del extremo este, específicamente, de la infiltración de la precipitación que se produce en el altiplano. Como la cuenca corresponde a un sistema cerrado la descarga se produce por evaporación en el área del salar y en las lagunas ubicadas en sus márgenes (DGA, 2004).

Los cauces incluidos en el estudio son: Río San Pedro, Río Vilama, Quebrada Jeréz, Quebrada Talabre, Quebrada Camar y Quebrada de Peine, los que se presentan en la Figura 4.3.5.1-1.

En la cuenca se emplazan un total de 50 asentamientos humanos, clasificados como Aldeas o Caseríos. Entre ellos destacan las localidades de San Pedro de Atacama y Toconao por sus atractivos turísticos–culturales.

La principal actividad económica de la cuenca es la actividad minera no metálica constituida por la explotación de litio, sodio, bórax y potasio con faenas mineras emplazadas en el sector sur de la cuenca y próximas al poblado de Toconao, sector nororiente de la cuenca. Otra de las actividades económicas importantes de la zona, es la actividad agrícola desarrollada en los oasis precordilleranos o ayllos principalmente en la localidad de San Pedro de Atacama, donde los principales cultivos son las plantas forrajeras y praderas artificiales. Estos oasis constituyen también un importante atractivo turístico para la zona por su riqueza arqueológica.

FIGURA 4.3.5.1-1
CAUCES Y CÓDIGOS SEGMENTOS CUENCA SALAR DE ATACAMA



Fuente: Elaboración propia en base a CADE-IDEPE (2004)

La cuenca del Salar de Atacama posee solo un Área bajo Protección Oficial perteneciente al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), correspondiente a la Reserva Nacional Los Flamencos. Este sitio posee una superficie de 20.806 Ha equivalentes al 1,3% de la superficie total de la cuenca.

El río San Pedro presenta uso para riego, biodiversidad y usos ancestrales, al igual que la Quebrada de Talabre. El río Vilama presenta uso para riego y usos ancestrales, al igual que la Quebrada de Jerez. La quebrada de Cámar presenta uso para biodiversidad y la quebrada de Peine no presenta uso en este estudio.

Los parámetros seleccionados para el análisis de la calidad del agua en la cuenca son los siguientes:

- Parámetros obligatorios: CE, DBO_5, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales;

- Parámetros Principales: RAS, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Aluminio, Arsénico;

- Muestreos puntuales: Sólidos Disueltos, Cianuro, Fluoruro.

En el Cuadro Anexo 4-4 se presentan los factores incidentes en la calidad del agua en la cuenca del Salar de Atacama. El análisis de los factores incidentes que afectan la calidad del agua se realiza mediante una tabla de doble entrada en la cual se identifica en la primera columna el segmento en estudio, mediante la estación de calidad asociada a éste. La segunda identifica los factores tanto naturales como antropogénicos que explican los valores de los parámetros contaminantes. La tercera identifica aquellos parámetros seleccionados que sobrepasan la clase de excepción del Instructivo asociados al segmento correspondiente y de los cuales se dispone de información ya sea proveniente de la red de monitoreo de la DGA y/o de muestreos puntuales realizados por otra entidad. La última columna fundamenta y particulariza los factores incidentes.

Posteriormente, en el Anexo 4-4 también se resume la información contenida en el estudio referido. El cuadro identifica clases según instructivo que corresponden a la calidad objetivo establecida para la elaboración de la norma secundaria. Los valores a considerar tienen por objetivo general proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales.

En el Anexo 4-4 se presenta la segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la Cuenca del Salar de Atacama.

De esta manera, las normas de calidad secundarias asociadas a los usos prioritarios deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

a) Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.

Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.

b) Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.

c) Clase 2: Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.

d) Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Las clases de calidad comprendidas entre la Clase Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.

4.3.5.2. Análisis de la Información

El análisis de la calidad del agua se realiza efectuando un recorrido por la cuenca del río San Pedro, analizando los parámetros seleccionados, utilizando diagramas que facilitan la visualización de la calidad de las aguas. Esto se puede apreciar en la Figura 4.3.5.2-1 que corresponde a la ubicación de los diagramas en el sector de la estación analizada.

Las estaciones que formaron parte del análisis se presentan en el Cuadro 4.3.5.2-1, además se presentan los parámetros analizados y los valores promedio para cada parámetro (cálculo de la media aritmética entre los valores resultantes de los análisis físico-químicos existentes en las bases de datos facilitadas por la DGA).

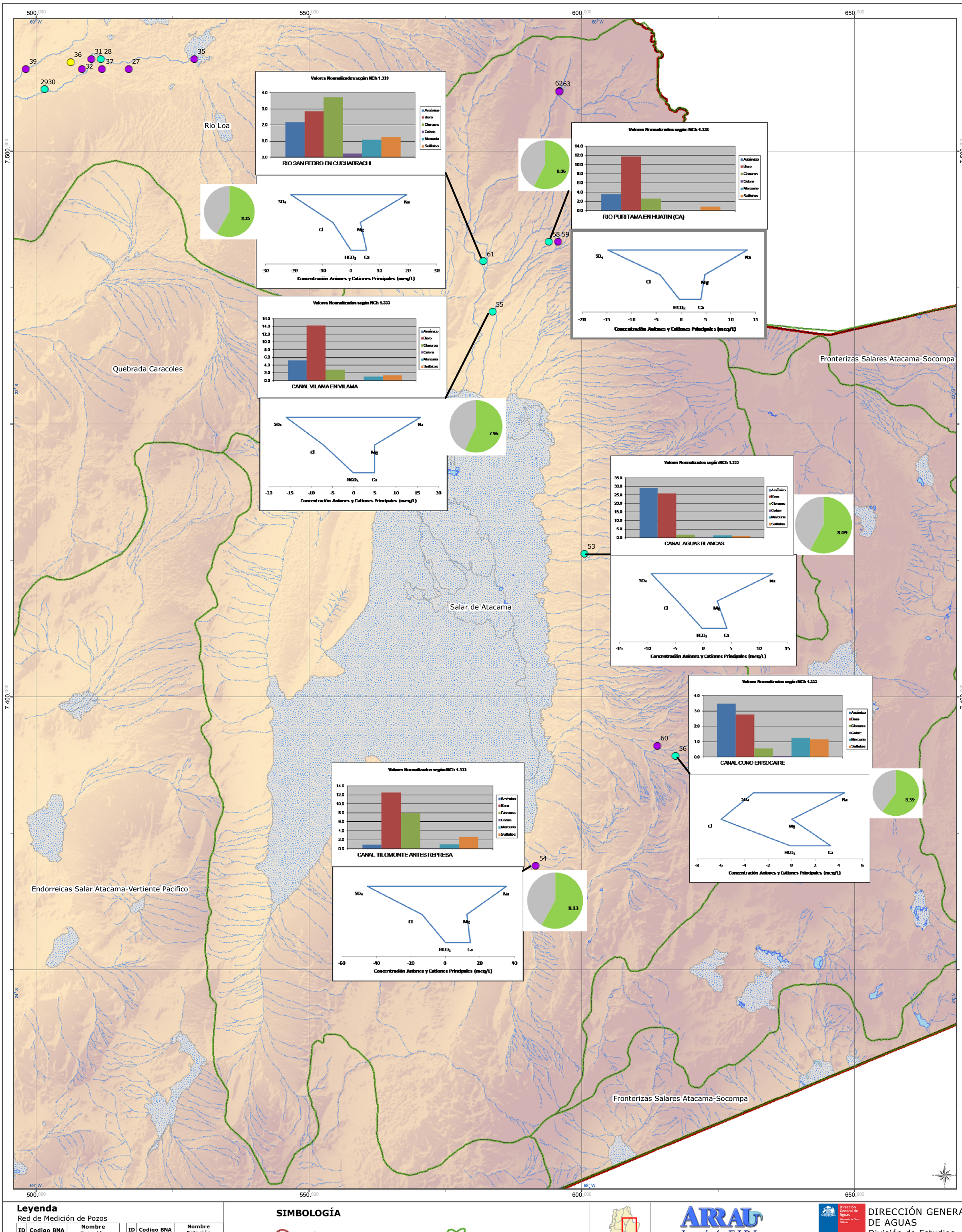
CUADRO 4.3.5.2-1
VALORES PARÁMETROS DE CALIDAD EN ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS

	pH				CE				OD				Arsénico				Boro			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
RIO PURITAMA EN HUATIN (CA)	8,06	7,2	8,5	0,28	2.483	1.240	3.120	395,3	-	-	-	-	0,350	0,17	0,50	0,11	8,80	3,4	16,0	3,00
CANAL VILAMA EN VILAMA	7,96	1,04	8,67	0,78	2.661	1.100	3.300	287,3	7,03	1,04	8,67	0,79	0,519	0,000	1,200	0,24	10,69	1,50	22,00	3,80
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	8,15	7,00	9,26	0,45	2.778	1.700	15.150	1.261,7	19,93	0,98	642,0	89,8	0,217	0,000	2,53	0,31	2,14	1,00	14,26	2,12
CANAL CUNO EN SOCAIRE	8,39	7,57	9,14	0,28	1.111	821	1.278	74,1	6,23	0,27	9,18	1,94	0,347	0,001	4,03	0,61	2,07	1,00	4,00	0,59
CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	8,13	7,33	9,08	031	5.860	4.130	6.867	589,3	7,05	3,55	9,28	1,28	0,088	0,001	0,30	0,05	9,41	1,00	14,00	1,96
CANAL AGUAS BLANCAS	8,09	7,65	8,70	0,31	1.805	1.031	2.254	368,4	8,06	6,40	9,78	0,90	2,889	0,044	5,151	1,66	19,40	11,00	28,00	6,12

	Carbonato				Calcio				Cloruro				Cobre				Magnesio			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
RIO PURITAMA EN HUATIN (CA)	18,6	0,0	48,9	17,0	79,6	50,9	97,9	14,7	519,0	215,5	597,3	92,7	0,00	0,00	0,00	-	58,0	30,4	76,6	13,3
CANAL VILAMA EN VILAMA	7,4	0,0	51,0	13,4	99,0	57,5	169,6	16,4	558,4	215,5	663,0	49.9	0,02	0,00	0,26	0,02	60,1	36,6	77,9	5,9
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	5,9	0,0	24,4	6,8	110,1	64,7	418,5	44,4	740,1	368,7	5.713,1	699,3	0,05	0,00	1,28	0,16	40,1	17,2	302,0	31,5
CANAL CUNO EN SOCAIRE	8,8	0,0	24,9	9,2	66,0	53,6	120,8	12,2	113,7	87,0	660,1	92,7	0,01	0,01	0,03	0,005	51,6	43,4	98,5	9,2
CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	4,0	0,0	25,4	9,4	288,5	225,1	376,9	42,0	1583,7	1.462,6	1.737,1	79,2	0,01	0,01	0,03	0,01	149,4	125,5	172,1	12,6
CANAL AGUAS BLANCAS	15,2	0,0	75,0	28,6	83,4	52,4	117,0	15,0	327,6	298,5	382,3	24,8	0,02	0,01	0,04	0,009	29,6	24,6	33,0	2,1

	Mercurio				Nitrato				Sodio				Sulfatos			
Estación	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.	Prom.	Mín	Máx	Desv. Est.
RIO PURITAMA EN HUATIN (CA)	-	-	-	-	-	-	-	-	307,7	80,5	367,7	66,6	206,3	33,6	331,4	88,0
CANAL VILAMA EN VILAMA	0,001	0,000	0,002	0,00	0,146	0,010	2,023	0,27	363,1	69,0	492,0	64,1	340,4	8,7	500,0	75,3
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	0,001	0,000	0,002	0,00	0,263	0,010	5,665	0,76	447,7	326,4	3.000,0	282,7	309,2	60,7	1.025,0	117,1
CANAL CUNO EN SOCAIRE	0,001	0,001	0,009	0,001	0,220	0,071	1,011	0,16	102,9	92,1	138,0	9,33	288,1	212,8	337,5	29,3
CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	0,001	0,001	0,001	0,00	0,221	0,000	3,035	0,60	811,4	661,3	1.402,9	147,2	649,6	462,9	733,6	58,7
CANAL AGUAS BLANCAS	0,001	0,001	0,005	0,001	0,200	0,07	0,78	0.21	284,0	258,8	339,3	25,1	224,7	152,7	300,0	40,5

Fuente: Elaboración propia en base a información BNA



Leyenda

Red de Medición de Pozos

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02010001-K	SALAR CARCOTE
2	02010002-8	SALAR CARCOTE
3	02020003-0	SALAR ASCOTAN
4	02020004-9	SALAR ASCOTAN
5	02020005-7	SALAR ASCOTAN
6	02020006-5	SALAR ASCOTAN
7	02020007-3	SALAR ASCOTAN
8	02020008-1	SALAR ASCOTAN
9	02020009-K	SALAR ASCOTAN
10	02020010-3	SALAR ASCOTAN
11	02020011-1	SALAR ASCOTAN
12	02020012-K	SALAR ASCOTAN
13	02020013-8	SALAR ASCOTAN
14	02020014-6	SALAR ASCOTAN
15	02020015-4	SALAR ASCOTAN
16	02020016-2	SALAR ASCOTAN
17	02020017-0	SALAR ASCOTAN
18	02105023-7	CHIU-CHIU
19	02105024-5	CUPO 1
20	02105025-3	TURI 2
21	02105026-1	TURI 4
22	02105027-K	TURI 5 I
23	02105028-8	TURI 7
24	02105029-6	TURI 9
25	02105030-K	TURI 1 I
26	02105032-6	TURI -10

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
27	02110015-3	ISLA GRANDE 1
28	02110016-1	ISLA GRANDE 2
29	02110017-K	AEROPUERTO
30	02110018-8	MOCTEZUMA
31	02110019-6	ISLA GRANDE 3
32	02500022-6	ALANA N°1
33	02500023-4	SOCAIRE N°5
34	02500024-2	MULLAY N°1
35	02942002-5	PIQUE AV-1
36	02942003-3	PIQUE AV- 15
37	02942004-1	PIQUE AV - 16
38	02942005-K	PIQUE AV - 17
40	02942007-6	PIQUE AV - 39
41	02942008-4	PIQUE AV - 42
42	02942009-2	PIQUE AV - 43
43	02942010-6	PIQUE AV - 45
44	02942011-4	ESSAN AV - 48
45	02942012-2	PIQUE AV - 49
46	02942013-0	PIQUE AV -
47	02942014-9	PIQUE AV - NVO.A
49	02942016-5	POZO 4 ESSAN
50	02942017-3	ESSAN S-843-A
51	02942018-1	ESSAN S - 844
52	02942019-K	ESSAN S - 846 - A
53	02942020-3	ESSAN S - 864
55	02942022-K	PIQUE MINAS CLEMENTINA N
56	02942023-8	ESSAN AV - 48

SIMBOLOGÍA

- Límite Regional
- Otras
- Seleccionada
- Seleccionada para Agua Potable
- Modelo de Elevación Digital
- msnm
- Max : 6637
- Min : 1
- Límite Cuencas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Ríos
- Esteros
- Quebradas

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA SELECCIONADA PARA LA CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
DGA. 2012,
ARRAU INGENIERÍA. 2012.

ESCALA
1:450.000
950 475 0 950 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 4.3.5.2-1

En primer lugar se presenta el pH, en una figura circular, sombreando los valores como en un reloj, pero con valores del 0 al 14.

Los elementos arsénico, boro, cloruros, cobre, mercurio y sulfatos son representados en un gráfico de barras con los valores promedio de las estaciones respectivas, normalizados a la norma de riego NCh 1.333, por lo que el valor indicado representa la cantidad de veces que el parámetro supera la norma.

Se acompaña de un diagrama de Stiff modificado, que consiste en diagramar los cationes en el lado izquierdo del eje y los aniones del lado derecho. Los extremos de los trazos representan los valores de las concentraciones de los 6 iones, formando un polígono, que busca representar el equilibro entre los cationes y los aniones.

Todos estos gráficos se encuentran en el Anexo 4-5, separado por estación, además es posible revisar los datos de cada estación.

Como se puede ver en la Figura 4.3.5.1-1 la calidad del río Vilama y del río San Pedro se ha clasificado en clase 2, a diferencia de los otros tramos clasificados que corresponden a clase 0.

En los ríos Puritama y Vilama la CE es similar, no expresando un aumento al avanzar aguas abajo, con un valor en torno a los 2.500 µS/cm. En el río San Pedro se presenta un valor similar para la CE.

Los valores promedio de CE para todas las estaciones, supera los valores recomendados, siendo la mayor, la ubicada en el canal Tilomonte, antes de la zona de riego. La CE se encuentra en clase 4 en las estaciones del río San Pedro y río Vilama, lo que permite su uso en riego, pero con restricciones, según lo recomendado en la NCh 1.333 de calidad de agua para el riego, que sugiere que el agua puede ser utilizada en plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.

El origen de estos valores se debe a la disolución y lixiviación de la gran cantidad de sales minerales y metales presentes en el suelo, la litología y el volcanismo de la cuenca; otros factores incidentes son la alta radiación solar, la presencia de capas de sales minerales en la zona geomorfológica del desierto, el paso del río Salado por la Cordillera de la Sal y la recarga del río San Pedro por aguas subterráneas con lixiviados de iones y metales.

Los diagramas de Stiff demuestran que en el sector del río Vilama y río San Pedro hay un predominio de los sulfatos cálcicos, como para el resto de la cuenca, a excepción de la estación canal cuno en Socaire, donde existe una mayor preponderancia de los cloruros y el sodio.

Según el estudio DGA (2004) el arsénico se encuentra en clase 4 en los ríos Vilama, San Pedro y quebrada Camar, en el resto de los cursos de agua no se midió el parámetro.

Respecto del análisis de datos por estaciones, el valor de la NCh 1.333 para arsénico es superado en todas las estaciones, en una mayor proporción para la estación

del canal Aguas Blancas, en que la norma se supera más de 25 veces. Este parámetro tiene gran repercusión en la salud pública, debido a que la ingestión de arsénico inorgánico durante largos periodos puede provocar intoxicación crónica (arsenicosis).

Se observan niveles de Boro en clase 4 para los ríos Vilama, San Pedro y la quebrada de Camar, los que estarían originados en la existencia de extensos mantos de caliche en la zona geomorfológica del desierto y la presencia de la Cordillera de la Sal, los que adicionan lixiviados de boro junto a otros compuestos salinos hasta la desembocadura misma. Las recargas al río por aguas subterráneas aportan los lixiviados del subsuelo que se agregan en ciertos puntos desde donde emergen como vertientes (DGA, 2004). Para las estaciones de calidad analizadas, todas presentan altos niveles de boro, sobrepasando la norma en todas las estaciones. Los elevados niveles de boro pueden afectar ciertos cultivos de la zona, como duraznos, uvas, cebollas, ajos, entre otros.

Se observa el cloruro en clase 4 en el río San Pedro y en el río Vilama, lo que estaría relacionado con lo ya expuesto para CE. En todas las estaciones estudiadas, el valor promedio supera la norma y todos los datos analizados superan la norma, a excepción de la estación Canal Cuno en Socaire.

Los valores de Cobre y Mercurio son bajos en concentración para todas las estaciones, tomando como parámetro la NCh 1.333.

El cobre se clasifica en clase 2 en los ríos Vilama y San Pedro, mientras el Hierro está en clase 2 solamente en el río San Pedro, esto se origina en la lixiviación natural de gran cantidad de metales presentes en la litología de la cuenca. El hierro podría provocar problemas en el riego, debido a su precipitación en los sistemas de regadío.

Los sulfatos se encuentran en clase 2 en los ríos San Pedro y Vilama, lo que tendría su origen en la existencia de rocas sedimentarias constituidas por evaporitas (yesos y boratos), las cuales por procesos de disolución y lixiviación aportan constantemente sulfatos en la cuenca. En la parte alta el volcanismo es un factor importante en el aporte de sulfatos constituyente de las coladas, tobas y brechas fracturadas del macizo andino. Los cultivos sensibles a los sulfatos podrían verse afectados.

De los datos estudiados, los valores promedio superan por más de dos veces la NCh 1.333 para la estación Canal Tilomonte antes represa.

El Manganeso se encuentra en clase 4 en el río San Pedro y en clase 2 en la quebrada Camar, lo que se debe a tres fenómenos independientes: la lixiviación de las rocas volcánicas de la alta cordillera, las actividades mineras desarrolladas en la cuenca (extracción de sales) y el afloramiento de napas subterráneas en distintas secciones de la cuenca, en las cuales los acuíferos asociados a las secciones recargan los cursos superficiales. Se debe tener especial cuidado en el uso para riego en suelos ácidos.

El molibdeno se encuentra en clase 2 en el río Vilama lo que es atribuible a la lixiviación de minerales y a la potencial fuente de contaminación procedente del material de descarte de la minería. Puede ser tóxico para el ganado, en el caso que el forraje

crezca en suelos con altas concentraciones de este elemento, debido a su absorción y concentración en las plantas.

Los sólidos disueltos se encuentran en clase 4 en el río Vilama y las quebradas de Camar y Peine, lo que se encuentra muy ligado a la CE anteriormente explicada.

El valor promedio del Oxígeno Disuelto en todas las estaciones es muy bueno, sin embargo se presentan valores puntuales por debajo de la NCh 1.333 para la vida acuática, en el mes de febrero de 2000, para todas las estaciones que cuentan con la medición.

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad actual del Salar de Atacama (DGA, 2004):

- La calidad natural de los principales afluentes de la cuenca del Salar de Atacama, los ríos San Pedro y Vilama, varía de regular a mala. Los tributarios del borde este, quebrada de Paine, Camar, Talabre y Jerez, muestran una buena calidad natural.
- La calidad natural del salar está fuertemente influenciada por la litología que es rica en sales y metales.
- La edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas.
- En la cuenca se encuentran yacimientos de bórax, litio, sodio y potasio, lo que muestra que es muy rica en sales que intervienen en el aumento de CE, RAS, cloruros, sulfatos, etc.

4.3.5.3. Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Salar de Atacama

El año 2007 fue publicado el undécimo programa priorizado de normas 2006/2007, en que la Norma de Calidad Ambiental de Aguas Superficiales cuenca del Salar de Atacama, II Región era una de las normas priorizadas.

Al igual que en el caso de la norma para el Loa, cabe destacar que esta medida legal debe ser consultada a las Comunidades Indígenas presentes en el territorio, debido a la vigencia del Convenio 169 de la OIT.

4.4. AGUAS SUBTERRÁNEAS

4.4.1. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de La Zona Norte de Chile

4.4.1.1. Introducción

El presente acápite toma como base el estudio de la Dirección General de Aguas del 2009 sobre el Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de La Zona Norte de Chile. Este estudio considera un análisis hidrogeoquímico de las aguas subterráneas que considera distribución y rangos de valores de temperatura, pH y CE, junto con las concentraciones de elementos mayoritarios y minoritarios, además de determinarse la calidad de las aguas en relación a las normas chilenas de agua potable (NCh 409) y de riego (NCh 1.333).

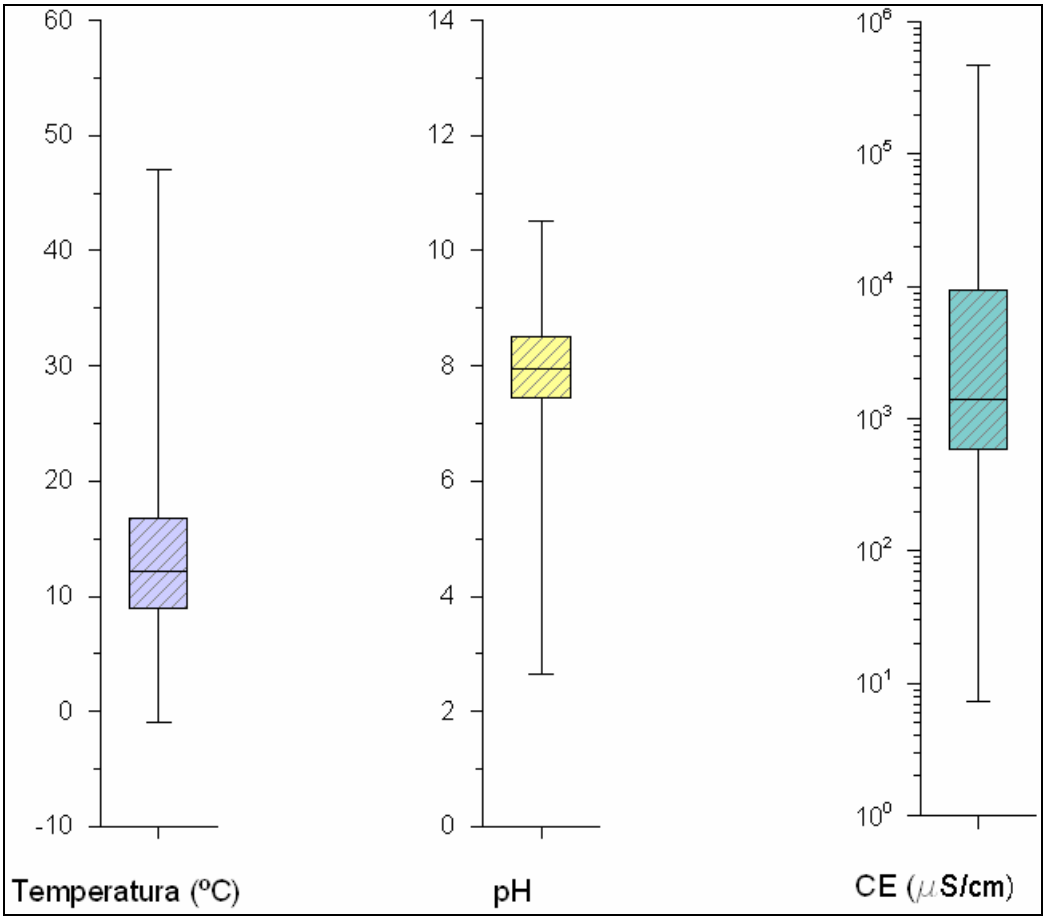
Las cuencas estudiadas son: Salares de Ollagüe – Laguani, Salar de Alconcha, Salar de Carcote o San Martín, Salar de Ascotán o Cebollar, Laguna Verde (Bolivia), Laguna Blanca, Salar de Tara, Pampa La Bola y Pampa El Vallecito, Salar de Pujsa, Salar de Aguas Calientes I, Laguna Helada, Salar de Loyoques, Salar de Jama (Lag. Guachalajte, de Mucar y de Pampa Cien), Laguna Lejía, Salar de Aguas Calientes 2, Puntas Negras, Laguna Miscanti, Laguna Miñiques, Salar del Rincón (Pampa de Lari), Pampa Varela, Salar de Aguas Calientes 3, Laguna Tuyajto, Salar de El Laco, Pampa Colorada y Pampa Las Tecas, Pampa de Tunco, Salar de Capur, Salar de Pular, Salar de Incahuasi, Laguna Jeche, Salar de Aguas Calientes 4, Sub Aguas Calientes (Alt: Pedregal), Laguna de la Azufrera, Salar de Pajonales.

4.4.1.2. Aguas Subterráneas y Superficiales en Conjunto

a) Parámetros Físico-Químicos

La distribución de los parámetros pH, temperatura y conductividad eléctrica de las aguas superficiales se grafica en la Figura 4.4.1.2-1.

FIGURA 4.4.1.2-1
DISTRIBUCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN CONJUNTO



Fuente: DGA, 2009

La temperatura de las aguas superficiales está influida sobre todo por la temperatura del ambiente. En las regiones altiplánicas la precipitación se produce preferentemente como nieve, en las zonas altas de las cuencas. Por eso las aguas tienen por naturaleza temperaturas bajas, ya que provienen de la fusión de la nieve. El rango promedio bordea los 13 ºC. Debido a la radiación del sol y el traspaso de calor desde el aire, la temperatura de las aguas aumenta. Los dos procesos dependen de la estación del año y la hora del día.

La distribución de los valores de pH de las aguas superficiales, como los de aguas subterráneas, va principalmente de neutro a alcalino. Las aguas superficiales son

generalmente más alcalinas que las aguas subterráneas, según Risacher (2003)[5] indican la capacidad buffer de las rocas volcánicas y carbonatadas contra la acidificación sirven para explicar estos valores.

La Conductividad Eléctrica tiene una distribución asimétrica la mediana de las aguas superficiales es parecida a la de las aguas subterráneas, pero el percentil 75 es superior, ya que las aguas superficiales sufren más evaporación.

b) Elementos Mayoritarios y Composiciones Químicas

El Cuadro 4.4.1.2-1 y la Figura 4.4.1.2-2 muestran los contenidos extremos y la distribución de elementos mayoritarios de las 461 muestras de aguas superficiales consideradas en este apartado.

CUADRO 4.4.1.2-1
DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN CONJUNTO

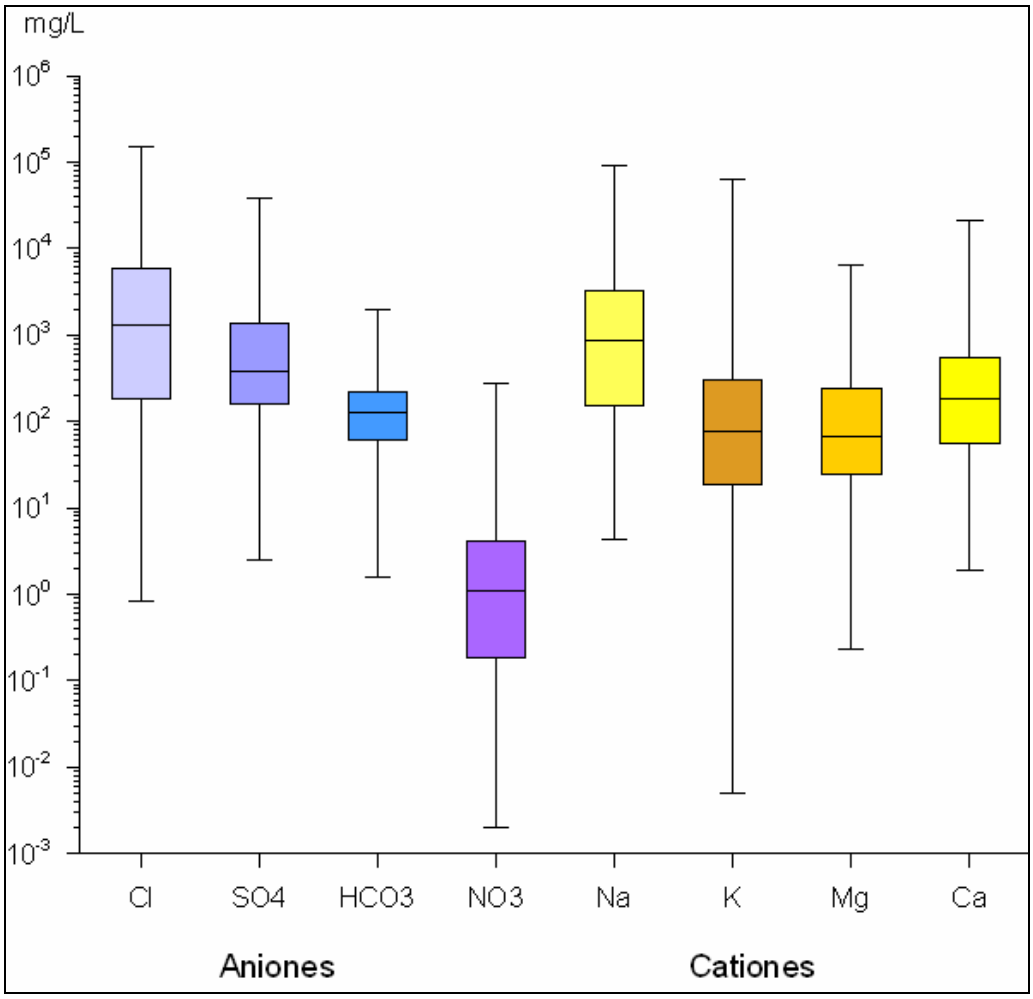
Elemento	Cantidad	Máximo	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
Cl-	461	0,82	204.000	33,9	433	8.240,00
SO_4^{2-}	461	2,4	37.800	130	320	1.750,00
HCO_3^-	455	0,02	1.665	85,1	164	293
NO_3^-	289	<0,002	1.990	0,08	0,5	3,6
Na^+	461	3,7	117.000	59,3	298	4.460,00
K^+	461	<0,010	64.030	10,6	43,4	500
Mg^{2+}	461	1,2	16.000	24,5	64,8	340
Ca^{2+}	461	3,6	43.300	39,9	84,2	584

Fuente: DGA, 2009.

Los elementos más abundantes son el Na^+ y el Cl^-, que se distribuyen de manera similar a como lo hacen en las aguas subterráneas. Los menos abundantes son nitrato y bicarbonato. También se encuentran aguas de composición bicarbonatada intermedia y aguas sulfatadas.

[5] Risacher, F., Alonso, H. y Salazar, C. 2003. The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. Earth-Science Reviewers 63, 249-293. En D.G.A, 2009. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de La Zona Norte de Chile. Etapa 2 Informe Final Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile

FIGURA 4.4.1.2-2
DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN CONJUNTO



Fuente: DGA, 2009

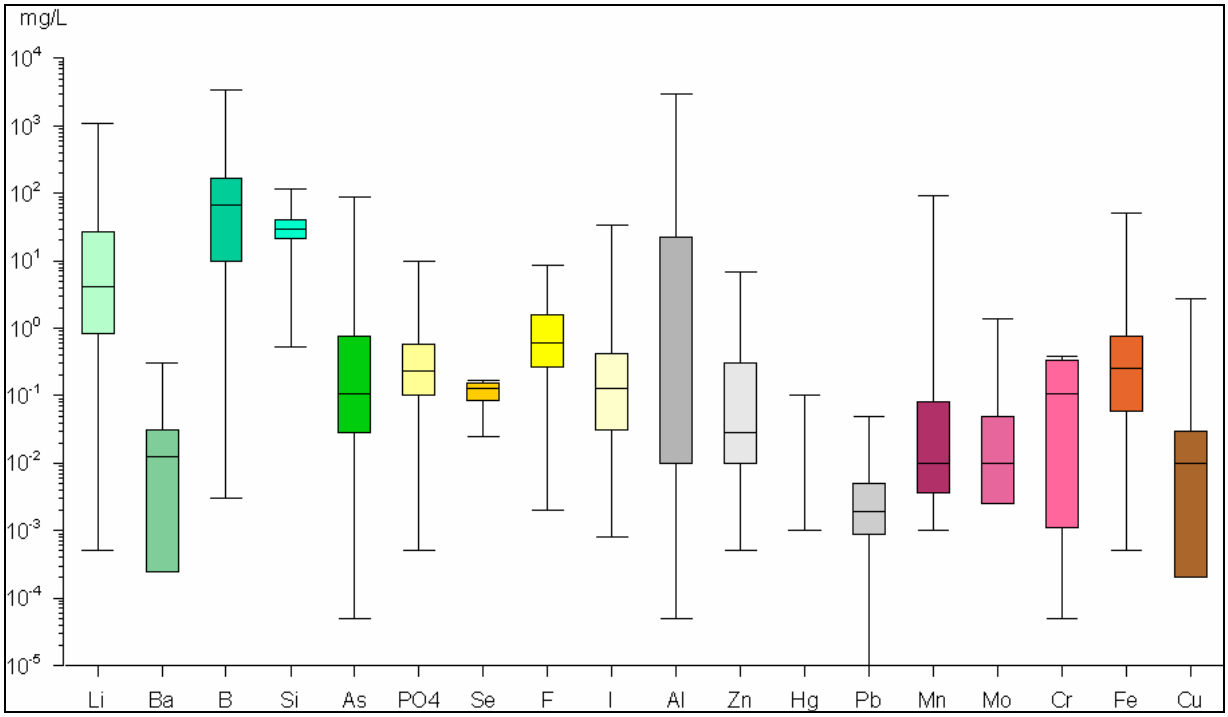
c) Elementos Minoritarios

La Figura 4.4.1.2-3 muestra la distribución de concentraciones de los principales elementos minoritarios en las aguas subterráneas.

Una buena comparación entre las concentraciones encontradas en las aguas superficiales y las subterráneas sólo se puede hacer con el As, B, Cu, PO_4^{3-}, Fe, I, Li y Si, porque presentan un número similar de análisis en ambos tipos de aguas. Los valores de estos elementos en aguas superficiales son generalmente más altos en los rangos de mayor concentración. Una excepción es el cobre, que presenta concentraciones significativamente mayores en las aguas subterráneas. El Fe presenta contenidos muy

similares en ambos tipos de aguas. Las aguas superficiales exceden más frecuentemente las normativas chilenas de calidad de aguas que las subterráneas.

FIGURA 4.4.1.2-3
DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MINORITARIOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES EN CONJUNTO



Fuente: DGA, 2009

4.4.1.3. Aguas Subterráneas

a) Parámetros Físico-químicos

La distribución de los parámetros pH, temperatura y conductividad eléctrica de las aguas subterráneas se grafica en la Figura 4.4.1.3-1.

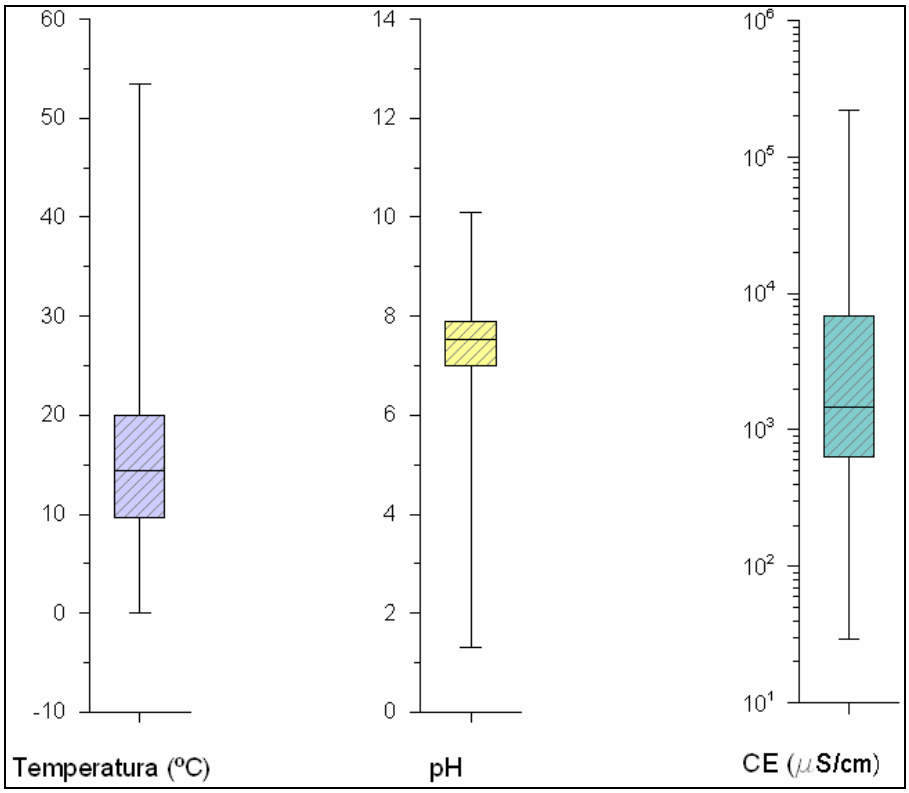
El rango de temperaturas de aguas subterráneas va de 0 a 53 ºC. Los valores más altos vienen de las muestras de aguas de manantiales y vertientes, mientras que las aguas de pozos y napas tienen un rango menor que va desde 3,8 a 43,4 °C. Sin embargo la mayoría de estas aguas presentan temperaturas entre los 10 y 20 °C, que se explica por la influencia de la temperatura ambiental en los puntos de medición.

El rango de pH de las aguas subterráneas puede variar entre 1 y 10, sin embargo la mayoría de las aguas analizadas presentan valores neutros a ligeramente

alcalinos que, según Risacher (2003)[6] indican la capacidad de buffer de las rocas volcánicas y carbonatadas. Este mismo autor también presenta una explicación para los valores muy ácidos que se pueden encontrar en el Salar Gorbea (pH <5). Según plantea, en esta zona existe una alteración hidrotermal de las rocas volcánicas muy fuerte, que reduce la capacidad de neutralización de las mismas, generando valores de pH ácido.

La Conductividad Eléctrica tiene una distribución asimétrica, el rango varía ampliamente de 30 a más de 200.000 µS/cm, ubicándose principalmente en el campo de las aguas salobres a saladas.

FIGURA 4.4.1.3-1
DISTRIBUCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS



Fuente: DGA, 2009

[6] Risacher, F., Alonso, H. y Salazar, C. 2003. The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. Earth-Science Reviewers 63, 249-293. En D.G.A, 2009. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de La Zona Norte de Chile. Etapa 2 Informe Final Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile.

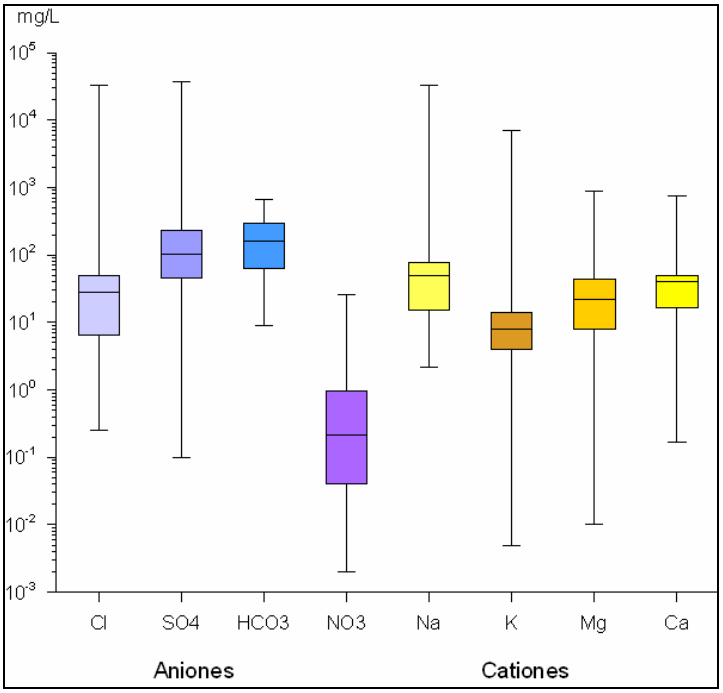
b) Elementos Mayoritarios y Composiciones Químicas

En el Cuadro 4.4.1.3-1 y Figura 4.4.1.3-2 se muestra la distribución de concentraciones de los elementos mayoritarios en aguas subterráneas. Los valores máximos y de cuartiles son generalmente menores que los de las aguas superficiales, lo que indica, como ya se ha mencionado, una menor salinización. Solamente los valores de NO_3^- constituyen una excepción.

CUADRO 4.4.1.3-1
DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Elemento	Cantidad	Máximo	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
Cl-	456	209.000	0,249	24,80	332,50	1.685,00
SO_4^{2-}	456	20.400	<3,000	68,53	215,00	453,50
HCO_3^-	452	1.980	1,590	47,44	103,85	206,75
NO_3^-	366	1.721	<0,012	0,40	1,14	4,98
Na^+	456	115.000	<0,001	35,78	220,50	916,50
K^+	456	14.100	0,005	6,48	31,00	84,90
Mg^{2+}	456	6.270	<0,020	7,39	28,95	89,75
Ca^{2+}	456	49.700	0,168	33,50	88,75	253,25

FIGURA 4.4.1.3-2
DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORITARIOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

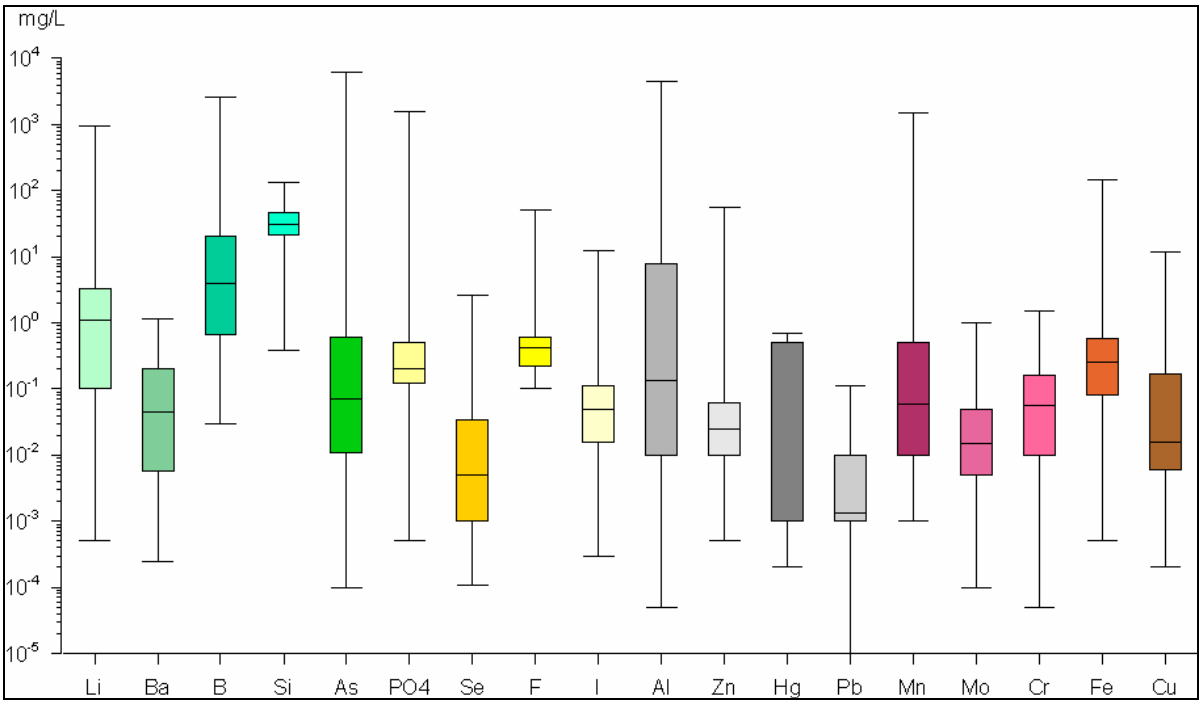


Fuente: DGA, 2009

c) Elementos Minoritarios

La Figura 4.4.1.3-3 muestra la distribución de concentraciones de los principales elementos minoritarios en las aguas subterráneas.

FIGURA 4.4.1.3-3
DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MINORITARIOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS



Fuente: DGA, 2009

Los compuestos que alcanzan las mayores concentraciones son el As, Al, B, Li, PO_4^{3-} y Mn, pero las mayores concentraciones promedio corresponden al Si, B y Li, al igual que en el análisis general de las aguas.

Si se comparan estas concentraciones con las distintas normativas chilenas de calidad de las aguas, se puede ver que determinados elementos presentan concentraciones extremadamente altas. Por ejemplo, la mediana del As excede ocho veces el límite máximo establecido por la norma chilena de agua potable (NCh409/1. Of2005), y la mediana del B en 10 veces la concentración máxima permitida por la norma chilena de calidad de aguas para riego (NCh1333. Of78).

4.4.2. Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos

4.4.2.1. Introducción

La información disponible permitió caracterizar la calidad de las aguas subterráneas en el acuífero del río Loa y en la zona altiplánica de la Región.

4.4.2.2. Sector Acuífero El Loa

El presente Acápite toma como base el estudio de la Dirección General de Aguas del 2009 sobre Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos, el que desarrolló, aplicó y validó una metodología para caracterizar acuíferos en cuanto a la calidad química de los recursos hídricos subterráneos, estableciendo criterios para su protección. Uno de los acuíferos seleccionados para la aplicación de la metodología fue el sector acuífero El Loa

Este acuífero está ubicado al interior de la cuenca del Río Loa y posee un comportamiento exorreico. Los escurrimientos principales son el río San Pedro, El Loa, Salado y El Salvador y las quebradas Llalqui y León. El acuífero posee un área de 7.950 km^2 y se extiende desde el valle central hasta la Cordillera de los Andes. Entre las ciudades importantes se puede mencionar a Calama.

La hidrogeología del sector acuífero la componen depósitos no consolidados, con rocas volcánicas fracturadas y rocas carbonatadas, en tres zonas características: Calama, Llalqui y León. Existen dos acuíferos, uno superior de condición libre y con espesor máximo de 100 m, y otro inferior del tipo confinado y cuyo espesor puede alcanzar los 200 m. De acuerdo al DICTUC (2005)[7] ambos acuíferos se encuentran separados por un estrato confinante con espesor entre 0 y 200 m.

La metodología describe la calidad de un acuífero, por lo que en este sector acuífero como se reconocen dos, uno superior libre y otro inferior confinado, sería necesario aplicarla a cada uno de ellos en forma independiente. En el presente informe sólo se aplicó la metodología al acuífero superior por contar con más datos y revestir mayor riesgo de afectación antrópica.

a) Índice de calidad[8]

De acuerdo a la metodología, se analizaron los dos grupos de parámetros, en que el primer grupo está conformado por los parámetros obligatorios (SDT, Cl, SO_4, Ca, Na y Mg). Además del NO_3, para el segundo grupo sólo se eligió el Arsénico (As), ya que es el único parámetro que cuenta con datos en todos los puntos seleccionados y que presenta valores elevados en la zona.

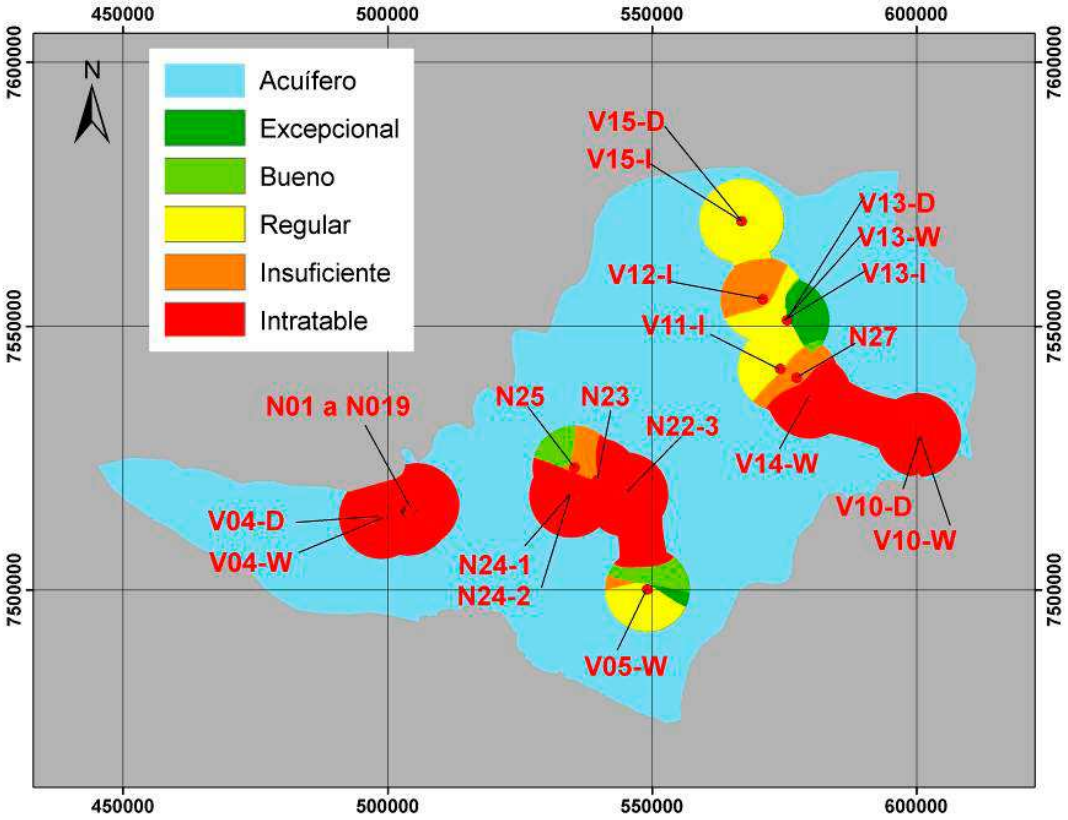
La Figura 4.4.2.2-1 presenta el mapa de Índice de Calidad (IC) general para el sector acuífero El Loa. Se aprecia una importante zona con IC Intratable, debido principalmente a los Cloruros y SDT, aunque el Arsénico también contribuye en el extremo sureste. El resto del área presenta mayoritariamente IC Regular.

[7] DICTUC (2005). Hidrogeología de la II Región y asesoría para la revisión de informes de estudios de evaluación de recursos hídricos. Sector Calama-Pampa Llalqui. [Informe]. Santiago: DGA-MOP. En: D.G.A, 2009. Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos.

[8] La escasez de datos disponibles no permitió obtener una correcta interpolación en todo el sector acuífero, y por tanto la calidad sólo puede definirse en un área reducida en torno a los pozos disponibles. En este caso se consideró adecuado que cada pozo o dato disponible es representativo de 200 km^2.

La distribución espacial del IC muestra claramente el efecto de aumento natural de la concentración, en el sector oriental del acuífero, donde se alcanzan altas concentraciones de As, Cl y SDT, producto de la actividad volcánica en el sector del Tatio. Por otra parte en el sector nororiente se observa una calidad mejor del agua debido a que se está cerca de las zonas de recarga del sistema acuífero. Finalmente el sector poniente presenta mala calidad, que puede ser el reflejo de la mezcla de efectos naturales y antrópicos, dada su ubicación cercana a un centro urbano.

FIGURA 4.4.2.2-1
ÍNDICE DE CALIDAD GENERAL PARA EL SECTOR ACUÍFERO EL LOA



Fuente: DGA, 2009

b) Origen de la Calidad Química del Acuífero

Para obtener la caracterización de posibles fuentes u origen de la calidad química en el sector acuífero El Loa, se realiza el análisis de componentes principales.

De acuerdo al análisis realizado se elaboró el Cuadro 4.4.2.2-1 en donde se presenta cada uno de los parámetros elegidos y el origen principal obtenido del ACP.

En general, el acuífero presenta aguas subterráneas de mala calidad química, ya que predominan zonas con IC Regular a IC Intratable. Esta situación se debe a altos niveles de SDT, Cl y As. Tanto el Cl como SDT tienen un origen natural producto de condiciones hidrogeoquímicas del acuífero. Mientras que el As tendría un origen mixto, es decir natural y antrópico.

CUADRO 4.4.2.2-1
ORIGEN PRINCIPAL DE PARÁMETROS EN SECTOR ACUÍFERO EL LOA

Parámetros	Origen principal
Na, Cl, SDT, Ca	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
Mg	Natural (condiciones hidrogeoquímicas)
NO3	Antrópico (industrial y/o asentamiento urbano)
SO4	Natural y Antrópico (industrial minería)
As	Natural y Antrópico (industrial minería)

Fuente: DGA, 2009

4.4.3. Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas

El presente acápite toma como base el estudio de la Dirección General de Aguas del 2009 sobre Geoquímica de aguas en cuencas cerradas, en particular en Volumen III que corresponde al Estudio de Cuencas de la Región de Antofagasta.

El estudio en su conjunto ha sido desarrollado en varias etapas. Primeramente se realizaron los estudios básicos correspondientes a la recopilación de antecedentes y análisis. Luego, en base a estos antecedentes se realizó el desarrollo y aplicación de Metodología de clasificación de sectores acuíferos. Finalmente se propusieron y discutieron los posibles instrumentos de protección de acuíferos de acuerdo a la realidad local. Adicionalmente, y de manera complementaria al desarrollo de la metodología se revisó la red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas de la DGA y se realizó una propuesta de red de monitoreo óptima detallando sus características, para cada uno de los sectores acuíferos en estudio.

Se realizaron muestreos en todos los manantiales que se vierten en las cuencas cerradas para tener una idea preliminar de la calidad química de las aguas subterráneas en las partes más altas de las cuencas de drenaje. Muchos manantiales surgen cerca de las orillas de los salares, lo que plantea el problema de una posible contaminación de las aguas de aporte por las aguas saladas estancadas en el fondo de la cuenca. Este estudio analiza de manera conjunta la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

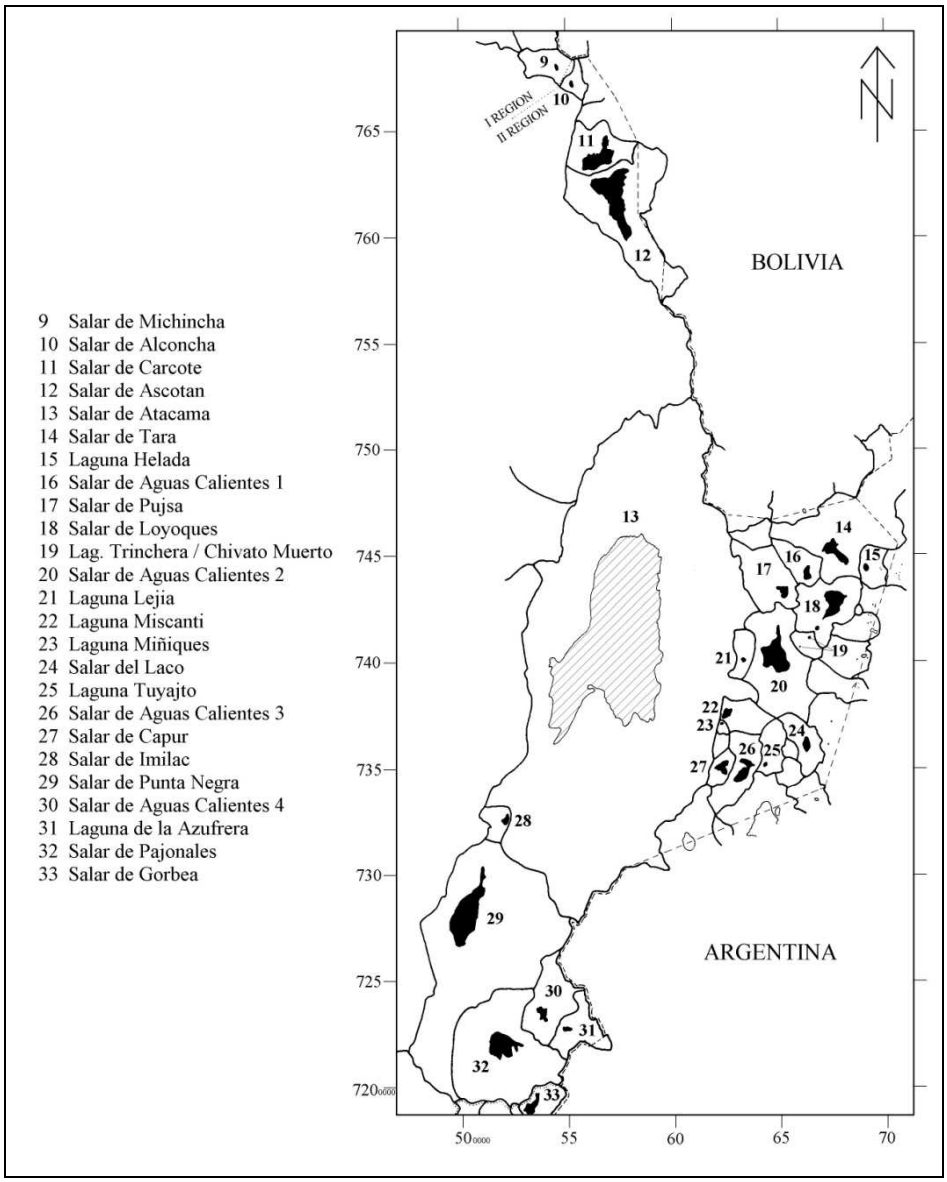
Los componentes considerados son HCO_3 (o alcalinidad), Cl, SO_4, NO_3, B, As, Na, Li, Ca, Mg, y STD (salinidad total). Sin embargo, solamente unos pocos componentes determinan efectivamente la calidad de aguas de la Cordillera Andina del norte chileno. La salinidad y el arsénico son los dos componentes que casi siempre limitan la potabilidad de las aguas, con algunas excepciones. Los componentes que intervienen mayormente en la limitación de calidad de aguas para riego son la salinidad (1.000 mg/L), el boro (0,75 mg/L) y el arsénico (0,100 mg/L). Cabe recalcar que el boro no es

un contaminante común para aguas potables (límite de 5 mg/L), pero es el principal limitante para aguas de riego en el norte chileno.

Las cuencas cerradas de la Región de Antofagasta se pueden visualizar en la Figura 4.4.3-1.

La calidad de cada agua de aporte en función de las normas de potabilidad y de riego, se presentan en el Cuadro 4.4.3-1.

FIGURA 4.4.3-1
CUENCAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA



Fuente: DGA, 2009

CUADRO 4.4.3-1
CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN CUENCAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Cuenca	Caracterización Calidad de Aguas
Salar de Alconcha	Todas las aguas de vertientes cuenca arriba son de excelente calidad tanto para el uso domestico como para el uso agrícola. Las aguas de vertientes en el bofedal son de calidad aceptable o al límite de potabilidad. El agua de napa tiene cuatro veces más arsénico que el máximo permisible para el uso humano y tres veces más boro para el uso agrícola.
Salar de Carcote	En toda la cuenca, solamente las aguas muy diluidas de vertientes en las laderas del volcán Aucanquillcha son de buena calidad para cualquier uso, domestico y agrícola. Las napas que las originan no parecen tener un flujo notable. La menos concentrada de las aguas de aporte del extremo norte tiene nueve veces más arsénico que lo máximo permisible. Las aguas de las orillas sur y oeste son totalmente impropias para cualquier uso potable o agrícola.
Salar de Ascotán	La cuenca de Ascotán se caracteriza por la mala calidad de sus aguas. Se ha encontrado solamente 4 aguas de calidad aceptable para el consumo humano las que se encuentran todas al nor-oeste del salar en el sector de vías evolutivas carbonatada y alcalina sulfatada. Las aguas de las dos únicas vertientes cuenca arriba, son de excelente calidad. Sin embargo, no parecen tener mucha influencia en la hidroquímica del salar. La importancia hidrogeológica de las napas que las originan debe ser mínima. Hay aguas al límite de potabilidad, pero tienen demasiado boro para el uso agrícola. El agua de napa al sur del salar, es bien diluida (411 mg/L STD) y hubiera constituido una excelente agua potable si no fuera por su alto contenido en arsénico : 0,65 mg/L, o sea 13 veces más que la concentración máxima autorizada.
Salar de Atacama	Hay aguas de muy buena calidad en el norte de la cuenca y en el sector oriental alto. Globalmente, todas las aguas cuya salinidad es inferior a 1 g/l son aprovechables para cualquier uso. Los principales contaminantes son el arsénico y el boro. Las aguas del río Vilama al norte y de las quebradas al sur del salar, tienden a ser más salinas, lo que plantea problemas para su uso, particularmente potable, siendo la situación de San Pedro de Atacama muy delicada por el alto contenido en arsénico. En el pueblo de Peine, se utiliza principalmente para consumo doméstico agua de la cuenca colindante de Miscanti, traída por una cañería de unos 40 km de largo. Presentamos solamente datos sobre aportes superficiales, pero hay grandes reservas subterráneas explotadas en parte por empresas mineras. No existen todos los datos para estudiarlas detalladamente.
Salar de Tara	El agua del río Zapaleri es la de mejor calidad, pero tiene un leve exceso en arsénico. En el sector nor-occidental, las aguas están al límite de potabilidad para los componentes mayores, pero tienen 10 veces más arsénico que el límite permisible. El contenido de boro no las hace recomendable para un uso agrícola.

CUADRO 4.4.3-1
CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN CUENCAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)

Cuenca	Caracterización Calidad de Aguas
Salar de Alconcha	Todas las aguas de vertientes cuenca arriba son de excelente calidad tanto para el uso domestico como para el uso agrícola. Las aguas de vertientes en el bofedal son de calidad aceptable o al límite de potabilidad. El agua de napa tiene cuatro veces más arsénico que el máximo permisible para el uso humano y tres veces más boro para el uso agrícola.
Salar de Carcote	En toda la cuenca, solamente las aguas muy diluidas de vertientes en las laderas del volcán Aucanquillcha son de buena calidad para cualquier uso, domestico y agrícola. Las napas que las originan no parecen tener un flujo notable. La menos concentrada de las aguas de aporte del extremo norte tiene nueve veces más arsénico que lo máximo permisible. Las aguas de las orillas sur y oeste son totalmente impropias para cualquier uso potable o agrícola.
Salar de Ascotán	La cuenca de Ascotán se caracteriza por la mala calidad de sus aguas. Se ha encontrado solamente 4 aguas de calidad aceptable para el consumo humano las que se encuentran todas al nor-oeste del salar en el sector de vías evolutivas carbonatada y alcalina sulfatada. Las aguas de las dos únicas vertientes cuenca arriba, son de excelente calidad. Sin embargo, no parecen tener mucha influencia en la hidroquímica del salar. La importancia hidrogeológica de las napas que las originan debe ser mínima. Hay aguas al límite de potabilidad, pero tienen demasiado boro para el uso agrícola. El agua de napa al sur del salar, es bien diluida (411 mg/L STD) y hubiera constituido una excelente agua potable si no fuera por su alto contenido en arsénico : 0,65 mg/L, o sea 13 veces más que la concentración máxima autorizada.
Salar de Atacama	Hay aguas de muy buena calidad en el norte de la cuenca y en el sector oriental alto. Globalmente, todas las aguas cuya salinidad es inferior a 1 g/l son aprovechables para cualquier uso. Los principales contaminantes son el arsénico y el boro. Las aguas del río Vilama al norte y de las quebradas al sur del salar, tienden a ser más salinas, lo que plantea problemas para su uso, particularmente potable, siendo la situación de San Pedro de Atacama muy delicada por el alto contenido en arsénico. En el pueblo de Peine, se utiliza principalmente para consumo doméstico agua de la cuenca colindante de Miscanti, traída por una cañería de unos 40 km de largo. Presentamos solamente datos sobre aportes superficiales, pero hay grandes reservas subterráneas explotadas en parte por empresas mineras. No existen todos los datos para estudiarlas detalladamente.
Salar de Tara	El agua del río Zapaleri es la de mejor calidad, pero tiene un leve exceso en arsénico. En el sector nor-occidental, las aguas están al límite de potabilidad para los componentes mayores, pero tienen 10 veces más arsénico que el límite permisible. El contenido de boro no las hace recomendable para un uso agrícola.

CUADRO 4.4.3-1
CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN CUENCAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)

Cuenca	Caracterización Calidad de Aguas
Laguna Helada	A pesar de ser muy diluidos los aportes, dos solamente respetan las normas de potabilidad. Hay áreas que contiene 1,7 mg/ de arsénico, o sea 34 veces el máximo permisible para uso potable, y otra con casi 3 veces más, presentando en los demás componentes concentraciones aceptables para el consumo humano. Además hay sectores con demasiado boro para un uso agrícola.
Salar de Aguas Calientes 1	Ningún agua de aporte puede ser aprovechada para un uso potable o agrícola. El agua menos concentrada tiene exceso de Na, Cl, salinidad y sobre todo de arsénico (10 veces por encima de la norma de potabilidad). Puesto que la alta salinidad de los aportes se debe a una salinización de las napas diluidas de la cuenca de drenaje por salmueras de origen desconocido, la posibilidad de encontrar aguas diluidas de buena calidad en la cuenca de Aguas Calientes 1 no es muy alentadora.
Salar de Pujsa	El agua más diluida tiene concentraciones muy por debajo de las normas de potabilidad, excepto para el arsénico que sobrepasa 16 veces el límite permisible para agua potable. El contenido de boro la hace no recomendable para riego. Hay un sector que está levemente por encima de la norma de potabilidad en sulfato, arsénico y salinidad total. Y otro que tiene 20 veces más arsénico que esta norma y es demasiada salada.
Salar de Loyoques	Un agua solamente cumple estrictamente con las normas de potabilidad. Las cuatro otras aguas de aporte diluidas tienen un exceso de arsénico respecto a la norma de potabilidad, desde 2 veces para hasta 14 veces. Todos los demás componentes presentan concentraciones aceptables para este uso. En cuanto a las aguas de aporte saladas, todas están muy por encima de los límites permitidos para uso potable en varios componentes.
Laguna Trinchera Laguna Chivato Muerto	Las aguas son totalmente impropias para cualquier uso. Pero eso no descarta la posibilidad de encontrar napas de aguas diluidas en las cuencas de drenaje. La presencia de estas lagunas, indica por lo menos la existencia de napas no muy profundas en las cuencas de drenaje.
Salar de Aguas Calientes 2	En vista de las altas salinidades de los aportes, que todas las aguas prelevadas están muy lejos de cumplir con las normas de potabilidad y de uso agrícola. El hecho de que las altas salinidades se deban a la redisolución de antiguas evaporitas limita las posibilidades de encontrar aguas netamente más diluidas y en grandes cantidades en la cuenca.
Laguna Lejia	La vertiente difusa tiene un contenido de arsénico 4 veces superior a la norma de potabilidad. La otra limitación es un leve exceso de la salinidad total. Es posible encontrar napas de aguas diluidas más arriba en la cuenca, puesto que no parece haber salinización de aguas diluidas por antiguas salmueras o evaporitas. Sin embargo, la presencia del activo volcán Lascar con fumarolas permanentes podría acarrear problemas

CUADRO 4.4.3-1
CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN CUENCAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)

Cuenca	Caracterización Calidad de Aguas
Laguna Miscanti	El agua de la vertiente captada para la alimentación del pueblo de Peine es de excelente calidad y apta para cualquier uso, doméstico o agrícola. Las aguas de las dos vertientes difusas contienen demasiado arsénico para el consumo humano y valores aceptables para el boro en riego, según la experiencia regional.
Laguna Miñique	El agua de la vertiente difusa carece de aptitud para uso potable o agrícola. Pero no se puede descartar la presencia de napas diluidas en el sector oriental de la cuenca.
Salar del Laco	Las dos aguas, napa y vertiente difusa, de la orilla oeste tienen calidad aceptable para el consumo humano, pero un exceso de boro para el riego. El agua de la vertiente difusa no cumple ni con las normas de potabilidad ni con las de riego. Se nota en particular un fuerte exceso de arsénico: 15 veces por encima del límite de potabilidad. Si la interpretación de la salinidad elevada de la vertiente norte como una cuña salina o una pre-evaporación de napa de aporte diluida es correcta, podrían entonces encontrarse napas diluidas en el norte de la cuenca
Laguna Tuyajto	En vista de su alta salinidad el agua del río no presenta ningún interés domestico o agrícola. Si su alta salinidad es efectivamente producto de una salinización por antiguas salmueras, la posibilidad de encontrar aguas muy diluidas un poco más arriba en la cuenca de drenaje no es muy alentadora
Salar de Aguas Calientes 3	No se ha encontrado ningún agua de calidad aceptable para uso potable o agrícola, ya que todas sobrepasan ampliamente las normas respectivas. La alta salinidad de los aporte se debe en gran parte a la redisolución de antiguas salmueras o evaporitas, la posibilidad de encontrar aguas muy diluidas un poco más arriba en la cuenca de drenaje no es muy alentadora
Salar de Capur	Considerando la alta salinidad de los aportes, es evidente que las aguas de aporte del sector norte de Capur no presentan capacidad de uso potable o agrícola. La alta salinidad de los aporte se debe a la salinización por antiguas salmueras, la posibilidad de encontrar aguas muy diluidas un poco más arriba en el norte la cuenca de drenaje es muy baja.
Salar de Imilac	El agua de la napa artesiana es la única que presenta una salinidad aceptable para el consumo humano y el riego. Sin embargo, contiene 10 veces más arsénico que el máximo permitido por la norma de potabilidad.
Salar de Punta Negra	Hay dos aguas de excelente calidad para cualquier uso: manantial Tocomar y Río Frío. Las dos se encuentran muy arriba en la cuenca. Las aguas de napa al sur del salar también cumplen con las normas chilenas de potabilidad y de riego, pero con algunos componentes al límite (salinidad, As). Muy arriba en la cuenca: (Zorras 1) y (Zorritas) sobrepasan levemente los límites en As o boro de esas normas y podrían ser aprovechada para uso potable con restricciones. El agua de napa PUN-21, al norte de la cuenca, cumple con las normas de potabilidad y riego, con excepción del arsénico en leve exceso. Todas las demás aguas son salobres y muy lejos de las normas de potabilidad y riego.

CUADRO 4.4.3-1
CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN CUENCAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)

Cuenca	Caracterización Calidad de Aguas
Salar de Aguas Calientes 4	Ningún agua de aporte cumple con las normas chilenas de potabilidad o de riego. La menos mala es la vertiente fluyente (9) que contiene 4 veces más arsénico y 3 veces más boro que los máximos permitidos en las normas respectivas. Podría consumirse esta agua en caso de necesidad absoluta, pero no el agua de la principal vertiente (10) que contiene 10 veces más arsénico que la norma potable y una salinidad casi doble (1,6 g/l) que la vertiente (9): (0,85 g/l).
Laguna de La Azufrera	Ningún agua de aporte cumple con las normas chilenas de potabilidad o de riego. La vertiente difusa (LAZ-4) contiene 10 veces más boro y la vertiente fluyente (LAZ-1) 20 veces más arsénico que los máximos permitidos. Además, sus salinidades están 10 veces por encima de la norma de potabilidad

Fuente: DGA, 2009

4.5. INFORMACIÓN DISPONIBLE EN PROYECTOS PRESENTADOS AL SEA (O SEIA)

4.5.1. Generalidades

Los proyectos ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, deben cumplir con una seria de exigencias, entre las cuales se considera el monitoreo de la calidad del agua. En la Región de Antofagasta desde el año 2000 en adelante se han identificado 866 proyectos presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), de los cuales un número indeterminado incluye en sus Resolución de Calificación Ambiental (RCA) monitoreos de calidad de agua.

En el Cuadro 4.5.1-1 se presenta la estructura de la base de datos planteada para sistematizar la información disponible en el SEIA relacionada con calidad de agua.

CUADRO 4.5.1-1
CONTENIDO CATASTRO RCA CON MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

Identificador	Descripción
ID	Número que identifica del Proyecto
Nombre Proyecto	Nombre del Proyecto en el SEIA
Titular	Titular del Proyecto en el SEIA
Comuna	Comuna de ubicación del Proyecto
UTM	Coordenadas Norte, Este y Proyección de la ubicación del proyecto
Cota	Altitud del terreno donde se ubica el proyecto

CUADRO 4.5-1
CONTENIDO CATASTRO RCA CON MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA
(Continuación)

Identificador	Descripción
Fecha	Fecha de ingreso al SEIA o aprobación del Proyecto
Situación Actual	Estado del Proyecto en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
Tipo de Monitoreo	Se identifica si el monitoreo es en aguas superficiales o subterráneas
Periodicidad de la información	Se identifica cada cuanto tiempo debe ser realizados e informados los monitoreos
Parámetros	Se identifica los parámetros monitoreados según físico, químico, biológico y otros
Recepción de la información	Identifica el Servicio Público encargado de la recepción de la información
Disponibilidad de la información	Se identifica si el Servicio Público encargado de la recepción de la información tiene los datos sistematizados para su análisis
Web Expediente	Dirección de Internet donde está disponible la expediente del proyecto presentado al SEIA

Fuente: Elaboración propia

Esta sistematización plantea una serie de restricciones que es necesario evaluar, para determinar el real aporte de la sistematización generada, que se plantean a continuación:

- La información de los monitoreos de calidad de agua no es recepcionada por un solo servicio público (D.G.A y SERNAGEOMIN).

- Los servicios públicos encargados de la recepción de la información no tienen la información sistematizada.

- La Superintendencia de Medio ambiente (SMA), institución fiscalizadora encargada del seguimiento de las RCA, a fines del 2012 recién comienza a entrar en vigor con sus atribuciones fiscalizadoras y sancionatorias. Actualmente la SMA se encuentra en proceso de sistematización de la información derivada de las RCA.

- En el caso de la información sobre calidad de agua recepcionada por la Dirección General de Aguas a través del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos deben ser analizados.

Los proyectos analizados se encuentran en el Anexo 4-6 en el que se analizan los datos del Cuadro 4.5.1-1 para 18 proyectos con RCA que cuentan con fiscalización de

la DGA, que se encuentran disponibles en la base de datos del SEA y que deben monitorear parámetros de calidad de aguas.

La información en general no se encuentra de manera uniforme y no se aprecia (en la forma de presentación de la información) si está cumpliendo o no con los compromisos adquiridos en el proceso de evaluación ambiental. Tampoco se aprecia si el periodo de entrega de información cumple con el periodo comprometido.

En caso de no encontrar la información en el SEA, no se puede concluir que ésta no exista, ya que puede estar almacenada en la institución que ha recepcionado los informes.

Por estos motivos, la información presente en los proyectos presentados al SEA, tanto en la presentación como en el seguimiento de ellos, podría ser utilizada solamente mediante una validación y sistematización de ella, permitiendo caracterizar solo sectores parciales.

4.5.2. Planes de Alerta Temprana en la Región de Antofagasta

De acuerdo a la información proporcionada por la DGA, la Región tiene actualmente seis PAT y tres en proceso, los que se presentan en el Cuadro 4.5.2-1. Cabe señalar que los informes de PAT de la Región, elaborados por los titulares de la extracción, donde se expone la revisión de los monitoreos comprometidos, el modelo de simulación y la actualización periódica; fueron obtenidos por solicitud efectuada a la DGA, además de una búsqueda realizada en la plataforma electrónica del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y otras fuentes de información electrónica.

CUADRO 4.5.2-1
PLANES DE ALERTA TEMPRANA EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Nº	ACUÍFERO	CUENCA	TITULAR EXTRACCIÓN	PAT	INFORME PAT[9]
1	Calama	Río Loa	Compañía Contractual Minera Leonor (CCML): Minera El Tesoro Pozo P-10	Disponible	Sí
			Lomas Bayas	No	No
2	Pampa Puno	Río Loa	No hay extracciones	Disponible	Sí
3	Monturaqui – Negrillar -Tilopozo	Salar de Atacama	Minera Escondida Limitada (MEL)	Disponible	Sí
			Compañía Minera Zaldívar	Disponible	Sí [10]
			Sociedad Chilena del Litio (SCL)	Disponible	No
4	Elvira	Endorreica – Salar de Atacama – Vertiente Pacífico	CODELCO - Proyecto Gaby	Disponible	Sí
5	Los Morros	Endorreica – Salar de Atacama – Vertiente Pacífico	CODELCO - Proyecto Gaby	Disponible	Sí
6	Salar de Ollagüe	Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa	No hay extracciones	Disponible	-
7	Salar de Ascotán	Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa	Mina El Abra	En Proceso	-
8	Quebrada Pampa Perdiz	Fronteriza – Salar Michincha – Río Loa	S/I	En Proceso	-
9	Pampa Llalqui	Río Loa	S/I	En Proceso	-

S/I: Sin información

Fuente: Elaboración propia

[9] Corresponde al informe, que proporciona cada titular, donde se revisan los datos de los monitoreos comprometidos.
[10] La información de esta extracción se incluye en el informe de PAT proporcionado por MEL.

El análisis sobre la información de los PAT analizados se encuentra detallado en el acápite 6.3 del presente informe.

Sobre la información de calidad de aguas que se informa en los PAT, esta carece de uniformidad y no necesariamente se informa de todas las variables a monitorear comprometidas y en ocasiones carece del análisis de información pertinente, lo que conlleva a una menor posibilidad de generar las alertas pertinentes para limitar las variables que podrían afectar la calidad del agua en acuíferos o cursos de aguas.

Se estima que es necesario contar con la integración de la información en un sistema que permita visualizar la relación entre información de distintas empresas, para un mismo acuífero.

A pesar que los parámetros de calidad son medidos, no determinan niveles de alerta y por ende no generan acciones de respuesta, por lo que sobrepasar un parámetro podría –por ejemplo- generar riesgos para la población y sin embargo no condicionar ninguna respuesta por parte de la actividad con RCA.

No se conoce la reciprocidad entre las diversas agencias públicas receptoras de información y la empresa informante, tanto para el mejoramiento continuo de los informes generados, como para la gestión de las alertas y acciones que estas alertas deberían generar.

4.6. FUENTES EMISORAS SOBRE AGUAS SUPERFICIALES O SUBTERRÁNEAS

En la región existen fuentes emisoras directas o fuentes de riesgo potencial de que efluentes líquidos que pudieran afectar las aguas superficiales o subterráneas. Entre estas fuentes, se analizan pasivos mineros ambientales, depósitos de relaves y plantas de tratamiento de aguas servidas.

SERNAGEOMIN, realizó un estudio de catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas, en el año 2007[11] y que fue actualizado en el año 2010[12] a nivel nacional, que incluía tanto aquellas faenas que se encontraban desregularizadas como aquellas que no lo estaban. En ambos estudios concluye que en Chile existe una gran cantidad de faenas mineras abandonadas con el consiguiente volumen de pasivos ambientales mineros sin tratamiento.

Los relaves corresponden a una "suspensión de sólidos en líquidos, formando una pulpa, que se generan y desechan en las plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina" (extracto del Decreto 248 del año 2007). Los depósitos de relaves pueden ser embalses o tranques. La diferencia radica en que el tranque es aquel depósito de relaves donde el muro de contención está construido con el propio material del relave, mientras

[11] "Faenas Mineras Abandonadas y Paralizadas 2007. Análisis preliminar de riesgos.
[12] "Actualización de Faenas mineras abandonadas y paralizadas 2010. Análisis preliminar de riesgos.

que los embalses, para el muro de contención, ocupan material de empréstito, es decir roca y material particulado que se extrae previamente. La importancia de la mencionada distinción se relaciona con los peligros (menores en el primer caso) y una serie de otros comportamientos según el tipo de depósitos.

Los peligros asociados a depósitos de relaves son la inestabilidad física, la inestabilidad química y el impacto ambiental en el paisaje.

El colapso de los embalses y tranques, puede ocurrir durante una actividad sísmica, o bien, por exceso de agua en la cubeta que contiene los relaves. Este exceso puede provenir del mismo proceso de tratamiento o debido a la intensidad de las aguas lluvias o bien por acción de algún cauce de agua que por alguna razón fue desviada hacia la cubeta que contiene los depósitos, lo que puede causar el colapso del tranque de relaves.

Esto puede producir contaminación ambiental del suelo, el aire y el agua, tanto superficial como subterránea. La contaminación del suelo se produce en el sitio del acopio de material, pero a través del transporte por medio del aire y del agua, puede afectar suelos a una distancia variable. La contaminación del agua puede realizarse a través de aguas claras, que son liberadas de los tranques y posteriormente utilizadas para riego, tienen elementos como el arsénico –que produce cáncer-, metales pesados –como el plomo- y componentes químicos usados en diversos procesos. Otro medio de contaminación son los derrames de relaves, que ocurren con mucha frecuencia y la lixiviación que es la solubilización de los componentes sólidos de estos tranques, entre los cuales se encuentra el arsénico y otros metales pesados como el cobre, níquel molibdeno, etc., los que pasan las napas subterráneas o a las agua de riego, afectando finalmente la salud de las personas, animales y vegetales que se nutren de esas aguas o pastos adyacentes. En cuanto al aire, es igualmente importante, en este caso interesa lo relativo al tamaño de las partículas del depósito, así como también su composición química y su estructura mineralógica.

En la Figura 4.6-1 se puede ver la ubicación de estas potenciales fuentes de contaminación. La distribución en el espacio se caracteriza por concentrarse cerca de faenas mineras. La cuenca del río Loa concentra la mayor parte de depósitos y pasivos mineros cerca de Chuquicamata, cercana a la ciudad de Calama, donde también se encuentra la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). También hay concentración de pasivos ambientales en la zona de Tocopilla. En la figura también se destacan los pasivos ambientales que tienen un alto riesgo de contaminación, de flujo externo o colapso masivo, o de presentar problemas de seguridad. Esto es tratado con mayor detalle en el Capítulo 6 del presente estudio.

Ollague
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa
Rio Loa
María Elena
San Pedro de Atacama
Fronterizas Salares Atacama-Socompa
Meijllones
Costeras R.Loa-Q.Caracoles
Baquedano
Salar de Atacama
Quebrada Caracoles
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama
Antofagasta
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico
Quebrada la Negra
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar
Taltal
Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado

SIMBOLOGÍA

- Depósito RMM - Escoria
- Depósito RMM - Esteriles
- Depósito RMM - Ripios de Lixiviación
- Depósito - Espesados
- Depósito - Embalses
- Depósito - Tranque de Relaves
- Depósito - Filtrados

- PTAS Calama Tratacal

Pasivos Mineros Ambientales

- Alto riesgo
- Mediano o bajo riesgo

- Límite Regional
- Capital regional
- Capitales comunales
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares

Modelo de Elevación Digital
msnm
Max : 6637
Min : 1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

FUENTES EMISORAS
SOBRE AGUAS SUPERFICIALES O SUBTERRÁNEAS

Fuente Cartográfica: Instituto Geografico Militar, 2009 Cartografía Regular, 1:250.000 **Fuente Témática:** SERNAGEOMIN. 2010-2012, ARRAU INGENIERÍA. 2012	**ESCALA** 1:1.200.000 0 5 10 20 30 40 Km	**Jefe División** Adrian Lillo Z. **Inspector Fiscal** Norberto Portillo
Referencia Cartógrafica: Proyección UTM DATUM WGS84 HUSO 19 Sur	**Fecha:** Diciembre 2012	*FIGURA 4.6-1*

Tal como se aprecia en la figura, las fuentes emisoras sobre aguas superficiales y subterráneas corresponden a PTAS, depósitos de relaves y los pasivos ambientales. Las características del tipo de agua efluente de estas fuentes se presenta a continuación.

4.6.1. Aguas Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

Los efluentes de PTAS que descargan a cursos de agua superficiales deben dar cumplimiento al DS 90/2000 del Ministerio Subsecretaría General de la Presidencia, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Es el caso de la PTAS ubicada en Calama, que es la única de la región que no emite sus efluentes a Aguas Marinas.

Los límites máximos permitidos por la citada norma se presentan en el Cuadro 4.6.1-1.

CUADRO 4.6.1-1
LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES

Contaminantes	Unidades	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	5
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	0,75
Cadmio	mg/L	Cd	0,01
Cianuro	mg/L	CN^-	0,20
Cloruros	mg/L	Cl^-	400
Cobre total	mg/L	Cu	1
Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100mL	Coli/100 mL	1000
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr^{6+}	0,05
DBO5	mg/L	mg 0_2/L	35*
Fósforo	mg/L	P	10
Fluoruro	mg/L	F^-	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10
Hierro disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1

CUADRO 4.6.1-1
LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES
(Continuación)

Contaminantes	Unidades	Expresión	Límite máximo permitido
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C_6OHCl_5	0,009
pH	Unidad	pH	6,0 – 8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80*
Sulfatos	mg/L	SO_4^{2-}	1000
Sulfuros	mg/L	S^{2-}	1
Temperatura	Cº	Tº	35
Tetracloroeteno	mg/L	C_2Cl_4	0,04
Tolueno	mg/L	$C_6H_5CH_3$	0,7
Triclorometano	mg/L	$CHCl_3$	0,2
Xileno	mg/L	$C_6H_4C_2H_6$	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

* = para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas, no se considerará el contenido de algas, conforme a la metodología descrita en el punto 6.6.
Fuente: DS 90/2000

4.6.2. Aguas Efluentes de Tranques de Relave

En el Cuadro 4.6.2-1 se presenta información sobre rangos medidos y promedio de concentraciones de aguas de relave para conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), Razón de absorción de sodio (RAS), cloruro(Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y bicarbonato (HCO^{3-}) (Universidad de Chile - SAG, 2005[13]).

[13] Universidad de Chile – SAG, 2005. Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para Uso en Riego.

CUADRO 4.6.2-1
CONCENTRACIONES DE CALIDAD DE AGUAS DE RELAVE

	Unidad	Rango (min-max)	Promedio
CE	(mmhos/cm)	591 – 796	712
Ca	(meq/l)	4,84 – 5,99	5,42
Mg	(meq/l)	<0,01 – 0,07	0,04
Na	(meq/l)	0,70 – 0,87	0,78
RAS		0,36 – 0,50	0,43
Cl-	(meq/l)	0,23 – 0,39	0,31
SO_4^{2-}	(meq/l)	4,33 – 6,00	5,17
HCO^{3-}	(meq/l)	0,34 – 0,70	0,52

Fuente: Universidad de Chile – SAG, 2005.

En el Cuadro 4.6.2-2 se presentan los valores máximos obtenidos en la caracterización de las aguas de relave y los resultados comparados con la NCh 1.333 de aguas para riego (se destacan aquellos que superan la norma).

CUADRO 4.6.2-2
CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LAS AGUAS DE RELAVE

Parámetro Químico	Agua de Relave (ppm)
Cu Total	0,13
Cu Disuelto	<0,05
Mo Total	0,7
Mo Disuelto	0,7
Mn Total	0,06
Mn Disuelto	<0,05
Zn Total	0,12
Zn Disuelto	<0,02
Fe Total	2,5
Fe Disuelto	<0,1
TSS	<10
TSD	596
SO_4^{2-}	386
Cl^-	14
K^+	62
pH	9,9

Fuente: Universidad de Chile – SAG, 2005.

Estas características no permiten un uso directo en riego y podría alterarse la calidad del cuerpo receptor. Estos aportes podrían considerarse como contaminación difusa, ya que es muy difícil determinar el origen cuando se encuentran cercanos, especialmente en el agua subterránea, donde se requiere efectuar modelaciones complejas para simular el comportamiento de los contaminantes.

4.7. CAUDALES DE DILUCIÓN ESTABLECIDOS EN CURSOS SUPERFICIALES

Según lo informado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, no se cuenta con caudales de dilución en cursos superficiales, ya que no se registran Resoluciones SISS de Monitoreo para descargas de RILes en cursos superficiales y/o aguas subterráneas. Los establecimientos industriales existentes disponen de descargas en el medio marino y cuentan con resoluciones de DIRECTEMAR para el Programa de Monitoreo.

4.8. VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

Según el DS 46/2002 Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas, establece que la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero dice relación con la velocidad con la que un contaminante puede alcanzar hasta la zona saturada del subsuelo. Una mayor rapidez de migración de la contaminación a través de la zona no saturada del subsuelo será entendida como mayor vulnerabilidad de éste.

En la región no hay una definición sobre la vulnerabilidad de los acuíferos, y se debe estudiar el mejor método para esta definición cuando ello ocurra, sin embargo existe una protección legal sobre los acuíferos que alimentan vegas y bofedales como una consecuencia de la sobrexplotación de ellos y los daños producidos a los sistemas de vegas y bofedales. Así, en el año 1992 se modifica el Código de Aguas de 1981, incorporando artículos de protección de los humedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta (artículos 58 y 63). Posteriormente, en el año 1996 la Dirección General de Aguas a través de la Resolución 909 prohibió la explotación de los acuíferos que alimentaban estos sistemas, con lo que se protegen un total de 167 humedales en la Región de Antofagasta.

Dada la dinámica de estos ecosistemas, que tienen límites variables y cambiantes en el tiempo, en el año 2001 se decide realizar un estudio de actualización de los límites de los acuíferos alimentadores, de forma participativa con las comunidades indígenas. El resultado de este estudio se traduce en la Resolución DGA 529/2003, en donde se indican los nuevos límites de los acuíferos incorporando nuevos sitios al listado de vegas y bofedales protegidos en la Región de Antofagasta, aumentando con ello el área protegida de 2.798 km^2 a 5.149 km^2.

En el año 2004, la Dirección General de Aguas y la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), establecen un convenio de colaboración, entre cuyas actividades se encontraba una nueva actualización de los límites de los acuíferos que alimentan vegas y bofedales en la Región de Antofagasta. De este trabajo, realizado por profesionales de ambas instituciones y con información aportada por las comunidades

indígenas, se actualiza el límite de los acuíferos y el área de protección alcanza finalmente los 5.323 km^2.

En consideración a la extensión del listado de humedales protegidos a través de las resoluciones anteriormente señaladas y se presenta de forma gráfica la distribución de estos y los acuíferos alimentadores que se pueden apreciar en la Figura 6.4.4-1 del Capítulo 6, donde este tema se trata en mayor profundidad.

Un aspecto que no se toma en cuenta en la definición de vulnerabilidad del acuífero es el estado actual del acuífero. Tal como se aprecia en la Figura 4.4.2.2-1, hay amplios sectores acuíferos en la cuenca del Loa donde la calidad del agua se ha clasificado como intratable, donde un mayor aporte de contaminantes podría venir a acrecentar el problema y aumentar el riesgo en acuíferos vecinos que tienen una calidad excepcional, buena o regular.

En el Cuadro 4.4.3-1 se aprecia que al año 2009 no existía información suficiente para caracterizar las aguas de reservas subterráneas de la cuenca del Salar de Atacama, cosa que no ha variado hasta hoy.

4.9. CONCLUSIONES

Respecto de la evaluación de la calidad de los recursos hídricos, se puede concluir lo siguiente.

El exceso de ciertos parámetros de calidad en las aguas superficiales o subterráneas produce efectos nocivos en la producción agrícola y en la salud pública. El origen de este exceso puede ser natural o antrópico.

En la cuenca del río Loa la calidad de base es de origen natural, y es clasificada en Clase 3 (regular) hasta la junta con el río Salado, luego de eso se clasifica en Clase 4. Un parámetro que forman parte de la problemática es la conductividad eléctrica, que demuestra que el contenido salino aumenta hacia aguas abajo y sobrepasando los valores sugeridos por la norma de riego en todo el largo de su recorrido. Otro parámetro que supera la norma de riego es el Arsénico, que puede ser bioacumulado por vegetales y la exposición prolongada tiene efectos severos sobre la salud de la población. Los niveles de Boro también son altos y superan la norma en todos los datos analizados, provocando efectos adversos en cultivos sensibles. También se presentan altos niveles de cloruros en todo el río. De importancia resultan los altos valores de Mercurio, ya que es bioacumulable y también presenta altos riesgos para la población. Respecto de los sulfatos, se presentan valores que superan la norma de riego a partir de la estación río Loa en Finca; según el análisis efectuado en los diagramas de Stiff los sulfatos cálcicos predominan por sobre otras sales.

Existe un peligro potencial debido a los altos niveles de contaminantes como el mercurio y el arsénico. Otro peligro potencial es la removilización de contaminantes asociado a eventos puntuales, ya que estos se acumulan como sedimentos en el lecho del río y en los tranques.

En cuanto al agua potable en la cuenca del río Loa, esta posee altos niveles de cloruro, en las tres estaciones estudiadas.

Debido a la complejidad de los problemas de calidad de aguas presentes en el río Loa, se debe complementar la red de medición en el sector aguas abajo de la junta con El Salvador. Además se sugiere tomar muestras en otros periodos del año, que faciliten la comprensión de fenómenos como el invierno altiplánico en la calidad del agua, siendo mejor aun incluir una red de vigilancia continua del río, midiendo parámetros con instrumentos que permitan su medición automática. Además se deben medir parámetros de relevancia en los sectores donde se presentan problemas ambientales significativos, como lo son los sectores del tranque Talabre y de Quillagua.

En la cuenca del Salar de Atacama uno de los valores críticos es la conductividad eléctrica que supera la norma de riego en la totalidad de las estaciones estudiadas. El arsénico también es superado en todas las estaciones. El boro se encuentra en clase 4 en los ríos Vilama, San Pedro y la quebrada Camar. El cloruro es alto en el río San Pedro y en el río Vilama y en todas las estaciones estudiadas se supera el valor de la norma de riego. Los parámetros que superan la norma en general se explican por procesos naturales de contaminación, más que por la influencia de factores antrópicos.

Sin embargo se debe destacar que para la cuenca del Salar de Atacama, la red de medición de la calidad del agua debe densificarse, ya que las estaciones se encuentran disgregadas en la cuenca, sin permitir hacer análisis de continuidad por cursos de agua y de los efectos de caudales afluentes.

Las normas secundarias de calidad de aguas se encuentran en proceso de elaboración en distintas etapas. Ellas deben ser consultada a las Comunidades Indígenas presentes en el territorio, debido a la vigencia del Convenio 169 de la OIT.

Los acuíferos deben ser clasificados según su uso, ya que de esto dependerán los umbrales que podrían aceptarse en cuanto a la calidad del agua, ya que el agua de beber representa una calidad mayor que para los otros usos.

La red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas debe ampliarse en ambas cuencas estudiadas y se debe estudiar la vulnerabilidad de los acuíferos, según una metodología adecuada a las condiciones ambientales de la región.

La calidad del agua en los acuíferos de la cuenca del río Loa presentan mala calidad y las aguas se han clasificado en su mayoría (referido a su extensión superficial) como intratable, lo que se refiere a la posibilidad de atenuar la contaminación en ellos.

La información de calidad de agua en el SEA y en los PAT no se presenta de manera uniforme y no se aprecia el nivel de cumplimiento de los compromisos adquiridos. La forma de revisión y almacenamiento de la información no permiten una revisión fácil y expedita por parte de la ciudadanía, pudiendo presentarse toda la información vía web.

En los PAT no hay un nivel de decisión que tenga que ver con los parámetros de calidad de aguas, lo que transforma las mediciones solo en información que no se incluye en la toma de decisiones.

Las fuentes emisoras de contaminación sobre aguas superficiales o subterráneas corresponden principalmente a pasivos ambientales y depósitos de relaves, muy cercanos a cursos de agua y/o que no tienen la adecuada impermeabilización del suelo para evitar su infiltración a la napa.

CAPÍTULO 5

DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD Y COBERTURA DE LA INFRAESTRUCTURA

5. DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD Y COBERTURA DE LA INFRAESTRUCTURA

5.1. INTRODUCCIÓN

En este acápite se presenta una caracterización de la infraestructura hídrica existente en la cuenca. El análisis se presenta para la infraestructura relativa al agua potable urbana, riego, redes de monitoreo hidrometeorológica e infraestructura de control de crecidas.

5.2. DIAGNÓSTICO DE CAPACIDAD

5.2.1. Infraestructura de Agua Potable Urbana

En lo que respecta al agua potable urbana, se tiene que los principales centros urbanos abastecidos por la empresa Aguas de Antofagasta S.A. Esta empresa cuentacon dos sistemas de abastecimiento de agua, claramente identificados. Elprimero, denominado Sistema Norte, abastece las demandas de las comunas deAntofagasta, Calama, Tocopilla y Mejillones. Por otra parte, el segundo se denomina Sistema Sur y cubre los requerimientos de la comuna de Taltal.

El Sistema Norte corresponde al conjunto de obras de captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución, que reúne las aguas superficiales provenientes de las captaciones de Lequena, Quinchamale y Toconce, para abastecer las ciudades de Antofagasta, Calama, Tocopilla, Mejillones y algunas pequeñas ciudades mineras de la pampa. El sistema antes descrito está conformado por tres captaciones, ubicadas en la zona alta de la hoyadel Río Loa, denominadas Toconce, Lequena y Quinchamale, que captan aguas crudas de los ríos Toconce y Loa, respectivamente, las que son conducidas hasta la Planta de Tratamiento de Cerro Topater en Calama. El Sistema de Producción Norte cuenta también con la captación superficial de San Pedro, que pertenece a CODELCO. La Aducción San Pedro y los derechos de 50 L/s fueron cedidos, según Convenio con CODELCO-Chile del 10/01/1995. Estas aguas puedenser ingresadas indistintamente a las Aducciones Lequena y/o Quinchamale, mediante unas interconexiones hidráulicas que se construyeron para este propósito.

Por otra parte, se cuenta con derechos de aprovechamiento de aguas del Río Loa porun volumen total de 2.074.000 m³ anuales, los que pueden ser extraídos en la captación superficial situada en el Río Loa, en el sector de Puente Negro y que son impulsadas a la Planta de Tratamiento Cerro Topater de Calama.

Desde el Estanque de Mezcla de las aguas crudas de la Planta de Tratamiento de CerroTopater nace la Aducción Calama - Antofagasta, que conduce estas aguas crudas hasta las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de Salar del Carmen.

Finalmente, desde los Estanques de Regulación de Agua Potable de la Planta de Tratamiento Cerro Topater nace la Aducción Calama -Tocopilla.

El Sistema Norte, apartir del año 2003,también se abastece de una planta desaladorade agua de mar, que tiene unacapacidad de producción de 600 L/s y entregaactualmente el agua potable aproximadamente a un 60% de la ciudad de Antofagasta.

Por su parte, el Sistema Sur se abastece de agua subterránea que capta a través de cinco sondajes ubicados en el sector de Agua Verde. El agua proveniente delos sondajes es almacenada en dos estanques desde donde es transportada hacia la ciudad de Taltal para su tratamiento y posterior distribución.

El Sistema Sur, a partir del año 2008, también se abastece de una planta desaladora de aguade mar, que tiene una capacidad de producción de 5 L/s y entrega el agua potable a una parte de la zona baja de la ciudad de Taltal.

En el Cuadro 5.2.1-1 se resume brevemente la infraestructura de producción existente.

La información antes descrita fue obtenida de los planes de desarrollo de Superintendenciade Servicios Sanitarios (SISS).

CUADRO 5.2.1-1
INFRAESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN

Tipo	Cantidad
Captaciones Superficiales	7
Plantas Desaladoras	1
Aducciones	10
Impulsiones	10
Estanques	9
Plantas Elevadoras	5
Plantas de Tratamiento	3

Fuente: Elaboración propia a partir antecedentes Aguas Antofagasta S.A.

5.2.2. Infraestructura Para Riego

La infraestructura de riego en la Región se concentra en las comunas de Calama y San Pedro de Atacama, tal como se indica en el estudio "Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección" (CNR- Ayala, Cabrera y Asociados LTDA., 2003), existen 220 pozos en la Región, de los cuales 48 se destinan a riego. Además, el mismo estudio describe brevemente la infraestructura de riego por sectores, que se sintetiza enel Cuadro 5.2.2-1, siendo el Río Loa la fuente de recurso hídrico de todos los canales señalados. Se hace notar que no existen fuentes de información actualizadas. En todo caso la información provista se estima adecuada, ya que en términos generales coincide con lo enunciado en el "Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 202. Región de Antofagasta" del año 2011. La información consignada en este informe se presenta en el Cuadro 5.2.2-2.

En la Figura 5.2.2-1 se muestra la ubicación de la infraestructura de riego presente en la Región, recopilada de la información disponible en formato SIG del Sistema de Información Integrado de Riego (SIIR), y las zonas agrícolas según el Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF –CONAMA y BIRF, 1997) y del mismo SIIR. Se observa que dichas obras se concentran en las comunas de Calama y San Pedro de Atacama, las comunas con mayor superficie regada (ver Cuadro 3.3.3.3-1).

CUADRO 5.2.2-1
CANALES POR SECTORES DE RIEGO EN LA REGIÓN

Sector	Nº Canales	Capacidad (L/s)	Estado	Superficie Regada (ha)	Observaciones
Oasis Lasana	8	100 – 300	Sin revestimiento	100	Distribución canales: Ribera derecha: Quichira, San Antonio, Quilchire 1 y Los Perales. Ribera izquierda: Quilchire 2, Buen Retiro, Los Ramírez y Pana.
Oasis ChiuChiu	4 (matrices)	1000 (matrices)	Existen obras de revestimiento con un total de 1700 m de obra de distribución	Sin información	Distribución canales: Ribera derecha: La Banda y Hrepic Ribera izquierda: Grande y Del Pueblo. Además hay una red de canales derivados, aforadores y unidades de control.
Calama	11	Sin información	La red de canales combina canales antiguos, que debieran estar sin uso, con canales revestidos más recientes.	1.000	La superficie bajo canal supera las 1600 ha. Distribución canales principales: Ribera izquierda: Canal Cardoso, Canal Banda Radie, Canal Topater, Canal Núñez y Canal La Prensa. Ribera derecha: Canal Tronco, Canal San Juan, Canal Coco-La Villa, Canal Berna-Lalay, Canal Sur y Dupont.

Fuente: Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. CNR- Ayala, Cabrera y Asociados LTDA. (2003)

CUADRO 5.2.2-2
DETALLE DE CANALES POR SECTORES DE RIEGO EN LA REGIÓN

TERRITORIO/LOCALIDAD	CANALES EXISTENTES (m)	SUPERFICIE BAJO RIEGO (ha)
1. ADI ALTO LOA		
LASANA	21.052	54
CHIU-CHIU *	27.900	176
TOCONCE	6.204	26
TURI *	10.425	50
AYQUINA	1.561	4
CASPANA *	9.382	59
CUPO	11.114	19
TAIRA	1.500	5
OLLAGÜE	2.750	7,7
SUBTOTAL	**91.888**	**401**
2. ADI ATACAMA LA GRANDE		
SAN PEDRO DE ATACAMA Y AYLLUS	100.000	1.635
RÍO GRANDE	36.500	49
TOCONAO	10.500	92
TALABRE	5.200	15
CAMAR	5.200	15
SOCAIRE	9.800	220
PEINE	4.000	28
MACHUCA	5.000	20
SUB TOTAL	**176.200**	**2.074**
3. VALLE DE CALAMA Y OASIS DE QUILLAGUA		
VALLE DE CALAMA	53.571	1.113
OASIS DE QUILLAGUA	9.100	150
SUBTOTAL	**62.671**	**1.263**
4. SECTOR COSTA		
LA CHIMBA	S/I	84
KM 12	S/I	10
ESTACIÓN URIBE	S/I	2,5
SUBTOTAL	**-**	**97**
TOTAL REGIONAL	**330.759**	**3.834**

Fuente: DOH Antofagasta – CNR Macrozona Norte

De acuerdo a la información disponible en la DOH, la Región cuenta con el embalse Conchi, situado en el río Loa, a 3.000 m.s.n.m. aproximadamente y es la principal obra de riego del sector ChiuChiu. Comenzó su operación en agosto de 1975, y dispone de un volumen de regulación de 22 hm³. En los últimos años el embalse presenta un volumen con una tendencia al descenso, encontrándose con cerca del 90% de su capacidad máxima. La información anterior también queda complementada con la información presentada en el Plan Regional de Infraestructura según se resume en el Cuadro 5.2.2-3.

CUADRO 5.2.2-3
INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Obra Riego	Capacidad (m^3)	Sistema Regulado	Territorio y Sectores y/o Comunidades que involucra
Embalse Conchi	22.000.000	Río Loa	Lasana, Chiuchiu, Valle de Calama y Oasis de Quillagua
Estanques Guachar y Solor	25.000	Río San Pedro	San Pedro de Atacama
Tranque Sloman	Prácticamente cero	Río Loa	Quillagua

Fuente: DOH Antofagasta

Por último, se presenta en el Cuadro 5.2.2-4 la información de obras prediales e intraprediales financiadas con la Ley 18.450 de Fomento al Riego.

Ollague
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa
Rio Loa
EMBALSE CONCHI
María Elena
San Pedro de Atacama
Fronterizas Salares Atacama-Socompa
Mejillones
Costeras R.Loa-Q.Caracoles
Baquedano
Quebrada Caracoles
Salar de Atacama
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama
Antofagasta
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico
Quebrada la Negra
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar
Taltal
Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado

SIMBOLOGÍA

- Embalses
- Canales
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Límite Regional
- Capital regional
- Capitales comunales

Modelo de Elevación Digital
msnm
Max : 6637
Min : 1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas
Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFRAESTRUCTURA DE RIEGO

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Témática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 5.2.2-1

CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
1993	Comunidad De Aguas Zapar	San Pedro de Atacama	341,55	11,9	E	Organización de Pequeños
1993	Comunidad De Aguas De San Pedro	San Pedro de Atacama	4426,37	706	E	Organización de Pequeños
1993	Comunidad De Aguas Soncor	San Pedro de Atacama	1267,49	9	E	Organización de Pequeños
1994	Comunidad De Aguas De Vilaco	Calama	667,97	21,7	E	Organización de Pequeños
1994	Comunidad De Aguas TuryAyquina	Calama	6829,82	69,3	E	Organización de Pequeños
1999	ManelUrcisinio Bravo Bravo	San Pedro de Atacama	13416,17	962,5	E	Organización de Usuarios
1999	ManelUrcisinio Bravo Bravo	San Pedro de Atacama	10280,11	957,2	E	Organización de Usuarios
1999	ManelUrcisinio Bravo Bravo	San Pedro de Atacama	2702,98	895,5	E	Organización de Usuarios
2002	ManelUrcisinio Bravo Bravo	San Pedro de Atacama	14115,65	472,6	E	Organización de Usuarios
2002	ManelUrcisinio Bravo Bravo	San Pedro de Atacama	22200,69	481,3	E	Organización de Usuarios
2002	ManelUrcisinio Bravo Bravo	San Pedro de Atacama	7462,05	384,2	E	Organización de Usuarios
2004	Comunidad Indígena Atacameña de Ayquina-Turi	Calama	5899,81	31,1	E	Organización de Pequeños
2004	María Luisa Reta Selti	San Pedro de Atacama	144,82	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2004	Irma TejerinaTejerina	San Pedro de Atacama	116,02	0,1	I	Pequeño Productor Agrícola
2004	Luis Modesto Escalante Pistan	San Pedro de Atacama	146,19	4,4	I	Pequeño Productor Agrícola
2004	María Inés Alvarado	San Pedro de Atacama	163,9	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2004	María Antonieta Costa Junqueira	San Pedro de Atacama	210,67	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2004	Modesta Chinchilla Chinchilla	San Pedro de Atacama	145,21	1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2004	Sucesión Martínez Agüero	San Pedro de Atacama	195,02	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2004	Segismundo Ramos Alvarez	San Pedro de Atacama	121,2	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Comunidad Indígena Atacameña de Caspana	Calama	3413,91	18,2	E	Organización de Pequeños
2005	Eduardo Coopman Moreno	San Pedro de Atacama	486,47	11,4	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Felisa Morales Barrera	San Pedro de Atacama	201,28	3	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Ricardo Francisco Vilca Solis	San Pedro de Atacama	373,85	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Ernesto Roberto AlvarezAlvarez	San Pedro de Atacama	143,62	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Genovaria Ramos Ramos	San Pedro de Atacama	262,11	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Laura Aglaee Segovia Henríquez	San Pedro de Atacama	149,66	0,1	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Lorenzo AlmacioSandón Ramos	San Pedro de Atacama	172,53	0,1	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Luis Nelson Chinchilla Ossandón	San Pedro de Atacama	199,11	0,6	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Morelia Angélica Angulo Ramos	San Pedro de Atacama	163,11	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Anjel Eugenio Condori Cruz	San Pedro de Atacama	404,69	0,6	I	Pequeño Productor Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2005	Andrea Cruz Vasquez	San Pedro de Atacama	92,7	0,1	I	
2005	Petronila Flores Ildefonso	San Pedro de Atacama	105,97	0,1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2005	Felisa Mamani Bravo	San Pedro de Atacama	262,68	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Timoteo Mondaca Cruz	San Pedro de Atacama	224,71	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Marcela Petrona Ramos Colque	San Pedro de Atacama	267,67	0,4	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Herminia Reyes Reyes	San Pedro de Atacama	171,95	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Cristina María Sandon Ramos	San Pedro de Atacama	99,54	0,1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2005	Elsa Carlina Segovia Henríquez	San Pedro de Atacama	185,67	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2005	Ernesto Leonel Segovia Henríquez	San Pedro de Atacama	172,78	0,2	I	Pequeño Empresario Agrícola
2005	Jacinto Mario Ramos Celti	San Pedro de Atacama	288,36	2,4	I	Pequeño Empresario Agrícola
2005	Marta Beatriz Servantes Ramírez	San Pedro de Atacama	227,97	0,1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2006	Ana María Leiva Flores	San Pedro de Atacama	141,64	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2006	Mamerta Flores Ildefonso	San Pedro de Atacama	197,53	0,2	I	Pequeño Productor Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2006	Elsa Nemesia Moro Maizares	San Pedro de Atacama	187,29	0,1	I	Pequeño Productor Agrícola
2006	Juan Emilio Sota Aguayo	San Pedro de Atacama	195,76	0,7	I	Pequeño Empresario Agrícola
2006	Germán Nicasio Aguilar Burgos	San Pedro de Atacama	220,41	0,1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2006	Nancy Flora Alvarado Alvarado	San Pedro de Atacama	458,76	0,5	I	Pequeño Empresario Agrícola
2006	María Alejandra López Mc. Lean	San Pedro de Atacama	591,64	0,4	I	Pequeño Empresario Agrícola
2006	Gregorio Humberto Ossandón Bravo	San Pedro de Atacama	1121,68	0,4	I	Pequeño Empresario Agrícola
2006	Daniel Colque Choque	San Pedro de Atacama	450,03	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Luciano CarpanchaySiares	San Pedro de Atacama	283,73	0,3	I	Pequeño Empresario Agrícola
2007	Petronila Flores Ildefonso	San Pedro de Atacama	132,64	0,1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2007	María Simona Flores	San Pedro de Atacama	115,52	0,1	I	Pequeño Empresario Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2007	Héctor Hernán García Mamani	San Pedro de Atacama	948,22	1,3	I	Pequeño Empresario Agrícola
2007	Elvira Ramos Cruz	San Pedro de Atacama	511,64	0,26	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Elsa Ester Miranda Ramos	San Pedro de Atacama	261,28	0,12	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	MeybolMilenka García Mostajo	San Pedro de Atacama	468,59	0,37	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Eleocadio Flores Cruz	San Pedro de Atacama	368,71	0,26	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Elsa Carlina Segovia Henríquez	San Pedro de Atacama	326,73	0,28	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Elvis Hernan Ramos Ramos	San Pedro de Atacama	611,67	0,16	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Verónica Susana Ramos Yáñez	San Pedro de Atacama	467,35	0,42	I	Pequeño Productor Agrícola
2007	Leonarda Reina Colque Choque	San Pedro de Atacama	335,67	0,21	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Ada Teresa AramayoConzue y otros	San Pedro de Atacama	899,69	7,4	I	Pequeño Empresario Agrícola
2008	Roberto Nolberto Mamani Bravo	San Pedro de Atacama	813,82	1,5	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Darío Primitivo Rojas Vilte	San Pedro de Atacama	81,73	0,6	I	Pequeño Empresario Agrícola
2008	Sara Ventura Mamani Bravo	San Pedro de Atacama	1012,09	1,55	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Julio Severo Ramos Ramos	San Pedro de Atacama	307,5	0,14	I	Pequeño Productor Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2008	Pedro Segundo Leiva Flores	San Pedro de Atacama	523,39	0,63	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Carlos Sebastián Vega Vilches	San Pedro de Atacama	1049,11	1,2	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Samuel Ramiro Vega Vilches	San Pedro de Atacama	974,29	0,6	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Mercedes Paniagua Tejerina	San Pedro de Atacama	1049,13	0,7	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Juan Alberto Ramos Cruz	San Pedro de Atacama	363,99	0,5	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Estanislao Lique	San Pedro de Atacama	1039,41	0,95	I	Pequeño Productor Agrícola
2008	Gabriela Fernanda Rodríguez Moraleda	San Pedro de Atacama	558,84	0,3	I	Pequeño Empresario Agrícola
2008	Juan Emilio Sota Aguayo	San Pedro de Atacama	625,52	1,4	I	Pequeño Empresario Agrícola
2009	Raúl Soza Flores	San Pedro de Atacama	488,4	0,14	I	Pequeño Productor Agrícola
2009	Egalisa Cruz	San Pedro de Atacama	1089,61	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2009	Jorge Eduardo Ossandón Flores	San Pedro de Atacama	1372,51	0,5	I	Pequeño Productor Agrícola
2009	Mamerta Flores Ildefonso	San Pedro de Atacama	1128,62	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2009	Alejandrina Flores Ildefonso	San Pedro de Atacama	930,92	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2009	Marcelina Juana SozaCarpanchay	San Pedro de Atacama	616,24	0,4	I	Pequeño Productor Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2009	IldaFloriana Ramos Cruz	San Pedro de Atacama	1362,03	0,51	I	Pequeño Productor Agrícola
2009	Mauricio Tomás YuflaAyavire	San Pedro de Atacama	818,11	0,43	I	Pequeño Empresario Agrícola
2009	Willy Orlando Reyes Sandon	San Pedro de Atacama	2496,99	0,84	I	Pequeño Empresario Agrícola
2009	Teresa Del Carmen Zepeda Castillo	San Pedro de Atacama	1178,05	1	I	Pequeño Empresario Agrícola
2010	Sociedad Agrícola Administradora De Aguas Servidas Tratadas De Calama Poniente	Calama	15206,25	22,7	E	Organización de Pequeños
2010	Antonio PradelAyavire Cruz	San Pedro de Atacama	751,94	0,3	I	Pequeño Productor Agrícola
2010	Segundo David Cruz Puca	San Pedro de Atacama	600,67	2	I	Pequeño Productor Agrícola
2010	Sonia RegulinaSoza Segovia	San Pedro de Atacama	1382,98	0,4	I	Pequeño Productor Agrícola
2010	Erica Alicia Reyes Sandon	San Pedro de Atacama	331,54	0,1	I	Pequeño Productor Agrícola
2010	Ana Flores Cruz	San Pedro de Atacama	645,31	3	I	Pequeño Empresario Agrícola
2010	Gregorio Ildefonso Flores	San Pedro de Atacama	1069,39	1,3	I	Pequeño Empresario Agrícola
2010	José Rufino Ramos Cruz	San Pedro de Atacama	722,31	2,5	I	Pequeño Empresario Agrícola

**CUADRO 5.2.2-4
INFRAESTRUCTURA FINANCIADA POR LA LEY 18.450
(Continuación)**

Año	Beneficiario	Comuna	Costo (UF)	Superficie Física (ha)	Tipo	Estrato
2010	Osvaldo Humberto Muñoz Sepúlveda	San Pedro de Atacama	963,68	0,9	I	Pequeño Empresario Agrícola
2010	Petronila Flores Ildefonso	San Pedro de Atacama	162,1	0,58	I	Pequeño Empresario Agrícola
2011	Ana María Leiva Flores	San Pedro de Atacama	230,19	0,11	I	Pequeño Productor Agrícola
2011	Modesta Juana Chinchilla Chinchilla	San Pedro de Atacama	1208,09	3	I	Pequeño Empresario Agrícola
2011	Elmira Celinda Rodríguez Barrera	San Pedro de Atacama	716,67	2,02	I	Pequeño Empresario Agrícola
2011	Mauricio Tomás YuflaAyavire por sí y en representación de Willy Orlando Reyes Sandón, Nelly Esperanza Herrera Sandón, Juana Guadalupe Corante Medalla y Arturo Modesto Corante Medalla	San Pedro de Atacama	2491,95	9,44	I	Pequeño Empresario Agrícola
2011	Felisa López Ramos	San Pedro de Atacama	338,42	1,2	I	Pequeño Empresario Agrícola
2011	Ernesto Segundo Pérez Flores	San Pedro de Atacama	911,41	1	I	Pequeño Empresario Agrícola

Fuente: Comisión Nacional de Riego

5.2.3. Redes de Control

La DGA realiza la caracterización y medición del recurso hídrico en la región, mediante el uso de una red de control compuesta por 5 componentes: Red de Control Fluviométrico, Red Meteorológica, Red de Calidad de Aguas Superficiales, Red de Control de Niveles de Aguas Subterráneas, y Red de Sedimentos. En las Figuras 5.2.3-1 a 5.2.3 4 se muestran las redes de control, incluyendo estaciones vigentes y suspendidas, para la red fluviométrica, meteorológica, de calidad de aguas superficiales y de niveles de aguas subterráneas, respectivamente.

Posteriormente, se presenta en el Cuadro 5.2.3-1, un resumen con el número de estaciones DGA vigentes por cuenca.

CUADRO 5.2.3-1
CANTIDAD DE ESTACIONES VIGENTES REDES DE CONTROL

Cuenca	Fluviométricas	Metereológicas	Calidad de Agua Superficial	Sedimentos	Niveles Estáticos
Fronterizas Salar Michincha - Río Loa	-	2	-	-	-
Rio Loa	23	21	15	3	8
Costeras Río Loa - Quebrada Caracoles	-	1	1	-	-
Fronterizas Salares Atacama-Socompa	-	-	-	-	-
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	-	-	-	-	-
Salar de Atacama	9	5	4	-	-
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	-	-	-	-	-
Quebrada Caracoles	-	**3**	1	-	-
Quebrada la Negra	-		-	-	-
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	-	2	-	-	21
Total	**32**	**34**	**21**	**3**	**29**

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA

Rio Loa

Fronterizas Salar Michincha-R.Loa

Fronterizas Salares Atacama-Socompa

Costeras R.Loa-Q.Caracoles

Quebrada Caracoles

Salar de Atacama

Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama

Quebrada la Negra

Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico

Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar

Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado

Leyenda

Red de Medición de Pozos

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02010001-K	SALAR CARCOTE
2	02010002-8	SALAR CARCOTE
3	02020003-0	SALAR ASCOTAN
4	02020004-9	SALAR ASCOTAN
5	02020005-7	SALAR ASCOTAN
6	02020006-5	SALAR ASCOTAN
7	02020007-3	SALAR ASCOTAN
8	02020008-1	SALAR ASCOTAN
9	02020009-K	SALAR ASCOTAN
10	02020010-3	SALAR ASCOTAN
11	02020011-1	SALAR ASCOTAN
12	02020012-K	SALAR ASCOTAN
13	02020013-8	SALAR ASCOTAN
14	02020014-6	SALAR ASCOTAN
15	02020015-4	SALAR ASCOTAN
16	02020016-2	SALAR ASCOTAN
17	02020017-0	SALAR ASCOTAN
18	02105023-7	CHIU-CHIU
19	02105024-5	CUPO 1
20	02105025-3	TURI 2
21	02105026-1	TURI 4
22	02105027-K	TURI 5 I
23	02105028-8	TURI 7
24	02105029-6	TURI 9
25	02105030-K	TURI 1 I
26	02105032-6	TURI -10

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
27	02110015-3	ISLA GRANDE 1
28	02110016-1	ISLA GRANDE 2
29	02110017-K	AEROPUERTO
30	02110018-8	MOCTEZUMA
31	02110019-6	ISLA GRANDE 3
32	02500022-6	ALANA N°1
33	02500023-4	SOCAIRE N°5
34	02500024-2	MULLAY N°1
35	02942002-5	PIQUE AV-1
36	02942003-3	PIQUE AV- 15
37	02942004-1	PIQUE AV - 16
38	02942005-K	PIQUE AV - 17
40	02942007-6	PIQUE AV - 39
41	02942008-4	PIQUE AV - 42
42	02942009-2	PIQUE AV - 43
43	02942010-6	PIQUE AV - 45
44	02942011-4	ESSAN AV - 48
45	02942012-2	PIQUE AV - 49
46	02942013-0	PIQUE AV -
47	02942014-9	PIQUE AV - NVO.A
49	02942016-5	POZO 4 ESSAN
50	02942017-3	ESSAN S-843-A
51	02942018-1	ESSAN S - 844
52	02942019-K	ESSAN S - 846 - A
53	02942020-3	ESSAN S - 864
55	02942022-K	PIQUE MINAS CLEMENTINA N
56	02942023-8	ESSAN AV - 48

SIMBOLOGÍA

- Suspendida
- Vigente
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Límite Regional

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1

ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE CONTROL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Temática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

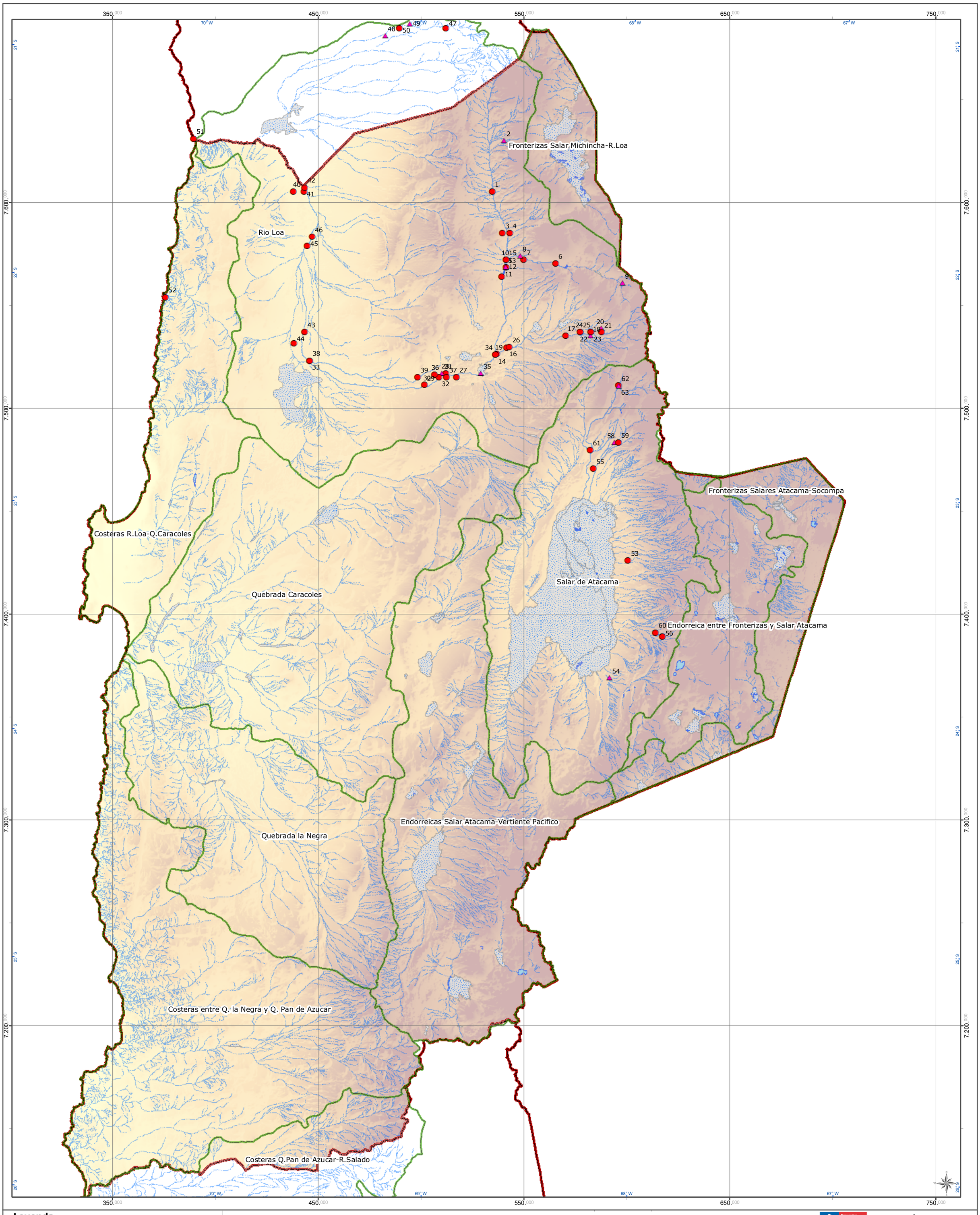
Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 5.2.3-4



Leyenda

Red de Medición de Pozos

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02010001-K	SALAR CARCOTE
2	02010002-8	SALAR CARCOTE
3	02020003-0	SALAR ASCOTAN
4	02020004-9	SALAR ASCOTAN
5	02020005-7	SALAR ASCOTAN
6	02020006-5	SALAR ASCOTAN
7	02020007-3	SALAR ASCOTAN
8	02020008-1	SALAR ASCOTAN
9	02020009-K	SALAR ASCOTAN
10	02020010-3	SALAR ASCOTAN
11	02020011-1	SALAR ASCOTAN
12	02020012-K	SALAR ASCOTAN
13	02020013-8	SALAR ASCOTAN
14	02020014-6	SALAR ASCOTAN
15	02020015-4	SALAR ASCOTAN
16	02020016-2	SALAR ASCOTAN
17	02020017-0	SALAR ASCOTAN
18	02105023-7	CHIU-CHIU
19	02105024-5	CUPO 1
20	02105025-3	TURI 2
21	02105026-1	TURI 4
22	02105027-K	TURI 5 I
23	02105028-8	TURI 7
24	02105029-6	TURI 9
25	02105030-K	TURI 1 I
26	02105032-6	TURI -10

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
27	02110015-3	ISLA GRANDE 1
28	02110016-1	ISLA GRANDE 2
29	02110017-K	AEROPUERTO
30	02110018-8	MOCTEZUMA
31	02110019-6	ISLA GRANDE 3
32	02500022-6	ALANA N°1
33	02500023-4	SOCAIRE N°5
34	02500024-2	MULLAY N°1
35	02942002-5	PIQUE AV-1
36	02942003-3	PIQUE AV- 15
37	02942004-1	PIQUE AV - 16
38	02942005-K	PIQUE AV - 17
40	02942007-6	PIQUE AV - 39
41	02942008-4	PIQUE AV - 42
42	02942009-2	PIQUE AV - 43
43	02942010-6	PIQUE AV - 45
44	02942011-4	ESSAN AV - 48
45	02942012-2	PIQUE AV - 49
46	02942013-0	PIQUE AV -
47	02942014-9	PIQUE AV - NVO.A
49	02942016-5	POZO 4 ESSAN
50	02942017-3	ESSAN S-843-A
51	02942018-1	ESSAN S - 844
52	02942019-K	ESSAN S - 846 - A
53	02942020-3	ESSAN S - 864
55	02942022-K	PIQUE MINAS CLEMENTINA N
56	02942023-8	ESSAN AV - 48

SIMBOLOGÍA

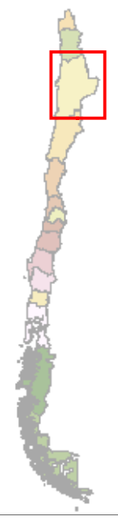
- Suspendida
- Vigente
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Glaciares
- Límite Regional

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Temática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

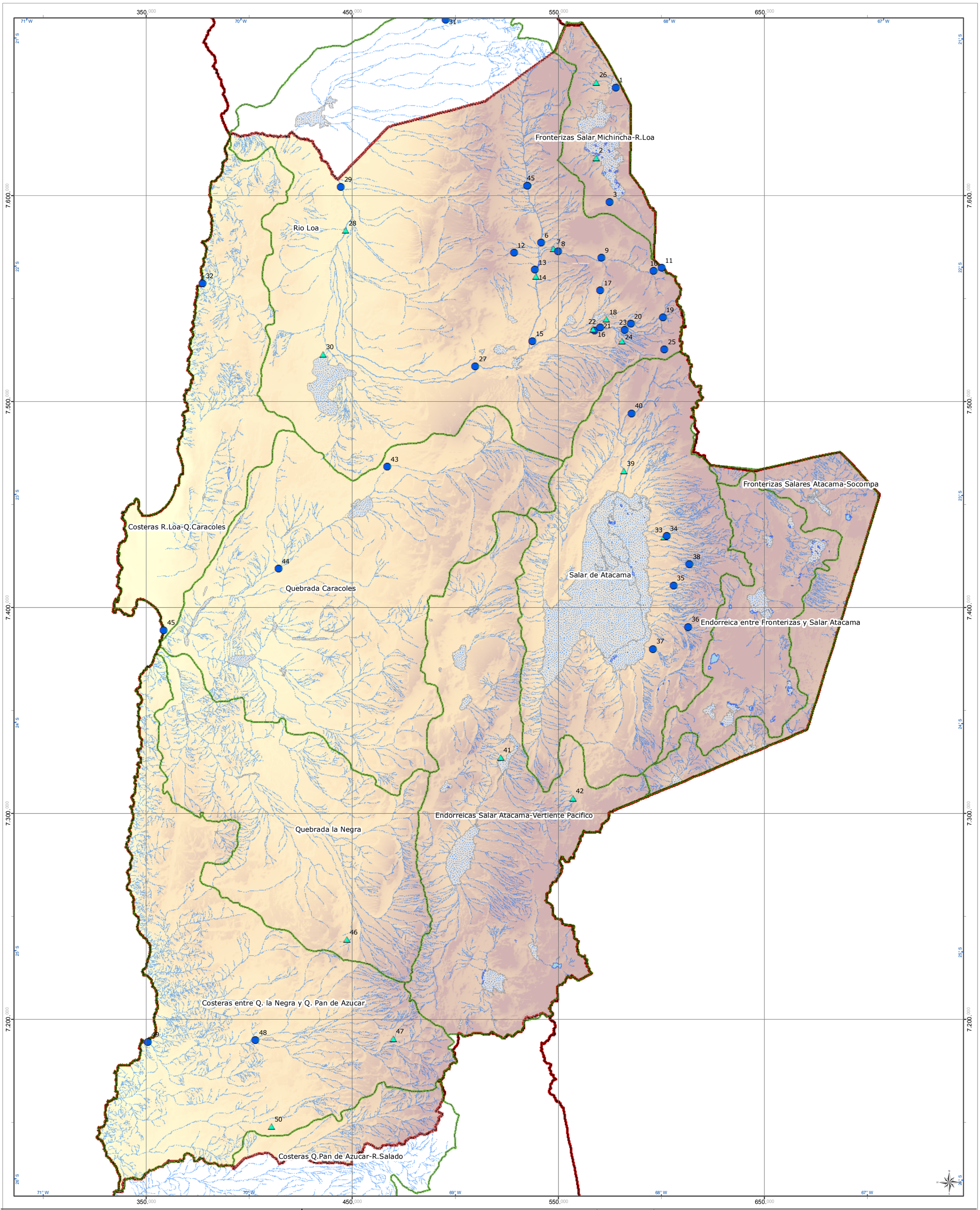
ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Fecha: Diciembre 2012

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

FIGURA 5.2.3-3



LEYENDA

Red de medición Pluviométrica

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02000001-5	OLLAGUE
2	02020001-4	CEBOLLAR
3	02020002-2	ASCOTAN
4	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA
5	02101003-0	LEQUENA
6	02102005-2	QUINCHAMALE
7	02103007-4	SAN PEDRO DE CONCHI
8	02103008-2	PARSHALL N°2
9	02103009-0	OJOS SAN PEDRO
10	02103010-4	INACALIRI
11	02103012-0	SILALA
12	02104007-K	CONCHI VIEJO
13	02104008-8	CONCHI EMBALSE
14	02104009-6	CONCHI MURO EMBALSE
15	02104010-K	CHIU-CHIU
16	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA
17	02105014-8	CUPO
18	02105015-6	TURI
19	02105016-4	LINZOR
20	02105017-2	TOCONCE
21	02105018-0	AYQUINA
22	02105019-9	SIFON AYQUINA
23	02105020-2	SALADO EMBALSE
24	02105021-0	CASPANA
25	02105022-9	EL TATIO

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
26	02105031-8	AMINCHA
27	02110013-7	CALAMA
28	02111004-3	TRANQUE SLOMAN
29	02112008-1	QUILLAGUA
30	02112009-K	COYA SUR
31	02113005-2	GUATACONDO DGA
32	02210002-5	TOCOPILLA
33	02500015-3	TOCONAO RETEN
34	02500016-1	TOCONAO EXPERIMENTAL
35	02500017-K	CAMAR
36	02500019-6	SOCAIRE
37	02500020-K	PEINE
38	02500021-8	TALABRE
39	02510006-9	SAN PEDRO DE ATACAMA
40	02510007-7	RIO GRANDE
41	02640001-5	IMILAC
42	02660001-4	MONTURAQUI
43	02700001-0	SIERRA GORDA
44	02710002-3	BAQUEDANO
45	02710003-1	ANTOFAGASTA
46	02810001-9	CACHINAL DE LA SIERRA
47	02941001-1	VAQUILLAS
48	02942001-7	AGUAS VERDES
49	02943001-2	TAL-TAL
50	02960001-5	SIERRA OVERA

SIMBOLOGÍA

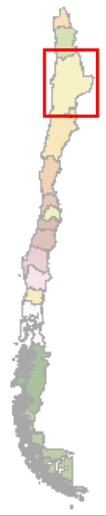
- Suspendida
- Vigente
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Límite Regional

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas — Ministerio de Obras Públicas — Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE MEDICIÓN DE PLUVIOMETRÍA

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Temática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

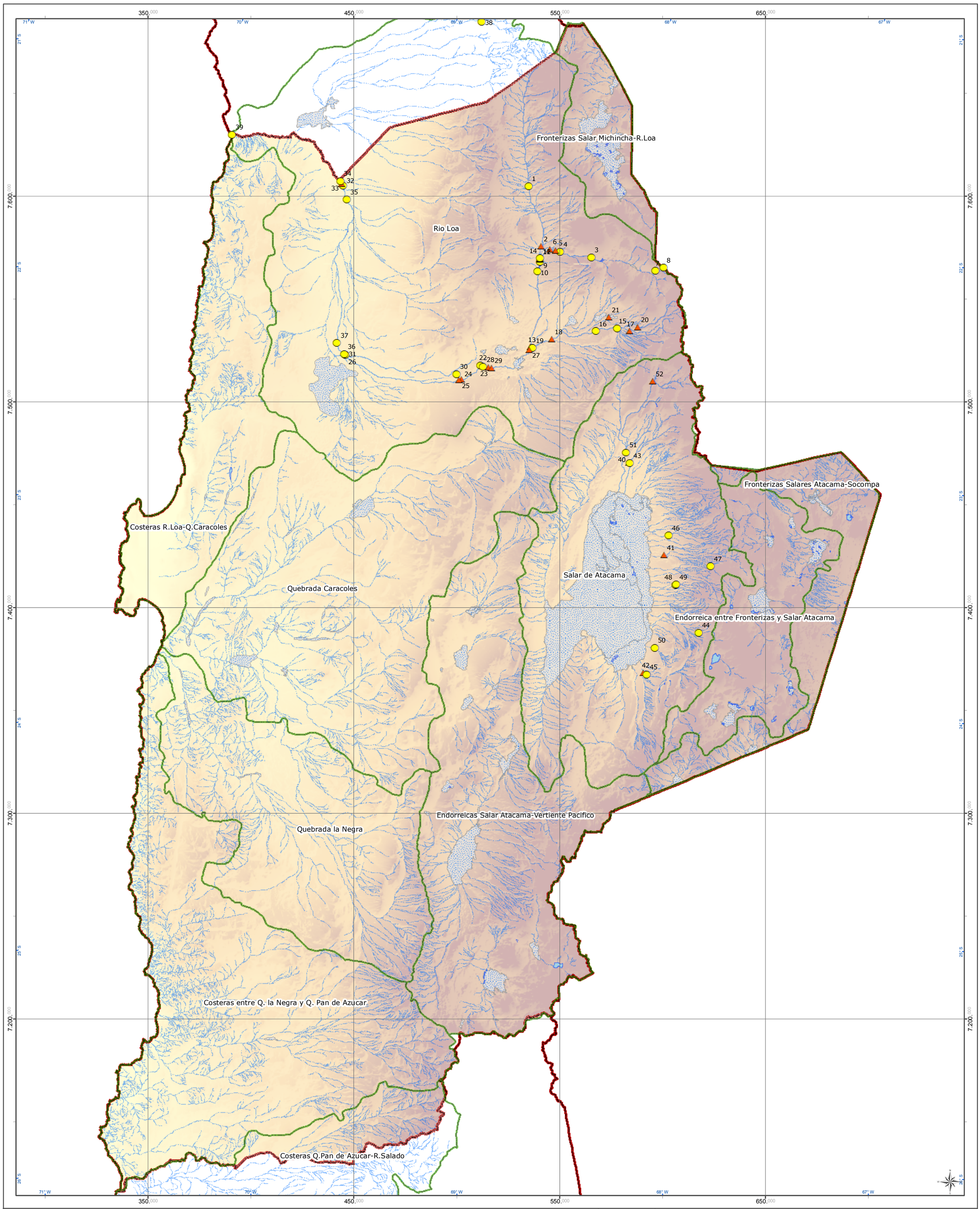
Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

Fecha: Diciembre 2012

FIGURA 5.2.3-2



LEYENDA

Red de Medición Fluviométrica

ID	Codigo BNA	Nombre Estación
1	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA
2	02102001-K	RIO LOA EN QUEBRADA QUINCHAMALE
3	02103001-5	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1
4	02103002-3	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2 (BT. CHILEX)
5	02103003-1	RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL
6	02103004-K	RIO SAN PEDRO EN SAN PEDRO
7	02103013-9	RIO SILOLI ANTES REPRESA INACALIRI
8	02103014-7	RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB
9	02104001-0	RIO LOA EN CONCHI
10	02104002-9	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI
11	02104003-7	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°2
12	02104004-5	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°1
13	02104005-3	RIO LOA ANTES JUNTA RIO SALADO
14	02104013-4	RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA(DOH)
15	02105001-6	RIO SALADO A. J. CURTI
16	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA
17	02105003-2	RIO SALADO ANTES REPRESA CHILEX
18	02105004-0	RIO SALADO ANTES JUNTA RIO YALQUI
19	02105005-9	RIO SALADO A. J. LOA
20	02105007-5	RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS
21	02105008-3	VERTIENTE TURI TURI
22	02110001-3	RIO LOA EN ESCORIAL
23	02110002-1	RIO LOA EN YALQUINCHA
24	02110003-K	RIO LOA EN CHINTORASTE
25	02110004-8	RIO LOA EN FINCA
26	02110007-2	RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR
27	02110008-0	RIO LOA DESPUES JUNTA RIO SALADO (CA)
28	02110009-9	CANAL YALQUINCHA O.D. N° 1
29	02110010-2	CANAL YALQUINCHA O.I. N° 2
30	02111001-9	VERTIENTES OJOS DE OPACHE
31	02111002-7	RIO SAN SALVADOR ANTES JUNTA RIO LOA
32	02112001-4	RIO LOA EN QUILLAGUA
33	02112002-2	CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA
34	02112003-0	RIO LOA EN PANAMERICANA
35	02112005-7	RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA
36	02112006-5	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR (CHACANCE)
37	02112007-3	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)
38	02113001-K	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE
39	02120001-8	RIO LOA EN DESEMBOCADURA
40	02500001-3	RIO VILAMA EN VILAMA
41	02500002-1	CANAL AGUAS BLANCAS
42	02500003-K	CANAL TULAN EN TILOMONTE
43	02500004-8	CANAL VILAMA EN VILAMA
44	02500005-6	CANAL CUNO EN SOCAIRE
45	02500006-4	CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA
46	02500007-2	QUEBRADA DE JEREZ
47	02500008-0	QUEBRADA DE TALABRE EN TUMBRE
48	02500009-9	QUEBRADA DE CAMAR - VERTIENTE 1
49	02500010-2	QUEBRADA DE CAMAR - VERTIENTE 2
50	02500011-0	VERTIENTE PEINE EN PEINE
51	02510001-8	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI
52	02510003-4	RIO JAUNA DESPUES DE JUNTA PUTANA

SIMBOLOGÍA

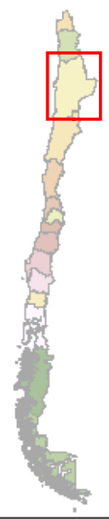
- Suspendida
- Vigente
- Límite Cuencas
- Ríos
- Esteros
- Quebradas
- Lagos, Lagunas, Embalses
- Salares
- Límite Regional

Modelo de Elevación Digital

msnm

Max : 6637

Min : 1



ARRAU Ingeniería E.I.R.L.

Dirección General de Aguas — Ministerio de Obras Públicas — Gobierno de Chile

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
División de Estudios y Planificación

SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

DIAGNÓSTICO PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

RED DE CONTROL FLUVIOMÉTRICO

Fuente Cartográfica:
Instituto Geografico Militar, 2009
Cartografía Regular, 1:250.000

Fuente Temática:
DGA. 2012,
Division de Estudios y Planificación

Referencia Cartógrafica:
Proyección UTM
DATUM WGS84
HUSO 19 Sur

ESCALA
1:1.200.000
0 5 10 20 30 40 Km

Fecha: Diciembre 2012

Jefe División
Adrian Lillo Z.

Inspector Fiscal
Norberto Portillo

FIGURA 5.2.3-1

Con el fin de analizar la calidad de la información, se utilizan estándares mundiales de monitoreo incluidos en la publicación "World Meteorological Organization, Guide to Hydrometeorological Practices", (WMO Nº168) (http://www.whycos.org/hwrp/guide/index.php), y que se resumen en el Cuadro 5.2.3-2. Se hace notar que para los niveles no se definen densidades mínimas.

CUADRO 5.2.3-2
DENSIDAD MÍNIMA DE ESTACIONES (km²/#)

Cuencas	Precipitación	Flujo	Sedimentos	Calidad
Costeras	9.000	2.750	18.300	55.000
Montaña	2.500	1.000	6.700	20.000
Planicies	5.750	1.875	12.500	37.500
Desiertos	100.000	20.000	200.000	200.000

Fuente: http://www.whycos.org/hwrp/guide/index.php

Usando la información de los Cuadros 5.2.3-1 y 5.2.3-2, se construyó el Cuadro 5.2.3-3 en el que se muestra la densidad calculada, mostrándose que se cumple la condición de densidad mínima. Al analizar la información contenida en el cuadro, se observa que la condición de densidad mínima de estaciones se cumple. Por lo tanto, lo que se debe analizar es la calidad de la información disponible. Con este fin, se construyeron los Cuadros 5.2.3-4 a 5.2.3-7, en los que se muestra la calidad de la información pluviométrica, fluviométrica, de calidad de aguas, y de niveles de aguas subterráneas, respectivamente.

Se observa claramente que los registros disponibles son discontinuos, con gran cantidad de vacíos, y de poca longitud. Lo anterior se debe en parte a problemas con la toma de datos, especialmente en la época de crecidas, ya que en esas ocasiones las estaciones quedan inaccesibles y hasta destruidas, con la consiguiente imposibilidad de medir. Lo anterior entonces muestra claramente que si bien la densidad de estaciones es la adecuada, la recolección de la información es problemática en algunas épocas del año, por lo que no se dispone de registros continuos y con información confiable.

En términos simples, para la red de control existente se tiene lo siguiente:

- **Red Meteorológica:**Esta red cumple con la condición de densidad en las subcuencas donde hay estaciones. Se estima que la cobertura de la red es suficiente para los objetivos requeridos. La continuidad de los registros es bastante buena, por lo que los rellenos de información son pocos, especialmente en los últimos años con registros.

- **Red Fluviométrica:** Al igual que la para la red meteorológica la densidad de estaciones es la adecuada en las subcuencas con control en conjunto con la continuidad de los registros.

- **Red de Sedimentos:** Si bien es cierto esta red tiene una densidad suficiente, la distribución de las estaciones a nivel espacial es deficiente, ya que sólo está representada la cuenca del río Loa. Se debería

representar al menos las mismas cuencas que son caracterizadas en términos fluviométricos.

- **Red de Calidad de Aguas:**Al igual que en los casos anteriores la red cumple con las condiciones de densidad mínima. Además la frecuencia de medición es la correcta ya que es de tipo estacional. Sería conveniente instalar estaciones satelitales con registro continuo de parámetros tales como conductividad eléctrica, turbiedad, oxígeno disuelto, y temperatura. Estas estaciones deberían ubicarse en la cabecera de las cuencas y en su salida.

- **Red de Control de Niveles:**Tal como se indicó anteriormente, para la red de niveles no está definida una densidad mínima de niveles. Lo que es claro es que la cobertura de la red es muy deficiente ya que no hay pozos, tales como el caso de la zona del Salar de Atacama. Se recomienda que se instalen pozos en todos aquellos sectores en que en la actualidad existan extracciones de agua subterránea. Para definir la ubicación de los pozos de la red se requiere de estudios específicos.

CUADRO 5.2.3-3
CARACTERIZACIÓN DE ESTACIONES REDES DE CONTROL

Cuenca	Fluviométricas		Metereológicas		Calidad de Agua Superficial		Sedimentos	
	Dens.	Cumple	Dens.	Cumple	Dens.	Cumple	Dens.	Cumple
Fronterizas Salar Michincha - Río Loa	-		1.340	Si	-			
Rio Loa	1.440	Si	1.570	Si	2.200	Si	11.000	Si
Costeras Río Loa - Quebrada Caracoles	-		8.380	Si	8.400	Si		
Fronterizas Salares Atacama-Socompa	-		-					
Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	-		-					
Salar de Atacama	1.730	Si	3.100	Si	3.900	Si		
Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	-		-					
Quebrada Caracoles	-		6.100	Si	18.300	Si		
Quebrada la Negra	-		-					
Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	-		8.450	Si				

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA

CUADRO 5.2.3-4
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DISPONIBLE

Estación/Año calendario	1960										1970										1980										1990										2000										2010	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
OLLAGUE																																																			
CEBOLLAR																																																			
ASCOTAN																																																			
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA																																																			
LEQUENA																																																			
QUINCHAMALE																																																			
SAN PEDRO DE CONCHI																																																			
PARSHALL Nº 2																																																			
OJOS SAN PEDRO																																																			
INACALIRI																																																			
SILALA																																																			
CONCHI VIEJO																																																			
CONCHI EMBALSE																																																			
CONCHI MURO EMBALSE																																																			
CHIU-CHIU																																																			
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA																																																			
CUPO																																																			
TURI																																																			
LINZOR																																																			
TOCONCE																																																			
AYQUINA																																																			
SIFON AYQUINA																																																			
SALADO EMBALSE																																																			
CASPANA																																																			
EL TATIO																																																			
AMINCHA																																																			
CALAMA																																																			
TRANQUE SLOMAN																																																			
QUILLAGUA																																																			
COYA SUR																																																			
GUATACONDO DGA																																																			
TOCOPILLA																																																			
TOCONAO RETEN																																																			
TOCONAO EXPERIMENTAL																																																			
CAMAR																																																			
SOCAIRE																																																			
PEINE																																																			
TALABRE																																																			
SAN PEDRO DE ATACAMA																																																			
RIO GRANDE																																																			
IMILAC																																																			

CUADRO 5.2.3-4
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DISPONIBLE
(Continuación)

Estación/Año calendario	1960										1970										1980										1990										2000										2010	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
MONTURAQUI																																																			
SIERRA GORDA																																																			
BAQUEDANO																																																			
ANTOFAGASTA																																																			
CACHINAL DE LA SIERRA																																																			
VAQUILLAS																																																			
AGUAS VERDES																																																			
TAL-TAL																																																			
SIERRA OVERA																																																			

9 a 12 meses con información
5 a 8 meses con información
1 a 4 meses con información

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA

CUADRO 5.2.3-5
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA DISPONIBLE

Estación/Año hidrológico	1960										1970										1980										1990										2000										2010	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA								7	2	c	6	9	2	3	4	a	9	c	c	9	b	c	c	b	c	b	a	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	3	c	c	c	c	c	c	c	b	c	8
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1								3	b	b	c	b	c	8	b								4	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c	7
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)								4	b		4	c	c	9	c	9		a	c	c	b	c	c	b	c	5	b	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	6
RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL																				5	a	c	c	c	c	5	c	c	c	1																						
RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB																																							c	c	c	c	c	c	c	c	a	a	6
RIO LOA EN CONCHI	a	c	9	c	c	b	8	c	a	9	c	c	c	c	c	a																																			
RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI																	1	5	c	c	c	c	c	c	c	c	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	4	b	c	c	c	c	c	c	c	c	8
RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"2																			7		c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	1						
RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"1																		4	c	6																																
RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA (DOH)																																														c	b	a	9	7	5
RIO SALADO A. J. CURTI																3	b	b	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	b	c	c	1
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA																c	8	c	c	c	c	c	c	c	c	a			4	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	2	c	c	8
RIO SALADO A. J. LOA																																								7	c	c	b	c	c	c	c	a		
RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS																							4	b	c	c	2	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		3	c	c	a	b	c	7	9	6	6
VERTIENTE TURI TURI																					a	6																														
RIO LOA EN ESCORIAL					c	c	b	5	4	8	a	c	c	3	8	c	8	2																									b	a	c	c	c	b	5	7
RIO LOA EN YALQUINCHA	b	b	c	c	a																			c	c	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c		b	a	c	c	c	c	b	3		
RIO LOA EN CHINTORASTE	b	b	b	b	c	c	a	b	8	c	c	c	1																																					
RIO LOA EN FINCA											9	5		4	b	a	9	c	c	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	4		3	8
RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR																								3	7																											
RIO LOA EN QUILLAGUA	5	8	c	c	b	a	c	4	9	b	c	c	c																																						
CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA																	5	b	b	4	b	6	a	c	9	c	c	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	3										
RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA																																					5	c	c			8	c	c	c	c	9	c	c	8
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR (CHACANCE)																									4	b	2													5	c	c	c	c	c	c	9	b	b	7
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)																															c	c	c	c	c	c	c	c	1		2	c	c	c	c	3	c	b	7
RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE																	1	b	c	c	c	c	a	b	c	c	b	b	b	c	b	3		3	2		2	4	1	3	b	9	b	c	b	c	9	6	b	c	7
RIO LOA EN DESEMBOCADURA																													5	c	b	c	c	c	c	c	c	b	c	1	a	c	c	c	c	c	7	b	7	1
RIO VILAMA EN VILAMA											c	2					8	8	c	a	7	c	6	b	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	7
CANAL AGUAS BLANCAS																		a	a	b	7		3										7	c	c	c	a	c	c	c	c	2									
CANAL TULAN EN TILOMONTE																		6													a	b	c	c	b	c	9	9	6	b	6									
CANAL VILAMA EN VILAMA																	8	a	c	a	7	c	5	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	5
CANAL CUNO EN SOCAIRE																													4	a	5	c	c	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	7
CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA																																					b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	5	c	8
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	c	c	8	8	c	c	8	4	8	9	b	4				2	9	3	c	c	c	b	3	c	c	a	b	c	c	b	c	c	c	b	c	c	c	c	c	a	c	c	b	b	c	b	7	c	b	4

9 a 12 meses con información
5 a 8 meses con información
1 a 4 meses con información

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA

CUADRO 5.2.3-6
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES DISPONIBLE

Estación	Código BNA	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ESTERO PAQUISA EN PAQUISA	01021006-2																																										
RIO LOA EN REPRESA LEQUENA	02101002-2																																											
RIO LOA ANTES RIO SAN PEDRO	02102004-4																																											
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	02103001-5																																											
RIO SILOLI	02103005-8																																											
RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	02104002-9																																											
RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"2	02104003-7																																											
RIO LOA ANTES JUNTA RIO SALADO	02104005-3																																											
RIO LOA DESPUES RIO SAN PEDRO	02104006-1																																											
POZO CHIU-CHIU	02104012-6																																											
RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA (DOH)	02104013-4																																											
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	02105002-4																																											
RIO SALADO A. J. LOA	02105005-9																																											
RIO TOCONCE EN REPRESA SENDOS	02105006-7																																											
RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS	02105007-5																																											
RIO LOA EN ECORIAL	02110001-3																																											
RIOLOA EN YALQUINCHA	02110002-1																																											
RIO LOA EN CHINTORANTE	02110003-K																																											
RIO LOA EN FINCA	02110004-8																																											
RIO LOA EN CALAMA	02110005-6																																											
RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	02110007-2																																											
RIO LOA DESPUES JUNTA RIO SALADO	02110008-0																																											
RIO LOA EN ANGOSTURA	02110011-0																																											
AGUA POTABLE CALAMA	02110012-9																																											
RIO SAN SALVADOR ANTES JUNTA RIO LOA	02111002-7																																											
RIO LOA EN QUILLAGUA	02112001-4																																											
CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA	02112002-2																																											

CUADRO 5.2.3-6
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES DISPONIBLE
(Continuación)

Estación	Código BNA	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
RIO LOA EN CAMINO CHUQUI-TOCOPILLA	02112004-9																																										
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)	02112007-3																																										
RIO LOA EN DESEMBOCADURA	02120001-8																																											
AGUA POTABLE TOCOPILLA	02210001-7																																											
CANAL AGUAS BLANCAS	02500002-1																																											
CANAL VILAMA EN VILAMA	02500004-8																																											
CANAL CUNO EN SOCAIRE	02500005-6																																											
CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	02500006-4																																											
RIO PURITAMA EN HUATIN	02500012-9																																											
RIO PURIPICA EN HUATIN	02500013-7																																											
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	02510001-8																																											
AGUA POTABLE ANTOFAGASTA	02710001-5																																											

> 3 muestreos al año
1 a 2 muestreos

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA

CUADRO 5.2.3-7
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DISPONIBLE

Estación	Código BNA	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
SALAR CARCOTE 1	02010001-K																																				
SALAR CARCOTE 3	02010002-8																																				
SALAR ASCOTAN 1	02020003-0																																				
SALAR ASCOTAN 2	02020004-9																																				
SALAR ASCOTAN 3	02020005-7																																				
SALAR ASCOTAN 4	02020006-5																																				
SALAR ASCOTAN 5	02020007-3																																				
SALAR ASCOTAN 6	02020008-1																																				
SALAR ASCOTAN 8	02020009-K																																				
SALAR ASCOTAN 9	02020010-3																																				
SALAR ASCOTAN 10	02020011-1																																				
SALAR ASCOTAN 12	02020012-K																																				
SALAR ASCOTAN 13	02020013-8																																				
SALAR ASCOTAN 15	02020014-6																																				
SALAR ASCOTAN 15 1	02020015-4																																				
SALAR ASCOTAN 16	02020016-2																																				
SALAR ASCOTAN 20	02020017-0																																				
CHIU-CHIU	02105023-7																																				
CUPO 1	02105024-5																																				
TURI 2	02105025-3																																				
TURI 4	02105026-1																																				
TURI 5 I	02105027-K																																				
TURI 7	02105028-8																																				
TURI 9	02105029-6																																				
TURI 1 I	02105030-K																																				
TURI -10	02105032-6																																				
ISLA GRANDE 1	02110015-3																																				
ISLA GRANDE 2	02110016-1																																				
AEROPUERTO	02110017-K																																				
MOCTEZUMA	02110018-8																																				
ISLA GRANDE 3	02110019-6																																				
ALANA N"1	02500022-6																																				
SOCAIRE N"5	02500023-4																																				
MULLAY N"1	02500024-2																																				
PIQUE AV-1	02942002-5																																				
PIQUE AV- 15	02942003-3																																				
PIQUE AV - 16	02942004-1																																				
PIQUE AV - 17	02942005-K																																				
PIQUE AVE - 40	02942006-8																																				
PIQUE AV - 39	02942007-6																																				

CUADRO 5.2.3-7
CARACTERIZACIÓN INFORMACIÓN NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DISPONIBLE
(Continuación)

Estación	Código BNA	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PIQUE AV - 42	02942008-4																																				
PIQUE AV - 43	02942009-2																																				
PIQUE AV - 45	02942010-6																																				
ESSAN AV - 48	02942011-4																																				
PIQUE AV - 49	02942012-2																																				
SALAR ASCOTAN 1	02020003-0																																				
PIQUE AV - NVO.A	02942014-9																																				
PIQUE FRENTE ESSAN	02942015-7																																				
POZO 4 ESSAN	02942016-5																																				
ESSAN S-843-A	02942017-3																																				
ESSAN S - 844	02942018-1																																				
ESSAN S - 846 - A	02942019-K																																				
ESSAN S - 864	02942020-3																																				
PIQUE MINA CLEMENTINA Nª 3	02942021-1																																				
PIQUE MINAS CLEMENTINA Nº 2	02942022-K																																				
ESSAN AV - 48	02942023-8																																				

Más de 9 meses con información
Entre 5 y 8 meses con información
Menos de 4 meses con información

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA

5.2.4. Tranques de Relaves

En la Región de Antofagasta el SERNAGEOMIN[1] ha identificado 17 depósitos activos y 8 depósitos no activos correspondientes a Cobre y Oro, tal como se muestra en el Cuadro 5.2.4-1. No se dispone de mayor información.

[1]SERNAGEOMIN. 2010. Catastro de Depósitos de Relaves. Depósitos de Relaves Activos y No activos 2010.

SERNAGEOMIN. 2012. Reporte Resumen Atlas Faenas Mineras, Región de Antofagasta. Sistema de Información Minero Nacional en Internet.

CUADRO 5.2.4-1
CATASTRO TRANQUES DE RELAVES

ID	NOMBRE EMPRESA	NOMBRE FAENA	NOMBRE INSTALACIÓN	TIPO DEPÓSITO	COMUNA FAENA	PASTA DE ORIGEN	UTM NORTE	UTM ESTE	COTA	HUSO	DATUM	Nº RES DE APROBACIÓN	FECHA RESDE APROBACIÓN	ESTADO
1	XSTRATA COPPER CHILE SA ALTONORTE	ALTONORTE	ALTONORTE	EMBALSES	ANTOFAGASTA	CU	7.366.300	362.000	561	S/I	S/I	1811	09-10-2000	ACTIVO
2	MIN. ESCONDIDA LTDA	FASE IV	LAGUNA SECA	EMBALSES	ANTOFAGASTA	CU	7.315.800	492.500	3.200	S/I	S/I	800	14-06-1999	ACTIVO
3	MIN. ESCONDIDA LTDA	ESCONDIDA	HAMBURGO	TRANQUE DE RELAVES	ANTOFAGASTA	CU	7.310.900	491.000	3.100	S/I	S/I	84	S/I	ACTIVO
4	MIN. ESCONDIDA LTDA	COLOSO	CERRO JARÓN	EMBALSES	ANTOFAGASTA	CU	7.359.056	351.814	611	S/I	S/I	281	19-04-1994	NO ACTIVO
5	CÍA MINERA ZALDÍVAR	ZALDÍVAR	FASE I	TRANQUE DE RELAVES	ANTOFAGASTA	CU	7.326.100	497.000	3.100	S/I	S/I	615	09-09-1994	ACTIVO
6	CÍA MINERA ZALDÍVAR	ZALDÍVAR	FASE II	TRANQUE DE RELAVES	ANTOFAGASTA	CU	7.326.500	495.900	3.061	S/I	S/I	1973	12-08-2002	ACTIVO
7	CÍA MINERA ZALDÍVAR	ZALDÍVAR	FASE III	EMBALSES	ANTOFAGASTA	CU	7.327.287	496.068	3.090	S/I	S/I	151	18-01-2006	ACTIVO
8	CÍA MERIDIAN LTDA	EL PEÑÓN	EL PEÑÓN	FILTRADOS	ANTOFAGASTA	AU	7.300.260	450.803	1.900	S/I	S/I	918	30-11-1998	ACTIVO
9	ANGLO AMERICAN DIV. NORTE	MANTOS BLANCOS	EMABLOS	FILTRADOS	ANTOFAGASTA	CU	7.407.560	392.020	860	S/I	S/I	2991	30-12-2002	ACTIVO
10	CÍA MIN. NOVA VENTURA	PLANTA STO. DOMINGO	TRANQUE Nº 1	TRANQUE DE RELAVES	TALTAL	CU	7.222.890	348.730	5	S/I	S/I	316	25-03-1996	NO ACTIVO
11	CÍA MIN. NOVA VENTURA	PLANTA STO. DOMINGO	TRANQUE Nº 2	TRANQUE DE RELAVES	TALTAL	CU	7.223.500	349.500	17	S/I	S/I	3834	19-12-2003	NO ACTIVO
12	CÍA MINERA LAS CENIZAS S.A.	PLANTA LAS LUCES	LAS LUCES 2	TRANQUE DE RELAVES	TALTAL	CU	7.160.793	340.975	180	S/I	S/I	2921	01-08-2003	ACTIVO
13	CÍA MINERA LAS CENIZAS S.A.	PLANTA LAS LUCES	LAS LUCES 1	TRANQUE DE RELAVES	TALTAL	CU	7.161.200	340.600	152	S/I	S/I	16	S/I	NO ACTIVO
14	COMPAÑÍA MINERA SOLEDAD	PLANTA SOLEDAD	SOLEDAD I	TRANQUE DE RELAVES	TALTAL	AU	7.223.075	444.750	2.750	S/I	S/I	1602	31-12-1992	NO ACTIVO
15	COMPAÑÍA MINERA SOLEDAD	PLANTA SOLEDAD	SOLEDAD II	EMBALSES	TALTAL	CU	7.222.798	444.714	2.750	S/I	S/I	2967	30-12-2002	NO ACTIVO
16	C.M.CERRO DOMINADOR	CERRO DOMINADOR	TRANQUE 1	EMBALSES	SIERRA GORDA	CU	7.478.100	459.856	1.705	S/I	S/I	1081	10-11-1989	ACTIVO
17	C.M.CERRO DOMINADOR	CERRO DOMINADOR	TRANQUE 2	EMBALSES	SIERRA GORDA	CU	7.477.800	459.750	1.678	S/I	S/I	33	11-01-1996	ACTIVO
18	C.M.CERRO DOMINADOR	PLANTA CALLEJAS ZAMORA	TRANQUE 3	EMBALSES	SIERRA GORDA	CU	7.477.400	459.500	1.680	S/I	S/I	968	14-04-2005	ACTIVO
19	CÍA MINERA ESPERANZA	PROYECTO ESPERANZA	PROY. ESPERANZA	ESPESADOS	SIERRA GORDA	CU-AU	7.458.000	487.500	2.416	S/I	S/I	369	12-03-2009	EN CONSTRUCCIÓN
20	CODELCO NORTE	CHUQUICAMATA	TALABRE	TRANQUE DE RELAVES	CALAMA	CU	7.526.000	522.500	2.429	S/I	S/I	72	16-01-1987	ACTIVO
21	ENAMI TALTAL	J.A.M.	TJM 2	TRANQUE DE RELAVES	CALAMA	CU	7.191.742	353.673	15	S/I	S/I	1161	29-09-1992	NO ACTIVO
22	MINERA MICHILLA S.A.	MICHILLA	MICHILLA	TRANQUE DE RELAVES	MEJILLONES	CU	7.484.500	367.500	5	S/I	S/I	655	S/I	NO ACTIVO
23	CODELCO	DIVISION CHUQUICAMATA	DEPOSITOS-FILTRADOS	FILTRADOS	CALAMA	CU	7.533.000	511.000	2.800	19	PSAD-56	S/I	S/I	ACTIVO
24	CODELCO	DIVISION CHUQUICAMATA	DEPOSITOS-ESPESADOS	ESPESADOS	CALAMA	CU	7.533.000	511.000	2.800	19	PSAD-56	S/I	S/I	ACTIVO
25	MINERA ESPERANZA	MINA ESPERANZA	TRANQUE	TRANQUE DE RELAVES	SIERRA GORDA	CU	7.460.625	493.470	2.340	19	PSAD-56	S/I	S/I	ACTIVO
26	MINERA MERIDIAN LIMITADA	EL PEÑON (II REGIÓN)	DEPOSITO DE RELAVES	TRANQUE DE RELAVES	ANTOFAGASTA	AU	7.397.250	444.806	1.800	19	PSAD-56	S/I	S/I	ACTIVO

Fuente: SERNAGEOMIN 2010 y 2012

5.2.5. Obras de Control Aluvional y de Aguas Lluvia

Los asentamientos humanos en sectores con probabilidad de ocurrencia de desastres naturales son comunes en todo el mundo y Chile no es la excepción. En su territorio, Chile se ve enfrentado a sismos y terremotos continuamente, lo que ha llevado a desarrollar infraestructura que se adapta a estos eventos. Lo mismo se está haciendo con la infraestructura que se ve relacionada con los eventos extremos asociados al agua; como crecidas, aluviones, etc.

En el caso de la región de Antofagasta, los eventos extremos asociados al agua son una realidad que recién en las últimas 2 o 3 décadas se ha tratado de estudiar con el fin de adaptar los sistemas que integran las zonas urbanas y rurales. En particular, la ocurrencia de fuertes lluvias y que, posteriormente, se muestran en eventos de crecidas y/o aluviones, son una de las principales causas de anegamientos, damnificados, y daños en la infraestructura de la región. Estas situaciones ocurren en la parte alta, frecuentemente durante los meses de verano y es en la parte costera durante los meses de invierno (menos frecuentes, pero más extremos).

Para controlar el flujo, conservar la infraestructura vial, las ciudades, los pueblos y asegurar las vidas humanas expuestas a estos riegos, se ha hecho necesario construir obras de defensas fluviales, regulación de crecidas, disipadores de energía, sistemas de retención de sólidos, etc.

En los siguientes puntos se presenta un diagnóstico de la capacidad de la infraestructura hidráulica construida para control aluvional y de aguas lluvia de la región.

En los últimos años, luego del aluvión de 1991, se han efectuado estudios para la construcción de obras de disipación de energía Aluvional, vías aluvionales, etc. Algunos de estos estudios se presentan en el Cuadro 5.2.5-1.

En los estudios se muestran diferentes etapas del proceso de desarrollo de los proyectos de ingeniería, donde se puede ver desde un diagnóstico de los sistemas para disipación de energía hasta el diseño de obras proyectadas para control Aluvional.

Por otro lado, otra fuente de información de los actuales proyectos de la zona, es la base de datos del SEA, donde se encuentra el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), esta información se muestra en el Cuadro 5.2.5-2.

Las obras de control aluvional se construyen aguas arriba de la zona residencial y sirven para disipar la energía del aluvión y en segundo término retener los sólidos de arrastre del evento. Esta obra también logra retrasar el caudal máximo de la crecida y así disminuir el caudal.

CUADRO 5.2.5-1
ALGUNOS ESTUDIOS DE LA DOH SOBRE OBRAS DE CONTROL ALUVIONAL

NOMBRE	AÑO	CONSULTORA A CARGO
Diseño Definitivo de los Sistemas de disipación de Energía Aluvional y Vías Aluvionales en la Ciudad de Antofagasta. (Todas las quebradas, en total 15)	1999-2001;2009	AC Ingenieros consultores Ltda.; Electro Watt Engineering
Adecuación al diseño definitivo de obras de Control aluvional de Taltal.	2009	CONIC BF.
Adecuación al diseño definitivo de obras para la disipación de energía aluvional afluentes 1 y 3, quebrada la Cadena- ciudad de Antofagasta	2006	CYGSA
Obras de Control Aluvional Quebrada de Taltal y Afluentes	2010	SIGA Ing. Aplicada

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DOH

En la ciudad de Antofagasta y Taltal, luego de la serie de estudios realizados para el diseño y construcción de las obras de control y disipación de energía en las quebradas afluentes, se construyeron finalmente (terminadas en enero del 2009) las obras de las quebradas principales que desembocan en la capital regional y en proceso aun, las obras para proteger Taltal. Algunas fotos con la localización y de las obras ya construidas en Antofagasta se presentan en la Figura 5.2.5-1, Figura 5.2.5-2 y las piscinas de Taltal en la Figura 5.2.5-3.

CUADRO 5.2.5-2
INFORMES DE CONTROL ALUVIONAL EN EL SEIA

Nombre	Inversión (MMU$)	Fecha Presentación	Fecha calificación	Seguimiento y Fisc.	Coord Este	Coord Norte
Obras de Control Aluvional Quebrada Tres Puntas, Ciudad de Tocopilla (e-seia)	9,1810	22-12-09	9-8-10	No	376.831	7.554.940
Obras de Control Aluvional Quebrada Tal tal y Afluentes, Ciudad Taltal, Región de Antofagasta (e-seia)	21,8716	22-12-09	17-8-10	No	355.566	7.182.781
Obras de Control Aluvional Quebrada Barriles y Afluentes, Ciudad de Tocopilla, Región de Antofagasta (e-seia)	20,0929	18-12-09	9-8-10	No	381.831	7.557.131
Sistema de Disipación de Energía Aluvional Quebrada la Chimba II Region de Antofagasta	5,3500	11-12-01	3-6-02	Sí	358.000	7.396.000
Sistema de Disipación de Energía Aluvional Quebradas Club Hípico Bonilla y Farellones	3,1000	26-4-01	30-8-01	No	359.000	7.392.000
Sistemas de Disipación de Energía Aluvional Quebradas Universidad de Antofagasta Jardín del Sur y el Huáscar	7,4400	21-12-00	23-4-01	Sí	355.000	7.377.000
Sistemas de Disipación de Energía Aluvional Quebradas El Toro y Caliche	16,0000	21-12-00	27-4-01	No	358.000	7.380.500
Sistema de Disipación de Energía Aluvional Quebradas La Cadena El Ancla Riquelme Baquedano y Uribe	16,0000	10-8-00	11-12-00	No	359.000	7.382.500
Sistema de Disipación de Energía Aluvional Quebrada Salar del Carmen	5,6000	25-5-99	27-7-99	No	359.500	7.384.500

Fuente: Elaboración propia a partir del SEIA

FIGURA 5.2.5-1
MAPA LOCALIZACIÓN DE LAS OBRAS YA CONSTRUIDAS EN LA QUEBRADA CARMEN Y FOTO DESDE LA DESEMBOCADURA DEL SALAR EL CARMEN



Fuente: Mapa en planta tomado de Google Earth (Imagen del 2012) y la fotografía inferior tomada de internet

FIGURA 5.2.5-2
MAPA LOCALIZACIÓN DE LAS OBRAS YA CONSTRUIDAS EN LA QUEBRADA LA CADENA Y FOTOS DE LAS PISCINAS DISIPADORAS CON VISTA ESTE (INFERIOR IZQUIERDA) Y OESTE (INFERIOR DERECHA)



Fuente: Mapa en planta tomado de Google Earth (Imagen del 2012) y las fotografías inferiores tomada de internet.

FIGURA 5.2.5-3
MAPA LOCALIZACIÓN DE LAS OBRAS YA CONSTRUIDAS EN LA QUEBRADA QUE DESEMBOCA EN TALTAL Y FOTOS DE LAS PISCINAS DISIPADORAS



Fuente: Mapa en planta tomado de Google Earth (Imagen del 2010) y la fotografía inferior tomada de internet

Por otra parte, en las ciudades más grandes de la región; Antofagasta y Calama, existen estudios públicos del Plan Maestro de manejo de aguas lluvia en cada localidad.

En Antofagasta este plan se hizo el año 2004, donde se suponen (para el análisis) listas las obras de control aluvional de las 18 quebradas que llegan a la ciudad de Antofagasta, proyectadas por AC Ingenieros el año 2000. A partir de esta situación, se diseña el patrón de drenaje de la red primaria con 16 colectores. Luego se estima la inversión, se presenta una priorización de la construcción de las obras, y finalmente algunas recomendaciones relativas al manejo del territorio y del encauzamiento de las aguas.

Luego de 4 años de presentado el informe recién mencionado, se publica un trabajo sobre las modificaciones que sufrió el Plan Regulador Comunal, luego de conocer este plan de manejo de aguas lluvia.

Por su parte, el plan de manejo de Aguas de la ciudad de Calama, elaborado en el mismo año 2004, pretende elaborar un plan de manejo técnico del agua del río Loa en su paso por la ciudad y realizar un plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvia en la misma localidad.

Para esto se hizo una restitución aerofotogramétrica, un catastro de obras en la sección del río Loa en estudio, un análisis sedimentológico, un catastro de extracción de áridos y una identificación de las vías principales de escurrimiento (con un posterior estudio hidrológico).

De todo esto, se obtiene entonces para el plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvia, el patrón de drenaje del área de estudio, la caracterización del uso actual y futuro del suelo urbano, y un diagnóstico y soluciones de los problemas de inundación por aguas lluvias.

En el informe del Plan Maestro, se presenta una tabla con las zonas que sufren anegamientos por inundación, y se presentan soluciones a modo de proposición, esta información se presenta en el Cuadro 5.2.5-3 y en el Cuadro 5.2.5-4 se estiman los presupuestos de estas obras.

Para construir el plan de manejo técnico del río Loa, se construyó el patrón de drenaje de la cuenca aportante del Loa, un análisis geomorfológico del cauce, y luego la identificación de los problemas provocados en las obras afectadas por el río. En el Cuadro 5.2.5-5 se presenta el catastro de los sectores con problemas que fueron identificados en el Plan Maestro. En este informe se presenta posteriormente el diagnóstico de cada uno de estos sectores (Cuadro 5.2.5-5) y las alternativas de solución para cada problema, que en este trabajo se presentan resumidas en el Cuadro 5.2.5-6.

Luego de la identificación y análisis económico de los problemas y las soluciones propuestas, se realiza una priorización de las obras planteadas, que se presenta en el Cuadro 5.2.5-7.

CUADRO 5.2.5-3
SOLUCIONES PROPUESTAS

ZONA INUNDACIÓN	NºSol	SOLUCIÓN PROPUESTA
Quebrada Baquedano	1	Canal interceptor de aguas lluvias paralelo a camino a Chuquicamata. Descarga en afluente a Q. San Salvador.
	2.a	Canal interceptor de aguas lluvias paralelo a camino deChuquicamata. Descarga en afluente a Q. San Salvador.
	2.b	Canal de evacuación de la quebrada Baquedano.
ZI-24: calle Argentina frente a pasaje Cautín	3	Pavimentación de calle Cautín y Malleco hasta descargar en afluente a quebrada San Salvador, se transforma en una vía recolectora y evacuadora de aguas lluvia.
ZI-1: calle La Tirana esquina Talca	4	Pavimentación de calle La Tirana hasta descargar en afluente a quebrada San Salvador, se transforma en una vía recolectora y evacuadora de aguas lluvia.
ZI-8: calle Pucón entreV. Gama y H. Mendoza	5	Lomos de toro en calle Pucón con esquinas Vasco de Gama y Hurtado de Mendoza.
ZI-10 y ZI-11: calle Inés de Suárez con V. Mackenna y J. Carrera	6	Pavimentación de calle Inés de Suárez, definiendo una pendiente hacia la calle de tierra que va al poniente, perpendicular a Inés de Suárez..
ZI-19: Intersección de Grecia y Punta Arenas	7	Canal de aguas lluvia paralelo a calle Grecia que descarga en el canal de riego existente Coco La Villa. Los primeros 60 m son entubados.
ZI-15: Intersección de Cobija y P. Valdivia	8	Colector de aguas lluvia paralelo a calle Aldunate que descarga en el canal de riego Coco La Villa.
ZI-16: Intersección de calles Aconcagua, Aldunate y Las Vegas.	9	Colector de aguas lluvia por calle Aldunate que descarga en un ramal del canal de riego Coco La Villa.
ZI-17 y ZI-18: P. de Valdivia con calles Santiago y Topater.	10	Canal de aguas lluvia paralelo a calle Pedro de Valdivia, que descarga en canal Laylay.

Fuente: "Plan de Manejo Técnico del Río Loa a su Paso por Calama y Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Calama, II Región"

CUADRO 5.2.5-4
COSTOS DE INVERSIÓN DE LAS SOLUCIONES DE AGUAS LLUVIAS

Nº SOLUCION	NOMBRE SOLUCION	COSTO TOTAL Miles $
1	Canal Camino a Chuquicamata	10.725
2	Canales Camino de Chuquicamata y Evacuación Q. Baquedano	19.181
3	Pavimentación calles Cautín y Malleco	48.842
4	Pavimentación calle La Tirana	40.061
5	Lomos de toro calle Pucón	575
6	Pavimentación calle Inés de Suárez	49.187
7	Canal/Colector calle Punta Arenas	9.528
8	Colector calle Cobija	12.185
9	Colector calle Aldunate	13.734
10	Canal calle Pedro de Valdivia	42.177
	TOTAL	**246.195**

Nota: Valores en $ (1 de julio de 2003), sin IVA y con 50% de Gastos Generales y Utilidades

Fuente: "Plan de Manejo Técnico del Río Loa a su Paso por Calama y Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Calama, II Región"

CUADRO 5.2.5-5
SECTORES CRÍTICOS DEL RÍO LOA (SCL)

Sectores Críticos del río Loa	Ubicación
SCL 1	Alcantarilla Vial Yalquincha
SCL 2	Terrenos de Lomahuasi
SCL 3	Pretil de Emergencia
SCL 4	Puente Topater
SCL 5	Aguas arriba Puente FF.CC
SCL 6	Villa San Rafael
SCL 7	Parque El Loa
SCL 8	Puente Nuñez
SCL 9	Finca Nuñez
SCL 10	Camino Ojos de Opache

Fuente: "Plan de Manejo Técnico del Río Loa a su Paso por Calama y Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Calama, II Región"

CUADRO 5.2.5-6
PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE DESBORDE DEL RÍO

SOLUCION		UBICACIÓN (km)
Nº	NOMBRE	
1	Terraplén Camino Yalquincha	1,51 - 1,95
2	Puente Yalquincha	2,68
3	Bocatoma Canal Tronco	2,76
4	Terraplén Terrenos de Lomahuasi	3,15 – 4,10
5	Mejoramiento Pretil de Emergencia	3,15 – 3,90
6	Demolición Barrera Cajón del Muerto	3,98
7	Bocatoma Canal Topater Alto	4,58
8	Protección Rellenos Aguas Arriba Puente Topater	5,30 - 5,42
9	Rectificación Sección del Cauce Balneario Topater	5,43 - 5,47
10	Protección Talud en Villa San Rafael	8,17 – 8,63
11	Badén Villa San Rafael	8,23
12	Rectificación Sección del Cauce en Parque El Loa	8,85
13	Bocatoma Canal Chunchuri Bajo	9,09
14	Muros de Encauzamiento Puente Dupont	9,10
15.a	Puente Las Vacas	9,34
15.b (*)	Camino Alternativo al Puente Las Vacas	9,34
16	Terraplén Finca Nuñez	9,50 – 9,86
17	Terraplén Valle del Inca	9,35 – 9,60
18	Terraplén Leonardo Da Vinci	9,60 – 10,05
19	Terraplén Camino Ojos de Opache	12,32 – 12,67
20 (*)	Canal de Trasvase Berna-Laylay	------
21 (*)	Canal Interceptor de Desbordes	------
22 (*)	Evacuación de Desbordes por Calles Bilbao y Cobija	------

(*) Corresponden a soluciones alternativas

Fuente: "Plan de Manejo Técnico del Río Loa a su Paso por Calama y Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Calama, II Región"

El informe termina con una priorización de las soluciones y medidas no estructurales asociadas, según se indica:

- Definición y reglamentaciones sobre una franja de protección del cauce del río
- Plan de mantención y limpieza del cauce
- Actividades comunicacionales y educativas
- Aspectos institucionales
- Aspectos económico-administrativos
- Otras medidas relacionadas con el uso del suelo

- Sistemas de alerta de crecidas afluentes a Calama

Dentro de estas medidas, las de mayor relevancia e importancia tienen que ver con la definición de la franja de protección del río y el sistema de alertas de crecidas.

También se hizo un análisis ambiental y actividades de participación ciudadana que quedan también expuestas en el informe final.

CUADRO 5.2.5-7
PRIORIZACIÓN DE LAS SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DEL RÍO

SOLUCION		UBICACIÓN (km)	INVERSIÓN (miles $)	ORDEN DE PRIORIDAD	HORIZONTE
Nº	NOMBRE				
2	Puente Yalquincha	2,68	589.007	1	CORTO PLAZO 0 - 5 Años
5	Mejoramiento Pretil de Emergencia	3,15 – 3,90	165.78	2	
4	Terraplén Terrenos de Lomahuasi	3,15 – 4,10	154.035	3	
9	Rectificación Sección del Cauce Balneario Topater	5,43 - 5,47	42.254	4	
15.a	Puente Las Vacas	9,34	47.85	5	
17	Terraplén Valle del Inca	9,35 – 9,60	79.091	6	
12	Rectificación Sección del Cauce en Parque El Loa	8,85	36.051	7	MEDIANO PLAZO 5 – 10 Años
8	Protección Rellenos Aguas Arriba Puente Topater	5,30 - 5,42	29.235	8	
10	Protección Talud en Villa San Rafael	8,17 – 8,63	122.085	9	
16	Terraplén Finca Nuñez	9,50 – 9,86	67.368	10	
18	Terraplén Leonardo Da Vinci	9,60 – 10,05	47.525	11	
19	Terraplén Camino Ojos de Opache	12,32 – 12,67	78.795	12	
13	Bocatoma Canal Chunchuri Bajo	9,09	55.58	13	LARGO PLAZO Más 10 Años
14	Muros de Encauzamiento Pte. Dupont	9,10	47.484	14	
3	Bocatoma Canal Tronco	2,76	40.023	15	
7	Bocatoma Canal Topater Alto	4,58	119.859	16	
6	Demolición Barrera Cajón del Muerto	3,98	2.604	17	
1	Terraplén Camino Yalquincha	1,51 - 1,95	168.426	18	
11	Badén Villa San Rafael	8,23	20.871	19	
INVERSIÓN TOTAL DE LAS SOLUCIONES			**1.913.923**		

Fuente: "Plan de Manejo Técnico del Río Loa a su Paso por Calama y Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Calama, II Región"

En resumen, se puede decir que le plan de construcción de obras de disipación de energía para Antofagasta ha sido desarrollado durante los últimos años, logrando construir gran parte de las obras proyectadas.

Estas obras no han sido utilizadas a su máxima capacidad, pues no ha ocurrido otro aluvión como el del año 1991 para verificar la capacidad de las obras. Por otra parte, en la ciudad de Taltal, ya se construyó la primera parte de las obras necesarias para controlar el flujo de la quebrada principal y está en proceso la segunda etapa. Las obras de la primera etapa (Figura 5.2.5-3) funcionaron correctamente en un evento ocurrido el 2006. Por su parte en la zona alta de la región, está en desarrollo el estudio de prefactibilidad para la construcción de embalses de control de crecidas en el río Salado, afluente del río Loa. En conjunto la construcción de defensas en la rivera del río Loa y la disponibilidad de terrenos para inundación son proyectos que pertenecen a las metas del Ministerio de Obras Públicas antes del año 2020[2].

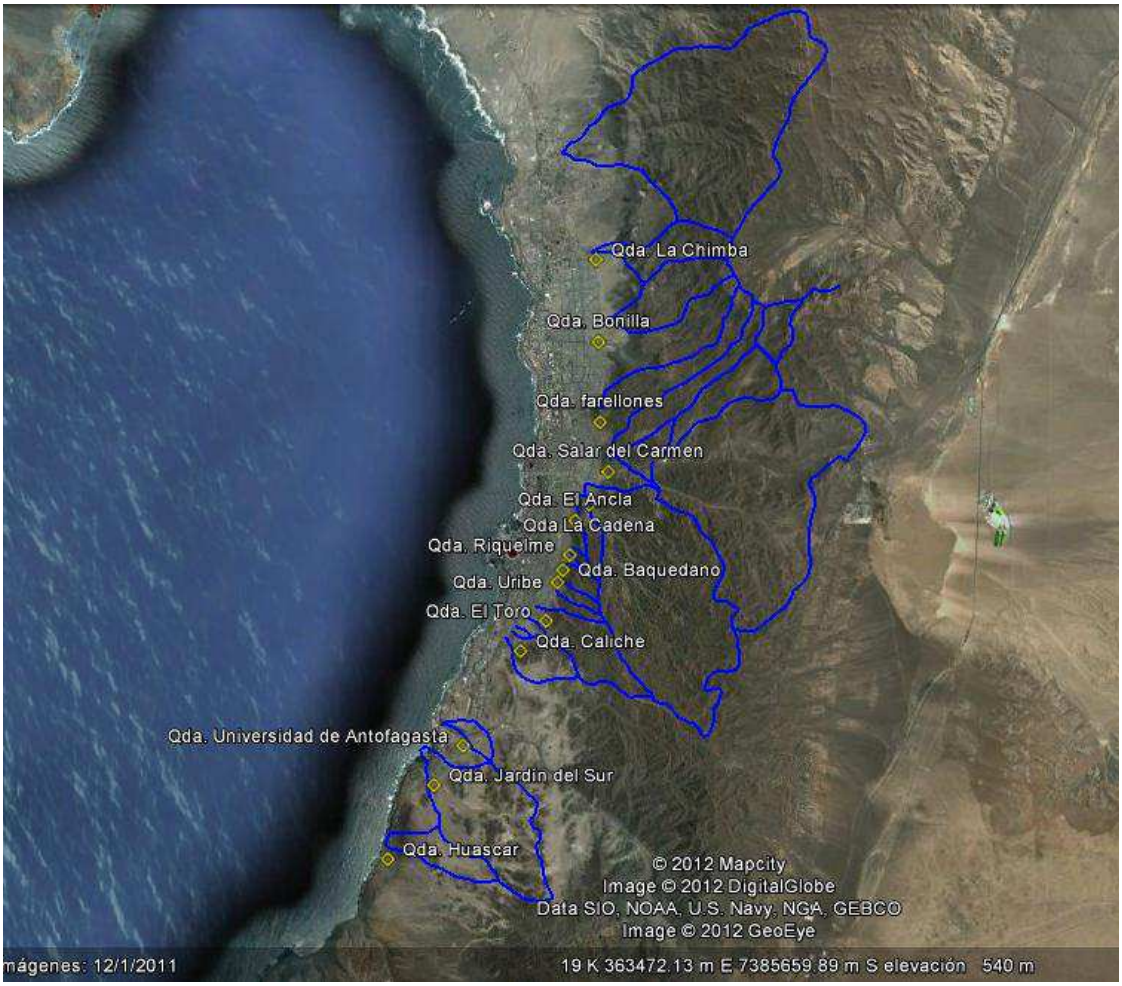
Entonces, los Planes Maestros de manejo de cauces y de aguas lluvias, tienen información relevante de las obras existentes y de las soluciones planteadas el año 2004 para los problemas que a esa fecha tienen las ciudades en cuanto a inundaciones y posibilidades de control de crecidas.

Así, como un intento de verificar esta información, se revisó el Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, región de Antofagasta, publicado en diciembre del año 2011. De este trabajo se extrae de la sección de análisis de defensas fluviales y ribereñas, que el flujo afluente a Calama está controlado en un 52% por el embalse Conchi, cifra que podría aumentar a un 75% con la construcción de un embalse que regule las aguas del río Salado. Por otra parte, se identificaron 10 sectores críticos que afectan el flujo natural y normal del cauce. Entonces realizando una priorización se mantiene la primera posición para el Puente Yalquincha, al igual que en el plan maestro.

Por otra parte, se revisaron imágenes satelitales actuales, para hacer un catastro de las obras de disipación de energía por aluviones que ya están construidas. De las 14 que se presentaron en el diseño definitivo (Figura 5.2.5-4), se verificó que solo en las quebradas de: Salar del Carmen, La Cadena, El Ancla, y Uribe, las obras se pueden ver terminadas.

[2] Este documento corresponde a un extracto del libro: "CHILE 2020. Obras Públicas para el Desarrollo", cuya versión digital está disponible en la siguiente dirección: http://www.mop.cl/2020

FIGURA 5.2.5-4
LOCALIZACIÓN DE LAS 14 QUEBRADAS DONDE SE HAN HECHO ESTUDIOS A NIVEL DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA



Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth e información del proyecto: Diseño Definitivo Sistemas de Disipación de Energía Aluvional en Antofagasta.

5.3. DIAGNÓSTICO DE DESEMPEÑO ANTE EVENTOS EXTREMOS

5.3.1. Introducción

La región de Antofagasta se caracteriza por su extrema aridez en casi toda su extensión, con un promedio de precipitación de 1,7 mm en la ciudad costera de Antofagasta, donde la interacción océano-atmósfera-tierra es bastante complejo. Esta característica no se presenta en la parte alta de la región; donde las precipitaciones son

intensas y pueden variar fuertemente (Aceituno, 1996[3] muestra valores entre 50 y 200 mm por año).

Por la baja precipitación en la zona costera, el terreno no está preparado para recibir y transportar tormentas extremas, lo que provoca que en estos casos (de fuertes eventos de precipitación) las quebradas y ríos tengan un gran movimiento de sedimentos (llamado también en la literatura como crecidas súbitas y movimiento de detritos, para el aluvión de 1991 en la ciudad de Antofagasta).

De todas formas, las precipitaciones en la parte alta, al mostrar una gran variabilidad entre un año y otro, ocurren con cierta frecuencia años lluviosos que generan crecidas en los cauces que drenan la parte alta de la región (altiplano), y que provocan daños en los asentamientos ubicados en las cercanías.

5.3.2. Catastro de Eventos Extremos

De la red de monitoreo de la DGA, existen estaciones fluviométricas capaces de medir caudales instantáneos. De ahí es posible obtener los caudales máximos instantáneos diarios para hacer un catastro de los principales eventos extremos que han ocurrido en las últimas décadas.

En este caso, se tomaron dos estaciones; Río Salado antes junta Curti (con 36 años de registros), que mide el flujo del río Salado aguas arriba de su junta con el Loa y es la única estación de este cauce que tiene una extensión de información de 36 años y más aun, la única con medición de caudales máximos, exceptuando el análisis del río Loa, pues este cuenta con el embalse Conchi que cuenta con capacidad para regulación de crecidas y que es operado y monitoreado constantemente. La otra estaciónfluviométrica que se utiliza para el catastro de eventos extremos es la de río San Pedro en Cuchabrachi (la única estación con mediciones de caudales máximos en este cauce y con una extensión de información medida de más de 40 años), que mide el caudal de este río antes de su paso por el costado poniente del pueblo de San Pedro de Atacama y que desemboca en el salar de Atacama. Estos dos cauces (río Salado y el río San Pedro) tienen una importante influencia en los caudales de crecidas no regulados en estas dos zonas que frecuentemente sufren los efectos de los eventos extremos del invierno boliviano.

Se presenta en el Cuadro 5.3.2-1 y Cuadro 5.3.2-2 las estadísticas de las dos estaciones indicadas. Donde se destacan en color verde, rojo y morado claro; las crecidas, crecidas grandes y crecidas muy grandes respectivamente. Esta clasificación fue realizada en relación al valor medio mensual de los años que se presentan en los cuadros. Es por eso que una crecida de invierno no es igual a una de verano.

Al analizar la información contenida en los Cuadros 5.3.2-1 y 5.3.2-2 en 14 de los 46 años observados en la estación río San Pedro en Cuchabrachi se muestran crecidas grandes (el caudalinstantáneo máximo diario sobre 10 m^3/s). La estación muestra claramente una mayor frecuencia de crecidas en los meses de enero, febrero y marzo. En la estación del río Salado antes de junta con río Curti se tienen 9 de los 36

[3]P. Aceituno, Elementos del clima Sudamericano, Revista Geofísica (1996).

años registrados muestran crecidas grandes (el caudal instantáneo máximo diario sobre 35 m^3/s), donde 5 de estos coinciden con la estación de San Pedro en Cuchabrachi (1976, 2000, 2001, 2004 y 2006). En cuanto a su continuidad, se ve que la estación de San Pedro en Cuchabrachi tiene varios cortes en el registro de información en varios años durante la época de verano, en cambio la estación de río Salado antes de junta con el río Curti muestra una buena continuidad en sus mediciones durante el periodo del invierno Boliviano. Esto se puede interpretar como un funcionamiento adecuado frente a las crecidas.

CUADRO 5.3.2-1
ESTADISTICAS DE CAUDALES INSTANTANEOS DIARIOS MAXIMOS (m³/s)

RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI																								
	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
AÑO	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día
1961	-		-		-		1,62	29	1,62	24	1,07	15	1,15	22	1,03	30	1,03	6	1,07	20	1,03	13	-	
1962	0,94	24	1,27	7	1,03	30	1,07	6	1,44	18	1,15	24	1,15	29	1,07	31	1,03	2	0,98	1	-		-	
1963	-		-		-		-		-		-		1,17	22	1,13	24	1,21	16	0,79	31	0,79	4	0,79	30
1964	0,79	31	1,15	25	0,83	3	0,94	30	1,15	31	1,24	5	1,07	27	1,15	22	1,28	15	0,94	20	0,83	24	0,86	31
1965	0,98	19	0,79	28	0,94	13	0,9	30	1,28	18	1,07	18	1,11	23	1,02	31	1,41	26	1,24	8	0,9	13	0,79	28
1966	0,79	11	0,79	26	0,86	11	0,86	11	1,15	17	1,02	1	-		-		-		-		-		-	
1968	-		-		-		-		0,91	31	1,41	29	1,5	4	1,41	8	-		-		0,78	29	0,85	27
1969	0,85	27	0,91	8	-		-		1,05	31	1,14	1	-		1,14	28	0,98	6	0,98	6	0,78	5	0,78	23
1970	0,78	30	1,14	20	5,78	3	7	1	1,23	12	1,62	6	2,81	30	1,5	29	2,37	2	0,78	31	0,78	28	0,78	26
1972	59,48	3	40,76	15	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
1976	7,08	29	63,26	23	1,12	7	1,19	27	1,64	27	1,76	17	1,64	27	2,1	28	2,32	14	1,62	18	1,44	3	-	
1977	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		0,83	23
1978	1,03	2	5,85	4	0,78	10	1,06	29	1,41	29	1,52	15	1,59	1	1,49	16	1,44	1	0,93	16	0,71	15	0,84	17
1979	5,3	8	0,8	28	0,93	2	0,88	20	1,2	29	1,63	26	1,68	25	1,75	18	1,4	16	0,82	19	0,78	29	0,85	27
1980	0,85	27	1,28	18	9	29	0,88	1	1,24	13	1,35	25	1,59	29	1,59	1	1,25	1	0,69	31	0,88	10	0,96	28
1981	0,88	9	20,45	26	0,68	31	1,1	28	1,31	28	1,34	29	1,7	20	1,4	5	-		0,9	23	0,77	4	0,71	23
1982	0,74	12	0,82	27	0,8	18	0,98	21	-		-		-		-		-		-		-		-	
1983	-		1,09	6,00	1,48	14	0,82	30	1,28	29	1,28	6	1,28	29	1,37	31	1,28	1	0,99	9	0,99	17	1,37	31
1984	22,05	5	1,59	21	0,82	13	0,9	30	1,18	15	1,28	17	1,09	30	1,48	18	1,48	18	0,99	2	0,82	3	0,82	26
1985	0,82	10	2,41	19	1,18	5	0,98	8	1,06	30	1,24	25	1,33	11	1,42	11	1,24	3	1,06	10	0,98	1	0,83	6
1986	-		-		-		0,81	27	1,38	31	1,32	7	1,45	22	1,42	21	1,28	18	1,06	20	0,93	10	1,14	31
1987	1,33	5	1,52	18	7,31	9	0,92	30	1,47	22	1,44	26	1,54	7	1,38	6	1,44	16	0,86	28	0,85	1	0,85	5
1988	1,24	20	0,85	2	0,92	8	0,91	22	1,36	31	1,32	10	1,29	28	1,18	17	1,22	26	0,85	2	0,73	17	0,74	28
1989	0,67	23	29,85	11	0,68	31	0,87	30	1,09	1	1,12	28	3,39	28	3,1	10	-		0,64	31	0,69	29	0,68	1
1990	0,79	29	0,85	1	1,75	12	0,98	30	1,01	31	1,33	17	1,3	31	1,18	1	0,93	30	0,82	8	0,76	5	2,48	29
1991	1,1	1	0,79	5	1,01	11	0,75	19	0,94	30	1,04	8	1,07	7	0,89	31	0,71	29	0,83	10	0,64	13	0,73	15
1992	0,78	19	0,76	21	0,78	24	1,04	30	1,04	28	1,09	23	1,11	16	1,15	31	1,07	6	0,86	5	0,68	29	0,84	29
1993	4,53	20	0,97	5	1	29	0,79	1	1,01	15	1,09	18	1,16	10	1,13	22	0,99	2	0,88	2	0,73	2	0,66	12
1994	0,82	21	5,03	4	1,4	10	0,71	22	0,96	30	1,05	26	0,99	30	1,09	10	0,93	3	1,11	19	1,14	2	0,85	21
1995	29,99	29	-		2,42	17	0,77	21	0,86	31	1,07	25	1,11	10	1,01	13	0,78	29	0,73	13	0,84	1	0,61	2
1996	0,65	30	0,73	12	0,82	6	0,79	7	1,01	24	1,06	18	1,08	29	0,95	31	1,26	1	0,79	14	0,71	28	0,74	26
1997	1,05	23	7,13	28	10,99	5	0,75	16	1,03	25	1,05	7	1,04	1	1,17	12	0,81	4	0,86	9	0,72	21	0,73	26
1998	9,19	20	0,73	9	0,66	29	0,81	28	1,49	31	2,34	3	1,03	2	1,07	29	1,08	8	0,75	27	0,72	26	0,71	9
1999	0,81	1	13,21	17	0,75	20	0,74	16	0,97	18	1,08	30	1,07	2	0,91	8	1,13	16	0,85	9	0,72	12	0,66	31
2000	11,42	27	0,99	25	9,97	8	0,74	29	1	17	1,09	22	1,01	27	1,01	29	0,95	6	0,75	5	0,66	18	0,57	6
2001	0,92	28	42,4	28	35,96	2	-		-		1,05	26	1,1	28	1,03	19	0,92	14	0,73	1	0,6	4	0,5	5
2002	0,49	31	0,86	17	20,15	12	0,81	30	1,07	28	1,17	19	1,02	2	1,13	30	1,05	13	0,84	28	0,84	12	0,9	3
2003	0,86	20	10,89	7	0,77	19	1,03	15	1	17	1,02	28	1,13	18	1,15	6	1,15	11	0,81	2	0,86	5	0,81	21
2004	0,99	17	16,19	10	-		0,77	25	1,11	28	1,15	15	1,12	21	1,22	18	0,78	7	0,72	19	0,7	22	0,75	31
2005	20,29	13	1	20	0,89	12	0,89	27	0,86	26	0,92	14	0,85	29	0,81	25	1,41	16	0,82	13	-		0,71	31
2006	0,8	30	25,18	6	1,08	16	0,66	24	0,72	25	0,88	24	0,88	28	0,93	27	0,79	1	0,63	22	0,7	30	0,65	20
2007	0,81	2	0,88	13	0,7	13	0,68	9	0,85	28	0,91	27	0,95	18	0,96	10	0,78	6	0,7	13	-		0,77	28
2008	11,75	16	1,18	29	1,15	23	-		-		-		-		-		-		-		0,52	20	0,63	2
2009	0,65	25	0,71	22	0,81	21	0,73	30	0,81	22	0,99	24	0,7	22	0,9	25	1,09	11	0,71	1	0,69	20	0,67	23
2010	0,7	2	0,86	27	0,72	31	0,91	30	1,19	19	1,12	7	1,05	28	1,6	5	1,55	4	0,7	16	-		-	
2011	-		-		-		-		0,68	20	-		1,02	23	1,06	4	-		0,83	20	-		-	
prom	5,17		7,9		3,48		1,05		1,14		1,22		1,29		1,26		1,18		0,87		0,8		0,82	
desv	11,03		14,21		6,81		1,01		0,23		0,27		0,49		0,40		0,36		0,18		0,16		0,31	

Crecidas
Crecidas grandes (sobre el prom+desv)
Crecidas muy grandes (sobre 10 m³/s)

Fuente: Elaboración propia a partir de la información BNA

CUADRO 5.3.2-2
ESTADISTICAS DE CAUDALES INSTANTANEOS DÍARIOS MAXIMOS (m³/s)

RIO SALADO A, J, CURTI																								
	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
año	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día	Qmax	Día
1976	73,88	29	1,89	12	2,33	7	0,36	7	0,41	12	0,36	15	0,51	15	0,44	22	0,51	12	0,21	15	-		0,33	29
1977	3,42	17	153,8	22	2,18	13	0,51	3	0,48	11	-		0,24	29	0,24	24	0,76	17	0,14	24	0,11	30	6,58	8
1978	1,02	2	1,51	5	0,31	8	0,58	7	0,24	31	0,38	17	0,55	1	0,8	7	0,62	24	0,15	6	0,17	24	0,67	4
1979	1,21	18	0,26	27	0,55	6	0,36	14	0,26	18	0,36	17	0,21	24	0,21	1	0,28	17	0,15	4	0,11	17	5,98	30
1980	0,41	13	3,1	25	0,48	31	3,59	25	0,14	24	1,14	20	0,41	16	0,48	8	7,2	17	0,67	7	-		3,76	31
1981	0,28	30	10,84	26	0,28	1	0,12	14	0,15	20	0,15	28	0,19	24	0,12	15	0,28	3	0,14	1	0,08	27	0,24	15
1982	0,26	3	0,8	18	0,71	31	0,71	15	0,21	6	0,11	26	2,62	11	0,08	9	0,41	26	0,07	1	0,04	30	7,41	30
1983	5,59	1	0,12	6	1,02	17	0,08	23	0,31	13	0,28	10	8,94	22	0,17	4	0,85	18	0,19	15	0,08	17	0,67	31
1984	19,52	9	5,78	20	4,11	13	0,07	19	0,09	26	0,19	26	0,11	10	0,11	4	0,76	16	0,09	27	0,44	3	0,17	31
1985	0,19	1	6,17	19	38,4	6	0,24	22	0,28	29	0,19	29	0,33	28	0,15	27	0,58	19	0,11	2	0,07	18	0,55	31
1986	12,42	30	4,16	2	0,19	27	0,16	18	0,14	22	0,19	28	0,55	15	0,35	19	0,17	19	0,5	1	0,46	8	6,42	30
1987	20,38	5	0,75	17	5,36	10	0,16	1	0,19	20	0,23	21	0,36	14	0,1	2	0,06	24	0,07	16	0,44	3	0,1	3
1988	1,67	20	0,46	17	3,54	8	0,1	22	0,15	19	0,11	21	0,1	16	0,13	8	0,14	20	0,04	4	0,05	11	0,4	6
1989	0,16	20	30,6	11	0,27	1	0,15	25	0,15	20	0,42	13	0,13	27	0,07	9	0,25	19	0,18	12	0,1	25	0,06	2
1990	0,06	6	0,69	1	0,63	12	0,08	13	0,12	19	0,19	13	0,08	20	0,14	29	0,12	8	0,05	15	0,04	14	1,36	31
1991	8,61	1	0,11	22	0,46	9	0,04	30	0,12	19	0,15	29	0,19	3	0,15	23	0,07	5	0,09	12	0,06	23	0,14	14
1992	0,46	6	0,09	18	0,14	1	0,06	29	0,08	31	0,11	1	0,17	20	0,08	4	0,51	17	0,1	1	0,05	3	0,32	19
1993	3,97	22	0,4	6	3,26	28	0,11	2	0,05	10	0,1	29	0,29	7	0,36	11	0,08	24	0,07	23	0,03	12	0,25	15
1994	0,13	20	-		0,32	31	0,08	1	0,08	27	0,08	26	0,11	30	0,08	29	0,18	17	0,16	1	0,19	11	1,25	14
1995	18,99	30	0,8	1	6,38	17	0,04	27	0,58	16	0,72	27	0,66	18	0,78	16	0,25	17	0,73	24	0,1	23	0,02	31
1996	0,12	20	0,23	23	0,27	20	0,06	20	0,06	7	0,1	27	0,11	10	0,46	30	0,5	1	0,04	5	0,17	29	0,15	2
1997	0,66	16	59,35	24	3,04	3	0,24	2	0,2	6	0,19	24	0,21	23	0,38	12	0,23	20	0,13	4	0,04	12	0,24	31
1998	6,58	19	9,37	9	0,27	2	0,27	7	0,09	22	0,41	6	0,25	1	0,22	26	0,31	8	0,12	22	0,07	19	0,4	11
1999	0,35	31	10,72	18	12,26	12	0,61	2	0,57	28	0,5	4	0,9	5	0,27	17	0,42	23	0,35	20	0,4	15	0,34	10
2000	67	23	2,33	27	10,1	7	0,28	9	0,22	27	0,31	4	-		0,21	24	0,23	25	0,1	30	0,07	30	0,19	6
2001	3,53	18	144,84	27	79,9	18	0,48	1	0,54	23	0,47	28	0,53	13	0,36	23	0,37	12	0,36	13	0,35	1	0,2	24
2002	0,26	31	1,17	17	22,67	6	0,78	17	0,38	25	0,32	7	0,48	5	0,24	30	0,21	1	0,2	17	0,22	19	0,17	31
2003	0,42	31	3,34	7	0,21	19	0,25	11	0,91	17	0,27	1	0,25	27	0,22	2	0,19	11	0,19	31	0,22	23	0,26	26
2004	0,2	1	69,52	10	0,45	11	0,2	26	0,38	28	0,4	30	0,35	1	0,3	24	0,19	6	0,14	30	0,26	21	0,15	6
2005	27,56	13	0,56	22	0,73	12	0,24	12	0,28	18	0,56	28	0,35	21	0,33	9	0,44	23	0,34	4	0,21	15	0,19	21
2006	8,46	20	80,55	7	0,82	17	0,38	17	0,29	3	0,22	8	0,17	18	0,16	30	0,14	18	0,19	19	0,19	18	0,25	26
2007	2,72	15	0,57	15	0,3	13	0,28	5	0,33	24	0,31	26	0,53	3	0,31	26	0,3	14	0,17	1	0,61	13	0,26	9
2008	33,37	21	0,46	4	0,09	19	0,08	2	-		0,48	25	0,25	5	0,25	28	0,04	5	0,4	6	21,47	17	0,2	28
2009	1,26	7	0,28	19	2,04	13	0,21	13	0,19	25	1,49	30	3,7	5	1,25	31	1,35	11	0,17	16	0,14	17	0,35	15
2010	0,08	21	0,53	26	0,23	1	0,39	30	0,45	1	0,19	22	0,2	29	0,59	12	0,23	4	0,2	14	0,1	2	0,11	10
2011	0,28	26	50,99	2	0,14	5	-		-		-		-		-		-		-		-		-	
prom	9,04		18,78		5,68		0,35		0,27		0,34		0,74		0,3		0,55		0,2		0,82		1,12	
desv	17,29		38,78		14,74		0,60		0,19		0,29		1,62		0,25		1,19		0,16		3,71		2,07	

Crecidas
Crecidas grandes (sobre el prom+desv)
Crecidas muy grandes (sobre 35 m³/s)

Fuente: Elaboración propia a partir de la información BNA

5.3.3. Catastro de Daños

5.3.3.1. Introducción

La Organización No Gubernamental (ONG); *Desinventar*[4], hace un catastro histórico de los eventos extremos en diversos países y genera una página web con una base de datos procesada y ordenada. En el Cuadro 5.3.3.1-1 se presenta un resumen de los más importantes eventos extremos que han sucedido en la región asociados con el agua. Esta información tiene su origen en fuentes hemerográficas (prensa, diario, etc.). La información disponible fue actualizada hasta el presente con el fin de lograr la mayor cobertura posible.

Por otra parte, en la revista Geológica de diciembre del 2000 se presenta la publicación: *Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur*, donde hacen un catastro desde fuentes hemerográficas de los eventos extremos desde principios de siglo en la región:

"Entre 1916 y 1999, la ciudad fue afectada por inundaciones o aluviones en siete oportunidades: en 1925, 1930, dos veces en 1940, 1982, 1987 y 1991, de los cuales los más importantes ocurrieron en 1940 y 1991. En todas las oportunidades las lluvias ocurrieron durante el invierno de la fase de desarrollo de eventos El Niño (ENOS, de intensidad muy fuerte o moderada), y formaron parte de sistemas frontales provenientes desde el sur que afectaron, además, a gran parte del norte de Chile."

Por otra parte, de una revisión bibliográfica hecha en la biblioteca nacional, recopilando las noticias relacionadas con eventos extremos de la última década se presenta el Cuadro 5.3.3.1-2.

[4] http://www.desinventar.org/

CUADRO 5.3.3.1-1
RESUMEN EVENTOS EXTREMOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Fecha Inicio	Tipo de evento	Región/ Provincia/ Comuna	Fuentes	Muertos	Desaparecidos	Heridos; enfermos	Damnificados
04-04-1971	Tempestad	Antofagasta/ El Loa/ San Pedro de Atacama	El Mercurio	2	0	0	0
04-07-1971	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	1592
20-08-1971	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	6	53
07-09-1972	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	2000
06-03-1973	Tempestad	Antofagasta/ El Loa/ San Pedro de Atacama	El Mercurio	0	0	0	150
07-06-1973	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	El Mercurio	0	0	0	80
27-02-1981	Aluvión	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	1	0	0	Sí
27-08-1982	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	350
11-06-1983	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Sierra Gorda	El Mercurio	0	0	0	200

**CUADRO 5.3.3.1-1
RESUMEN EVENTOS EXTREMOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)**

Fecha Inicio	Tipo de evento	Región/ Provincia/ Comuna	Fuentes	Muertos	Desaparecidos	Heridos; enfermos	Damnificados
04-04-1971	Tempestad	Antofagasta/ El Loa/ San Pedro de Atacama	El Mercurio	2	0	0	0
04-07-1971	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	1592
20-08-1971	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	6	53
07-09-1972	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	2000
06-03-1973	Tempestad	Antofagasta/ El Loa/ San Pedro de Atacama	El Mercurio	0	0	0	150
07-06-1973	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	El Mercurio	0	0	0	80
27-02-1981	Aluvión	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	1	0	0	Sí
27-08-1982	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	350
11-06-1983	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Sierra Gorda	El Mercurio	0	0	0	200

**CUADRO 5.3.3.1-1
RESUMEN EVENTOS EXTREMOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)**

Fecha Inicio	Tipo de evento	Región/ Provincia/ Comuna	Fuentes	Muertos	Desaparecidos	Heridos; enfermos	Damnificados
11-06-1983	Tempestad	Antofagasta/ El Loa/ Calama	El Mercurio	0	0	0	2400
11-06-1983	Tempestad	Antofagasta/ Tocopilla/ Tocopilla	El Mercurio	0	0	0	800
01-07-1983	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	884
01-07-1983	Lluvias	Antofagasta/ Tocopilla/ Tocopilla	El Mercurio	0	0	0	447
01-01-1984	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	40
08-06-1984	Tempestad	Antofagasta/El Loa/Calama	El Mercurio	0	0	0	204
13-03-1987	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Sierra Gorda	El Mercurio	0	0	0	50
25-07-1987	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	El Mercurio	0	12	0	1400
28-07-1987	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	0	0	0	3000
28-07-1987	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	El Mercurio	0	1	0	2000

**CUADRO 5.3.3.1-1
RESUMEN EVENTOS EXTREMOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)**

Fecha Inicio	Tipo de evento	Región/ Provincia/ Comuna	Fuentes	Muertos	Desaparecidos	Heridos; enfermos	Damnificados
28-07-1987	Tempestad	Antofagasta/ Tocopilla/ Tocopilla	El Mercurio	0	0	0	50
08-03-1988	Lluvias	Antofagasta/ El Loa/ Calama	El mercurio	0	0	0	43
11-03-1990	Lluvias	Antofagasta/ El Loa/ Calama	El Mercurio	0	0	0	32
18-06-1991	Aluvión	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El Mercurio	91	16	715	65000
06-10-1991	Nevada	Antofagasta/ El Loa/ San Pedro de Atacama	El Mercurio	0	0	0	6
19-05-1995	Tormenta eléctrica	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	El Mercurio	0	0	0	32
07-07-1996	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/Mejillo nes	El Mercurio	0	0	0	35
20-03-1997	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Sierra Gorda	El Mercurio	0	0	0	20
11-05-1997	Tempestad	Antofagasta/ El Loa/ Calama	La Tercera	0	0	0	28

**CUADRO 5.3.3.1-1
RESUMEN EVENTOS EXTREMOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(Continuación)**

Fecha Inicio	Tipo de evento	Región/ Provincia/ Comuna	Fuentes	Muertos	Desaparecidos	Heridos; enfermos	Damnificados
28-06-1999	Aluvión	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	el mercurio	0	0	0	280
14-05-2000	Lluvias	Antofagasta/ Antofagasta/ Taltal	El mercurio	0	0	0	280
01-06-2000	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El mercurio	0	0	0	1745
01-06-2000	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Antofagasta	El mercurio	0	0	0	281
01-06-2000	Tempestad	Antofagasta/ Antofagasta/ Mejillones	El mercurio	0	0	0	182
06-01-2001	Tormenta eléctrica	Antofagasta/ El Loa/ Ollagüe	El Mercurio	1	0	0	0
13-02-2006	Tempestad	Antofagasta/ Tocopilla/ María Elena	El Mercurio	0	0	0	120

Fuente: Extraído de la base de datos de la ONG DesInventar

CUADRO 5.3.3.1-2
RECOPILACIÓN DE LAS NOTICIAS DE LOS ÚLTIMOS EVENTOS EXTREMOS EN LA ZONA

Fecha Publicación	Periódico	Evento	Resumen
25-01-2000	El Mercurio	Lluvias	Intensas lluvias en la precordillera de la provincia del Loa como consecuencia del invierno altiplánico
30/01/2000	El Mercurio	Lluvias	Poblado de río Grande sin agua potable, problemas en los caminos de acceso. Baden Salado que conduce a Ayquina, cortado.
03-06-2000	El Mercurio	Inundación	Inundación en la ciudad de Antofagasta
11-01-2001	El Mercurio	Lluvia	Lluvias en la provincia del Loa producto del invierno boliviano
28/02/2001	El Mercurio	Lluvia	Corte de agua potable en Río Grande.
03-02-2001	El Mercurio	Inundación	Localidad de Río Grande, Matansilla, San Pedro, Toconao, Talabre, Camar, Socaire, Peine y Machuca: El Gobierno de Chile declaró el 03 de marzo de 2001 a San Pedro como zona afectada por catástrofe. Restricción de suministro de agua por 10 horas durante el día. Anegamiento de calles y viviendas.
03-03-2001	El Mercurio	Inundación	Crecida Río Grande y Río San Pedro, colapso de canales de riego. Total de damnificados:500. San Pedro de Atacama y los ayllus cercanos fueron afectados por las precipitaciones y la inundación. Corte de caminos aisla a los sectores de Cuchabrache y Río Grande.
11 y 12-02-2004	El Mercurio	Lluvias	Captaciones de agua potable de Antofagasta dañadas por precipitaciones del invierno boliviano
26-06-2007	El Mercurio	Lluvia y nieve	Cierre de los pasos de Sico y Jama por la fuerte lluvia y nieve
16/01/2008	El Mercurio	Lluvias	Daños en caminos interiores y pasos internacionales.
19/01/2008	El Mercurio	Lluvias	Corte camino San Pedro - Paso Sico.
08-02-2011	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	El río Loa aumenta su caudal debido a la crecida del río Salado y la apertura de las compuertas del embalse Conchi
13-02-2011	El Mercurio de Antofagasta	Aluvión	Aluvión cortó ruta Calama-Antofagasta
13/02/2011	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	Corte de caminos San Pedro de Atacama

CUADRO 5.3.3.1-2
RECOPILACIÓN DE LAS NOTICIAS DE LOS ÚLTIMOS EVENTOS EXTREMOS EN LA ZONA
(Continuación)

Fecha Publicación	Periódico	Evento	Resumen
10-07-2011	El Mercurio de Antofagasta	Lluvias	En dos días precipitaron 6,6mm en la Región de Antofagasta
02-11-2012	El Mercurio	Inundación	Los damnificados por las fuertes lluvias en San Pedro de Atacama aumentaron a 25 personas y ya se registra un total de 800 afectados a causa del aluvión que afectó a parte de la Provincia del Loa.
14/02/2012	El Mercurio	Inundación	500 personas afectadas en la comuna de San Pedro de Atacama, por inundaciones de viviendas, filtraciones, problemas de cortes de agua y electricidad.
14/02/2012	El Mercurio de Antofagasta	Inundación	Desborde del Río Salado deja 320 damnificados en San Pedro de Atacama, en que los poblados más afectados son el mismo San Pedro, Toconao y Quitor.
17/02/2012	El Mercurio de Antofagasta	Inundación	Las pérdidas se estiman en 2500 millones de pesos. El Gobierno decreta Emergencia Agrícola.
19/02/2012	El Mercurio de Antofagasta	Inundación	Las peores lluvias en 10 años dejan pérdidas cercanas a los 2500 millones de pesos en la agricultura y daños inestimables en la actividad turística.
19/02/2012	La Tercera *	Inundación	Decenas de damnificados en San Pedro de Atacama por la crecida de los ríos de la comuna. El poblado más afectado es Río Grande con decenas de damnificados
20/02/2012	La Tercera *	Inundación	La ONEMI dio a conocer un conteo de 132 personas están afectadas por las crecidas de los ríos en la comuna de San Pedro de Atacama. En total, las fuertes lluvias del invierno altiplánico han dejado 343 viviendas dañadas y 4.243 afectados en la Región de Antofagasta. Según la alcaldesa de San Pedro de Atacama, Sandra Berna, las localidades más perjudicadas son Río Grande, Matancilla, Quitor, Catarpe, Socaire, Peine y Toconao

Fuente: Elaboración propia con base en El Mercurio, El Mercurio de Calama y El Mercurio de Antofagasta, periodo 1925 – 2012.

5.3.3.2. Resumen del Evento Ocurrido en Junio de 1991

El evento más crítico de los últimos 50 años corresponde al aluvión que ocurrió entre las últimas horas del 17 y las primeras horas del 18 de junio de 1991, donde precipitaron 17 mm en 3 horas en la ciudad de Antofagasta y hacia arriba de las quebradas que desembocan en esta ciudad.

La fuerte lluvia que ocurrió en este lugar dio origen a un flujo de agua y barro que se escurrió por las quebradas con gran velocidad, llegando finalmente a la ciudad de Antofagasta donde entró por calles y zonas abiertas, llevándose a su paso poblaciones, infraestructura vial, industrial, entre otras. En la Figura 5.3.3.2-1 se muestra el estado de la ciudad y la portada del diario el Mercurio durante los días posteriores al aluvión.

FIGURA 5.3.3.2-1
FOTOGRAFÍAS ALUVIÓN 1991



Fuente: El Mercurio

Las estadísticas de precipitación medidas en las estaciones de la región para el mes de junio se muestran en el Cuadro 5.3.3.2-1, donde se

nota para las últimas 3 estaciones (zona costera) la señal del evento de precipitación que ocurrió en la zona.

CUADRO 5.3.3.2-1
COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE JUNIO 1991 CON EL PROMEDIO CLIMÁTICO

Estación	BNA	Junio 1991	prom(junio 30 años)
ASCOTAN	02020002-2	0,0	1,2
LEQUENA	02101003-0	0,0	1,2
PARSHALL N 2	02103008-2	0,0	0,8
OJOS SAN PEDRO	02103009-0	0,0	1,5
INACALIRI	02103010-4	0,0	0,9
CONCHI EMBALSE	02104008-8	0,0	0,5
CHIU-CHIU	02104010-K	0,0	0,7
CUPO	02105014-8	0,0	1,2
TURI	02105015-6	0,0	2,5
LINZOR	02105016-4	1,1	2,1
TOCONCE	02105017-2	0,0	1,5
AYQUINA	02105018-0	0,0	0,8
SALADO EMBALSE	02105020-2	0,0	1,3
EL TATIO	02105022-9	0,0	3,0
QUILLAGUA	02112008-1	0,0	0,0
COYA SUR	02112009-K	1,5	0,4
CAMAR	02500017-K	0,0	3,5
SOCAIRE	02500019-6	0,0	2,7
PEINE	02500020-K	0,0	1,8
RIO GRANDE	02510007-7	0,0	3,8
BAQUEDANO	**02710002-3**	**17,5**	**0,9**
ANTOFAGASTA	**02710003-1**	**17,0**	**0,7**
AGUAS VERDES	**02942001-7**	**33,6**	**1,9**
TAL-TAL	**02943001-2**	**35,5**	**2,5**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del BNA

Del estudio del "Diagnóstico de sistemas alternativos de disipación de energía en las quebradas de Antofagasta" publicado por la DGA el año 1995, se extrae la información del daño catastrado luego del aluvión de 1991 en Antofagasta, donde se subdivide el catastro entre:

- Efectos a la población (casi 100 fallecidos)
- infraestructura (embancamiento de 800.000 m³ de lodo, problemas en la red de agua potable, alcantarillado y severos daños al acceso vial y ferroviario en La Negra y problemas de telecomunicaciones)

- otros (costos por consecuencia del aluvión, como mayores costos de operación en los sistemas de transporte, industrial, paralización de minera Mantos Blancos, etc.).

Luego se presenta una valorización de daños de aproximadamente $71.045.000 entre infraestructura social básica (61,55%), industria e infraestructura (15,2%) y lucro cesante (o costo alternativo, 23,25%). Así se trata de proyectar el costo de un aluvión a un periodo de retorno (T) de 100 años (16 mm para t=3 horas), considerando que el evento de junio de 1991 tuvo un T=89 años.

Luego de una serie de limitaciones y alcances de cómo sería el daño para un evento de T=100 años, se concluye que el valor de $71.000.000 de la tormenta de T=89 años es el valor más preciso, pensando en que el daño puede ser un poco mayor mientras mayor sea el periodo de retorno. Entonces se hace una revisión de los costos que tienen las obras de retención ya proyectadas y se presenta con esto una evaluación económica del caso.

De este estudio, se entiende entonces que el daño ocasionado por un aluvión en la ciudad de Antofagasta tiene un efecto enorme sobre la infraestructura social básica, y en segundo lugar sobre el lucro cesante, asociado principalmente a los problemas que tiene las empresas mineras.

La valorización de daños es un concepto difícil de definir cuando el grado de apreciación es tan subjetivo. De todas formas se puede llegar a órdenes de magnitud del valor de lo que se pierde o daña, para lograr compararlo con el costo de las obras asociadas a la mitigación del problema.

5.3.4. Diagnóstico Red de Monitoreo DGA en Eventos de Crecidas

En base al informe presentado por la DGA el año 2011, titulado "Mejoramiento de la red Fluviométrica para el control de crecidas" (Conic-BF, 2011), se identificaron 5 alternativas en la región de Antofagasta de estaciones disponibles que podrías servir para el control de crecidas. De estas 5, se eligen las dos que se muestran en el Cuadro 5.3.4-1.

CUADRO 5.3.4-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS PARA EL MONITOREO DE EVENTOS EXTREMOS

Nº	NOMBRE	COD. BNA	INICIO	CUENCA	ALTITUD
4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	02110101-4	jul-67	LOA	3315
5	RIO SALADO ANTES JUNTA RIO LOA	02105005-9	oct-16	LOA	2500

Fuente: Elaboración propia a partir del informe: Mejoramiento de la red Fluviométrica para el control de crecidas, DGA.

La primera estación cuenta con un limnímetro exterior, limnímetro interior, limnígrafo a cuerda y Data Logger con conexión satelital. Se seleccionó porque es una estación de cabecera que podría entregar información de volúmenes de crecida.

La segunda estación seleccionada cuenta con un limnímetro, pozo para limnígrafo y limnígrafo. Fue elegida porque es el río salado un cauce que aporta importantes caudales al Loa en épocas de crecida, entonces podría ser un punto de control relevante en alerta de crecidas para la ciudad de Calama.

Del mismo informe se presentan los caudales de crecidas en m^3/s de todas las estaciones de control. En el Cuadro 5.3.4-2 se presentan los valores para las dos estaciones de la región de Antofagasta.

El informe anteriormente mencionado de Conic-BF (2011), entrega finalmente una serie de recomendaciones y prioridades para el correcto funcionamiento de las estaciones en eventos de crecidas. En particular se presenta como prioridad Nº 1 a la estación del río Salado Antes Junta río Loa, esto por el posible daño asociado a las crecidas que pasan por este punto. Para esta última estación citada, se presentan dos alternativas de solución, pues en este punto la crecida de 100 años es muy importante y cubre prácticamente toda la caja del cauce, dejando bajo agua la actual (año 2011) estación.

CUADRO 5.3.4-2
CAUDALES DE CRECIDAS DETERMINADOS (m³/s)

Estaciones	periodo de retorno (años)						
	200	100	50	25	10	5	2
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	258,8	165,99	103,7	62,58	29,7	15,36	4,81
RIO SALADO ANTES JUNTA RIO LOA	1438,52	942,1	593,27	354,77	160,06	75,88	18,2

Fuente: Tomado del informe de "Mejoramiento de la red Fluviométrica para el control de crecidas"

Por otra parte, la estación del río Loa antes Represa Lequena ocupa el 5to lugar de prioridad para ser adaptada a la medición de crecidas. En este caso solo se presenta como recomendación, la instalación de un nuevo sensor y cómo podría hacerse su instalación.

Para diagnosticar el correcto funcionamiento de las estaciones seleccionadas, se presenta en el Anexo 5-1 la información medida de caudales máximos diarios de las dos estaciones, donde se nota que la continuidad del registro ha mejorado los últimos años y donde la mayor parte de los meses han medido más de 20 días.

El funcionamiento de un sistema de alerta frente a crecidas debido a eventos extremos como los que se presentan durante los meses de verano en el altiplano, depende de la operación del sistema que debe contar con las estaciones de medición que debe medir con precisión, transmitir y diseminar a las personas que pueden verse afectadas correctamente[5]. Por ejemplo, en un sistema de medición que no cuente con un rápido sistema de aviso de crecidas por los medios de comunicación actuales, haría que el sistema de alerta, aunque haya funcionado sus mediciones, no cumpla con su objetivo.Entonces un sistema de alerta de crecidas debe lograr indicar con suficiente tiempo y claridad, la magnitud y duración esperada de una crecida[6]

En la región de Antofagasta, como ya se ha mencionado en este informe, tiene dos áreas geográficas especialmente sensibles a eventos extremos de crecidas; la zona costera, donde durante tormentas de invierno se pueden producir aluviones, y la parte alta (altiplano) donde ocurren intensas lluvias de verano que generan crecidas en los ríos. El plan de alerta de crecidas en Chile se transmite a la población a través de

[5]Manual de la OMM: Guide of Hydrological Practices, WMO 2008 y 2009.
[6]Ibid 5

la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), quien recibe la información técnica de los diferentes organismos a cargo de mediciones de cada tipo de eventos extremos. En el caso de las crecidas de ríos, esta información es entregada a la ONEMI por la DGA.

Las estaciones de medición utilizadas para el aviso de crecidas podrían definirse a partir de las zonas de inundación que han ocurrido históricamente en algunos sectores donde la población y sus actividades se ven afectadas y que podrían ser catastradas a partir de información satelital de los últimos eventos.

El estudio anteriormente realizado por Conic-BF (2011) para la DGA el año 2011 muestra suficiente información actualizada para suponer que el diagnóstico de las redes de monitoreo está ya hecho. Pues por los alcances de este estudio, no es posible llegar más allá que lo que ya ha expuesto este trabajo recientemente analizado. De las estaciones seleccionadas, se ve que solo la estación del río Loa antes represa Lequena está habilitada para la medición de crecidas, pero la estación del río Salado antes Junta con río Loa no cuenta con el datalogger y conexión satelital, por lo que no cumple con las condiciones necesarias para informar a tiempo una alerta de crecida. En conclusión la estación del río Loa antes represa Lequena está bien equipada y parece estar operando para medir crecidas, en cambio la estación del río Salado antes junta río Loa no está disponible para registrar y comunicar en tiempo real las crecidas. Un análisis más acabado requiere planificar visitas a terreno y un completo análisis y disponibilidad de recursos para habilitarlas con un estándar para generar un sistema de monitoreo instantáneo de crecidas.

5.3.5. Seguridad de Abastecimiento Ante Sequías de Diferente Probabilidad de Excedencia

Del capítulo 3, sobre disponibilidad de recursos hídricos, se utiliza la tabla de caudales para diferentes probabilidad de excedencia para distintasestaciones fluviométricas de la región. El Cuadro 5.3.5-1 muestra los caudales con probabilidad de excedencia de 95 y 85% en 11 de las estaciones fluviométricas.

Por otra parte, se ven las demandas totales actuales de dos de los principales usos de la cuenca; riego y abastecimiento de agua potable.

En el Cuadro 5.3.5-2 se ve que la cuenca del río Loa tiene un explotación, desde su naciente hasta Lequena de 0,43 m^3/s, valor que se cumple para el ajuste de primera estación, la de río Loa antes represa

Lequena en la probabilidad de excedencia de 0,95% (típico para agua potable).

CUADRO 5.3.5-1
AJUSTE DE FRECUENCIA EN PERIODO ANUAL

Caudal (m^3/s)	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	RIO LOA EN YALQUINCHA	RIO LOA EN CHINTORASTE	RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE	RIO LOA EN DESEMBOCADURA	RIO VILAMA EN VILAMA
Pexc (%)/Tipo de Ajuste	**Log-Normal**	**Log-Normal**	**Log-Normal**	**Log-Normal**	**Normal**	**Log-Normal**	**Log-Pearson**	**Log-Pearson**	**Log-Normal**	**Gumbel**	**Normal**
98	0,41	0,69	0,70	0,42	0,26	1,10	0,63	0,50	0,01	0,00	0,07
95	0,44	0,74	0,75	0,47	0,31	1,16	0,68	0,55	0,01	0,00	0,09
85	0,49	0,82	0,81	0,56	0,37	1,26	0,77	0,63	0,01	0,07	0,12
$X^2_{(calculado)}$	3,88	4,54	5,98	3,93	4,58	4,75	2,64	3,65	2,55	5,50	4,23
$X^2_{(0,05)}$	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	3,84	3,84	5,99	5,99	5,99
Test	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Fuente: Tomado del Capítulo 3 de este informe: "Diagnóstico de Disponibilidad Hídrica"

En el caso del riego, se ve que el valor de demanda encontrado es el total para la cuenca del río Loa, por lo que se hace más difícil hacer una comparación puntual, de todas formas, se ve que para la misma estación del río Loa antes Lequena el ajuste de 85% de probabilidad de excedencia no alcanza para la demanda agrícola (0.52 m^3/s). Es probable que no alcance, pues algunos recursos hídricos para riego se sumen al Loa en la confluencia con el río Salado, que se localiza aguas debajo de Lequena. Para considerar entonces este aporte, se puede comparar la demanda agrícola con el caudal observado para un 85% de prob. de excedencia en la estación del Loa en Yalquincha, donde ahora sí, se puede cubrir completamente la demanda agrícola, pues hay un caudal medido de 1,26 m^3/s.

Para los otros casos de extracciones de agua potable en la cuenca, se puede observar que por la localización de los puntos mencionados en el Cuadro 5.3.5-2, el caudal está disponible con el porcentaje de excedencia necesario para la disponibilidad de agua potable.

De todas maneras, la desalación de agua, como nueva fuente del recurso hídrico, logra cubrir el déficit del agua potable, y proporcionar una alta seguridad de abastecimiento en caso de sequía.

CUADRO 5.3.5-2
EXTRACCIONES DE AGUA PARA 2 DE LOS USOS (L/s)

Demanda	Agua Potable	Agricultura
Río Loa	1046	516,2
Lequena	428	
Quinchamale	232	
Toconce	296	
San Pedro	90	

Fuente: Elaboración propia