



REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS



**PLAN DIRECTOR PARA LA  
GESTION DE LOS RECURSOS  
HIDRICOS EN LA CUENCA  
DEL RIO SAN JOSE**

VOLUMEN N° I  
INFORME FINAL

REALIZADO POR:  
AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.  
Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.

Departamento de Estudios y Planificación  
Dirección General de Aguas.

S.I.T. N° 43

SANTIAGO, JUNIO DE 1998

## **MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS**

**Ministro de Obras Públicas  
Sr. Ricardo Lagos E.**

**Director General de Aguas  
Ing. Sr. Humberto Peña T.**

**Jefe Departamento de Estudios y Planificación  
Ing. Sr. Carlos Salazar M.**

**Sr. Inspector Fiscal: Ing. Sr. Andrés Arriagada T.**

## **AC INGENIEROS CONSULTORES**

**Jefe de Proyecto  
Ing. Sr. Luis Ayala R, Ph.D.**

**Profesionales:**  
**Ing. Sr. David González G.**  
**Ing. Sra. Ximena Vargas M.**  
**Ing. Sr. Alejandro López A.**  
**Ing. Sr. José Vargas B.**  
**Ing. Sr. Jorge Castillo G.**  
**Ing. Sr. Juan C. Ayala R.**  
**Ing. Sr. Rodrigo Gutiérrez U.**  
**Ing. Sr. Felipe Espinoza C.**  
**Ing. Sr. Gabriel Castro A.**  
**Ing. Sr. Juan Espinoza M.**  
**Ing. Ejec. Sr. Willy Wolf B.**  
**Abogado Sr. Tulio Triviño Q.**

## INDICE

### VOLUMEN I

#### CAPITULO 1

	Pág.
1. INTRODUCCION . . . . .	1-1
1.1 Objetivos y Alcances del Estudio . . . . .	1-1
1.2 Descripción del Area del Estudio . . . . .	1-2
1.2.1 Antecedentes Generales . . . . .	1-2
1.2.2 Características de las Principales Cuencas del Area en Estudio . . . . .	1-3

#### CAPITULO 2

2. ANTECEDENTES RECOPIADOS . . . . .	2-1
2.1 Antecedentes de Carácter General . . . . .	2-1
2.1.1 Geografía Física, Económica y Administrativa . . . . .	2-2
2.1.2 Antecedentes Cartográficos, Topográficos y Aerofotogramétricos . . . . .	2-6
2.1.3 Otros Antecedentes . . . . .	2-8
2.2 Disponibilidad de los Recursos Hídricos . . . . .	2-19
2.2.1 Recursos Superficiales . . . . .	2-19
2.2.2 Recursos Subterráneos . . . . .	2-27
2.2.3 Interacciones entre Sistemas de Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos. . . . .	2-33
2.3 Calidad de Aguas . . . . .	2-34
2.3.1 Aguas Superficiales . . . . .	2-35
2.3.2 Aguas Subterráneas . . . . .	2-42
2.4 Usos y Demandas de Recursos Hídricos . . . . .	2-45
2.4.1 Sector Riego . . . . .	2-45
2.4.2 Sector Agua Potable e Industrial . . . . .	2-51
2.4.3 Sector Hidroelectricidad . . . . .	2-56
2.4.4 Sector Minería . . . . .	2-57
2.4.5 Restricciones al Uso . . . . .	2-57
2.5 Aspectos Administrativos y Legales sobre el Uso de los Recursos . . . . .	2-60
2.5.1 Organización de Usuarios . . . . .	2-61
2.5.2 Derechos de Aprovechamiento . . . . .	2-61
2.5.3 Marco Legal e Institucional . . . . .	2-63
2.5.4 Catastros . . . . .	2-64
2.6 Desastres Naturales Asociados a Eventos Hidrometeorológicos Extremos. . . . .	2-66
2.7 Aspectos Ambientales . . . . .	2-70
2.8 Experiencia Internacional . . . . .	2-74

## CAPITULO 3

3.	DIAGNOSTICO DE LOS RECURSOS HIDRICOS . . . . .	3-1
3.1	Disponibilidad de los Recursos Hídricos . . . . .	3-1
3.1.1	Revisión Crítica de la Información Recopilada . . . . .	3-1
3.1.2	Cuantificación de Recursos Superficiales . . . . .	3-10
3.1.3	Comportamiento Histórico de las Series Hidrológicas . . . . .	3-12
3.1.4	Cuantificación de los Recursos Subterráneos . . . . .	3-16
3.2	Calidad Físicoquímica de los Recursos Hídricos . . . . .	3-35
3.2.1	Revisión Crítica de la Información Recopilada . . . . .	3-35
3.2.2	Aguas Superficiales . . . . .	3-36
3.2.3	Aguas Subterráneas . . . . .	3-46
3.3	Usos y Demandas . . . . .	3-51
3.3.1	Revisión Crítica de la Información Recopilada . . . . .	3-51
3.3.2	Demandas de Recursos Hídricos . Valores Actuales y Futuros . . . . .	3-60
3.4	Balance Hídrico . . . . .	3-62
3.4.1	Revisión Crítica de la Información Recopilada . . . . .	3-62
3.4.2	Balance en Situación Actual y Futura para los Sectores Económicos . . . . .	3-65
3.5	Situación Legal de las Organizaciones de Usuarios y de los Derechos de Agua . . . . .	3-67
3.5.1	Antecedentes Básicos . . . . .	3-67
3.5.2	Situación de las Organizaciones de Usuarios Existentes . . . . .	3-68
3.5.3	Situación de los Derechos de Aprovechamiento Actuales . . . . .	3-72

## CAPITULO 4

4.	IDENTIFICACION DE PROBLEMAS Y CONFLICTOS . . . . .	4-1
4.1	Problemas en Sectores de Usuarios Derivados de la Escasez y Calidad del Recurso Hídrico . . . . .	4-1
4.1.1	Problemas Asociados a los Usuarios Agrícolas . . . . .	4-1
4.1.2	Problemas Asociados al Sector Agua Potable e Industria . . . . .	4-4
4.1.3	Problemas Asociados al Sector Hidroelectricidad y Minería . . . . .	4-5
4.2	Problemas Legales Vinculados con los Derechos de Aprovechamiento . . . . .	4-6
4.2.1	Declaración de Zona de Prohibición para Nuevas Explotaciones de Aguas Subterráneas en el Acuífero del Valle de Azapa . . . . .	4-6
4.2.2	Solicitudes Pendientes en la Dirección General de Aguas . . . . .	4-6
4.2.3	Problemas Derivados de la Sobreexplotación de la Napa Subterránea en el Valle de Azapa . . . . .	4-7
4.2.4	Análisis Legal Sobre Nuevas Fuentes de Recursos Hídricos . . . . .	4-7
4.3	Problemas Asociados a Aspectos Institucionales . . . . .	4-10
4.3.1	Conflictos Entre Organizaciones de Usuarios. . . . .	4-10
4.3.2	Problemas Asociados a la Inexistencia de una Organización de Usuarios de Aguas Subterráneas en el Valle de Azapa . . . . .	4-11
4.4	Aspectos Ambientales Condicionantes de Nuevas Fuentes de Recursos Hídricos . . . . .	4-12
4.4.1	Revisión y Análisis de la Información Recopilada . . . . .	4-12

4.4.2	Caracterización Ambiental de la Zona Estudiada . . . . .	4-13
4.4.3	Problemas Ambientales Identificados . . . . .	4-24
4.5	Problemas Causados por Inundaciones y Aluviones . . . . .	4-26
4.5.1	Revisión y Análisis de la Información Recopilada . . . . .	4-26
4.5.2	Antecedentes Históricos Relevantes de Inundaciones y Aluviones Pasados . . .	4-27
4.5.3	Caudales Máximos en el Río San José . . . . .	4-30
4.5.4	Identificación de Sectores Críticos y Obras de Defensa en el Río San José . . .	4-31
4.5.5	Tipos de Obras Existentes y Comportamiento en Crecidas . . . . .	4-35
4.5.6	Problemas Identificados . . . . .	4-36
4.6	Problemas Asociados a la Medición de los Recursos de Agua . . . . .	4-37
4.6.1	Red Fluviométrica . . . . .	4-37
4.6.2	Red Hidrometeorológica . . . . .	4-38
4.6.3	Red de Medición de Niveles Freáticos . . . . .	4-38
4.6.4	Red de Vigilancia Calidad de Aguas . . . . .	4-39

## CAPITULO 5

5.	IDENTIFICACIÓN Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION . . . . .	5-1
5.1	Identificación de Soluciones . . . . .	5-1
5.1.1	Proyectos en Ejecución . . . . .	5-1
5.1.2	Proyectos en Estudio . . . . .	5-2
5.1.3	Programas Estructurales . . . . .	5-4
5.1.4	Programa No-Estructural . . . . .	5-10
5.1.5	Programas Combinados . . . . .	5-13
5.2	Criterios de Evaluación Técnico-Económico, Legal y Ambiental . . . . .	5-14
5.2.1	Criterio de Evaluación Económica . . . . .	5-15
5.2.2	Criterio de Evaluación Legal o de Implicancia Internacional . . . . .	5-18
5.2.3	Criterios de Evaluación Ambiental Preliminar . . . . .	5-18
5.3	Análisis de la Evaluación de los Proyectos . . . . .	5-19
5.3.1	Programas Estructurales . . . . .	5-19
5.3.2	Programa No-Estructural . . . . .	5-24
5.3.3	Resultados del Análisis del Programa Combinado . . . . .	5-24
5.3.4	Comentarios a la Evaluación Realizada . . . . .	5-24

## CAPITULO 6

6.	PLAN DIRECTOR DE LA CUENCA DEL RIO SAN JOSÉ . . . . .	6-1
6.1	Objetivo y Alcances del Plan Director . . . . .	6-1
6.2	Formulación del Plan Director . . . . .	6-2
6.2.1	Metodología . . . . .	6-2
6.2.2	Ordenamiento y Clasificación de Alternativas de Solución Estructurales y No-Estructurales . . . . .	6-5
6.2.3	Estudio de Factibilidad de Soluciones Estructurales de Corto/Mediano Plazo . . .	6-11
6.2.4	Estudio de Factibilidad del Programa de Soluciones No-Estructurales . . . . .	6-41
6.2.5	Estudio de Factibilidad del Programa de Soluciones Combinadas . . . . .	6-59

6.3	Plan Director Propuesto . . . . .	6-65
6.3.1	Plan de Corto/Mediano Plazo (PCM) . . . . .	6-65
6.3.2	Plan de Largo Plazo (PLP) . . . . .	6-68
6.3.3	Recomendaciones para Implementación del Plan Director . . . . .	6-68
6.4	Metodología para la Revisión y Actualización Periódica del Plan Director . . . . .	6-73

## CAPITULO 7

7.	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE BASE DE DATOS . . . . .	7-1
7.1	Alcances y Objetivos de la Base de Datos . . . . .	7-1
7.2	Estructura Base de Datos . . . . .	7-1
7.2.1	Módulo: Administrador de la Base de Datos . . . . .	7-2
7.2.2	Módulo: Base de Datos para la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Rfo San José . . . . .	7-6

## CAPITULO 8

8.	SINTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	8-1
8.1	Conclusiones . . . . .	8-1
8.1.1	Antecedentes Disponibles . . . . .	8-1
8.1.2	Diagnóstico de los Recursos Hídricos . . . . .	8-1
8.1.3	Portafolio de Alternativas de Solución . . . . .	8-3
8.1.4	Plan Director . . . . .	8-4
8.2	Recomendaciones . . . . .	8-6

## VOLUMEN II

### ANEXOS

ANEXO	1	ANTECEDENTES HIDROMETEOROLOGICOS DISPONIBLES
ANEXO	2	BIBLIOGRAFIA
ANEXO	3	ANTECEDENTES HIDROLOGICOS
ANEXO	4	ANTECEDENTES HIDROGEOLOGICOS
ANEXO	5	DERECHOS DE AGUA
ANEXO	6	ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DE SOLUCIONES
ANEXO	7	EVALUACION ECONOMICA PROGRAMA ESTRUCTURAL
ANEXO	8	PROYECTOS DE CORTO/MEDIANO PLAZO. ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD
ANEXO	9	MARCO INSTITUCIONAL PUBLICO PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS
ANEXO	10	REUNIONES CON AUTORIDADES REGIONALES Y LOCALES RELACIONADAS AL USO Y DEMANDA DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y ANTECEDENTES RECOPIRADOS

## VOLUMEN III

### PLANOS

- 3.1 Distribución de Precipitación Mensual, Caudales Medios Mensuales e Isoyetas Anuales
- 3.2 Distribución Espacial de Acuíferos, Cuenca río San José, Lauca y Lluta
- 3.3A Sondajes y Norias Cuenca río San José y río Lauca
- 3.3B Sondajes y Norias Cuenca río Lluta y Quebrada de La Concordia
- 3.4 Curvas Isofreáticas Cuenca río San José
- 3.5 Calidad del Agua Superficial río San José
- 3.6 Calidad del Agua Superficial ríos Lauca, Lluta y Caquena
- 3.7 Calidad del Agua Subterránea Cuenca río San José
- 3.8 Calidad de Agua Subterránea Cuenca de los ríos Lauca, Lluta y Quebrada La Concordia
- 3.9 Demandas de Agua Actuales y Futuras
- 4.1 Zona de Prohibición para Nuevas Explotaciones de Agua Subterránea en el Valle de Azapa
- 4.2 Problemas Ambientales
- 4.3 Sectores con Riesgo de Desborde e Infraestructura Fluvial Según Catastro 1995

## INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 2.1	Información Cartográfica . . . . .	2-7
Tabla 2.2	Estaciones Fluviométricas Existentes . . . . .	2-10
Tabla 2.3	Estaciones Pluviométricas y Meteorológicas Existentes . . . . .	2-12
Tabla 2.3	Estaciones Pluviométricas y Meteorológicas Existentes (Continuación) . . . . .	2-13
Tabla 2.4	Estaciones de Calidad de Aguas Existentes . . . . .	2-13
Tabla 2.4	Estaciones de Calidad de Aguas Existentes (Continuación) . . . . .	2-16
Tabla 2.5	Red de Medición de Niveles Existente . . . . .	2-16
Tabla 2.5	Red de Medición de Niveles Existente (Continuación) . . . . .	2-17
Tabla 2.6	Estaciones Fluviométricas Seleccionadas . . . . .	2-21
Tabla 2.7	Información Fluviométrica Disponible Caudales Máximos Instantáneos y Máximos Medios Diarios . . . . .	2-23
Tabla 2.8	Series de Caudales Mínimos Disponibles . . . . .	2-24
Tabla 2.9	Localización Geográfica de los Problemas Ambientales . . . . .	2-71
Tabla 2.9	Localización Geográfica de los Problemas Ambientales (Continuación) . . . . .	2-72
Tabla 3.1	Estadísticas Fluviométricas Contenidas en el Estudio "Análisis Estadístico de Caudales de los Ríos de Chile Iª Región" Prisma-DGA (1992) . . . . .	3-2
Tabla 3.2	Estadísticas Fluviométricas Contenidas en el Estudio "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta" INGENDESA-DR (1993) . . . . .	3-3
Tabla 3.3	Estadísticas Fluviométricas Contenidas en el Estudio "Análisis Operacional del Sistema Lauca-Azapa, Iª Región" CONIC-BF-DR (1996) . . . . .	3-4
Tabla 3.4	Información Fluviométrica Seleccionada para la Caracterización de los Recursos Hídricos Superficiales . . . . .	3-5
Tabla 3.5	Precipitaciones Medias Anuales (mm) . . . . .	3-8
Tabla 3.6	Precipitaciones Medias Mensuales y Media Anual (mm) Valle del Río San José y Zonas Vecinas Período 1962/63 a 1994/95 . . . . .	3-9
Tabla 3.7	Caudales Medios Mensuales Promedios (m³/s) . . . . .	3-12
Tabla 3.8	Definición de Años Tipo . . . . .	3-15
Tabla 3.9	Análisis de Frecuencias Precipitaciones Anuales . . . . .	3-15
Tabla 3.10	Análisis de Frecuencias Caudales Medios Anuales . . . . .	3-15
Tabla 3.11	Resumen Fuentes en Explotación Según Uso en Valle de Azapa . . . . .	3-24
Tabla 3.12	Volúmenes Medios Mensuales de Extracción de Agua desde 84 Norias con Información . . . . .	3-24
Tabla 3.13	Volúmenes Medios Mensuales de Extracción de Agua desde 108 Sondajes con Información . . . . .	3-26
Tabla 3.14	Resumen de Extracción en el Valle de Azapa . . . . .	3-26
Tabla 3.15	Catastro de Sondajes Aguas Subterráneas Sector Río Lauca . . . . .	3-33
Tabla 3.16	Catastro de Norias, Sondajes y Vertientes Valle del Río Lluta . . . . .	3-34
Tabla 3.17	Catastro de Sondajes Quebrada de la Concordia . . . . .	3-35
Tabla 3.18	Valores Máximos Permitidos (mg/l) Para Uso en Agua Potable y Riego de Acuerdo a las Normas Chilenas . . . . .	3-36
Tabla 3.19	Valores Límites de Conductividad Eléctrica según Norma NCh 1.333 . . . . .	3-37
Tabla 3.20	Rango de Variación del pH Según Normas NCh 409 y NCh 1.333 . . . . .	3-37
Tabla 3.21	Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río San José . . . . .	3-41
Tabla 3.22	Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río Lauca . . . . .	3-42
Tabla 3.23	Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río Caquena . . . . .	3-45
Tabla 3.24	Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río Lluta . . . . .	3-45
Tabla 3.25	Antecedentes Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Río San José . . . . .	3-48
Tabla 3.26	Antecedentes Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Río Lauca . . . . .	3-48
Tabla 3.27	Antecedentes Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Río Lluta . . . . .	3-52

Tabla 3.28	Antecedentes Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Quebrada de La Concordia . . . . .	3-53
Tabla 3.29	Demandas de Riego Valle de Azapa . . . . .	3-54
Tabla 3.30	Demandas de Riego Valle del Río Lluta . . . . .	3-55
Tabla 3.31	Demandas de Riego Zona Precordillerana . . . . .	3-56
Tabla 3.33	Demandas de Agua Industriales . . . . .	3-57
Tabla 3.32	Demandas de Agua Potable . . . . .	3-58
Tabla 3.34	Centrales Hidroeléctricas Proyectadas Cuencas Ríos San José y Lluta . . . . .	3-59
Tabla 3.35	Demandas de Riego Totales Brutas y Netas, Valle de Azapa (l/s) . . . . .	3-60
Tabla 3.36	Demandas de Riego Totales Brutas y Netas Actuales y Futura Valle del Río Lluta (l/s) . . . . .	3-60
Tabla 3.37	Demanda Actual y Futura de Agua Potable en Arica . . . . .	3-61
Tabla 3.38	Demandas Sector Minero (l/s) . . . . .	3-62
Tabla 3.39	Balance Hídrico del Valle de Azapa (l/s) . . . . .	3-63
Tabla 3.40	Balance Hídrico Valle de Azapa . . . . .	3-64
Tabla 3.41	Balance Hídrico Promedio para el Período 1988-1995 . . . . .	3-64
Tabla 3.42	Balance Hídrico Agua Superficial Valle del Río Lluta (l/s) . . . . .	3-65
Tabla 3.43	Balance Hídrico Valle del Río Lluta (l/s) . . . . .	3-65
Tabla 3.44	Balance en Situación Actual y Futura Sector Agrícola en Valle de Azapa (l/s) . . . . .	3-66
Tabla 3.45	Balance en Situación Actual y Futura Sector Agrícola en Valle del Río Lluta (l/s) . . . . .	3-66
Tabla 3.46	Balance Hídrico Sectores Agua Potable e Industrial (l/s) . . . . .	3-67
Tabla 4.1	Principales Problemas Asociados al Riego en el Valle de Azapa . . . . .	4-4
Tabla 4.2	Principales Problemas Asociados al Sector Agua Potable y Sector Industrial en Valle de Azapa . . . . .	4-5
Tabla 4.3	Listado de Bofedales Area de Estudio y Sectores Adyacentes . . . . .	4-20
Tabla 4.3	Listado de Bofedales Area de Estudio y Sectores Adyacentes (Continuación) . . . . .	4-21
Tabla 4.4	Síntesis Caracterización Ambiental Areas Protegidas y/o Ecosistemas Frágiles . . . . .	4-24
Tabla 4.5	Inundaciones y Aluviones que han Afectado a la Cuenca del Río San José en el Presente Siglo . . . . .	4-27
Tabla 4.5	Inundaciones y Aluviones que han Afectado a la Cuenca del Río San José en el Presente Siglo (Continuación) . . . . .	4-28
Tabla 4.6	Daños Asociados a la Crecida de Enero de 1973 . . . . .	4-29
Tabla 4.7	Caudales Máximos Río San José . . . . .	4-31
Tabla 4.8	Caudales Máximos Río San José . . . . .	4-31
Tabla 4.9	Identificación de Sectores Afectados Por Crecidas en el Río San José . . . . .	4-34
Tabla 4.10	Catastro Obras a lo Largo del Río San José y Análisis Crítico de su Funcionamiento . . . . .	4-36
Tabla 4.11	Problemas Asociados a las Redes de Medición . . . . .	4-39
Tabla 5.1	Tarifas Eléctricas Mensuales . . . . .	5-17
Tabla 5.2	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa Mejoramiento Abastecimiento de Agua Potable . . . . .	5-20
Tabla 5.3	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa de Uso Múltiple para la Recarga del Acuífero . . . . .	5-20
Tabla 5.4	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa de Protección y Estabilización de Riberas . . . . .	5-21
Tabla 5.5	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa Mejoramiento de Agua para Riego . . . . .	5-21
Tabla 5.6	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa de Uso Múltiple: Sectores Agua Potable e Hidroelectricidad . . . . .	5-22
Tabla 5.6	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa de Uso Múltiple: Sector Riego . . . . .	5-23
Tabla 5.7	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa No-Estructural . . . . .	5-24
Tabla 5.8	Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa Combinado . . . . .	5-24

	Pág.
Tabla 6.1	Priorización de Proyectos del Programa Mejoramiento del Abastecimiento de Agua Potable 6-6
Tabla 6.2	Priorización de Proyectos del Programa Mejoramiento de Agua para Riego . . . . . 6-9
Tabla 6.3a	Priorización de Proyectos del Programa de Uso Múltiple: Sectores, Agua Potable e Hidroelectricidad-Indicadores de Agua Potable e Hidroelectricidad . . . . . 6-9
Tabla 6. 3.b	Priorización de Proyectos del Programa de Uso Múltiple: Sectores Riego, Agua Potable e Hidroeléctricidad-Indicadores de Riego . . . . . 6-10
Tabla 6.4	Priorización Proyectos del Programa de Uso Múltiple para la Recarga del Acuífero . . . . 6-10
Tabla 6.5	Programa de Soluciones Estructurales de Protección y Estabilización de Riberasy Programa de Soluciones No-Estructurales y Combinadas . . . . . 6-11
Tabla 6.6	Costos de Inversión en Nuevas Redes . . . . . 6-12
Tabla 6.7	Costo de Personal y Explotación (\$/conex/año) . . . . . 6-12
Tabla 6.8	Inversiones en Proyectos de Agua Potable en Ejecución a 1997 (Millones \$) . . . . . 6-14
Tabla 6.9	Inversiones Proyecto AP7 Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable . . . 6-14
Tabla 6.10	Inversiones Proyecto AP2 Habilitación y Construcción Sondajes Canal Lauca . . . . . 6-15
Tabla 6.11	Inversiones Proyecto AP4. Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia . . . . . 6-16
Tabla 6.12	Inversiones Proyecto AP5. Desalinización de Agua de Mar . . . . . 6-17
Tabla 6.13	Escenarios Sobre Niveles de Explotación del Acuífero Para Agua Potable (l/s) . . . . . 6-17
Tabla 6.14	Proyección de Producción, Consumo, Déficit y Suministros de Agua Potable para Escenarios 1 y 4 . . . . . 6-19
Tabla 6.15	Resultados Evaluación Económica Privada y Social Escenarios 1 y 4 . . . . . 6-24
Tabla 6.16	Distribución Actual de Cultivos en el Valle de Azapa . . . . . 6-25
Tabla 6.17	Distribución de Cultivos Adoptados para la Producción Agrícola del Valle de Azapa . . . 6-26
Tabla 6.18	Demanda de Agua de Riego del Valle de Azapa (l/s) . . . . . 6-27
Tabla 6.19	Costos del Proyecto de Aprovechamiento de los Recursos Subterráneos del Río Lauca Evaluación Privada y Social . . . . . 6-28
Tabla 6.20	Distribución Futura de Cultivos - Escenarios 2 y 3 . . . . . 6-29
Tabla 6.21	Demandas de Riego para los Diversos Escenarios (l/s) . . . . . 6-29
Tabla 6.22	Rendimientos, Costos de Producción e Ingresos para los Diversos Cultivos del Valle de Azapa . . . . . 6-30
Tabla 6.23	Costos de Producción e Ingresos por Venta para los Diversos Cultivos en el Valle de Azapa Evaluación Social . . . . . 6-30
Tabla 6.24	Costos Ingresos y Utilidades de la Producción Total en el Valle de Azapa . . . . . 6-31
Tabla 6.25	Inversiones Requeridas en Recambios de Cultivos . . . . . 6-31
Tabla 6.26	Resultados Evaluación Económica . . . . . 6-32
Tabla 6.27	Daños Asociados a Crecidas de Diversos Períodos de Retorno Según Estudio de PRISMA-DV (1992) . . . . . 6-33
Tabla 6.28	Valorización de Daños Asociados a Crecidas de Diversos Períodos de Retorno. Sector Urbano . . . . . 6-34
Tabla 6.29	Superficie Amagada, Viviendas Dañadas y N° de Damnificados Producto de Crecidas del Río San José en el Valle de Azapa . . . . . 6-35
Tabla 6.30	Daños asociados a crecidas en el sector del Valle de Azapa . . . . . 6-36
Tabla 6.31	Obras para Control de Crecidas y Mitigación de Inundaciones en la Cuenca del río San José . . . . . 6-36
Tabla 6.32	Beneficios Totales para Crecidas de 10, 50 y 100 años de Período de Retorno, Considerando Diversos Escenarios . . . . . 6-37
Tabla 6.33	Cálculo de los Beneficios Esperados para Diversos Escenarios . . . . . 6-37
Tabla 6.34	Resultados de la Evaluación Económica . . . . . 6-38
Tabla 6.35	Resultados Evaluación Económica . . . . . 6-40
Tabla 6.36	Red Hidrometeorológica Propuesta . . . . . 6-62
Tabla 6.38	Proposición para Plan Director de Largo Plazo (PLP) Cuenca Río San José . . . . . 6-67
Tabla 6.37	Proposición para el Plan Director de Corto/Mediano Plazo (PCM) Cuenca Río San José . 6-69
Tabla 6.39	Unidades Ejecutoras del Plan Director . . . . . 6-71
Tabla 6.40	Forma de Participación de las Unidades Ejecutoras del Plan . . . . . 6-72

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.	
1.1	Ubicación Area de Estudio . . . . .	1-5
2.1	Ubicación Estaciones Fluviométricas . . . . .	2-11
2.2	Ubicación de Estaciones Fluviométricas y Meteorológicas . . . . .	2-14
2.3	Ubicación Estaciones de Muestreo de Calidad de Aguas Superficiales . . . . .	2-15
2.4	Red de Medición de Niveles . . . . .	2-18
3.1	Estaciones Pluviométricas y Fluviométricas Representativas por Cuenca . . . . .	3-11
3.2	Curva de Variación Estacional río Caquena en Vertedero . . . . .	3-13
3.3	Curva de Variación Estacional río Lauca en Japu (o en el límite) . . . . .	3-13
3.4	Curva de Variación Estacional río Lluta en Tocontasi . . . . .	3-14
3.5	Curva de Variación Estacional río San José Antes Bocatoma . . . . .	3-14
3.6	Comportamiento Histórico de Precipitaciones Anuales y Caudales Medios Anuales . . . . .	3-17
3.7	Comportamiento Histórico de Precipitaciones Anuales y Caudales Medios Anuales . . . . .	3-18
3.8	Comportamiento Histórico de Precipitaciones Anuales y Caudales Medios Anuales . . . . .	3-19
3.9	Comportamiento Histórico de Precipitaciones Anuales y Caudales Medios Anuales . . . . .	3-20
3.10	Análisis de Tendencias Estaciones Belén y río San José Antes Bocatoma Azapa . . . . .	3-22
3.11	Análisis de Tendencias Estaciones Cotacotani y río Lauca en Japu (o en el límite) . . . . .	3-22
3.12	Análisis de Tendencias Estaciones Putre y río Lluta en Tocontasi . . . . .	3-22
3.13	Análisis de Tendencias Estaciones Visviri y río Caquena en Vertedero . . . . .	3-22
3.14	Formaciones Acuíferas y Parámetros Elásticos . . . . .	3-25
3.15	Nivel Promedio Anual Pozo las Riveras de Madrid . . . . .	3-29
3.16	Formaciones Acuíferas y Parámetros Elásticos y Caudales Específicos . . . . .	3-32
3.17	Diagrama de STIFF Estación río San José Antes Bocatoma Azapa . . . . .	3-38
3.18	Diagrama de Barras Normalizado Estación río San José en Bocatoma Azapa . . . . .	3-38
4.1	Análisis de Frecuencias Caudales Máximos Instantáneos río San José . . . . .	4-33
5.1	Plano de Ubicación de Proyectos Estructurales y Proyectos No Estructurales . . . . .	5-3
6.1	Diagrama de la Formulación General Plan Director . . . . .	6-3
6.2	Componentes del Plan Director . . . . .	6-4
6.3	Proyectos que Conforman los Planes de Corto/Mediano y Largo Plazo . . . . .	6-7
6.4	Ubicación de Proyectos y Escenarios de Evaluación . . . . .	6-8
6.5	Demanda v/s Oferta. Escenario 1- Casos 1, 2 y 3 . . . . .	6-20
6.6	Demanda v/s Oferta. Escenario 2- Casos 1, 2 y 3 . . . . .	6-21
6.7	Demanda v/s Oferta. Escenario 3- Casos 1, 2 y 3 . . . . .	6-22
6.8	Demanda v/s Oferta. Escenario 4- Casos 1, 2 y 3 . . . . .	6-23
6.9	Plan de Inversiones y Curvas de Oferta y Demanda para el PCM . . . . .	6-70
7.1	Esquema General Base de Datos . . . . .	7-2
7.2	Esquema Menú de Estaciones . . . . .	7-3
7.3	Esquema Menú Caracterización de Recursos Hídricos . . . . .	7-3
7.4	Esquema Menú Aguas Superficiales . . . . .	7-4
7.5	Esquema Menú Aguas Subterráneas . . . . .	7-4
7.6	Esquema Menú Calidad de Aguas . . . . .	7-5
7.7	Esquema Menú Otros Aspectos . . . . .	7-5
7.8	Esquema Menú Plan Director . . . . .	7-6
7.9	Esquema Menú Plan Director . . . . .	7-6

Fig.		Pág.
7.10	Esquema Menú Ambiente . . . . .	7-7
7.11	Esquema Menú Aguas Superficiales . . . . .	7-8
7.12	Esquema Menú Aguas Subterráneas . . . . .	7-8
7.13	Esquema Menú Calidad de Aguas . . . . .	7-8
7.14	Esquemas Menú Plan Director: Aspectos Básicos . . . . .	7-9
7.15	Esquema Menú Plan Director: Escenarios . . . . .	7-9
7.16	Esquema Menú Plan Director: Planes . . . . .	7-10

**CAPITULO 1**  
**INTRODUCCION**

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

En los últimos años la demanda por los recursos hídricos en la ciudad de Arica para uso en agua potable e industrial ha aumentado en forma significativa. También la superficie regada se ha incrementado, incorporando nuevas demandas en las que el agua subterránea es un importante factor. Al mismo tiempo, este incremento de la superficie bajo riego ha motivado un aumento significativo en la salinidad de los acuíferos. Por otra parte, en la región existen proyectos hidroeléctricos, que de materializarse, permitirían aprovechar el potencial disponible aguas abajo de la descarga de la Central Chapiquiña.

La situación descrita indica que paulatinamente ha ido creciendo la competencia por el recurso agua, lo que ha motivado a la Dirección General de Aguas a declarar el valle de Azapa como Zona de Prohibición para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento.

La situación anteriormente descrita pone de manifiesto la necesidad y gran conveniencia de disponer de antecedentes, herramientas y criterios que permitan ordenar las acciones futuras con respecto a la gestión y al manejo de los recursos de agua de la cuenca. En particular, que posibiliten prever los efectos globales o necesidades que acarrearán los distintos desarrollos hacia el futuro y orientar las decisiones de los actores públicos y privados basados en criterios técnicos sólidos y bien fundamentados.

El objetivo de este estudio es formular un Plan Director para la cuenca del río San José destinado a establecer una planificación de corto, mediano y largo plazo, en el que se individualicen medidas debidamente jerarquizadas, que permitan abordar y dar solución a los problemas o conflictos asociados al uso y demanda de los recursos hídricos en la cuenca.

Para alcanzar este objetivo el Plan incorpora los siguientes aspectos:

- Identificación y jerarquización de problemas, conflictos y necesidades en las cuales el recurso hídrico se constituye en un factor limitante para el crecimiento o desarrollo de la zona, tanto en términos de cantidad como de calidad.
- Formulación de objetivos y metas en un horizonte de mediano y largo plazo que deben perseguir los usuarios-actores de la cuenca y su zona de influencia, orientados a la solución de los problemas detectados.
- Proposición de un plan de acción identificando espacial y temporalmente las acciones o decisiones a adoptar, sobre la base de criterios técnico-económicos, dentro de distintos escenarios de desarrollo previstos.
- Análisis de los aspectos institucionales o legales que pueden requerir cambios o modificaciones a objeto de lograr el aprovechamiento más eficiente y con la debida protección del patrimonio ambiental y cultural en la zona.

Los objetivos específicos de la elaboración del Plan Director son:

- Desarrollar una base de datos sistematizada y actualizada, orientada a ordenar los problemas, conflictos, proyectos, programas y acciones identificados.
- Analizar y proponer mecanismos y métodos a ser aplicados periódicamente en el futuro, para analizar la oferta, demanda y requerimientos presentes y futuros de agua de los diversos agentes en la cuenca.

- Formular planes y acciones, y generar directrices para enfrentar y solucionar los conflictos relacionados con la gestión de los recursos hídricos, especialmente en condiciones de déficit o inundaciones.
- Identificar y proponer directrices globales para abordar el manejo de largo plazo de los recursos hídricos, tanto en calidad como en cantidad, considerando el establecimiento de volúmenes o caudales de explotación admisibles así como medidas orientadas al mejor uso actual del recurso.
- Identificar alternativas de nuevas fuentes adicionales dentro del área de estudio definida, para sostener tanto la demanda actual como futura.
- Formular un plan de obras que permita el mejor aprovechamiento del recurso evaluado y jerarquizado sobre la base de criterios técnico-económicos.
- Determinar criterios para la asignación y administración de derechos de aprovechamiento, en especial en relación a casos de uso múltiple del agua.
- Proponer recomendaciones relacionadas con nuevas formas institucionales para la gestión del recurso hídrico.

## 1.2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

### 1.2.1 Antecedentes Generales

El área de estudio comprende a las cuencas hidrográficas de los ríos San José, Lluta y Lauca, las cuales se ubican entre los paralelos 17° 45' y 18° 45' de latitud sur y los meridianos 69° 00' y 70° 30' oeste.

Administrativamente estas cuencas pertenecen a la I<sup>a</sup> Región del país, abarcando a las comunas de General Lagos y Putre, en la Provincia de Parinacota, y a la comuna de Arica, en la Provincia de Arica.

En un contexto climático general, esta zona se caracteriza por el desarrollo de condiciones meteorológicas que van cambiando con la altura. En la costa y hasta los 800 msnm, el clima es de desierto costero con una temperatura media anual de 18°C y con una abundante nubosidad. Entre los 800 y 2.200 msnm, se presenta un clima de desierto normal caracterizado por las altas fluctuaciones térmicas diarias y anuales, baja humedad relativa y casi inexistencia de precipitaciones. A partir de los 2.200 msnm se producen precipitaciones que aumentan desde los 50 mm para llegar a 200 mm sobre los 4.500 msnm. La temporada de lluvias en la parte alta, abarca los meses de diciembre a marzo durante los cuales precipita el 98% del total anual. Esta temporada es conocida en la región como Invierno Altiplánico.

La fluctuación de las temperaturas en la I<sup>a</sup> Región es muy alta variando entre un valor medio mensual de 24°C en febrero a un mínimo medio mensual de -3°C en julio. Estas variaciones térmicas inciden directamente en el desarrollo vegetal. En efecto, la vegetación prácticamente es inexistente hasta la cota 1.800 msnm, con la excepción de la existente en los valles inferiores de Azapa y Lluta. Desde esta cota comienza un desarrollo paulatino de la vegetación, reconociéndose formaciones de cactáceas y escasas herbáceas efímeras. En tanto, por sobre los 2.200 msnm se desarrolla una formación vegetal arbustiva de mayor talla, mientras que desde los 4.000 msnm se presentan formaciones de arbustos altos y de plantas pulvinadas.

La morfología y litología de las secciones altas de las cuencas están constituidas principalmente por rocas de formación liparítica, mientras que en las secciones media a baja por materiales de origen marino,

conformando un área de pampas desérticas. En tanto, en el fondo de los valles, por donde se desarrollan los cauces principales de los ríos San José y Lluta, existe una importante acumulación de depósitos de origen fluvial.

En lo que respecta a la población de esta zona, la mayor parte de ella reside en la ciudad de Arica, siendo ésta el principal centro urbano que alberga a una población total de 161.333 habitantes (CENSO, 1992). Los demás centros poblados son esencialmente rurales, destacando entre ellos Putre, Visviri, Tignamar y Chapiquiña. Estos centros poblados se caracterizan por ser bastantes dispersos y constituidos por un bajo número de habitantes, que en su mayor parte son de origen aymara.

### **1.2.2 Características de las Principales Cuencas del Área en Estudio**

Como se ha señalado, las principales cuencas del área en estudio corresponden a las de los ríos Lluta, San José y Lauca. En la Fig 1.1, se puede apreciar su ubicación general.

#### **a) Cuenca del río Lluta**

La cuenca del río Lluta que se extiende entre los paralelos 17° 50' y los 18° 30' de latitud sur, corresponde a la más septentrional de los ríos chilenos.

Su hoya hidrográfica abarca una superficie de aproximadamente 2.070 km<sup>2</sup>, ubicándose sus nacientes en la vertiente oriental del volcán Tacora.

El río Lluta nace en las proximidades de Huamapalca a 3.900 msnm, a partir de la confluencia de los ríos Azufre y Caracarani o Tagna, siendo este último el tributario más importante. Otros afluentes de importancia son el Cascavillane, Teleschuño, Guancarale, Chuquiananta, Colpitas, Allane, Putre, Aroma y Socoroma.

En sus primeros 70 km el río Lluta corre en dirección Norte-Sur, debido a que los relieves de la Sierra Huaylillas le impiden tomar la dirección Este-Oeste. Desde las vegas situadas agua abajo de Socoroma, el río cambia bruscamente de curso para tomar luego la dirección Este-Oeste. En este primer tramo recibe como afluentes principales las quebradas Allane y Putre, para posteriormente recoger los aportes de la quebrada Socoroma.

Desde Socoroma hacia el mar, el Lluta se desarrolla por un valle excavado que se extiende al oriente de la Sierra de Huaylillas. En este tramo recibe los aportes de aguas subterráneas, siendo sus principales afluentes las quebradas de Chironta y de Poconchile, para finalmente desembocar en el sector de Chacalluta a escasos kilómetros al norte de Arica.

Las precipitaciones de la cuenca se limitan a las áreas superiores, aumentando gradualmente desde los 0 mm promedio anual en el valle del Bajo Lluta, hasta los 350 mm en la Cordillera de los Andes a una altura de aproximadamente 4.000 a 5.000 msnm.

Los recursos hídricos de este río se extraen en 80 puntos en el sector del valle del río Lluta para el riego de 2.784 ha.

La extracción de agua subterránea se limita exclusivamente al área del valle del río Lluta, siendo pequeña la cantidad de agua que es bombeada por aproximadamente 10 pozos para regadío y usos industriales.

**b) Cuenca del río San José**

La hoya del río San José corresponde a la segunda cuenca, en dirección de norte a sur, que desemboca en el Océano Pacífico. En la zona costera de ella se ubica la ciudad de Arica. Su hoya hidrográfica tiene una superficie total de aproximadamente 3.187 km<sup>2</sup>, localizándose sus nacientes en la cordillera que separa la vertiente del Pacífico del Río Lauca, a unos 110 km al Este de la ciudad de Arica.

Las precipitaciones, que dan origen al recurso de agua superficial y subterráneo de la cuenca, se concentran en las partes altas de la Cordillera de los Andes a una altura de aproximadamente 4.000 a 5.000 msnm, principalmente durante los períodos estivales. El promedio anual de agua caída aumenta en forma gradual desde 0 mm en las secciones bajas de la cuenca, hasta los 100 mm en las secciones altas.

La hidrografía de la cuenca está constituida por los ríos Seco, Laco y Tignamar, que corresponden a los principales tributarios en cabecera. El río San José, que nace a partir de la confluencia de los ríos Seco y Tignamar en la sección media de la cuenca, presenta escurrimientos de tipo ocasional. De la misma forma el río Seco, que nace bajo la cota 3.500 msnm, en donde las precipitaciones son escasas, no presenta escurrimientos superficiales permanentes. En tanto, el río Tignamar que nace sobre los 4.500 msnm recibe los aportes de varias quebradas cuyas fuentes también se ubican sobre los 4.500 msnm, cota a partir de la cual se producen precipitaciones de relativa importancia. En ellas hay escurrimientos superficiales permanentes y flujos subterráneos que afloran en vertientes a lo largo de los cauces. En este sector, dada la disponibilidad del recurso agua del río Tignamar, existen diversas localidades de la precordillera que aprovechan los recursos de agua, captándolos en los puntos que afloran. La superficie total bajo cultivo alcanza a cerca de 1.000 ha aunque la disponibilidad de aguas es muy variable.

Por los motivos explicados, el río San José proporciona recursos de agua naturales bastante reducidos. Sólo hasta Humagata presenta escurrimiento superficial y en años muy lluviosos hasta Ausipar, desapareciendo posteriormente y reapareciendo en forma de vertientes al poniente de Las Riveras.

A fin de incrementar el caudal disponible en los tramos de las secciones bajas del río San José. en el año 1962 se construyó el canal Lauca, con objeto de desviar las aguas del río del mismo nombre. Estas aguas son captadas en Parinacota y descargadas a la Central Chapiquiña para luego unirse al curso principal del río San José. Este aporte, que alcanza a un promedio anual de 0,87 m<sup>3</sup>/s, es actualmente la principal fuente de agua de la cuenca.

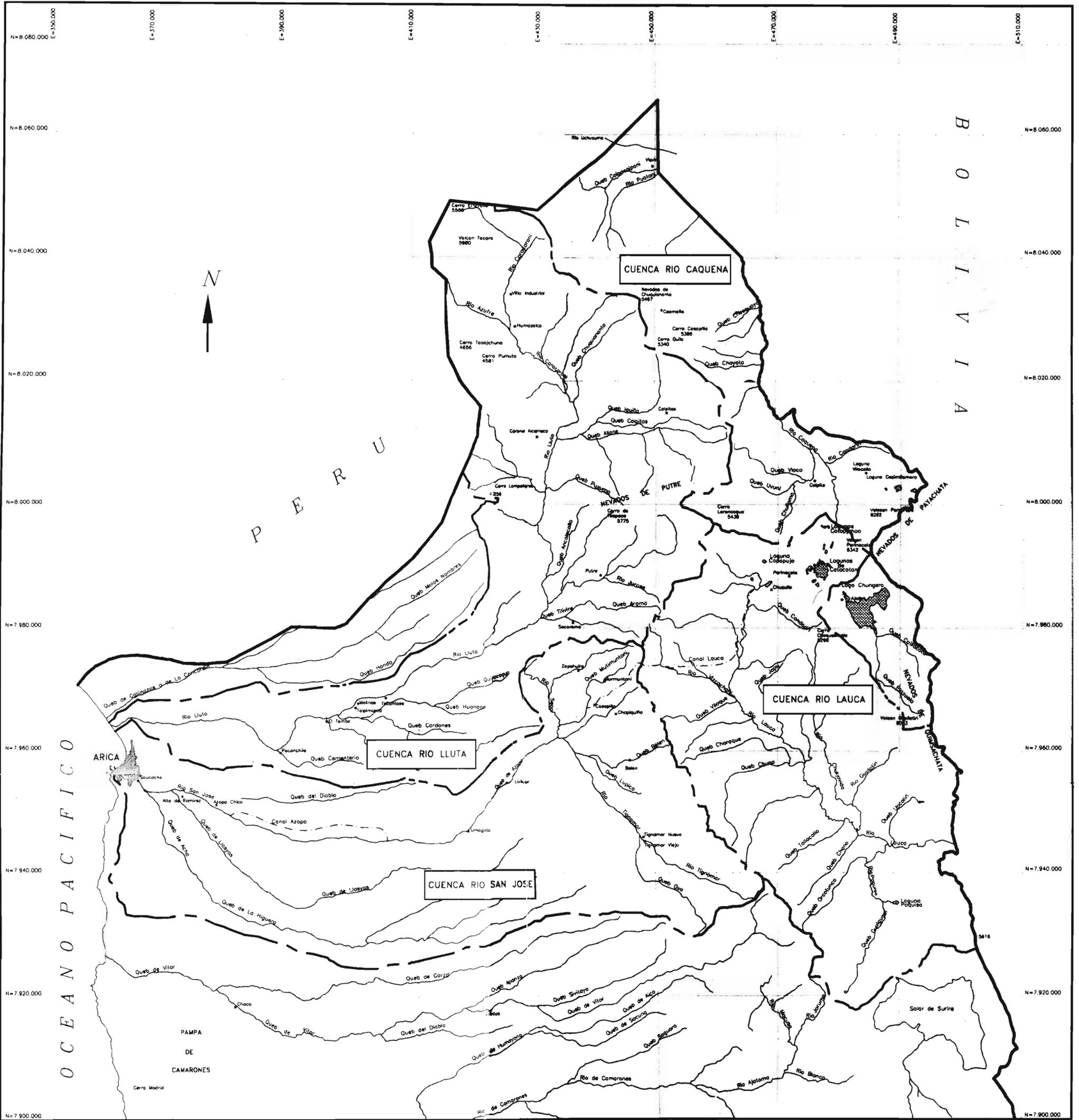
Antes de su desembocadura en el Océano Pacífico, el río San José entrega sus aguas al canal Azapa. En este sector existe un importante acuífero que es recargado por las crecidas, producto de los cortos períodos de fuertes precipitaciones en la cuenca alta y por el riego de Azapa. Además, estos recursos son los que abastecen el agua potable de Arica.

El agua conducida desde la bocatoma del canal Azapa riega aproximadamente 3.213 ha de tierras agrícolas del valle de Azapa junto con las vertientes y el agua subterránea disponible en el valle.

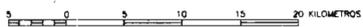
**c) Cuenca del río Lauca**

La cuenca del río Lauca drena una superficie de aproximadamente 2.400 km<sup>2</sup> en el territorio nacional, incluyendo a la laguna Cotacotani que drena a través del río Desaguadero a las Ciénagas de Parinacota.

Este río tiene sus nacientes en las mencionadas ciénagas a una cota de aproximadamente 4.500 msnm, y corre en dirección sur hasta la quebrada Vizcachani, para luego desviar su curso en dirección sur-oriente, abandonando el territorio nacional en la localidad de Japu, a una cota de 3.859 msnm.



ESCALA 1:500.000



**SIMBOLOGIA**

LIMITE INTERNACIONAL	———
LIMITE DE CUENCAS	———
RED DE DRENAJE	———
CANALES	———
CENTROS POBLADOS	■

**AC INGENIEROS  
CONSULTORES**

UBICACION AREA DE ESTUDIO

PROYECTO:  
PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA  
CUENCA DE RIO SAN JOSE

FECHA: JUNIO-1998	ESCALA: 1:500.000	FIGURA No. 1.1
----------------------	----------------------	-------------------

Su recorrido se extiende por aproximadamente 11 km hasta antes de llegar a la frontera con Bolivia. En su trayecto recibe los aportes de importantes ríos y quebradas, entre los que destacan los ríos Chusjavida, Guallatiri y Paquisá.

La hoya de este río, cuyas alturas máximas sobrepasan los 6.000 msnm, recibe sus principales aportes de precipitación durante el período denominado invierno boliviano.

En esta cuenca se sitúa además el Parque Nacional Lauca administrado por CONAF.

#### **d) Cuenca del Río Caquena**

El río Caquena nace en el sector nor-oriental de los nevados de Payachata, escurre de sur a norte, drenando un área aproximada de 1.395 km<sup>2</sup> hacia el territorio Boliviano.

En los primeros 25 km, el río atraviesa territorio chileno, mientras que en los 25 km siguientes sirve de línea fronteriza con Bolivia, desviándose hacia este país en el sector de Contornasa (Hito XI).

Los principales tributarios corresponden a las quebradas Colpagua, la que se ubica en el tramo del río que cruza por territorio chileno y al río Cosapilla inmediatamente antes de ingresar a Bolivia. Aguas abajo de este punto cambia de nombre adoptando el nombre de este último.

En la parte norte de la cuenca existen varias afluentes los cuales confluyen a territorio Boliviano. Estos corresponden a los ríos Putani, Coipacoipani y Uchusuma, los cuales tienen la mayor parte de su cuenca en territorio Boliviano. En el caso del río Uchusuma se trata de un cauce con aguas compartidas internacionalmente por Perú, Chile y Bolivia.

Estos ríos presentan escurrimiento permanente, a pesar de que las precipitaciones se concentran en los meses del invierno altiplánico.

**CAPITULO 2**  
**ANTECEDENTES RECOPIRADOS**

## 2. ANTECEDENTES RECOPIADOS

Este capítulo contiene una síntesis de la información disponible relativa a los recursos hídricos de la zona estudiada.

Los antecedentes recopilados corresponden principalmente a documentos, informes y estudios relevantes efectuados durante los últimos diez años.

La información se ha agrupado en forma temática en ocho acápite, de manera de abordar los diversos aspectos relativos a los recursos hídricos, considerando aspectos de cantidad, calidad, de uso, ambientales, administrativos, legales y experiencia internacional en el tema.

El primer acápite trata de aspectos generales del área estudiada incluyendo geografía física, económica y administrativa, y los antecedentes cartográficos, topográficos y aerofotogramétricos junto con otros antecedentes relevantes para el estudio.

El segundo acápite contiene los antecedentes relativos a la disponibilidad de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos y sus interacciones.

Los aspectos de calidad de aguas, tanto superficiales como subterráneas, se analizan en el tercer acápite.

En el cuarto acápite, se presentan los antecedentes de usos y demandas de recursos hídricos por sector económico, considerándose los de riego, agua potable e industrial, hidroelectricidad y minería. Se entregan también antecedentes relacionados con las restricciones al uso del recurso.

El quinto acápite contiene los antecedentes administrativos y legales sobre el uso de los recursos. Se incluyen aquí aspectos sobre la organización de usuarios, derechos de agua y el marco institucional y legal.

Los desastres naturales asociados a eventos hidrometeorológicos extremos se presentan en el sexto acápite, consignándose información recopilada sobre inundaciones, aluviones y sequías. El séptimo acápite reúne los antecedentes ambientales que caracterizan el área estudiada, lo cual incluye la legislación aplicable a los Parques Nacionales existentes en la zona en estudio y los resultados de los estudios ambientales efectuados en la zona que son relevantes para el presente proyecto.

Finalmente, el octavo acápite contiene los antecedentes recopilados sobre planes directores y programas de manejo de cuencas realizados en el extranjero. También, se incluye la Declaración de Dublín, sobre uso de los recursos hídricos y desarrollo sustentable.

Cada acápite es precedido por una introducción en la que se describe su contenido, a continuación de lo cual se presenta una síntesis de los principales antecedentes recopilados. Para ello, en primer lugar se identifica el documento y luego se presentan los objetivos, alcances y principales conclusiones del estudio. El procedimiento se repite para cada uno de los antecedentes recopilados, ordenándose cronológicamente, partiendo por el estudio de fecha más antigua.

### 2.1 ANTECEDENTES DE CARACTER GENERAL

En este acápite se presenta el resumen de la información recopilada relativa a los antecedentes generales del área estudiada. Dichos antecedentes comprenden los relacionados con la geografía de la zona, tanto física, económica como administrativa y los antecedentes topográficos, cartográficos y aerofotogramétricos

existentes. Además, se identifican antecedentes arqueológicos, sobre áreas silvestres protegidas, los datos sobre los recursos hídricos existentes en el Banco Nacional de Aguas de la Dirección General de Aguas (DGA) y los relacionados con los patrones de cultivo y producción agrícola de la zona.

### **2.1.1 Geografía Física, Económica y Administrativa**

#### **a) "Proyecto para la Defensa del Valle de Azapa Contra los Efectos del Invierno Boliviano". CONAF, 1977.**

En este informe se entregan antecedentes básicos de la cuenca del río San José, relativos a una descripción y caracterización de la orografía y morfometría de la cuenca así como del clima, flora y fauna.

En lo que respecta a la descripción climática, ella se basó en los registros de las estaciones meteorológicas y pluviométricas de la cuenca. Se utilizaron los registros de precipitación de las estaciones Arica, Las Peñas y Belén para el período comprendido entre los años 1938 a 1969, en tanto para los registros meteorológicos se emplearon los de las estaciones Arica y Azapa.

De acuerdo a estos antecedentes, el estudio indica que según la clasificación climática de Koeppen, la cuenca presenta un clima árido subtropical, distinguiéndose tres tipos: clima desértico con nublados abundantes, clima desértico normal y clima desértico marginal de altura.

En relación a la flora y fauna de la zona, se presenta una descripción general de estos aspectos basado en estudios previos entre los que se destaca el documento "Geografía Económica de Chile", (CORFO, 1965). Basado en este mismo documento el estudio incluye además una descripción de las principales unidades litológicas y de suelos de la cuenca.

#### **b) "Compilación y Evaluación de los Antecedentes del Valle del Río Lluta". DR-MOP. INDERCO Ltda., 1980.**

Se presenta una completa descripción de los factores geográficos relacionados con el valle del río Lluta, basada en estudios previos. Se realiza una descripción del relieve, geología, clima y zonas ecológicas del valle.

En relación al relieve de esta cuenca, se describen las tres unidades fisiográficas existentes en el valle del río Lluta: Cordillera de la Costa, Pampa y Cordillera de los Andes.

El análisis geológico del estudio, se realizó en base a los antecedentes del estudio "Mapa Geológico del Departamento de Arica en escala 1:3.000.000" (Instituto de Investigaciones Geológicas, 1966). Se efectuó una descripción de las unidades litológicas de la cuenca, así como una descripción geomorfológica del valle, en donde se identificaron conos de deyección y terrazas.

En lo que respecta al análisis climático de la cuenca del valle del río Lluta, se realiza una descripción de los climas de la cuenca basada en la clasificación climática de Koeppen, complementada con un análisis meteorológico basado en registros de las estaciones Visviri, Alcérreca, Puqufós, Putre y Caquena para el período 1962 a 1971.

En cuanto a las zonas ecológicas existente en la cuenca del valle de Azapa, en el estudio se presenta una descripción de las formaciones vegetacionales y fauna asociada.

c) **"Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego Valle de Azapa". DR-MOP. R. Edwards y J. Karzulovic, 1981.**

Se entrega una caracterización climática de la cuenca del río San José, basada en la publicación "Geografía Económica de Chile" de la CORFO (1965) y la publicación de la Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA) "Estudio Hidrometeorológico de las Cuencas del Río Lauca y Laguna Chungará" (1975). Adicionalmente se incluye un análisis general de las cubiertas vegetacionales existentes en la cuenca del río San José.

Entre otros aspectos, se presenta un análisis de los factores meteorológicos relevantes que intervienen en el balance hídrico de la cuenca, el cual incluye indicadores de precipitación y evaporación los cuales fueron determinados sobre la base de los registros de la DGA, ENDESA y Dirección Meteorológica de Chile (DMC), para el período comprendido entre los años, 1961-62 a 1977-78. Con estos antecedentes en el estudio se concluyó que es posible distinguir períodos secos y lluviosos, definiéndose una situación típica constituida por un período de 7 años secos y 7 años lluviosos.

d) **"Geografía Económica de Chile". Gemines, 1982.**

Se presenta una descripción y caracterización del desarrollo económico y social del país a nivel regional. Se hace una presentación y análisis general de la situación socioeconómica de la Iª Región, que incluye un análisis de la infraestructura pública regional y de los sectores productivos.

Se consignan los montos de producción de los sectores agropecuarios y silvícola, sector minero, sector pesquero y sector industrial para el año 1980.

e) **"Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres en Zonas Áridas y Semiáridas". CONAF, 1983.**

Este estudio se desarrolló con el objetivo de establecer una jerarquización de las cuencas hidrográficas de las zonas áridas y semiáridas de Chile, en función de los fenómenos erosivos y torrenciales que las afectan, considerando además los bienes que son de interés proteger. En lo específico, se analizaron las cuencas del río Lluta y río San José.

El estudio incluyó un diagnóstico general de cada una de estas cuencas, incorporando una descripción del régimen de las precipitaciones y escorrentía, agua subterránea y calidad de agua, población, obras hidráulicas, red de transporte, superficie de riego y fenómenos torrenciales y erosivos.

f) **"Geografía Iª Región de Tarapacá". Instituto Geográfico Militar, 1985.**

Este documento, que forma parte de la colección Geografía de Chile del IGM, se realizó con el objetivo de describir y caracterizar los aspectos más significativos de cada una de las regiones del país relativas a su geografía física y humana.

En el estudio se presenta una descripción y caracterización de la región, lo cual incluye un análisis de la geografía física regional. Se describen aspectos relativos a la morfología, clima y vegetación.

g) **"Plan Regional de Desarrollo 1986-1990. Iª Región de Tarapacá". Intendencia Regional de Tarapacá, 1986.**

En este estudio se definen las estrategias de desarrollo de la Iª Región del país para el período comprendido entre los años 1986 a 1990.

En el estudio se efectuó un diagnóstico socioeconómico de la región, basado en las estadísticas existentes hasta el año 1985. Se incluye un análisis del producto geográfico bruto de la región, sectores productivos e infraestructura de la región.

**h) "Antecedentes Generales de la Iª Región de Chile". CONAF, 1988.**

En este estudio se hace un recuento general de los principales recursos naturales y socioeconómicos de la Iª Región.

En relación al análisis de los recursos naturales, en el estudio se presenta una descripción general del relieve, clima, suelos, hidrología y fauna, para los valles de Azapa, Lluta y Lauca.

**i) "Mapa Agroclimático de Chile". INIA, 1989.**

Este estudio contiene una descripción y caracterización de los climas y agroclimas existentes en el país. Se incluye un mapa agroclimático en escala 1:1.000.000 dentro del cual quedan incorporadas las cuencas de los ríos San José, Lluta y Lauca.

Para cada uno de los climas y agroclimas se presenta una caracterización de las precipitaciones y temperaturas, y de los potenciales tipos de cultivos favorables de desarrollar dada las condiciones climáticas imperantes.

Se entregan los registros meteorológicos y climodiagramas de las estaciones meteorológicas de Parinacota, Arica, Iquique, Caldera, Copiapó, Estación Refresco, Potrerillos y Putre.

**j) "Recopilación de Curvas Hipsométricas Iª a XIIª Región". DGA-MOP, 1992.**

Corresponde a una síntesis de los datos y curvas hipsométricas recopilados en diferentes estudios realizados en el Departamento de Hidrología de la DGA, los cuales abarcan desde la Iª a la XIIª Región del país. En el documento se consignan las curvas y datos hipsométricos de las cuencas de los ríos Lluta, Lauca y San José.

**k) "Chile-Ciudades, Pueblos Aldeas - Censo 1992" y "Censo de Población y Vivienda". Instituto Nacional de Estadística, 1994.**

En estos documentos se presenta la información completa y actualizada de la división político-administrativa del área de interés del proyecto, y de los antecedentes demográficos de las localidades y entidades pobladas que se ubican en las cuencas de los ríos San José, Lluta y Lauca.

De acuerdo a estos antecedentes, las cuencas de los ríos San José, Lluta y Lauca abarcan parte de las comunas de Arica, Putre y General Lagos, correspondiendo las dos últimas comunas a la provincia de Parinacota, en tanto la primera de ellas a la de Arica.

En relación a los antecedentes demográficos, en estos documentos se consigna la información de población y de viviendas de las localidades y entidades pobladas que se ubican en el área de interés del estudio. La información de población disponible corresponde a distribución etaria, sector económico y nivel de instrucción. En tanto, respecto a la variable vivienda, se cuenta con antecedentes de tipo, condición de tenencia y disponibilidad de servicios básicos como: alumbrado eléctrico, conexión a servicios higiénicos, y origen y acceso al agua.

**l) "Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas". Cuenca Río San José. Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID, DHV, INFOR, ICSA y BF, 1995.**

Se presenta un completo diagnóstico de la cuenca del río San José, basado en la revisión y análisis de estudios realizados previamente en el área. Este abarca una descripción del territorio estudiado en términos del clima, vegetación, geomorfología y suelos. Los resultados alcanzados en el diagnóstico se acompañan de una cartografía temática en escala 1:250.000.

En relación al clima, se presenta una descripción de las zonas climáticas y agroclimáticas de la cuenca, basada en el documento "Mapa Agroclimático de Chile" del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Se incluyó en esta descripción una cartografía con la zonificación climática de la cuenca en escala 1:250.000 y registros meteorológicos de la estación Parinacota.

El diagnóstico de la vegetación de la cuenca, se realizó sobre la base de una descripción de las formaciones vegetacionales, identificándose en cada una de ellas, su ubicación geográfica y principales especies. El informe se acompaña de cartografías en escala 1:250.000.

Respecto a la geología y geomorfología, se presenta una descripción de las unidades litológicas y depósitos de la cuenca, acompañada con un mapa geomorfológico general en escala 1:250.000. Incluye además un mapa a la misma escala, en donde se representa una zonificación de erosión de carácter cualitativo.

Finalmente, en relación al recurso suelo, se entrega una zonificación de los suelos de la cuenca según la clasificación de capacidad de usos y pendientes.

**m) "Compendio de Estadísticas Regionales". MIDEPLAN, 1996.**

En este estudio se presenta una síntesis de las estadísticas a nivel regional que han sido elaboradas por la división de planificación regional de MIDEPLAN. Los antecedentes de este compendio cubren el período 1987-1994.

El documento contiene información relativa a estadísticas sociales (población, salud educación y vivienda), estadísticas económicas (financiera, inversión pública efectiva, fuerza de trabajo, producto interno bruto) y estadística por sectores económicos (agricultura y ganadería, silvicultura, pesca, industria, minería y turismo).

**n) "Carpetas comunales 1996. Iª Región de Tarapacá". MIDEPLAN, 1996.**

Se presenta una descripción de las características generales de las comunas de la Iª Región, los principales problemas que las afectan y los antecedentes de los proyectos de inversión pública planificados para cada comuna.

Se consignan estadísticas de población comunal, niveles de pobreza, demanda de viviendas y cobertura de servicios básicos tales como agua potable, alcantarillado y electricidad en las comunas de Arica, Putre y General Lagos.

Adicionalmente, se identifican los principales problemas que afectan a las comunas de la región de Tarapacá y se incluye un listado con los principales proyectos de inversión pública en cada una de las comunas para el período comprendido entre los años 1990 a 1992.

- o) **"Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales en las Regiones de Tarapacá y Antofagasta". Depto. de Estudios y Planificación. DGA-MOP, 1996.**

Este estudio se realizó con el objeto de delimitar los acuíferos que alimentan las vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Se considera que estos ecosistemas son únicos y que sustentan a especies altamente frágiles o raras, tanto de aves como en otros géneros.

En el estudio se estableció una clasificación de vegas y bofedales según ubicación geográfica, diferenciándolos según su pertenencia a quebradas, planicies o salares. Los límites de acuíferos identificados fueron presentados en la base topográfica del IGM en escala 1:50.000.

Los resultados alcanzados en el estudio indican que en la primera región de Tarapacá existen 89 sectores de acuíferos, que abarcan un total de 139 vegas y bofedales.

- p) **"Plan Estratégico de Desarrollo para las Provincias de Arica y Parinacota". gobernación Provincial de Arica, 1996.**

En este documento se definen las estrategias y acciones necesarias para desarrollar las provincias de Arica y Parinacota, y lograr de esta manera un posicionamiento a nivel nacional, en el Asia Pacífico y en el centro de América del Sur, en lo que respecta a aspectos económicos, productivos y de comunicaciones. Con este fin se plantean diversos aspectos a abordar entre los que destaca la infraestructura portuaria, ferroviaria y caminera; turismo; y comercio. Además se plantea la necesidad de realizar estudios tendientes a solucionar y superar en forma definitiva los problemas de falta de agua para la zona.

### **2.1.2 Antecedentes Cartográficos, Topográficos y Aerofotogramétricos**

- a) **Cartografía del Instituto Geográfico Militar.**

Para representar las cuencas de los ríos San José, Lluta y Lauca, se dispone de la cartografía IGM en escala 1:250.000, denominadas Arica y Visviri, segunda edición del año 1995.

Además, se cuenta con las planchetas IGM en escala 1:100.000, denominadas Visviri, Villa Industrial, Lago Chungará, Valle Chaca, Putre, Parque Nacional Lauca.

Esta cartografía fue generada en base al levantamiento aerofotogramétrico de la carta regular, en escala 1:50.000, y cuenta con información de curvas de nivel con equidistancia cada 100 metros e información planimétrica.

Otro antecedente cartográfico de interés de mayor nivel de detalle corresponde a la cartografía IGM en escala 1:50.000, con cobertura total para el área de estudio. Sin embargo, por tratarse de una zona limítrofe, esta información tiene el carácter de reservado al uso público.

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen con la información cartográfica disponible.

- b) **Levantamientos Aerofotogramétricos.**

- Levantamiento Aerofotogramétrico IGM, 1977.

Se dispone además del levantamiento aerofotogramétrico en escala 1:10.000, realizado en base a fotografías del vuelo SAF del año 1977 en escala 1:60.000.

Tabla 2.1 Información Cartográfica

N°	Nombre	Escala	N°	Nombre	Escala
5-02-01-1906-10	Visviri	1:250.000	5-04-01-0015-00	Belén	1:50.000
5-02-81-1910-10	Arica	1:250.000	5-04-01-0016-00	Cerro Tejene	1:50.000
5-04-01-0005-00	Villa Industrial	1:50.000	5-04-01-0017-00	Volcán Guallatiri	1:50.000
5-04-01-0006-00	Cosapilla	1:50.000	5-04-01-0018-00	Cerro Camaraca	1:50.000
5-04-01-0009-00	Putre	1:50.000	5-04-01-0019-00	Valle de Azapa	1:50.000
5-04-01-0010-00	Cerro Larancagua	1:50.000	5-04-01-0020-00	Santuario	1:50.000
5-04-01-0011-00	Volcán Parinacota	1:50.000	5-04-01-0021-00	Pampa de Oxaya	1:50.000
5-04-01-0012-00	Arica	1:50.000	5-04-01-0022-00	Tignamar	1:50.000
5-04-01-0013-00	Poconchile	1:50.000	5-04-01-0023-00	Uncalini	1:50.000
5-04-01-0014-00	Estación Central	1:50.000			

Fuente: Instituto Geográfico Militar

- Levantamiento Aerofotogramétrico IGM, 1988.

La Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas en el año 1988 solicitó al Instituto Geográfico Militar el desarrollo de un levantamiento aerofotogramétrico en escala 1:1.000, en los sectores del valle del río Lluta valle de Azapa, San José y Santuario de las Peñas en la 1ª Región.

Los tres sectores levantados se encuentran ubicados entre los siguientes límites:

Latitud: Desde 18° 20' hasta los 18° 40' Sur

Longitud: Desde 69° 30' hasta los 70° 20' Oeste

El levantamiento aerofotogramétrico se realizó en base a fotografías del vuelo efectuado por la compañía Sagal Ltda en el año 1988 en escala 1:5.000, y que se encuentra referido al sistema altimétrico del IGM y coordenadas UTM.

- Fotogramas SAF

En el año 1977 el Servicio Aerofotogramétrico (SAF) efectuó un vuelo en escala 1:60.000. Este vuelo tiene cobertura total de las cuencas de los ríos San José y Lluta y parcial de la cuenca del río Lauca. Este vuelo se identifica en los registros del SAF con el N° CH60.

- Ortofotos CIREN

Otro antecedente corresponde a los ortofotomosaicos elaborados por CIREN en escala 1:10.000 y 1:20.000 de los años 1994 y 1995, respectivamente. Su cobertura es parcial y se limita a los valles agrícolas de los ríos San José y Lluta.

c) **"Estudio de la red de Drenaje del Valle del Río Lluta". DR-MOP. INDERCO Ltda., 1980.**

Este estudio comprende el valle del río Lluta desde el sector de Rosario hasta su desembocadura. Se incluyen un conjunto de planos en escala 1:5.000 generados a partir del levantamiento aerofotogramétrico en escala 1:1.000, en donde se identifica la red de riego y de desagües del sistema de drenaje y límites prediales con indicación del nombre del propietario.

d) **"Catastro de Usuarios de Aguas de Cauces Ubicados en la Primera Región". Primera y Segunda Etapa. DGA-MOP. CADE-IDEPE. Años 1992 y 1994.**

En este estudio se efectuó una cartografía catastral en escalas 1:2.000 y 1:5.000, en la que se indican todos aquellos usuarios que fueron catastrados con motivo de la realización del estudio.

En los planos catastrales se identificaron canales, bocatomas y otras obras de riego, y las propiedades individualizadas por su rol y nombre de propietario.

e) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas". Cuenca Río San José. Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID. DHV, INFOR, ICSA y BF, 1997.**

Con motivo del desarrollo de la etapa de diagnóstico de la cuenca del río San José, en este estudio, se generó información cartográfica temática en escala 1:250.000.

Esta cartografía contiene antecedentes de geomorfología general, formaciones vegetales, cobertura vegetal, curvas de nivel, niveles de erosión, distritos agroclimáticos y puntos arqueológicos de interés.

### **2.1.3 Otros Antecedentes**

a) **"Compilación y Evaluación de los Antecedentes del Valle del Río Lluta". DR-MOP. INDERCO Ltda., 1980.**

Se presentan antecedentes relativos a la situación agroeconómica del valle del río Lluta, entregándose un análisis de los patrones y tipos de cultivos del valle y las variaciones en los últimos años.

En el estudio se indica que los principales cultivos del valle son el maíz y la alfalfa y en menor medida el cultivo de tomates.

b) **"Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa". DR-MOP. Ricardo Edwards y Juan Karzulovic, 1981.**

En este estudio se presenta un completo análisis respecto al uso actual de los suelos agrícolas del valle de Azapa, efectuado por la firma COSERREN.

Este estudio se efectuó mediante fotointerpretación de fotografías aéreas en color en escala aproximada 1:19.000, generadas especialmente con este fin por el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile en un vuelo realizado en septiembre de 1979. El trabajo realizado, apoyado con actividades de terreno, permitió la identificación de trece usos de suelo agrícola en el valle.

c) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID. DHV, INFOR, ICSA y BF, 1995.**

Se presentan los resultados de un análisis de la situación en que se encuentran las áreas silvestres protegidas en este territorio. En el estudio se indica que existen dos áreas silvestres protegidas en la cuenca, el Parque Nacional Lauca y la reserva Nacional Las Vicuñas.

Se señala en el estudio que sólo se cuenta con antecedentes del Parque Nacional Lauca, ya que posee un Plan de Manejo vigente, elaborado el año 1986.

En el plan de manejo del Parque Nacional Lauca descrito en el estudio, elaborado el año 1986, se entrega una descripción de los programas a desarrollar en un horizonte de planificación de 10 años.

De acuerdo a este plan, los programas a implementar son de 3 tipos: Programa de Manejo Ambiental, Programa de Uso Público, Programa de Operaciones y Programa de Desarrollo Integrado.

Adicionalmente, se identifican y caracterizan los principales problemas que se presentan para la aplicación del plan de manejo.

Además, se identifican los problemas que se presentan en el interior del parque. Al respecto, se señala que ellos están relacionados con la fuerte presión que existe por el uso del recurso agua dentro del Parque, por el aumento de la demanda de agua para usos industriales y por problemas relacionados con la tenencia de la tierra.

Con motivo del desarrollo de la etapa de diagnóstico de la cuenca del río San José, se efectuó una descripción del patrimonio natural y cultural de esta cuenca.

Se realizó la identificación de algunos conflictos relativos a la propiedad y al uso del recurso agua en el valle de Azapa derivados de la ocupación de los terrenos por parte de campesinos (aymaras y mestizos) provenientes de la precordillera a partir de la década del sesenta.

Además, en este diagnóstico se incluyó una cartografía en escala 1:250.000 con los principales puntos arqueológicos de interés reconocidos en la cuenca del río San José.

d) **Antecedentes Hidrológicos**

- **Antecedentes Fluviométricos**

Se dispone de la estadística de caudales medios mensuales de las estaciones fluviométricas que se ubican en las cuencas de los ríos Lluta, Lauca, San José y Caquena. Estas estaciones son controladas por la Dirección General de Aguas y la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas y por la empresa eléctrica EDELNOR S.A.

En la Tabla 2.2 se presenta un listado con la nómina de estaciones, incluyendo el código BNA en el caso que corresponda y sus coordenadas geográficas y altitud para aquellas estaciones con que se cuenta con esta información en el BNA. En la Fig.2.1 se muestra un plano con la ubicación de estas estaciones. En el Anexo 1 se presenta un diagrama de barras en donde se indica la disponibilidad de información existente durante el período de registro de cada estación.

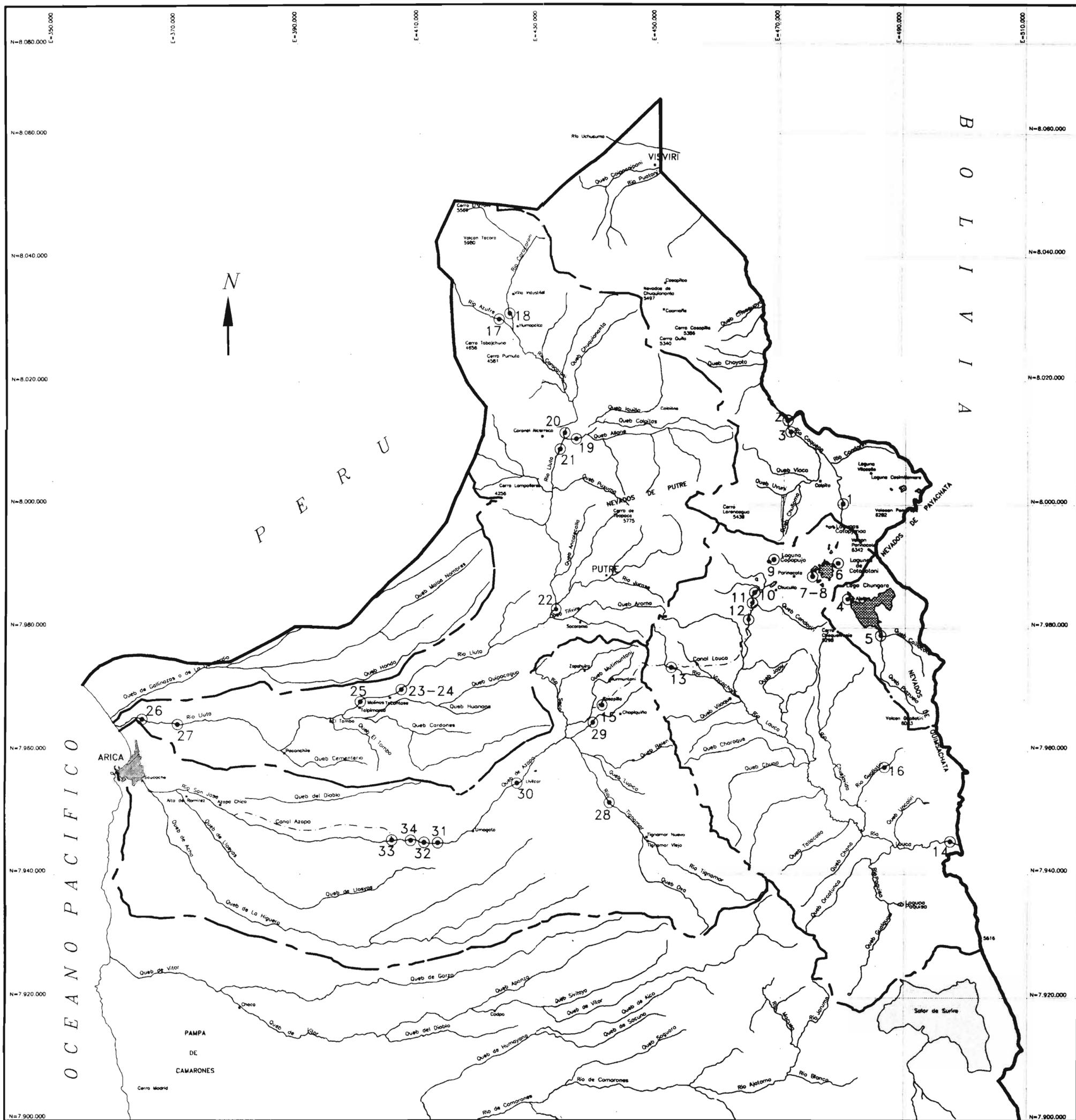
Tabla 2.2 Estaciones Fluviométricas Existentes

N°	CODIGO BNA	NOMBRE	INSTITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
1	01001001-2	Río Caquena en Nacimiento	DGA	4.400	18 05	69 11
2	01001002-6	Río Caquena en Vertedero	DGA	4.125	17 58	69 18
3	01001003-9	Río Colpacagua en Desembocadura	DGA	4.520	1.815	69 18
4	01010001-1	Lago Chungará	DGA	4.400	17 58	69 18
5	01010002-k	Río Chungará en Desembocadura	DGA	4.518	18 17	69 08
6		Laguna Cotacotani				
7	01020002-4	Río Desaguadero Cotacotani	DGA	4.500	18 12	69 17
8		Salida Laguna Cotacotani	DR	-	-	-
9		Ciénagas de Parinacota	DR	-	-	-
10	01020003-2	Río Lauca en Estancia El Lago	DGA	4.370	18 13	69 18
11		Bocatoma Canal Lauca	DGA	-	-	-
12	01020004-0	Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3.3)	DGA	4.384	18 13	69 18
13		Canal Lauca en Km 26,16	DR	-	-	-
14	01021001-1	Río Lauca en Japu (o en el Límite)	DGA	3.907	18 36	69 01
15		Descarga Central Chapiquiña	EDELNOR		18 21	69 31
16	01021002-k	Río Guallatire en Guallatire	DGA	4.280	18 29	69 09
17		Río Azufre en Humapalca				
18	01200002-2	Río Caracarani en Humapalca	DGA	3.908	17 58	69 46
19	01201001-K	Río Colpitas en Alcérreca	DGA	3.251	18 00	69 37
20	01201002-8	Río Caracarani en Alcérreca	DGA	3.253	18 00	69 37
21	01201003-6	Río Lluta en Alcérreca	DGA	3.248	18 00	69 43
22	01202001-5	Río Lluta en Jamiraya	DGA	-	18 15	69 40
23	01210001-9	Río Lluta en Tocontasi	DGA	1.850	18 23	69 55
24	01210002-7	Río Lluta en El Molino	DGA	-	18 23	69 55
25	01210003-5	Río Lluta en Chapisca	DGA	-	18 22	69 53
26	01211001-4	Río Lluta en Panamericana	DGA	10	18 24	70 18
27	01211002-2	Río Lluta en Puente Viejo Km 15	DGA	10	18 25	70 16
28		Río Tignamar en Tignamar				
29	01300002-6	Río Laco en Cosapilla	DGA	3.800	18 24	69 35
30	01310001-2	Río San José en Livilcar	DGA	3.000	18 30	69 43
31	01310002-0	Río San José en Ausipar	DGA	1.300	18 35	68 53
32	01310003-9	Río San José antes Bocatoma Azapa	DGA	960	18 35	69 58
33	01310004-7	Acueducto Azapa en Bocatoma	DGA	960	18 30	70 00
34	01310005-5	Río San José en El Molino	DGA	-	18 25	69 54

- : No se cuenta con el parámetro en el BNA

#### - Antecedentes Pluviométricos y Meteorológicos

Se dispone de la estadística de precipitaciones mensuales de las estaciones pluviométricas controladas por la DGA y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y que se ubican en las cuencas de los ríos Lluta, Lauca y San José.



ESCALA 1:500.000



**SIMBOLOGIA**

- LIMITE INTERNACIONAL ————
- LIMITE DE CUENCAS ————
- RED DE DRENAJE ————
- CANALES - - - - -
- CENTROS POBLADOS ■
- ESTACION FLUVIOMETRICA ●

**ESTACIONES FLUVIOMETRICAS EXISTENTES**

- |    |                                    |    |                                   |
|----|------------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1  | Rio Coaguena en Nacimiento         | 18 | Rio Jaracarani en Humapalca       |
| 2  | Rio Coaguena en Verdedero          | 19 | Rio Japitas en Alcérreca          |
| 3  | Rio Colpacagua en Desembocadura    | 20 | Rio Jaracarani en Alcérreca       |
| 4  | Lago Chungará                      | 21 | Rio Juta en Alcérreca             |
| 5  | Rio Chungara en Desembocadura      | 22 | Rio Juta en Jamiroya              |
| 6  | Laguna Cotacotani                  | 23 | Rio Juta en Tacotasi              |
| 7  | Rio Desaguadero Cotacotani         | 24 | Rio Juta en El Malino             |
| 8  | Salida Laguna Cotacotani           | 25 | Rio Juta en Chapisca              |
| 9  | Ciénegas de Parrinacota            | 26 | Rio Juta en Panamericana          |
| 10 | Rio Lauca en Estancia El Lago      | 27 | Rio Juta en Puente Viejo Km 15    |
| 11 | Bocatoma Canal Lauca               | 28 | Rio ignamar en Tignamar           |
| 12 | Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3.3)  | 29 | Rio Joca en Casapilla             |
| 13 | Canal Lauca en Km 26,16            | 30 | Rio San José en Livillar          |
| 14 | Rio Lauca en Japu (o en el Limite) | 31 | Rio San José en Ausipar           |
| 15 | Descarga Central Chapiquiño        | 32 | Rio San José antes Bocatoma Azapa |
| 16 | Rio Gualtatire en Gualtatire       | 33 | Acueducto Azapa en Bocatoma       |
| 17 | Rio Azufre en Humapalca            | 34 | Rio San José en El Malino         |

**AC INGENIEROS  
CONSULTORES**

UBICACION ESTACIONES  
FLUVIOMETRICAS

PROYECTO:  
PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA  
CUENCA DE RIO SAN JOSE

FECHA:  
JUNIO-1998

ESCALA:  
1:500.000

FIGURA No:  
2.1

Se dispone además de las estadísticas mensuales de los parámetros meteorológicos correspondientes a temperatura, humedad relativa, evaporación, radiación solar, horas de sol y vientos, evaporaciones de las estaciones meteorológicas instaladas por la DGA y la DMC, ubicadas en las cuencas de los ríos en estudio. En la Tabla 2.3 se presenta un listado con la nómina de estaciones incluyendo el código BNA, sus coordenadas geográficas y altitud, cuando se dispone de la información, y la institución que la controla. En la Fig. 2.2 se muestra la ubicación de estas estaciones.

**Tabla 2.3 Estaciones Pluviométricas y Meteorológicas Existentes**

Nº	CODIGO BNA	NOMBRE	INSTITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
1	01000050-5	Visviri	DGA	4.070	17 35	69 30
2	-	Visviri Tenencia	DMC	4.070	17 37	69 30
3	01001050-0	Caquena	DGA	4.400	18 03	69 12
4	-	Caquena Retén	DMC	4.385	18 03	69 13
5	-	Caquena	DMC	4.400	18 03	69 12
6	01010050-K	Chungará Retén	DGA	4.440	18 17	69 08
7	01010051-8	Missituni	DGA	4.200	18 20	69 06
8	01010052-6	Chungará Guardería	DGA	4.570	18 16	69 07
9	01010053-4	Chungará Ajata	DGA	4.418	18 15	69 10
10	01020050-4	Isla Blanca	DGA	4.500	18 12	69 13
11	01020051-2	Cotacotani	DGA	4.500	18 12	69 14
12	-	Cotacotani en Desague	DMC	4.500	18 11	69 13
13	01020052-0	Parinacota CONAF- DGA	DGA	4.390	18 12	69 16
14	01020053-9	Chucuyo Carabineros	DGA	4.200	18 13	69 20
15	-	Chucuyo Retén	DMC	4.200	18 12	69 16
16	01020054-7	Parinacota (Ex-ENDESA)	DGA	4.390	18 12	69 16
17	-	Parinacota	DMC	4.140	18 12	69 14
18	01020055-5	Chucuyo (Ex-ENDESA)	DGA	4.200	18 13	69 20
19	01021050-K	Guallatire	DGA	4.280	18 30	69 10
20	-	Guallatire Retén	DMC	4.280	18 30	69 09
21	01030050-9	Chilcaya	DGA	4.140	18 48	69 01
22	-	Chilcaya Retén	DMC	4.140	18 48	69 10
23	01110050-3	Puquios	DGA	3.750	18 11	69 45
24	01200050-2	Villa Industrial	DGA	4.060	17 47	69 43
25	-	Villa Industrial	DMC	4.059	17 47	69 43
26	01200051-0	Humapalca	DGA	3.970	17 50	69 42
27	01201050-8	Alcérrecá	DGA	3.990	18 00	69 40
28	-	Alcérrecá Retén	DMC	3.870	17 59	69 45
29	01202050-3	Pacollo	DGA	4.050	18 10	69 29
30	01202051-1	Putre	DGA	3.530	18 12	69 35
31	-	Putre Tenencia	DMC	3.530	18 12	69 35
32	01202052-K	Las Cuevas CONAF	DGA	3.940	18 12	69 30
33	01211050-2	Lluta	DGA	290	18 24	70 10
34	01300050-6	Murmuntane	DGA	3.280	18 21	69 32
35	01300051-4	Portezuelo Chapiquiña	DGA	4.400	18 23	69 29
36	01300052-2	Central Chapiquiña	DGA	3.280	18 23	69 33
37	-	Central Chapiquiña-Retén	DMC	3.280	18 24	69 33
38	01300053-0	Belén	DGA	3.240	18 29	69 31

**Tabla 2.3 Estaciones Pluviométricas y Meteorológicas Existentes (Continuación)**

Nº	CODIGO BNA	NOMBRE	INSITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
39	01300054-9	Tignamar	DGA	3.200	18 35	69 30
40	01310050-0	Arica Oficina	DGA	20	18 29	70 19
41	-	Arica Chacalluta)	DMC	58	18 20	70 20
42	01310051-9	Azapa	DGA	250	18 31	70 11
43	01310053-5	U. del Norte	DGA	27	18 30	70 20
44	01400050-K	Aeródromo El Buitre	DGA	30	18 30	70 19
45	01410050-4	Chaca	DGA	145	18 49	70 09
46	01410051-2	Codpa	DGA	1.800	18 50	69 45
47	-	Codpa Retén	DMC	1.837	18 50	69 45

- : Estación no tiene código BNA

En el Anexo 1 se presentan diagramas de barras en donde se indica la disponibilidad de información existente durante el período de registro de cada estación.

- Antecedentes de Calidad de Aguas

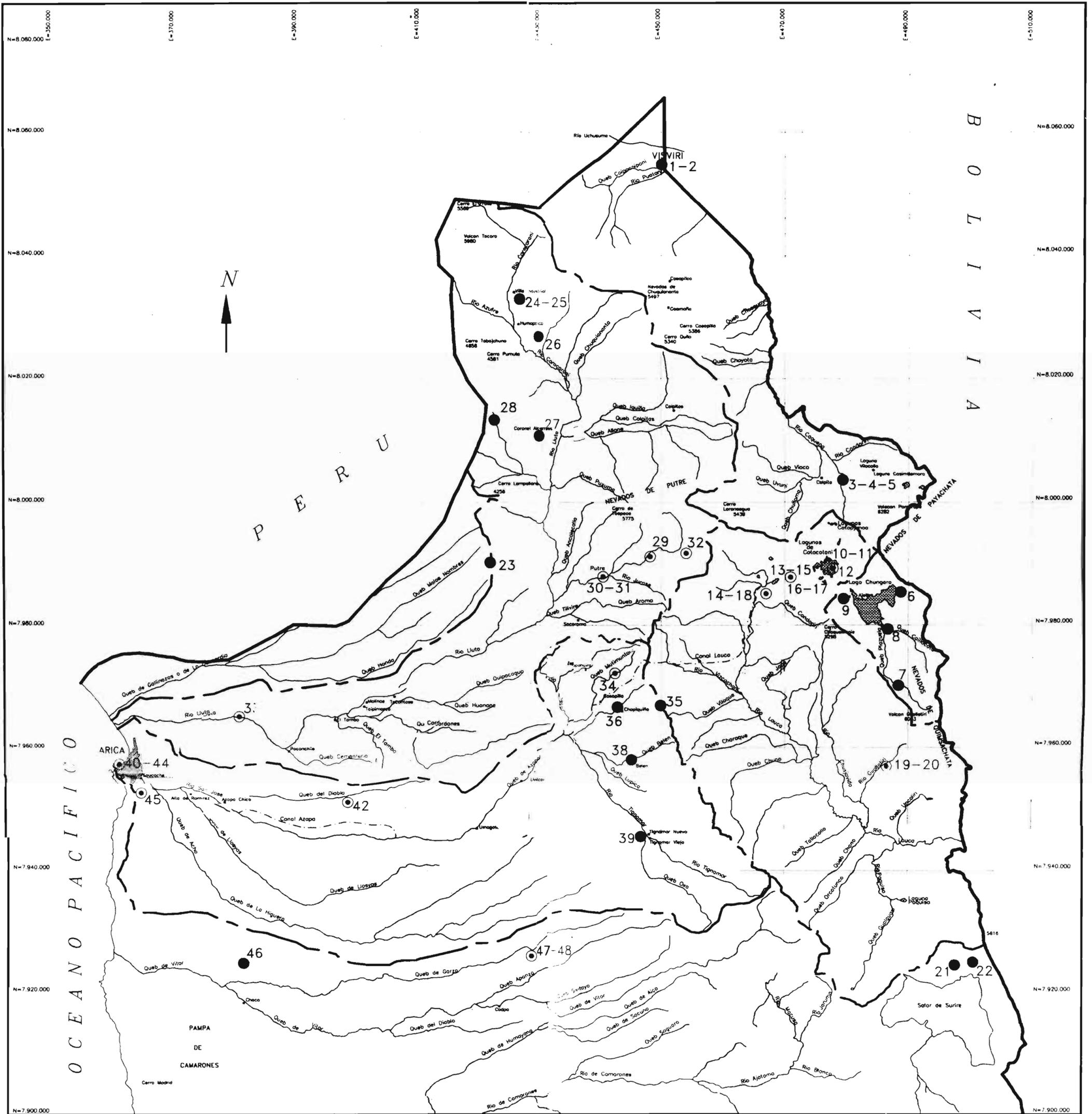
Se dispone de la estadística de muestreos de estaciones de calidad de aguas controladas por la DGA y que se ubican en las cuencas de los ríos San José, Lluta, Lauca y Caquena.

En la Tabla 2.4 se presenta un listado con la nómina de estaciones, incluyendo el código del BNA, y sus coordenadas geográficas altitud. En la Fig.2.3 se muestra un plano con la ubicación de estas estaciones.

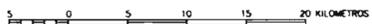
En el Anexo 1 se presenta un diagrama de barras en donde se indica la disponibilidad de información existente durante el período de registro de cada estación.

**Tabla 2.4 Estaciones de Calidad de Aguas Existentes**

Nº	CODIGO BNA	NOMBRE	INSTITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
1	01001800-5	Río Caquena en Caquena	DGA	4.520,00	18 02	69 12
2	01001801-3	Caquena en Vertedero	DGA	4.700	18 01	69 13
3	01010800-4	Estero Sopocalanc	DGA	4.520	18 14	69 05
4	01010801-2	Río Chungará en Desembocadura	DGA	4.518	18 17	69 08
5	01010803-9	Lago Chungará	DGA	4.520	18 15	69 18
6	01010804-7	Vertiente Mal Paso	DGA	4.520	18 13	62 12
7	01010805-5	Vertiente Ajata	DGA	4.520	18 14	69 11
8	01020801-7	Río Desaguadero Cotacotani	DGA	4.500	18 15	69 17
9	01020803-3	Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3,3)	DGA	4.384	18 13	69 18
10	01021800-4	Río Lauca en Japu (o en el límite)	DGA	3.907	18 36	69 04
11	01021801-2	Río Guallatire en Guallatire	DGA	4.280	18 23	69 09
12	01021803-9	Río Guallatire en Desembocadura	DGA	4.100	18 33	69 09
13	01200802-3	Río Azufre antes Río Caracarani	DGA	3.970	17 48	69 43
14	01201800-2	Río Caracarani en Alcerreca	DGA	3.253	17 59	69 38



ESCALA 1:500.000



**SIMBOLOGIA**

- LIMITE INTERNACIONAL
- LIMITE DE CUENCAS
- RED DE DRENAJE
- CANALES
- CENTROS POBLADOS
- ESTACION PLUVIOMETRICA
- ESTACION METEOROLOGICA

**ESTACIONES PLUVIOMETRICAS Y METEOROLOGICAS**

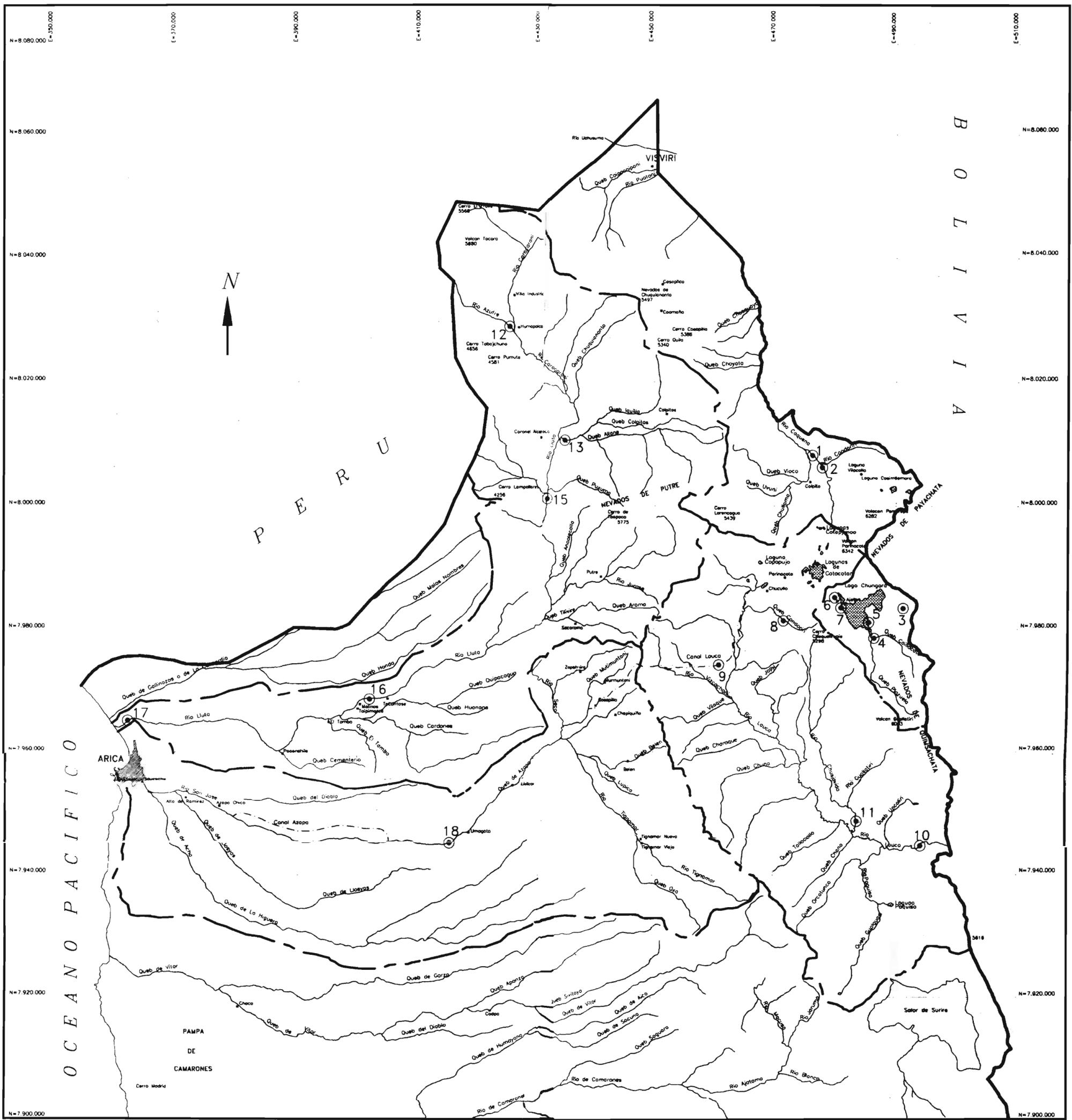
- |    |                              |    |                     |    |                           |
|----|------------------------------|----|---------------------|----|---------------------------|
| 1  | Visviri                      | 18 | Chucuyo (Ex-ENDESA) | 35 | Pa-tezuelo Chapiquiño     |
| 2  | Visviri Tenencia             | 19 | Guallitire (Met)    | 36 | Central Chapiquiño        |
| 3  | Caqueno (Met)                | 20 | Guallitire Retén    | 37 | Central Chapiquiño-Retén  |
| 4  | Caquena Retén                | 21 | Chicaya (Met)       | 38 | Betén                     |
| 5  | Caquena                      | 22 | Chicaya Retén       | 39 | Tigranar                  |
| 6  | Chungará Retén               | 23 | Chicaya Retén       | 40 | Arica Oficina             |
| 7  | Missituni                    | 24 | Puquios             | 41 | Arica Chacalluta (Met)    |
| 8  | Chungará Guardería           | 25 | Villa Industrial    | 42 | Azapa (Met)               |
| 9  | Chungará Ajoa                | 26 | Villa Industrial    | 43 | La Rivera                 |
| 10 | Isla Blanca (Met)            | 27 | Humapalca           | 44 | U. del Norte (Met)        |
| 11 | Catacolani                   | 28 | Alicérreca          | 45 | Aeródromo El Buitre (Met) |
| 12 | Catacolani en Desagüe (Met)  | 29 | Alicérreca Retén    | 46 | Chaca                     |
| 13 | Parinacota CONAF - DGA       | 30 | Pacollo (Met)       | 47 | Codpa (Met)               |
| 14 | Chucuyo Carabineros (Met)    | 31 | Putre (Met)         | 48 | Codpa Retén               |
| 15 | Chucuyo Retén                | 32 | Putre Tenencia      |    |                           |
| 16 | Parinacota (Ex-ENDESA) (Met) | 33 | Las Cuevas CONAF    |    |                           |
| 17 | Parinacota                   | 34 | Lluta (Met)         |    |                           |
|    |                              |    | Murmuntane (Met)    |    |                           |

**AC INGENIEROS  
CONSULTORES**

UBICACION DE ESTACIONES  
PLUVIOMETRICAS Y METEOROLOGICAS

PROYECTO  
PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA  
CUENCA DE RIO SAN JOSE

FECHA JUNIO-1998 | ESCALA 1:500.000 | FIGURA No 22

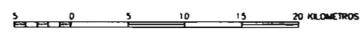


OCEANO PACIFICO

PERU

BOLIVIA

ESCALA 1:500.000



SIMBOLOGIA	
LIMITE INTERNACIONAL	— — — — —
LIMITE DE CUENCAS	— — — — —
RED DE DRENAJE	— — — — —
CANALES	— — — — —
CENTROS POBLADOS	■
ESTACION	●

ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUAS

- 1 Río Caquena en Coquena
- 2 Caquena en Vertedero
- 3 Estero Sopocalane
- 4 Río Chungará en Desembocadura
- 5 Lago Chungará
- 6 Vertiente Mal Paso
- 7 Vertiente Ajata
- 8 Río Desaguadero Cotacotani
- 9 Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3,3)
- 10 Río Lauca en Japu (o en el límite)
- 11 Río Guallatire en Desembocadura
- 12 Río Azufre antes Río Caracarani
- 13 Río Caracarani en Alcérreca
- 14 Río Colpitos en Alcérreca
- 15 Río Litu en Alcérreca
- 16 Río Litu en Tocantasi
- 17 Río Litu en Panamericana
- 18 Río San José en Ausipar

AC INGENIEROS CONSULTORES	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DE RIO SAN JOSE	
	UBICACION ESTACIONES DE MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	FECHA: JUNIO-1998
	ESCALA: 1:500.000	FIGURA No: 2.3

**Tabla 2.4 Estaciones de Calidad de Aguas Existentes (Continuación)**

Nº	CODIGO BNA	NOMBRE	INSTITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
15	01201801-0	Río Colpitas en Alcerreca	DGA	3.251	18 00	69 37
16	01202800-8	Río Lluta en Alcerreca	DGA	3.248	18 04	69 38
17	01210800-1	Río Lluta en Tocontasi	DGA	1.850	18 23	69 55
18	01210802-8	Río Lluta en Poconchile	DGA	910	18 27	70 04
19	01211800-7	Río Lluta en Panamericana	DGA	10	18 24	70 18
20	01310800-5	Río San José en Ausipar	DGA	1.300	18 36	69 48
21	01310801-3	Río San José en Bocatoma	DGA	1.050	18 35	68 54
22	01310802-1	Acueducto Azapa en Bocatoma	DGA	960	18 35	68 54
23	01310805-6	Vertiente La Concepción	DGA	285	18 31	70 11
24	01310806-4	Vertiente San Miguel de Azapa	DGA	278	18 32	70 12

#### Antecedentes de Niveles de Pozos

Se dispone de la estadística de niveles de los pozos controlados por la DGA y que se ubican en la cuenca del río San José y de la quebrada de la Concordia. En la Tabla 2.5, se presenta un listado con la nómina de los pozos incluyendo el código BNA, y sus coordenadas geográficas y altitud sólo para las estaciones que cuentan con esta información. En la Fig. 2.4 se muestra un plano con la ubicación de los pozos.

En el Anexo 1 se presenta un diagrama de barras en el que se indica la disponibilidad de información.

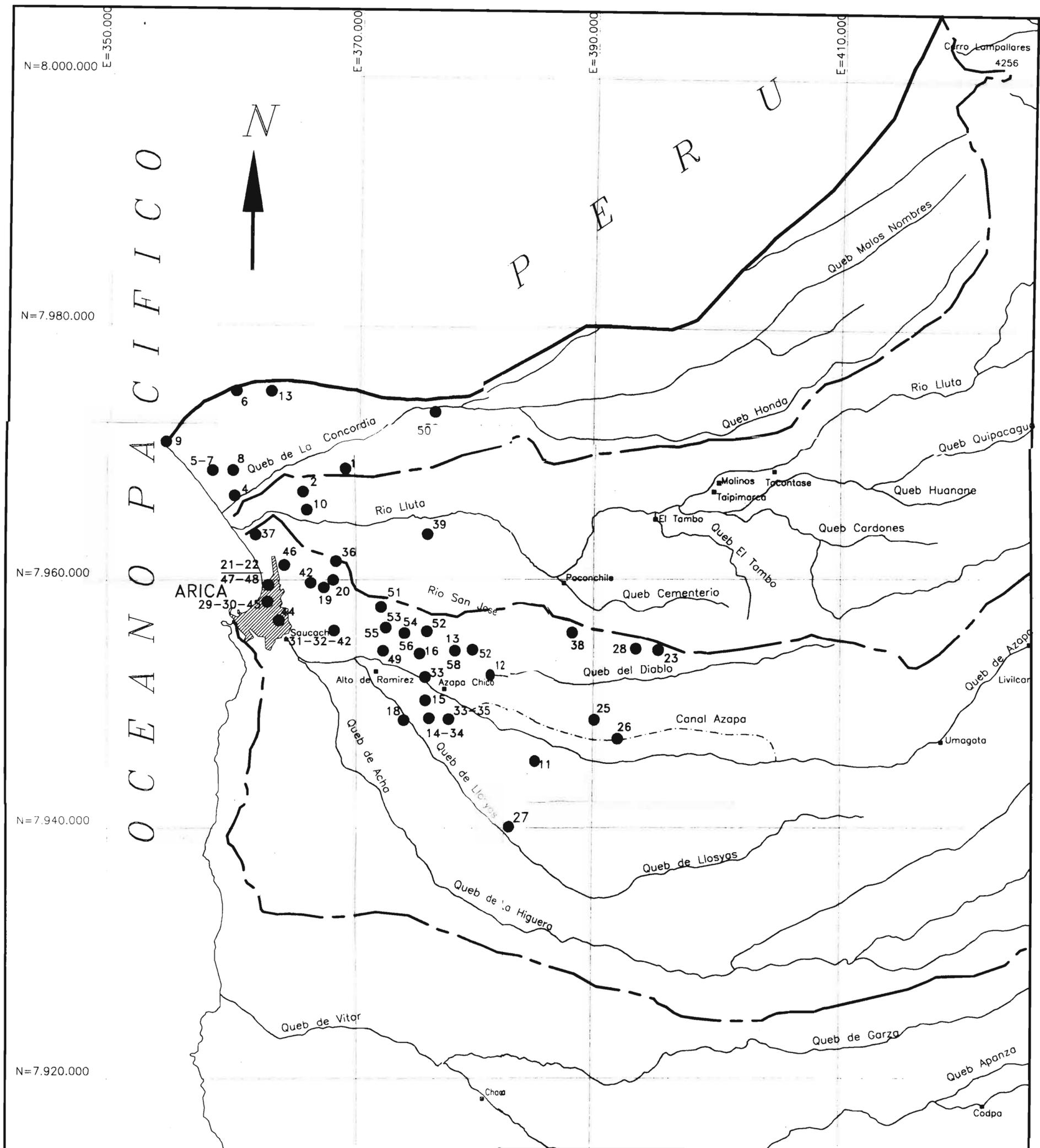
**Tabla 2.5 Red de Medición de Niveles Existente**

Nº	CODIGO BNA	NOMBRE	INSTITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
1	01110100-0	La Concordia	DGA	-	18 22	70 14
2	01110101-1	La Concordia	DGA	-	18 23	70 16
3	01110102-k	La Concordia	DGA	-	18 19	70 17
4	01110103-8	La Concordia	DGA	-	18 23	70 19
5	01110104-6	La Concordia	DGA	-	18 22	70 20
6	01110105-4	La Concordia	DGA	-	18 19	70 19
7	01110106-2	La Concordia	DGA	-	18 22	70 20
8	01110107-0	Aeropuerto Chacalluto	DGA	-	18 22	70 19
9	01110108-9	La Concordia	DGA	-	18 21	70 23
10	01110111-9	La Concordia	DGA	-	18 24	70 16
11	01310100-0	Cabuza 1A	DGA	-	18 35	70 05
12	01310101-9	Las Riveras de Madrid	DGA	-	18 31	70 06
13	01310102-7	Colonia Juan Noé (musco)	DGA	-	18 30	70 10
14	01310103-5	Las Maitas L. Violetas	DGA	-	18 33	70 11
15	01310104-3	Las Vargas	DGA	-	18 32	70 11
16	01310105-1	Pozo Gómez Las Vargas	DGA	-	18 30	70 11

Tabla 2.5 Red de Medición de Niveles Existente (Continuación)

Nº	CODIGO BNA	NOMBRE	INSTITUCION	ALTITUD (msnm)	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
17	01310106-K	Parcela 1 Algodonal	DGA	-	18 29	70 11
18	01310107-8	Las Animas	DGA	-	18 33	70 12
19	01310108-6	Quebrada Acha	DGA	-	18 27	70 15
20	01310109-4	Algodonal	DGA	-	18 27	70 15
21	01310110-8	Saucache	DGA	-	18 27	70 18
22	01310111-6	Avenida Balmaceda	DGA	-	18 27	70 18
23	01310112-4	Facundo Gutiérrez	DGA	-	18 30	70 00
24	01310113-2	Escuela Chitita N 28	DGA	-	18 34	70 04
25	01310114-0	Centella (San Miguel de Azapa)	DGA	-	18 33	70 03
26	01310115-9	Suc. Ramos (Cerro Moreno)	DGA	-	18 34	70 02
27	01310116-7	Cabuza 3F	DGA	-	18 38	70 07
28	01310117-5	Cabuza 2B	DGA	-	18 30	70 01
29	01310118-3	Avenida Loa	DGA	-	18 28	70 18
30	01310119-1	Avenida Gonzalo Cerda	DGA	-	18 28	70 18
31	01310121-3	Cinco Olivos	DGA	-	18 29	70 15
32	01310122-1	Cinco Olivos	DGA	-	18 29	70 15
33	01310123-K	Pago Gómez San Elías	DGA	-	18 31	70 11
34	01310124-8	Las Maitas	DGA	-	18 33	70 11
35	01310125-6	Pago Gómez San Elías	DGA	-	18 31	70 11
36	01310126-4	Avenida Azola	DGA	-	18 24	70 15
37	01310128-0	Olivarera Azapa	DGA	-	18 25	70 18
38	01310129-9	Chungal Santa Pabla	DGA	-	18 29	70 04
39	01310130-2	Olivarera Azapa	DGA	-	18 25	70 10
40	01310131-0	Los Duendes	DGA	-	18 29	70 15
41	01310132-9	Vidriería Argentina	DGA	-	18 27	70 18
42	01310133-7	Avenida Tarapacá	DGA	-	18 27	70 16
43	01310134-5	Colonia Juan Noé	DGA	-	18 33	70 10
44	01310135-3	Cementerio Arica	DGA	-	18 28	70 17
45	01310137-K	Quebrada Acha	DGA	-	18 28	70 18
46	01310150-7	Casino Arica	DGA	-	18 26	70 17
47	01310169-8	La Verbena	DGA	-	18 27	70 18
48	01310170-1	Quebrada Acha	DGA	-	18 27	70 18
49	01310196-5	Las Animas	DGA	179	18 30	70 13
50	01310214-7	Hospital	DGA	-	18 20	70 10
51	01310268-6	Barrio Industrial (CORMET)	DGA	25	18 28	70 13
52	01310269-4	Pascual Roco	DGA	334	18 30	70 09
53	01310270-8	Las Dunas (Dorotea Sorta)	DGA	5	18 29	70 13
54	01310271-6	Loteo Algodonal (Vélez)	DGA	105	18 29	70 12
55	01310273-2	Avícola Donoso	DGA	83	18 29	70 12
56	01310274-0	Santa Irene Sur	DGA	412	18 31	70 08
57	01310275-9	Escuela G-9	DGA	226	18 30	70 10

: Estaciones sin altitud disponible en el BNA



RED DE MEDICIÓN DE NIVELES

ESCALA 1:250.000



**SIMBOLOGIA**

LIMITE INTERNACIONAL	———
LIMITE DE CUENCAS	———
RED DE DRENAJE	———
CANALES	———
CENTROS POBLADOS	■
ESTACION	●

1 La Concordia	18 Los Animas	35 Pago Gómez San Elias	52 Pascual Roca
2 La Concordia	19 Quebrada Acha	36 Avenida Azapa	53 Las Dunas (Dorotea Sarta)
3 La Concordia	20 Algodanal	37 Olivarera Azapa	54 Loteo Algodanal (Vélez)
4 La Concordia	21 Saucoche	38 Chungal Santa Pabla	55 Hotel El Paso
5 La Concordia	22 Avenida Balmaceda	39 Olivarera Azapa	56 Avicola Donoso
6 La Concordia	23 Facultad Gutierrez	40 Los Duendes	57 Santa Irene Sur
7 La Concordia	24 Escuela Chitita N 28	41 Vidriera Argentina	58 Escuela G-9
8 Aeropuerto Chacalluta	25 Cantelito (San Miguel de Azapa)	42 Avenida Tarapacá	
9 La Concordia	26 Suc. Ramos (Cerro Moreno)	43 Colonia Juan Noé	
10 La Concordia	27 Cabuza 3F	44 Cementerio Arica	
11 Cabuza 1A	28 Cabuza 2B	45 Quebrada Acha	
12 Las Riveras de Madrid	29 Avenida Loa	46 Casino Arica	
13 Colonia Juan Noé (museo)	30 Avenida Gonzalo Carb.	47 La Verbena	
14 Las Moitas L. Violetas	31 Cinco Olivos	48 Quebrada Acha	
15 Las Vargas	32 Cinco Olivos	49 Los Animas	
16 Poza Gómez Las Vargas	33 Pago Gómez San Elias	50 Hospital	
17 Parcela 1 Algodanal	34 Las Moitas	51 Barrio Industrial (CORMET)	

**AC INGENIEROS  
CONSULTORES**

RED DE MEDICION DE NIVELES

PROYECTO:  
PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO  
DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA  
CUENCA DE RIO SAN JOSE

FECHA: JUNIO-1998	ESCALA: 1:250.000	FIGURA No: 2.4
----------------------	----------------------	-------------------

- Antecedentes Sedimentométricos

De los antecedentes recopilados, se determinó que se encuentran en operación las estaciones sedimentométricas de Lluta en Chapisca y San José en Ausipar. Estas estaciones tienen control esporádico e irregular con una frecuencia aproximada de una vez cada tres o seis meses.

En el estudio "Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional Red de Sedimentos I<sup>a</sup> y II<sup>a</sup> Región" DGA, BF Ingenieros Civiles, se propuso una red de estaciones de medición de sedimentos en suspensión, que permita obtener información referente a concentraciones y gastos sólidos del sedimento en suspensión transportado por los cauces naturales.

En este estudio se propuso instalar 5 estaciones distribuidas de la siguiente forma: dos en el río Lluta, una en el río San José, una en el río Isluga y una en la quebrada de Tarapacá. Se propuso que dos de estas estaciones operaran en forma permanente, mientras que las tres restantes lo hicieran en forma esporádica.

## 2.2 DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS

En este acápite se resume la información relativa a los estudios que han abordado aspectos de cuantificación de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos. Adicionalmente, se incluyen los antecedentes de los estudios sobre recarga de acuíferos.

### 2.2.1 Recursos Superficiales

a) **"Estudio de las Precipitaciones de la Región de Tarapacá". DGA-MOP. ICC-CONIC Ingenieros Consultores Ltda., 1982.**

En este estudio se completaron, rellenaron y extendieron las series de precipitaciones de diversas estaciones de control pluviométrico existentes en la I<sup>a</sup> región del país, considerando tanto estaciones pertenecientes a la DGA como a la DMC. Además, se realizó un análisis de consistencia en base a la confección de curvas doble acumuladas.

En base a la información anterior se determinaron las precipitaciones medias anuales para el período 1961 a 1980, determinando con ellas planos de isoyetas.

Además, se realizó un análisis crítico y diagnóstico de la red de control existente, proponiendo algunas modificaciones a ésta.

b) **"Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional. I<sup>a</sup> Región". DGA-MOP. IRH, 1985.**

En este estudio se realizó un análisis crítico de la red de control fluviométrico existente, considerando aspectos tales como ubicación, cobertura espacial, calidad y continuidad de los registros.

En base a este análisis se propone una red optimizada, capaz de caracterizar a un mínimo costo los caudales en cualquier cauce importante de la I<sup>a</sup> región del país.

c) **"Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional Regiones I<sup>a</sup> , II<sup>a</sup> , III<sup>a</sup> y VI<sup>a</sup>". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1985.**

En este estudio se realiza un análisis crítico de la red de control hidrometeorológico considerando aspectos tales como ubicación de las estaciones, cobertura espacial, tipo de variable controlada, calidad y continuidad de los registros.

Adicionalmente, se propone una red de control optimizada capaz de proveer información suficiente para caracterizar los recursos hídricos en las cuencas de las regiones en estudio.

**d) "Actualización de la Estadística Fluviométrica de la I<sup>a</sup> Región a la VII<sup>a</sup> Región". DGA-MOP. REG-Ingenieros Consultores Asociados Ltda., 1987.**

En este estudio se realizó la actualización de las estadísticas fluviométricas del BNA disponibles en las cuencas de la I<sup>a</sup> a la VII<sup>a</sup> región del país. En el caso de la primera región, se incluyeron 41 estaciones pertenecientes a los ríos Caquena, Lauca, Salar Huasco, Lluta, San José, quebrada Vítor, Camarones, quebrada Camiña, quebrada Aroma, quebrada Tarapacá y quebrada Guatacondo.

Se incluyó la revisión de la información existente, comprendiendo el análisis de las curvas de descargas y aforos, y antecedentes limnimétricos y limnigráficos. Posteriormente se realizó el traspaso de esta información al BNA de la DGA. Este trabajo abarcó sólo información del período comprendido entre los años 1983 y 1986.

**e) "Proyecto Drenaje Valle Río Lluta. I<sup>a</sup> Parte". DR-MOP. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., 1989.**

En este estudio se consigna la estadística de caudales medios mensuales de la estación río Lluta en Tocontasi corregida, rellenada y ampliada para el período 1947 a 1975. Se indica que los caudales fueron obtenidos de un estudio anterior, pero no se señala la metodología utilizada para corregir la estadística.

En base a esta información, se determinaron las curvas de variación estacional para probabilidades de excedencia de 50 y 85% en la estación indicada.

**f) "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

El estudio hidrológico se realizó con el objetivo de cuantificar los recursos hídricos del valle de Azapa.

Se realizó una caracterización general del régimen de precipitaciones, presentándose además un plano de isoyetas medias anuales para la cuenca del río San José. Estas se establecieron en base a información media anual del período 1961 a 1981, recopilada de estudios anteriores.

Desde el punto de vista de las escorrentías superficiales, el estudio se orientó a generar la estadística de caudales medios mensuales en la zona de entrada al valle de Azapa. Para ello se definió como punto de control la estación fluviométrica río San José antes de Bocatoma Azapa, ubicada en la zona alta del valle. Se indica que dicho punto fue seleccionado debido a que las recargas a la napa subterránea comienzan a ser importantes aquí y además, es el punto de partida de la distribución a las zonas de riego a través del canal Azapa.

Se determinaron los caudales en el río San José antes de la bocatoma del canal Azapa, utilizando una relación lineal entre los caudales en la estación fluviométrica Central Chapiquiña y las precipitaciones en la estación pluviométrica de Belén, localizada en el sector alto de la cuenca del río San José.

Como resultado de lo anterior se obtuvo una estadística de caudales medios mensuales, corregida, rellenada y extendida en el período 1965/66 a 1983/84. Con esta información se determinaron las curvas de duración para los caudales medios mensuales y anuales en la estación río San José Antes Bocatoma Azapa.

Finalmente, se cuantificó el efecto sobre la recarga a las napas de las crecidas ocurridas en el río San José, relacionando para ello caudales de aforos aislados, efectuados simultáneamente en las estaciones de San José Antes Bocatoma Azapa y San José en Puente Saucache.

g) **"Análisis Estadístico de Caudales de los Ríos de Chile. Iª Región". DGA-MOP. Prisma Ingeniería, 1992.**

En este estudio se realizó un análisis respecto de la calidad de la información fluviométrica disponible a nivel medio mensual y anual, en diversas estaciones de control ubicadas en la Iª Región del país. En la Tabla 2.6 se indican las cuencas y estaciones consideradas pudiendo observarse que no se incorporó en el análisis la cuenca del río San José.

**Tabla 2.6 Estaciones Fluviométricas Seleccionadas**

Cuenca	Estación
Río Caquena	Río Caquena en Vertedero
Río Lauca	Río Desaguadero en Cotacotani Río Lauca en Japu (o en el Límite) Río Guallatire en Guallatire
Río Collacagua	Quebrada Piga en Collacagua
Río Lluta	Río Colpitas en Alcérreca Río Caracarani en Alcérreca Río Lluta en Alcérreca Río Lluta en Tocontasi
Río Camarones	Río Camarones en Conanoxa

Una vez realizado el análisis de calidad, se rellenaron, completaron y extendieron las series de caudales medios mensuales y anuales, generando una estadística de 30 años en el período comprendido entre los años hidrológicos 1960/61 a 1989/90. El cálculo del caudal medio anual se hizo considerando el año hidrológico definido entre los meses de octubre a septiembre. Este proceso se realizó en base a correlaciones entre diversas estaciones considerando aquellos meses con más de 20 días de registro.

Se realizó un análisis de consistencia de las series de caudales obtenidas, utilizando el método de las curvas doble acumuladas. Para ello se definió una estación patrón en base al promedio de los valores anuales de las cuatro estaciones con mayor período de registro los que fueron previamente adimensionalizados en base al valor medio de cada serie. No se detectaron inconsistencias.

Con las series corregidas se determinaron las curvas de duración para los períodos anual, mensual y estacional (períodos abril-septiembre y octubre-marzo). Además, se obtuvieron las curvas de variación estacional para probabilidades de excedencia de 5, 10, 20, 50 y 85%.

h) **"Estudio Análisis de los Recursos de Agua de la Iª Región". DGA-MOP. INYGE, 1993.**

En este estudio se rellenaron las series de precipitaciones correspondientes a las estaciones pluviométricas ubicadas en la Primera Región del país. Este proceso se realizó mediante correlaciones simples entre estaciones, incluyendo sólo el período de registro disponible en cada caso.

En base a esta información se confeccionaron planos de isoyetas anuales para probabilidades de excedencia de 50 y 85%. Adicionalmente, se trazaron curvas de escurrentía definidas en base a curvas de isoyetas y al uso de coeficientes de escurrentía.

**i) "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta". DR-MOP. INGENDESA, 1993.**

El estudio hidrológico se realizó con el objetivo de caracterizar tanto el régimen de precipitaciones como el de caudales en la cuenca del río Lluta.

Debido a que las precipitaciones ocurren principalmente en los meses de verano (diciembre a febrero), el año hidrológico fue definido entre los meses de noviembre de un año y octubre del año calendario siguiente.

En base a la información fluviométrica disponible, se obtuvieron las estadísticas rellenas y ampliadas de los caudales medios mensuales para el período 1961/62 a 1987/88 para las estaciones de control Río Azufre en Humapalca, Río Caracarani en Humapalca y en Alcérreca, Río Colpitas en Alcérreca, Río Lluta en Alcérreca, Río Lluta en Tocontasi y Panamericana y Río Caquena en Vertedero.

Estas estadísticas fueron rellenas y ampliadas para el período común antes indicado mediante correlaciones gráficas entre las distintas estaciones. Se debe hacer notar que no fueron corregidos aquellos meses con información incompleta.

Con respecto a las precipitaciones, se seleccionaron 23 estaciones pluviométricas ubicadas tanto en la cuenca del río Lluta como en las vecinas. Posteriormente, con las series anuales completas se realizó un análisis de consistencia entre estaciones, no entregándose la información del patrón de precipitaciones utilizado. En base a estos antecedentes se confeccionó un plano de isoyetas medias anuales.

Como parte del estudio, se analizó la posibilidad de ocupar aguas del río Caquena trasvasándola a la cuenca del río Lluta. Para ello se utilizó la información de caudales medios mensuales medidos en las estaciones de control fluviométrico Río Caquena en Vertedero, Río Caquena en Nacimiento y Río Lluta en Alcérreca. En base a estos antecedentes se obtuvo una estadística ampliada y rellena para la estación Río Caquena en Vertedero para el período 1961/62 a 1987/88.

Además, se obtuvieron las curvas de duración de los caudales medios anuales y mensuales y se determinaron las curvas de variación estacional para probabilidades de excedencia de 5, 20, 50, 80 y 95%.

Finalmente, se realizó un estudio de crecidas para determinar el caudal de diseño para la construcción de un posible embalse ubicado en el río Lluta en el sector denominado Angostura de Chironta. Para ello se realizó un análisis de frecuencias de los caudales máximos instantáneos registrados en la estación río Lluta en Tocontasi, en base al cual se determinaron los caudales de crecida de hasta 50 años de período de retorno. Para crecidas de menor recurrencia se utilizó el método del hidrograma unitario.

Se definió un hidrograma unitario promedio utilizando como base tres crecidas, para las cuales se disponía simultáneamente del caudal en la estación fluviométrica río Lluta en Tocontasi y las precipitaciones en la estación pluviométrica Putre. No obstante, no se indican fechas de ocurrencia de las tormentas utilizadas ni otros antecedentes hidrometeorológicos de interés. No se presentan los antecedentes ni la metodología empleada en los análisis de frecuencias de las precipitaciones utilizadas para definir los caudales de crecida calculados.

j) "Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos". DGA- MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1995.

El objetivo de este estudio fue desarrollar métodos para el cálculo de caudales máximos y mínimos, en cuencas naturales del país con nula o escasa información fluviométrica.

Contiene una recopilación básica correspondiente a datos hidrometeorológicos obtenidos del Banco Nacional de Aguas y en estudios anteriores, incluyendo todas las cuencas controladas del país. En particular, se dispone de las estadísticas de caudales máximos y mínimos medios diarios, y máximos instantáneos anuales hasta el año 1991 de las diversas estaciones de control fluviométrico existentes en las cuencas de los ríos Lluta, San José y Lauca.

De acuerdo con la extensión y calidad de la información disponible, se seleccionaron algunas estaciones en las cuales se corrigieron y extendieron las series de caudales instantáneos máximos anuales (Qmi) y caudales máximos medios diarios anuales (Qmmd). En la Tabla 2.7 se indican las estaciones seleccionadas y el período de registro para las cuencas de interés al presente estudio. Se incluyen años extendidos por correlación con otras estaciones.

**Tabla 2.7 Información Fluviométrica Disponible.  
Caudales Máximos Instantáneos y Máximos Medios Diarios**

Estación	Período Disponible	
	Qmi	Qmmd
Río Desaguadero en Cotacotani	1964 - 1991	1964 - 1991
Río Lauca en Japu (o en el Límite )	1963 - 1991	1964 - 1991
Río Guallatire en Guallatire	1971 - 1991	1964 - 1991
Río Caracarani en Humapalca	1973 - 1991	1961 - 1991
Río Colpitas en Alcérreca	1961 - 1991	1961 - 1991
Río Caracarani en Alcérreca	1961 - 1983	1961 - 1991
Río Lluta en Alcérreca	1971 - 1991	1961 - 1991
Río Lluta en Tocontasi	1962 - 1983	1961 - 1991
Acueducto Azapa en Bocatoma	1963 - 1991	1959 - 1991

Utilizando estas series, se realizó un análisis de frecuencias analítico, determinando las distribuciones de probabilidades de mejor ajuste. Adicionalmente, se obtuvo una relación entre caudales máximos instantáneos y máximos medios diarios en base a correlaciones entre éstos. Se calcularon los valores asociados a probabilidades de excedencia de 1, 5, 10, 20, 50, 80, 90 y 95%.

Para los caudales mínimos diarios se consigna la información de las estaciones indicadas en la Tabla 2.8 siguiente, en la que se indica el período de registro empleado.

Con esta información se realizó un análisis de frecuencias considerando las series de caudales medios diarios mínimos obtenidos como el promedio de 30, 7 y 1 día de información. Se presentan caudales asociados a probabilidades de excedencia de 1, 5, 10, 20, 50, 80, 90 y 95%.

Para las cuencas de interés a este estudio no se desarrollaron relaciones de cálculos que permitan determinar caudales máximos y mínimos, por considerarse los registros disponibles de extensión muy limitada.

**Tabla 2.8 Series de Caudales Míminos Disponibles**

Estación	Periodo de Registros
Río Desaguadero Cotacotani	1964 - 1991
Río Guallatire en Guallatire	1971 - 1991
Río Caracarani en Humapalca	1973 - 1991
Río Colpitas en Alcérreca	1961 - 1991
Río Lluta en Alcérreca	1961 - 1991
Río Lluta en Tocontasi	1946 - 1985

**k) "El Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA, 1995.**

En este estudio se evalúan los recursos de agua factibles de ser utilizados para el suministro de agua potable en las ciudades de Arica e Iquique. Para el caso de Arica, el análisis se centró en las cuencas de los ríos San José y Lluta.

En la cuenca del río San José, se realizó una estimación de los recursos de agua disponibles en el sector del valle de Azapa. Para ello, se utilizaron los caudales medios mensuales medidos en las estaciones de control fluviométrico Río San José en Ausipar y Río San José Antes Bocatoma Azapa, las cuales son representativas del sector de inicio del valle.

Utilizando la información anterior, junto con estimaciones del consumo de agua de acuerdo con los diversos usos, se realizó un balance a nivel medio anual, determinándose la existencia de un déficit medio de 495 l/s. Se concluye en el estudio que se produciría una disminución gradual del almacenamiento subterráneo a futuro.

Para el caso del río Lluta, se realizó una evaluación de los recursos superficiales utilizando los caudales medios mensuales registrados en las estaciones de control fluviométrico Río Caracarani en Humapalca, Río Caracarani en Alcérreca, Río Colpitas en Alcérreca, Río Lluta en Alcérreca, Río Lluta en Tocontasi, Río Lluta en Chapisca y Río Lluta en Panamericana.

En cada una de estas estaciones se determinaron los caudales promedio mensuales y las curvas de variación estacional para probabilidades de excedencia del 80 y 90%.

Adicionalmente, utilizando el plano de isoyetas medias anuales consignado en el estudio "Balance Hídrico de Chile" (1987) de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, junto con la información de caudales, se determinaron los coeficientes de escorrentía anual para cada una de las subcuencas definidas por los diversos puntos de control.

Se indica que se realizaron aforos de manera de ampliar la información disponible a otros puntos de interés en la cuenca.

Las series de caudales utilizados no fueron corregidas, rellenadas ni ampliadas en ninguna de las estaciones fluviométricas utilizadas como base del estudio.

l) **"Monitoreo Cuenca Valle de Azapa-Arica". ESSAT S.A. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1995.**

En este estudio se analizan algunas de las causas que han originado los descensos del nivel freático en el valle de Azapa, durante los últimos años.

Dentro de este contexto se realizó una caracterización climática de la cuenca del río San José, dando especial énfasis al régimen de precipitaciones.

Por otro lado, utilizando las estadísticas de caudales medios mensuales obtenidas del estudio "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas de Valle de Azapa", (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989) se determinaron las pérdidas del río San José en el sector del valle. Para ello se descontó al caudal del río antes de la bocatoma del canal Azapa el caudal en el sector de Saucache y los de las extracciones del canal Azapa.

Se analizaron las precipitaciones medias mensuales en las estaciones Central Chapiquiña y Belén, las cuales se consideran representativas de los aportes que originan los caudales observados en el río San José antes de la Bocatoma Azapa. Para este análisis se usaron los promedios mensuales de las precipitaciones para los períodos 1965-1988 y 1989-1993.

Como resultado del análisis, se indica que las precipitaciones anuales de ambos períodos son prácticamente iguales para las estaciones empleadas, determinándose que para la estación Central Chapiquiña, las precipitaciones del último período son un 7% menos que en el primero (129,2 mm y 139,0 mm, respectivamente). En el caso de la estación Belén, las precipitaciones anuales son casi un 3% superiores en el primer período comparado con el segundo (113,6 mm y 110,0 mm, respectivamente).

Basado en lo anterior y considerando que las estadísticas de las precipitaciones de ambas estaciones pluviométricas no presentan valores extremos, se concluyó que en ambos períodos el régimen de las precipitaciones es semejante, y que por lo tanto, no se dieron condiciones extremas de sequía en el último tiempo que induzcan a pensar que los descensos de los niveles de las aguas subterráneas en el valle se deban a este factor.

m) **"Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta. Drenaje". DR-MOP. INGENDESA, 1995.**

Este estudio utiliza la información pluviométrica y fluviométrica consignada en la primera parte del estudio. En base a las precipitaciones medias anuales para el período 1961/62 a 1990/91 se confeccionó un plano de isoyetas para las cuencas de los ríos Caquena, Lluta, Lauca y San José.

n) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas". Cuenca Río San José. Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, Bid. Dhv, Infor, Icsa y Bf, 1995.**

En este estudio se realizó una recopilación de antecedentes consignados en estudios anteriores, así como aquella información pluviométrica y fluviométrica disponible en el BNA de la DGA del MOP, para la cuenca del río San José.

En el informe se indica que se evaluaron los recursos de aguas superficiales en tres sectores, sin entregar detalle de su ubicación. Dicha caracterización se basa en el análisis de los caudales medios mensuales medidos en diferentes estaciones de control fluviométrico.

El primer sector fue caracterizado en base a los caudales registrados en la estación Río San José Antes Bocatoma Azapa. Se adoptaron las series consignadas en el estudio "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa" (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989).

Un segundo sector fue caracterizado por los caudales medios mensuales de operación de la central Chapiquiña, consignados en el mismo estudio recién citado.

El último sector fue caracterizado en base a los caudales registrados en la estación fluviométrica Canal Lauca en Bocatoma, las series anuales de las estaciones Cotacotani en Desaguadero y Río Lauca en Estancia El Lago. La primera estación fue rellenada y ampliada correlacionando los valores mensuales con los registros de la Central Chapiquiña.

Las otras series se rellenaron correlacionando los caudales medios anuales con la precipitación anual acumulada de la estación pluviométrica Parinacota.

Para cada uno de los puntos de control analizados, se presentan curvas de variación estacional y de duración para los períodos mensual, estacional (octubre-marzo y abril-septiembre) y anual.

Utilizando la información anterior, se realizaron balances hidrológicos a nivel medio anual para los sectores primero y tercero, antes indicado. En cada caso se consideró tanto el sistema superficial como el subterráneo.

ñ) **"Análisis Operacional del Sistema Lauca-Azapa Iª Región". DR-MOP. CONIC-BF Ingenieros Civiles, 1996.**

Este estudio se realizó con el objetivo de desarrollar un modelo de simulación computacional que permita efectuar el seguimiento y planificación de la operación del sistema Lauca Azapa.

Se recopilaron y revisaron los antecedentes bibliográficos de estudios realizados en el sector de interés, incluyendo la información fluviométrica, pluviométrica y meteorológica disponible, para ser utilizada en el análisis de los recursos hídricos.

La evaluación de recursos hídricos se realizó en base al análisis, relleno, extensión y homogeneización de las estadísticas de caudales medios mensuales disponibles en las cuencas afluentes a la Laguna Cotacotani, los aportes netos de la Ciénagas de Parinacota y los excedentes de la cuenca propia del río San José.

La evaluación de los caudales afluentes a la laguna Cotacotani, se realizó tanto para la serie observada, como para la serie en régimen natural que no incluye los trasvases desde el lago Chungará, efectuados mientras operó la impulsión Ajata. Esta impulsión trasvasaba agua desde el lago Chungará hasta la laguna de Cotacotani.

Los aportes netos de las Ciénagas de Parinacota fueron obtenidos como la diferencia entre los caudales captados por la bocatoma del Canal Lauca y los entregados por la laguna Cotacotani, despreciando los vertimientos al río Lauca.

Los excedentes de la cuenca propia del río San José se obtuvieron descontando a los caudales medios mensuales observados en la estación fluviométrica Río San José Antes Bocatoma Canal Azapa, los caudales medios mensuales generados en Chapiquiña, a los que, a su vez, se les descontaron las extracciones de riego de Laco-Cosapilla-Livilcar y las pérdidas en el río San José. Del análisis de esta serie se constató que el uso histórico del agua para riego en los sectores altioplánicos ha sido variable y notoriamente más intensivo a partir del año hidrológico 1989/90. Debido a este hecho, se generó una serie de caudales medios mensuales representativos de los excedentes del riego de la cuenca propia del río San José, que se estimó más representativa para ser utilizada en escenarios futuros.

Al respecto, se debe hacer notar que se corrigieron, rellenaron y ampliaron las series de caudales medios mensuales de las estaciones de control fluviométrico Río San José Antes Bocatoma Azapa, Acueducto Azapa en Bocatoma, Descarga Central Chapiquiña, Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3,3), Río Desaguadero en Cotacotani y Bocatoma Canal Lauca, para el período 1967/68 a 1993/94.

Los valores faltantes fueron rellenados mediante correlaciones con las series de caudales medios mensuales registrados en cuencas vecinas, incorporando en algunos casos, un índice de precipitaciones calculado en base a los valores mensuales medidos en las estaciones pluviométricas Central Chapiquiña, Belén y Tignamar.

Una vez evaluados los recursos hídricos de las principales fuentes del sistema, se desarrolló una metodología de pronóstico de caudales para el período abril a noviembre para cada una de estas fuentes. A partir de estos análisis se elaboró el modelo de simulación operacional del Sistema Lauca-Azapa, el cual simula a nivel mensual dicho sistema desde la laguna Cotacotani hasta la bocatoma del canal Azapa.

En esencia, el modelo permite calcular mes a mes las necesidades de agua en base a las asignación de demandas de agua para riego, energía y otros usos, desde aguas abajo hacia aguas arriba. Evalúa la posibilidad de satisfacer estas demandas con los recursos no regulables, provenientes de los excedentes de la cuenca propia del río San José y los aportes netos de la Ciénagas de Parinacota. De persistir algún déficit en alguna de las demandas, se calcula la entrega que debería efectuar la laguna Cotacotani.

Al simular un período de 27 años, tomando como base los caudales observados en el período 1967/68 y 1993/94, y los de la cuenca del río San José correspondientes a la serie de excedentes de riego generada para el período 1989/90 a 1993/94, se concluyó que es posible abastecer una demanda de agua para uso en riego, en la bocatoma del canal Azapa, de 21.400 m<sup>3</sup> anuales con una seguridad de 85%.

- o) **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del Río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

En este estudio se adoptaron las series de caudales medios mensuales consignados en el estudio "Análisis Operacional del Sistema Lauca-Azapa, Iª Región" (CONIC-BF, 1995).

Adicionalmente, se determinaron series de precipitaciones medias mensuales en diversas estaciones ubicadas en las cuencas de los ríos Lauca, Lluta y San José. Estas series fueron corregidas, rellenadas y ampliadas utilizando para ello módulos pluviométricos y correlaciones entre estaciones. Además se realizó un análisis de consistencia en base a la utilización de curvas doble acumuladas.

## 2.2.2 Recursos Subterráneos

- a) **"Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa". DR-MOP. R. Edwards y J. Karzulovic, 1981.**

En este estudio se analiza la potencialidad del acuífero del valle de Azapa, con el fin de evaluar la posibilidad de aumentar el nivel de explotación para satisfacer las crecientes demandas.

En lo relacionado con las aguas subterráneas del valle, se señaló que durante los años lluviosos el nivel freático se elevó, provocando problemas de drenaje en los suelos de cultivo y produciendo anegamientos y perjuicios en las construcciones de la ciudad de Arica. En cambio, durante los períodos secos este nivel se deprimió, temiéndose una posible contaminación de la napa por el agua de mar.

En el estudio se identificaron estratos clasificados como productores importantes hasta los 40 m de profundidad, modestos de 40 a 70 m y pobres hasta los 100 m. Las zonas de acuíferos productores tienen aguas

subterráneas de escurrimiento libre y de permanente renovación por efecto de infiltración de aguas de precipitaciones ocasionadas en la hoya alta del río San José, crecidas de las aguas trasvasadas desde el río Lauca que escurren por el cauce del río San José y de parte de las aguas utilizadas en el riego en el valle de Azapa.

Se realizó un balance de disponibilidades y demandas futuras para períodos de 7 años secos y 7 años lluviosos, el que permitió concluir que será muy difícil que se vuelvan a producir en el futuro problemas de anegamiento en años húmedos. Se indica que para una proyección al año 2000, con una superficie de riego de 2.500 ha, el balance señala un déficit que debería ser suplido con nuevas fuentes. Como posibles nuevas fuentes se menciona la perforación de sondajes en el valle del río Lauca en zonas de vegas existentes entre la bocatoma del canal Lauca y Juan de la Cruz.

**b) "Convenio de Estudios Hidrológicos. Quebradas de La Concordia y Escritos". Néstor Vera y Roberto Castillo, 1982.**

En este estudio se presenta una caracterización hidrogeológica de las quebradas de La Concordia y Escritos. El análisis se complementa con la realización de un catastro de los sondajes existentes en el área, en el que se incluyen caudal de explotación, diámetro y profundidad del pozo. Además, se recopilieron antecedentes de niveles.

**c) "Análisis Crítico de la Red de Medición de Niveles de Agua Subterránea". DGA-MOP. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores, 1987.**

En el estudio se propuso una adecuación de la red de medición de niveles de aguas subterráneas existente acorde con el grado de información necesaria. La red existente a la fecha del estudio estaba formada por 10 pozos en la zona de la quebrada de La Concordia y por 15 en el valle de Azapa. Como resultado de este estudio se eliminaron 4 puntos de monitoreo en la cuenca de La Concordia y 5 en el valle de Azapa, pero en este último valle se agregaron 5 pozos.

**d) "Proyecto Drenaje Valle Río Lluta. Iª Parte". DR-MOP. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., 1989.**

A través de este estudio se analiza el comportamiento del sistema de drenes de la parte baja del valle que presenta problemas de drenaje.

Se hace una descripción general del marco geológico e hidrogeológico del valle del río Lluta, específicamente en su parte baja comprendida entre la estación Rosario y la desembocadura en el Océano Pacífico. La zona estudiada comprende aproximadamente 20 km de longitud, concentrándose el análisis sólo en los 10 primeros metros del relleno que forma el acuífero, dado que corresponde al acuífero subsuperficial a ser drenado.

En relación al embalse subterráneo se indica que corresponde a un acuífero libre, con un volumen total aproximado de 220 Mm<sup>3</sup>. En cuanto al coeficiente de transmisibilidad, se indica que éste varía entre 600 y 1800 m<sup>2</sup>/día, cifras obtenidas en base a pruebas de agotamiento y recuperación realizadas en la zona. Por último, con respecto al coeficiente de almacenamiento se indica que este valor debería encontrarse comprendido entre 3% y 10%, valor estimado empíricamente dado que no se cuenta con información específica que permita su evaluación.

Se indican además antecedentes relativos al nivel estático y a su variación en el tiempo. También, se presentan antecedentes relativos al gradiente hidráulico, el que varía entre 1% y 3% aproximadamente.

e) **"Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

En este estudio se hace una caracterización del marco hidrogeológico del valle de Azapa, para luego representar la cuenca a través de una modelación numérica.

En primer lugar se presenta un análisis de la geología y geomorfología de la cuenca. Se incluye una síntesis con las distintas formaciones rocosas que se presentan y en particular se hace mención del relleno cuaternario, dado que éste es el más susceptible de tener estratos permeables, y por lo tanto de contener agua.

Por otra parte, y con el fin de caracterizar las formaciones acuíferas existentes se elaboraron perfiles estratigráficos, tanto longitudinales como transversales. En base a esta información se pudo establecer que los acuíferos principales tienden a ubicarse entre 0 y 70 m, siendo estos acuíferos mayoritariamente libres, con un espesor típico del orden de 50 m.

Con relación a los parámetros elásticos del acuífero, se indica que existe una gran dispersión para el coeficiente de transmisibilidad, llegando a ser tan bajo como  $1 \text{ m}^2/\text{día}$  en la zona noroeste de la cuenca, o tan altos como  $5.000 \text{ m}^2/\text{día}$  en la zona entre Cabuza y Las Animas. En cuanto al coeficiente de almacenamiento, los datos disponibles indican que éste varía entre 4% y 13%, siendo su fuente de estimación principalmente empírica.

En el estudio se indica que la fuente principal de recarga de las napas subterráneas son las crecidas en el río San José producto del invierno altiplánico, las que generan con bastante rapidez subidas de los niveles freáticos, asegurando un cierto respaldo frente a la intensa explotación de recursos de aguas subterráneas. Esta infiltración se determinó como la diferencia entre las estadísticas de caudales de las estaciones fluviométricas San José en Bocatoma y Saucache.

Para el modelo de simulación del sistema de aguas subterráneas se discretizó el valle en tres sectores: bocatoma canal Azapa a Cabuza (24 km), Cabuza hasta Albarracines (10 km), y Albarracines a la costa (15 km). El primer sector, con casi nulo uso de aguas subterráneas se representó por un embalse subterráneo lineal. El segundo sector se modeló utilizando el método de elementos finitos y una malla de discretización espacial gruesa, atendiendo a la menor importancia relativa que tiene este sector frente al siguiente. El tercer sector se modeló también mediante elementos finitos, pero desarrollando una malla de discretización espacial con mayor detalle. El modelo de simulación se calibró para el período 1976-1979 y se validó para el período 1980-1983.

f) **"Operación del Modelo de Simulación de Recursos Hídricos del Valle de Azapa". DGA-MOP. F. Pérez, 1990.**

El objetivo del estudio fue establecer el comportamiento del sistema subterráneo frente a diferentes políticas de explotación y/o condiciones hidrológicas.

Se presentan los resultados y conclusiones obtenidos de la operación del sistema Azapa, representado por el modelo de simulación desarrollado por Ayala, Cabrera y Asociados (1989), al ser sometido a tres situaciones hipotéticas. Los resultados corresponden al balance al final del período de simulación (10 años) y a la evolución en el tiempo del nivel freático en dos zonas representativas de la zona baja del río San José: Albarracines y Pago de Gómez.

Los casos analizados fueron las siguientes:

Caso 1: Situación de explotación actual y oferta de recursos hídricos de acuerdo a un año hidrológico 20%. Se consideró una entrada superficial de  $1.300 \text{ l/s}$  (período húmedo) y se mantuvieron las extracciones existentes al inicio del período de simulación (1989).

Caso 2: Proyección de explotación para agua potable y año hidrológico 20%. Se adoptó la misma situación hidrológica del Caso 1, considerando un incremento paulatino durante el período de simulación de las extracciones para agua potable de Arica desde el sector Pago de Gómez. El incremento alcanzó los 140 l/s al final del período.

Caso 3: Proyección de explotación para agua potable y situación de sequía (año tipo 70%). Se consideraron las mismas extracciones desde la napa que en el Caso 2, pero enfrentado a un período hidrológico seco representado por un caudal afluente de 650 l/s.

En el estudio se indican las siguientes conclusiones:

- La situación del valle en cuanto a recursos hídricos es bastante limitada, pudiendo preverse que nuevas captaciones de aguas subterráneas ocasionarían significativos descensos, aun cuando se considere la disponibilidad de recursos correspondientes a un período de años húmedos.
- La existencia de un hipotético período de años secos (70%) tendría el efecto inmediato de deprimir la napa del sector alto hasta en 40 m en 5 años, pudiendo llegar hasta 60 m en 10 años en el sector bajo (Pago de Gómez).
- Por último y a modo de conclusión general se señaló que en el valle no habría disponibilidad de recursos suficientes como para que se siga aumentando la explotación del recurso subterráneo.

**g) "Análisis de los Recursos de Agua de la Primera Región de Tarapacá". DGA-MOP. INYGE, 1993.**

En este estudio se hace una caracterización de los recursos subterráneos de la región, considerando las cuencas de los ríos San José, Lauca y valle de Azapa.

En el valle del río San José, se presenta un análisis de las modelaciones matemáticas de los sistemas acuíferos, señalando que no son de utilidad, dado que la simplicidad del sistema permitiría efectuar balances directos de los recursos disponibles y demandas.

Para el valle de Azapa se indica que las fuentes de aguas subterráneas existentes son insuficientes en años de ciclos secos, para la cobertura de la actual y futura demanda máxima de agua potable de Arica y para satisfacer la creciente demanda de agua para riego de los últimos años.

Para el valle del río Lauca, se indica que aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, existen recursos de aguas subterráneas que fueron prospectados mediante 4 pozos en 1988. Se señala que los acuíferos productores se ubicarían probablemente en dos tramos, uno freático superficial y otro confinado profundo, que podría extenderse hasta unos 250 m de profundidad, y que probablemente los mejores acuíferos productores corresponden a los primeros 120 m desde la superficie. Se analizaron 3 lugares alternativos de captación en el río Lauca, estimándose producciones renovables de aguas subterráneas que variarían entre 191 y 683 l/s, según la superficie de la hoya de recarga.

**h) "Minuta Hidrogeológica del Parque Nacional Lauca". DR-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1994.**

Este estudio tuvo como objetivo determinar el caudal de explotación de los pozos construidos por la Dirección de Riego en la cuenca del Lauca, cuyos trabajos de perforación se terminaron en enero de 1993.

Para su cuantificación se fijó el caudal de explotación a un porcentaje del orden del 80% del caudal máximo de la prueba de bombeo de gasto variable; por otro lado se consideró asegurar la existencia de recursos

superficiales en el río Lauca y Viscachani con una probabilidad de excedencia de 85% y también no afectar los derechos de aguas subterráneas de la Sociedad Minera Villacollo de 68 l/s.

Desde el punto de vista ambiental se indica que todos los bofedales y vegas que se alimentan de vertientes, por encontrarse separados de puntos donde se han localizado los pozos, no reducirán su flujo y por tanto no verán mermado su abastecimiento de agua, con la excepción de un pozo que se ubica aproximadamente 500 m aguas arriba de un afloramiento de aguas termales de importancia.

i) **"El Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA, 1995.**

Se presentan los antecedentes hidrogeológicos básicos y se hace evaluación de los recursos subterráneos disponibles.

Se hace una revisión del catastro de pozos y norias existentes en el valle, señalándose que existen 166 pozos profundos, 205 norias y 14 vertientes. De esta lista, 14 pozos y 83 norias están fuera de uso o abandonos.

La caracterización hidrogeológica del sistema acuífero se presenta por áreas, identificando los sectores de Cabuza, San Miguel, Pago de Gómez, Saucache y la ciudad de Arica. Se presentan además valores de transmisibilidades para estos sectores y se cuantifica el volumen de agua almacenada en el acuífero.

De la misma forma para el valle del río Lluta se da cuenta de la existencia de 7 sondajes profundos, 10 norias y 2 vertientes. Además se cuenta con 4 sondajes construidos por la JICA para el estudio en cuestión.

Al igual que en el caso del valle de Azapa, la caracterización hidrogeológica se presenta por áreas a saber: Chacalruco, Sascapa, Chuilona y Villa Frontera.

j) **"Análisis de Isótopos Estables en Parque Nacional Lauca y Precordillera Relacionado con los Orígenes de las Aguas Subterráneas". DR-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1995.**

En este estudio se efectuó un análisis de aguas superficiales y subterráneas en distintos sectores, del Parque Nacional Lauca de la precordillera con el fin de determinar el origen y procedencia de las aguas muestreadas.

Se indica en el informe que el muestreo de isótopos estables realizado en el sector denominado Parque Nacional Lauca permitió obtener las siguientes conclusiones respecto del origen de las aguas.

- Las aguas superficiales muestreadas en la cuenca del río Lauca, indican que se trata de aguas evaporadas, siendo esta conclusión coincidente con otros estudios efectuados en la zona.
- Los resultados isotópicos correspondientes al río Chungará y aguas subterráneas de los pozos del Lauca, señalan que las lluvias que precipitan en forma de agua o nieve en las altas cumbres ubicadas entre ambos sectores, escurren parcialmente hacia el lado este de las cumbres, generan los recursos superficiales del río Chungará. Aquellos que escurren hacia el lado oeste se infiltran recargando la napa del acuífero asociado al río Lauca. Dichas lluvias son generadas mayoritariamente por masas de aire que penetran al altiplano andino del Atlántico vía cuenca del Amazonas (lluvias de verano).
- Las aguas de la laguna Cotacotani se ubican en la recta de aguas evaporadas, y el afluente de vertiente Patapatani, presenta un contenido isotópico muy similar a las aguas subterráneas, confirmando el origen común de éstas.

- Los procesos evaporativos no jugarían un papel importante en los procesos de recarga de las aguas de las vertientes de la precordillera. El origen de ellas serían recargas locales provenientes de las precipitaciones
- Como parte del estudio, se efectuó un balance másico y de concentraciones en el tramo del río Lauca entre aguas arriba de los pozos y antes de la confluencia con el río Vizcachani.

Los resultados señalaron que aproximadamente un 80% de los recursos superficiales del río Lauca en el tramo estudiado los aportaría la napa subterránea a través de afloramientos.

**k) "Diagnóstico Sobre la Potencialidad de Los Pozos de Agua Subterránea de la Dirección de Riego Ubicados en la Cuenca del Río Lauca". DR-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1996.**

El objetivo de este estudio fue determinar la potencialidad de los pozos construidos por la Dirección de Riego en la cuenca del río Lauca.

Para realizar el análisis de la capacidad de los pozos se compararon los resultados obtenidos durante la construcción de los pozos, y los resultados de otras pruebas realizadas a principios del año 1996.

Del análisis efectuado se concluye que la disminución en la producción de uno de los pozos se debió a una mala habilitación, mala elección del filtro granular y/o mala elección de las cribas.

Se señala que existirían algunas dudas respecto a la persistencia en el tiempo de los caudales recomendados, razón por la cual al colocar en operación los pozos de la Dirección de Riego, los caudales podrían tender a disminuir.

Se indica en el informe que en relación a las posibles interferencias que se pudieran producir entre pares de pozos cercanos, éstas debieran ser mínimas, producto de las distancias que los separan. Dichas distancias varían entre 338 y 483 m y los radios de influencia típicos varían entre 200 y 250 m.

**l) "Estudio Aguas Subterráneas Sector Río Lauca, Arica, I Región. ESSAT-AC (1996).**

En este estudio se desarrolló un modelo de simulación computacional del sistema hídrico subterráneo en las cuencas de los ríos Lauca y Vizcachani aguas arriba del sector Misitune. Ello permitió analizar distintos escenarios de explotación, los que consideran tanto los pozos existentes construidos por la Dirección de Obras Hidráulicas (ex Dirección de Riego) como la incorporación de nuevos pozos.

Los resultados obtenidos permitieron obtener una visión general del comportamiento del sistema acuífero en la zona modelada, formulándose recomendaciones para un aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos. En particular permitieron recomendar como magnitud segura de explotación total del sistema acuífero a un caudal total continuo de 550 l/s.

**m) "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

Este estudio se efectuó con el objetivo de presentar el marco hidrogeológico correspondiente al valle de Azapa para su posterior modelación numérica.

Se presenta una completa síntesis de los antecedentes contenidos en estudios anteriores, como el "Modelo de Simulación del Valle de Azapa", "Estudio de los Recursos Hídricos en la Parte Norte de Chile" y "Monitoreo Valle de Azapa", estudios descritos anteriormente. La información básica fue complementada con

trabajos de terreno efectuados específicamente para este estudio, los que consistieron fundamentalmente en la actualización del catastro de norias y sondajes existente.

- n) **"Estudio Aguas Subterráneas Sector Costero Arica, I<sup>a</sup> Región". ESSAT S.A. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1997.**

En este estudio se presenta un análisis de las características hidrogeológicas del acuífero costero de Arica, e incluye tanto la zona desembocadura del río San José como del Lluta.

En el estudio se incluyen todos los antecedentes hidrológicos necesarios para realizar la modelación hidrogeológica del acuífero costero. Esta modelación se realizó mediante la aplicación del modelo Visual Modflow, con el objetivo de determinar la tasa de explotación óptima susceptible de obtenerse desde el acuífero.

### **2.2.3 Interacciones Sistemas de Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos**

- a) **"Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa" DR-MOP. R. Edwards y J. Karzulovic, 1981.**

Como parte de este estudio se obtuvo una relación que permite ligar el caudal entrante al canal Azapa con el nivel de pérdidas hacia el acuífero subterráneo, pudiendo de esta forma evaluar el caudal disponible para riego.

Se plantea que dado que no existen antecedentes para determinar esta relación, se usan fórmulas empíricas recomendadas por la FAO, el CIDIAT y el Bureau of Reclamation. Con esos antecedentes se estableció una tasa de infiltración y a partir de ello se determinó una relación gráfica entre el caudal y las pérdidas.

Por otra parte, se indica que para un año normal la infiltración promedio sería de 860 l/s, considerando en este caso que infiltra entre un 20 y 25% del agua utilizada para riego.

Se establece que para años lluviosos esta recarga ascendería a 1.000 l/s ya que toda el agua en exceso tendería a aflorar a través de las vertientes.

- b) **"Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

A través de este estudio se analizan los mecanismos mediante los cuales el recurso superficial accede al acuífero.

En el informe se establece que las recargas producidas en los diferentes sectores del valle por efecto de la infiltración durante crecidas del río San José, constituye la fuente de alimentación de mayor importancia en la modelación que se efectuó. Para determinar dicho efecto, se examinaron inicialmente las variaciones experimentadas por los niveles estáticos en diferentes puntos del valle, para períodos coincidentes con las mayores crecidas del río.

Además, se cuantificó la recarga a las napas, relacionando los caudales de aforos aislados efectuados simultáneamente en la estación Río San José antes Bocatoma Azapa y Río San José en Puente Saucache. A través de ello se obtuvo el caudal que llegaría al puente Saucache, incluyendo esta cifra los caudales de extracción del canal Azapa y las pérdidas del río. Al descontar al caudal del río antes de la bocatoma el caudal en Saucache y la extracción del canal Azapa, se obtuvieron las pérdidas del río.

Como criterio de distribución de las recargas desde el río, entre la bocatoma del canal Azapa y la desembocadura en el mar, se utilizó la longitud del río en cada tramo. De este modo, se estimó que dichas recargas se distribuyen en un 58% en el tramo Bocatoma-Cabuza, en el 17% tramo Cabuza-Albarracines y en un 25% en el tramo Albarracines-Saucache.

Por otra parte, en base al modelo de simulación del sistema subterráneo, se definieron los caudales de recarga desde el río, de los canales en las zonas de riego y desde la red de agua potable, llegándose a una recarga promedio de 910 l/s para el período de análisis.

**c) "Diagnóstico de Pérdidas en Canales de Riego Lauca-Azapa. Iª Región". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1991.**

En este estudio se analiza la relación existente entre el nivel de pérdidas en el canal Azapa y el caudal entrante al sistema.

Se señala que de acuerdo a los resultados obtenidos a través de una campaña de aforos realizada durante el estudio, las pérdidas de agua que se producen en el sistema se concentran en un importante porcentaje en el valle del río San José, entre el sector Paradero y la bocatoma del canal Azapa. Dichas pérdidas serían de aproximadamente 20% del caudal entrante por bocatoma Lauca.

A través de un análisis empírico, se determinó una curva de pérdidas en función del caudal entrante al tramo. Se indica que este resultado es importante desde el punto de vista de las aguas subterráneas, puesto que estas pérdidas se traducen, en una gran proporción, en una recarga del sistema acuífero del valle de Azapa, y además en una posible variación de la calidad de las aguas del embalse subterráneo.

**d) "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

En este estudio se efectuó el cálculo de los aportes por percolación desde los canales de riego y desde los sectores de riego.

Para la determinación de las pérdidas de aguas de la red de canales del sistema de riego de Azapa se empleó los resultados obtenidos en el estudio realizado por AC Ingenieros Consultores en 1989, complementados con una campaña de terreno. Con ello se logró determinar el porcentaje de pérdida acumulada con respecto al caudal en bocatoma del canal matriz y el porcentaje de pérdida con respecto al caudal en bocatoma de los canales derivados.

Por otra parte, para la determinación de la percolación a la napa que se produce en cada sector de riego, se efectuó un análisis a partir de las demandas de los cultivos en el Valle de Azapa y del funcionamiento de los sistemas de riego. En este análisis se incluyó los antecedentes de las organizaciones de regantes del valle y las acciones de derechos de aprovechamiento. El resultado consistió en la determinación del porcentaje del agua recibida por cada sector que percola hacia la napa.

## 2.3 CALIDAD DE AGUAS

En este acápite se consigna la información relativa a estudios de calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, efectuados en la zona estudiada. Los antecedentes recopilados se refieren a estudios de calidad química del agua en lagos, ríos y acuíferos, así como el análisis crítico de la red de medición de calidad de aguas superficiales. También, se consignan los estudios de modelación y de recopilación y sistematización de estadísticas para el BNA.

### 2.3.1 Aguas Superficiales

a) **"Estudio del Valle del Río Lluta". DR-MOP. Hans Niemeyer, 1968.**

En este estudio se presenta una compilación de antecedentes relativos a la calidad de las aguas superficiales del río Lluta, entre los años 1957 y 1968.

A partir de los análisis químicos disponibles se presenta una caracterización de la calidad de los ríos Azufre, Caracarani, Lluta y Colpitas y las quebradas Allane, Putre y Socoroma.

b) **"Compilación y Evaluación de los Antecedentes del Valle del Río Lluta". DGA-MOP. INDERCO Ltda., 1980.**

El objetivo de este estudio era realizar una compilación de todos los antecedentes relativos al río Lluta existentes a la fecha de la realización del estudio. Dentro de los antecedentes recopilados se cuentan los antecedentes de calidad de aguas para el período 1956 a 1980.

A continuación se presenta una síntesis de la variación de las características del río Lluta antes y después del desvío del río Azufre.

- El contenido total de sales disminuyó entre el año 1956 al año 1980, en un 32% para el sector alto, 23% para el sector medio y 7% para el sector bajo, lo que estaría indicando por un lado que el efecto de desviar el río Azufre tiene poca incidencia en el sector bajo y por otro que el aporte de sales por drenaje es tan marcado que no hace bajar mucho el promedio.
- La acidez del río Lluta antes y después del desvío del río Azufre es fuertemente ácida y moderadamente alcalina, respectivamente en los sectores altos, medio y bajo de la parte agrícola del valle.
- El contenido de boro disminuyó entre el año 1956 y el año 1980, en 20% para el sector alto, en 38% para el sector medio y 31% para el sector bajo.
- El contenido de bicarbonatos aumentó entre el año 1956 y el año 1980, en 42% para el sector bajo.
- El contenido de sulfatos disminuyó en el mismo período en 57% para el sector alto en 41% para el sector medio y 24% para el sector bajo.
- El contenido de cloruros también disminuyó entre 1956 y 1980, en 30% para el sector alto, 10% para el sector medio y aumentó en 11% para el sector bajo.

c) **"Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional. Red de Calidad de Aguas. Iª y IIª Región". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1984.**

El objetivo de este informe fue efectuar un análisis crítico de la red de medición de calidad de aguas para las Regiones Iª y IIª, y proponer una red de estaciones de muestreo para las distintas hoyas hidrográficas identificadas en estas regiones. Entre ellas se encuentran las hoyas de los ríos San José, Lauca y Lluta.

A la fecha del informe, en la cuenca del río San José existían 12 estaciones regulares (con mediciones periódicas) y 20 estaciones ocasionales (con mediciones no periódicas). De la información analizada se concluye que salvo algunas excepciones, la calidad del agua de esta hoya sería apta para el uso en riego y como fuente de agua potable. No se indica la información bacteriológica ya que se señala que no se dispone de este tipo de información. En lo que respecta a la red primaria de calidad de las aguas se propone controlar la estación Río

San José antes Bocatoma, por cuanto ello permitiría conocer la calidad de las aguas superficiales que riegan al Valle de Azapa. Se menciona además la importancia de monitorear la salinidad de estas aguas, por su posible efecto en la calidad de las aguas subterráneas.

Con respecto a la hoya del río Lauca, se indica que la Dirección General de Aguas contaba con antecedentes de calidad de 15 estaciones regulares y 25 estaciones ocasionales. A partir del análisis crítico de dichos antecedentes se concluye que la calidad del agua de esta hoya resultaría apta para riego, y no serviría como fuente de agua potable, debido al contenido de arsénico y boro presente en algunas zonas. No se entregan antecedentes sobre la calidad bacteriológica de las aguas. En lo relativo a la red primaria de medición, se asigna primera prioridad al control de la estación Canal Lauca en Km 3,3, y segunda prioridad al control de las estaciones Río Guallatire en Desembocadura y Río Lauca después de Quiburcanca.

Por último con relación a la hoya del río Lluta, se indica que la DGA disponía de antecedentes de calidad de 27 estaciones regulares y 28 ocasionales. En lo relativo al análisis crítico de los antecedentes, se indica que la calidad del agua en toda la cuenca no sería apta para agua potable ni riego, como tampoco de tipo recreacional debido a su alta salinidad y contenido de boro. En lo que respecta a la red primaria se proponen para la cuenca 3 estaciones base: Río Caracarani antes Río Colpitas, Río Colpitas en Alcérreca y Río Lluta en Tocontasi, y una estación de impacto, Río Lluta en Panamericana.

**d) "Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional. Red de Sedimentos. I<sup>a</sup> y II<sup>a</sup> Región". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1984.**

En este estudio se analiza y propone una red de estaciones de medición de sedimentos en suspensión, en las Regiones I<sup>a</sup> y II<sup>a</sup>, de manera de contar con información de concentraciones y gastos sólidos del sedimento en suspensión transportado por cursos naturales, a un costo razonable de inversión, operación y mantención.

Para esto se recopilaron y analizaron la mayoría de los estudios existentes relacionados y se visitaron las cuencas y las estaciones fluviométricas, formulando a partir de ello recomendaciones específicas para establecer la red sedimentométrica y sus programas de muestreo.

Para la cuenca del río San José, se propone instalar la estación Río San José antes Bocatoma (destruida por las crecidas ocurridas a principios de 1984) para controlar los sedimentos provenientes de las zonas alta y media de la cuenca. Esta estación sería de tipo temporal, ya que sólo se requerirían muestreos durante crecidas.

En la cuenca del río Lluta, se propone la instalación de 2 estaciones, Río Lluta en Tocontasi y Río Lluta en Alcérreca, siendo la primera de tipo permanente y la segunda temporal. Se indica que la importancia de la primera estación, radica en la necesidad de controlar al río Lluta, por presentar un drenaje permanente al océano.

**e) "Condiciones Físicas y Químicas de las Aguas del Lago Chungará y Laguna Cotacotani". Universidad de Tarapacá, 1985.**

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad química de las aguas del lago Chungará y la laguna Cotacotani en relación a las variaciones tanto en profundidad como de carácter estacional a fin de analizar su posible utilización como agua de riego y potable. Para ello durante el estudio se realizaron muestreos sistemáticos en el lago Chungará y en la laguna Cotacotani.

Del análisis de los muestreos, en el estudio se concluye que de acuerdo a los parámetros estudiados, el agua del lago Chungará no reúne los requisitos para su uso como agua de riego y potable, mientras que las aguas de Cotacotani y canal Lauca serían aptas para ambos tipos de usos. Sin embargo, al considerar las

aguas del lago Chungará en conjunto con las de la laguna Cotacotani, que finalmente llegan al canal Azapa, resultan aptas para ser usadas en riego.

f) **"Seguimiento de la Calidad Química de las Aguas del Sistema Chungará-Lauca-Azapa". Depto. de Explotación. DR-MOP, 1985.**

Como parte de las investigaciones recomendadas para analizar la posibilidad de extraer aguas del sector altiplánico (concretamente del lago Chungará) para aumentar los recursos disponibles en el valle de Azapa, se inició en septiembre de 1980 un programa de corridas de muestreos.

En este informe se presentan los resultados de los análisis químicos de aguas obtenidos durante el programa de muestreos, el que se prolongó hasta agosto de 1984. Se incluye un análisis del efecto que produce cada uno de los aportes de recursos al sistema. Se indica que la Dirección de Riego continuaría con el seguimiento y control de la red de muestreo hasta el año 1990.

g) **"Proyecto Drenaje Valle Río Lluta. Iª Parte". DR-MOP. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., 1989.**

El objetivo de este estudio fue determinar la existencia de alguna relación entre las aguas del río Lluta y las del acuífero superficial. Para establecer esa relación se realizaron 9 medidas de conductividad eléctrica en el río, concluyéndose preliminarmente la existencia de algún grado de conexión entre ambas fuentes, dado que las conductividades de ambas aguas resultaron similares.

h) **"Contaminación de Aguas Naturales. Inventario de Contaminación. Iª a Vª Región". DGA-MOP. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., 1989.**

El objetivo de este estudio fue diseñar e implementar una base de datos, que permitiera manejar la información existente en relación a calidad de aguas. Para esto se diseñaron plantillas para la toma de información y se realizó la recopilación respectiva.

Con base a los antecedentes recabados se presenta una evaluación preliminar del problema de contaminación en cada una de las cuencas de la Iª Región. A partir de ello se hace un diagnóstico de la situación actual en relación a la contaminación de las aguas naturales, así como también de las diferentes fuentes de contaminación. En este diagnóstico también se considera una situación futura.

Las principales conclusiones del estudio relativas a las cuencas de los ríos San José, Lluta y Lauca son las siguientes:

i) Río San José

- La contaminación del río a través de los derrames de riego es de carácter químico y se debe al arrastre de productos utilizados en la agricultura (herbicidas, pesticidas, abonos, etc.).
- La descarga de residuos mineros de la planta procesadora de metales PROMEL Arica se realiza a una laguna natural y no influye en las aguas del río.
- La superficie de riego sólo puede estar afectada por los derrames de riego en los sectores ubicados hacia aguas arriba, lo que no causa problemas de importancia por ser productos similares y por estar muy diluidos en el agua utilizada.
- El nivel de contaminación, tanto actual como futuro, se considera nulo a escaso.

ii) Río Lluta

- En esta cuenca se encuentran 2 posibles fuentes de contaminación de las aguas. El área regada del valle y la planta Pukará de PROMEL.
- El área regada del valle, con 4.300 ha bajo canal, las cuales son utilizadas según las disponibilidades de agua, descarga a través de los derrames de riego, productos químicos provenientes de pesticidas, fertilizantes, herbicidas y otros elementos utilizados en la agricultura.
- La planta de procesamiento de metales, PROMEL - Planta Pukará, ubicada en el sector alto de la cuenca y con una capacidad instalada de 1.800 ton/día, a través del proceso de cianuración debería influir en la calidad de las aguas. Se indica que no se tienen antecedentes de que esto ocurra ni de los procesos que eviten contaminación en los lugares de descarga. También se agrega que esta planta podría producir, en un caso fortuito, contaminación de carácter químico en las aguas, lo que se podría ocasionar por algún problema en sus procesos de relaves.
- El único posible afectado por las fuentes contaminantes sería el área de riego del valle, sin embargo las mayores restricciones al uso responderían a los problemas de contaminación natural más que a problemas ocasionados por las fuentes antes nombradas.
- Las conclusiones indicadas toman en cuenta que los caudales medios del río Lluta varían en torno a 2 m<sup>3</sup>/s con una variación estacional importante, obteniéndose los caudales máximos en verano, como consecuencia del invierno Boliviano.
- El nivel de contaminación, tanto actual como futuro, se considera nulo a escaso, considerándose en este último caso que el tipo de contaminación es de origen químico.

iii) Río Lauca (Cuencas Altiplánicas)

- En las cuencas altiplánicas de la primera región no existen actividades humanas que puedan ser consideradas fuentes de contaminación para los recursos hídricos existentes. Sólo existen pequeños poblados cuya principal actividad es la ganadería y agricultura, los que no producen contaminación de gran cuantía que pueda afectar el recurso.
- A partir de los parámetros representativos de los puntos de medición de calidad, se detectó la existencia de algunos elementos naturales que contaminan las aguas, por ejemplo, arsénico y boro, los que se han incorporado a las aguas a través de procesos naturales, por lo que no se consideran como fuentes de contaminación.
- El nivel de contaminación, tanto actual como futuro, se considera nulo a escaso.

i) **"Análisis de los Recursos de Agua de la I<sup>a</sup> Región de Tarapacá". DGA-MOP. INYGE, 1991.**

El objetivo de este estudio fue presentar un análisis de la calidad de aguas de los recursos superficiales de la región.

De acuerdo a lo indicado en este informe, hay un gradual y sostenido deterioro de la calidad química de las aguas del sistema de agua potable de Arica, asociado principalmente a la contaminación producida por el agua de riego de los cultivos del valle de Azapa, situados aguas arriba de los recintos de captación del agua potable. De esta manera, el deterioro de la calidad química será mayor cuanto más aguas abajo en el valle se ubique la captación.

j) **"Actualización de la Estadística Fluviométrica - Calidad de Aguas y Sedimentos". DGA-MOP. IPLA Ltda., 1991.**

El objetivo de este estudio fue sistematizar, ordenar y corregir la información de calidad de aguas y sedimentos disponibles en el Laboratorio Ambiental de la DGA, con el fin de incorporarlo al BNA.

En una primera fase se desarrollaron labores de cartografía y de apoyo al procesamiento de las estadísticas de calidad química y sedimentos. Posteriormente se llevaron a cabo todos los procesos computacionales, que construyeron en la digitación y verificación de datos, la validación de la información ingresada y finalmente la revisión y corrección de datos. La presentación de resultados se hace mediante listados de archivos computacionales con los datos ingresados y validados. Estos listados incluyen los análisis de calidad de agua tanto de las estaciones de cursos superficiales como de aguas subterráneas (pozos y vertientes).

En el informe se incluyen, además, listados completos de estaciones de calidad de aguas consideradas, con sus características principales.

k) **"Estudio del Origen y Proceso de Salinización de las Aguas del Río San José". DR-MOP. Depto. Estudios, 1991.**

Los objetivos con los que se desarrolló esta estudio fueron los siguientes:

- Analizar el origen, movimiento y proceso de salinización de las aguas subterráneas en el valle de Azapa.
- Analizar el impacto de las aguas provenientes del río Lauca a través del canal Lauca-Azapa en las aguas subterráneas originales del acuífero.
- Investigar la posible contaminación de las aguas del acuífero producto de la intrusión marina, en la zona terminal de la cuenca.

Con el fin de conseguir los objetivos anteriormente expuestos se desarrollaron en primer lugar los estudios básicos, tales como, análisis de la geología e hidrogeología de la cuenca, clima, e hidrología superficial. Además, se analizó la infraestructura de aprovechamiento de las aguas, a través de la caracterización del sistema de riego y la explotación para agua potable e industrial, y además se realizaron 3 campañas de muestreo, tanto de tipo hidroquímico como de tipo isotópico.

En base a los antecedentes obtenidos pudieron obtenerse las siguientes conclusiones:

- Se pudo comprobar el desarrollo de un proceso de mezcla de aguas de diversos orígenes a lo largo del acuífero del valle. Este proceso se manifiesta con mayor intensidad en los sectores más altos y débilmente hacia la desembocadura. Este comportamiento se ve favorecido por la gran dinámica del acuífero y la velocidad de renovación de sus aguas.
- Las investigación histórica de los registros de calidad de agua confirmaron un significativo deterioro de las aguas del valle en los últimos 30 años, sin embargo no se detectó una relación directa entre las aguas altiplánicas importadas a la cuenca y el incremento de sales.
- Se estima que el proceso de salinización se relaciona por una parte a la expansión del área agrícola la cual va unida a un uso más intensivo de los recursos hídricos, junto a procesos locales que producen un aumento de las concentraciones, tales como reuso del agua, lavados de suelos salinos en áreas de nuevo riego, introducción de nuevas prácticas agrícolas y otros.

**l) "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta". DR-MOP. INGENDESA, 1993.**

El objetivo del estudio consistió en analizar la variación de la calidad química del río Lluta, frente a posibles cambios que pudieran experimentar sus afluentes. Para ello se desarrolló un modelo simple de balance másico entre el río Lluta y sus afluentes. Para calibrar este modelo se utilizaron los antecedentes de calidad de aguas disponibles en el BNA, además de 2 corridas de muestreos efectuados para este estudio.

Una vez calibrado el modelo se procedió a su aplicación, variando los caudales y concentraciones de los afluentes. Entre las alternativas estudiadas se analiza el desvío del río Azufre, el desvío del río Caquena o la construcción de un embalse en la angostura de Chironta. Como resultado de estas diferentes políticas de operación se determinaron las posibles variaciones de la calidad de las aguas del río Lluta.

Se concluye en el estudio que la calidad del agua del río Lluta tiene su mayor grado de mejora con la desviación total de río Azufre. En cambio, la desviación del río Caquena no es tan relevante, a menos que no se considere mezclarlo con las aguas del Lluta, en cuyo caso se dispondría de las aguas del Caquena sin modificación.

**m) "Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres, Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I, Primera Región". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1994.**

Este estudio se realizó con el objeto de ordenar y procesar la información de calidad de aguas disponibles en el Banco Nacional de Aguas y Laboratorio Ambiental, en el período 1980-1993, ello debido a que la red de calidad de agua que actualmente opera la DGA, no permite una adecuada detección y vigilancia de los problemas de contaminación existentes.

Se presenta una recopilación de los antecedentes de calidad de aguas disponibles en el Banco Nacional de Aguas (BNA) y Laboratorio Ambiental de la DGA. Se determina el número de muestreos, la cantidad de datos por parámetro para las estaciones, sean estas permanentes, eventuales u ocasionales. De igual modo se presenta la duración de las estadísticas, la cantidad de muestreos por año y la fecha de instalación de las estaciones.

A partir del análisis de la información se presentan valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar para cada uno de los parámetros en que se cuenta con al menos 5 muestreos. Se presenta gráficamente parte de la información recopilada, la que corresponde a: pH, Conductividad; los cationes calcio, magnesio y sodio; los aniones bicarbonato, sulfatos y cloruros; y los microelementos boro, arsénico, cobre, fierro y nitratos. Para los aniones y cationes se usó como representación un diagrama de Stiff modificado; para los microelementos se consideró una representación de diagrama de barras, normalizando los valores con respecto al valor máximo permitido por la norma de agua para riego, para los 4 primeros elementos, y por la norma de agua potable, para los nitratos.

Entre las conclusiones del estudio se indica que el río Lluta presenta problemas de calidad desde su nacimiento, en la unión del río Caracarani y la quebrada Colpitas, especialmente en términos de su alto contenido de boro y salinidad.

El río Caracarani en Alcérreca, en la parte superior de la cuenca del río Lluta, presenta una relativamente baja conductividad, inferior a 1.500  $\mu\text{mhos/cm}$ , un pH relativamente bajo, de 6,6 y altos contenidos de boro, arsénico y cobre. El contenido macroiónico es alto, con predominio de cloruro de sodio.

Se señala que las aguas de la quebrada Colpitas presentan una conductividad moderadamente alta, con pH levemente básico, de 7,6 y contenidos muy altos de boro y altos de arsénico, y un mucho mayor contenido macroiónico que el río Caracarani, también con predominio de cloruro de sodio.

A la altura de la Carretera Panamericana se indica que el río Lluta presenta una elevada conductividad, con valores entre 3.000 y 7.000  $\mu\text{mhos/cm}$ , y un pH levemente alcalino. El contenido de boro es muy alto y el de arsénico es levemente alto. El contenido macroiónico del río en este punto es superior al observado en la quebrada Colpitas, en términos de sulfatos y bicarbonatos, y similar en términos de cloruros.

En lo que respecta al río Lauca, se indica en el estudio que sus aguas presentan una baja conductividad, excepto a la altura del Vertedero, donde es levemente alta. Desde la laguna Cotacotani hacia la frontera con Bolivia el pH decrece desde 8,2 a 7,6, explicándose el valor alto inicial por la productividad existente en la laguna. El boro se presenta alto a lo largo de todo el río, en tanto el arsénico sólo presenta altas concentraciones en forma ocasional. El contenido macroiónico no presenta una variación regular a lo largo del río, manteniéndose en niveles normales.

En la parte alta de la cuenca existen las vertientes Mal Paso y Ajata, con valores muy bajos de conductividad y contenido iónico, pH neutro y contenidos levemente altos de boro. El río Chungará presenta características similares a las vertientes, en cambio el lago Chungará presenta una mayor conductividad y contenido iónico. En todos los casos el boro permanece en valores levemente altos.

n) **"El Estudio Sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional del Japón-JICA, 1995.**

El objetivo de este estudio fue analizar la calidad de las aguas superficiales para su posterior uso. En el estudio se concluye que en general, la calidad del agua superficial del valle de Azapa es buena, y que sólo son sobrepasados en un grado menor los límites permisibles de los parámetros boro (B), arsénico (As) y fierro (Fe), siendo las mayores diferencias para el Fe.

ñ) **"Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta. Drenaje". DR-MOP. INGENDESA, 1995.**

En este estudio se presenta una síntesis de los antecedentes de calidad de aguas superficiales del valle del río Lluta. El análisis se basó fundamentalmente en los antecedentes desarrollados para la primera etapa de este estudio.

Los antecedentes se presentan con el fin de caracterizar el tipo de interrelación existente entre el agua del río y el agua del acuífero superficial. Con este fin, conjuntamente con un muestreo de las aguas del acuífero se muestrearon las aguas del río, encontrándose grandes diferencias en cuanto a pH, ya que en la zona de la cuenca el río se presenta más bien básico, en contraposición al carácter más ácido de las aguas del acuífero. En cuanto a conductividad las aguas no son muy diferentes entre sí.

o) **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

En este estudio se recopiló la información de calidad de aguas existente para las cuencas de los ríos San José y Lauca, tanto de tipo superficial como subterránea, con el fin de realizar una adecuada caracterización de la zona, y a la vez desarrollar un modelo de simulación de calidad de aguas de la cuenca del río San José.

Con este fin se realizaron además muestreos específicos en diversos puntos definidos en el área.

La caracterización en cuestión se realizó en base a perfiles de variación de los elementos con la distancia, definida en los ejes río Lauca río San José, en lo que se refiere al trasvase de aguas desde la cuenca del río Lauca, y en el río Lauca propiamente tal para el caso del río Lauca. Estos perfiles se realizaron tanto para los recursos superficiales como subterráneos.

### 2.3.2 Aguas Subterráneas

- a) **"Convenio de Estudios Hidrológicos. Quebradas de La Concordia y Escritos". Néstor Vera y Roberto Castillo, 1982.**

En este estudio se presentan algunos antecedentes sobre la calidad química de las aguas alumbradas en algunos de los pozos existentes. En los análisis se incluye la determinación pH, conductividad eléctrica, arsénico, boro, litio, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sólidos disueltos y totales.

Se dispone de 5 análisis para el total de 16 pozos que existen en el área.

- b) **"Contaminación de Aguas Naturales. Inventario de Contaminación. I<sup>a</sup> a V<sup>a</sup> Región. DGA-MOP". Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., 1989.**

Como se señaló en el punto anterior el objetivo de este estudio fue diseñar e implementar una base de datos, que permitiera manejar la información existente en relación a la calidad de las aguas. Para esto se diseñaron plantillas para la toma de información y se realizó la recopilación respectiva.

En lo que respecta a la contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca del río San José, se señala que las captaciones de agua potable, que sólo utiliza agua subterránea, no presentan problemas de contaminación de sus aguas según lo expuesto por SENDOS a través de los antecedentes entregados hasta esa fecha (1989).

- c) **"Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

En este estudio se presenta la información de calidad de aguas existentes y con base a ello se caracteriza el acuífero del valle de Azapa. Se incluye un análisis crítico de la información existente de la calidad del agua subterránea, para cada uno de los 7 sectores en que se dividió la cuenca: costero, Saucache, Pago de Gómez-Las Animas, San Miguel, Las Riveras, Chugal-Cabuza y zona alta del valle. En el análisis se consideró como referencia las normas chilenas de calidad tanto para uso potable como para riego.

Se presenta además un análisis del fenómeno de la intrusión marina en la zona costera del acuífero, tanto en forma espacial como temporal. Se indica que el análisis se realizó debido a que en las captaciones de la costa se ha elevado el nivel de cloruros producto del intensivo bombeo en la parte baja de la cuenca.

Con el fin de cuantificar el problema futuro de aumento de la intrusión salina, se determinó una relación de tipo global que liga la calidad del agua con el gradiente hidráulico de inversión. La calidad del agua quedó definida en función del cociente entre cloruro (Cl) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), de manera tal que conocido el gradiente de inversión, a través de la aplicación del modelo, se puede predecir el nivel de contaminación esperado.

- d) **"Análisis de los Recursos de Agua de la I<sup>a</sup> Región de Tarapacá". DGA-MOP. INYGE, 1993.**

En este estudio se hace un análisis de la calidad de aguas de los recursos subterráneos de la región con el objeto de conocer sus características y limitaciones para los diferentes usos que se les puede dar.

Se señala en este informe que las aguas subterráneas de la zona inferior del valle de Azapa, tienen un alto riesgo de sufrir intrusión salina cuando los niveles estáticos del valle se deprimen fuertemente durante ciclos secos, conclusión basada en los antecedentes recopilados y generados específicamente para este estudio.

e) **"Monitoreo Cuenca Valle de Azapa-Arica". ESSAT S.A. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1995.**

Este estudio se desarrolló con el objeto de cuantificar los efectos sobre el acuífero por la explotación de agua subterránea en el valle de Azapa, en consideración de que actualmente la excesiva explotación de los recursos subterráneos en la cuenca del río San José han venido originando descensos sostenidos de la napa freática, lo que sumado al problema de la intrusión salina, podría provocar la inhabilitación de una parte importante de los sondajes del sector Costero. De acuerdo a ello, se desarrolló un programa de monitoreo de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas. Este programa fue puesto en marcha a partir del mes de noviembre de 1993 y finalizó en octubre de 1995, completando 24 meses de información. La zona definida para el estudio comprende desde la desembocadura del río San José en Arica, hasta el sector de Cabuza.

El programa de monitoreo consideró una red formada por 118 puntos de control, de los cuales 47 corresponden a norias, 67 a sondajes y 4 a vertientes o afloramientos. En cada uno de estos puntos se midió mensualmente el nivel estático o dinámico, caudales de extracción de los sondajes, norias y vertientes, y trimestralmente la conductividad y contenido de cloruros.

Se realizó un análisis de las recargas al acuífero del valle de Azapa para lo cual se empleó la metodología desarrollada por el Consultor en el estudio "Modelación Valle de Azapa" (1989). De igual modo, se realizó una descripción y caracterización de las vertientes del valle de Azapa (afloramientos que tienen lugar en las cercanías del río) el que incluyó un análisis de los caudales históricos para el período comprendido entre los años 1964 y 1986. De acuerdo a estos antecedentes en el estudio se señala que dada la variabilidad de los caudales de las vertientes, no se puede sustentar un área regada importante con una seguridad adecuada.

En base a los 2 años de monitoreo, se observó un descenso paulatino de los caudales en las fuentes mencionadas, llegando a secarse completamente las vertientes.

En lo que respecta a los niveles de aguas subterráneas, en el estudio se incluyó un resumen con las mediciones de niveles estáticos o dinámicos de pozos y norias respectivamente, para los meses que constituyen la totalidad del período. Con base a estos antecedentes se confeccionaron planos bimensuales de las curvas isofreáticas del acuífero del valle de Azapa. Se incluyen 3 planos en escala 1:20.000. En el primero de ellos, se resume la información de caudales de explotación, cotas de nivel dinámico o estático, y conductividad del mes de Abril de 1995. En el segundo plano se incluye la sectorización del valle de Azapa y las curvas isofreáticas cada 20 m de octubre de 1995 (último mes de monitoreo). Finalmente, en el plano 3 se presentan las curvas isofreáticas cada 100 m de los meses de diciembre de 1993, octubre 1994 y 1995 (meses 2, 12 y 24 del programa de monitoreo).

En relación a la calidad de las aguas subterráneas se midió a nivel mensual, la conductividad eléctrica en todos los puntos de la red de monitoreo, y el contenido de cloruros (mediciones trimestrales a partir de noviembre de 1993). Específicamente respecto a la calidad de las aguas del río San José, se realizaron muestreos de las aguas del río, durante el desarrollo de tres crecidas, determinándose la conductividad eléctrica y contenido de cloruros. De acuerdo a las mediciones realizadas se concluye que el agua proveniente de las crecidas posee una mejor calidad comparada con el recurso subterráneo. Finalmente, se realizó un análisis de tendencias de parámetros medidos en 12 sectores de los cuales 8 corresponden al valle de Azapa propiamente tal y 4 a la ciudad de Arica.

Se concluye en el estudio que a lo largo de todo el valle se han observado descensos progresivos en los niveles estáticos, resultando menos notorios en los extremos del área de estudio y más importantes en la zona central, al igual que disminuciones progresivas en las fuentes. En relación a la conductividad eléctrica se han observado variaciones cíclicas las que a grandes rasgos coinciden con las crecidas en el río San José. En cuanto al contenido de cloruros los recursos subterráneos mayoritariamente presentarían una clasificación deficiente según la norma para fuentes de agua potable.

**f) "El Estudio Sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional del Japón-JICA, 1995.**

En este estudio se hace un análisis de la calidad de las aguas subterráneas a fin de caracterizarla para definir sus limitaciones para su uso.

Con base en la revisión de la información de 62 pozos ubicados en Arica y en el valle de Azapa se concluye que los contenidos de As y Fe se encuentran dentro de los límites permisibles. Sin embargo, el boro está aún sobre los límites permitidos, con valores comprendidos entre 0,0 mg/l y 1,8 mg/l, con un promedio de 1,13 mg/l. Se observaron contenidos de salinidad excedidos en 12 pozos, de los cuales 6 están ubicados en el área de la ciudad. El parámetro de SDT (sólidos disueltos totales) muestra la concentración de salinidad integrada de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), sulfatos (SO<sub>3</sub>), cloruro (Cl), bicarbonato (CO<sub>3</sub>), carbonato (HCO<sub>3</sub>) y nitrato (NO<sub>3</sub>). El SDT en el área de la ciudad de Arica y en el valle de Azapa está en el rango de 479 mg/l a 2.835 mg/l, con un promedio de 891 mg/l. El límite permisible de SDT es 1.000 mg/l.

Se concluye en el estudio que la calidad del agua subterránea del valle de Azapa está empeorando. La conductividad eléctrica en vertientes ha variado entre alrededor de 50  $\mu$ mhos/cm en 1960 a más de 2.000  $\mu$ mhos/cm al año 1991. Este mismo valor en aguas subterráneas ha subido desde alrededor de 1.000  $\mu$ mhos/cm en los años 60 hasta valores superiores a 2.500, e incluso 3.000  $\mu$ mhos/cm.

Por otra parte, la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del Lluta, se analiza tanto para el acuífero superficial como para el más profundo. Se indica que en el acuífero superficial existe una gran contaminación de nitratos, la que sería producida por los elementos químicos usados en la agricultura. En cuanto al boro, sodio, cloruros y sulfatos exceden el valor estándar, en cambio el arsénico estaría por lo generalmente bajo el estándar.

En el acuífero subterráneo inferior se indica que la contaminación por nitratos es prácticamente inexistente, lo que sugiere que el acuífero más profundo prácticamente no es influenciado por el agua superficial en la zona baja del valle del río Lluta. En esta parte del acuífero el arsénico es más bajo que el de las aguas superficiales, en cambio el de boro es más alto. Finalmente, se establece que esta agua no es adecuada para consumo humano, debido especialmente al alto contenido de boro y otros elementos químicos.

**g) "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta." Drenaje". DR-MOP. INGENDESA, 1995.**

En este estudio se presenta una síntesis de los antecedentes de calidad de las aguas subterráneas del valle del río Lluta. En particular se consideraron los antecedentes contenidos en el estudio de la JICA "El Estudio de los Recursos de Agua de la Parte Norte de Chile" y los antecedentes obtenidos por INGENDESA en la primera parte de este estudio.

Adicionalmente, se extrajeron muestras de agua en 10 de 101 piezómetros construidos para monitorear el acuífero superficial. A estas muestras se les midió la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura, teniéndose que el agua alumbrada tiene una temperatura que varía en el rango 18 a 22°C. Por otro parte la conductividad varía entre 2.000 y 6.800  $\mu$ mhos/cm, con la excepción de un piezómetro que presenta una conductividad muy alta por igual a 17.500  $\mu$ mhos/cm. Este último piezómetro presenta a su vez un pH ácido igual a 4,5, muy por debajo del pH de las otras muestras que varía entre 5,7 y 6,6 con un valor promedio de 6,2. Lo anterior corresponde a un condición local que no representa lo que ocurre en cuanto a calidad en el acuífero superficial.

## 2.4 USOS Y DEMANDAS DE RECURSOS HIDRICOS

En este acápite se presenta la información relativa a los usos y demandas de recursos hídricos considerando separadamente los diversos sectores económicos: riego, agua potable e industrial, hidroelectricidad y minería. Se consignan además aquellos estudios que han mostrado la existencia de restricciones al uso de los recursos. Se incluyen también los estudios de drenaje y de uso múltiple de los recursos, así como las relaciones con el uso actual y futuro en los distintos sectores económicos.

### 2.4.1 Sector Riego

#### a) "Estudio de la Red de Drenaje del Valle del Río Lluta". DR- MOP. INDERCO, 1980.

En este estudio se analizan y proponen alternativas de mejoramiento a la condición de mal drenaje del valle del río Lluta, debido a la presencia de niveles freáticos altos. Esto último tiene incidencia sobre la salinización y/o sodificación de los suelos, lo cual influye directa o indirectamente sobre la capacidad productiva de los vegetales.

Se indica que en el área existe un sistema de drenaje conformado por una red de drenes entubados que alcanzan una longitud total de aproximadamente 125 km. Dicho sistema habría sido instalado ante la necesidad de habilitar terrenos en el sector de la colonia Julio Fuenzalida Riberos, ubicada entre los Km 14 y 30 del valle del río Lluta, los que presentaban problemas de drenaje.

De acuerdo a lo señalado, la operación del sistema de drenaje fue adecuado, lográndose el saneamiento de las tierras. Sin embargo ello fue sólo en su etapa inicial, produciéndose posteriormente un deterioro paulatino del sistema. Se indica en el informe que conforme a la inspección visual realizada durante el estudio, los colectores presentan sus salidas y tramos finales casi totalmente obstruidos por material que ha ingresado a las líneas de los tubos, como consecuencia de las crecidas que experimenta el río Lluta durante el verano. Se concluyó que un 66,4% de la red se encuentra en un estado de escaso o nulo funcionamiento. De igual modo se analizó el estado de los tubos de drenaje, indicándose que ellos no resultan de una calidad adecuada para el uso que se les destinó.

En consideración del estado en que se encontraba el sistema de drenaje a la fecha de desarrollo del estudio, se propusieron opciones de mejoramiento técnico con distintos grados de inversión.

#### b) "Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego Valle de Azapa". DR-MOP. R. Edwards y J. Karzulovic, 1981.

En cuanto al riego, en este estudio se presenta una descripción de la superficie agrícola del valle de Azapa y su evolución histórica, a partir de 1940 (con 600 ha) hasta 1979 (con 2.221 ha).

Se presenta un diagnóstico general de las obras de infraestructura de riego que conducen las aguas al valle de Azapa, considerando el canal Lauca, el acueducto Azapa, canales derivados, obras de captación de vertientes, y otras obras de regulación de la laguna Cotacotani y tranques de noche en los valles precordilleranos.

Se entregan los resultados de un estudio de uso de suelo realizado mediante fotointerpretación. Se establecen los usos de las diferentes áreas del valle con el fin de conocer en forma global las demandas y disponibilidades de agua, a fin de establecer los volúmenes de posibles obras de regulación y capacidad de obras matrices de conducción. Se identificaron 13 usos distintos de suelo agrícola en el valle.

Se determinaron las necesidades de agua, considerando tres cultivos principales (olivos, hortalizas y praderas) que cubren la mayor parte de la superficie cultivable. A partir de los resultados obtenidos se fijaron las tasas de uso racional y beneficioso para el riego de los cultivos.

Se realizó un análisis crítico de las tasas de riego propuestos por la DGA en el Decreto N°380 de 1975, señalando que éstas son de tipo primario por lo que deben ser recalculadas aplicando metodologías e información más detallada y exacta. Se indica que se requiere mayor volumen de agua ya que no se consideró lixiviación de suelos. Se presenta una descripción de los métodos de riego utilizados posibles de aplicar en el valle y se recalculan las tasas de riego siguiendo una metodología diferente a la de la DGA. Se analizan las recuperaciones, para finalmente obtener las demandas de riego actuales e históricas.

Se realiza un balance hídrico basado en las disponibilidades superficiales y subterráneas, y las demandas. Además, se establecen las demandas de agua potable actuales y futuras de la ciudad de Arica considerando para 1980 un caudal de 550 l/s y para 2010 de 1.085 l/s. El balance hídrico consideró además un período seco y uno húmedo (donde las disponibilidad de aguas subterráneas aumentan), las demandas de agua potable y las pérdidas naturales, y se presentan los déficits o superávits finales. Como resultado se obtuvo un balance general deficitario.

Finalmente, se presentan proposiciones de acciones tendientes a obtener mayores recursos o reducir pérdidas, encontrándose entre los principales los siguientes:

- Reparación de los canales Lauca y Azapa
- Reparación de la red de agua potable
- No incorporar nuevos terrenos al riego, antes de aumentar la disponibilidad de agua
- Mantener el nivel freático a un nivel óptimo
- Aprovechar la laguna Cotacotani como embalse regulador
- Aprovechar recursos del lago Chungará
- Bombear aguas del río Lauca al canal Lauca
- Aprovechamiento por medio de sondajes de aguas subterráneas del valle del río Lauca
- Mejorar la red hidrometeorológica en la región
- Establecer un organismo destinado a controlar y supervisar el manejo de los recursos hídricos del valle de Azapa

Con algunas de las alternativas propuestas se concluyó que sería posible satisfacer el 92% del déficit de agua aproximadamente, priorizando las alternativas seleccionadas de acuerdo a la rentabilidad que estas presentaron.

c) **"Uso Múltiple del Agua en Sistema Lauca. Plan Maestro Valle de Azapa". Comisión Nacional de Riego, 1982.**

Este estudio se realizó con el objeto de analizar los usos del agua en el valle de Azapa y proponer obras destinadas a suplir las deficiencias de agua que históricamente han afectado a este valle.

En una primera etapa se realizó la extensión de las estadísticas hidrológicas del valle de Azapa para el período comprendido entre los años 33/34 a 78/79, con el fin de poder analizar en forma simultánea el comportamiento del sistema Azapa. El método empleado fue el de correlacionar las distintas estadísticas, con el fin de cubrir los vacíos y obtener un conjunto de valores referidos a un mismo período. De esta forma se amplió la estadística de caudales medios anuales en la estación Lauca en Estancia El Lago, Bocatoma Azapa en función de los caudales del río Lauca en Estancia El Lago, vertientes naturales, caudales provenientes de las crecidas del río San José y de la napa subterránea.

En una segunda etapa se realizó la operación simulada del sistema Azapa, determinándose la seguridad de riego del valle para diferentes superficies de riego. De acuerdo a los resultados alcanzados, se indica que se obtiene un 100% de seguridad para una superficie de 600 ha. En tanto para la simulación actual en el valle de Azapa, a la fecha de elaboración del estudio, con una superficie de 995 ha, se tiene un 85% de seguridad de riego.

En la tercera etapa se realizó un análisis de costos y beneficios de las obras desde el punto de vista social, tendientes a suplir los déficit de agua que presenta el valle. Se evaluaron 6 proyectos: impulsión de agua desde Ajata, instalaciones eléctricas en alta tensión, reparación y terminación canal alimentador (Ajata-Laguna Cotacotani), Túnel Guacollo (Laguna sin nombre-Laguna Guacollo), habilitación de obra de entrega en laguna Cotacotani y reparación del canal Lauca.

En base a los indicadores económicos alcanzados, se concluyó que el proyecto de utilización de las aguas de la laguna Chungará, cuyo propósito es dar seguridad al regadío del valle de Azapa e incrementar la generación hidroeléctrica en la central Chapiquiña, tiene una alta rentabilidad desde el punto de vista social. No se realizó evaluación económica desde el punto de vista privado.

d) **"Proyecto Drenaje Valle Río Lluta. Iª Parte". DR-MOP. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., 1989.**

El principal objetivo del estudio fue el saneamiento del área para evitar la proliferación del mosquito de la especie *Anopheles*, vector transmisor de la Malaria, y como consecuencia de ello, la habilitación de suelos mal drenados. El estudio abarcó el área entre la localidad de Rosario hasta la desembocadura del río Lluta en el Océano Pacífico.

Se realizaron encuestas de terreno, reconocimiento de drenes y cámaras, donde se detectaron embanques producto de las crecidas del río, crecimiento de malezas y mal diseño de drenes y colectores.

Se caracterizó la red de regadío, indicando los 8 canales que riegan el área en estudio y sus relaciones con el sistema de drenaje, así como los respectivos derechos o acciones de los regantes. Al respecto se señala que la Asociación de Regantes del río Lluta controla la repartición de las aguas en el río, para lo cual, a fines de 1988 el río se dividía en 2.725 acciones, las que se reparten por sectores y por turnos.

Se entregan los resultados de un reconocimiento estratigráfico del subsuelo e identificación de áreas con problemas de drenajes, en base a colectores de distintas características para finalmente ejecutar el proyecto de los colectores de drenes, en una longitud de 15,412 km.

Finalmente, se indica la necesidad de construir no sólo drenes colectores, sino también una red de colectores de desagües de las aguas excedentes del regadío, dada la fuerte incidencia que éstas tienen en la recarga del acuífero y consecuentemente con ello la formación de vegas.

e) **"Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

En este informe se estimaron las demandas de riego del valle de Azapa con el propósito de determinar las recargas al sistema subterráneo por percolación de aguas de riego e ingresarlas al modelo de simulación. Las demandas de riego se estimaron en base a variados antecedentes existentes hasta la fecha de realización del estudio.

En términos generales se consideró información recabada directamente en terreno y otros de tipo documental como información sobre evaporación, usos de suelo, tipos de cultivos, coeficientes de cultivos, métodos de riego y eficiencias.

Con estos antecedentes se calcularon las demandas evapotranspirativas de los cultivos a nivel predial para los sectores de riego y para el total del sistema canal Azapa, a lo largo del año.

**f) "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta".DR-MOP. INGENDESA, 1993.**

El objetivo del estudio en cuanto al sector riego se refiere, consistió en establecer la situación actual de la agricultura del valle del río Lluta, con el fin de identificar la cantidad y calidad de los recursos disponibles, la utilización que de ellos se hace, detectar problemas y limitaciones que enfrentan y cuantificar los ingresos, costos y beneficios que se producen.

Se presentan las características climáticas del valle del río Lluta basado en antecedentes pertenecientes a la estación meteorológica del Instituto de Agronomía ubicado en Azapa, que se consideró como representativo de las condiciones medias del Lluta. Así como también se entregan valores de evaporación pertenecientes a la misma estación, medidos hasta el año 1986.

Se proporciona una completa descripción de las características edafológicas basándose en estudios de CIREN-CORFO, en estudios del Ministerio de Agricultura y visitas a terreno. Se concluye que de las 4.807 ha reconocidas sólo 2.618 ha son cultivables, todas con limitaciones entre leves a severas, representando un 54,5% del total. Además, se señala el alto grado de salinización y sodificación de los suelos indicándose que en algunos casos el proceso de recuperación de éstos sería impracticable.

Se cuantifica el uso de los suelos cultivables a través de entrevistas y estudios recientes de INDAP. Según la Organización de Regantes, la superficie regada alcanza 1.795 ha, las 823 ha restantes están ocupadas por totorales u otras especies, o sin habilitación o uso. Se presenta la superficie cultivable por tipo de cultivo y se determinan los requerimientos hídricos de los cultivos siguiendo la metodología propuesta en la publicación FAO 24 y los antecedentes climáticos ya señalados. Se estiman las eficiencias de riego y se calculan las tasas de riego óptimas para satisfacer las demandas de los cultivos, y las demandas totales de agua para el riego. El cultivo más importante es el maíz para choclos, siendo la variedad local el "Maíz Lluteño".

Finalmente, se presenta un balance entre las demandas potenciales y disponibilidad de agua obteniendo como resultado un déficit estacional.

En relación al impacto del proyecto del embalse Chironta en la agricultura del valle, se concluye que no sólo significaría un aumento en la superficie y seguridad de riego, sino además un incremento en el nivel tecnológico del valle, el mejoramiento de la calidad química del agua y una disminución de los aportes subterráneos al valle, reduciendo de esta manera los niveles freáticos y permitiendo así una mayor utilización de los suelos.

Además, se realizan proyecciones de rendimientos de cultivos, nivel tecnológico, y uso futuro del suelo, el cual alcanzaría una superficie total de riego de 2.220 ha, y se determinan las demandas de agua de los cultivos para la situación futura.

**g) "El Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA, 1995.**

En este estudio se presentan los sistemas de riego, las áreas, tipos y modelos de cultivos, y área real irrigada, así como las demandas y consumo real de aguas en el valle de Azapa y del río Lluta. Específicamente,

se indica que a 1993 existían 3.213 ha de cultivo divididos en 27 sectores de riego, los cuales eran regados con aguas del canal Azapa, vertientes y aguas subterráneas. Se hace una breve descripción del canal Azapa, de las vertientes (17) y pozos de agua subterráneas (122). En cuanto a los cultivos se indican las áreas sembradas y método de riego, para los distintos tipos de cultivos como: frutales, verduras y forraje.

Se estimaron las demandas de agua de los cultivos, aplicando la evapotranspiración y eficiencias de riego del estudio "Modelo de Simulación del Valle de Azapa" (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda, 1989). Finalmente se determinó el consumo real de agua de los cultivos, descartando la infiltración.

En relación al valle del río Lluta, se estima en 2.784 ha el área de riego y se indica que debido a la contaminación del río con boro, los tipos de cultivo se limitan a maíz, alfalfa y ciertas verduras. Se presentan las demandas de agua y el consumo real de los cultivos.

**h) "Plan de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos en la Provincia de Arica". CORFO. CONIC-BF Ingenieros Consultores, 1995.**

El estudio tuvo como objetivo elaborar un plan de aprovechamiento óptimo del recurso hídrico de la provincia de Arica, con un horizonte de 30 años. El análisis se enfocó principalmente a solucionar los déficit de agua potable de esta ciudad.

Se estimaron las demandas actuales y futuras en función del precio y proyección del crecimiento del riego en los valles de Azapa y Lluta. Se indican además una serie de medidas para optimizar el uso del recurso.

Para el valle de Azapa, se cuantificó la superficie actual de cultivo y su distribución entre cultivo de verano y de invierno, a partir de estimaciones de INDAP, de antecedentes del estudio del JICA y de visitas a terreno.

Para determinar los requerimientos de agua se identificaron los cultivos representativos que abarcan mayor superficie (olivos, tomates, hortalizas y flores), los sistemas de riego y nivel tecnológico. Los requerimientos de agua para los cultivos se derivaron de los datos de evapotranspiración potencial y coeficientes de cultivo presentados en el informe "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile" (IPLA Ltda., 1996). Finalmente, se obtuvieron los requerimientos de agua a nivel de campo o predial para los distintos cultivos, el volumen total de consumo de base de caudal continuo. Dicho volumen sería suplido a 1995 a través de 400 l/s del canal Azapa y la diferencia por explotación el acuífero.

En relación al riego en el valle del río Lluta, se presenta una descripción general de la situación, en la cual se indica la introducción de nuevas variedades de cultivos, que están reemplazando las tradicionales.

**i) "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile". DGA-MOP. IPLA LTDA., 1996.**

Este estudio se desarrolló con el objeto de identificar y evaluar las demandas actuales y futuras sobre los recursos hídricos que originan los distintos usos o actividades existentes en las cuencas y subcuencas del país. Ello con el fin de poder definir una política sobre el ordenamiento o importancia que tienen los diferentes usos dentro de una cuenca. Dentro de este contexto se analizaron las cuencas de la I<sup>a</sup> Región, entre las que destacan las cuencas altiplánicas, la cuenca del río Lluta y la cuenca del río San José.

Del análisis realizado para las demandas de agua en las cuencas altiplánicas, el estudio indica que a la fecha de elaboración de éste, no se observaban ni se preveían en el futuro demandas para uso agrícola, ni para agua potable así como tampoco para usos industriales.

En la cuenca del río Lluta las demandas actuales del sector agrícola fueron obtenidas del estudio "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta", elaborado por INGENDESA para la Dirección de Riego en 1993, estimándose en 1.795 ha las superficies actuales en riego.

Para la estimación de la situación futura se consideraron los mismos antecedentes anteriores. De acuerdo a ellos la superficie futura podría aumentar, según la capacidad del embalse y su operación, hasta 2.200 ha con 85% de seguridad en verano. En la proyección del uso futuro del área agrícola se supone el mejoramiento de la actual red de drenes, o bien la construcción de sistemas de drenes prediales, manteniendo los métodos de riego y eficiencias planteados en la situación actual.

Finalmente, en la cuenca del río San José, la determinación de las demandas agrícolas actuales se realiza sobre la base de la información existente obtenida de informes anteriores y el análisis combinado entre la evapotranspiración real de los cultivos existentes en la zona, las superficies y la eficiencia del sistema de riego. La estimación de las demandas futuras se sustenta en la existencia de nuevas obras hidráulicas que permitirían satisfacer las necesidades de riego de una superficie mayor a la que actualmente existe, estimándose dicho incremento en 170 ha. Se consideró la misma distribución de cultivos y una eficiencia de riego similar a la de la situación actual.

**j) "Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas". Cuenca Río San José. Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID, DHV, INFOR, ICSA y BF, 1997.**

En cuanto a demandas actuales y futuras de agua en la cuenca, en el informe se define la disponibilidad de aguas como el caudal en la estación fluviométrica Río San José aguas arriba de la bocatoma del canal Azapa, más el caudal subterráneo en el mismo punto.

Las demandas de recursos hídricos se obtuvieron del estudio "Análisis del Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile", clasificando las demandas en agrícola, agua potable e industrial. Se señala en el informe que las demandas agrícolas se concentran en la zona del valle de Azapa, entre Saucache y Cabuza, mencionándose la existencia de demandas mineras (zona altiplánica) e hidroeléctricas en relación a la central Chapiquiña.

Se presenta una descripción de la infraestructura existente para el aprovechamiento de los recursos hídricos, en riego, agua potable e hidroelectricidad.

Específicamente en infraestructura de riego se presenta una breve descripción de las obras y de problemas relevantes detectados. Se incluyen obras como el canal Azapa, canal Lauca, pozos y vertientes.

**k) "Estrategia de Desarrollo Agropecuario Provincia de Arica". INDAP-Arica, 1996.**

En este informe se consigna información sobre el uso agrícola de los recursos hídricos del valle del Lluta señalándose que la superficie cultivada es aproximadamente de 1.700 ha, indicándose que esta superficie sería la que tiene "regularidad en el riego de 100%", sin explicar los alcances de esta frase. Al mismo tiempo se consigna que la superficie anual cultivada alcanza a las 2.600 ha y se señala que, si se mejorara la eficiencia de riego y se adoptara una seguridad de riego de 80%, sería posible regar 3.000 ha aproximadamente. También, señala que la principal limitación para el desarrollo de la agricultura en este valle es la calidad química del agua la que alcanza altos niveles de salinidad.

Por otra parte, en cuanto a la superficie de uso agrícola en el valle de Azapa, se indica que alcanzaría a 2.700 ha.

En el informe se analizan los distintos tipos de suelos existentes en la cuenca y su aptitud agrícola, describiéndose los valles de Lluta, Azapa, Codpa, Chaca y Camarones.

El estudio también analiza las zonas agroclimáticas en la provincia de Arica señalando que es posible diferenciar cinco zonas climáticas que superpuestas sobre las condiciones de suelo y agua determinan la caracterización de 14 zonas agroclimáticas.

Entre los antecedentes consignados en este informe se encuentra la identificación de 18 organizaciones de agricultores que operan en la zona. Estas organizaciones incluyen, federaciones y asociaciones gremiales, cooperativa agrícolas, sociedades de cooperación agrícola e institutos.

**l) "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

El análisis de las demandas por recurso hídrico del sector riego se realizó empleando los antecedentes contenidos en los siguientes estudios anteriores:

- "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.
- "El estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional del Japón -JICA, 1995.
- Antecedentes recabados en campañas de terreno y contacto con organizaciones tales como Universidad de Tarapacá, COMCA e INDAP.

A partir de los antecedentes mencionados se pudo determinar que desde 1993 se produjo un aumento fuerte en la demanda de agua para riego. Esta demanda disminuye en los años siguientes, aún cuando la superficie regada siguió aumentando. Ello se explicó por el efecto combinado entre una mayor tecnificación del riego y el mejoramiento de la infraestructura de los canales.

En cuanto a la situación futura, en este estudio se concluyó que se podría mantener la tendencia de los últimos años en el aumento de las zonas regadas, con el consumo del total del agua disponible en bocatoma, y con un mayor porcentaje de riego tecnificado. Sin embargo se destacó que las decisiones de inversión son individuales y responden a diversas motivaciones que no son posibles de planificar en forma global a futuro.

#### **2.4.2. Sector Agua Potable e Industrial**

**a) "Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa" DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

La determinación de las demandas de agua potable e industrial en este informe tuvo por finalidad estimar los consumos y pérdidas reales del sistema de abastecimiento. Para ello el estudio se basó en un informe realizado por ICI Ingenieros para SENDOS en 1986 denominado "Estudio de Factibilidad de Nuevas Fuentes para el Agua Potable de Arica", en el cual se realizó un análisis de la situación de demandas de la población, centros de producción y estado de la red de distribución al año 1985.

Se presenta un análisis de producción y consumos de agua potable e industrial, basado en antecedentes proporcionados en informes anteriores, en datos proporcionados por SENDOS en Arica sobre consumos y producciones, y en conversaciones en terreno con personal y lugareños.

Se establecen los criterios de proyección sobre los que se evalúan dotaciones medias, población y producción, a partir de los cuales se determinaron los consumos y las pérdidas tanto teóricas como reales hasta el año 2000. Se estima una distribución a nivel mensual de las demandas proyectadas a partir de los valores anuales y de la distribución mensual de los años en que se dispuso de información. Finalmente se indica que un 15% de las pérdidas reales sería el volumen que podría percolar hacia la napa subterránea, siendo esta cifra la que se adoptaría en el modelo de simulación.

**b) "Análisis del Programa de Desarrollo de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A. Prefactibilidad". ESSAT S.A. Bustamante y Schudeck Ingenieros Consultores Ltda., 1992.**

El objetivo de este estudio fue el de identificar las obras de mejoramiento de las redes de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Arica.

En este estudio se realizó un catastro y diagnóstico de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Arica, y se proponen obras de mejoramiento para ambos sistemas. Se indica que la ciudad se abastece exclusivamente de captaciones subterráneas ubicadas tanto en el valle de Azapa como en la ciudad misma. De acuerdo con el diagnóstico realizado, la capacidad de captación actualmente presenta un déficit de un 50% respecto del caudal necesario para satisfacer las demandas máximas diarias y no es posible aumentar la producción de agua potable debido a que los pozos están siendo operados a su capacidad máxima durante la mayor parte del día. Debido a lo anterior, el nivel freático se ha mantenido permanentemente deprimido, lo cual disminuye los caudales específicos en cada sondaje.

Con respecto a los sistemas de conducción, elevación regulación y distribución, se indica que se encuentran en buen estado y presentan capacidad suficiente para satisfacer las demandas de la ciudad. Con respecto al tratamiento de las aguas, se indica que sólo se realiza un proceso de cloración y que las aguas presentan, en general, buena calidad química.

En base al diagnóstico realizado en el estudio, se proponen obras para mejorar y optimizar los sistemas de captación, conducción, elevación, almacenamiento y distribución actual junto con la construcción de un dren costero en el sector del Chinchorro. En cada caso se incluyen dimensionamientos y estimaciones de costos.

En el estudio se realiza un diagnóstico del sistema de alcantarillado desde el punto de vista físico operacional de las instalaciones existentes. Se indica que la red de alcantarillado data del año 1920 y que se ha extendido sin una planificación ordenada que asegure que se supla la demanda producida por el crecimiento poblacional, razón por la cual se necesita proyectar obras a fin de que la red pueda cumplir cabalmente con los requerimientos futuros.

En el estudio se propuso implementar obras tendientes a lograr un mejor aprovechamiento de la infraestructura existente, mientras se evalúa la implementación de una solución definitiva. Estas obras consisten principalmente en el reemplazo de tuberías. En relación a las soluciones definitivas se propuso alternativas con los sistemas actuales de redes de alcantarillado y con alternativas de tratamiento y disposición final de los residuos. Las alternativas de solución para los sistemas de alcantarillado y agua potable fueron objeto de evaluaciones económicas a precios privados y sociales.

Este informe contiene además una descripción general de la zona incluyendo aspectos geográficos, económicos y sociales de la Iª Región, como asimismo tasas de crecimiento poblacional y estimaciones de población en años futuros.

c) **"Estudio de Nuevas Alternativas de Fuentes de Agua Potable para Arica. Proposición de Solución". ESSAT S.A. HIDROSAN Chile, 1993.**

Este estudio tuvo por objeto definir y analizar las posibles nuevas fuentes de agua susceptibles de utilizar para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Arica.

Para esto se identificaron las posibles superficies a urbanizar, determinando la expansión futura conforme a planos seccionales del MINVU y de densificación futura. Se realizaron proyecciones de dotación media de consumo, basados en datos entregados por ESSAT para 1992 (175 l/s). Se evaluaron pérdidas y cobertura del sistema y se realizó el balance de oferta y demanda, obteniendo un déficit para el año 1993 de 330 l/s y para el año 2020 de 520 l/s.

En base a lo anterior se analizan posibles nuevas fuentes descartando aquellas que por su calidad, cantidad y costo son poco atractivas en relación a otras posibles fuentes de abastecimiento. Se presenta un resumen del estudio "Análisis Programa de Desarrollo de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A." elaborado para ESSAT S.A. por Bustamante y Schudeck Ing. Consultores (1992), en el cual se analizaron nuevas fuentes de agua y que fueron eliminadas por consideraciones técnicas y económicas, dado que no satisfacen los requerimientos de la ciudad de Arica. En particular, se presentan las nuevas fuentes identificadas y factibles para la obtención de recursos del río Caquena, del río Lauca y del río Lluta.

Además, se presenta un análisis de la red de distribución de agua potable y las necesidades de mejoramiento de ésta, las necesidades de extensión y obras requeridas para distribución y regulación necesarias para satisfacer las demandas.

Finalmente, se presenta una formulación de un Plan Maestro que permitiría suplir el déficit de abastecimiento de agua potable de Arica, a través de una alternativa técnica y económica conveniente. Se indica que la mejor solución corresponde a la alternativa de sondajes en río Lauca, quebrada Chapiquiña y Ausipar-Planta de Filtros. Se describen las obras de conducción, tratamiento y regulación necesarias, así como los costos de inversión requeridos.

d) **"El Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA, 1995.**

En este estudio se evalúan en primer término los recursos hídricos potenciales, principalmente subterráneos, de las cuencas de los ríos San José, Lluta, Pampa del Tamarugal y Salar de Huasco. Con base en lo anterior se presenta un plan de desarrollo de recursos hídricos para el abastecimiento de agua de las ciudades de Arica e Iquique.

En el informe se entrega una descripción general del sistema de abastecimiento operado por ESSAT, así como una descripción de los problemas existentes en relación a la capacidad de abastecimiento, fuentes calidad y pérdidas de agua, aspectos institucionales y financieros de ESSAT.

Específicamente, en relación al uso del recurso agua potable en Arica, el informe presenta una descripción del sistema de abastecimiento existente, señalando que las fuentes (a 1992) consistían en 28 pozos con una capacidad de 503 l/s, y que a partir de 1993 ESSAT construyó 11 pozos adicionales gracias al Proyecto de Emergencia para Abastecimiento de Agua Potable, estimando alcanzar 730 l/s de capacidad total.

Se presentan los volúmenes de producción y consumo, separados por categorías residencial, comercial industrial y otros, indicando además que existen pérdidas en la producción. En base a los antecedentes de población se realizaron proyecciones y determinaciones de consumos futuros de agua, así como también

proyecciones de producción. Se estimaron consumos de 764 l/s para 265.375 hab al año 2015. Se considera que las pérdidas se reducirían en 30% al año 2005, y que al año 2015 la producción total alcanzaría los 1.091 l/s.

Posteriormente se presenta un balance de oferta y demanda de recursos para el abastecimiento de agua potable, además de un balance total de agua en el valle, indicando que los resultados muestran un déficit del recurso. Para satisfacer la demanda de agua potable se proponen proyectos como el desarrollo de aguas subterráneas del Bajo Lluta y un proyecto de emergencia para abastecimiento de agua en el valle de Azapa.

Se presenta asimismo una descripción más detallada del Plan de Desarrollo a Corto Plazo de las aguas subterráneas del valle del Bajo Lluta, indicando su capacidad de desarrollo, y las instalaciones necesarias. Entre éstas se encuentran los pozos, bombas, tubería, planta de tratamiento de agua, además de los requerimientos de adquisición de tierras y obras o medidas de compensación. Se presentan los costos estimados de inversión, programa de implementación, operación y mantenimiento, así como la evaluación económica y financiera del proyecto, y el estudio de impacto ambiental del proyecto.

De acuerdo a los resultados de la evaluación económica a precios privados, el proyecto es considerado no rentable, al contrario de lo que ocurre a precios sociales, que si es rentable.

**e) "Actualización Planes de Desarrollo ESSAT. Iª Región. Ciudad de Arica". ESSAT S.A. ICSA Ingenieros Consultores, 1995.**

En este estudio se presenta la actualización del Plan de Desarrollo de ESSAT para el plazo de previsión que alcanza hasta el año 2020. En este estudio se actualizó la proyección de población realizado por HIDROSAN, considerando los datos definitivos del censo de 1992. Se corrigieron las tasas de crecimiento consideradas.

Como resultado de este estudio, se obtuvo una población abastecida de 169.301 hab para el año 1996, y para el año 2016 la población es de 243.318 hab. En este mismo lapso de tiempo la dotación de diseño varía entre 306 y 327 l/s. A partir de esto, se tiene que la producción varía entre 18,96 y 28,63 millones m<sup>3</sup>/año.

En este estudio también se plantean diferentes soluciones con el fin de lograr el caudal necesario para satisfacer la demanda a satisfacer. En último término se presenta el Programa de Inversiones necesarias para satisfacer la demanda futura.

**f) "Plan de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos en la Provincia de Arica". CORFO. CONIF-BF Ingenieros Consultores, 1995.**

En relación a las demandas de agua potable de Arica, en el informe se presenta una síntesis de la evolución del sistema de abastecimiento indicando la problemática de la escasez del recurso y los esfuerzos de ESSAT por conseguir nuevas fuentes de abastecimiento.

Se presenta una proyección de la demanda de agua potable de la ciudad de Arica, suponiendo un crecimiento de población a una tasa geométrica variable. Las dotaciones de producción varían de 295 l/hab/día en 1992 a 330 l/hab/día en 2025 y las pérdidas de distribución se consideran decrecientes en el tiempo, llegando a un valor de 30% en el 2005. Se estimó una curva de demanda para la ciudad de Arica y su curva en función del precio variable a pagar por el usuario.

Asimismo, se estiman las demandas para usos industriales y otros, en base a lo indicado en el informe de la JICA (1995). Se indica que los recursos provienen de la explotación de las aguas subterráneas del valle de Azapa, con un caudal de 503 l/s. En relación a las proyecciones de demandas futuras para estos usos, se

indica que ellos no debieran ser intensivos dado que el valor futuro de agua hará que los nuevos proyectos industriales no resulten rentables. Se señala que la ubicación más favorable para este tipo de actividad, corresponde a la zona costera donde existen recursos salobres en cantidad suficiente.

Se concluye en el estudio que ESSAT, cuya única fuente es el acuífero de Azapa, no es capaz de suplir las actuales demandas y además está haciendo uso de una fuente que, a su ritmo de explotación actual, va en camino a agotarse. Por lo tanto, el déficit real que enfrenta el suministro de agua potable en Arica es mayor que el observado con racionamientos de nueve horas diarias. Este indicaría que el desarrollo de nuevas fuentes para su uso en agua potable, es una necesidad imperiosa que debe ser resuelta en el plazo más breve posible.

Se indica además, que ESSAT es propietaria hoy día de sólo un 34,1% de los derechos de agua subterránea del acuífero de Azapa. En términos de un caudal medio anual sustentable de largo plazo, su fuente de agua actual sólo le proporcionaría 193 l/s. Por lo tanto, su déficit actual equivalente sería de 420 l/s en términos de caudal medio anual.

Luego de analizar un conjunto de alternativas de desarrollo de nuevas fuentes, desde los puntos de vista técnico, económico, legal, social, ambiental y político, en el estudio se recomienda el desarrollo de proyectos que incluyan el aprovechamiento de aguas subterráneas de la cuenca del río Lauca, el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Lluta, el aprovechamiento de aguas subterráneas en la zona costera de Arica y el reuso de las aguas servidas tratadas de la ciudad de Arica, para riego de parques y jardines en la ciudad, para riego en algunas zonas del valle de Azapa y/o para recarga de la napa subterránea.

g) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID. DHV, INFOR, ICSA y BF, 1997.**

En cuanto a infraestructura de agua potable y uso industrial se indica en el estudio que en la cuenca del río San José la demanda de mayor importancia la constituye la ciudad de Arica. El abastecimiento se basa en explotación de aguas subterráneas mediante una batería de sondajes existentes en el valle.

h) **"Análisis del Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile". DGA-MOP. IPLA LTDA., 1996.**

Para la cuenca del río Lluta se indican los requerimientos de agua potable para la ciudad de Putre, cuyas captaciones son de tipo subterráneo. No se consideraron en el estudio localidades de menor tamaño ya que según los criterios de selección, el único asentamiento urbano de importancia en la zona correspondería a esta localidad. Los datos de producción de esta localidad se obtuvieron por correlación con otras localidades de características similares del Norte Grande. Se estimó una demanda bruta de 160 l/hab/día, llegándose a una demanda total estimada para el año 1992 de 0,91 l/s y una demanda neta de 0,46 l/s. Asimismo se indican para el año 2017 demandas brutas y netas de 1,37 l/s y 0,68 l/s respectivamente. Las proyecciones de demandas suponen que la eficiencia del sistema sería de un 50%. En relación a la demanda industrial actual en la cuenca se indica que no se dispone de antecedentes que permitan establecer la existencia de demandas asociadas a este tipo de usos. Con base en ello se señala además que tampoco es posible prever demandas para la situación futura.

En lo que respecta a la demanda actual de agua potable en la cuenca del río San José, la evaluación es exclusivamente en base a los requerimientos de la ciudad de Arica, sin considerar otras localidades de la cuenca. Se estima la demanda bruta y neta en 616,44 y 379,84 l/s, respectivamente, con un nivel de eficiencia de 38,31%. La estimación de la demanda futura de agua potable en esta cuenca, se realiza a partir de la proyección de población y sus demandas, considerando el período de análisis hasta el año 2017, según el "Análisis Programa de Desarrollo de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A.", 1992. Respecto a las demandas industriales actuales en la cuenca, se indica que existe más de una veintena de industrias, aunque son sólo 3 industrias pesqueras que requieren el 97% de la demanda total de la cuenca. Los recursos provienen principalmente de las captaciones

subterráneas existentes a lo largo del valle de Azapa. Se estiman las demandas netas y brutas en 115 l/s y en 177 l/s respectivamente.

Las demandas de agua potable se basaron en información obtenida de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá y de datos poblacionales del censo de 1982 y resultados preliminares del censo de 1992. Para la estimación de las demandas industriales futuras se considera que es poco probable la obtención de derechos de agua de la cuenca por nuevas industrias, razón por la cual la proyección se realiza a partir de la tasa de crecimiento promedio del sector industrial para diferentes años hasta el 2017. La información básica de demandas industriales se obtuvo del catastro Nacional de Descargas de Residuos Industriales Líquidos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios del año 1993.

i) **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

El estudio de la demanda de agua potable se desarrolló empleando los antecedentes estadísticos para el programa de macromedición de ESSAT correspondientes a las producciones mensuales de agua potable, desde 1984 en adelante. Adicionalmente, se consideraran los resultados del estudio de Bustamante y Shudeck (1992).

Como resultado se obtuvo la proyección de producción de agua potable entre 1996 y el año 2015.

En lo que se refiere al estudio de demandas del sector industrial, este se efectuó con los antecedentes contenidos en el estudio "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile" DGA-MOP. IPLA LTDA., 1996, determinándose la demanda hasta el año 2015.

### **2.4.3 Sector Hidroelectricidad**

a) **"Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile". DGA-MOP. IPLA LTDA., 1996.**

Este estudio incluye un análisis del uso del agua en generación hidroeléctrica en las cuencas altioplánicas.

Se indica que actualmente se encuentra en funcionamiento la central Chapiquiña (EDELNOR S.A.), la que posee una potencia instalada de 10.200 kW generando anualmente alrededor de 566 GWh. Aunque ha sido diseñada para un caudal de 2,75 m<sup>3</sup>/s el caudal medio anual utilizado es de sólo 0,80 m<sup>3</sup>/s.

En relación a la demanda de energía eléctrica futura se prevé que se realizará principalmente mediante el funcionamiento de centrales térmicas, ya que los recursos hídricos disponibles serían utilizados íntegramente.

En cuanto a la demanda de agua para la producción de energía eléctrica, se informa que la cuenca del río Lluta en su condición actual se encuentra inserta en el área de abastecimiento eléctrico del SING, no existiendo demandas actuales para la producción de energía eléctrica.

Se señala que en la cuenca del río Lauca, existe un proyecto para construir una central hidroeléctrica, denominada Canal Lauca. Esta central tendría una potencia de 70 kW, generaría una energía media anual de 600.000 kWh, con un caudal medio anual de diseño, de 600 l/s.

Se indica que aún cuando el suministro futuro de la demanda considera el funcionamiento de centrales térmicas, para la estimación de esta demanda se consideró que los recursos hidroeléctricos del río Lluta serían íntegramente aprovechados. Se consideran tres proyectos de centrales: Socoroma, Campanani y Chaquire con caudales medios utilizables de 1.300, 1.650 y 2.600 l/s, respectivamente.

Para la cuenca del río San José el informe indica que no existen demandas para la producción de energía eléctrica. Para la estimación del uso futuro del agua en producción de energía eléctrica se considera como supuesto un aprovechamiento íntegro de los escasos recursos hidroeléctricos existentes. Se considera que las aguas descargadas por la central Chapiquiña pueden ser utilizadas en cuatro centrales: Cotani, Cosapilla, Tignamar y Livilcar, con caudales de diseño de 1,40, 1,20, 1,35 y 1,35 l/s, respectivamente.

Para conocer las demandas para producción de energía eléctrica, el estudio se basó en antecedentes proporcionados por la Comisión Nacional de Energía y Empresas Generadoras.

- b) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID, DHV, INFOR, ICSA y BF, 1997.**

Se señala que la cuenca del río San José se encuentra ubicada en el área de abastecimiento eléctrico del SING, del cual forma parte la central hidroeléctrica Chapiquiña que se ubica en la zona alta de esta cuenca. Esta central utiliza aguas de trasvase del río Lauca y tiene una potencia instalada de 10.200 kW.

#### 2.4.4 Sector Minería

- a) **"Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile". DGA-MOP. IPLA LTDA., 1996.**

En el informe se indica específicamente que en las cuencas altioplánicas las demandas mineras actuales corresponden a los derechos de agua que oficialmente han sido otorgados a tres empresas mineras, con derechos de extracción correspondientes a 840, 60 y 15 l/s, respectivamente.

En lo que respecta a demandas futuras de agua para usos mineros, se señala que debido a que no existen antecedentes respecto a nuevos proyectos de inversión y ante la falta de datos más precisos, se estimó la demanda a 25 años, a partir de las proyecciones del PGB de esta actividad en la Iª Región. Se considera que la demanda sólo crecería en la mitad del PGB, con lo cual se espera que los valores futuros alcancen a 1806, 129 y 32 l/s, respectivamente.

Para la cuenca del río Lluta, se indica que las demandas mineras actuales corresponden a los derechos de agua que oficialmente han sido otorgadas a tres empresas mineras, con caudales de 35.5 l/s para las dos primeras y 30 l/s para la tercera. La estimación de la demanda futura en forma similar a lo antes descrito se realiza en base al crecimiento del PGB de esta actividad en la primera región, estimándose como valores futuros en esta cuenca 76 y 65 l/s, respectivamente.

Respecto a las demandas mineras en la cuenca del río San José, el estudio indica que no existen actualmente ni se proyectan en el futuro, instalaciones mineras que presenten una demanda especial de agua.

#### 2.4.5 Restricciones al Uso

- a) **"Modelo de Simulación de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa". DGA-MOP. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 1989.**

El estudio señala que la excesiva y creciente explotación de los recursos de agua en la cuenca del río San José, especialmente aquellos de origen subterráneo, estarían originando descensos sostenidos de la napa y un peligroso problema de intrusión salina que bien podría llevar a inhabilitar parte importante de los pozos ubicados cerca de la desembocadura de este río. Se indica además que no obstante esté funcionando desde 1962 el canal Azapa, con trasvases desde el río Lauca que suplen parte importante de las demandas de riego, los problemas indicados podrían agravarse en el futuro.

El objetivo del estudio consistió en desarrollar una herramienta que permitiera predecir a futuro los efectos de aplicar diferentes reglas de explotación sobre los recursos de aguas subterráneas y así planificar el aprovechamiento del recurso hídrico. Para ello, se planteó la modelación del sistema hidrológico del valle de Azapa, incluyendo las fases superficial y subterránea. Dicho modelo incluye los efectos del sistema de riego sobre las napas subterráneas y viceversa.

Se desarrollaron todos los estudios básicos que permitieron disponer de la información y el conocimiento necesario para conceptualizar y generar los modelos de simulación de las aguas subterráneas del valle. Dentro de los estudios básicos se trabajó en dos grandes temas: uso de los recursos de agua y disponibilidad de los recursos hídricos del valle de Azapa.

Respecto al uso de los recursos de agua, se analiza todo lo relativo a la infraestructura existente para el abastecimiento de agua, lo que incluye el canal Azapa y sus derivados, las vertientes y los pozos de aguas subterráneas, y además se desarrolla un estudio de los consumos en agua potable e industrial y en riego.

En cuanto a la disponibilidad de los recursos hídricos del valle de Azapa, se hace una caracterización climática general, se presenta un análisis del recurso superficial y un estudio hidrogeológico. Se incluye además un estudio de calidad de aguas con énfasis en el efecto sobre el riego y el agua potable.

A partir de los resultados de los estudios básicos se presenta una sectorización del valle entre la bocatoma del canal Azapa y la desembocadura del río San José. El primer sector, con nulo uso de aguas subterráneas en riego y casi nula información hidrogeológica, es el comprendido entre la bocatoma del canal Azapa y la angostura de Cabuza (24 km), representando este último punto un límite natural de afloramientos rocosos a partir del cual se intensifica el uso de aguas subterráneas. El segundo sector, entre la angostura de Cabuza y Albarracines (10 km), aparece con un mayor uso de aguas subterráneas, especialmente en riego, aunque la información hidrogeológica es sólo limitada. El tercer sector, desde Albarracines hasta la costa (15 km), es el de mayor explotación de aguas subterráneas y en consecuencia posee mayor información hidrogeológica.

En relación a las demandas de aguas, se caracterizan y cuantifican los diferentes usos de los recursos superficiales y subterráneos en el valle de Azapa, considerando los usos de riego, potable e industrial. Asimismo, se indica que el estudio de las características y del funcionamiento del sistema canal Azapa y derivados permitió evaluar la recarga al acuífero por efecto de pérdidas en los canales de riego. Además se indica que la caracterización de las vertientes, de sus caudales asociados y su uso, permitió definir las descargas artificiales mediante bombeo desde pozos (norias y sondajes).

En lo referente al consumo, se evaluaron las demandas y pérdidas reales del sistema. En cuanto al riego, se verificó el uso de los suelos y patrones de cultivos asociados, las demandas evapotranspirativas, los métodos, eficiencias y tasas de riego, para finalmente determinar las recargas al sistema subterráneo por percolación de aguas de riego. A partir del análisis de los resultados obtenidos a través de la operación del modelo, se extrajeron las conclusiones y formularon recomendaciones generales más relevantes del estudio, en cuanto al uso del recurso se refiere, que se señalan a continuación.

Se indica que, en el valle del río San José (valle de Azapa), existe un total de alrededor de 2.500 ha de riego, de las cuales un 76% se riega con recursos trasvasados desde el río Lauca, que son distribuidos por el canal Azapa y sus derivados, y un 22% con las aguas drenadas naturalmente del embalse subterráneo a través de 19 vertientes existentes. En épocas de escasez, se refuerza este abastecimiento desde pozos, pudiendo alcanzar hasta un 25% del área total regada.

El mayor uso de los recursos subterráneos corresponde a agua potable para la ciudad de Arica, para lo cual se explotan en forma permanente más de 20 sondajes ubicados entre el sector de San Miguel, 15 km

aguas arriba de la desembocadura, y la costa. Se indica que al año 1989 los caudales promedios destinados a este uso fueron de 640 l/s, representando el 80% de las aguas captadas mediante pozos.

El número total de sondajes catastrados durante el estudio fueron 165, a los cuales deben agregarse 205 norias. De estas últimas se utilizaban a la fecha de ejecución del estudio en forma permanente o esporádica, alrededor de un 40%.

La intrusión salina en los acuíferos costeros donde la explotación es intensa, ha sido reconocida por la inversión de los gradientes hidráulicos y por la alteración en la calidad del agua a partir de 1970 en pozos que captan de napas superficiales, a profundidades inferiores a 40 m, ese último efecto se ha hecho sentir a partir de 1985 en pozos que captan de acuíferos más profundos.

b) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID, DHV, INFOR, ICSA y BF, 1995.**

En relación a los recursos hídricos se hace el análisis de las disponibilidades e identificación y jerarquización de los problemas de gestión y conservación de los recursos superficiales y subterráneos de la cuenca.

De acuerdo a los resultados alcanzados en el diagnóstico, los problemas que se identifican en la cuenca se pueden dividir en tres grupos. El primer grupo se refiere a la escasez de agua de calidad adecuada, lo que limita su uso para el abastecimiento de la ciudad de Arica y de agua de riego en el valle de Azapa. Otro aspecto corresponde a la sobreexplotación y salinización del acuífero del valle de Azapa.

El segundo grupo se refiere a la degradación de suelos y vegetación y pobreza de las comunidades prealpinas, lo que tendría relación con la escasez de agua en esa subcuenca.

El tercer grupo se refiere a la protección a la biodiversidad y de los recursos naturales y culturales en las áreas silvestres protegidas de la cuenca del río Lauca.

Se identifican tres áreas críticas para el manejo de los recursos naturales de la cuenca, correspondiendo al sector bajo del valle de Azapa, que incluye a la ciudad de Arica; los pequeños sectores cultivados dentro de la subcuenca de Tignamar y las áreas silvestres protegidas en el sector chileno de cuenca del río Lauca.

c) **Decreto N°202 de la Dirección General de Aguas, del 19 de mayo de 1996.**

En este documento se declara zona de prohibición para nuevas explotaciones de agua subterránea en el acuífero del valle de Azapa en la Iª Región.

d) **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José" DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

El estudio consistió en la elaboración de una herramienta computacional orientada a la evaluación de los recursos hídricos para la cuenca del río San José. La herramienta construida consistió en modelos de operación superficial, de pronóstico, hidrogeológicos y de calidad de aguas subterráneas.

El modelo de operación del sistema Lauca-Azapa es una herramienta que fue diseñada para el análisis y planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales para determinar las recargas del acuífero que se originan en el uso del agua para riego en diferentes escenarios.

Los modelos de pronóstico fueron desarrollados para estimar los recursos de los afluentes a la laguna Cotacotani, de los aportes netos de las Ciénagas de Parinacota y de la cuenca del río San José.

Se elaboraron dos modelos hidrológicos de simulación independientes para determinar el comportamiento de los sistemas acuíferos asociados al Valle de Azapa y al sector costero de Arica, y a gran parte del sector altiplánico del río Lauca.

Por su parte, el modelo de calidad de aguas se desarrolló como una herramienta sencilla con carácter preliminar con el objetivo de representar los fenómenos de incremento de salinidad de los recursos subterráneos, tanto espaciales como temporales.

A partir de los resultados del modelo fue posible confirmar la sobreexplotación a la que se encuentra sometido el acuífero del Valle de Azapa, resultando previsible que continuará el descenso de los niveles de agua del subsuelo si se mantienen las explotaciones actuales.

Por otra parte, en virtud del comportamiento del sistema frente a la incorporación de nuevos derechos, es decir, de las disminuciones de los caudales actuales debido a la interferencia entre los propios pozos y al agotamiento del acuífero en algunos sectores, se estimó que no resulta conveniente realizar nuevas perforaciones en el mismo acuífero, por cuanto los aumentos netos en la disponibilidad de agua alcanzarían pequeñas magnitudes y períodos de seguridad reducidos.

Por esta razón se recomendó mantener el área de prohibición para nuevas explotaciones dictada recientemente, hasta que no se estudien detenidamente todas las solicitudes pendientes.

También se pudo constatar el fenómeno de salinización paulatina de las aguas subterráneas del Valle de Azapa, a causa del uso y reuso de las aguas, junto con la lixiviación de sales asociada a la percolación de riego, y del descenso sostenido de los niveles en los últimos años. De esta forma, se concluyó que se estaría en presencia de la contaminación difusa de las aguas subterráneas del valle.

Finalmente, se efectuó una estimación de la recarga del acuífero para un período que no era el de los últimos años, afectados fuertemente por una sequía en la parte alta de la cuenca del río San José y en la cuenca del río Lauca. Las probabilidades de excedencia del caudal medio anual afluente a la laguna Cotacotani se consideraron representativas en cierta forma de las características hidrológicas de la cuenca del río San José. En los años anteriores a 1988, la probabilidad de excedencia asociada fue de menos de 50 %, lo que significa que existían condiciones medias a húmedas. Luego, con el modelo se obtuvo el flujo de recarga total que entra al sistema acuífero del valle de Azapa para los años de la calibración (1988-1995). El valor a comienzos de dicho período, llega a ser del orden de los 750 l/s (210 l/s de recarga superficial total y 540 l/s por el flujo entrante subterráneo), cifra que se consideró como una estimación de la recarga representativa de condiciones medias a húmedas ocurridas antes de 1988 por los cursos superficiales. Esta magnitud presentó una marcada diferencia en relación a la recarga en condiciones de severa sequía, a partir de 1993 caracterizada como de 90 % de probabilidad de excedencia según la serie de caudales medios anuales de Cotacotani. La recarga total al sistema Azapa se redujo hasta menos de 400 l/s de acuerdo a los resultados del modelo.

## 2.5 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y LEGALES

Este acápite está destinado a la recopilación de los antecedentes relativos a la organización de usuarios, los derechos de agua y el marco institucional y legal asociado a los recursos hídricos del área en estudio. En estos estudios se señala la situación de la organización de usuarios y de los derechos de agua y se plantean las disposiciones legales de excepción que se aplican a la Iª Región en general y al área del río San José en particular.

### 2.5.1 Organización de Usuarios

- a) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID. DHV, INFOR, ICSA y BF, 1995.**

En este estudio se hace una revisión de la información disponible relativa a las organizaciones de usuarios en la cuenca del río San José.

Se especifica en el estudio que cada tipo de fuente de agua tiene su organización independiente, con excepción de los usuarios de agua subterránea que no necesitan constituir ningún tipo de organización en tanto el acuífero no haya sido declarado área de restricción.

Se indica que para efectos de la administración del agua, las áreas de riego de las subcuencas de cabecera se manejan independientemente del resto de la cuenca. En cada fuente, sean éstas vertientes o sectores de afloramiento de agua en el cauce, existe una comunidad de aguas, las que suman 88 en total. Estas han sido organizadas e inscritas por iniciativa de la DGA y, por la forma de constituir las, en un mismo acto se han reconocido los derechos y organizado la comunidad. Las vertientes del valle de Azapa están organizadas en comunidades independientes que cumplen adecuadamente las funciones que les corresponde dentro de su área de influencia.

En la administración del canal Lauca se pueden distinguir tres sectores. En el sector alto, desde la bocatoma en Cotacotani hasta la entrega a la central Chapiquiña, la administración está a cargo de la Dirección de Riego, la cual mantiene y opera ese tramo y la operación corresponde a EDELNOR. Las aguas posteriormente escurren por la quebrada Chapiquiña, el río Seco y el río San José, hasta ser captadas en la bocatoma Azapa. Desde ese punto se desarrolla el sector bajo del canal que es administrado y operado por COMCA (Comunidad de Aguas del Canal Azapa), organización en la cual se agrupan la totalidad de los usuarios del canal cuyos derechos fueron asignados por la Res. DGA 320 de 1989.

En esta cuenca no existe Junta de Vigilancia y por sus especiales características en cuanto a tamaño y origen de los recursos, cada fuente tiene una organización que suple las labores que deberían desempeñar la Junta de Vigilancia.

Se señala que el 90% de los pozos de aguas subterráneas son operados por ESSAT y el 10% restante es operado por agricultores principalmente. No se ha establecido una organización de usuarios para operar todo el acuífero.

### 2.5.2 Derechos de Aprovechamiento

- a) **"Diagnóstico de Pérdidas en Canales de Riego Lauca-Azapa. Iª Región". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1991.**

Se presentan en este estudio antecedentes sobre derechos de agua en la zona alta del valle del río San José. Se indica que con fecha 11 de agosto de 1988 se promulgó la Resolución de la DGA N° 320 en la que se constituyen los derechos de aprovechamientos consuntivos sobre las aguas del Canal Lauca a los usuarios en el valle de Azapa, en la zona alta del río San José, con un total de 2.166,44 acciones.

Se señala que poseen derechos sobre aguas del Canal Lauca, usuarios de los sectores Laco, Livilcar, Santuario de Las Peñas, Humagata y Ausipar entre otros.

Se indica además que los sectores de riego ubicados en la quebrada Murmuntane y Chusmiza no poseen derechos sobre aguas del Canal Lauca, alimentándose de recursos propios de sus quebradas, así como de eventuales descargas desde la salida del túnel de riego a través del sistema de compuertas existentes.

El estudio señala que la Organización Provisional de Usuarios del Canal Azapa (OPUCA) es el organismo encargado del manejo de las aguas provenientes del Canal Lauca.

**b) "El Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP, Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA, 1995.**

En relación a derechos de agua en el valle de Azapa, se especifica en este informe que ESSAT posee cuatro derechos legalmente autorizados de aprovechamiento de aguas, con una cantidad total de 463 l/s para extracción de aguas subterráneas en el área de la ciudad y el valle de Azapa. Además, se señala que ESSAT arrienda derechos de agua a parceleros y no tiene derechos de aguas tradicionales (derechos no inscritos en el Registro de Aguas del Conservador de Bienes Raíces).

En cuanto al riego, el estudio señala que el agua es extraída desde el río, vertientes y aguas subterráneas, basándose en los derechos legalmente constituidos y derechos tradicionales. Específicamente se indica que existen 22 derechos de agua legalmente constituidos y 11 derechos tradicionales.

Se especifica además que existen otros usos que presentan 5 derechos de agua legalmente constituidos y 4 derechos tradicionales, ambos de aguas subterráneas.

En relación a los derechos de agua para riego en el valle del río Lluta, se indica que la mayor parte de los derechos son sobre el recurso superficial. Legalmente constituidos existen 81 y por uso tradicional existe 1.

**c) "Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográfica. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID, DHV, INFOR, ICESA y BF, 1995.**

En el estudio se indica que los derechos de aprovechamiento en casi su totalidad están legalmente establecidos e inscritos y que copan las disponibilidades de agua, incluyendo las generadas en la cuenca como las del canal Lauca.

Se señala por una parte que en las subcuencas de cabecera existen 88 comunidades de agua con sus derechos inscritos según el artículo 188 del Código de Aguas, y que los usuarios de las vertientes de Azapa tienen sus derechos inscritos. También, se indica que los derechos de aguas subterráneas de los sondeos actualmente habilitados están reconocidos legalmente.

Asimismo, se indica que las aguas del canal Lauca se reparten entre los usuarios según lo dispuesto en la Res. DGA 320 de 1989, en donde se estableció el rol de usuarios y se dispuso la inscripción de estos derechos consuntivos. Además, existiría un derecho de uso no consuntivo para aprovechar en generación eléctrica en la Central Chapiquiña la totalidad del agua conducida por el canal Lauca. Este aprovechamiento se basa en el convenio celebrado entre la Dirección de Riego y ENDESA, para la construcción del canal y aprovechar la reserva de aguas constituidas a favor de la Dirección de Riego. Posteriormente los derechos de ENDESA fueron transferidos a EDELNOR.

Finalmente, se indica que se presentó en 1993 una solicitud por parte de EDELNOR y ESSAT para explotar agua subterránea en la cuenca del Lauca y conducirla por el canal Lauca. Según ésta, ESSAT tendría derechos consuntivos sobre el agua alumbrada y EDELNOR derechos no consuntivos sobre esas mismas aguas.

- d) **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

En este estudio se realizó una completa recopilación de los antecedentes sobre derechos de agua, tanto de aguas superficiales como subterráneas. Se incluyó tanto los derechos constituidos como los expedientes en trámite a la fecha del informe.

### 2.5.3 Marco Legal e Institucional

- a) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José". Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID. DHV, INFOR, ICSA y BF, 1995.**

En lo que respecta al marco legal, se señala en el estudio la existencia de disposiciones legales especiales referentes al uso y aprovechamiento de las aguas, suelos y vegetación para la Iª Región. Se mencionan por ejemplo:

- El Código de Aguas, el cual fue modificado en 1992, en el sentido que se requiere autorización expresa de la Dirección General de Aguas para explorar o efectuar nuevas extracciones de aguas de fuentes que alimenten vegas y bofedales, en terrenos públicos y privados.
- La Ley de Desarrollo de Desarrollo Indígena de 1993, establece disposiciones particulares para los Aymaras en la Iª Región para salvaguardar el dominio de sus tierras en pampas, cerros, pastizales y bofedales, entre otros. Del mismo modo, se protegen las aguas que surtan o se encuentren en las comunidades Aymaras.
- Para promover el desarrollo de la Iª Región, la legislación vigente dispone de bonificación a la inversión y reinversión productiva, a través del Fondo de Fomento y Desarrollo de las regiones extremas. Asimismo, se encontraría vigente hasta 1999 una bonificación por contratación de mano de obra para empresas del sector privado.
- En la legislación forestal, existen normas para limitar la corta de especies arbustivas y arbóreas, como son la llareta, el tamarugo y el algarrobo.
- En la tabla de costos especiales de forestación que publica anualmente la Corporación Nacional Forestal, de acuerdo al DL 701 de 1974, se establecen costos base más elevados para las plantaciones forestales de 100 y 400 plantas por hectárea en la Iª Región, como una forma de dar mayor incentivo a los propietarios que foresten pequeñas superficies de hasta cinco hectáreas anuales.
- A su vez, la cuenca del río San José se encuentra declarada zona fronteriza y en ella, toda concesión, permiso o contrato que otorguen los ministerios y servicios de la administración pública, fiscal, semifiscal, empresas autónomas del Estado y las municipalidades sobre bienes nacionales de uso público o fiscal, o que formen parte de su patrimonio, deberá tener autorización previa de la Dirección de Fronteras y Límites del Ministerio de Relaciones Exteriores.

El diagnóstico general del marco institucional general de los servicios públicos identifica a los Ministerios de Obras Públicas y de Agricultura como los que deberían formar parte de la unidad ejecutora, ya que cuentan con las atribuciones legales necesarias para la ejecución y seguimiento de las actividades del proyecto. Ambos ministerios cuentan con oficinas en la cuenca del río San José, con personal y medios relativamente adecuados para las funciones que desempeñan actualmente.

Se indica que las actividades que se proponga ejecutar deberán tener una adecuada coordinación con otras instituciones y servicios estatales que tienen funciones y atribuciones relacionadas con el proyecto en la Iª Región, entre las cuales se pueden mencionar la Intendencia Regional, La Secretaría Regional Ministerial de Agricultura, especialmente el Instituto de Desarrollo Agropecuario y el Servicio Agrícola y Ganadero, la Comisión Nacional de Riego, la Secretaría Regional de Planificación y Cooperación, en especial el Fondo de Solidaridad e Inversión Social y la Comisión Nacional de Desarrollo Indígena, las Municipalidades y el Ministerio de Relaciones Exteriores.

Se señala además, que en la zona también funcionan tres Organizaciones No Gubernamentales (ONG) que pueden participar en la ejecución de parte de las actividades del Proyecto.

#### **2.5.4 Catastros**

a) **"Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento". Ricardo Edwards Ingenieros Ltda., 1991.**

Este estudio se desarrolló con el objeto de condensar los antecedentes más relevantes de los estudios de catastros realizados por la DGA, para el período comprendido entre los años 1976 a 1990.

El área geográfica catastrada por el estudio comprendió desde la Iª a la IXª región, sin que ello signifique que todo este sector esté comprendido por los estudios realizados. En lo específico se analizaron a las cuencas del río Lluta y la del río San José o quebrada de Azapa.

De acuerdo al análisis realizado, la cuenca del río Lluta ha sido catastrada a partir del año 1978. Según el informe, el río Lluta cuenta con 259 usuarios, con una superficie de riego de aproximadamente 1.667,15 ha. Las organizaciones legalmente constituidas en esta cuenca están representadas por tres organizaciones y nueve usuarios, con un total de acciones de riego equivalente a 52,30 l/s. La infraestructura de riego está constituida por 47 canales.

En relación a la cuenca del río San José o quebrada de Azapa, la síntesis de catastro indica que la cuenca estaría conformada por 5 fuentes, correspondientes al río Tignamar, vertientes, río Belén, río Murmuntane y río Lauca, con un total de 87 canales.

Respecto al uso del agua, la cuenca cuenta con un total de 2.052 usuarios, con una superficie regada de aproximadamente 874,93 ha, sin incluir al río Lauca.

De acuerdo a lo indicado en el informe, las organizaciones legalmente constituidas en la cuenca corresponden a 2 en la quebrada de Azapa, que a su vez están constituidas por 29 usuarios con 70 derechos de agua.

b) **"Catastro General de Usuarios de Aguas de Cauces Ubicados en la Primera Región". Primera Etapa. DGA-MOP. CADE-IDEPE, 1992.**

Este estudio se desarrolló con el objeto de elaborar un catastro de los usuarios de aguas en los principales cauces de la Iª Región. El área de estudio comprende a las provincias de Arica y Parinacota, cuenca del río Lluta, Caquena, Ciénagas de Parinacota y algunas zonas de la provincia de Iquique, como quebrada Chiza, Sector de Sibaya de la quebrada de Tarapacá, Guasquiña, quebrada Soga y río Isluga en el territorio chileno.

Entre los sectores catastrados se incluye a las cuencas de los ríos Lluta y Lauca. En la cuenca del río Lluta se catastró todo el sector del río comprendido entre su nacimiento hasta la desembocadura en el Océano

Pacífico. En tanto en la cuenca del río Lauca, sólo se catastró el sector que se ubica en el extremo nororiental de la comuna de Putre, desde su nacimiento en la laguna Cotacotani hasta la frontera con Bolivia.

Como parte del estudio se incluye un reconocimiento de los canales y bocatomas con origen en los ríos, esteros, quebradas, lagunas y embalses. La descripción incluyó la ubicación geográfica y administrativa a nivel comunal, tipo de captación, material de construcción y estado de operación y conservación de las obras. Además, se incluyen levantamientos topográficos en aquellos sectores del área de estudio que no cuentan con cartografía disponible y se presentan encuestas de los usuarios de aguas agrícolas y no agrícolas del área del proyecto, respecto de superficie regada de los predios, sistemas y fuentes de riego, propietario, Rut, Rol y situación de derechos de agua.

Los resultados obtenidos se presentan en planos catastrales y en medios magnéticos.

c) **"Catastro de Usuarios de Aguas de Cauces Ubicados en la Primera Región". Segunda Etapa. DGA-MOP. CADE-IDEPE, 1994.**

Este estudio se realizó con el objeto de elaborar un catastro de usuarios de aguas de los cauces de la Iª Región. El área de estudio del proyecto comprende sectores de las provincias de Arica, Parinacota e Iquique.

Entre las zonas catastradas se cuenta la hoya del río San José donde se incluyen 10 sectores, los que corresponden a Lupica, río Chapiquiña, Timalchaca, Anoma, Moxuma, Pachama, Cosapilla, quebrada de Sascaman, río Coyaquilla y valle de Azapa. En el río Lauca se presenta el catastro a partir de la bocatoma del canal Lauca o Azapa y todos sus afluentes, hasta el límite internacional con la República de Bolivia. Para cada una de las áreas analizadas se consideraron los usuarios de aguas de ríos, esteros, socavones, vertientes, pozos, cauces de derrame y drenaje.

En lo específico el estudio presenta la caracterización de cada uno de los canales y bocatomas con origen en los ríos, esteros, quebradas, lagunas y embalses, incluidos en el área de estudio. Para cada uno de ellos se entrega un croquis con una descripción que incluye ubicación geográfica y administrativa a nivel comunal, tipo de captación, material de construcción y estado de operación y conservación de la obra. De igual modo se presentan antecedentes de los canales de vertientes y cauces de drenajes.

Adicionalmente, el estudio incluye levantamientos topográficos de aquellos sectores del área de estudio que no contaban con cartografía y encuestas de los usuarios de aguas agrícolas y no agrícolas del área del proyecto, respecto de superficie regada de los predios, sistemas y fuentes de riego, propietario, Rut, Rol y situación de derechos de agua.

Los resultados obtenidos se presentan en planos catastrales y bases de datos de los mismos. La cartografía catastral fue digitalizada en el software AutoCad y entregada al final del catastro en formatos DWG y DXF. En lo que respecta a los antecedentes catastrales, se entregan bases de datos, las cuales contienen la totalidad de las encuestas, memorias de cada fuente y canal, descripción de bocatomas e información base de los cuadros resumen de cada canal.

d) **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca río San José". DGA-MOP. Luis Arrau, 1997.**

En este estudio se realizó un catastro de las captaciones subterráneas del valle de Azapa y Arica. Para ello se consideró tanto la información contenida en estudios existentes como también los antecedentes obtenidos de la realización de una campaña de terreno para actualizar la información sobre la situación de las captaciones.

## 2.6 DESASTRES NATURALES ASOCIADOS A EVENTOS HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS

En este acápite se presentan los antecedentes recopilados que se refieren a los estudios sobre inundaciones, aluviones y sequías, ocurridos en la zona estudiada. Se consignan los estudios de diagnóstico, tanto cualitativos como cuantitativos, de los problemas asociados a las crecidas en el río San José, así como los relativos al diseño de obras de protección en el río Lluta. Se consigna también la información histórica disponible sobre crecidas y sus daños y la relativa a la escasez de agua en la zona.

### a) **"Proyecto para la Defensa del Valle de Azapa, Contra los Efectos del Invierno Boliviano". CONAF, 1977.**

Como objetivo general del estudio, se plantea la necesidad de proteger la ciudad de Arica ante las eventuales crecidas del río San José, con el fin de evitar o minimizar la destrucción de puentes por efectos erosivos y daños en bocatomas y canales de riego por la gran cantidad de sedimentos transportados por los flujos.

En el informe se presenta un diagnóstico de los problemas ocasionados por las crecidas del río San José determinándose las áreas críticas asociadas. En particular se toma como base una crecida del año 1973, debido a que sería la mayor en un período de 50 años. Se presentan para ésta las áreas más severamente afectadas y los daños registrados en el sector rural y urbano, acompañado de un análisis en el que se identifican los sectores inundables para crecidas de diferentes magnitud. Como resultado de este análisis se obtuvieron las áreas de riesgos de inundación, representándolas sobre fotogramas en escala 1:10.000 obtenidos en un vuelo de 1972 que sigue el curso del río San José.

Para el control de los sedimentos se plantea la necesidad de construir obras de retención de material grueso en un estrechamiento del río San José, en lo que constituiría el fin de la garganta de la hoya. Se incluye el dimensionamiento de estas obras.

Por otro lado, con el objeto de proteger y reforzar la ribera en aquellos puntos donde se producen rebases e inundaciones, se propone construir defensas ribereñas longitudinales y espigones, las que según la necesidad de protección, serían de 5 tipos: baterías de espigones, espigones individuales, diques transversales de gaviones y defensas longitudinales de ribera.

### b) **"Diagnóstico de Pérdidas en Canales de Riego Lauca-Azapa. Iª Región". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1991.**

En este estudio se realiza un breve análisis de las crecidas del río San José en el sector de Paradero. De acuerdo al informe entregado, la mayor crecida que se tiene conocimiento ocurrió durante el mes de enero de 1973, estimándose su caudal en cerca de 300 m<sup>3</sup>/s en la ciudad de Arica.

En el estudio se analiza la estadística de precipitaciones máxima en 24, 48 y 72 horas, que se encuentra en la investigación de "Eventos Hidrometeorológicos Extremos" (BF Ingenieros Civiles 1989) donde se aprecia que la precipitación que generó la crecida de enero 1973 correspondió a la máxima del período de 1962 a 1987. De lo anterior se concluye que la crecida de enero de 1973 correspondería a la mayor registrada, al menos entre los años 1962 y 1991.

### c) **"Situación de Recursos Hídricos Iª Región". DGA-MOP, 1992.**

En este estudio se presenta un diagnóstico de la situación de escasez de agua en las provincias de Arica y Parinacota al año 1992.

Se establece en el estudio que la provincia de Arica enfrentaba en el período 1987-1992 una escasez de agua, debido al déficit de lluvias en precordillera y altiplano trayendo graves reducciones del caudal. Las precipitaciones registradas en la zona presentan en dicho período un déficit de un 82% en la cuenca del río Lluta, de un 90% en el valle de Azapa y de un 62% en la cuenca altiplánica del río Lauca, respecto de los valores normales. Se indica que según los criterios técnicos de la DGA para calificar épocas de extraordinaria sequía, febrero 1992 es el primer mes en que el caudal de los ríos de la región ha bajado del umbral crítico.

Se menciona la existencia de problemas en algunas comunas de la región como son General Lagos, Putre, Arica y Camarones. El sector económico más afectado es la agricultura, sobre todo las siembras que tienen el peak de riego entre mayo y junio. La situación de sequía se resume en un mapa con la identificación de las zonas afectadas.

Para enfrentar la situación de sequía, el informe establece ciertas medidas básicas como son la formación de la Comisión Regional de Sequía y de comisiones provinciales de sequía.

Las acciones inmediatas que se proponen dicen relación con el agua para la bebida y el forraje para los animales. Se destacan las necesidades del mejoramiento de la distribución de agua, construcción de pozos y eliminación de pérdidas por infiltración en canales. Se proponen también acciones a mediano y largo plazo como son estudio de desalinización y reciclaje de aguas servidas.

Se concluye que es necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento para la región ya que la actual está haciendo crisis debido al fuerte aumento de las demandas de agua en los últimos años.

**d) "Estudio de Ingeniería de Proyectos de Defensas Fluviales en el río San José, Provincia de Arica. Iª Región". DIRECCIÓN DE VIALIDAD-MOP. Prisma Ingeniería, 1992.**

En este estudio se presenta un diagnóstico técnico respecto del comportamiento en crecidas del río San José, en el sector comprendido entre su desembocadura y 7 km aguas arriba. Además, se entrega el diseño a nivel de detalle de las obras de defensas fluviales para un tramo de 1 km de longitud.

Se consigna información obtenida de reuniones con pobladores ribereños afectados por desbordes del río San José. También, se hace una revisión de los antecedentes periodísticos sobre las crecidas más importantes ocurridas en este río desde 1959 a 1974. A partir de los trabajos de terreno llevados a cabo se realiza un detallado catastro monográfico de las obras existentes en el cauce para el tramo de estudio, las que corresponden a 6 puentes y 6 pasarelas peatonales.

En cuanto a la caracterización del cauce, se identifican los sectores críticos y no críticos con respecto a inundaciones, los que son presentados a través de un plano esquemático a escala 1:5.000. Se indica que los sectores considerados críticos se ubican entre los kilómetros 0,3 al 6,3 en donde los desbordes afectan a los sectores urbanos ribereños, fundamentalmente aquellos ubicados al costado sur en donde existe un conjunto de viviendas (Km 4,570 a Km 6,300). Se plantea que las extracciones de áridos, ha provocado alteraciones en el cauce, no siendo posible identificar ejes o tendencias de escurrimiento. Se destaca la alta inestabilidad de taludes sobre todo en la ribera izquierda.

De acuerdo a los problemas y sectores críticos identificados, se proponen soluciones para eliminar las inundaciones. Así, se indica que para los tramos localizados entre los Km 0,3 a 3,02 y Km 3,68 a 4,57, se requiere la rectificación y protección de taludes, materialización de protecciones para evitar socavaciones de fondo y regularización de secciones en tramos evidentemente estrechos. Para el tramo entre los Km 4,7 y 6,5 se indica la necesidad de realizar encauzamientos y la modificación del trazado de la quebrada Acha en el río San José.

En la etapa de prediseño se estudiaron distintas alternativas de obras, haciendo una selección de ellas en base a un análisis de tipo técnico económico. Basado en ello, se propone la construcción de un nuevo cauce para la quebrada Acha, la que descargaría sus aguas al río San José, aproximadamente en el Km 5,7. Dicha canalización eliminaría un sector de meandros que afecta a la carretera Panamericana y a la Población Nueva Esperanza.

e) **"Catástrofes en Chile 1541-1992". Urrutia R. y Lanza C., 1993.**

En este informe se presenta una reseña histórica de las catástrofes más relevantes ocurridas en Chile desde 1541 hasta 1992. En particular para la zona de Arica se hacen breves descripciones de los eventos catastróficos asociados a crecidas fluviales las cuales se resumen a continuación.

- Crecida de 1972: El llamado invierno altiplánico provocó lluvias torrenciales y aluviones en las provincias de Tarapacá, Antofagasta y Atacama. El río San José se desbordó, arrasando puentes, caminos y viviendas modestas en Arica; los aluviones de barro inundaron también el mineral de Sagasca, paralizándose las faenas alrededor de dos meses.
- Crecida de 1973: Intensas lluvias cayeron en la precordillera al interior de Arica, a partir del 13 de enero de 1973, provocando el desborde del río San José. Una verdadera avalancha azotó a la ciudad dejando centenares de casas anegadas o destruidas en los sectores adyacentes a la zona ribereña. El agua el barro también inundaron las dependencias de la sede en Arica de la Universidad de Chile, destruyendo laboratorios y oficinas. Los damnificados, más de quinientos, fueron trasladados a estadios, colegios y unidades vecinales por personal de Carabineros, del Ejército, de la Defensa Civil y Bomberos. La ciudad de Arica fue declarada "zona de calamidad pública".
- Crecida de 1976: En los últimos días de enero de 1976, fuertes lluvias azotaron el norte del país desde Arica hasta La Serena. Los desbordes del río San José provocaron inundaciones en poblaciones modestas de Arica. En el camino internacional de esta ciudad a Bolivia se dañó un puente a la altura del valle del río Lluta.
- Crecida de 1992: Entre el 23 y 25 de diciembre de 1992, fuertes marejadas afectaron a Arica, Antofagasta y Tocopilla. El inusual fenómeno climático obligó a cerrar los puertos y a suspender todas las actividades portuarias. Intensas lluvias hubo en la zona precordillerana de Arica, a partir del 24 de diciembre. Algunas localidades del sector alto de la precordillera en la Iª Región, quedaron aisladas, principalmente en el valle de Azapa. En los días siguientes, el frente de mal tiempo, conocido como "Invierno del Altiplano" continuó aumentando el caudal del río San José, que arrastró piedras, tierra y escombros por el centro de Arica, obligando a desviar el tránsito en algunos sectores.

f) **"Informe Situaciones de Riesgos en las Distintas Regiones del País". Ministerio de Obras Públicas, 1994.**

El informe tuvo como objetivo, presentar la información recogida a través de las Secretarías Regionales Ministeriales, respecto de lugares expuestos a situaciones de riesgos, con su población involucrada, los terrenos agrícolas inundables o erosionables y la infraestructura amenazada, además de la individualización de las obras que se requerirían para solucionar los problemas y costos de construcción aproximados.

Se señala que por su ubicación geográfica, la primera región presenta características climáticas especiales; lluvias en los sectores altiplánicos en verano y esporádicas precipitaciones en la costa en invierno. Estas últimas relacionadas con el fenómeno de la Corriente del Niño.

Se indica en el informe que las áreas vulnerables a las lluvias son las vías de accesos a los pueblos cordilleranos y las áreas urbanas de las ciudades de la costa. Se señala en particular que la ciudad de Arica presenta un alto grado de riesgo por cuanto las lluvias Altiplánicas generan caudales que llegan al mar a través del río San José que cruza la ciudad. Igualmente las precipitaciones que ocurren en la zona costera producirían daños debido a que la infraestructura urbana no está preparada para recibir y evacuar aguas lluvias. Se indican también los lugares que presentan situaciones de riesgo por aluviones o inundaciones en las zonas Arica, Zapahuira y Murmuntane.

Se concluye en el estudio que la Iª Región no presenta en el año 1994 situaciones de alto riesgo por aluviones o inundaciones que impliquen obras de primera prioridad. Además, se señala que no existen programas de inversiones sectoriales ni regionales destinados a estas materias.

g) **"Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca Río San José".  
Ministerio de Agricultura, Ministerio de Obras Públicas, BID, DHV, INFOR, ICSA y BF, 1995.**

En este informe se identifican y analizan en forma cualitativa y cuantitativa los problemas más relevantes que presenta el cauce, a lo largo de casi 70 km, y sus principales tributarios. Los problemas derivados de las crecidas de estos cauces afectan la zona urbana de la ciudad de Arica, y el sector agrícola y rural ubicado en el valle de Azapa.

Según los antecedentes presentados, la mayor crecida registrada en el río San José corresponde a la ocurrida en enero de 1973, la que produjo daños de gran magnitud en la región. Se indica que se registraron daños en puentes, inundaciones de poblaciones urbanas y áreas agrícolas, afectando zonas importantes de la ciudad de Arica. Seguidamente se presenta una descripción resumida de los principales problemas fluviales y los daños asociados a las crecidas más recientes, indicándose en forma esquemática la ubicación de los sectores críticos.

Se señala que las obras construidas recientemente en el cauce permiten la retención del sedimento grueso, la recarga de la napa freática y la defensa de riberas. Se indica que estas obras funcionan en forma adecuada ante crecidas normales, pero que no han estado expuestas a crecidas extraordinarias como la de 1973. También, se hace una breve descripción de las obras ubicadas en otros sectores como son Las Maitas, Sobraya, Puntilla de Cabuza y Ausipar, señalando que algunas de éstas se encuentran dañadas y con problemas de socavación.

En el informe se concluye que las obras existentes son insuficientes para la protección de los sectores críticos y que además, las defensas ya construidas requieren ser complementadas, recargadas y mantenidas, ya que varias de ellas no logran controlar las crecidas. Se determinó que las longitudes de los sectores críticos alcanzan 20,45 km para la ribera izquierda y 14,13 km para la ribera derecha. Por otra parte, existe un total de 5,87 km y 8,53 km con defensas fluviales para la ribera izquierda y derecha, respectivamente.

Por otro lado, se señala que de acuerdo a la información disponible en el MINVU, no existía a la fecha de elaboración del informe (1995) un nuevo plan regulador oficial para la ciudad que incorpore la identificación de áreas de riesgos. El vigente data de 1971.

Finalmente, el estudio propone soluciones para aminorar los daños provocados por las crecidas del río en el sector bajo de la cuenca, indicándose la necesidad de materializar una protección en la zona urbana de Arica en el sector del puente Saucache - Desembocadura, el desvío quebrada Acha, la defensa del Camino A-27 en el sector Alto Ramírez y Puntilla de Cabuza, la reparación de las obras fluviales y encauzamiento del río San José en el sector Alto Ramírez - Las Maitas y el encauzamiento del río San José en el sector de Sobraya. También, se indica la necesidad de implementar el sistema de alerta de crecidas para el río San José en Arica.

**h) "Estudio de Ingeniería, Diagnóstico y Diseño de Obras Fluviales en el Río Lluta". Dirección de Vialidad-MOP. En ejecución, 1997.**

Este estudio tiene como objetivo principal, realizar un diagnóstico del estado de las obras fluviales existentes en el río Lluta y el diseño a nivel de detalle tanto de nuevos proyectos como la reparación de aquellas obras que se encuentren deterioradas. A la fecha de realización de la presente revisión bibliográfica, este estudio no había sido adjudicado, contándose sólo con antecedentes de las Bases de Licitación.

Las bases del estudio señalan que la información disponible del río Lluta indica que las crecidas han afectado estructuralmente a las obras viales que corren junto al río y a los puentes que lo atraviesan. Por estas razones se han construido obras de defensa en los puntos más conflictivos, pero éstas han presentado importantes deterioros debido al paso de crecidas.

Se indica además que la Ruta 11 CH, debido a las crecidas del río Lluta ha presentado graves daños en sus puentes y vías, socavándose terraplenes con la pérdida de las carpetas de rodado y corte del camino. En los puentes se han producido socavaciones que han llegado a producir grandes descensos de los estribos. Las defensas construidas antes de la última crecida presentaron grandes deterioros y en algunos casos destrucción total de algunos de los espigones botaderos que se encontraban en la zona de obras. Se señala que los sectores que presentan problemas debido a las inundaciones del Lluta corresponden a los Puentes Santa Lucía (Km 5), Chacabuco (Km 20,5) y Poconchile (Km 26,2), una obra ubicada en el Km 18 y un tramo del río entre los Km 35 y Km 37 del río.

## **2.7 ASPECTOS AMBIENTALES**

Este acápite está dedicado a la recopilación de los antecedentes ambientales relevantes asociados a los recursos hídricos, entre los cuales se cuentan aquellos estudios de caracterización ambiental regional.

**a) "Plan de Manejo del Parque Nacional Lauca". CONAF, 1986**

En este estudio se da cuenta de las políticas de manejo y de desarrollo del Parque Nacional Lauca en un horizonte de 10 años a través de programas y subprogramas de manejo, y el desarrollo físico necesario para alcanzar los objetivos programados.

Como parte del estudio se entrega un diagnóstico del Parque en un contexto regional y local mediante el análisis de sus características naturales y culturales. Se incluyó en el diagnóstico antecedentes de los medios: biofísicos, socio-económicos e históricos culturales.

Finalmente, se da cuenta de los objetivos y directrices de acción del Plan de Manejo que contempla entre otros aspectos la identificación de áreas críticas en la unidad y los usos de agua existentes en ella.

**b) "Problemas Ambientales de la Región de Tarapacá" Iª Región. CONAMA, 1993.**

Este estudio contiene las conclusiones obtenidas en un conjunto de seminarios regionales, realizados con la participación de especialistas del sector público, del ámbito académico y de la comunidad en general, a objeto de perfeccionar el conocimiento sobre la problemática ambiental que afecta a esta región.

Los objetivos específicos de los seminarios regionales realizados consistieron en:

- Revisar, completar y reordenar los problemas ambientales detectados previamente en la Iª Región, con la finalidad de disponer de información actualizada.

- Analizar las características de los problemas ambientales identificados en la región.
- Establecer criterios locales para la definición de indicadores de calidad ambiental que permitan realizar un seguimiento de los problemas ambientales.
- Disponer de antecedentes que ayuden a la definición de principios para una política ambiental con énfasis en la incorporación del tema ambiental en las estrategias de desarrollo regional.

Como resultado de los seminarios, para los problemas ambientales identificados, se generó una base de datos que contiene antecedentes relativos a la priorización de los problemas ambientales según la importancia dada por los participantes; problemas ambientales según la posibilidad de intervención o control asignado por el grupo de participantes; localización geográfica de cada problema ambiental; identificación del sector o actividad principal que más se relaciona con cada problema; identificación del sector productivo a que se asocia el problema ambiental e identificación del recurso afectado (aire, agua, etc.); disponibilidad de información acerca de las instituciones que disponen de antecedentes relacionados con la problemática ambiental y grado de accesibilidad a las fuentes de información e indicadores que a juicio de los participantes, podrían ser útiles para evaluar la calidad ambiental.

En lo específico a las cuencas de los ríos Lluta, San José y Lauca el estudio indica que los principales problemas ambientales que afectan al recurso agua están relacionados con la contaminación de los cursos de agua superficial por diferentes fuentes como: plaguicidas, desechos sólidos y aguas servidas. Además se señala que otro de los problemas ambientales son la salinización de las aguas superficiales y aguas subterráneas.

En la Tabla 2.9, se presenta un resumen con los principales problemas ambientales identificados y su ubicación geográfica.

c) **"Análisis de Descontaminación y Embalse en río Lluta". DR-MOP. INGENDESA, 1993.**

El objetivo del informe es la realización de estudios básicos preliminares con el propósito de mejorar en alguna medida la calidad química de las aguas del río Lluta lo que sumado a un manejo técnico del recurso podría ayudar a mejorar la calidad de vida de los habitantes del valle.

Se presenta un resumen de los principales aspectos de la situación al año 1993 del medio donde se proyectan las obras para el mejoramiento de la calidad de agua para la zona del riego del valle del río Lluta. Para analizar los impactos ambientales se sectorizó el área de estudio, dividiendo el río Lluta en tres zonas: altiplánica, precordillera y baja.

**Tabla 2.9 Localización Geográfica de los Problemas Ambientales**

Problema Ambiental	Ubicación Geográfica		
	San José	Lluta	Lauca
Contaminación Bacteriológica de los cursos de agua superficial	X	X	X
Salinización de las aguas de regadío		X	
Contaminación de aguas por plaguicidas	X	X	

**Tabla 2.9 Localización Geográfica de los Problemas Ambientales (Continuación)**

Problema Ambiental	Ubicación Geográfica		
	San José	Lluta	Lauca
Salinización de las napas subterráneas por extracción excesiva de agua	X		
Contaminación de los ríos de precordillera por aguas servidas	X		
Contaminación de ríos y lagos por desechos sólidos provenientes de la actividad minera y turística			X

El análisis se presenta en forma separada para el medio terrestre, acuático y socioeconómico.

Para el medio ambiente terrestre se describe la zona del proyecto, clima, geología y geomorfología, características y uso de los suelos, turismo y recreación y la infraestructura existente.

Para el medio acuático se caracteriza la cuenca del río Lluta tanto desde el punto de vista de las precipitaciones como del régimen de caudales, mostrándose también algunos valores característicos de las concentraciones de contaminantes en las aguas del río. Se realiza una descripción hidrológica, pluviométrica y fluviométrica, y de calidad y uso del agua.

Finalmente en cuanto al medio ambiente socioeconómico se hace una descripción general de los aspectos sociales y económicos del área en estudio, incluyendo principalmente aspectos tales como salud, educación y equipamiento, y los aspectos económicos relativos a la producción, ingreso y mercado.

En base de las obras proyectadas y la descripción del medio ambiente se presenta una estimación preliminar de los efectos que produciría el proyecto en el medio ambiente. Para esto se analizaron los efectos derivados de la construcción y de la operación de las obras.

Se señala que en la zona precordillerana el impacto ambiental de la construcción de una presa consistirá fundamentalmente en una perturbación provocada por el ruido de los equipos, la extracción de material y disposición de desechos, etc. No se prevén efectos sobre la fauna porque se encuentra ausente en esta área. La vegetación afectada se limita a la zona donde se proyecta el embalse, estimándose que el efecto negativo será compensado por los beneficios ambientales de la presa.

Se indica que para la zona baja los impactos que provocaría la operación del embalse Chironta son numerosos. Un beneficio importante es la contribución a la solución del drenaje, el que permitiría un mejoramiento de la calidad de los suelos, además de reducir la presencia de los mosquitos que provocan la malaria. El mejoramiento de la calidad de los suelos permitiría elevar la rentabilidad de la agricultura y así mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector.

Desde el punto de vista de impacto ambiental se concluye que debido al aislamiento del área del proyecto y a la casi nula actividad humana que existe en ese sector, se prevé que los impactos negativos que se originan durante el proceso de construcción de las obras no tendrían ninguna influencia, en cambio el proyecto al mejorar las condiciones del suelo agrícola mejoraría sustancialmente la agricultura y por ende la calidad de vida de los habitantes del valle.

d) **"Diagnóstico de Pérdidas en Canales de Riego Lauca-azapa. Iª Región". DGA-MOP. BF Ingenieros Civiles, 1991.**

El objetivo de este estudio consistió en identificar, cuantificar y proponer soluciones que permitieran eliminar o reducir las pérdidas del recurso en el sistema Lauca-Azapa.

En relación al impacto ambiental que podría presentar la ejecución del proyecto, se considera que en la cuenca del río San José, entre los sectores de Paradero y la actual bocatoma del Canal Azapa, no hay población, y no existen derechos de agua otorgados, por lo que desde ese punto de vista el proyecto no debiera presentar inconvenientes.

En relación a la flora silvestre existente en el lugar, se dice que ésta se desarrolla casi exclusivamente en torno al río, por ser una zona en general carente de precipitaciones. Dicha flora, la cual consiste preferentemente, en espinos y diversos tipos de arbustos, resultaría dañada con el paso del tiempo, adoptando el valle características muy similares a las existentes aguas abajo de la actual bocatoma del Canal Azapa.

Se señala que la ejecución del proyecto tendría implicancias directas en los niveles de la napa subterránea producto de la menor infiltración de agua, por lo cual disminuirá la recarga del acuífero, y por ende, deberían bajar los niveles de las aguas subterráneas. Esto tendría efecto especialmente en las extracciones para agua potable, que en la zona baja del valle de Azapa realiza la Empresa de Servicios Sanitarios de la Primera Región.

e) **"Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Pavimentación Carretera Arica-Tambo Quemado Sector Parque Nacional Lauca". Ministerio de Agricultura, 1992.**

El informe tuvo como objetivo determinar los efectos que pudieran derivarse de la ejecución de la obra de pavimentación del tramo bifurcación Choquelimpie-Tambo Quemado y del camino internacional CH-11, sobre el medio ambiente y establecer las medidas mitigadoras o correctivas pertinentes.

Se evalúa el impacto ambiental que este proyecto podría provocar sobre los recursos naturales del Parque Nacional Lauca, inserto en el Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE).

El informe aborda los aspectos relativos a la definición y caracterización del ámbito de acción del proyecto, el análisis de éste, considerando una caracterización y descripción de las obras proyectadas y de las acciones asociadas de efecto ambiental, la evaluación del medio susceptible de impacto, y finalmente se establece la Evaluación de los Impactos Ambientales, determinando los criterios, métodos e indicadores de impacto, así como el análisis descriptivo de cada uno de los impactos que se predicen.

Como resultado del estudio se establece un plan de seguimiento y control ambiental del proyecto, el que tiene como objetivo obtener datos de carácter cualitativo y cuantitativo de factores como las fluctuaciones naturales (dinámica) de los recursos bióticos, valor y composición de los recursos biofísicos y culturales en situación pre-operacional y operacional del Proyecto y comportamiento de los recursos biofísicos y culturales en relación a las situaciones previstas para la operación del proyecto.

Tomando en cuenta especialmente los ciclos evolutivos y la capacidad de regeneración de determinados recursos naturales susceptibles de afectarse dentro del Parque Nacional Lauca, se recomienda en el informe un número de 5 años para el desarrollo del Plan.

- f) "El Estudio Sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". DGA-MOP. Agencia de Cooperación Internacional del Japón-JICA, 1995.

El objetivo del estudio consistió en determinar las fuentes necesarias para abastecer de agua potable a las ciudades de Arica e Iquique, mediante el desarrollo del agua subterránea existente en las áreas que circundan las ciudades.

Específicamente, en el estudio de impacto ambiental se estableció que el proyecto contribuiría al desarrollo económico de la ciudad de Arica y al mejoramiento de los niveles de vida de la población. Sin embargo, se reconoce que puede causar algunos impactos negativos en el medio ambiente.

Para la etapa de pre-construcción del proyecto no se identificaron impactos negativos puesto que en las áreas del proyecto no hay lugares históricos importantes, ni flora ni fauna. Para la etapa de construcción se identificaron como impactos negativos la vibración, ruido, polvo y perturbación del tráfico aunque son considerados de pequeña magnitud debido a que las áreas de proyecto están escasamente habitadas. Para la etapa de operación (extracción del agua subterránea), se visualizaron impactos sobre el nivel freático, la intrusión salina y descarga de aguas residuales. Aunque se consideró que no son efectos adversos significativos.

- g) "Consultoría Análisis Ambiental del Proyecto de Explotación de Pozos en Parque Nacional Lauca". I Región. DR-AMBAR. (1996).

Esta consultoría, cuyo carácter es el de un estudio ambiental preliminar, se realizó con el propósito de dimensionar las implicancias ambientales de la construcción y operación de los pozos construidos por la Dirección de Obras Hidráulicas (ex Dirección de Riego).

En este estudio se realizó un diagnóstico y descripción de las alteraciones que sobre los recursos vegetacionales, de fauna, paisaje, régimen hidrológico y socioculturales se producen por efecto de la construcción y operación de los pozos. En base a los antecedentes recopilados, se desarrolló una descripción por tipo de vegetación, fauna, propiedad y uso del suelo y una clasificación del territorio o sitio circundante al proyecto.

El estudio consideró una propuesta de medidas de mitigación, las potenciales repercusiones ecológicas y legales del proyecto respecto del aumento de la vulnerabilidad o deterioro de los recursos, y una verificación de las eventuales modificaciones de caudal sobre el río Lauca producto de la explotación de los acuíferos.

- h) "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José". DGA-MOP Luis Arrau, 1997.

En este estudio se efectuó un análisis de calidad de aguas, el que aporta información relativa a problemas ambientales relacionados a la contaminación de los recursos hídricos. En efecto, se señala que la temperatura de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, es más bien alta en el Valle del río San José, lo que reduce la capacidad del agua para disolver oxígeno limitando el desarrollo de vida acuática y disminuyendo la capacidad de autopurificación. Ello hace que las aguas del sistema sean muy sensibles a las descargas de aguas con contenidos orgánicos, ya sea de origen industrial o doméstico.

## 2.8 EXPERIENCIA INTERNACIONAL

En este acápite se presenta la información de experiencia internacional en torno a planes de manejo de cuencas en diferentes partes del mundo.

a) **"Declaración de Dublin Sobre el Agua y El Desarrollo Sostenible". 1992. Documento de Internet.**

La conferencia Internacional sobre el agua y el Medio Ambiente (CIAMA) celebrada en Dublín, Irlanda, el año 1992 hizo un llamamiento para que se dé un enfoque radicalmente nuevo a la evaluación, aprovechamiento y gestión de los recursos de agua dulce, lo que sólo puede conseguirse gracias a un compromiso político y a una participación que abarque desde las altas esferas del gobierno hasta las comunidades más elementales. Este compromiso deberá apoyarse en inversiones considerables e inmediatas, en campañas de sensibilización, en modificaciones en el campo legislativo e institucional, desarrollo de tecnología y en programas de creación de capacidades. Todo ello deberá estar basado en un mayor reconocimiento de la interdependencia de todos los pueblos y del lugar que les corresponde en el mundo natural.

Con el fin de invertir las actuales tendencias de consumo excesivo, la contaminación y las amenazas crecientes derivadas de las sequías y las crecidas, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.
- El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

Teniendo presentes estos cuatro principios rectores, los participantes en la CIAMA elaboraron recomendaciones que permitirán a los países afrontar sus problemas en materia de recursos hídricos en una amplia variedad de frentes. Los principales beneficios que se tendrían con la aplicación de las recomendaciones de Dublín son los siguientes:

- Mitigación de la pobreza y de las enfermedades
- Protección contra los desastres naturales
- Conservación y reaprovechamiento del agua
- Desarrollo urbano sostenible
- Protección del ecosistema acuático
- Solución de conflictos derivados de uso del agua

b) **"Plan de Acción Estratégica Para la Cuenca del Río Danubio". Documento de Internet.**

Este documento contiene el Plan de Acción Estratégico para el programa ambiental de la cuenca del río Danubio, el cual comenzó en 1992. Se compone de dos partes principales. En la primera se describen los objetivos, resultados esperados y acciones que se deben realizar, incluyendo el análisis de los problemas de financiamiento del plan, mientras que en la segunda se hace una descripción del medio ambiente en la cuenca del río Danubio y se examinan los problemas y soluciones en relación con los objetivos del Plan de Acción.

El Plan de Acción mencionado es el resultado de la primera fase de tres años del Programa Ambiental en la cuenca del Danubio. Da las orientaciones para alcanzar los objetivos de gestión integral del agua a nivel regional y de la gestión ambiental del río, según lo señalado en la Convención de Protección del río Danubio. También provee un método para apoyar la transición desde una gestión centralizada a una descentralizada basada en los mecanismos de mercado.

El Plan de Acción establece estrategias para resolver los problemas ambientales asociados al agua en la cuenca del río Danubio. Establece objetivos de corto, mediano y largo plazo y define una serie de acciones para alcanzarlos. Un objetivo de corto plazo debería ser alcanzado en un período de tres años, es decir en 1997. Un objetivo de mediano plazo debería ser alcanzado dentro de 10 años; es decir, para el año 2005. Una serie de acciones para alcanzar estos objetivos se describe para cada sector de análisis se proponen medidas considerando: autoridades públicas a nivel central, de distrito y local; compañías de agua potable municipales; industrias; el público en general y oficinas no gubernamentales; y compañías agrícolas y la comunidad campesina.

Las acciones descritas en el Plan serán implementadas a través de Planes de Acción Nacionales diseñados por los países de la cuenca del Danubio que participan del Programa Ambiental. Estos planes nacionales se consideran cruciales para la identificación de proyectos y constituyen por lo tanto una actividad de primera prioridad.

El Plan de Acción está dirigido a las autoridades gubernamentales a nivel nacional, regional y local que son responsables de la implementación de la Convención de Protección del río Danubio y de los programas de Acción Ambiental para Europa Oriental y Central. También son consideradas la industria, agricultura, organizaciones no-gubernamentales y la opinión pública. Las estrategias diseñadas tienen el propósito de ayudar a la toma de decisiones para la gestión de los recursos hídricos y para la recuperación y protección de áreas vulnerables y valiosas en la cuenca del río Danubio.

**c) "Programa de Manejo de la Cuenca del Río Fraser, Canadá". Documento de Internet.**

En este documento se presenta una breve síntesis del Programa de Gestión en la cuenca del río Fraser en Canadá. Este programa fue establecido el 26 de mayo de 1992 para promover la sustentabilidad ambiental, económica y social en la cuenca del río Fraser. El programa es encabezado por un Consejo compuesto por 19 miembros que incluye representantes de cuatro niveles de gobierno incluyendo población indígena, negocios, obreros, organizaciones no-gubernamentales y otros. El programa es financiado por los gobiernos federal, provincial y local.

En este documento se señala que la visión del programa es la sustentabilidad conjunta y la misión es promover y fomentar el desarrollo e implementación de un programa de gestión, que asegure la sustentabilidad ambiental, económica y social en la cuenca del río Fraser. Para el consejo, sustentabilidad significa administrar las actividades de forma que exista un equilibrio entre las consideraciones sociales, económicas y ambientales para satisfacer las necesidades de la generación presente y futura.

El mandato del programa se expresa por medio de cinco objetivos: facilitar la coordinación; proveer liderazgo en el desarrollo de instituciones; fomentar actitudes públicas, percepciones y un comportamiento que apoye la sustentabilidad; verificar el progreso en sustentabilidad en la cuenca y, hacer recomendaciones sobre prioridades para programas y financiamiento.

El cumplimiento del mandato por parte del Consejo se realiza trabajando conjuntamente con todos los sectores interesados en la cuenca. El rol principal del Consejo no es concebido como una instancia de financiamiento, implementación, legislación, regulación o administración, sino más bien como un promotor y facilitador.

Los objetivos del programa son:

- a) Fomentar la conservación, mantención y reforzar la biodiversidad ecológica y productividad de los procesos naturales y ecosistemas en la cuenca.

- b) Promover el uso responsable y cooperativo, y administrar los recursos de la cuenca para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
- c) Promover una vida saludable, próspera y dinámica para la comunidad, donde se necesite y se conozca.
- d) Promover el desarrollo equitativo y planificado, y la distribución regional de la actividad económica y social para asegurar el desarrollo sustentable de la cuenca.
- e) Mejorar y apoyar el desarrollo de instituciones gubernamentales y no-gubernamentales y sus relaciones.

En el documento se indica que el Plan de la Cuenca contiene una descripción de lo que se requiere tanto en el corto como en el largo plazo para asegurar el desarrollo sustentable de la cuenca. Este Plan de la Cuenca se compone de las siguientes partes: la primera se denomina cuenta regresiva para la sustentabilidad; la segunda contiene información básica sobre la cuenca y el consejo de gestión; en la tercera se presentan objetivos y estrategias para cada una de las siguientes componentes: entendimiento de la sustentabilidad, cuidado de los ecosistemas, reforzamiento de las comunidades y mejoramiento de la toma de decisiones; la cuarta se refiere al proceso de implementación del Plan; la quinta contiene el plan de acción de 5 años y, la sexta y última parte, en que se presentan los principios de sustentabilidad.

- d) **Nueva Política de Aguas, Buenas Noticias para la Industria Desalinizadora Española. Carl Myers. Revista World Water And Environmental Engineering, 1996.**

En este documento se comenta la nueva política de aguas de España anunciada en septiembre de 1996. Entre los conceptos que se destacan se encuentra el de las soluciones a los problemas de gestión del agua debe contar con la participación de todos los sectores, quienes deben tener la posibilidad de hacerlo y ser responsables de las soluciones que se adoptan. También se señala que el agua no debe ser tratada como un recurso infinito y destinado a satisfacer la totalidad de las demandas, en forma ilimitada. Se señala que en España el uso intensivo de los recursos hídricos ha llevado a problemas crecientes asociados con la sobre-explotación del agua subterránea y de desertificación. La nueva política de aguas se fundamenta en buscar las soluciones que sean más aceptables a nivel local. El énfasis estará en el ahorro de agua, diciéndole el mal uso de los recursos, así como en la búsqueda de fuentes alternativas tales como aguas servidas y desalinización. En este aspecto se plantea que el gobierno actuará como un fuerte estímulo para la industria de la desalinización, fomentando la iniciativa privada.

- e) **Gestión de los Recursos Hídricos en Gaza. Carl Myers. Revista World Water And Environmental Engineering, 1996.**

Este artículo presenta un comentario sobre las estrategias de gestión de los recursos hídricos en la Franja de Gaza. En dicha región el agua es un bien escaso lo que impone una fuerte restricción al desarrollo económico, y debido a que los recursos de agua son compartidos por más de un país, los problemas de asignación, distribución y gestión, son de gran importancia. La Franja de Gaza se abastece de sus recursos hídricos de aguas subterráneas y, debido a la demanda actual, se señala que enfrenta el posible agotamiento de esta fuente en un período de diez años. La calidad del agua subterránea está afectada por el aumento del nivel de agua salobre debido a los altos niveles de extracción, intrusión marina, infiltración de aguas servidas, derrames desde plantas de tratamiento y percolación de fertilizantes y pesticidas. Para asegurar el abastecimiento sustentable de agua en el futuro se planea implementar medidas de conservación, reuso de aguas servidas, la recolección de aguas lluvia, el cambio de las prácticas agrícolas y el intento de captación de nuevos recursos de agua.

En este artículo se señala que aún con prácticas de conservación y mejor uso de los recursos el déficit no será suplido y se necesitará importar o desalinizar agua. Esta última opción se presenta como la más atractiva debido a las restricciones existentes tanto físicas como políticas.

## **CAPITULO 3**

# **DIAGNOSTICO DE LOS RECURSOS HIDRICOS**

### 3. DIAGNOSTICO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

Este capítulo contiene el diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del río San José basado en la caracterización tanto de las aguas superficiales como subterráneas y tomando en consideración cinco aspectos. Cada uno de ellos se trata en un acápite separado el cual es precedido por una introducción en la que se describe sucintamente su contenido.

El primer acápite contiene la caracterización de los recursos hídricos desde el punto de vista de su disponibilidad, en tanto en el segundo se caracteriza de la calidad de los mismos.

En el siguiente acápite se realiza la caracterización de los usos y demandas de agua para los distintos sectores de actividad económica a saber: riego, agua potable e industrial, hidroelectricidad y minería.

En el cuarto acápite se desarrolla un balance entre demandas y disponibilidad, para cada actividad económica, considerando tanto la situación actual como la situación futura.

Todo lo anterior se complementa con el acápite quinto el cual incluye una caracterización de los recursos desde el punto de vista legal y jurídico, abarcando tanto la situación legal asociada a los derechos de agua, como aquella vinculada a las organizaciones de usuarios existentes.

#### 3.1 DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS

Se caracteriza aquí la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, basándose en los antecedentes contenidos en estudios anteriores referentes a pluviometría, fluviometría, y de recargas y extracciones del acuífero. Lo anterior se complementa con un análisis de las sequías características de la zona de estudio.

La caracterización de los recursos hídricos superficiales se ha hecho sobre la base de antecedentes hidrológicos actualizados al año 1995-96 los cuales se han sintetizado en términos estadísticos sobre la base de curvas de variación estacional de los caudales medios mensuales, en puntos representativos e importantes de la cuenca.

En el caso de los recursos subterráneos, se describen las principales características de los acuíferos en términos de sus volúmenes medios mensuales de recargas y extracciones.

##### 3.1.1 Revisión Crítica de la Información Recopilada

La revisión crítica de la información disponible, se centró en los antecedentes relativos a estadísticas de caudales medios mensuales y anuales, y de niveles de aguas subterráneas consignados en informes anteriores.

##### a) **Antecedentes Fluviométricos**

A continuación se hace un análisis comparativo de los distintos antecedentes fluviométricos empleados en el presente estudio, incluyéndose además una breve discusión de la metodología utilizada en los estudios de donde se extrajeron dichos datos para efectuar correcciones, rellenos y extensiones de la información base.

La información consultada se encuentra contenida en los estudios de Alamos y Peralta-DR (1989), AC-DGA (1989), Prisma-DGA (1992), INGENDESA-DR (1993), JICA-DGA (1995), INGENDESA-DR (1995), CONIC-BF-DR(1995) y DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), y Arrau-DGA (1997), este último basado en CONIC-BF-DR (1995).

Al analizar y revisar de estos informes se concluye que en el estudio de Alamos y Peralta-DR (1989) se consigna la estadística de caudales medios mensuales de la estación Río Lluta en Tocontasi. Esta información se presenta para el período 1947 a 1975 y no se indican las metodologías utilizadas para completar, corregir o ampliar la información existente.

En el estudio de AC-DGA (1989) en tanto, se determinó una estadística de caudales medios mensuales en el período comprendido entre los años hidrológicos 1965/66 a 1988/89, para la estación de control fluviométrico Río San José antes Bocatoma Azapa (el año hidrológico fue definido entre octubre de un año y septiembre del siguiente). Se realizó una correlación lineal, considerando los caudales en la estación fluviométrica Central Chapiquiña y las precipitaciones en la estación pluviométrica Belén, localizada en el sector alto de la cuenca del río San José.

Por su parte el informe de Prisma-DGA (1992), indica que en este estudio se rellenaron, completaron y extendieron las series de caudales medios mensuales de diversas estaciones fluviométricas pertenecientes a las cuencas de los ríos Caquena, Lauca y Lluta, en el período comprendido entre los años hidrológicos 1960/61 a 1989/90 (el año hidrológico fue definido considerando el mismo período que en el estudio citado anteriormente). Este proceso se realizó en base a correlaciones con estaciones vecinas, ocupando aquellos meses con información superior a 20 días de registro. En la Tabla 3.1 se indican las estaciones utilizadas, junto a las que se emplearon como base en el proceso de relleno. Con las series de caudales obtenidas se realizó el análisis de consistencia de la información, en base a curvas doble acumuladas.

**Tabla 3.1 Estadísticas Fluviométricas Contenidas en el Estudio  
"Análisis Estadístico de Caudales de los Ríos de Chile Iª Región"  
Prisma-DGA (1992)**

CUENCA	ESTACION RELLENADA	ESTACION BASE
Río Caquena	Río Caquena en Vertedero	Río Lluta en Alcérreca
Río Lauca	Río Desaguadero en Cotacotani  Río Lauca en Japu (o en el Límite) Río Guallatire en Guallatire	Río Camarones en Conanoxa Río Lluta en Alcérreca Río Caquena en Vertedero Río Caquena en Vertedero Río Desaguadero en Cotacotani
Río Lluta	Río Colpitas en Alcérreca Río Caracarani en Alcérreca Río Lluta en Alcérreca Río Lluta en Tocontasi	Río Camarones en Conanoxa Río Camarones en Conanoxa Río Camarones en Conanoxa Río Camarones en Conanoxa

En el estudio de INGENDESA-DR (1993), por otro lado, se obtuvieron estadísticas rellenadas y ampliadas para el período comprendido entre los años hidrológicos 1961/62 a 1987/88 en diversas estaciones de control fluviométrico ubicadas en las cuencas de los ríos Lluta y Caquena (el año hidrológico fue definido entre noviembre de un año y octubre del siguiente). Los valores faltantes fueron corregidos en base a correlaciones con estaciones vecinas.

En la Tabla 3.2 se indican las estaciones consideradas junto a las que se utilizaron como base en el proceso de relleno como estaciones patrón.

**Tabla 3.2 Estadísticas Fluviométricas Contenidas en el Estudio  
"Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta"  
INGENDESA-DR (1993)**

CUENCA	ESTACION RELLENADA	ESTACION BASE
Río Lluta	Río Lluta en Alcérreca  Río Caracarani en Humapalca Río Colpitas en Alcérreca Río Lluta en Jamiraya Río Lluta en Tocontasi Río Caracarani en Alcérreca (*)  Río Azufre en Humapalca (**) Río Lluta en Panamericana	Río Lluta en Tocontasi Río Colpitas en Alcérreca Río Caracarani en Humapalca Río Lluta en Jamiraya Río Lluta en Alcérreca Río Colpitas en Alcérreca Río Lluta en Alcérreca Río Lluta en Puente Viejo Río Lluta en Tocontasi
Río Caquena	Río Caquena en Vertedero	Río Lluta en Alcérreca

- Notas: (\*) Los caudales de Caracarani en Alcérreca se determinaron como la diferencia entre Lluta en Alcérreca y Colpitas en Alcérreca  
(\*\*) Esta estadística se obtuvo correlacionando valores de aforos aislados

En el estudio de JICA-DGA (1995), se utilizaron directamente las series de caudales medios mensuales de diversas estaciones fluviométricas ubicadas tanto en la cuenca del río San José como en la del Lluta, sin efectuar correcciones, rellenos ni ampliaciones de la información registrada.

En el estudio más reciente, que es el efectuado por CONIC-BF-DR (1996), se corrigieron, rellenaron y ampliaron las series de caudales medios mensuales de diversas estaciones de control fluviométrico ubicadas en las cuencas de los ríos Lauca y San José. Los valores faltantes fueron rellenados mediante correlaciones con las series de caudales medios mensuales de estaciones vecinas, salvo en el caso de la estación Río San José antes de Bocatoma Azapa, en donde se incorporó un índice de precipitaciones calculado en base a los valores mensuales medidos en las estaciones de control pluviométrico Central Chapiquiña, Belén y Tignamar.

En la Tabla 3.3 se consignan las estaciones empleadas junto con aquellas utilizadas en el proceso de relleno como estaciones base o patrón por CONIC-BF-DR (1996). Las series se obtuvieron para el período comprendido entre los años hidrológicos 1967/68 a 1993/94 (el año hidrológico fue definido entre octubre de un año y septiembre del siguiente).

La cobertura de estaciones más extensa en el río Lluta es sin duda la alcanzada en el estudio INGENDESA-DR (1995). En dicho estudio se adoptaron las series de caudales obtenidas del estudio realizado por la misma empresa en el año 1993. No obstante, se agregó una descripción detallada de la metodología utilizada en el proceso de correlaciones, incorporando además un análisis de consistencia y de homogeneización de estadísticas.

El análisis de consistencia de INGENDESA-DR (1995) se realizó empleando curvas doble acumuladas, utilizando como base la estación Lluta en Alcérreca. Esta estación se consideró que posea información confiable luego de realizarle un análisis de sus curvas de descarga y además por presentar uno de los registros más completos. El proceso de homogeneización se realizó con el objetivo de verificar que no existieran aportes negativos

en las cuencas intermedias definidas entre puntos con estaciones de control, realizándose las correcciones pertinentes en caso de detectarse dichos aportes.

**Tabla 3.3 Estadísticas Fluviométricas Contenidas en el Estudio  
"Análisis Operacional del Sistema Lauca-Azapa, Iª Región"  
CONIC-BF-DR (1996)**

CUENCA	ESTACION A RELLENAR	ESTACION BASE
Río San José	Río San José antes Bocatoma Azapa (*) Acueducto Azapa en Bocatoma Descarga Central Chapiquiña (**)	Descarga central Chapiquiña Acueducto Azapa en Bocatoma Descarga Central Chapiquiña Río San José en Ausipar
Río Lauca	Río Desaguadero Cotacotani Bocatoma Canal Lauca Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3,3)	Salida Laguna Cotacotani Descarga Central Chapiquiña Descarga Central Chapiquiña

Notas: (\*) En la corrección de esta estadística se incorporó un índice de precipitaciones  
(\*\*) A esta estadística no se le efectuaron correcciones

En el estudio DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) se presentan series de caudales medios mensuales y anuales de las estaciones Río San José antes Bocatoma Azapa, Río San José en Puente Saucache, Descarga Control Chapiquiña y Canal Lauca en Bocatoma. Las dos primeras series fueron obtenidas del estudio elaborado por AC-DGA (1989) y actualizadas hasta el año 1991, utilizando la misma metodología consignada en dicho estudio. Los caudales registrados en la Descarga de la Central Chapiquiña fueron utilizados directamente sin efectuar correcciones. Además, estos valores fueron correlacionados con los registrados en la estación Canal Lauca en Bocatoma, utilizando la relación obtenida para completar esta serie.

Teniendo en cuenta la extensión y calidad de la información consignada en cada uno de los estudios anteriormente citados, para fines de caracterizar los recursos hídricos superficiales en el presente estudio se adoptaron las estadísticas que se detallan a continuación en cada una de las cuencas que se indican.

#### a.1) Río San José

De los estudios citados, sólo en los desarrollados por AC-DGA (1989), y DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), CONIC-BF-DR (1996), se presentan estadísticas rellenas y ampliadas para estaciones ubicadas en la cuenca del río San José. En todos ellos, la metodología utilizada en el proceso de corrección resulta similar, razón por la cual se adoptaron las series de caudales medios mensuales consignadas en el estudio con mayor y más reciente información, que corresponde al desarrollado por CONIC-BF-DR (1996). Se debe hacer notar que en ninguno de estos casos se realizaron correcciones a aquellos valores en que el caudal promedio fue obtenido con un número de días inferior al total del mes. No obstante, las dispersiones obtenidas al calcular el valor medio utilizando sólo meses con registros diarios completos resultan pequeñas, razón por la cual no se cometen grandes errores al suponer como valor medio mensual un caudal determinado con una cantidad de días inferior a los del mes.

#### a.2) Río Lauca y Lago Chungará

Para la cuenca del río Lauca se consignan series de caudales medios mensuales en los estudios desarrollados por Prisma-DGA (1992) DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), CONIC-BF-DR (1996) y . La metodología empleada en todos ellos es similar, razón por la cual, se optó por considerar las series de caudales

elaborados en el estudio más reciente. Bajo este criterio y dado que no siempre las series utilizadas son coincidentes, se adoptaron las empleadas en los estudios de Prisma-DGA (1992) y CONIC-BF-DR (1996).

### a.3) Ríos Caquena y Lluta

En las cuencas de los ríos Caquena y Lluta, los estudios que presentan información más reciente corresponden a los desarrollados por Prisma-DGA (1992) e INGENDESA-DR (1995), consignándose en el primero estadísticas con mayor extensión. En relación a la metodología utilizada, el estudio de INGENDESA-DR (1995) corrige algunas series de manera que no ocurran aportes negativos de la cuenca intermedia definida entre dos estaciones de control. Esta corrección, en algunos casos podría sobreestimar los caudales, situación que se observa al comparar los valores medios mensuales y medios anuales consignados en este estudio en relación con los de las series sin procesar o las del estudio de Prisma-DGA (1992). Esta sobreestimación alcanza, en el caso de las estaciones Lluta en Tocontasi y Caracarani en Alcérreca, a valores de 18% y 26%, respectivamente, mientras que en las otras series no supera el 10%. Teniendo en cuenta esta situación y dado la mayor extensión de las series presentadas en el estudio de Prisma-DGA (1992), estas últimas se consideró conveniente adoptar para el presente estudio.

En la Tabla 3.4 se presentan las estaciones fluviométricas para las cuales se dispone de series de caudales medios mensuales corregidos, rellenados y ampliados. Se indica además el período disponible y la fuente consultada.

**Tabla 3.4 Información Fluviométrica Seleccionada para la Caracterización de los Recursos Hídricos Superficiales**

CUENCA	ESTACION	PERIODO		FUENTE
Caquena	Río Caquena en Vertedero	1960/61	1989/90	Prisma-DGA
Lauca	Río Guallatire en Guallatire	1660/61	1989/90	Prisma-DGA
	Río Lauca en Japu	1690/61	1989/90	Prisma-DGA
	Bocatoma Canal Lauca	1967/68	1989/90	Prisma-DGA
	Canal Lauca en Sifón N°1 (Km 3,3)	1967/68	1993/94	CONIC-BF-DR
	Río Desaguadero Cotacotani	1967/68	1993/94	CONIC-BF-DR
San José	Río San José Antes Bocatoma Azapa	1967/68	1993/94	CONIC-BF-DR
	Acueducto Azapa en Bocatoma	1967/68	1993/94	CONIC-BF-DR
	Descarga Central Chapiquiña	1967/68	1993/94	CONIC-BF-DR
Río Lluta	Río Caracarani en Alcérreca	1960/61	1989/90	Prisma-DGA
	Río Lluta en Alcérreca	1960/61	1989/90	Prisma-DGA
	Río Colpitas en Alcérreca	1690/61	1989/90	Prisma-DGA
	Río Lluta en Tocontasi	1960/61	1989/90	Prisma -DGA

Teniendo en consideración el régimen típico de caudales de los distintos ríos de las cuencas en estudio, para fines de la caracterización de sus recursos de agua el año hidrológico fue definido entre octubre de un año y el mes de septiembre siguiente. Además, las estadísticas fluviométricas disponibles fueron actualizadas hasta los años hidrológicos 1994/95 o 1995/96 de acuerdo con la disponibilidad de información existente en cada caso. Se utilizó la misma metodología y resultados de correlaciones empleados en los estudios indicados. Estas series se indican en el Anexo 3.

**b) Antecedentes Pluviométricos**

En forma análoga a la presentación de la información pluviométrica hecha en el acápite precedente, se presenta a continuación una comparación y discusión respecto de los antecedentes pluviométricos existentes en los diversos estudios consultados. Estos corresponden a los estudios de ICC-CONIC-DGA (1982), DGA-MOP (1987), INYGE-DGA(1993), INGENDESA-DR(1993), INGENDESA-DR(1995), Arrau-DGA(1997).

La revisión y análisis de los antecedentes mencionados, permite concluir que en el estudio realizado por ICC-CONIC-DGA (1982), se consignan las series de precipitaciones mensuales rellenas de casi la totalidad de las estaciones pertenecientes a la red de control pluviométrico de la I<sup>a</sup> Región. Las series fueron rellenas utilizando módulos pluviométricos, incluyendo el período de registro de cada estación hasta el año 1981. En el estudio se definió el año hidrológico entre el mes de mayo de un año y abril del año siguiente, determinando en base a éste los valores de precipitación anual. Con los valores anuales se realizó un proceso de extensión y homogeneización de estadísticas en base a curvas doble acumuladas y con las series de precipitaciones anuales obtenidas, se determinó el valor medio para el período comprendido entre los años hidrológicos 1961/62 a 1980/81. Sobre la base de estos datos se confeccionó un plano de isoyetas medias anuales en escala 1:500.000 de la I<sup>a</sup> Región del país y otro en escala 1:250.000 de las cuencas altioplánicas del río Lauca y del lago Chungará.

Por otra parte en el estudio desarrollado por la DGA-MOP (1987), se presentan los valores de las precipitaciones medias anuales para el período 1961 a 1980, de diversas estaciones pluviométricas ubicadas en las cuencas en estudio. La corrección, ampliación y relleno de estadísticas se hizo a nivel mensual y anual mediante correlaciones, realizando además un análisis de consistencia de los valores anuales en base a curvas doble acumuladas. Utilizando la información generada, se construyó un plano de isoyetas de precipitaciones medias anuales para el período indicado.

Planos adicionales fueron confeccionados en el estudio desarrollado por INYGE-DGA (1993), en el que se adoptó como válido el plano de isoyetas medias anuales consignado en el estudio desarrollado por la DGA-MOP (1987). Además, se confeccionaron planos para isoyetas anuales asociadas a probabilidades de excedencia de 50%, 80% y 95%, para lo cual se trabajó con los registros de precipitaciones de estaciones ubicadas en la zona en estudio relleno los datos faltantes mediante correlaciones con estaciones vecinas. Se debe hacer notar que estas series no fueron corregidas ni extendidas y además no se les realizó un análisis de consistencia.

La información de precipitaciones consignada en el estudio realizado por INGENDESA-DR (1983), consiste en estadísticas de precipitaciones anuales para el período comprendido entre los años hidrológicos 1961/62 a 1990/91, utilizando diversas estaciones pluviométricas de la I<sup>a</sup> Región del país. El año hidrológico fue definido entre noviembre de un año y octubre del siguiente. La metodología empleada para rellenar corregir y ampliar la información faltante, es similar a la empleada en el estudio de la DGA-MOP (1987). Posteriormente esta información se utilizó en el estudio realizado por INGENDESA-DR (1995), confeccionando en base a ella un plano de isoyetas medias anuales para el período de información disponible.

En el caso del estudio realizado por Arrau-DGA (1997), se incluyen las estadísticas de precipitaciones mensuales para el período definido entre los años hidrológicos 1962/63 a 1994/95, de algunas estaciones pluviométricas ubicadas en las cuencas de los ríos San José y Lauca. Los valores faltantes fueron rellenos utilizando módulos pluviométricos o correlaciones con estaciones vecinas. Además, se realizó un análisis de consistencia en base a la confección de curvas doble acumuladas, de manera tal de corregir, extender y homogeneizar la información.

En la Tabla 3.5 se presenta un resumen en donde se consignan las estaciones utilizadas por cada estudio y el valor de la precipitación media anual en el período de registro considerado en cada caso.

De los estudios revisados se concluye que aquellos realizados por ICC-CONIC-DGA (1982), DGA-MOP (1987), INGENDESA-DR (1995) y Arrau-DGA (1997), utilizaron una metodología similar para rellenar, corregir y ampliar la información fluviométrica. Por otro lado, en el estudio de INYGE-DGA (1993) sólo se corrigieron los datos faltantes considerando el período de registro disponible en cada estación.

Con respecto al período de información de las series analizadas, los estudios de la DGA-MOP (1987) e INGENDESA-DR (1995) abarcan una extensión de 20 y 30 años, respectivamente, mientras que el de Arrau-DGA (1997) considera los últimos 33 años. No obstante, el número de estaciones considerado en este último es más reducido, concentrándose sólo en las cuencas de los ríos San José y Lauca.

Por otro lado, al comparar los valores medios anuales consignados en los estudios de ICC-CONIC-DGA (1982) y la DGA-MOP (1987), no se aprecian variaciones significativas. Si se comparan los valores dados en el estudio de la DGA-MOP (1987) (período 1961/62 a 1980) con aquellos del estudio de INGENDESA-DR (1993) (período 1961 a 1990/91), se observa que en el caso de la cuenca del río Caquena y la subcuenca del Lago Chungará existen leves incrementos, los que no superan el 10%. En las cuencas restantes en tanto, se aprecia una tendencia mayoritaria a la disminución de las precipitaciones, que en promedio alcanza 12%, con valores extremos de hasta un 23%. Hay que señalar que en este análisis no se consideró la parte baja de las cuencas de los ríos Lluta y San José dado que producto de la escasa precipitación registrada en esta zona, cualquier cambio ocasiona una variación porcentual importante. Las variaciones arriba señaladas se presentan fundamentalmente en la cuenca del río Lauca y en la parte alta de la cuenca del río Lluta.

Con respecto a la información consignada en el estudio realizado por Arrau-DGA (1997), se aprecian variaciones significativas en el promedio anual de las precipitaciones registradas en las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca del río San José, registrándose variaciones que fluctúan entre un 12% y un 40% al compararlos con el estudio de INGENDESA-DR (1995). En el caso de las cuencas altiplánicas las variaciones son mínimas.

Las variaciones indicadas entre los estudios analizados, pueden ser atribuidas al hecho que consideran períodos de estadísticas diferentes, según la fecha de elaboración de las mismas, lo que se traduce en variaciones en el trazado de isoyetas.

En relación a estos trazados de isoyetas, cabe comentar que no se aprecian mayores diferencias entre los planos consignados en los estudios de ICC-CONIC-DGA (1982) y de la DGA-MOP (1987). Sin embargo, al comparar estos planos con los del estudio de INGENDESA-DR (1995), se notan algunas variaciones, especialmente en el sector alto de las cuencas de los ríos Lluta y San José. Estas variaciones se deben a que el último estudio incorpora un período de información más extenso y actualizado.

En consideración a todo lo explicado precedentemente, para efectos de caracterizar las precipitaciones anuales, en el presente estudio, se adoptó como válido el plano de isoyetas medias anuales consignado en el estudio de INGENDESA-DR (1995). No obstante, se realizaron algunas correcciones en el sector alto de la cuenca del río San José, de manera de incorporar los nuevos antecedentes disponibles en el estudio Arrau-DGA (1997). Por otra parte, las series de precipitaciones adoptadas fueron aquellas obtenidas en el estudio realizado por Arrau-DGA (1997) y del estudio de ICC-CONIC-DGA (1982) actualizados en base a los registros de la DGA. Estas corresponden a las precipitaciones registradas en las estaciones Arica, Codpa, Belén, Putre, Chucuyo Carabineros, Visviri y Cotacotani. Estas estaciones fueron consideradas representativas de las cuencas en estudio, tanto por su ubicación geográfica como por la longitud de sus registros históricos mensuales. Las estadísticas de precipitaciones mensuales y anuales se actualizaron en base a los registros disponibles hasta fines del año 1995 y se consignan en el Anexo 3.

Tabla 3.5 Precipitaciones Medias Anuales (mm)

CUENCA	ESTACION	ALTITUD (m.s.n.m)	ICC- CONIC (1)	DGA (2)	INGENDESA (3)	INYGE (4)		ARRAU (5)
						Precipit.	Período	
Río Caquena	Visviri	4.070	306,7	306,6	314,6	364,3	(1974-1990)	
	Caquena	4.400	315,1	317,6	347,3	350,7	(1976-1990)	
Río Lauca	Chungará Retén	4.400	331,0	331,0	340,0	345,4	(1962-1990)	320.0
	Chungará Ajata	4.418	345,6	345,6				
	Chungará	4.420						350.6
	Isla Blanca	4.500	258,6	259,1				
	Cotacotani	4.500	378,2	378,9	398,9	391,9	(1960-1990)	396.4
	Cotacotani							387.9
	Chucuyo	4.200	338,3	338,2	339,6	335,7	(1961-1990)	337.4
	Carabineros	4.390	394,1	394,0	372,5	333,0	(1983-1990)	
	Parinacota	4.500	440,0	439,9				
	Cotacotani en	4.278	345,6	344,8	267,4 (*)	318,6	(1969-1990)	
	Desagüe	4.140	276,5	319,1	281,6			
	Guallatire	3.750	61,9	62,4	72,6 (**)			
Chilcaya								
Puquíos								
Río Lluta	Villa Industrial	4.060	374,7	337,1	333,6	350,8	(1975-1990)	
	Humapalca	3.970	373,6	306,0	254,3	321,9	(1972-1990)	
	Alcérreca	3.990	193,5	193,6	253,2	245,1	(1972-1990)	
	Putre	3.530	237,7	237,7	184,9	167,0	(1976-1990)	
	Central Retén	1.481	2,6	2,6	2,0 (**)			
	Lluta	290	1,0	0,4	0,2 (**)			
Río San José	Murmuntane	3.280	152,2	150,7	186,8	168,1	(1966-1990)	131.5
	C. Chapiquiña	3.280	197,6	195,5	164,1	148,2	(1975-1990)	146.0
	Belén	3.240	149,7	148,2	154,3	121,5	(1975-1990)	109.9
	Tignamar	3.200	128,4	155,1	141,8			
	C.C.C. Chapiquiña	4.330	273,2	269,2				
	Chapiquiña	3.280	204,5	197,3	209,8			
	Azapa	250	1,2	2,3	0,6 (**)			
	Arica	27	1,1	1,1	0,8			
	Chaca	145	0,1	0,1	0,1			
	Codpa	1.800	13,4	13,4	11,9 (**)	13,7	(1969-1990)	

## Notas:

- (1) : Período 1961/62 a 1980/81. Valores según "Estudio de las Precipitaciones de la Región de Tarapacá". ICC-CONIC-DGA, 1982.
- (2) : Período 1961 a 1980. Valores según estudio "Balance Hídrico de Chile". DGA-MOP, 1987.
- (3) : Período 1961/62 a 1990/91. Valores según estudio "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta". INGENDESA-DR, 1995.
- (4) : Se indica período para cada estación. Valores según estudio "Análisis de los Recursos de Agua de la Iª Región". INYGE-DGA, 1993.
- (5) : Período 1962/63 a 1994/95. Valores según estudio "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del río San José". Arrau-DGA, 1997

(\*) : Valor ampliado en base a estación patrón

(\*\*) : Valor ampliado en base a correlación con otra estación

En la Tabla 3.6 se presentan las precipitaciones medias mensuales para el período 1962/63 a 1994/95 de estaciones seleccionadas, representativas de la zona en estudio, y los valores medios anuales correspondientes.

### c) Antecedentes sobre Sequías

Para caracterizar las sequías que han afectado la zona, se cuenta con la información disponible en el informe DGA-MOP (1992), en el cual se describen los problemas ocasionados por la sequía ocurrida en las provincias de Arica y Parinacota, durante el período comprendido entre 1987 a 1992. La descripción detalla los problemas acaecidos en las diferentes comunas de la zona en cuanto al abastecimiento de agua potable, impacto sobre agricultura y consecuencias sobre la generación de electricidad, todo lo cual se sintetiza en un plano donde se identifican las zonas afectadas por las sequías.

**Tabla 3.6 Precipitaciones Medias Mensuales y Media Anual (mm)  
Valle del Río San José y Zonas Vecinas  
Período 1962/63 a 1994/95**

Estación	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
Visviri	9,6	13,7	39,3	95,4	68,0	51,3	12,9	2,0	0,9	0,6	4,7	1,1	299,3
Cotacotani	8,2	17,7	55,7	116,7	96,6	72,3	14,5	2,4	2,0	1,6	5,0	3,8	396,4
Chucuyo C.	4,9	12,1	44,2	106,9	83,8	60,9	8,3	1,7	1,6	4,6	6,3	2,1	337,4
Putre	1,5	3,3	25,0	67,9	58,4	29,5	1,8	0,3	1,0	0,1	2,0	1,3	192,1
Belén	1,3	1,4	14,8	50,3	47,5	22,5	2,4	0,1	0,8	0,2	2,2	2,3	145,9
Arica	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	1,0
Codpa	0,1	0,4	0,5	4,7	4,6	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	12,3

Para fines del presente estudio, la caracterización anterior puede ser complementada con datos pluviométricos de la región. En efecto, se dispone de registros de las precipitaciones mensuales de las diferentes estaciones que existen en las cuencas del Lluta, San José y Lauca. Además, se cuenta con estadísticas de caudales medios mensuales para las estaciones de la zona. En base a esta información se estudió el comportamiento histórico de las series con el fin de identificar aquellos años en que han ocurrido eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente desde el punto de vista de las sequías.

Otros antecedentes consultados en relación a esta materia son los del estudio de Urrutia y Lanza (1993) en donde se hace una descripción de las sequías ocurridas en el país. Sin embargo, en ninguna parte de esta descripción aparece una referencia explícita o particular a la I<sup>a</sup> Región. Los casos que se mencionan son que han afectado a la región del Norte Chico hacia el sur.

### d) Antecedentes sobre Aguas Subterráneas

Para la caracterización de los recursos hídricos subterráneos se cuenta con la información contenida en los estudios descritos en el Capítulo 2: Edwards y Karzulovic-DGA (1981), Vera y Castillo (1982), Alamos y Peralta-DR (1989), AC-DGA (1989), Pérez-DGA (1990), INYGE-DGA (1991), AC-DR (1994), JICA-DGA (1995), AC-DR (1995), AC-DR (1996), Arrau-DGA (1997) y AC-ESSAT (1997).

Luego de analizar la información contenida en los informes antes indicados se concluye que los más adecuados para los fines de este estudio son los informes de Vera y Castillo (1982), Alamos y Peralta-DR (1989), AC-DR (1989), JICA-DGA (1995), Arrau-DGA (1997) que actualmente está en desarrollo y consiste en un modelo computacional hidrológico operacional del valle del río San José, el que no se encuentra operativo aún y AC-ESSAT (1997).

La elección de los informes anteriores obedece a varias razones. Por una parte los estudios del año 1997 son los más actualizados, y a la vez completos, ya que consideran todos los aspectos relacionados con las aguas subterráneas. Con estos informes es posible caracterizar de buena manera la problemática del río San José y el Lauca. Por otro lado, el único estudio que permite caracterizar la situación del río Lluta es el de la JICA-DGA (1995), además que complementa los antecedentes para el Valle de Azapa. Por último, el estudio de Vera y Castillo (1982) es el único disponible en el que se indican antecedentes de los pozos ubicados en la quebrada de la Concordia, zona limítrofe entre Chile y Perú.

Debe mencionarse que actualmente está en desarrollo el Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca del río San José, Arrau-DGA (1997), el que incluirá gran parte del acuífero del Lauca.

### **3.1.2 Cuantificación de Recursos Superficiales**

La caracterización de la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales se realizó en base al régimen hidrológico representado por las series de caudales medios mensuales y anuales disponibles en estaciones de control ubicadas en las cuencas en estudio, considerando como puntos de interés aquellos en que la longitud de los registros y calidad de la información existente permite disponer de estadísticas confiables y representativas de dichas cuencas. Entre estos puntos se encuentran las estaciones de control Río Caquena en Vertedero, Río Lluta en Tocontasi, Río San José antes Bocatoma Azapa, Bocatoma Canal Lauca, Río Guallatire en Guallatire y Río Lauca en Japu. La ubicación de estas estaciones y algunas estaciones pluviométricas empleadas para la caracterización de los recursos hídricos del área de estudio se presentan en la Fig. 3.1.

En los párrafos siguientes se señalan los criterios utilizados en la elección de los puntos de caracterización del recurso.

En la cuenca del río Caquena, la estación Río Caquena en Vertedero permite cuantificar los recursos superficiales disponibles propios de la cuenca debido a su proximidad al límite con Bolivia.

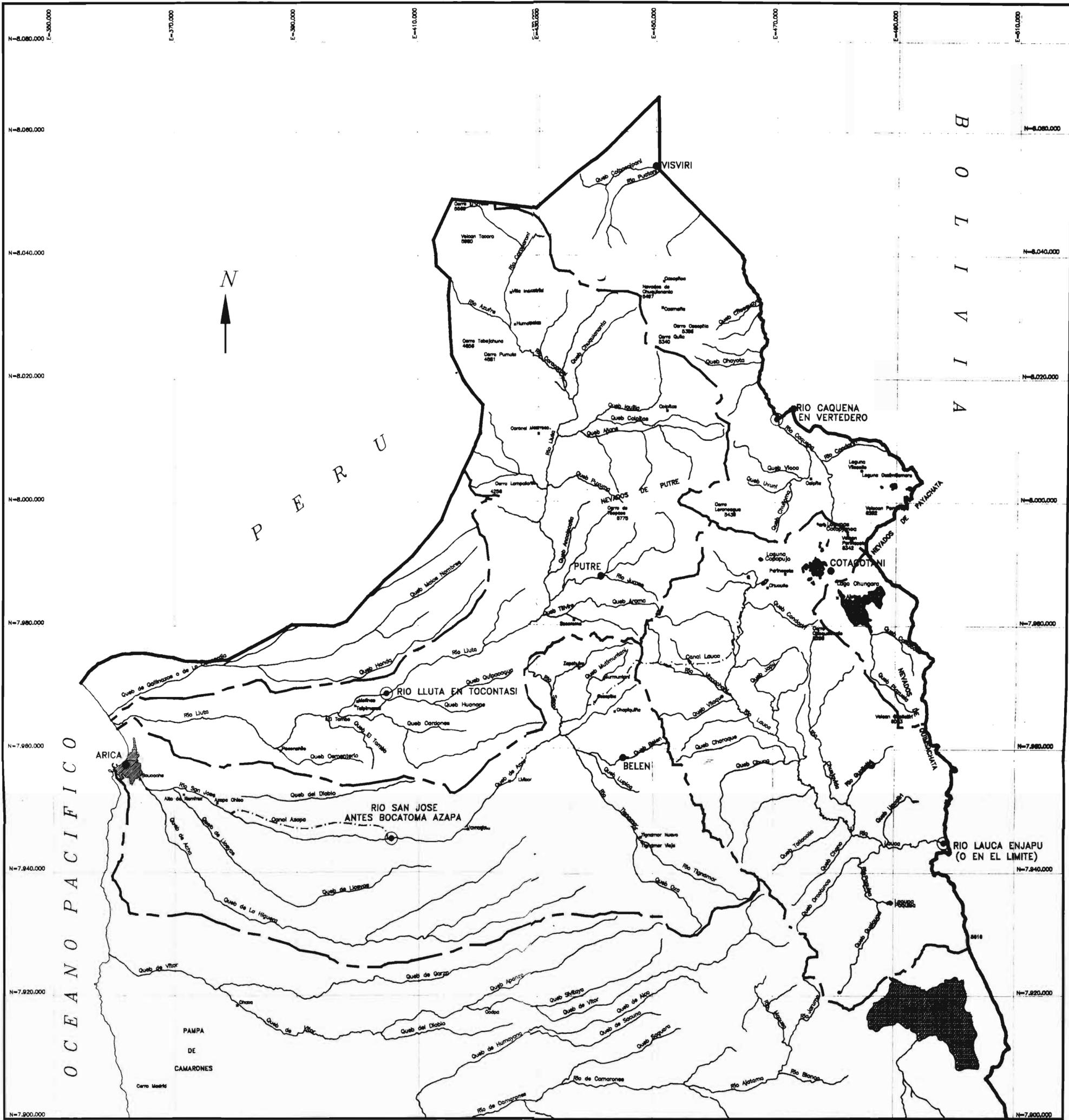
En el río Lluta se dispone de controles fluviométricos en los afluentes que lo originan, aguas abajo de la confluencia de éstos y en el sector medio de la cuenca. Para efectos de cuantificar la disponibilidad de los recursos de agua, se adoptó la serie de caudales medios mensuales de la estación río Lluta en Tocontasi, la cual se ubica en el sector alto de la cuenca, inmediatamente aguas arriba de la zona de riego, de manera tal que dichas estación no se encuentra influenciada por el uso consuntivo del recurso.

En la cuenca del río Lauca, la estación Bocatoma Canal Lauca, caracteriza los recursos de la zona alta de la cuenca, que a su vez corresponden a los trasvases hacia el río San José. La estación río Guallatire en Guallatire, por su parte, controla los aportes del principal afluente de la hoya intermedia, mientras que la estación río Lauca en Japu (o en el Límite) permite cuantificar los recursos no utilizados que ingresan al territorio boliviano.

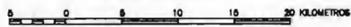
En el caso de la cuenca del río San José, la estación de control Río San José antes Bocatoma Azapa cuantifica la suma de los recursos propios de la cuenca hasta este punto, y de los correspondientes a los trasvases desde la cuenca del río Lauca. Dada su ubicación en el sector de inicio de la zona de riego en el valle de Azapa, permite caracterizar la disponibilidad de agua utilizada con fines de riego.

La disponibilidad del recurso superficial en cada uno de estos sectores se presenta en base a las curvas de duración del gasto medio mensual y anual, junto con las curvas de variación estacional definidas para distintas probabilidades de excedencia. Estas curvas aparecen indicadas en detalle en el Anexo 3.

Para el caso de la estación río Lauca en Japu, se presentan las curvas de duración y de variación estacional considerando la situación actual y la situación en régimen natural, reconstituida agregando a la estadística



ESCALA 1:500.000



**SIMBOLOGIA**

- LIMITE INTERNACIONAL
- LIMITE DE CUENCAS
- RED DE DRENAJE
- CANALES
- GENTROS POBLADOS
- ESTACION PLUVIOMETRICA
- ESTACION FLUVIOMETRICA

<p><b>AC INGENIEROS CONSULTORES</b></p> <p>ESTACIONES PLUVIOMETRICAS Y FLUVIOMETRICAS REPRESENTATIVAS POR CUENCA</p>	<p><b>PROYECTO:</b> PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DE RIO SAN JOSE</p>
<p>FECHA: JUNIO-1998</p>	<p>ESCALA: 1:500.000</p>
<p>FIGURA No: 3.1</p>	

medida, los caudales extraídos en la bocatoma del canal Lauca. Ello permite evaluar posibles usos futuros del recurso, alternativos o compartidos con los actuales.

En la Tabla 3.7 se consignan los caudales medios mensuales promedio en el período disponible en cada estación. En las Figs 3.2 a 3.5 se aprecian junto a dichos valores las curvas de variación estacional para las estaciones de control Caquena en Vertedero, Lauca en Japu, Lluta en Tocontasi y San José antes Bocatoma Azapa. Estas estaciones fueron elegidas para presentar la distribución típica de los valores estadísticos representativos de la disponibilidad del recurso en puntos significativos de la cuenca del río San José y otras tres cuencas vecinas: Caquena, Lauca y Lluta.

Como parte de la caracterización de los recursos de agua de la I<sup>a</sup> Región, y complementando la cuantificación estadística anterior en el presente estudio se ha confeccionado un plano actualizado de isoyetas utilizando la información detallada en el Punto 3.1.1 b), del período 62/63 a 94/95. El plano incluye además gráficos de distribución mensual de precipitaciones en las estaciones pluviométricas Arica, Codpa, Belén, Putre, Chucuyo, Cotacotani y Visviri, las cuales se consideran representativas de las cuencas en estudio. Además, con el fin de comparar el régimen de escurrimiento promedio se muestran las distribuciones de los caudales medios mensuales característicos de las estaciones indicadas en la Tabla 3.7. Se observa que existe una concordancia plena entre las distribuciones anuales de precipitaciones y de caudales, las que como ya se ha señalado, se encuentran altamente influenciadas por el invierno altiplánico.

La Tabla 3.7 permite apreciar que los mayores caudales se producen en esta región entre diciembre y marzo, que el estiaje se da típicamente en septiembre y octubre, y que los valores máximos ocurren principalmente en los meses de enero y febrero, principalmente. Ello se debe al efecto que sobre el régimen pluviométrico de la zona tiene el invierno altiplánico.

**Tabla 3.7 Caudales Medios Mensuales Promedios (m<sup>3</sup>/s)**

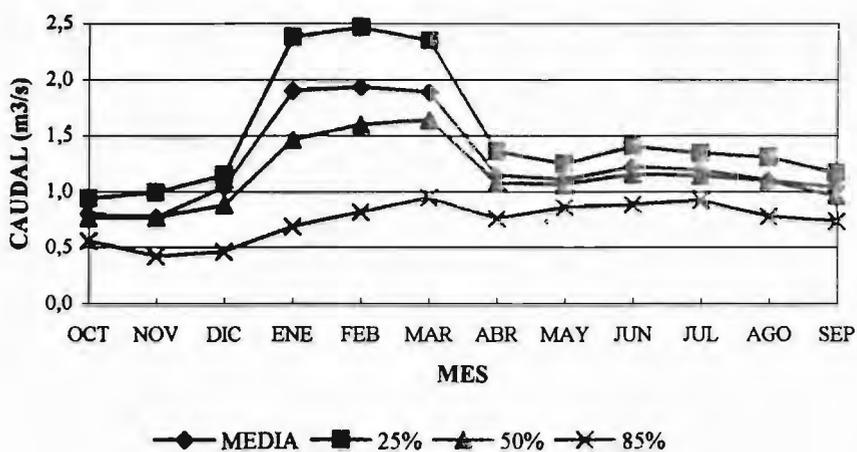
EST	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1	0,804	0,769	1,042	1,895	1,929	1,887	1,146	1,110	1,220	1,193	1,097	1,042	1,261
2	0,923	0,920	0,889	1,005	0,979	1,001	0,870	0,859	0,848	0,900	0,909	0,878	0,917
3	1,817	1,881	1,991	3,624	6,075	4,517	2,628	2,118	2,006	2,121	2,216	1,906	2,742
4	0,400	0,368	0,380	0,397	0,367	0,368	0,372	0,373	0,389	0,387	0,399	0,400	0,383
5	1,256	1,033	1,161	2,701	3,861	3,590	1,804	1,476	1,603	1,623	1,735	1,099	1,912
6	0,757	0,746	0,760	1,709	1,798	1,505	0,946	0,911	819	0,866	0,810	0,642	1,022

1. Río Caquena en Vertedero
2. Bocatoma Canal Lauca
3. Río Lauca en Japu (o en el Límite)
4. Río Guallatire en Guallatire
5. Río Lluta en Tocontasi
6. Río San José antes Bocatoma Azapa

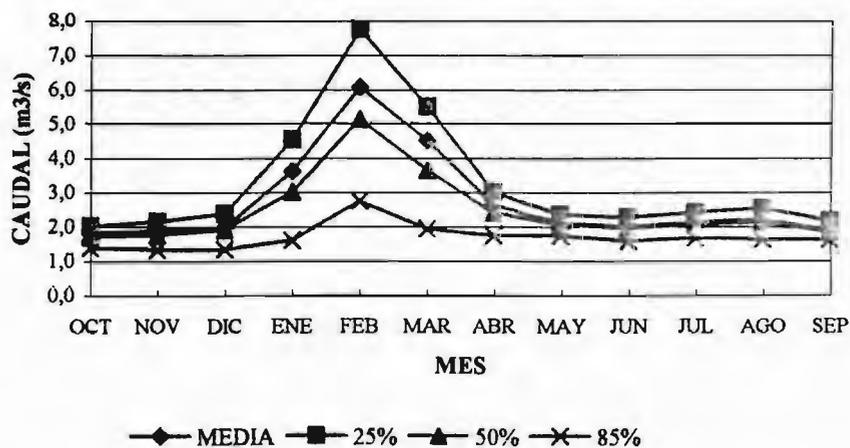
### 3.1.3 Comportamiento Histórico de las Series Hidrológicas

El análisis del comportamiento histórico de las series hidrológicas se realizó utilizando las estadísticas de precipitaciones anuales y caudales medios anuales registrados en las diversas estaciones de control consideradas representativas de las cuencas en estudio, según lo que se ha explicado en acápite precedentes.

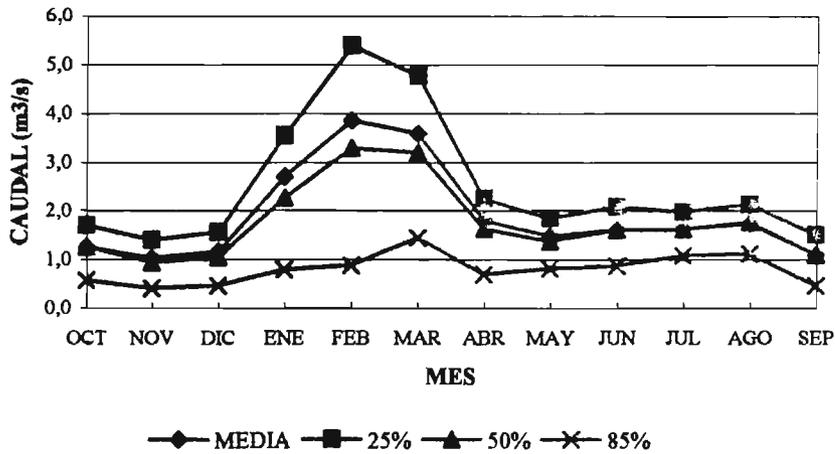
**Fig. 3.2 CURVA DE VARIACION ESTACIONAL  
RIO CAQUENA EN VERTEDERO**



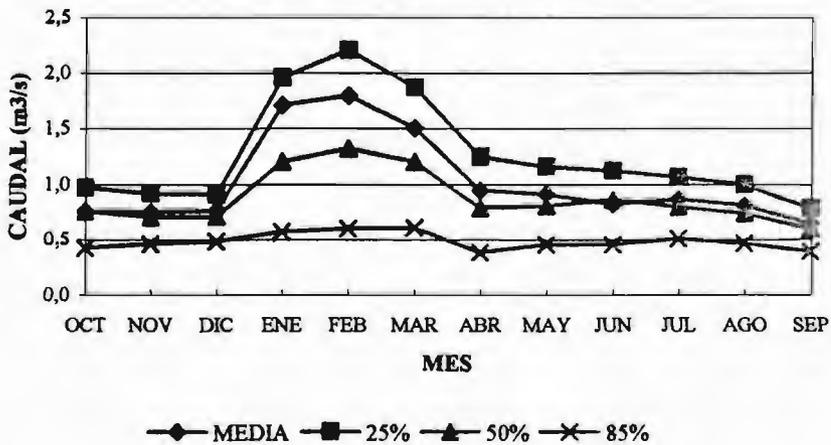
**Fig. 3.3 CURVA DE VARIACION ESTACIONAL  
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)**



**Fig. 3.4 CURVA DE VARIACION ESTACIONAL  
RIO LLUTA EN TOCONTASI**



**Fig. 3.5 CURVA DE VARIACION ESTACIONAL  
RIO SAN JOSE ANTES BOCATOMA**



Para la caracterización hidrológica de las cuencas se analizaron en conjunto series de caudales y precipitaciones disponibles en estaciones consideradas representativas de cada zona. Los pares de estaciones seleccionadas fueron la estación Belén y Río San José antes Bocatoma Azapa, Cotacotani y Río Lauca en Japu, Putre y Río Lluta en Tocontasi, Visviri y Río Caquena en Vertedero para las cuencas de los ríos San José, Lauca, Lluta y Caquena, respectivamente.

Para efectos de caracterizar el año hidrológico, se definieron distintos tipos de año de acuerdo a la precipitación total y según los caudales medios anuales registrados en las estaciones correspondientes. Se realizó un análisis comparativo respecto de los valores asociados a probabilidades de excedencia 20%, 40%, 60% y 80%, definiendo los tipos de años hidrológicos según los intervalos de clase que se consignan en la Tabla 3.8.

En la Tabla 3.9 se indican los valores de precipitaciones anuales asociados a distintas probabilidades excedencia, obtenidas del análisis de frecuencia realizado a las series consideradas. En forma análoga, en la Tabla 3.10 se consigna la misma información considerando las series de caudales medios anuales.

**Tabla 3.8 Definición de Años Tipo**

Año Tipo	Rango Probabilidad de Excedencia
Año Muy Seco	$80\% < P_{exc}$
Año Seco	$60\% < P_{exc} \leq 80\%$
Año Normal	$40\% < P_{exc} \leq 60\%$
Año Húmedo	$20\% < P_{exc} \leq 40\%$
Año Muy Húmedo	$P_{exc} \leq 20\%$

**Tabla 3.9 Análisis de Frecuencias Precipitaciones Anuales**

Estación	Altitud (msnm)	Precipitación Anual (mm)			
		20%	40%	60%	80%
Visviri	4.070	423	310	231	158
Cotacotani	4.500	513	432	361	279
Putre	3.530	277	197	141	87
Belén	3.240	221	146	98	57

**Tabla 3.10 Análisis de Frecuencias Caudales Medios Anuales**

Estación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)			
	20%	40%	60%	80%
Caquena en Vertedero	1,51	1,29	1,12	0,97
Lauca en Japu	3,34	2,86	2,49	2,11
Lluta en Tocontasi	2,52	2,09	1,73	1,31
San José antes Bocatoma	1,40	1,09	0,86	0,64

En las Figs. 3.6 a 3.9 se muestran por cuenca, en forma de diagramas de barra las series de precipitaciones anuales y caudales medios anuales. En cada gráfico se indican los valores asociados a las probabilidades de excedencia de 20%, 40%, 60% y 80%.

En estas figuras se observa que existe una coincidencia general en los tipos de años al considerar tanto los datos pluviométricos como fluviométricos, además de constatar un comportamiento histórico similar en las diversas cuencas en estudio. En efecto, se distinguen los períodos pluviales húmedos importantes acaecidos en la zona, los que corresponden a los períodos 1971, 1976 y de 1983 a 1988, teniendo este último niveles de precipitación menores. Se debe hacer notar que ellos coinciden en cuanto a las fechas de ocurrencia de crecidas de importancia en el río San José, tales como las de los años 1973, 1974 y 1987. Por ejemplo, puede tomarse el caso de los años 76 y 84, los que se clasifican como años húmedos o muy húmedos en lo que respecta a precipitaciones; en cuanto a los caudales se aprecia que el año 76 se clasifica, mayoritariamente, como húmedo o muy húmedo, y el 84 como normal.

En cuanto a los años de sequías se distinguen 3 períodos de bajas precipitaciones. Es así como entre 1964 y 1970 se observa un período normal a muy seco destacando los años 1965 y 1969 en que las precipitaciones son extremadamente bajas. Estos años coinciden con años declarados de sequía en el resto del país. Otro período de baja precipitación corresponde al período entre los años 1978 y 1982, destacándose el año 1982 como muy seco excepto en Visviri en que el ciclo es fundamentalmente normal a húmedo. Entre 1988 y 1992 se observa un tercer período de precipitaciones bajas, destacándose el año 1991 que se presenta muy seco en todas las estaciones, excepto Visviri que se presenta como año normal. Los años 82 y 89 varían entre secos y muy secos, con la excepción de la cuenca del río Caquena en que la precipitación corresponde a un año normal.

Con el objeto de analizar las tendencias seguidas por las precipitaciones y los caudales, se evaluaron los promedios móviles de 5 años, los que tienden a suavizar las variaciones interanuales, pero que mantienen las tendencias generales de las series. Los resultados obtenidos se presentan en las Fig. 3.10 a 3.13 para las distintas cuencas.

Al analizar las tendencias mostradas en las Figs. 3.10 a 3.13, se observa un comportamiento cíclico tanto en la series de precipitaciones como en las de caudales, apreciándose claramente que en los períodos móviles 71-75 a 78-82 y 83-87 a 87-91 se tiene una sostenida disminución en las precipitaciones y los caudales. Se observa además que en el último período de tiempo la situación se está revirtiendo, por lo que no se tendrían actualmente condiciones de sequía en la zona, a excepción quizás de la cuenca del Caquena.

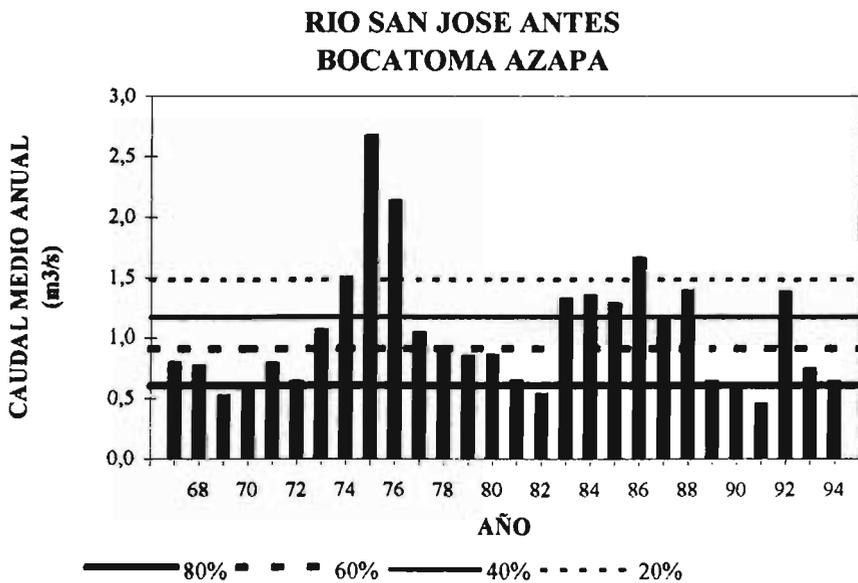
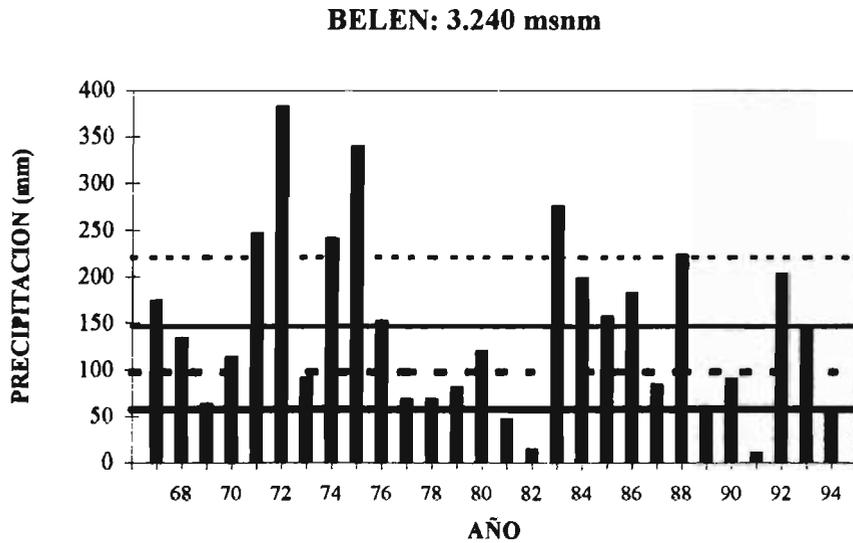
### **3.1.4 Cuantificación de los Recursos Subterráneos**

#### **a) Valle de Azapa, Río San José**

El análisis de los recursos hídricos subterráneos en el río San José que se presenta a continuación, se realizó tomando como base los antecedentes disponibles en los estudios de AC Ingenieros Consultores-DGA (1989), Arrau-DGA (1997), JICA-DGA (1995), además de información contenida en el informe "Estudio de Aguas Subterráneas Sector Costero Arica, 1ª Región" de AC Ingenieros Consultores para ESSAT (1997).

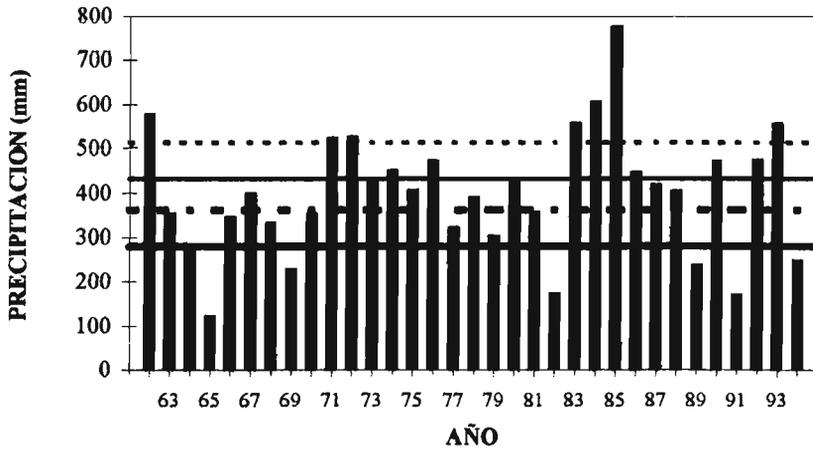
##### **a.1) Formaciones Acuíferas y Coeficientes Elásticos**

De acuerdo con el informe del Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca del Río San José, Arrau-DGA (1997), la ubicación y características de las principales formaciones acuíferas (zonas donde actualmente hay mayor nivel de explotación del acuífero y la zona de entradas al sistema) presentes a lo largo del valle pueden describirse como sigue. En la parte alta de la cuenca, en el área de Cabuza, el ancho del valle es del orden de 1.200 m, siendo en su parte más estrecha igual a 600 m. El espesor del acuífero, que es de tipo confinado, varía entre 50 y 60 m con intercalaciones impermeables de arcilla y sedimentos finos. Hacia aguas abajo,

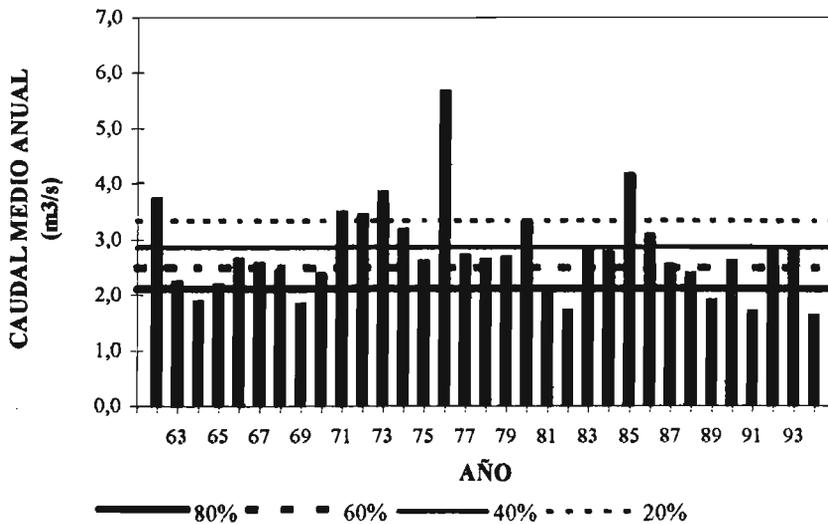


**Fig. 3.6 COMPORTAMIENTO HISTORICO DE  
PRECIPITACIONES ANUALES Y CAUDALES MEDIOS ANUALES**

**COTACOTANI: 4.500 msnm**

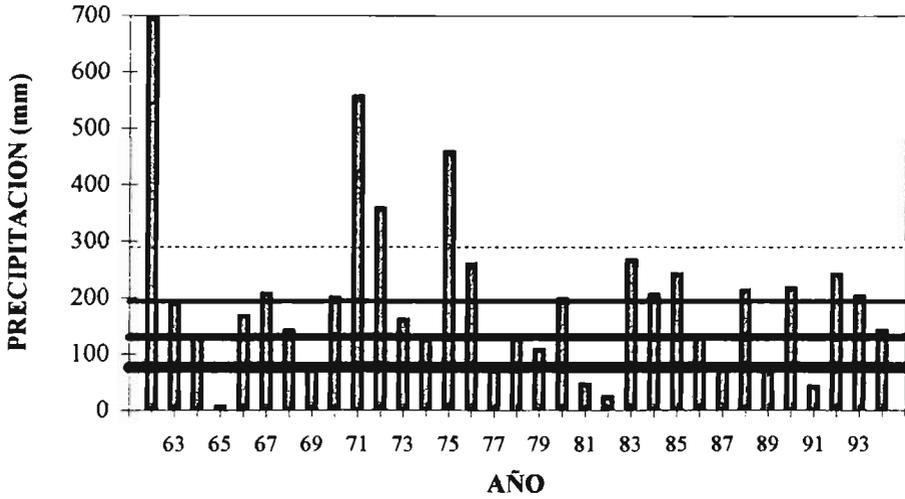


**RIO LAUCA EN JAPU  
(O EN EL LIMITE)**

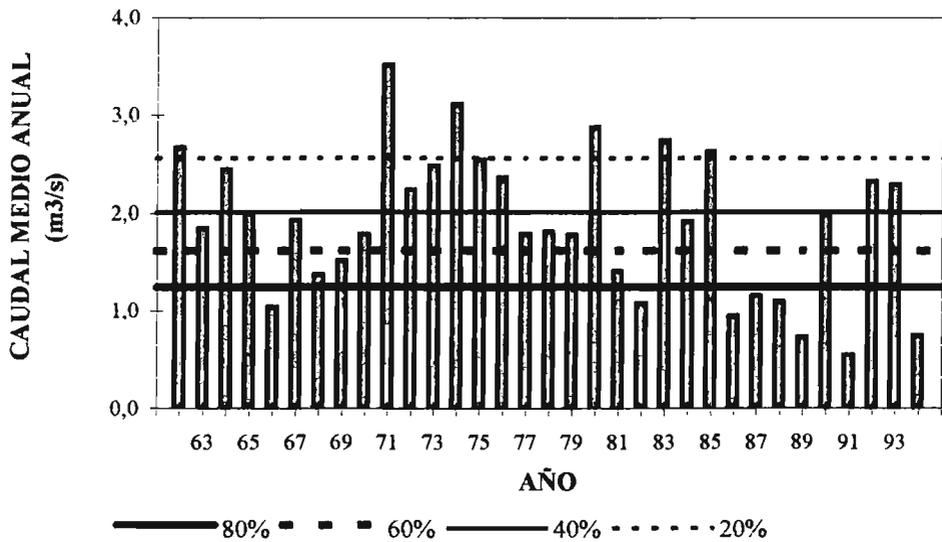


**Fig. 3.7 COMPORTAMIENTO HISTORICO DE PRECIPITACIONES ANUALES Y CAUDALES MEDIOS ANUALES**

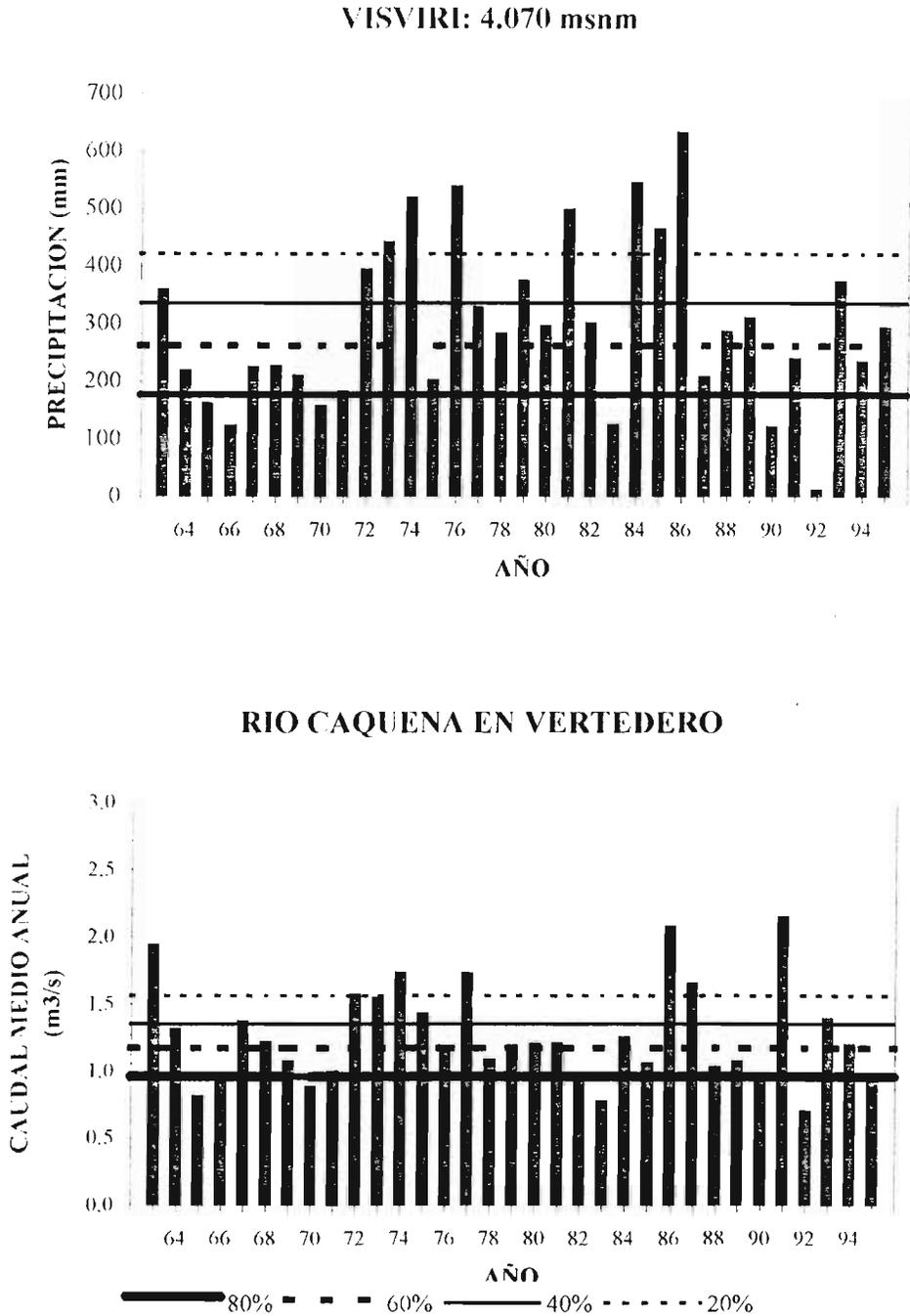
**PUTRE: 3.530 msnm**



**RIO LLUTA EN TOCONTASI**



**Fig. 3.8 COMPORTAMIENTO HISTORICO DE PRECIPITACIONES ANUALES Y CAUDALES MEDIOS ANUALES**



**Fig. 3.9 COMPORTAMIENTO HISTORICO DE PRECIPITACIONES ANUALES Y CAUDALES MEDIOS ANUALES**

en el área de San Miguel, el valle presenta un ancho de 1.200 m y un espesor del acuífero de 50 m el que, debido a un estrato impermeable, decrece a 35 m aproximadamente. Dado el alto nivel de explotación, se estima que el acuífero inferior ha visto reducido sus niveles a tal punto que puede no estar confinado en la actualidad. Más aguas abajo se ubica la zona de Pago de Gómez con un ancho similar al anterior, un espesor de 45 m y sin estratos impermeables regulares, por lo que se le considera como no confinado. Luego se ubica la zona de Saucache, zona en la que el acuífero aumenta su espesor a 55 m, manteniendo sus características de no confinado.

En relación a los parámetros elásticos, el sistema acuífero es caracterizado según se indica a continuación. En el sector de Cabuza se tienen altos valores de transmisibilidad (hasta de 3.000 m<sup>2</sup>/día), en tanto entre Cabuza y Las Riveras predominan valores en el rango de 1.500 a 2.000 m<sup>2</sup>/día. En el sector de San Miguel, ubicado hacia aguas abajo del anterior, se aprecia una mayor amplitud de valores debido a la heterogeneidad producida por la confluencia del río San José con la quebrada del Diablo, observándose en general una disminución de la transmisibilidad a valores comprendidos entre 150 y 300 m<sup>2</sup>/día. Entre San Miguel y Las Animas, por otro lado, predominan valores en el rango de 1.500 a 2.000 m<sup>2</sup>/día y hacia aguas abajo hasta Pago de Gómez, también se observa una dispersión de valores lo cual se debe a la singularidad hidrogeológica producida por la quebrada de Llosyas. Avanzando hacia el sector de Saucache se observa una disminución del coeficiente de transmisibilidad a un rango de entre 150 y 700 m<sup>2</sup>/día, reducción que se acentúa en el sector costero y hacia el norte de Arica hasta valores menores de 150 m<sup>2</sup>/día. Sin embargo, hacia el sur de la ciudad se alcanzan nuevamente valores mayores, comprendidos entre 700 y 1.500 m<sup>2</sup>/día al sureste de la ciudad y entre 300 y 700 m<sup>2</sup>/día hacia el suroeste de la misma.

Los resultados del estudio de la JICA-DGA (1995) tienden a confirmar la sectorización por rangos de transmisibilidad antes descrita, proveniente del estudio de Arrau-DGA (1997). En el sector de Saucache el estudio de la JICA-DGA (1995) adopta un valor promedio de 1.200 m<sup>2</sup>/día y en la zona de Pago de Gómez un valor promedio de 1.900 m<sup>2</sup>/día, en tanto en el sector de San Miguel se considera representativo un promedio de 37 m<sup>2</sup>/día. En este último caso, sin embargo, sólo se consideraron dos sondajes. De acuerdo a este estudio, el volumen total de almacenamiento del acuífero variaría entre 300 y 350 millones de m<sup>3</sup>.

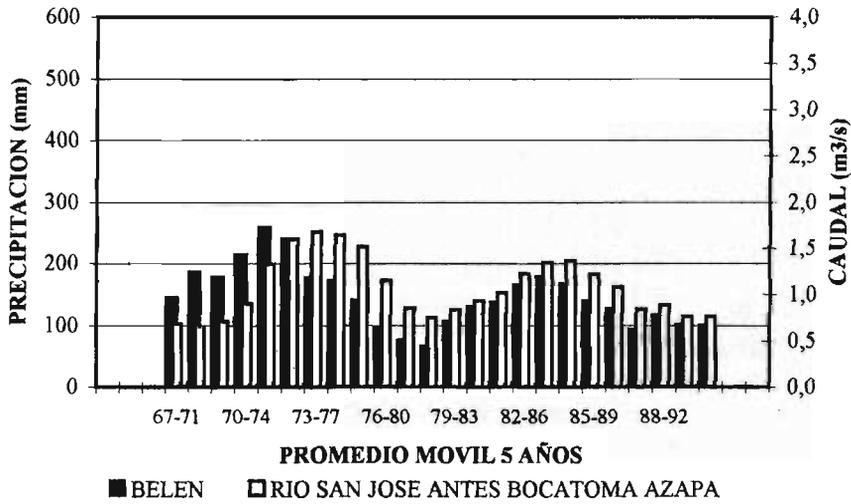
Respecto del coeficiente de almacenamiento, no se dispone de información de pruebas de bombeo con pozos de observación, por lo que no es posible determinarlo directamente. Sin embargo, muchos autores han considerado un valor medio de 10% atendiendo a que los acuíferos son mayoritariamente no confinados. En el estudio de AC-DGA (1997), se establecieron rangos más específicos: 13% en Pago de Gómez, 4% en San Miguel y 5% en Las Animas, lo que conduce a un promedio general de 7%. En la Fig. 3.14 aparece graficado un perfil longitudinal del valle que sintetiza los aspectos más relevantes de la caracterización de los acuíferos del valle de San José según lo descrito en los párrafos precedentes. Adicionalmente, se presenta en el Plano 3.2 los límites del acuífero y el perfil estratigráfico longitudinal del valle.

#### **a.2) Explotación del Acuífero y Niveles Freáticos**

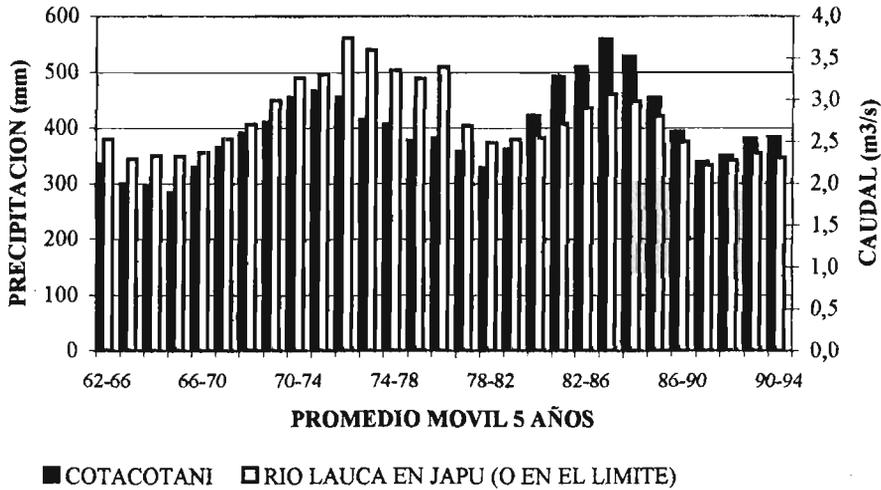
Con respecto a la explotación de las aguas subterráneas, existen en uso actualmente 108 norias y 129 pozos, de un total de 373 norias y 267 sondajes catastrados en el estudio de Arrau-DGA (1997). Las características de los pozos y norias en explotación se presentan en el Anexo 4, y su ubicación en el Plano 3.3. A modo de resumen, en la Tabla 3.11 se muestra la distribución de pozos y norias en explotación, según su uso.

Con el objeto de determinar el volumen de agua extraído actualmente del acuífero del Valle de Azapa, en el estudio de Arrau-DGA (1997) se analizó la información disponible de norias y sondajes en forma separada. En el caso de las norias, según se mencionó en el punto anterior, existe un total de 108 fuentes catastradas con bombeo activo que son las que corresponden a las presentadas en la Tabla 3.11. Los caudales bombeados por las norias varían entre 1 y 25 l/s aproximadamente. Debido a que no todos los propietarios de norias facilitaron antecedentes que permitieran evaluar la explotación del acuífero, en el estudio mencionado sólo se contó con la información de 84 norias. La información sobre volúmenes de extracción de este conjunto de norias se consigna en la Tabla 3.12.

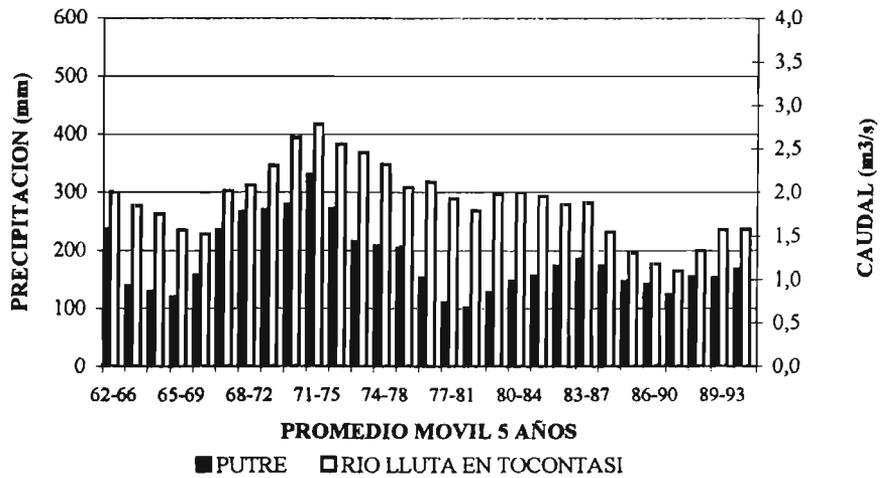
**Fig. 3.10 ANALISIS DE TENDENCIAS**



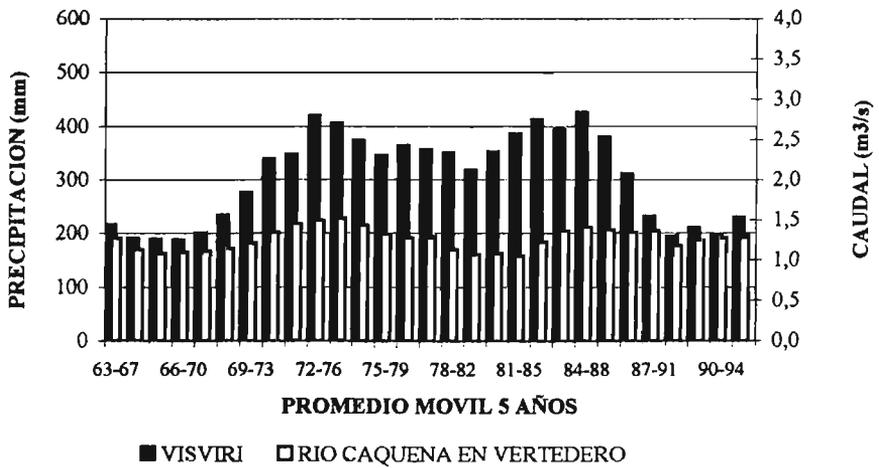
**Fig. 3.11 ANALISIS DE TENDENCIAS**



**Fig. 3.12 ANALISIS DE TENDENCIAS**



**Fig. 3.13 ANALISIS DE TENDENCIAS**



**Tabla 3.11 Resumen Fuentes en Explotación Según Uso en Valle de Azapa**

Uso	Norias		Sondajes	
	Nº	%	Nº	%
Potable	13	12,0%	44	34,1%
Riego	44	40,7%	58	45,0%
Industrial	15	13,9%	7	5,4%
Riego-Potable	32	29,6%	17	13,2%
Riego-Industrial	1	0,9%	3	2,3%
Potable-Industrial	3	2,9%	0	0%
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>100,0%</b>	<b>129</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997.

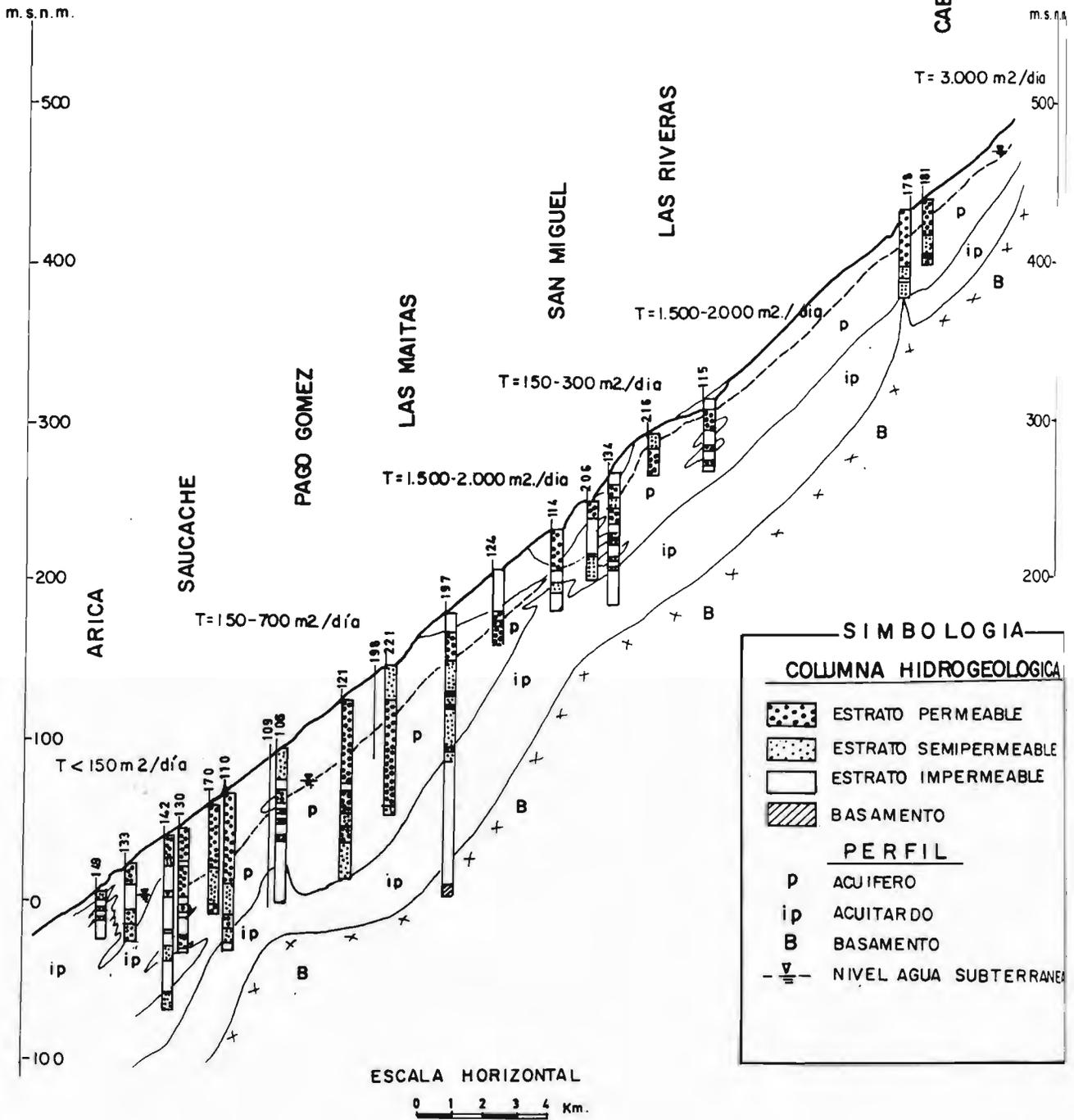
Para las 24 norias sin información de sus caudales de bombeo, en el estudio de Arrau-DGA (1997) se realizó una extrapolación de su producción usando los antecedentes de las norias con información. De esta forma se estimó que la producción media mensual de las norias sin información alcanzaría los 62.974 m<sup>3</sup>/mes, con lo que la producción total de las norias sería de 263.638 m<sup>3</sup>/mes.

**Tabla 3.12 Volúmenes Medios Mensuales de Extracción de Agua desde 84 Norias con Información**

Uso	Nº de Norias	Volumen Medio de Extracción (m <sup>3</sup> /mes)
Potable	8	21.540
Riego	34	62.214
Industrial	14	24.041
Riego-Potable	24	88.488
Riego-Industrial	1	4.234
Potable-Industrial	3	147
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>200.664</b>

Fuente: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997.

Al igual que en el caso de las norias, para los pozos, sólo se cuenta con la información de 108 de los 129 sondajes en uso, la que se consigna en la Tabla 3.13.



ESCALA HORIZONTAL

0 1 2 3 4 Km.

**AC INGENIEROS  
CONSULTORES**

FORMACIONES ACUIFERAS  
Y PARAMETROS ELASTICOS

PROYECTO

PLAN DIRECTOR PARA LA GESTION  
DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA  
CUENCA DEL RIO SAN JOSE

FECHA:  
JUNIO 1998

ESCALA:  
S/E

FIGURA Nº  
3.14

FUENTE: JICA-DGA, 1995 Y  
AC-DGA, 1989.

**Tabla 3.13 Volúmenes Medios Mensuales de Extracción de Agua desde 108 Sondajes con Información**

Uso	N° de Sondajes	Caudal Medio de Extracción (m³/mes)
Potable	39	1.089.122
Riego	44	427.624
Industrial	6	27.980
Riego-Potable	16	345.854
Riego-Industrial	3	15.095
Potable-Industrial	0	0
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>1.905.675</b>

Fuente: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997.

De la misma forma que para las norias, se extrapoló para los sondajes sin información (21) un volumen medio mensual de 301.972 m³/mes. Con lo anterior el volumen total explotado en norias y sondajes en el Valle de Azapa se estimó en 2.207.647 m³/mes.

Toda la información referente a los volúmenes tanto de las norias como de los sondajes, se resume en la Tabla 3.14 en la que además se incluyen los porcentajes para los diferentes usos del recurso desagregando en forma proporcional las magnitudes de las fuentes con uso mixto.

Finalmente, en el mismo estudio anterior, se evaluó el caudal medio de extracción permanente desde el acuífero del valle de Azapa, caudal que asciende a 940 l/s. Dado que cuando se realizaron los trabajos de actualización del catastro algunos agricultores no dieron antecedentes sobre sus captaciones, en el estudio citado se consideró conveniente incrementar el caudal medio calculado en un 5%, con lo que el caudal medio de explotación se estimó en 987 l/s.

**Tabla 3.14 Resumen de Extracción en el Valle de Azapa**

Uso	Volumen Extraído de Norias		Volumen Extraído de Sondajes		Total	
	(m³/mes)	(%)	(m³/mes)	(%)	(m³/mes)	(%)
Potable	70.838	26,9	1.480.660	67,1	1.551.498	62,8
Riego	165.953	62,9	693.517	31,4	859.470	34,8
Industrial	26.847	10,2	33.470	1,5	60.317	2,4
<b>Total</b>	<b>263.638</b>	<b>100,0</b>	<b>2.207.647</b>	<b>100,0</b>	<b>2.471.285</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997.

En lo que respecta a la extracción desde vertientes debe indicarse que en la actualidad (1997), éstas se encuentran secas debido a la disminución de los niveles estáticos en el valle. El seguimiento de la situación data de 1993.

En relación a los niveles freáticos, dentro de la zona de estudio se cuenta con información de niveles estáticos y dinámicos en 69 pozos. La mayoría corresponde a pozos con información obtenida para el período 1993-1995 (63 pozos); además un total de 15 pozos poseen una estadística más antigua, algunos con registros desde 1960 y 1962.

Según el estudio de Arrau-DGA (1997), a partir de la información de niveles puede establecerse que en la zona de Cabuza éstos se encuentran a alrededor de 30 a 35 m de profundidad, tendiendo a hacerse más superficiales hacia aguas abajo, lo que se mantiene hasta el sector de Las Riveras. Aquí los niveles están a unos 10 m de profundidad, lugar en el que históricamente existe un afloramiento de vertientes.

Desde el sector de Las Riveras hacia aguas abajo, los niveles vuelven a profundizarse, llegando a valores de 30 a 35 m en San Miguel, lugar en que existe una importante concentración de sondajes en explotación. Aguas abajo de esta zona los niveles vuelven a ascender llegando hasta unos 15 m en el área ubicada frente a la Quebrada de Llosyas, la que corresponde a una segunda área de afloramientos históricos de vertientes.

Desde Pago de Gómez hacia aguas abajo los niveles estáticos nuevamente tienden a profundizarse hasta unos 30 m, aumentando a 35 y 40 m en áreas muy localizadas asociadas a importantes extracciones de aguas subterráneas, como ocurre en el emplazamiento de la planta Azapa, en Saucache y en la ciudad de Arica.

En lo que respecta al tema de la variación de los niveles freáticos con el tiempo, en el estudio de Arrau-DGA (1997) se compara la situación de la superficie freática entre los años 1988 y 1995. A partir de dicha comparación se concluye que en el sector alto del valle, en Cabuza, no se han registrado grandes variaciones en el tiempo. En cambio, hacia aguas abajo en la zona de Las Riveras, se detecta un descenso de alrededor de 15 m en este período. En San Miguel, el descenso también es del orden de 15 m para el mismo período y en Pago de Gómez es de aproximadamente 10 a 20 m. Por su parte, en el sector bajo del valle, en Saucache se detectan descensos promedios de entre 10 y 20 m en igual lapso. Con el fin de visualizar las variaciones de niveles comentadas, en el Plano 3.4 se han graficado las curvas isofreáticas para los años 1988 y 1995.

Usando los antecedentes de niveles generales, el estudio de Arrau-DGA (1997) concluye que la situación del valle de Azapa es la siguiente:

- Existe una cierta correlación entre recursos trasvasados desde el Lauca con la variación global de la superficie freática (pozo 101 Las Riveras y pozo 107 Las Animas). En efecto, a partir de la puesta en servicio del canal Lauca en la década de los sesenta, se constata que los niveles freáticos tienden a elevarse, indicando que el sistema recibe un importante aporte extra o recarga neta.
- Hasta la década de los noventa existía un cierto equilibrio en los niveles freáticos. A partir de entonces se produjo un sostenido descenso de éstos atribuibles a la sobre-explotación que actualmente afecta al sistema acuífero.

Con el fin de ilustrar en mejor forma lo indicado en los puntos anteriores, en el presente estudio se ha estimado conveniente presentar en la Fig. 3.15 un gráfico con el nivel freático medio anual del pozo Las Riveras de Madrid (que es el pozo con un registro más prolongado). Se confirman en el gráfico las tendencias generales antes indicadas, lo que sumado al análisis de sequías realizado en el acápite 3.1.3, muestra que en el valle de Azapa se ha producido en la práctica una sobre-explotación del acuífero y no tanto, un período de sequía prolongado. En esta figura se observa que no existe información sobre el nivel del año 1982, dado que no se midieron niveles ese año.

Con el fin de complementar lo anteriormente expuesto, en el Anexo 4 se presentan los limnigramas de los pozos 125, 142, 157, 235, 268 y 284.

### a.3) Recargas del Sistema Subterráneo

Otro aspecto importante de la caracterización de los recursos subterráneos corresponde al de las recargas al sistema. Estas recargas se pueden dividir en flujo propio de la napa subterránea entrante en la zona de explotación del acuífero, recarga desde el cauce y zonas de riego, y recarga por crecidas.

El flujo propio del acuífero, está condicionado por la forma angosta y alargada del valle del río San José y por la ausencia de recargas laterales, lo que impone un sentido de escurrimiento longitudinal en prácticamente todo el valle, excepto en las cercanías de la costa. En el estudio de modelación Arrau-DGA (1997), el flujo que ingresa al sistema, a través de la sección de Cabuza se estimó en el equivalente a un caudal medio de 400 l/s, pudiendo variar en el rango de 300 a 500 l/s, estimación basada en una transmisibilidad comprendida entre 2.000 y 3.000 m<sup>2</sup>/día, un gradiente medio de 1,4% y un ancho promedio del valle de 1.000 m. Posteriormente se determinó que el rango de variación del flujo propio era menor. Esto se concluyó luego de aplicar un modelo de simulación desarrollado para la cuenca en el que se determinó que en promedio el flujo propio es del orden de 260 l/s entre 1963 y 1987, descendiendo posteriormente a 160 l/s para el período 1988 a 1993.

Por otro lado, la recarga desde los cauces y zonas de riego está dada por la percolación desde el canal Azapa y sus derivados, y desde los sectores de riego. En el estudio de Arrau-DGA (1997) se estimó la percolación a la napa para el período 1989-1996, expresada como porcentaje del agua recibida en cada sector. En efecto, se determinó que en 1989 la recarga a la napa era del orden del 26% del caudal a nivel de bocatoma, el que disminuyó a un 18% al año 1996. En todo caso es importante indicar que de realizarse algún tipo de proyecto de revestimiento del canal Azapa, las recargas al acuífero disminuirían en una gran medida lo que afectaría la explotación del acuífero. Una estimación de esta disminución y sus efectos sobre el acuífero puede realizarse a futuro empleando el modelo actualmente en desarrollo por Arrau-DGA (1997).

Por último, cabe hacer mención especial respecto de las crecidas del río San José. Para cuantificar el efecto de las crecidas ocurridas en el río San José como factor de recarga a la napa, en el estudio AC-DGA (1989), se relacionaron los caudales de aforos aislados efectuados simultáneamente en la estación Río San José antes Bocatoma Azapa y en San José en puente Saucache. Si al caudal del río antes de Bocatoma Azapa se le descuenta el caudal en Saucache y la extracción del canal Azapa, se obtiene una diferencia que representa las pérdidas del río en el tramo señalado. Posteriormente, usando el modelo de simulación desarrollado en el estudio de Arrau-DGA (1997), se determinó que en promedio la recarga a la napa proveniente desde el cauce, las zonas de riego y las crecidas corresponden en total a 210 l/s.

Otro aspecto importante tratado en el estudio de modelación Arrau-DGA (1997) corresponde a la distribución de las recargas. Para esto se sectorizó el río San José, determinándose que la percolación total del río porcentualmente alcanza a 58% en el tramo Bocatoma-Cabuza, 17% en el tramo Cabuza-Albarracines y 25% en el tramo Albarracines-Saucache.

### b) Río Lauca

El análisis de los recursos subterráneos en el río Lauca que se presenta a continuación, se realizó tomando como base los antecedentes disponibles en el estudio del Modelo Hidrológico Operacional de la Cuenca del río San José, Arrau-DGA (1997), y de AC Ingenieros para ESSAT (1997).

En estos informes se indica que existen 10 pozos que pertenecen a la Dirección de Riego y 4 pozos que pertenecen a la Compañía Minera Vilacollo. De éstos sólo se encuentra en operación el pozo N° 4 de la Dirección de Riego y un pozo de la citada compañía minera, el que abastece de agua fresca a la mina Choquelimpie. En la Tabla 3.15 se presenta el catastro de sondajes ubicados en la cuenca del río Lauca, según lo consignado en ambos estudios. Además en el Plano 3.3 se presenta la ubicación de los sondajes.

En cuanto a las características hidrogeológicas de la zona, se indica en estos estudios que el acuífero es confinado y presenta una transmisibilidad baja, la que varía entre 10 y 400 m<sup>2</sup>/día. Los valores mínimos

AÑO

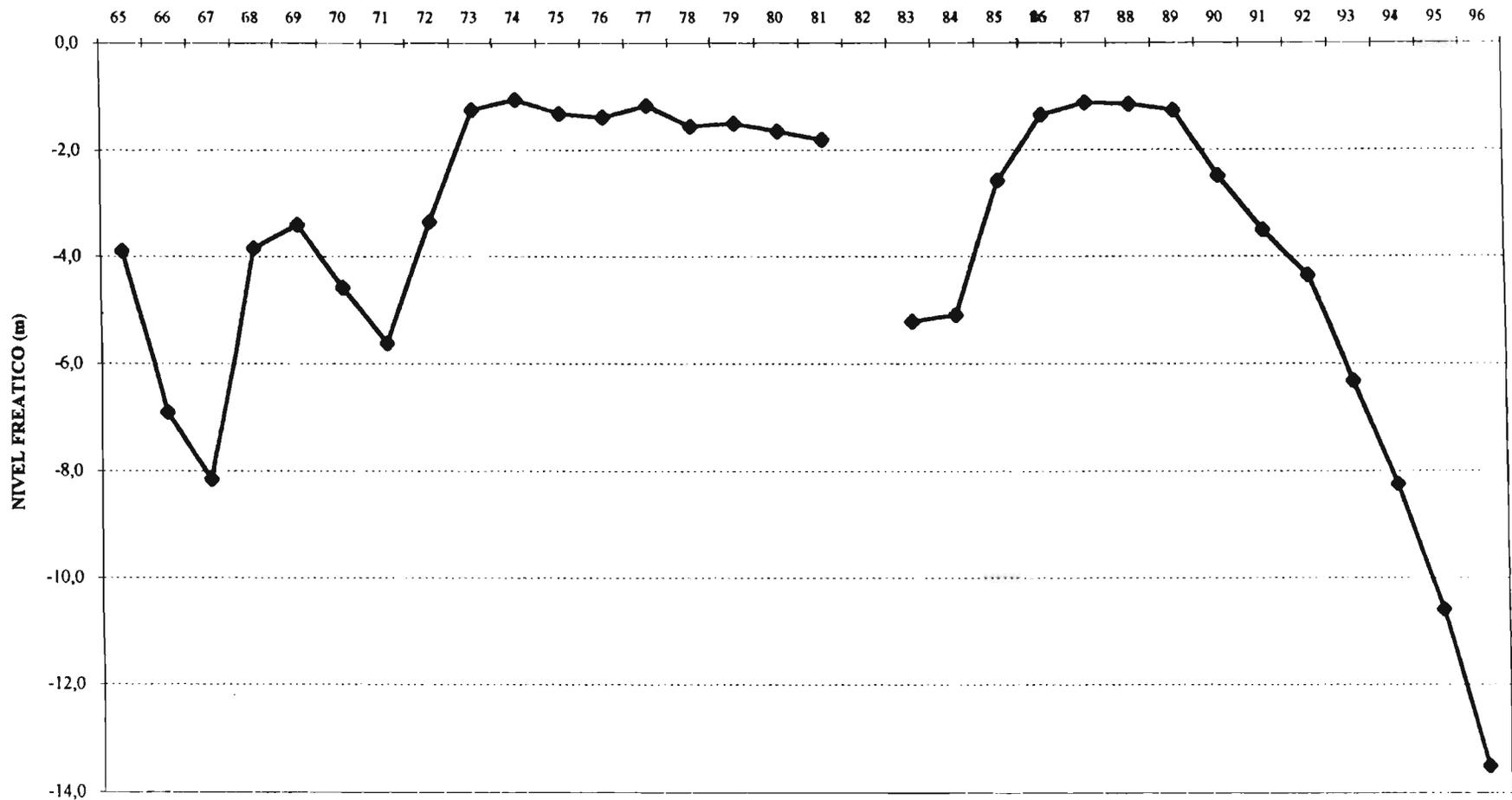


Fig. 3.15 Nivel Promedio Anual  
Pozo Las Riveras de Madrid

de transmisibilidad se presentan en el acuífero asociado al río Vizcachani, con un valor que varía entre 10 y 40 m<sup>2</sup>/día, y los valores más altos en el sector de Baños de Morales, donde el valor de la transmisibilidad varía entre 200 y 400 m<sup>2</sup>/día. En cuanto al coeficiente de almacenamiento, sólo se tiene un antecedente relativo al pozo 2 de la Dirección de Riego, con un valor de 0,0064%, valor que no correspondería al tipo de material encontrado, dado que para este tipo de material se esperaría un valor comprendido entre 0,01% y 0,3%. Por otra parte, en el Plano 3.2 se presenta la extensión del acuífero asociado al río Lauca. En el sector de Baños de Morales, en particular, el acuífero es confinado y surgente, con un espesor de 130 m, ubicándose su techo a 80 m del nivel de terreno. El gradiente hidráulico es de 0,5% y se tienen caudales específicos que varían entre 1,4 y 2,4 l/s/m. Por otra parte, en el sector de Vizcachani Alto, que es el de características hidrogeológicas más pobres, el gradiente hidráulico es de 0,6%, y el caudal específico varía entre 0,1 y 0,2 l/s/m. No se dispone de otros antecedentes de recargas o de variación de niveles en el tiempo en esta zona.

No obstante, de acuerdo a estudios existentes (ESSAT, 1996), para el acuífero del río Lauca la recarga media ha sido estimada en 400 lt/s y el volumen de almacenamiento en 1.100 millones de m<sup>3</sup>.

### c) Valle del Lluta

El análisis que se presenta a continuación, se elaboró considerando la información contenida en el estudio realizado por la JICA para la DGA en 1995. Además, se consideraron algunos antecedentes contenidos en el estudio de Alamos y Peralta desarrollado para la DR en 1989. En base a los antecedentes contenidos en el estudio anteriormente citado se tiene que la explotación del agua subterránea en el valle del Lluta se realiza en base a 7 pozos profundos, 10 norias y 2 vertientes. Además, hacia fines de 1996 se contaba con 4 pozos construidos por la JICA. En la Tabla 3.16 se presenta el catastro de las captaciones existentes en el valle, extraído del informe citado, en tanto en el Plano 3.3 se grafica la ubicación en planta de los sondajes y norias del área de estudio. En este análisis no se consideraron los pozos que estaba perforando ESSAT a fines de 1996 y principios de 1997.

En base a los antecedentes recopilados, se determinó que el acuífero del valle del Lluta está formado principalmente por depósitos fluviales encontrándose dividido en 2 secciones, una superior y otra inferior, separadas por un acuitardo. La separación entre ambos acuíferos se aprecia sólo hasta la zona de Chacabuco ya que aguas arriba de esta localidad no se presenta el lente impermeable de separación. A continuación se describen las características de los acuíferos que se indican según lo consignado en el estudio JICA-DGA (1995).

El acuífero superficial presenta un espesor de 10 m aproximadamente en la zona de Chacabuco, y su potencia se incrementa hacia aguas abajo, con un espesor de 30 a 40 m entre Sascapa y Chuilona, para disminuir nuevamente a 10 m en la zona de Villa Frontera. El ancho del acuífero es del orden de 800 a 1.000 m en la zona entre Bocanegra y Chacabuco, incrementándose hacia aguas abajo, llegando a tener entre 3 y 4 km en la zona baja del valle.

Por otra parte, el acuífero inferior presenta un espesor de 70 m en la zona de Chacabuco, con un ancho que varía entre 800 y 1.000 m. A continuación, su espesor disminuye a unos 50 m en la zona de Sascapa aumentando su ancho hasta unos 1.500 m y, finalmente adquiere una mayor potencia al aumentar su espesor hasta 100 m en la zona de villa Frontera con un ancho de 3.000 m.

Dado que no se dispone de antecedentes que permitan evaluar la permeabilidad del acuífero superior en el estudio JICA-DGA (1995) se estimó, en base a los materiales que forman este estrato, que su permeabilidad es del orden de 10<sup>-3</sup> cm/s. Por otra parte, dado que los sondajes construidos por la JICA captan sus aguas desde el acuífero inferior, este segundo estrato se caracterizó en mejor forma. En base a las pruebas de bombeo realizadas se tiene que la transmisibilidad media del acuífero inferior es del orden de 210 m<sup>2</sup>/día, lo que es equivalente a una permeabilidad de 3,6 10<sup>-3</sup> cm/s. Además, se tiene que la mayor transmisibilidad se observa en la zona de Chacabuco, la que es igual a 370 m<sup>2</sup>/día, para luego disminuir hasta 20 m<sup>2</sup>/día cerca de Sascapa, la que luego aumenta hasta 310 m<sup>2</sup>/día hacia aguas abajo en la zona de Chuilona.

En cuanto a la productividad, en el informe JICA-DGA (1995) se indica que en promedio la producción específica de los pozos es de 1,70 l/s/m, presentando su menor valor en la zona de Rosario, con un caudal específico igual a 0,36 l/s/m. Por otro lado, en la zona de Chacabuco se tiene una productividad de 1,44 l/s/m, disminuyendo hasta 0,24 l/s/m hacia Sascapa, de forma similar a la variación de los parámetros elásticos. Por último, en la zona de Villa Frontera se tiene un valor medio de 2,64 l/s/m para el caudal específico, llegándose hasta un valor tan alto como 4,26 l/s/m.

En la Figura 3.16 se presenta un perfil longitudinal del valle que permite mostrar en forma gráfica las características de los acuíferos, la transmisibilidad y la producción específica determinada. Adicionalmente, en el Plano 3.2 se presentan en forma completa las características hidrogeológicas del acuífero.

En cuanto a la disponibilidad de agua, en el estudio de la JICA-DGA (1995) se consideró un perfil geológico y 6 secciones transversales distribuidas a lo largo del valle, con una porosidad efectiva del acuífero de 20%. Con esto se llegó a un volumen almacenado de 107 millones de m<sup>3</sup>, valor que se contrapone a los 220 millones de m<sup>3</sup> estimados por Alamos y Peralta-DR (1989) sólo para el acuífero superior. Para efectos de la presente caracterización se estima como valor más acertado el presentado por la JICA, dado que la evaluación de este volumen considera en forma más realista la geometría de la zona, en contraposición a la simplificación efectuada en el primero de los estudios desarrollados.

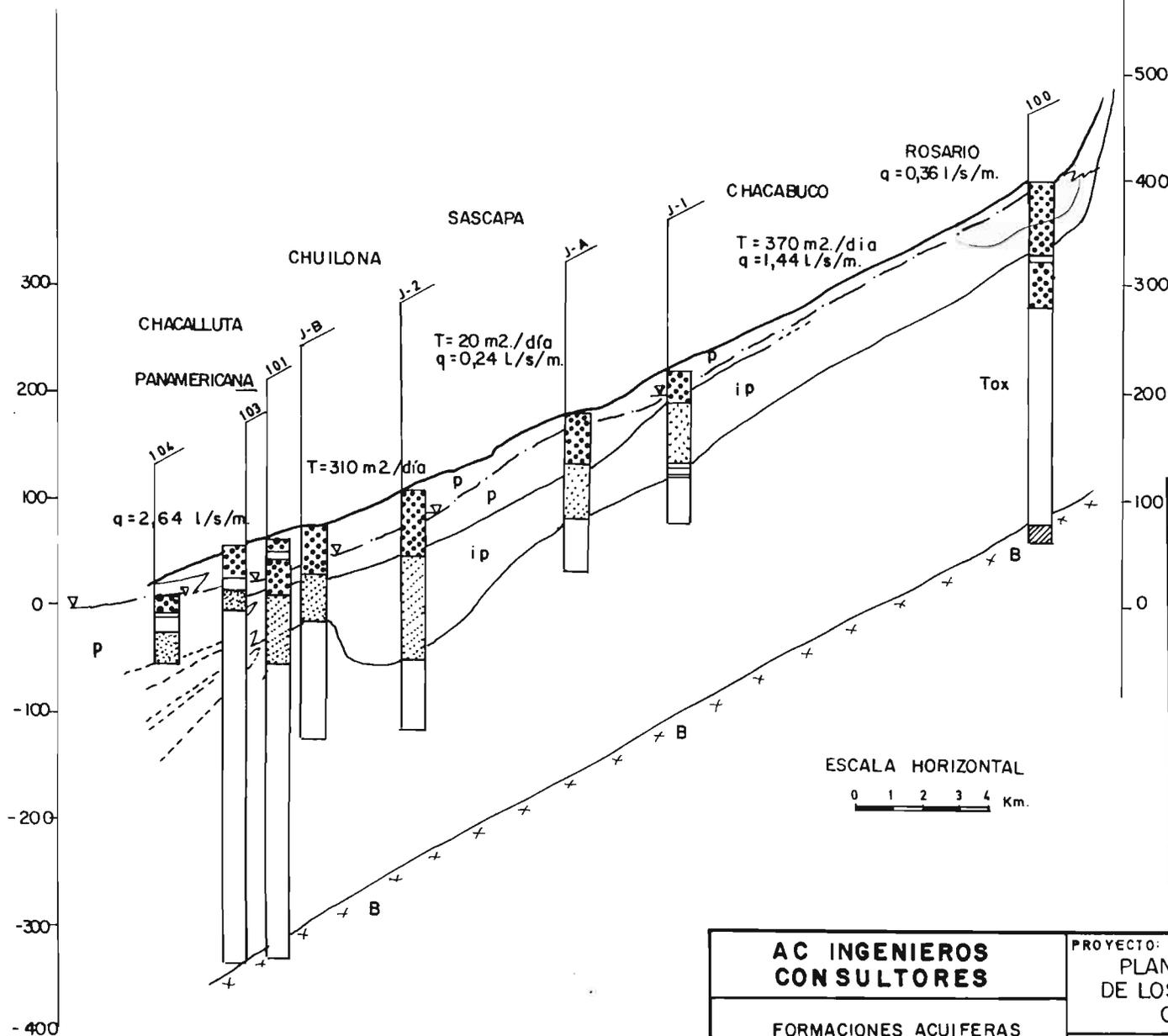
Dada la escasa o casi nula explotación actual del acuífero, no existen antecedentes similares a los de los valles del San José y Lauca como tampoco acerca de variación de los niveles de las aguas subterráneas. Por otro lado, dado que no se dispone de antecedentes relativos a recargas a la napa, en el estudio de la JICA-DGA (1995) se supuso que en este aspecto el valle se comporta en forma similar al valle de Azapa, y a partir de este primer supuesto y otras consideraciones (litología y longitud de la zona de recarga) se evaluó la recarga potencial al acuífero en 572 l/s.

#### **d) Quebrada de la Concordia**

Los antecedentes que se presentan a continuación han sido extraídos del único informe que incluye el área de la quebrada de la Concordia, el que fue desarrollado por Vera y Castillo (1982). En este informe se indica que en la década del 60 la CORFO construyó 17 exploraciones en este sector, los que no han entrado en operación a la fecha. Según los antecedentes recopilados, los que se muestran en la Tabla 3.17, en promedio se podrían extraer unos 35 l/s desde cada uno de los 10 pozos en los que se realizaron pruebas de bombeo y para los que se dispone de información de caudal explotado.

m s n.m.

m s n.m.



**SIMBOLOGIA**

**COLUMNA HIDROGEOLOGICA**

- ESTRATO PERMEABLE
- ESTRATO SEMIPERMEABLE
- ESTRATO IMPERMEABLE
- BASAMENTO

**PERFIL**

- p** ACUIFERO
- ip** ACUITARDO
- B** BASAMENTO
- ∇-** NIVEL AGUA SUBTERRANEA

FUENTE : JICA-DGA,1995

<b>AC INGENIEROS CONSULTORES</b>	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO SAN JOSE		
	FORMACIONES ACUIFERAS PARAMETROS ELASTICOS Y CAUDALES ESPECIFICOS	FECHA : JUNIO 1998	ESCALA : S/E

Tabla 3.15 Catastro de Sondajes Aguas Subterráneas Sector Río Lauca

POZO	ROL IREN	COORDENADAS UTM		PROPIETARIO	CONSTRUCTOR	USO (1)	COTA (msnm)	PRUEBA DE BOMBEO (2)			FECHA CONSTRUCCION
		NORTE	ESTE					CAUDAL (l/s)	N.E. (m)	N.D. (m)	
1	1810-6920-C1	7.973.760,00	451.350,00	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	AB	4.349,83	6,0	0,62	55,00	08/92
2	1810-6920-C2	7.973.550,00	451.560,00	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	AB	4.359,83	13,0	2,10	37,55	08/92
3	1810-6920-C3	7.973.600,00	451.790,00	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	AB	4.342,83	0,7	1,66	27,35	08/92
4	1820-6920-B1	7.972.363,66	458.195,01	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	R	4.306,00	45,0	0,79	51,33	10/92
5	1820-6920-B3	7.972.256,65	462.503,82	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.291,31	50,0	Surg.	83,10	11/92
6	1810-6920-D1	7.980.155,65	464.207,95	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.332,85	50,0	Surg.	67,68	02/93
7	1810-6920-D3	7.975.030,51	463.560,00	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.310,45	80,0	2,17	30,26	11/92
8	1810-6920-D2	7.979.823,74	464.141,60	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.333,19	70,0	Surg.	37,20	12/92
9	1820-6920-B2	7.972.645,59	462.791,36	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.289,49	70,0	Surg.	72,24	01/92
10	1810-6920-D4	7.974.668,50	463.501,38	DIRECCION DE RIEGO	CAPTAGUA	RSU	4.307,74	15,0	1,80	59,69	01/93
11	1820-6920-B7	7.969.094,50	463.071,12	MINERA VILACOLLO	CAPTAGUA	ISU	4.290,95	8,0	10,70	48,00	11/87
12	1820-6920-B6	7.969.427,67	462.661,62	MINERA VILACOLLO	CAPTAGUA	ISU	4.280,20	12 (3)	3,15	46,43	12/87
13	1820-6920-B5	7.969.407,16	462.513,06	MINERA VILACOLLO	SAACOL	ISU	4.278,36	20,0	Surg.	30,57	04/88
14	1820-6920-B4	7.969.240,53	462.353,66	MINERA VILACOLLO	SAACOL	I	4.275,95	40,0	Surg.	35,90	10/88

- Notas: (1) AB: abandonado, R: riego, RSU: riego sin uso, I: industrial y ISU: industrial sin uso  
(2) Cuando se efectuó más de una prueba de gasto variable, se escogió aquella de caudal mayor. Si los caudales eran los mismos, se colocó el nivel dinámico máximo correspondiente. Para el caudal máximo se colocó aquel que se bombeó durante un tiempo mayor o igual a 1 hora.  
(3) Gasto constante y nivel no estabilizado

FUENTE: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, en revisión-1997

Tabla 3.16 Catastro de Norias, Sondajes y Vertientes Valle del Río Lluta

CODIGO CORFO		COORDENADAS		UBICACION	PROPIETARIO	COTA (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	TRANSMISIBILIDAD (m <sup>2</sup> /día)	FECHA DE CONSTRUCCION	NIVEL ESTATICO (1993)
LAT.-LONG.	NO.	LAT.	LONG							
1820-6950	A-1			BOCANEGRA	CORFO		99		63/06	
1820-6950	V-1			BOCANEGRA				-		-
1820-7000	V-2			STA, RAQUEL				-		-
1820-7010	A-1			COLONIA J, FUENZALIDA	CORA	350,00	332	30,9	62/11	5,83
1820-7010	A-3			GALLINAZOS	(MILITARY)					
1820-7010	A-4	18-23-45	70-17-47	CARCEL DE ARICA	DIR DE PRISIONES	62,00	384	225,0	62/05	36,10
1820-7010	A-5	18-23-45	70-17-58	VILLA FRONTERA	CORFO	55,00	168	85,2	63/11	30,06
1820-7010	A-6	18-23-45	70-17-58	VILLA FRONTERA	CORFO	55,00	384	233,5	64/11	30,06
1820-7010	A-7			HACIENDA VIPA	DUILIO TONINI		65	367,7	67/06	
1820-7010	N-0	18-24-10	70-18-43	VILLA FRONTERA		32,00	38			27,22
1820-7010	N-1	18-23-51	70-19-12	VILLA FRONTERA		22,00	19			15,66
1820-7010	N-2			VILLA FRONTERA		22,00				
1820-7010	N-3	18-24-58	70-18-33	PLAYA LAS MACHAS		11,00	6			5,00
1820-7010	N-4	18-24-20	70-19-01	VILLA FRONTERA		22,00	20			19,98
1820-7010	N-5	18-24-13	70-18-46	VILLA FRONTERA		30,00	38			24,60
1820-7010	N-6	18-24-05	70-18-51	VILLA FRONTERA		32,00	28			24,53
1820-7010	N-7	18-24-00	70-18-57	VILLA FRONTERA		32,00	25			SECO
1820-7010	N-8	18-24-00	70-18-57	VILLA FRONTERA		32,00	-			
1820-7010	N-9	18-23-35	70-18-45	VILLA FRONTERA		36,00	41			23,76
	J-1	18-25-43	70-13-03	CHACABUCO	DGA-JICA	219,52	145	124,2	93/12	21,69
	J-A	18-23-09	70-13-58	PANAMERICANA	DGA-JICA	178,03	150	20,4	93/12	9,82
	J-2	18-23-40	70-16-07	LLUTA	DGA-JICA	107,37	225	62,8	93/11	35,02
	J-B	18-24-04	70-17-19	PANAMERICANA	DGA-JICA	73,77	200	53,3	93/11	34,56

FUENTE: El Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile. JICA-DGA, 1995.

**Tabla 3.17 Catastro de Sondajes Quebrada de la Concordia**

Pozo	Profundidad (m)		Diámetro (")	Caudal (l/s)
	Perforada	Habilitada		
1810-7010 C1	253	122	6,0	20
1810-7020 D1	155	144	-	55
1810-7020 D2	-	-	-	-
1810-7020 D3	143	129	12,0	32
1810-7020 D4	300	280	13,5	57
1810-7020 D5	-	-	-	-
1810-7020 D6	159	159	12,0	-
1820-7010 A1	59	55	10,0	10
1820-7010 A2	61	60	12,0	8
1820-7010 A3	152	146	20,0	55
1820-7010 A8	52	52	10,0	10
1820-7020 B1	200	126	13,0	40
1820-7020 B2	140	132	16,0	50
1820-7020 B3	136	125	12,0	-
1820-7020 B4	158	132	7,0	-
1820-7020 B5	144	139	-	-
1820-7020 B6	432	-	-	-

Fuente: Convenio de Estudios Hidrológicos. I<sup>er</sup> Informe. Quebrada de La Concordia y Escritos. Vera y Castillo, 1982.

Con respecto a los niveles freáticos, cabe señalar que en los limnigramas disponibles se observan leves variaciones de éstos durante el período de observación (1976 a 1982), las que no son mayores a 1 m con respecto al nivel promedio. Para estos pozos no se cuenta con otro tipo de antecedentes que permitan cuantificar de mejor forma el recurso subterráneo. La ubicación de estos sondajes se presenta en el Plano 3.3.

### 3.2 CALIDAD FISICOQUIMICA DE LOS RECURSOS HIDRICOS

En este acápite se presenta la caracterización de la calidad físico-química de las aguas superficiales y subterráneas existentes en el área de estudio, a partir de antecedentes consignados en estudios anteriores.

#### 3.2.1 Revisión Crítica de la Información Recopilada

Para la revisión crítica de la información disponible se consideraron los antecedentes de calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas, presentados en el Capítulo 2, los que se encuentran principalmente en los estudios de Hans Niemeyer-DR (1968), INDERCO-DGA (1980), BF-DGA (1984), Universidad de Tarapacá-DR (1985), DR (1985), Alamos y Peralta-DR (1989), Alamos y Peralta-DGA (1989), INYGE-DGA (1991), IPLA-DGA (1991), INGENDESA-DR (1993), INYGE-DGA (1993), AC-DGA (1994), INGENDESA-DR (1995), JICA-DGA (1995), Arrau-DGA (1997) y AC-ESSAT (1997).

Por otra parte, la información de la calidad de aguas subterráneas se encuentra contenida en los estudios de INGENDESA-DR (1993 y 1995), JICA-DGA (1995), Arrau-DGA (1997) y AC-ESSAT (1997).

Para la selección de los estudios que proveen los antecedentes que permiten caracterizar la calidad fisicoquímica de las aguas se consideró por una parte aquellos más actualizados y, por otra, los que cuantifican la calidad de aguas en forma más global, no restringiendo el análisis a aspectos puntuales, como por ejemplo, efectos en la agricultura u otro aspecto específico, o efecto de algún contaminante en especial sobre la calidad del recurso.

### 3.2.2 Aguas Superficiales

#### a) Generalidades

En lo que sigue se presenta la caracterización de las aguas superficiales disponibles en las distintas cuencas incluidas en el área de estudio, con el fin de caracterizar y definir las aptitudes que presenta para su uso en riego o agua potable.

Esta caracterización se realiza usando como elementos de análisis el pH del agua, la conductividad eléctrica, los macroelementos bicarbonato, carbonato, sodio, potasio, sulfatos, calcio, cloruros y sodio, y los microelementos arsénico, boro, cobre, fierro y nitratos. La elección de estos parámetros obedece a la mayor regularidad con que se miden en el área de estudio.

Las limitaciones que presenta la calidad del agua a sus distintos usos, se analizan considerando los requerimientos que ésta debe cumplir conforme a lo indicado en las normas "Agua Potable, Requisitos" (NCh 409) y "Requisitos de Calidad del Agua Para Diferentes Usos" (NCh 1.333). Conforme con ello se presentan en las Tablas 3.18, 3.19 y 3.20 los valores límites para los microelementos y macroelementos, que se encuentran normados, los rangos de conductividad permitidos y los rangos para el pH.

**Tabla 3.18 Valores Máximos Permitidos (mg/l) Para Uso en Agua Potable y Riego de Acuerdo a las Normas Chilenas**

Elemento	Norma	
	NCh 409	NCh 1.333
Arsénico	0,05	0,10
Boro	NN	0,75
Cobre	1,00	0,20
Fierro	0,30	5,00
Nitratos	10,00	NN
Cloruros	250,0	200,0
Sulfatos	250,0	250,0

NN: No Normado

La información de calidad de aguas es representada en forma gráfica de acuerdo a los mismos lineamientos presentados en el estudio del Mapa Hidroquímico Nacional, AC-DGA, (1994). Dicha representación se basa, en el caso de conductividad eléctrica, en el uso de círculos cuyos diámetros son proporcionales a los rangos de variación de la conductividad eléctrica mostrados en la Tabla 3.19. Los macroelementos mediante el empleo de diagramas de Stiff, y los microelementos mediante gráficos de barras.

**Tabla 3.19 Valores Límites de Conductividad Eléctrica según Norma NCh 1.333**

RANGO CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	EFFECTOS SOBRE CULTIVOS
< 750	No se detectan efectos
750 - 1500	Puede haber efecto perjudicial en cultivos sensibles
1500 - 3000	Efectos adversos en muchos cultivos. Necesita de manejo cuidadoso
3000 - 7500	Agua que puede ser utilizada sólo en cultivos tolerantes en suelos permeables, con métodos de cultivo cuidadoso
> 7500	No recomendable su uso en riego, ya que produce disminución notable de rendimiento en cualquier cultivo

**Tabla 3.20 Rango de Variación del pH Según Normas NCh 409 y NCh 1.333**

Norma	Rango
NCh 409	6,0 - 8,5
NCh 1.333	5,5 - 9,0

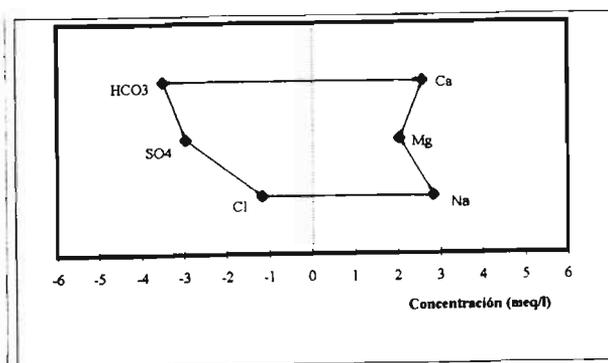
Para la representación de los rangos de conductividad eléctrica, los diámetros de los círculos se definieron a partir de la norma de calidad de agua para distintos usos, entre ellos riego, (NCh 1.333) que establece

los límites presentados en la Tabla 3.19. Se adoptaron diámetros iguales a 0,2 D, 0,4 D, 0,6 D, 0,8 D y D para los rangos de conductividad definidos previamente, conforme a un orden creciente. El valor referencial de D se elige de acuerdo al tamaño del plano a desarrollar, de modo que se pueda visualizar claramente el mayor y menor rango de conductividad eléctrica asociado.

El segundo tipo de representación, para los macroelementos, corresponde al diagrama de Stiff (modificado), el que consiste en un polígono de 6 lados, cuyos vértices corresponden a los puntos definidos por los extremos de 3 trazos paralelos que unen los pares anión-cación de los elementos bicarbonato-calcio, sulfato-magnesio y cloruro-sodio, dispuestos desde arriba hacia abajo, en un gráfico en que el eje Y es arbitrario y el eje X representa la concentración de cada elemento, expresada en términos de miliequivalentes por litro (meq/l).

Este tipo de diagrama, además de representar las concentraciones de los iones considerados por la forma del polígono que se genera, permite obtener una rápida idea del contenido salino general del agua en términos de macroiones, la predominancia de alguna de las sales típicamente presentes en el agua, como son el bicarbonato de calcio, sulfato de magnesio y cloruro de sodio, además que posibilita comprobar si el equilibrio macroiónico está muy desbalanceado. A modo de ejemplo se presenta en la Fig. 3.17 el diagrama de Stiff para la estación Río San José antes Bocatoma Azapa, en la cual se observa que el calcio y el bicarbonato se encuentran en un relativo equilibrio, al igual que el par sulfato magnesio, en cambio, el par cloruro-sodio presenta un desbalance apreciable.

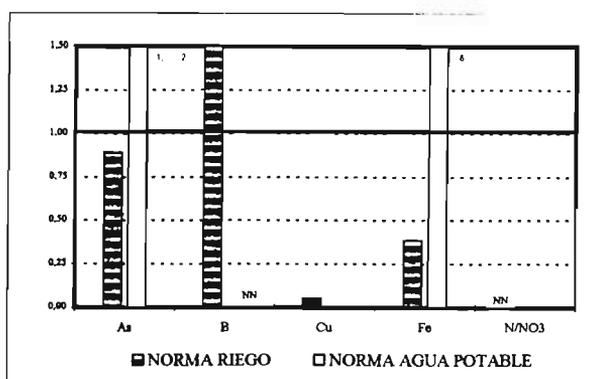
**Fig. 3.17 Diagrama de Stiff Estación  
Río San José Antes Bocatoma Azapa**



En lo que respecta a, los microelementos, tales como el boro, arsénico, cobre, fierro y nitratos, estos son representados en un diagrama de barras, en que para hacer comparables los valores se ha representado el cociente entre la concentración medida y la establecida como límite en la norma de agua para riego (NCh 1.333) y agua potable (NCh 409). De esta forma se tiene que un valor inferior a 1.0 representa una concentración bajo el límite de la norma, y en cambio un valor superior a 1.0 indicaría que se sobrepasa la norma.

A modo de ejemplo en la Fig. 3.18 se presenta el diagrama de barras normalizado para la estación Río San José antes Bocatoma Azapa, donde se aprecia que con respecto a la norma para riego, el boro se encuentra excedido más de una vez, y que los otros parámetros se encuentran dentro de límites aceptables. Por otro lado, con respecto a la norma de agua potable se tiene que el arsénico y el fierro están excedidos, el primero casi una vez y el fierro más de cinco veces. Lo anterior permite establecer que esta agua no es apta para uso en riego ni agua potable.

**Fig. 3.18 Diagrama de Barras Normalizado Estación  
Río San José en Bocatoma Azapa**



## b) Río San José

La caracterización de la calidad de las aguas superficiales se realiza sobre la base de los antecedentes y resultados contenidos en los estudios AC-DGA (1994) y Arrau-DGA (1997).

Para ello se consideraron 10 puntos de muestreo, los que se presentan en el Plano 3.5. En este plano se observa que de los 10 puntos de muestreo 5 se encuentran en el río San José propiamente tal y los otros en el sistema de trasvase de aguas desde el río Lauca. Por lo anterior, se considera que el sistema del río San José abarca desde las aguas del lago Chungará hasta la bocatoma del canal Azapa en el río San José.

Conforme a la información disponible la que es consignada en la Tabla 3.21, las aguas del sistema del río San José son de tipo alcalinas, con un pH que varía entre 8,5 y 9,7, con un valor promedio de 9,0. Es importante notar que los valores más altos se tienen en la cabecera del sistema, y los más bajos en el Valle de Azapa. En lo que respecta a la conductividad eléctrica, ésta es en general inferior a 800  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Por otra parte, los carbonatos presentan valores bajos, inferiores a 80 mg/l, excepto las aguas efluentes del lago Chungará en que el valor medido es más de 5 veces el valor promedio medido en el resto del sistema. En cuanto a los bicarbonatos se tienen valores más altos que para el elemento anterior, y a la vez más uniformes, presentándose el máximo en el efluente del lago Chungará.

En el caso del sodio, magnesio, calcio y potasio, ocurre una situación similar a la presentada por los elementos anteriores, es decir, el valor máximo se encuentra en las aguas del lago Chungará, disminuyendo hacia aguas abajo. Algo similar se observa en el caso de los sulfatos y cloruros.

Una situación distinta se presenta para los microelementos arsénico, boro, fierro y nitratos. En el caso del primero, la concentración aumenta a medida que el río se aproxima al mar, en tanto la concentración de los elementos boro y fierro no presentan grandes variaciones a lo largo del cauce. Los valores de nitratos en general son bajos, no mostrando una tendencia en particular al aumento o descenso.

En lo que respecta al valor del pH se presenta en general con un rango adecuado para el uso del agua en riego, excepto en el tramo aguas arriba de Tignamar, en donde se encuentra fuera de rango. Para el uso en agua potable, este parámetro en la gran mayoría de los puntos de muestreo se encuentra excedido.

Las conductividades eléctricas medidas, indican que las aguas presentan problemas sólo en el caso de regar cultivos muy sensibles a la acumulación de sales.

Los sulfatos presentes en el agua no producen problemas, salvo en las aguas efluentes del lago Chungará que duplican el valor permitido por ambas normas. El arsénico produce problemas para su uso en agua potable en tres puntos y no en agua de riego. En cambio el boro, presenta problemas en el caso de usarla como agua de riego. En lo que respecta al fierro, se tiene que el contenido presente en el agua es en algunos casos similar al máximo permitido para agua potable, lo que no obstante no impide el uso de esta agua dado que se pueden aceptar valores superiores al límite de acuerdo a la norma. Por último no se presentan problemas con los nitratos y los cloruros no limitan el uso del agua.

En resumen, las aguas del río San José presentan ciertas limitaciones para su uso directo en agua potable debido a que su contenido de arsénico, según la norma Nch 409, es igualado o excedido en algunos puntos de control (ver Tabla 3.21). También tiene limitaciones para su uso en riego, pero en este caso se debe a los contenidos de boro y acumulación de sales.

En el Plano 3.5 se presentan en forma gráfica los antecedentes de calidad de aguas de la cuenca del río San José.

### c) Río Lauca

Al igual que para la caracterización hidrogeológica del valle del río Lauca, la información base que se utiliza en este caso proviene de los antecedentes contenidos en los estudios de AC-DGA (1994), Arrau-DGA (1997) y AC-ESSAT (1997).

Se consideraron 5 puntos de muestreo, los que se identifican en el Plano 3.6, abarcando el área desde la bocatoma del canal Lauca hasta la sección de salida hacia Bolivia. Los antecedentes recabados se presentan en la Tabla 3.22.

A partir de la revisión de los antecedentes disponibles es posible verificar que las aguas del río Lauca son de tipo alcalino, con un pH promedio de 8,5, variando en el rango entre 7,66 y 9,38. En lo que respecta a conductividad eléctrica, sólo se dispone de antecedentes para la estación Río Lauca en Japu, en donde el valor promedio asciende a unos 655  $\mu$ mhos/cm.

El bicarbonato presente en el agua muestra una tendencia a descender desde lo medido en la bocatoma del canal Lauca (184 mg/l) hacia aguas abajo (entre 30 y 60 mg/l). Sin embargo nuevamente aumenta en la estación de salida de la cuenca (Río Lauca en Japu), con un valor de 128,6 mg/l. En lo que respecta a los carbonatos, muestran un descenso paulatino desde un valor de 58 mg/l en la cabecera hasta desaparecer en el sector antes de la junta con el río Vizcachani.

El comportamiento de las aguas del río Lauca en cuanto al contenido de sodio, magnesio, calcio y potasio es similar, presentándose en general una disminución en las concentraciones desde la bocatoma del canal Lauca hacia aguas abajo. Sin embargo, en la estación de salida, río Lauca en Japu, se observan aumentos en algunos de los elementos como el magnesio y potasio, retomando incluso valores similares a los de la sección de entrada, y como el caso del sodio en donde se sobrepasaría el valor inicial. El calcio presenta un aumento relativo menor, pero sólo con respecto a lo medido en las estaciones ubicadas inmediatamente aguas arriba de la salida hacia Bolivia.

En cuanto a la concentración de sulfatos, ésta disminuye en el río Lauca aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca a valores del orden de 40 a 50 mg/l, dado que los afluentes a este tramo del río presentan bajas concentraciones de sulfato (entre 12 y 55 mg/l). En el caso de los nitratos se presentan concentraciones inferiores a 0,3 mg/l en la mayoría de los puntos, excepto antes de la junta con el estero Ancochalloani.

Con respecto al arsénico, se tiene que en general los valores medidos son inferiores a 0,05 mg/l, con excepción del punto de salida de la cuenca, en que el valor medido es del orden de 0,24 mg/l debido a algún aporte no controlado ubicado aguas abajo del río Vizcachani. En cuanto al contenido de boro en la estación Bocatoma Canal Lauca, la concentración observada es de 1,09 mg/l y en la estación Río Lauca en Japu se registra una concentración promedio de 2,70 mg/l en contraposición a valores que varían entre 0,0 y 0,29 mg/l medidos entre la bocatoma del canal Lauca y la sección de salida.

En el río Lauca, desde la bocatoma del canal Lauca, hasta aguas abajo del aporte del río Ancochalloani, las concentraciones medidas de hierro son del orden de 0,3 mg/l llegando a valores entre 1,1 y 1,26 mg/l en el sector del río Vizcachani. Estos ríos presentan concentraciones de hierro de 0,35 y 3,66 mg/l, respectivamente. Adicionalmente se dispone de antecedentes del contenido de cobre en la sección de salida, presentándose un valor igual a 0,04 mg/l.

En términos de pH las aguas del río Lauca son adecuadas para el riego y agua potable sólo a partir de la junta con el río Vizcachani, hacia aguas abajo. En cuanto a la conductividad eléctrica, en la zona limítrofe las aguas no imponen restricción alguna. Para el resto de la cuenca no se cuenta con este antecedente.

Tabla 3.21 Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río San José

ESTACION	Conduct µmbos/cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N-NO <sub>3</sub> mg/l
EFLUENTE CHUNGARA	-	9,72	235,0	68,1	268,5	46,0	290,4	262,0	580,0	95,4	0,021	1,240	-	0,10	0,260
BOCATOMA CANAL LAUCA	-	9,14	65,5	17,0	89,8	11,0	184,0	58,0	130,0	40,5	0,022	1,090	-	0,30	0,180
CANAL LAUCA KM 3,3	642	9,21	68,5	15,5	93,0	11,7	174,0	64,0	135,0	41,5	0,035	0,620	-	0,31	0,180
CANAL LAUCA KM 26,0	-	8,94	70,5	12,8	89,8	9,0	215,0	40,0	126,0	41,5	0,053	1,020	-	0,28	0,050
DESCARGA CENTRAL CHAPIQUIÑA	-	9,16	67,5	18,5	101,0	8,7	158,6	78,0	133,0	36,6	0,038	0,740	-	0,18	0,080
RIO SAN JOSE ANTES TIGNAMAR	-	8,64	61,5	8,7	89,0	8,8	205,0	42,0	137,0	42,4	0,015	0,690	-	0,08	0,920
RIO SAN JOSE EN LIVILCAR	-	8,52	89,0	7,8	78,8	8,5	228,0	10,0	115,0	70,4	0,044	2,750	-	1,05	0,220
RIO SAN JOSE EN SANTUARIO LAS PEÑAS	800	8,86	81,0	11,7	82,6	9,1	195,0	30,0	112,0	55,9	0,055	1,340	-	0,29	0,060
RIO SAN JOSE EN BADEN	-	8,68	72,0	8,3	79,4	8,3	192,0	30,0	113,0	55,0	0,050	1,790	-	0,30	0,140
RIO SAN JOSE ANTES BOCATOMA	756	8,75	80,0	13,6	86,6	9,1	198,0	22,0	108,0	57,9	0,037	1,430	-	0,35	0,030

FUENTE: - Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997  
 - Análisis Redes de Vigilancia. Calidad Aguas Terrestres. Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. AC-DGA, 1994  
 - Laboratorio Ambiental DGA

Tabla 3.22 Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río Lauca

ESTACION	Conduct μmhos/ cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	SO4 mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N/NO3 mg/l
BOCATOMA CANAL LAUCA	-	9,14	65,5	17,0	89,8	11,0	184,0	58,0	130,0	40,5	0,022	1,090	-	0,30	0,180
RIO LAUCA ANTES ANCOCHALLOANI	-	9,38	32,7	11,2	17,6	4,0	28,0	28,0	38,0	9,8	0,023	0,290	-	0,30	1,400
RIO LAUCA DESPUES ANCOCHALLOANI	-	9,38	25,2	8,7	24,8	3,1	31,7	34,0	43,6	13,5	0,020	0,050	-	0,30	0,140
RIO LAUCA ANTES VIZCACHANI	-	7,66	28,0	13,6	24,0	4,3	51,2	0,0	53,1	13,5	0,014	0,000	-	1,26	0,220
RIO LAUCA DESPUES VIZCACHANI	-	7,87	29,0	12,6	18,4	4,4	56,1	0,0	54,7	18,3	0,037	0,240	-	1,10	0,100
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	655	7,61	73,4	16,9	39,5	9,4	128,6	0,0	113,6	77,3	0,239	2,70	0,04	0,64	0,064

FUENTE: - Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997  
 - Análisis Redes de Vigilancia. Calidad Aguas Terrestres. Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. AC-DGA, 1994 Laboratorio Ambiental DGA

En lo que respecta a la presencia de sulfatos y cloruros sus valores están muy por debajo del límite permitido, en forma similar al arsénico. El boro, tanto en la bocATOMA del canal Lauca como en el sector de la salida de la cuenca, se encuentra excedido respecto de los valores límite de la norma. El fierro se encuentra en el límite de la norma para agua potable entre la bocATOMA del canal Lauca hasta después del aporte del río Ancochalloani, siendo excedido en todos los puntos para su uso en agua potable en el tramo entre antes de los aportes del río Vizcachani y río Lauca en Japu (en el límite). Por último, el cobre y los nitratos no condicionan el uso del agua.

Con base en lo anterior se puede indicar que estas aguas presentan restricciones para su uso en riego y agua potable, debido al contenido de arsénico (en el límite de la cuenca) y boro en el caso del primero y del contenido de arsénico (en el límite de la cuenca) y fierro en el segundo, en el tramo antes de los aportes del río Vizcachani y el límite de la cuenca.

Si excede o iguales la representación gráfica de la calidad de aguas del río Lauca se presenta en el Plano 3.6.

#### **d) Río Caquena**

Dada la poca información existente para el río Caquena la caracterización de la calidad de aguas se realizó únicamente en base a los antecedentes contenidos en el estudio AC-DGA (1994).

Para esto se cuenta con 2 puntos de muestreo los que se presentan en el Plano 3.6. Los antecedentes utilizados se presentan en la Tabla 3.23.

En términos de pH las aguas son alcalinas, con un promedio de 7,9. Su conductividad eléctrica es de 1.200  $\mu$ mhos/cm aproximadamente, con un rango de variación bastante amplio entre 600 y 1.600  $\mu$ mhos/cm.

Los valores de bicarbonatos son altos, situándose en torno a los 280 mg/l. En cambio los carbonatos son bastante bajos, no sobrepasando los 4,3 mg/l en promedio.

En el caso del sodio se presentan valores similares entre la estación río Caquena en Caquena y río Caquena en Vertedero, sin embargo los contenidos de magnesio, calcio y potasio disminuyen entre estos dos puntos.

Los sulfatos y cloruros presentan comportamiento opuesto, disminuyendo para el caso de los primeros y aumentando los segundos. En todo caso los valores promedios no superan los 220 mg/l y 160 mg/l respectivamente.

En la zona del río Caquena los nitratos presentan en promedio un valor de 0,06 mg/l, no superando los 0,2 mg/l.

En lo que respecta al arsénico se tienen valores que en promedio superan 0,1 mg/l.

El boro presenta valores muy diferentes entre lo medido en el pueblo de Caquena y en el vertedero, incluso, en un caso puntual se tiene que el boro supera los 15 mg/l en la estación río Caquena en Vertedero, con lo que en promedio el valor medido es de 3,6 mg/l, contra 2,7 mg/l en la localidad de Caquena.

El fierro presenta valores inferiores a 1,2 mg/l, no sobrepasando en promedio los 0,9 mg/l. Por último el cobre presenta valores bajos, no superando los 0,05 mg/l en promedio.

En términos de limitaciones al uso, las aguas del río Caquena no presentan problemas en cuanto al pH para los usos en riego o agua potable. La conductividad eléctrica puede afectar a cultivos sensibles. En cuanto

a cloruros, sulfatos, cobre y nitratos no se presentan problemas en relación a los límites impuestos por las normas, situación inversa a la que ocurre con el arsénico, boro y fierro.

En el caso del arsénico se sobrepasan los límites impuestos por la norma de agua para riego y para uso potable. En el caso del boro se sobrepasa sólo la norma para riego y el fierro sobrepasa el estándar para agua potable.

En resumen, las aguas del río Caquena presentan problemas por conductividad eléctrica, arsénico y boro para uso en riego, y por arsénico y fierro en lo que respecta al uso como agua potable. En el Plano 3.6, junto con la caracterización correspondiente al río Lauca, se presenta la del río Caquena.

#### e) **Río Lluta**

La caracterización de las aguas superficiales del río Lluta que se presenta a continuación se ha hecho tomando como base fundamental los estudios realizados por INGENDESA-DR (1993 y 1995), AC-DGA (1994), el estudio JICA-DGA (1995), lo que se complementó con antecedentes actualizados disponibles en el Laboratorio Ambiental de la DGA.

Para el análisis de la calidad de las aguas del río Lluta se consideraron 6 estaciones de muestreo en el eje del río Caracarani río Lluta y 2 estaciones correspondientes a aportes laterales. La ubicación de estas estaciones se presenta en el Plano 3.6. Los antecedentes utilizados en el análisis siguiente se presentan en la Tabla 3.24.

En primer lugar se tiene que con respecto del pH la aguas del sistema son de tipo alcalino con un pH promedio que varía entre 6,4 y 7,8.

Los aportes laterales al río presentan características completamente distintas, siendo las del río Colpitas de carácter alcalino y las del río Azufre de carácter ácido, teniendo estas últimas un pH de 2,0, llegando hasta valores tan bajos como 0,4. En cuanto a la conductividad eléctrica se tiene que en los ríos Caracarani y Lluta se observa un aumento paulatino y sostenido de la conductividad desde unos 900  $\mu\text{mhos/cm}$  en promedio en la localidad de Coronel Alcérreca, hasta llegar hasta a unos 4.000  $\mu\text{mhos/cm}$  a la altura de la carretera Panamericana. En cuanto a los aportes laterales se tiene en el río Azufre una conductividad de unos 2.200  $\mu\text{mhos/cm}$  en promedio, las que incluso aumentan a valores tan altos como 17.900  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Por otro lado, en todo el sistema no se detectan carbonatos, aunque si se detectan bicarbonatos, presentando en promedio un valor de 110,4 mg/l. La tendencia que muestran los bicarbonatos es disminuir desde 253 mg/l en el sector de Humapalca hasta llegar a unos 50 mg/l en promedio en el sector de Tocontasi. Posteriormente, aumentan hasta llegar a unos 120 mg/l a la altura de la Panamericana Norte.

En esta zona el sodio, magnesio y calcio presentan un comportamiento similar, disminuyendo en primer lugar entre Humapalca y Coronel Alcérreca, para luego aumentar desde esta localidad hasta llegar al mar. El potasio presenta un comportamiento distinto ya que tiende a aumentar en todo su recorrido.

La situación descrita anteriormente para el sodio, entre otros elementos, también se repite para el sulfato y los cloruros. El sulfato aumenta en la localidad de Coronel Alcérreca desde 210 mg/l hasta unos 830 mg/l en promedio al llegar al mar, y los cloruros varían entre 120 y 800 mg/l. Es importante indicar que el aporte del río Azufre también es alto en lo que respecta a estos parámetros, siendo su valor igual a unos 900 mg/l para los cloruros y de unos 1.500 mg/l para los sulfatos, ambos valores en promedio.

El arsénico presenta en general valores altos, tendiendo a aumentar entre Humapalca y Tocontasi, para luego tender a disminuir a medida que el río se aproxima al mar. La disminución del arsénico es un fenómeno químico que está condicionado por el paulatino aumento del pH del agua, el que se va haciendo más básico. Es importante notar que el arsénico contenido en las aguas de los aportes laterales es mayor que el contenido en las aguas del sistema principal. En cuanto al boro se tiene un continuo aumento de este elemento, desde un valor nulo en la zona de Humapalca hasta llegar a unos 22 mg/l en la desembocadura, explicándose ello por el alto contenido existente en los aportes laterales. El comportamiento del fierro y los nitratos es similar al que presenta el arsénico a lo largo de su recorrido. Respecto al cobre, éste se detecta en cantidades pequeñas sin presentar una clara tendencia en el recorrido del río.

Tabla 3.23 Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río Caquena

ESTACION	Conduct μmhos/cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	SO4 mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N/NO3 mg/l
RIO CAQUENA EN CAQUENA	1.224	7,86	114,4	67,2	52,0	23,9	296,1	0,0	220,3	138,8	0,119	2,703	0,00	0,84	0,058
RIO CAQUENA EN VERTEDERO	1.207	7,89	115,2	60,9	44,5	17,9	274,7	4,3	164,4	159,7	0,101	3,632	0,05	0,52	0,061

FUENTE: - Análisis Redes de Vigilancia. Calidad Aguas Terrestres. Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. AC-DGA, 1994  
 - Laboratorio Ambiental DGA

Tabla 3.24 Antecedentes Calidad de Aguas Superficiales Río Lluta

ESTACION	Conduct μmhos/cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	SO4 mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N/NO3 mg/l
RIO CARACARANI EN HUMAPALCA	1.636	7,42	184,0	53,5	80,2	15,6	253,0	0,0	311,0	203,0	0,129	0,000	0,02	1,51	0,115
RIO CARACARANI EN ALCERRECA	929	6,84	107,0	25,5	50,1	16,0	101,0	0,0	211,0	125,0	0,269	0,000	0,12	3,62	0,046
RIO LLUTA EN ALCERRECA	1.747	6,41	200,7	36,6	66,7	38,6	58,4	0,0	329,1	325,5	0,302	8,830	0,01	3,41	0,465
RIO LLUTA EN TOCONTASI	1.815	6,41	217,0	53,4	100,3	36,0	50,7	0,0	356,6	348,5	0,403	10,371	0,04	5,17	1,011
RIO LLUTA EN POCONCHILE	2.765	7,84	345,5	45,5	178,0	52,8	77,6	0,0	551,5	602,4	0,196	11,689	0,02	4,43	-
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	3.993	7,66	481,0	80,8	270,0	65,7	122,0	0,0	834,8	806,3	0,129	22,209	0,03	2,40	0,292
RIO COLPITAS EN ALCERRECA	2.224	7,65	331,2	24,0	71,6	65,3	128,4	0,0	225,7	523,4	0,471	19,945	0,05	0,94	0,097
RIO AZUFRE ANTES RIO CARACARANI	8.630	2,03	342,6	228,3	186,4	132,0	0,0	0,0	1.553,0	913,5	1,994	15,328	0,09	56,03	0,043

FUENTE: - Análisis Redes de Vigilancia. Calidad Aguas Terrestres. Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. AC-DGA, 1994  
 - Laboratorio Ambiental DGA

En base a los antecedentes consignados anteriormente y a los límites y rangos estipulados en las normas, puede establecerse que el pH de las aguas de los ríos Caracarani y Lluta está dentro de los rangos aceptados por ambas normas y no así las aguas del río Azufre que con sus características muy ácidas están muy lejos de lo aceptado. Por otra parte, la conductividad eléctrica de las aguas muestra que a medida que el río se acerca al mar los cultivos que pueden desarrollarse son más restringidos y con mayores dificultades, especialmente con mayores restricciones por drenaje.

Desde otro punto de vista, se tiene que los sulfatos y cloruros están excedidos según ambas normas en la mayoría de los casos, situación que se repite para el arsénico, el boro y el fierro en el caso de uso para agua potable. Estas aguas no presentan problemas por contenido de cobre y nitratos.

Finalmente, puede indicarse que estas aguas presentan limitaciones para su uso en riego, debido a su elevada conductividad eléctrica, y su alto contenido de sulfato, cloruros, arsénico y boro, y para el uso como agua potable además de los elementos anteriores, por su alto contenido de fierro.

Los antecedentes anteriormente expuestos se han representado gráficamente en el Plano 3.6 en conjunto con la calidad de las aguas de los ríos Lauca y Caquena.

### 3.2.3 Aguas Subterráneas

Para caracterizar la calidad físico-química de las aguas subterráneas se usaron los mismos criterios y representaciones empleadas para las aguas superficiales, descritas anteriormente en el Punto 3.2.2. A continuación se consignan las características para cada una de las cuencas de interés.

#### a) **Río San José**

Para el análisis de la calidad de las aguas subterráneas en torno al río San José se utilizó la información contenida en los estudios de JICA-DGA (1995) y Arrau-DGA (1997). Para éste se consideraron 14 puntos de muestreo que se ubican entre Cabuza y la zona costera y que corresponden a 12 sondajes y a 2 norias. La ubicación de estos puntos se presenta en el Plano 3.7 y los antecedentes considerados para el análisis en la Tabla 3.25. Debe mencionarse que en el estudio del Modelo Hidrológico Operacional de la Cuenca del Río San José, Arrau-DGA (1997), se está desarrollando un modelo de calidad de aguas sencillo de carácter preliminar, cuyo objetivo será representar los fenómenos de incremento de la salinidad de las aguas subterráneas incorporando los últimos 40 km de la cuenca del Valle del río San José.

Al analizar los antecedentes presentados en la Tabla 3.25 se observa que las aguas son de tipo alcalino, con un pH promedio de 7,34 y un rango de variación muy estrecho, entre 7,10 y 7,64. La conductividad eléctrica es relativamente uniforme, salvo en 3 sondajes en que los valores son bastante altos. Sin considerar los valores muy altos de conductividad eléctrica se tiene un valor promedio de unos 1.700  $\mu\text{mhos/cm}$  y un rango de variación de 1.243 a 2.245  $\mu\text{mhos/cm}$ .

En las aguas subterráneas de esta zona no se detectan carbonatos y los bicarbonatos presentes no muestran una clara tendencia.

En lo que respecta a las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y potasio se aprecian grandes variaciones entre los valores medidos en los diversos puntos de muestreo, no mostrando sin embargo alguna tendencia en su comportamiento.

Por otra parte, las concentraciones de cloruros y sulfatos medidas en los pozos del área son bastante altas, siendo en promedio superiores a los 300 mg/l. En el caso de los primeros, podría esperarse que en los pozos ubicados en la zona costera se deba al fenómeno de intrusión salina, tal como se indica en el estudio de

Arrau-DGA. Sin embargo, en ese mismo estudio se indica la existencia de una formación sedimentaria marina que tendría el efecto de evitar dicha intrusión, a pesar de que los niveles estáticos y dinámicos se ubican muy por debajo del nivel medio del mar. De acuerdo con lo anterior, los altos contenidos de cloruros podrían ser explicados por un fenómeno de salinización provocado por las aguas del río San José, tal como lo muestran los resultados del modelo de calidad de aguas realizado en el estudio antes citado.

En cuanto al arsénico y al boro, el primero se detecta sólo en algunos puntos de muestreo y en cantidades muy pequeñas, en cambio el boro se presenta en todos los puntos con un valor promedio de alrededor de 1,2 mg/l. En el caso de los nitratos, la mayoría de los valores medidos resultan bastante altos, lo que sugiere algún grado de contaminación por la actividad agrícola realizada en el entorno. En esta zona no se realizaron mediciones para detectar cobre.

Desde el punto de vista de la caracterización de las aguas en cuanto a su uso, el pH medido no presentaría problemas de acuerdo a las normas vigentes, sin embargo los valores de conductividad eléctrica, indicarían que las aguas muestreadas presentarían problemas para cultivos sensibles.

También, se presentan limitaciones desde el punto de vista del riego y agua potable, debido a que el contenido de sulfatos y cloruros sobrepasa el valor permitido por ambas normas. En el caso del boro, se presenta con valores que exceden en la mayoría de los casos el límite impuesto para su uso como agua de riego. En lo que respecta a los nitratos, en la mayoría de los puntos de muestreo la concentración medida es inferior a lo permitido por la norma. No obstante lo anterior, en algunos muestreos puntuales se detectan valores superiores a lo permitido por la norma, pero que no representa la generalidad de lo que ocurre en el valle.

En resumen, las aguas subterráneas en el entorno del río San José presentan limitaciones para su uso como agua potable o riego, por el alto contenido de sulfatos y cloruros presentes, agregándose que para el segundo caso se presenta un alto contenido boro en los puntos muestreados.

Los resultados de esta caracterización se presentan en el Plano 3.7.

## **b) Río Lauca**

El análisis de la calidad de las aguas subterráneas del río Lauca se realizó considerando las mismas fuentes de información empleadas para el análisis hidrogeológico, es decir, los estudios de Arrau-DGA (1997) y AC-ESSAT (1997). Para este análisis se consideraron 5 puntos de muestreo, 4 correspondientes a pozos de la Dirección de Riego y a otro pozo perteneciente a la Compañía Minera Vilacollo. La ubicación de estos puntos de muestreo se presenta en el Plano 3.8. Los antecedentes obtenidos se presentan en la Tabla 3.26.

De acuerdo a los antecedentes consignados en la Tabla 3.25 las aguas subterráneas en la cuenca del río Lauca son de tipo alcalinas con un pH promedio de 7,86. No se dispone de antecedentes de conductividad eléctrica.

En las aguas subterráneas no se detectaron carbonatos, aunque si bicarbonatos con valores que varían entre los 27 y los 50 mg/l.

En cuanto al sodio (10-38 mg/l), magnesio (0,2-8 mg/l), calcio (1,5-16 mg/l) y potasio (1,4-3 mg/l) se tienen variaciones importantes entre los valores medidos en cada punto de muestreo, no mostrándose tendencias evidentes en la variación de éstos parámetros.

En lo que respecta a los sulfatos (8-37 mg/l) y cloruros (7-18 mg/l) los valores detectados son bajos, al igual que su dispersión, no detectándose alguna tendencia en su variación.

Tabla 3.25 ANTECEDENTES CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CUENCA RÍO SAN JOSÉ

ESTACION	Conduct µmhos/cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	SO4 mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N/NO 3 mg/l
HOSPITAL N214	1.473	7,58	200,0	30,8	304,6	9,8	293,0	0,0	402,0	482,0	0,011	1,840	-	0,10	3,700
TRUFFA S182	2.118	7,46	84,0	24,3	328,7	7,3	179,3	0,0	273,7	438,7	0,000	0,820	-	0,05	9,930
ESSAT CARBONE S287	1.582	7,30	80,0	26,7	256,5	6,7	187,9	0,0	219,2	278,0	0,000	1,160	-	0,03	0,000
ESSAT SAN MIGUEL NORTE S265	1.434	7,49	77,5	38,9	200,4	6,7	190,3	0,0	218,0	194,0	0,000	0,490	-	0,05	0,080
OVIEDO N117	2.215	7,30	90,0	53,5	344,7	7,5	211,1	0,0	281,0	397,0	0,018	0,960	-	0,50	0,000
GARDILIC S107	3.081	7,14	203,3	41,3	444,9	8,8	255,0	0,0	412,0	591,0	0,000	1,590	-	0,18	0,000
ESSAT PAGO DE GOMEZ S221	1.583	7,33	80,6	31,6	232,5	6,7	237,0	0,0	253,0	218,0	0,000	0,720	-	0,03	0,000
ESSAT DEVOTTO S289	1.243	7,28	68,0	36,5	180,4	6,6	198,9	0,0	211,0	184,0	0,000	1,810	-	0,03	0,070
FIGUEROA S153	2.493	7,32	115,0	34,0	360,7	8,0	242,8	0,0	350,3	482,1	0,000	1,240	-	0,19	6,440
ESSAT AZAPA S230	1.727	7,20	88,5	63,2	284,6	7,5	213,5	0,0	213,0	323,0	0,000	1,260	-	0,11	0,000
LAJA S293	1.686	7,26	78,0	34,0	380,8	6,6	225,7	0,0	318,0	208,0	0,006	0,890	-	0,40	0,000
ESSAT DEVOTTO S288	1.784	7,64	84,5	36,5	260,5	7,6	230,8	0,0	294,0	298,0	0,000	1,060	-	0,03	0,080
ESSAT RETEN S141	2.407	7,31	125,0	36,5	416,8	8,6	186,7	0,0	631,0	612,3	0,011	1,380	-	0,14	5,210
ESSAT S147	1.700	7,10	-	31,1	239,0	-	-	0,0	253,3	303,7	0,013	-	-	0,58	4,970

FUENTE: - Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997

Tabla 3.26 ANTECEDENTES CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CUENCA RÍO LAUCA

DR N° 6	-	8,27	17,6	0,2	1,5	3,0	34,2	0,0	8,2	6,7	0,000	0,000	-	0,00	0,380
DR N° 8	-	8,00	18,0	5,8	16,0	3,1	40,3	0,0	14,0	10,6	0,000	0,000	-	0,00	0,340
DR N° 7	-	7,56	13,7	5,3	5,6	2,1	26,8	0,0	12,8	8,7	0,000	0,000	-	0,00	0,350
DR N° 9	-	7,32	9,6	3,4	9,6	1,8	42,7	0,0	15,4	10,6	0,005	0,490	-	0,43	0,200
PECH N° 3	-	8,15	38,0	7,8	2,4	1,4	50,0	0,0	37,0	18,3	0,082	0,750	-	7,42	0,240

FUENTE: - Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, en revisión-1997

De acuerdo a los antecedentes disponibles, no se detecta arsénico, boro y fierro en los tres primeros puntos de muestreo, pero sí en los restantes puntos. Además, se observan bajas concentraciones de nitratos. No se disponen de antecedentes relativos al contenido de cobre.

De acuerdo a estos antecedentes, las aguas subterráneas de la cuenca del río Lauca cumplen con los requisitos impuestos por las normas NCh 409 y NCh 1.333 en cuanto a pH, sulfatos y cloruros. Sólo en el caso del arsénico existe un punto (el PECH N°3), que no cumple con los requisitos impuestos por la norma de agua potable, lo cual puede deberse a una situación especial no representativa de la calidad global.

En el caso del fierro, los problemas de calidad se presentan en dos de los cinco puntos de muestreo (en un caso se excede la norma de agua potable y en el otro caso de la norma de riego) . Por último, con respecto de los nitratos no se presentan problemas.

En resumen, y de acuerdo a los pocos antecedentes disponibles, las aguas de la cuenca del río Lauca no presentarían problemas para su uso en riego ni para su uso en agua potable salvo situaciones puntuales en que se excederían las normas.

Los resultados de esta caracterización se presentan en graficados en el Plano 3.8.

### c) **Río Lluta**

Al igual que en la caracterización hidrogeológica, el análisis de la calidad de aguas subterráneas del valle del río Lluta se realizó considerando la información contenida en el estudio JICA-DGA (1995) e información disponible en el Laboratorio Ambiental de la DGA. El análisis se realizó en forma separada para los acuíferos inferior y superior. Para caracterizar el primero, se utilizan los antecedentes de 4 pozos, perforados para el estudio JICA-DGA, en tanto en el caso del acuífero superior, se utilizó la información proveniente de 3 norias existentes. La ubicación de los puntos de muestreo se presenta en el Plano 3.8. Los antecedentes considerados para el análisis se presentan en la Tabla 3.27.

En lo que respecta a las características físico-químicas de las aguas del acuífero superior, las aguas presentan características alcalinas con un pH del orden de 7,0, y una conductividad eléctrica muy alta, superándose los 4.300  $\mu$ mhos/cm.

Por otra parte no se detectan carbonatos y los bicarbonatos presentes en algunos puntos no superan los 100 mg/l.

En cuanto al contenido de calcio y magnesio, los valores muestreados se presentan muy diferentes entre sí. Una situación diferente se aprecia por los contenidos de sodio y potasio, ya que los valores medidos en las norias resultan parecidos para cada elemento.

Los sulfatos y cloruros medidos en estas aguas son bastante altos, superándose los 800 mg/l. En el caso del arsénico los valores detectados no son uniformes, con un promedio del orden de 0,02 mg/l. El boro se presenta con altas concentraciones, las que superan los 15 mg/l. El fierro detectado es bajo y no es uniforme a diferencia del cobre, el que también es bajo, pero con un valor que varía entre 0,01 (acuífero inferior) y 0,03 mg/l (acuífero superior). Por último, los nitratos presentes son altos, superándose los 10 mg/l.

En lo que respecta a las aguas del acuífero inferior, estas se presentan algo ácidas, con un pH en torno a 6,9. Para estas aguas no se cuenta con antecedentes de conductividad eléctrica. Al igual que en el caso

del acuífero superior, no se detectaron carbonatos, y los bicarbonatos presentes son en promedio un 5% más altos que en el acuífero superior.

El contenido promedio de sodio, en el acuífero inferior (450 a 612 mg/lit) es del orden de un 13% superior que en el acuífero superior (422 a 473 mg/lit), observándose además el potasio levemente superior. Una situación inversa se presenta en el acuífero inferior con el magnesio (74-105 mg/lit) y el calcio (239-338 mg/lit), ya que el contenido de estos elementos es aproximadamente un 20% menor que lo contenido en el estrato superior (Mg: 92-154 mg/lit; Ca: 244-485 mg/lit).

El contenido en el acuífero inferior de sulfatos (625-875 mg/lit) y cloruros (839-1.063 mg/lit) también es alto, pero un 15% menos de lo detectado en el estrato superior (S04:843-932 mg/lit; cloruros: 912-1.366 mg/lit), situación parecida a la del arsénico (acuífero superior: 0,09-0,046 mg/lit), con un contenido de un 8% inferior (acuífero superior: 0,013-0,039 mg/lit). Esta diferencia se incrementa para el cobre y los nitratos, siendo en el primer caso un 33% menor (acuífero superior: 0,03 mg/lit; acuífero inferior: 0,01 mg/lit) y en el segundo caso hay apenas un 5% de lo medido en el nivel más superficial que se detecta en el nivel más profundo (acuífero superior: 10-18 mg/lit; acuífero inferior: 0,04 - 1,4 mg/lit).

La situación se invierte para el boro y el fierro, ya que el primer elemento excede en un 15% el contenido detectado en el acuífero superficial (acuífero superficial: 17-20 mg/lit; acuífero inferior: 19-25 mg/lit) y el segundo en casi 7 veces (acuífero superficial: 0,08-0,49 mg/lit; acuífero inferior 0,05-6,6 mg/lit).

En lo que respecta a las limitantes que presentan estas aguas, se tiene que en ambos acuíferos el pH está dentro de los rangos aceptables para ambas normas, y el cobre no presentaría problemas, al contrario de lo que sucede con los sulfatos, cloruros y boro, que superan los límites establecidos por las normas. En el acuífero superior, se presentan problemas por el alto contenido de nitratos y por la alta conductividad eléctrica que impide sus uso en suelos poco permeables como los que se tienen en el área, y en el acuífero inferior se tienen problemas con el fierro.

En resumen, las aguas subterráneas de la cuenca del río Lluta presentan limitaciones en su calidad para el uso en riego, debido al contenido de sulfatos, cloruros, boro y nitratos, además de su alta salinidad. En lo que respecta a agua potable, las limitaciones vienen dadas por los contenidos de sulfatos, cloruros, boro y fierro.

Los resultados de la caracterización química se presentan en el Plano 3.8 en conjunto con la cuenca del río Lauca.

#### d) **Quebrada de La Concordia**

El análisis de la calidad de las aguas subterráneas de la quebrada de La Concordia se realizó solamente en base al estudio de Vera y Castillo (1982), que como ya se ha explicado es el único existente para esta zona. Para esto se seleccionaron 3 muestreos de un total de 16 que se realizaron durante la construcción de los pozos, siendo estos los más completos. La ubicación de los puntos de muestreo se presenta en el Plano 3.8. Los antecedentes empleados en la caracterización se consignan en la Tabla 3.28.

Al analizar las características de estas aguas se observa que son de tipo alcalinos con un pH del orden de 7,7 y una conductividad eléctrica baja, no superando los 1.000  $\mu$ mhos/cm.

En la zona no se detectaron carbonatos y los bicarbonatos son inferiores a 110 mg/l. El sodio es similar en los 2 pozos (12 mg/lit), en tanto el potasio en los 3 pozos varía entre 7,8 y 13,3 mg/lit. Por otro lado, el magnesio (5,5 y 7,8 mg/lit) y el calcio (45,5 y 112 mg/lit) presentan contenidos en un rango muy amplio.

En lo que respecta a sulfatos, los contenidos son variables (entre 30 y 140 mg/l), situación similar a los cloruros (entre 324 y 562 mg/l).

El contenido de arsénico presenta valores bajos, similares entre los distintos pozos (0,009-0,016 mg/l). El contenido de boro es muy variable pero en general superior a 0,5 mg/l. Una situación similar se repite con los nitratos, aunque no superan los 7 mg/l. No se disponen de antecedentes de cobre y fierro.

En base a los antecedentes consignados, las aguas subterráneas de la quebrada de La Concordia no presentan limitaciones de uso en cuanto a pH y a conductividad eléctrica. Sin embargo, los altos contenidos de cloruros restringen el uso como agua de riego y potable, agudizándose el problema en este último caso debido al contenido de arsénico y de boro para el riego. No se presentan problemas con los contenidos de sulfatos y nitratos.

En resumen las aguas de la quebrada de La Concordia presentan problemas para su uso en riego por exceso de cloruros y boro, y para su uso como agua potable por exceso de cloruros.

Los resultados gráficos de la caracterización se presentan en el Plano 3.8.

### 3.3 USOS Y DEMANDAS DE AGUA

Este acápite contiene la caracterización de las demandas de agua según los distintos sectores económicos que la utilizan, tanto para la situación actual (1996) como futura, considerando un horizonte de 20 años (2016). Dicha caracterización se basa en los antecedentes provenientes de los diversos estudios existentes, realizando a partir de ellos un análisis por separado de las actividades económicas relevantes que dependen en forma determinante del aprovechamiento del recurso hídrico, a saber: riego, agua potable e industrial, hidroelectricidad y minería. Los resultados de esta caracterización se presentan en el Plano 3.9, incluyendo la situación actual y futura de las demandas.

#### 3.3.1 Revisión Crítica de la Información Recopilada

##### a) Demandas de Riego

En relación a las demandas de agua para uso agrícola, se analizó la información contenida en los estudios de AC-DGA (1989), INGENDESA-DR (1993), JICA-DGA (1995), CONIC-BF-CORFO (1995), DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), INDAP-ARICA (1996), IPLA-DGA (1996), y Arrau-DGA (1997).

##### a.1) Valle de Azapa

Como punto de partida del análisis de las demandas de agua de riego en el valle de Azapa, se presenta en la Tabla 3.29 un resumen con la información contenida en los diferentes estudios que analizan la problemática del valle.

A partir de los datos presentados es posible observar grandes diferencias entre las superficies de cultivos consideradas en los distintos estudios. Al respecto es importante comentar que los estudios de JICA-DGA (1995) e IPLA-DGA (1996) se basan en los antecedentes del estudio AC-DGA (1989), por lo que a la fecha de realización de esos estudios ya no representaban adecuadamente la situación agrícola del valle. Por su parte, el estudio de CONIC-BF-CORFO (1995) tomó como base la información contenida en el estudio JICA-DGA (1995), y por la misma razón anterior sus antecedentes no tendrían la suficiente validez. Por otro lado, la información contenida en el estudio del INDAP-ARICA (1996) al tomar en cuenta la situación actual del área de estudio tiene un grado de representatividad mayor, aunque no entrega antecedentes adicionales a los presentados en los informes anteriormente citados.

Tabla 3.27 Antecedentes Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Río Lluta

ESTACION	Conduct μmhos/cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	SO4 mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N/NO3 mg/l
NORIA N-1	4.300	7,10	422,0	112,0	333,0	54,5	77,0	0,0	932,0	912,0	0,013	20,030	0,03	0,20	9,830
NORIA N-5	4.400	7,00	473,0	92,0	244,0	58,0	93,0	0,0	843,0	915,0	0,039	18,670	0,03	0,08	11,470
NORIA N-9	5.300	7,00	453,0	154,0	485,0	57,0	49,0	0,0	893,0	1.366,0	0,022	17,290	0,03	0,49	18,730
POZO J-1	-	6,90	612,0	105,0	338,0	65,5	148,0	0,0	875,0	1.063,0	0,046	24,500	0,02	2,26	0,410
POZO J-A	-	7,10	451,0	85,0	239,0	52,0	104,0	0,0	625,0	839,0	0,009	19,240	0,01	6,60	0,540
POZO J-2	-	6,60	515,0	74,0	299,0	60,0	104,0	0,0	825,0	908,0	0,019	23,450	0,01	0,05	1,430
POZO J-B	-	6,90	460,0	93,0	296,0	51,0	78,0	0,0	750,0	868,0	0,005	19,450	0,01	0,28	0,740

FUENTE: - El Estudio de los Recursos de Agua de la Parte Norte de Chile. JICA-DGA, 1995

**Tabla 3.28 ANTECEDENTES CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CUENCA QUEBRADA DE LA CONCORDIA**

ESTACION	Conduct μmhos/cm	pH u. pH	Na mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Cloruro mg/l	As mg/l	Boro mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	N/NO <sub>3</sub> mg/l
POZO 1810-7020 D1	540	7,70	12,0	5,5	45,5	10,2	85,4	0,0	57,2	324,0	0,016	0,950	-	-	3,300
POZO 1810-7020 D4	540	7,80	12,0	77,8	54,5	7,8	105,0	0,0	135,9	448,1	0,009	1,200	-	-	2,400
POZO 1820-7020 B1	920	7,70	209,9	14,0	112,0	13,3	50,0	0,0	30,3	561,5	0,006	0,500	-	-	6,600

FUENTE: - Convenio de Estudios Hidrológicos. Quebrada de La Concordia y Escritos. Vera y Castillo, 1982

Por último, y en lo que respecta a la superficie de riego, en el estudio de Arrau-DGA (1997) se consideró como punto de partida la información contenida en los estudios anteriores, la que posteriormente fue contrastada con información recabada en visitas a terreno y antecedentes actualizados de la DR, INDAP, CONADI, FOSIS y los agricultores. Con lo anterior se determinó la superficie bajo riego para los años 1989 a 1996. Se observa de estos datos un progresivo aumento en la superficie de riego entre estos años, desde 2.270 a 3.088 ha.

**Tabla 3.29 Demandas de Riego Valle de Azapa**

ESTUDIO	SUPERFICIE (ha)		DEMANDA MEDIA ANUAL (millones m <sup>3</sup> /año)			
	ACTUAL	FUTURA	ACTUAL		FUTURA	
			BRUTA	NETA	BRUTA	NETA
AC-DGA, 1989	2.522	-	42,4	-	-	-
JICA-DGA, 1995	2.542 (Mar-Oct) 1.295 (Abr-Feb)	- -	40,1	24,8	-	-
CONIC-BF-CORFO, 1995	2.428 (Mar-Oct) 1.684 (Nov-Feb)	- -		23,7	-	-
IPLA-DGA, 1996	2.522	2.692	35,6	25,6	37,5	27,4
INDAP-ARICA, 1996	2.700		-	-	-	-
ARRAU-DGA, 1997	2.270 (1989)	-	26,2	20,4	-	-
	2.338 (1990)	-	27,5	20,7	-	-
	2.406 (1991)	-	26,8	20,9	-	-
	2.474 (1992)	-	28,1	21,1	-	-
	2.542 (1993)	-	27,4	21,3	-	-
	2.723 (1994)	-	31,0	23,3	-	-
	2.906 (1995)	-	28,8	22,4	-	-
	3.088 (1996)	-	28,7	21,7	-	-

En lo que respecta a la evaluación de agua de demandas, en los estudios de AC-DGA (1989), JICA-DGA (1995) e IPLA-DGA (1996), se usaron antecedentes del año 1975 en lo que a tasas y eficiencias de riego se refiere, y no se consideró la tecnificación del riego que se ha estado llevando a cabo en los últimos años, por lo que los resultados obtenidos no tienen validez. Por su parte, el estudio de CONIC-BF-CORFO se basó en los antecedentes del estudio JICA-DGA (1995), por lo que adolece del mismo tipo de problemas. En base a lo anterior se observa que las demandas consignadas en los estudios de AC-DGA (1989), JICA-DGA (1996), IPLA-DGA y CONIC-BF-CORFO (1996) no presentan adecuadamente la realidad de la zona.

En lo que respecta a las demandas consignadas en el estudio de Arrau-DGA, éstos fueron determinadas con antecedentes agronómicos y de tecnificación de riego actualizados y, por lo tanto, tienen un mayor grado de acercamiento con la situación actual del área de estudio. Al analizar las demandas netas evaluadas en el estudio de Arrau-DGA (1997) se observa que existe un aumento progresivo entre la situación presentada al año 1989 y el año 1994, y que desde esa fecha la demanda neta disminuyó aunque la superficie bajo riego aumentó. La explicación de ese fenómeno está relacionada con la creciente tecnificación del valle que se traduce en un mejor aprovechamiento de las aguas. En cuanto a las demandas brutas se observa un comportamiento diferente ya que se están considerando diferentes grados de tecnificación en el valle, los que no han tenido una variación uniforme en el tiempo. En este estudio no se evaluó un escenario futuro de cambio de patrones de cultivos, aunque se indica que se espera un comportamiento de la demanda para la agricultura similar al actual.

### a.2) Valle del Río Lluta

De la misma forma que para el caso del valle de Azapa, se presenta en la Tabla 3.30 la información disponible para el valle del río Lluta referente a superficies bajo riego y demanda media anual considerada en los diversos estudios.

En lo que respecta a la superficie bajo riego existen grandes diferencias entre los valores consignados en los diferentes estudios, tal como se observa en la Tabla 3.30. No obstante lo anterior, cuando se analiza la superficie potencialmente cultivable del valle se tienen resultados concordantes, ya que en el estudio de INGENDESA-DR (1983), CONIC-BF-CORFO (1995), INDAP-ARICA (1996) y se presenta una superficie total que varía entre las 2.600 y 2.700 ha, que se diferencia de la anterior ya que toma en cuenta las áreas sin riego.

Por otra parte, las diferencias que se presentan entre las superficies consideradas en los estudios de INGENDESA-DR (1993) y CONIC-BF-CORFO (1995), se deben a que representan la condición agrícola existente en el valle a la fecha de realización de los estudios. En el caso del estudio JICA-DGA (1995), se considera que el total de la superficie del valle está cultivada, lo que no se ajusta a los hechos, ya que existen sectores sin riego o con escasa posibilidad dado los severos problemas de drenaje de este valle. Lo anterior hace que los antecedentes del estudio JICA-DGA (1995) no sean confiables para los fines perseguidos por el Plan Director.

**Tabla 3.30 Demandas de Riego Valle del Río Lluta**

ESTUDIO	SUPERFICIE (ha)		DEMANDA MEDIA ANUAL (millones m <sup>3</sup> /año)			
	ACTUAL	FUTURA	ACTUAL		FUTURA	
			BRUTA	NETA	BRUTA	NETA
INGENDESA-DR, 1993	1.795	2.220	45,9	-	63,8	-
JICA-DGA, 1995	2.784	-	64,6	30,0	-	-
CONIC-BF-CORFO, 1995	2.075	-	43,7	-	-	-
IPLA-DGA, 1996	1.795	2.220	46,1	18,0	57,8	23,6
INDAP, 1996	2.600	-	-	-	-	-

En lo que respecta a demandas, se tiene que los valores de demanda bruta consignados en los estudios restantes son similares entre sí, dado que consideran condiciones agrícolas parecidas.

En cuanto al análisis de la situación futura, sólo se dispone de éste en los estudios de INGENDESA-DR (1993) e IPLA-DGA (1995). Para esta evaluación se consideró que el aumento de superficie de riego está condicionado por la construcción del embalse Chironta, propuesto en el estudio de INGENDESA-DR (1993), y por el saneamiento de los problemas de drenaje del valle. En este análisis no se considera tecnificación en el valle, aunque se puede contar con aguas con mayor seguridad de riego y hasta con mejor calidad que la actual, lo que permitiría cultivos más rentables.

### a.3) Zona Precordillerana

El tercer sector en que existe demanda de agua para riego corresponde a la zona precordillerana, cuyas localidades más importantes son Putre, Socoroma, Zapahuira, Murmuntani, Chapiquiña, Pachama, Belén, Lupica, Saxamar y Tignamar. Con excepción de las tres primeras, todas ellas se ubican en quebradas afluentes del río Tignamar. Los antecedentes recabados sobre demandas en esta zona se presentan en la Tabla 3.31.

Al analizar los antecedentes de superficie se observa que para ambos estudios la superficie actualmente regada es del orden de 1.700 ha sobre un total de 2.600 ha potenciales, definidas como aquellas que alguna vez estuvieron bajo riego.

**Tabla 3.31 Demandas de Riego Zona Precordillerana**

ESTUDIO	SUPERFICIE (ha)		DEMANDA MEDIA ANUAL (millones m <sup>3</sup> /año)			
	ACTUAL	FUTURA	ACTUAL		FUTURA	
			BRUTA	NETA	BRUTA	NETA
INDAP, 1996	1.767	2.600	-	-	-	-
ARRAU-DGA, 1997	1.711	2.600	7,7*	3,9*	11,3*	5,7*

\* Evaluada a partir de los antecedentes contenidos en el estudio Arrau-DGA

Por otra parte, las demandas de agua en la situación actual que se presentan en la Tabla 3.31 fueron evaluadas a partir de los antecedentes consignados en el estudio de Arrau-DGA, llegándose a establecer una demanda bruta de 7,7 millones m<sup>3</sup>/año y de 3,9 millones m<sup>3</sup>/año como demanda neta. La evaluación anterior se realizó considerando que en esta área se capta toda el agua disponible, y para la evaluación de la demanda neta, se descontó el agua que se pierde retornando al río Tignamar.

En el estudio de Arrau-DGA no se evalúan demandas futuras, aunque se indica que en la actualidad se están usando todos los recursos disponibles en el riego. No obstante lo anterior, para el desarrollo del Plan Director se ha evaluado la demanda futura potencial, determinada como el agua necesaria para regar las 2.600 ha potenciales, manteniendo las tasas de riego actuales. De esta forma se evaluaron las demandas en 11,3 y 5,7 millones m<sup>3</sup>/año como demandas bruta y neta, respectivamente.

## b) Demandas de Agua Potable

Los estudios que presentan información referente a esta materia son los de Bustamante y Schudeck-ESSAT (1992), HIDROSAN-ESSAT (1993), INYGE-DGA (1993), JICA-DGA (1995), ICSA-ESSAT (1995), DHV y otros-MINAGRI-MOP (1997) IPLA-DGA (1996), y Arrau-DGA (1997).

### b.1) Ciudad de Arica

En los estudios indicados se presenta la información relativa a proyecciones de población, producción de agua potable, consumos, dotaciones y pérdidas, la que se ha resumido en la Tabla 3.32.

En la casi totalidad de estos estudios se presentan antecedentes respecto de la población abastecida, producción total y pérdidas del sistema, para diferentes horizontes de evaluación, siendo estos los elementos centrales del análisis. Sin embargo, todos ellos, con excepción del estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), realizaron proyecciones o tomaron como base el año 1995, por lo que se tomó como base este año para las comparaciones entre los distintos estudios.

Al comparar los valores de población de los distintos estudios a dicho año se aprecian grandes diferencias entre ellos. Se observa por ejemplo que las cifras presentadas en los estudios de Bustamante y Schudeck-ESSAT (1992), INYGE-DGA (1983), JICA-DGA (1995) e IPLA-DGA (1996) son los más altos, variando entre los 180.000 y 210.000 hab, en cambio, los incluidos en los estudios de HIDROSAN-ESSAT (1993) e ICSA-ESSAT (1995) son del orden de 170.000 hab. Las diferencias anteriores podrían explicarse por la mejor calidad de la información básica disponible a la fecha de realización de las proyecciones, como por ejemplo los resultados del censo de 1992, que se usaron para determinar los antecedentes consignados en los últimos estudios.

En lo que corresponde a las dotaciones de producción, los antecedentes del estudio ICESA-ESSAT (1995) corresponden a los planes de desarrollo de ESSAT y por lo tanto representan el escenario de demandas que ESSAT estaría obligado a satisfacer hasta el año 2020, año de previsión del plan de desarrollo.

En lo que respecta a las pérdidas del sistema, o agua no contabilizada de acuerdo al programa de desarrollo de ESSAT, se considera que disminuirán gradualmente desde un 45,4% de la producción total al año 1994, hasta un 41,9% al año 1996. Luego se reducen hasta un 35% al año 2000 y desde ahí se reducen hasta un 30% al año 2005 para permanecer constantes durante el resto del período de previsión del plan de desarrollo.

#### b.2) Putre

En relación a las demandas de agua potable en la localidad de Putre, en el valle del río Lluta, sólo se dispone de información en el estudio de IPLA-DGA (1995), la que se estimó para 1992 en base a correlaciones con otras localidades con características similares del Norte Grande. A partir de esta correlación se obtuvo una dotación de 160 l/hab/día, una demanda bruta de 0,91 l/s y una demanda neta de 0,46 l/s para una población proyectada de 486 hab. Para el año 2017 se proyectó una población de 738 hab con una demanda bruta de 1,37 l/s y una demanda neta de 0,68 l/s. En todos los casos se supuso el nivel de pérdida en el sistema en 50%.

#### c) Uso Industrial

Al igual que para el caso de las demandas de agua potable, en primer término se presenta en la Tabla 3.33 un resumen con la información disponible en los estudios que incluyen antecedentes de demandas de tipo industrial.

De acuerdo a la información contenida en el estudio IPLA-DGA(1995), en la zona existen más de 20 industrias, de las cuales aproximadamente el 97% del total de agua requerida corresponde a 3 industrias pesqueras, las cuales extraen recursos subterráneos del Valle de Azapa por medio de la red de agua potable de ESSAT para consumo humano refrigeración y otros consumos menores. Para procesos industriales utilizan agua salobre desde captaciones propias al sur de Arica, lo que equivale al 90% de la demanda bruta. En este estudio se estimó una demanda bruta al año 1995 equivalente a 5.774.780 m<sup>3</sup>/año, lo que se contrapone con las demandas estimadas en los estudios de CONIC-BF-CORFO (1995), que asciende a 126.000 m<sup>3</sup>/año equivalente a la extracción de 3 pozos destinados a estos fines, la de Bustamante y Schudeck-ESSAT (1992) igual a 1.113.000 m<sup>3</sup>/año, y la de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) equivalente a 540.700 m<sup>3</sup>/año correspondiente a 3 industrias con derechos de agua concedidos al año 1988. En el estudio de Arrau-DGA (1997) se adoptaron las demandas del estudio IPLA-DGA (1996).

De acuerdo a los antecedentes incluidos en los estudios, no existen demanda de agua industrial en las restantes cuencas que forman parte del área de estudio, indicándose además que no se espera que esto se modifique a futuro.

**Tabla 3.33 Demandas de Agua Industriales**

Estudio	Año	Demanda Bruta
Bustamante y Schudeck-ESSAT, 1992	1990	1.071
	1995	1.113
	2015	1.527
	2020	1.686
CONIC-BF-CORFO, 1995	1995	126
IPLA-DGA, 1996	1993	5.495
	2015	9.192
DHV y otros-MINAGRI-MOP, 1997	1988	541
ARRAU-DGA, 1997	1993	5.495
	2015	9.192

Tabla 3.32 Demandas de Agua Potable

Estudio	Año	Población Abastecida (hab)	Volumen ( miles m <sup>3</sup> /año)					Dotación (l/hab/día)		Pérdidas (%)	
			Consumo					Producción	Consumo		Producción
			Residencial	Comercial	Industrial	Fiscal	Total				
Bustamante y Schudeck-ESSAT, 1992	1990	175.576	8.406	796	660	1.869	11.730	19.037	183	297	38,4
	1995	199.837	10.470	919	763	2.148	14.300	20.872	196	286	31,5
	2015	301.602	18.557	1.473	1.222	3.374	24.626	30.782	224	280	20,0
	2020	328.051	20.944	1.626	1.349	3.707	27.626	34.532	231	288	20,0
HIDROSAN-ESSAT, 1993	1995	167.561					(11.926)*	24.839		312	37,5
	2015	221.275					(17.508)*	31.421		299	27,5
	2020	237.204					(19.221)*	33.316		296	25,0
INYGE-DGA, 1993	1990	181.200					12.218	19.363	185	293	36,9
	1995	208.029					14.191	20.656	187	272	31,3
	2015	329.643					23.967	29.959	199	249	20,0
	2020	367.535					27.146	33.933	202	253	20,0
JICA-DGA, 1995	1995	181.221					14.999	24.999	222		40,0
	2015	283.841					25.680	36.686	236		30,0
ICSA-ESSAT, 1995	1995	167.074					10.688	18.960	(175)***	315	43,6
	1996	168.962					10.829	18.640	(176)***	306	41,9
	2015	239.628					19.637	28.052	(225)***	325	30,0
	2020	258.656					21.733	31.047	(230)***	333	30,0
IPLA LTDA., 1996	1992	181.777	9.154	845	(630)**	1.980	12.609	20.577			38,7
	1995	198.453	10.470	919	(712)**	2.148	14.250	20.872			31,7
	2015	299.513	18.557	1.473	(1.232)**	3.374	24.636	30.782			20,0
	2017	310.019	19.512	1.534	(1.292)**	3.507	25.846	32.283			19,9
DHV y otros-MINAGRI-MOP, 1997	1992				690			16.365			
	2012	285.957			1.027		22.916	-			
ARRAU-DGA, 1997	1995							18.657			
	2015							32.902			

Nota: (N°)\* Valor estimado según porcentaje de pérdidas indicado  
(N°)\*\* Valor corresponde a un 5% del total según se indica en informe respectivo.  
(N°)\*\*\* Valor estimado a partir de datos de consumo y población.

#### d) Demandas Mineras

De acuerdo a lo indicado en los distintos estudios, en la cuenca del río San José no existen demandas actuales de agua para uso minero, como tampoco se espera que existan en el futuro.

En la cuenca del río Lluta existen derechos de agua concedidos a 3 empresas mineras por un total de 65,5 l/s, lo que de acuerdo al estudio de IPLA-DGA (1996) aumentaría en 25 años a 141,0 l/s.

Por último, en la cuenca del río Lauca existen en la actualidad derechos de agua subterránea concedidos por un total de 68,0 l/s a la compañía Minera Vilacollo, de acuerdo a lo consignado en el estudio CONIC-BF-CORFO (1995). Se estima que esta demanda no debería variar en el futuro de acuerdo a los antecedentes existentes.

#### e) Demandas Hidroeléctricas

De acuerdo a lo indicado en el estudio de IPLA-DGA (1996) actualmente, en la cuenca del río San José no existen demandas actuales para producción de energía hidroeléctrica, sin embargo existen cuatro proyectos de centrales en serie, a partir de la descarga de la central Chapiquiña, que operarían con recursos provenientes de la cuenca del río Lauca. En la Tabla 3.34 se indican las características principales de estas centrales hidroeléctricas.

En la cuenca del río Lluta no existe producción de energía hidroeléctrica, pero si tres proyectos de centrales de pasada que utilizarían las aguas de este cauce. El aprovechamiento de estos recursos se haría aguas arriba de Ausipar y no afectaría a otros usuarios, tales como el sector riego. Las características principales de estas centrales aparecen consignadas en la Tabla 3.34.

En cuanto a la cuenca del río Lauca, cabe señalar que se han efectuado estudios para la construcción de la central Lauca, la cual utilizaría el desnivel existente en el Km 13,3 del canal Lauca. Su altura bruta sería de 15 m con una potencia instalada de 70 kW y un caudal de diseño de 600 l/s con lo cual se generaría una energía media de 600.000 kWh/año.

En términos generales, no existen demandas de agua para generación hidroeléctrica con recursos nuevos puesto que las necesidades de energía del SING están siendo cubiertas con centrales térmicas, dada la poca seguridad que ofrecería el uso de recursos hídricos para la generación eléctrica en la zona.

**Tabla 3.34 Centrales Hidroeléctricas Proyectadas  
Cuecas Ríos San José y Lluta**

Cuenca	Central	Altura Bruta (m)	Caudal Diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Generable Año Medio (m <sup>3</sup> /s)	Potencia Instalada (kW)	Energía Media Anual (GWh/año)
Río San José	Cotani	30	1,40	0,60	360	1,8
	Cosapilla	90	1,20	0,68	800	4,6
	Tignamar	510	1,35	0,95	5.300	32,0
	Livilcar	680	1,35	0,95	7.000	43,0
Río Lluta	Socoroma	990	1,9	1,30	14.000	99,0
	Campanani	675	2,4	1,65	13.000	94,0
	Chaquire	380	2,7	2,10	8.100	59,0

FUENTE: Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA-DGA, 1996.

### 3.3.2 Demandas de Recursos Hídricos. Valores Actuales y Futuros

A continuación se presentan las demandas de agua que en el presente estudio se consideran con mayor validez para representar la situación actual y futura, a partir de la revisión y análisis crítico de los antecedentes existentes realizado en el punto anterior. En la presentación que sigue se han desglosado las demandas según se refiere a sector económico dentro de cada zona geográfica estudiada. Ello se complementa con una síntesis de estos resultados, graficada en el Plano 3.8, a fin de facilitar la identificación visual de las áreas geográficas donde se producen las demandas de agua de cada sector.

#### a) Demandas de Riego para el Valle de Azapa

Para el presente estudio se adoptaron los requerimientos de agua para riego presentados en el informe Arrau-DGA (1997), ya que toman en cuenta el proceso de tecnificación del valle, y el aumento de la superficie bajo riego.

En la Tabla 3.35 se presentan las demandas brutas y netas totales a nivel mensual para la situación actual. Señala que a futuro se mantendría la tendencia de los últimos años, con un aumento de las zonas regadas y mayor porcentaje de riego tecnificado. Por lo tanto se debieran mantener relativamente constantes las demandas de agua para riego respecto a lo consignado en los últimos años.

**Tabla 3.35 Demandas de Riego Totales Brutas y Netas, Valle de Azapa (l/s)**

MES	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
DEMANDA BRUTA	1.043	1.220	973	825	1.719	911	482	620	595	711	850	955
DEMANDA NETA	792	927	739	626	1.305	692	366	471	452	540	645	725

FUENTE: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca Río San José. Arrau-DGA, 1997.

#### b) Demanda de Agua para Riego en el Valle del Río Lluta

Para el valle del río Lluta se han aceptado como válidos los resultados proporcionados en el estudio de IPLA-DGA (1996) que se basa en información de 1993. Lo anterior debido a que considera la situación agrícola del valle en forma adecuada y a que realiza proyecciones de demanda acorde con el tipo de soluciones factibles para la zona.

Las demandas adoptadas se presentan en la Tabla 3.36.

**Tabla 3.36 Demandas de Riego Totales Brutas y Netas Actuales y Futura Valle del Río Lluta (l/s)**

DEMANDA	MES											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
BRUTA ACTUAL	1.638	2.143	2.580	2.926	1.457	1.577	1.270	1.100	809	355	656	989
BRUTA FUTURA	1.923	2.558	3.097	3.600	1.902	2.152	1.786	1.577	1.169	1.366	1.712	1.137
NETA ACTUAL	643	857	1.049	1.196	532	600	496	435	315	107	234	376
NETA FUTURA	781	1.061	1.303	1.518	738	867	736	658	486	110	258	446

FUENTE: Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA-DGA, 1996.

### c) Demandas de Riego en Zona Precordillerana

En relación a las demandas de riego en esta zona, se adoptaron las calculadas a partir de los antecedentes del estudio Arrau-DGA, las que alcanzarían un valor de 7,7 millones m<sup>3</sup>/año como demanda bruta, y 3,9 millones m<sup>3</sup>/año como demanda neta. Para la situación futura se adoptó una demanda bruta de 11,3 millones m<sup>3</sup>/año y una neta de 5,7 millones m<sup>3</sup>/año.

### d) Demandas de Agua Potable de Arica

En relación a estas demandas se adoptó como válida la información proporcionada en el estudio ICESA-ESSAT (1995) ya que corresponde al plan de desarrollo de ESSAT, siendo esto la fuente de información más actualizada disponible.

La proyección adoptada supone un crecimiento poblacional de Arica a una tasa geométrica variable de 1,13% hasta el año 1997, de 2,05% entre los años 1998 y 2010, y de 1,54% para los años restantes. Las dotaciones de producción varían de 295,5 l/hab/día en el año 1992 a 333,4 l/hab/día en el año 2020, en tanto las pérdidas de distribución se consideran decrecientes en el tiempo llegando a un valor mínimo de 30% en el año 2005, de acuerdo a la política de reducción de pérdidas implementada por ESSAT.

En la Tabla 3.37 se resumen las demandas actuales y futuras de agua potable de la ciudad de Arica, considerando tanto el valor medio como la producción total y el nivel de pérdidas adoptados en el plan de desarrollo de ESSAT.

### e) Demandas Industriales de Agua

En este punto también se consideran las demandas industriales contenidas en el estudio IPLA-DGA (1996), que fueron evaluadas para los años 1995 y 2015. En base a las tasas de crecimiento consideradas en este estudio se evaluaron las demandas para los años 1996 y 2016, que corresponden a la situación actual y futura definidas para este estudio, las que ascienden a 191 y a 302 l/s para la situación actual y futura, respectivamente.

**Tabla 3.37 Demanda Actual y Futura de Agua Potable en Arica**

AÑO	POBLACION (hab)	CONSUMO (l/s)	PERDIDAS (%)	DOTACION DE PRODUCCION (l/hab/día)	CONSUMO ANUAL (miles m <sup>3</sup> /año)	PRODUCCION ANUAL (miles m <sup>3</sup> /año)
1996	168.962	343,4	41,9	306,4	10.829	18.640
2016	243.318	635,4	30,0 (1)	326,8	20.039	28.627

FUENTE: Actualización Planes de Desarrollo ESSAT. I<sup>a</sup> Región. ICESA-ESSAT, 1995.

Nota (1): La reducción de las pérdidas hasta 30% se alcanzaría el año 2005, valor que se mantendría constante en adelante.

### f) Demandas Mineras e Hidroeléctricas

Referente a las demandas mineras en la cuenca del río San José, tal como se ha señalado en puntos anteriores, no existen demandas para la situación actual, y no se esperan demandas en el futuro.

Por otra parte, en la cuenca del río Lluta de acuerdo a los antecedentes proporcionados en el informe de IPLA-DGA (1996) las demandas mineras se han asociado a los consumos de tres empresas con derechos

de aprovechamiento de aguas subterráneas equivalentes 65,5 l/s. Para estas mineras, se proyectó una demanda a alcanzar en 25 años igual a 141 l/s.

En cuanto a la cuenca del río Lauca, se adoptó la información reportada en el estudio CONIC-BF-CORFO (1995) donde se señala que la Sociedad Minera Vilacollo tiene derechos de aguas subterráneas concedidos por 68 l/s y no se prevé en el futuro un aumento de éstas.

En la Tabla 3.38 se indican las demandas adoptadas en situación actual y futura, para el sector minería.

**Tabla 3.38 Demandas Sector Minero (l/s)**

Cuenca	Actual	Futura
Río Lluta	65,5	141,0
Río Lauca	68,0	68,0
Total	133,5	209,0

FUENTE: Plan de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos en la Provincia de Arica. CONIC-BF-CORFO, 1995.  
Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA-DGA, 1996.

En lo que respecta a las demandas hidroeléctricas, no se consideran para la situación futura dado que corresponden a consumos de tipo no consuntivo, que utilizan las aguas que ya circulan en el sistema, que se producen aguas arriba de las zonas de riego y por lo tanto no las afectan. No obstante lo anterior, el desarrollo de otro tipo de proyectos que tenga como objetivo aumentar los recursos de agua destinados a otros usos, podría incrementar la oferta de agua que puede ser usada para hidroelectricidad.

### 3.4 BALANCE HIDRICO

En lo que sigue se desarrolla el balance hídrico entre disponibilidad y demanda de los recursos, presentando en primer término una revisión crítica de la información recopilada, relacionada con diversos balances efectuados en estudios anteriores. Luego se efectúan balances por actividad económica de acuerdo al ordenamiento seguido en este estudio, tanto en la situación actual, al año 1996, como futura, al año 2016.

#### 3.4.1 Revisión Crítica de la Información Recopilada

A continuación se discuten los resultados de los balances hídricos realizados en estudios anteriores, entre los que se cuentan los de JICA-DGA (1995), CONIC-BF-CORFO (1995), DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), IPLA-DGA (1996). Se consideran además los resultados preliminares del estudio del Modelo Hidrológico Operacional, Arrau-DGA (1997). En todos ellos, de una manera u otra se concluye que lo característico del balance es la existencia de un déficit en la satisfacción de las demandas de agua, lo que ha repercutido básicamente en una sobre-explotación de los recursos hídricos subterráneos.

En los párrafos que siguen se aborda la revisión y análisis crítico de la información considerando los tres sectores en que se ha dividido geográficamente la zona en estudio.

## a) Valle de Azapa

El estudio de JICA-DGA (1995) incluye un balance global de los recursos hídricos en el área del valle de Azapa en el cual se estimó como flujo de entrada un caudal de 1.101 l/s que corresponde al caudal medio anual del río San José en Ausipar antes Bocatoma. El flujo de salida de 149 l/s se estimó como el promedio anual de los caudales de crecida que llegan al mar. Los consumos de agua consideran: riego, agua potable, industrial y otros usos. Para ESSAT se definió 3 niveles de producción entre 1992 y 1994. Específicamente, la producción en 1992 fue de 537 l/s; la correspondiente a 1993 fue definida en 503 l/s y la correspondiente a 1994 se estableció en 730 l/s. Se estimó para el uso en riego un caudal equivalente a 1.269 l/s, en tanto que para otros usos el consumo asciende a 53 l/s.

El consumo real de agua potable se estimó considerando que el 25% del agua producida se pierde, y de ésta la mitad, (12,5%) se infiltra, de lo cual resulta que en 1992 el consumo real fue de 470 l/s, en 1993 de 440 l/s y en 1994 de 639 l/s. El consumo real de riego, es decir, la evapotranspiración de los cultivos, se estimó en 787 l/s. Finalmente, se consideró que el 60% del agua usada en otros usos retorna al acuífero.

Con los antecedentes anteriores se realizó el balance que se presenta en la Tabla 3.39, el que considera tanto los recursos superficiales como subterráneos.

**Tabla 3.39 Balance Hídrico del Valle de Azapa (l/s)**

Caudales	1992	1993	1994
Entradas (+)	1.101	1.101	1.101
Salidas (-)	149	149	149
Consumo real medio anual	1.278	1.248	1.447
Balance	- 326	- 296	- 495

FUENTE: El Estudio de los Recursos de Agua de la Parte Norte de Chile. JICA-DGA, 1995.

De los resultados obtenidos se aprecia que en todos los casos se presenta un déficit, el que ocasiona una sobre-explotación del acuífero, al cual se le estimó una vida útil entre 20 y 30 años.

Por otra parte, en el estudio de CONIC-BF-CORFO (1995), se realizó un balance en el acuífero del valle de Azapa para determinar el caudal de explotación sustentable, concluyendo que para una situación hidrológica promedio, dicho caudal es igual a 565 l/s. También, se realizó el balance para las aguas superficiales, definiéndose la entrada en el río San José en Ausipar en 1.108 l/s; las salidas consideradas son la evapotranspiración en las zonas de riego (718 l/s), otros usos (83 l/s), agua potable y otras pérdidas (228 l/s), salidas superficiales en época de crecidas (149 l/s) y salida por aguas servidas (400 l/s). Así, se tiene que este balance entrega un déficit de 470 l/s en una situación hidrológica promedio.

En el estudio efectuado por IPLA-DGA (1996) se indica que las aguas subterráneas permitirían explotar un caudal de 600 l/s, detallándose las demandas agrícolas, de agua potable, de agua industrial, minera y uso no consuntivo para generación hidroléctrica de energía. En base a los antecedentes indicados se concluye que las únicas demandas que se satisfacen del recurso superficial son las agrícolas, ya que las demandas de agua potable e industrial se abastecen de captaciones subterráneas con limitada capacidad de extracción. Se concluye que el desarrollo futuro del valle se ve restringido si no se identifican y habilitan nuevas fuentes de agua.

En el informe de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) se presenta el balance de la situación actual y futura de los recursos hídricos en la cuenca del río San José en los términos que aparecen sintetizados en la Tabla 3.40.

**Tabla 3.40 Balance Hídrico Valle de Azapa.**

Año Tipo (%)	Volumen Disponible (miles m <sup>3</sup> /año)	Demanda (miles m <sup>3</sup> )		Balance			
				Sit. Actual		Sit. Futura	
		Sit. Actual	Sit. Futura	(miles m <sup>3</sup> /año)	(l/s)	(miles m <sup>3</sup> /año)	(l/s)
20	56.008	61.735	71.491	-5.727	-182	-15.483	-491
50	41.407	61.735	71.491	-20.328	-645	-30.084	-954
85	29.139	61.735	71.491	-32.596	-1.039	-42.360	-
							1.343

Fuente: Estudio de Factibilidad Programa de Manejo de Cuencas Hidrográficas. DHV y otros-MINAGRI-MOP, 1997.

Tal como se puede apreciar, de los antecedentes presentados, es posible concluir que para el valle de Azapa los balances presentan un déficit del orden de 500 l/s en la situación actual para el año tipo 50%. Este déficit explicaría la sobre-explotación que se aprecia en el acuífero, al que se le ha estimado una vida útil de entre 20 a 30 años de persistir la sobre-explotación actual.

Debe mencionarse que actualmente se encuentra en desarrollo el estudio del "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional. Cuenca del río San José" en el que se efectuará un balance del acuífero del Valle de Azapa. Los resultados preliminares de este estudio indican que el déficit en la situación actual alcanzaría cerca de 500 l/s. Estos resultados se transcriben y se presentan a continuación en la Tabla 3.41.

**Tabla 3.41 Balance Hídrico Promedio para el Período 1988-1995**

	Millones de m <sup>3</sup>	l/s
<b>Entradas</b>		
Flujo Subterráneo Entrante (Oriente)	36.959	146
Recarga desde la Superficie	52.927	210
<b>Total Entrada</b>	<b>89.886</b>	<b>356</b>
<b>Salidas</b>		
Adaptaciones de Agua	225.060	892
<b>Total Salidas</b>	<b>225.060</b>	<b>892</b>
Extracción desde el Almacenamiento del Acuífero	129.614	513
<b>Error de Cierre</b>		<b>13 (l/s) ó 2%</b>

Fuente: Modelo Hidrológico Operacional. Cuenca del Río San José. Arrau-DGA (1997).

#### b) Valle del Río Lluta

En el estudio JICA-DGA (1995) también se efectuó un balance para el valle del río Lluta en Tocontasi-Chapisca, el cual se estimó bajo el supuesto de un año con 80% de probabilidad de excedencia y consideró sólo las demandas agrícolas. Las extracciones actuales de agua subterránea se consideran despreciables.

Los resultados de este balance se presentan en la Tabla 3.42, donde se aprecian que existe déficit en los meses de noviembre y diciembre.

Por otra parte, en el informe de IPLA-DGA (1995) se presentan los antecedentes necesarios para realizar el balance hídrico en el valle del río Lluta considerando tanto los recursos superficiales como subterráneos y las demandas actuales y futuras. El balance se realiza para una disponibilidad media de recursos superficiales, y también para recursos asociados a probabilidades de excedencia de 50% y 85%. Los resultados se presentan en la Tabla 3.43.

**Tabla 3.42 Balance Hídrico Agua Superficial Valle del Río Lluta (l/s)**

Caudales	Ene - Sep	Oct	Nov	Dic
Entradas	1.302 - 1.830	1.168	1.089	1.091
Demandas Riego	294 - 1.574	1.161	1.333	1.630
Balance	1.008 - 256	7	-244	-539

Fuente: El Estudio de los Recursos de Agua de la Parte Norte de Chile. JICA-DGA, 1995.

**Tabla 3.43 Balance Hídrico Valle del Río Lluta (l/s)**

AÑO TIPO	RECURSO DISPONIBLE		DEMANDA		BALANCE	
	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEO	ACTUAL	FUTURA	ACTUAL	FUTURA
MEDIO	2.350	86	1.525	1.974	911	462
50%	2.190	86	1.525	1.974	751	302
85%	1.740	86	1.525	1.974	301	-148

Fuente: Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA-DGA, 1996.

De los antecedentes analizados se puede concluir que, en términos generales, el valle del río Lluta no presenta grandes problemas de déficit y que la mayor restricción está dada por la calidad del agua.

### 3.4.2 Balance en Situación Actual y Futura para los Sectores Económicos

En lo que sigue se presenta el balance entre disponibilidad de recursos hídricos y demanda para cada sector económico considerando los valores adoptados para este estudio. Este balance se realiza tanto para la situación actual (1996), como para la situación futura (2016).

#### a) Sector Riego

##### a.1) Valle de Azapa

Considerando los antecedentes del estudio de Arrau-DGA (1997) adoptados para este estudio se realizó el balance entre oferta y demanda. La disponibilidad de recursos para el sector agrícola en el valle de Azapa es representado por el caudal medio mensual en la estación Acueducto Azapa en Bocatoma, además se incluye el balance con respecto a la estación Río San José Antes Bocatoma que representa la disponibilidad total de agua e incluye el efecto de las crecidas. Los resultados del balance se presentan en la Tabla 3.44

**Tabla 3.44 Balance en Situación Actual y Futura  
Sector Agrícola en Valle de Azapa (l/s)**

MES	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
DEMANDA	1.043	1.220	973	825	1.719	911	482	620	595	711	850	955
Río San José Antes Bocatoma	757	746	760	1.709	1.798	1.505	946	911	819	866	810	642
BALANCE	-286	-474	-213	884	79	594	464	291	224	155	-40	-313
Acueducto Azapa en Bocatoma	617	617	597	611	600	584	675	692	715	734	723	642
BALANCE	-426	-603	-376	-214	-1.119	-327	193	72	120	23	-127	-313

Al analizar los resultados del balance realizado se observa que al considerar al agua disponible a nivel de bocatoma se tiene un déficit promedio del orden de 440 l/s. En cambio, si se considera la disponibilidad de agua en el sector aguas arriba de la bocatoma, se tiene un caudal pasante de unos 380 l/s, producto de las crecidas periódicas y la falta de regulación del recurso.

### a.2) Valle del Río Lluta

En el caso del sector de riego en el río Lluta, la disponibilidad de agua queda representada por los caudales medios mensuales en la estación Río Lluta en Tocontasi. Usando los antecedentes de demanda anteriormente adoptados se evaluó el balance hídrico que se muestra en la Tabla 3.45.

**Tabla 3.45 Balance en Situación Actual y Futura  
Sector Agrícola en Valle del Río Lluta (l/s)**

MES	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
DEMANDA SIT. ACTUAL	1.638	2.143	2.580	2.926	1.457	1.577	1.270	1.100	809	355	656	989
DEMANDA SIT. FUTURA	1.923	2.558	3.097	3.600	1.902	2.152	1.786	1.577	1.169	366	712	1.137
CAUDAL MEDIO MENSUAL	1.256	1.033	1.161	2.701	3.861	3.590	1.804	1.476	1.603	1.623	1.735	1.099
BALANCE SIT. ACTUAL	-382	-1.110	-1.419	-225	2.404	2.013	534	376	794	1.268	1.079	110
BALANCE SIT. FUTURA	-667	-1.525	-1.936	-899	1.959	1.438	18	-1.014	434	1.257	1.023	-38

FUENTE: Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. IPLA-DGA, 1996.

Los resultados de este balance muestran que en la situación actual se produce un déficit sólo entre los meses de octubre a enero, incluyéndose también al mes de septiembre en la situación futura. El déficit máximo en la situación actual alcanza a 1.419 l/s en el mes de diciembre, y a 1.936 l/s en la situación futura para el mismo mes.

### a.3) Zona Precordillerana

Sobre la base de los antecedentes consignados en el estudio de Arrau-DGA (1997), los valores medios anuales de disponibilidad y demanda neta de agua, se estiman en 247 y 125 l/s, respectivamente. Con ello, los aportes de estas zonas al río Tignamar alcanzan a 122 l/s.

Como se ha señalado anteriormente en el acápite 3.3.1, no se prevé un aumento significativo de la demanda a futuro, y por lo tanto la situación indicada debiera mantenerse.

## b) Sector Agua Potable e Industria

El balance hídrico para el sector agua potable e industria para la ciudad de Arica se presenta en la Tabla 3.46, incluyéndose además la producción de agua potable de ESSAT, según lo indicado en el estudio de ICESA-ESSAT (1995). Usando los antecedentes de distribución de consumo, dividido en residencial, comercial, industrial y fiscal, contenidos en el estudio de Bustamante y Schudeck-ESSAT (1992), se tiene que un 5% del total corresponde a consumo del sector industrial. De esta forma ESSAT satisface en situación actual 40,3 l/s de la demanda industrial, y en situación futura 59,3 l/s.

A partir de los resultados del balance se observa que en la situación actual existe un déficit de unos 300 l/s, y que en la situación futura este déficit se eleva casi 500 l/s, hasta llegar a unos 800 l/s.

**Tabla 3.46 Balance Hídrico Sectores Agua Potable e Industrial (l/s)**

SITUACION	DEMANDA MÁXIMA AGUA POTABLE	DEMANDA INDUSTRIAL (*)	PRODUCCION ESSAT (**)	BALANCE
ACTUAL (1996)	768,0	1.507,0	650,0	-268,7
FUTURA (2016)	1.180,0	242,7	250,0	-1.172,7

(\*) Reducida según abastecimiento de ESSAT

(\*\*) Producción actual de ESSAT

### 3.5 SITUACION LEGAL DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS Y DE LOS DERECHOS DE AGUA

En este acápite se analiza la situación legal de las organizaciones de usuarios existentes y la de los derechos de agua, tanto para la cuenca del Río San José como para las del Lluta y Lauca.

Las organizaciones se analizan considerando su tipo y atribuciones, de acuerdo a la clasificación indicada en el Código de Aguas. En lo referente a los derechos de aprovechamiento, se identifican los derechos constituidos y los que están regularizados hasta diciembre de 1996, considerando tanto los derechos sobre aguas superficiales como subterráneas.

#### 3.5.1 Antecedentes Básicos

Este estudio considera, principalmente, los antecedentes legales contenidos en los siguientes documentos:

- "Plan de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos en la Provincia de Arica". CONIC-BF-CORFO, 1995.
- Mínuta "Declaración de Zona de Prohibición para Nuevas Explotaciones de Aguas Subterráneas en el Acuífero del Valle de Azapa". Memorándum 113 del 11 de marzo de 1996 del Departamento Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.
- Mínuta Técnica "Determinación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para constituir nuevos Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas en el sector del Valle de Azapa". Oficio ORD. N° 264 del 21 de mayo de 1996 del Departamento Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.

Adicionalmente, se recopiló información en terreno, consistente en los antecedentes consignados en los Registros de Propiedad de Aguas del Conservador de Aguas de Arica.

### 3.5.2 Situación de las Organizaciones de Usuarios Existentes

El Título III del Libro II del Código de Aguas regula las Organizaciones de Usuarios, que son aquellos entes privados que administran las aguas a nivel de los usuarios (artículos 186 a 293).

El Código de Aguas establece tres tipos de organizaciones de usuarios: Las Comunidades de Aguas, las Asociaciones de Canalistas y las Juntas de Vigilancia.

Mientras las dos primeras dicen relación con el aprovechamiento de las aguas de un mismo canal o embalse, o también el hecho de usar en común la misma obra de captación de aguas subterráneas, la tercera (Juntas de Vigilancia) se refiere a cauces naturales.

En términos generales, el objetivo de las organizaciones de usuarios, es la de tomar las aguas del cauce o canal matriz, distribuirla entre los titulares de derechos, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos y otras que sean necesarias para el aprovechamiento común del recurso.

Precisado lo anterior, se examinará la situación que al respecto existe en la zona que abarca el estudio.

#### a) **Cuenca del Río San José**

En esta cuenca no existe constituida Junta de Vigilancia.

En lo que se refiere a los cauces artificiales se ha establecido que se encuentran organizadas una serie de Comunidades de Aguas, tanto en la zona del valle de Azapa como en la parte alta de la cuenca, específicamente, en la comuna de Putre, cuya constitución ha sido aprobada por la Dirección General de Aguas, habiéndose ordenado por resoluciones exentas el registro correspondiente.

En el Valle de Azapa existen las siguientes Comunidades de Aguas, que captan sus aguas de vertientes que forman parte de la hoya hidrográfica del río San José:

- a.1) Comunidad de Aguas San Miguel y La Concepción, inscrita a fojas 2 vta. N° 2 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1987, perteneciente a la Cooperativa Agrícola Juan Noé Crevani Ltda. Aprovecha aguas corrientes de la lumbrera San Miguel, formada con las lumbreras San Miguel Norte y San Miguel Sur y las aguas de la vertiente La Concepción.
- a.2) Comunidad de Aguas Los Albarracines, inscrita a fojas 2 N° 2, del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1988, con 192 acciones equivalentes a 192 horas de riego, con un promedio anual de 70 l/s. Comprende las vertientes: Socavón, Las Animas, El Río, Matavaca, Pejerrey, Conchalique, El Estanque, Condenados, El Quintay y El Pleito. Las aguas se recolectan por un canal distribuidor único denominado Canal Comunal Los Albarracines.
- a.3) Comunidad de Aguas Vertiente El Gallito, inscrita a fojas 164 N° 115, del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1991. Registra 168 acciones.
- a.4) Comunidad de Aguas Vertiente Mita Chica, inscrita a fojas 1 N° 1, del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1992. Registra 168 acciones.

- a.5) Comunidad de Aprovechamiento de Aguas Vertiente Media Luna, inscrita a fojas 406 N° 205, del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1993. Registra 168 acciones que representan un caudal de 100 l/s.

Todas estas Comunidades de Aguas constituyen entes independientes que cumplen las funciones que les corresponden de conformidad a los intereses de sus integrantes.

Por otra parte, existen 121 Comunidades de Aguas organizadas por la Dirección General de Aguas y con sus derechos de aguas inscritos, según los artículos 188 y siguientes del Código de Aguas, ubicadas en la parte alta de la cuenca del río San José, que corresponden, básicamente, a agrupaciones de origen aymara.

Los recursos que utilizan estas Comunidades de Aguas son escasos y son captados de diversos cauces que constituyen la cuenca del río San José, tales como los ríos Tignamar, Chapiquiña, Jaruma, Copaquilla, Moxuma, etc. y quebradas como las de Murmuntane, Oxa, Saxamar, Misana o Belén, etc.

Estas comunidades no cuentan con personal de secretaría o de contabilidad ni con personal técnico, y se limitan a seguir los usos y costumbres respetadas, sin introducir mejoramientos en las obras comunes o en las fuentes de las cuales obtienen las aguas.

Cada Comunidad de Aguas desarrolla sus actividades en forma independiente, ocupando la totalidad de los recursos disponibles, distribuyéndolo entre sus miembros, por turnos, en la forma señalada en los estatutos o de acuerdo a usos ancestrales de los mismos.

En la parte baja del río San José, existe solamente una captación, que corresponde a la bocatoma del canal Azapa, cuyo sistema administra COMCA, ubicada aproximadamente 6 km aguas abajo de la localidad de Ausipar, lugar al que llegan después de un largo recorrido las aguas del canal Lauca.

Por último, debe dejarse establecido que el artículo 65 del Código de Aguas determina que la declaración de un área de restricción dará origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella; situación que no se ha dado hasta la fecha en el valle de Azapa.

Del mismo modo, el artículo 186 del Código de Aguas permite constituir una organización de usuarios a quienes usan en común la misma obra de captación de aguas subterráneas.

**b) Cuenca del Río Lauca**

En esta cuenca no existe constituida Junta de Vigilancia.

En lo que se refiere a los cauces artificiales que aprovechan aguas del río Lauca, existe constituida la Comunidad de Aguas del canal Azapa (COMCA).

Mediante Resolución Exenta N° 858, de 3 de mayo de 1991, la Dirección General de Aguas ordena el registro y declara organizada la citada Comunidad de Aguas, domiciliada en la ciudad de Arica, de la comuna y provincia del mismo nombre.

Su constitución judicial y estatutos constan en la escritura pública de fecha 5 de diciembre de 1990, y la modificatoria de ésta de fecha 14 de febrero de 1991, otorgadas ambas ante el Notario de Arica don Víctor Warner Sarria; organización que figura inscrita a fojas 29 N° 30 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, correspondiente al año 1991.

Su objeto primordial consiste en tomar o extraer gravitacionalmente las aguas del río Lauca en la bocatoma Chucuyo del canal Lauca y repartirlas, por turnos alternados, entre los titulares de derechos consuntivos

en dicho río otorgados por la Resolución N° 320, de 1989, de la Dirección General de Aguas, (2.166,44 acciones), que las aprovechan por el canal Azapa, y administrar todas las obras hidráulicas que constituyen el sistema de riego Azapa.

Por dichas razones, la acción fundamental de COMCA se realiza en la zona en que se desarrolla el canal Azapa y el sector bajo del río San José.

Esta organización actualmente dispone de un presupuesto base de \$ 7.700.000 mensuales, proveniente de las cuotas ordinarias que pagan los asociados, que, fundamentalmente, se emplean en la mantención de las obras que constituyen el sistema del Canal Azapa.

Además, cuenta con una planta de personal permanente, que incluye un profesional técnico como repartidor de aguas, asistido por celadores, cuya cantidad varía según el período del año, pero que en promedio son 25; y de una sede propia ubicada en el Km.15 del camino del Valle de Azapa, en que se desarrollan las labores de Secretaría y de Contabilidad.

Por lo demás, C.O.M.C.A. es propietaria de dos vehículos, destinados a la atención de las funciones que cumple el personal de terreno.

El sistema de riego Lauca-Azapa fue construido por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas en el año 1962 y la administración del canal Azapa fue entregada en el año 1978 a la Organización Provisional de Usuarios del canal Azapa (OPUCA), antecesora de COMCA, quien continúa hasta la fecha con dicha administración, siendo de su interés, con el objeto de lograr una mejor operación del sistema y de poder efectuar con propiedad inversiones en su infraestructura, que dichas obras les sean transferidas por la Dirección de Riego, en los términos que establecen los artículos 3° y 7° transitorios del DFL N° 1.123, de 1981, cuyo reglamento se encuentra contenido en el DS N° 388, 1982, del Ministerio de Obras Públicas.

En cuanto al grado de representativa de COMCA éste es alto, porque, por una parte, agrupa a los titulares de los derechos de aprovechamiento otorgados por la Resolución DGA N° 320, de 1989, que corresponden a 2.166,44 acciones en el río Lauca, considerando que según lo expresado en el punto 3 de la parte resolutive de dicha Resolución, para el sistema de riego del canal Azapa completo se considera un total de 2.608,1 acciones y por otra, ésta constituye - considerando a su antecesora legal OPUCA - una organización administrativa y operacional que ha actuado por casi 20 años, tanto en las labores de captación y distribución de las aguas entre los usuarios como en las de mantención, reparación y construcción de las obras necesarias para el buen funcionamiento del sistema del canal Azapa.

El órgano base de administración de la COMCA es la Junta General de Comuneros, a la cual corresponde conocer y resolver todos los asuntos que interesen a la entidad, las que son ordinarias o extraordinarias.

El órgano ejecutivo está representado por el Directorio, el cual actualmente es presidido por don Luis Devotto Ordóñez.

Por último, en Junta General Extraordinaria de Comuneros de COMCA, celebrada con fecha 11 de marzo de 1995, se acordó modificar sus estatutos, para transformar esa organización de usuarios en la Asociación de Canalistas del canal Azapa (ASOCANALAZAPA), acuerdo que se redujo a escritura pública de fecha 30 de marzo de 1995 otorgada ante el Notario de Arica don Víctor Warner Sarria, la cual contiene los estatutos respectivos.

Con fecha 31 de marzo de 1995, los interesados solicitan de la Dirección General de Aguas la aprobación de los estatutos y la concesión de la personalidad jurídica para la nueva organización de usuarios, que será la continuadora legal de COMCA, petición que se encuentra pendiente de resolución en el nivel central de esa Dirección General, desde el mes de abril de 1995.

La formalización legal de la Asociación de Canalistas del canal Azapa, indudablemente, contribuirá aún más al mejor cumplimiento de los objetivos que persigue la entidad, desde el momento que una vez aprobados sus estatutos sociales, contará con la personalidad jurídica que otorga el Presidente de la República a toda Asociación de Canalistas.

### c) Cuenca del Río Lluta

En esta cuenca no existe una Junta de Vigilancia constituida legalmente.

Sin embargo, desde hace varios años actúa como tal una entidad denominada "Organización de Regantes Río Lluta", que reúne tanto a los usuarios de las 63 Comunidades de Aguas que se encuentran constituidas legalmente y anotadas en el Libro de Comunidades de Aguas que lleva la Dirección General de Aguas, según establece el Reglamento sobre Organizaciones de Usuarios, aprobado por Decreto Supremo N° 187, de 1983, del Ministerio de Obras Públicas, que totalizan 2.892,47 acciones como a aquéllos pertenecientes a los 22 canales individuales no inscritos, que comprenden 129,90 acciones.

Esta Organización de Regantes Río Lluta administra y distribuye las aguas a que tienen derecho los miembros de las diferentes Comunidades de Aguas en el cauce natural (3.022,37 acciones) y los representa ante las autoridades y entidades públicas y privadas. Para financiar sus actividades los miembros de las Comunidades de Aguas que la integran contribuyen con el pago de cuotas sociales en proporción a sus respectivos derechos.

Su formación como organización de regantes se basa en los artículos 2, 7 a 24 y 26 de la Ley N° 18.893, de 1989, sobre Organizaciones Comunitarias Territoriales y Funcionales y sus estatutos fueron aprobados por la I. Municipalidad de Arica con fecha 8 de octubre de 1990; otorgándosele la personalidad jurídica correspondiente, conforme a lo dispuesto en el artículo 4° de la misma Ley.

Esta entidad se encuentra hoy día inscrita en el Registro Público que lleva la I. Municipalidad de Arica, a fojas 43 N° 165, conforme al artículo 7° de la Ley N° 19.418 sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias.

Esta organización percibe como ingresos ordinarios las cuotas sociales que pagan sus integrantes, que constituyen las 63 Comunidades de Aguas y los 22 canales individuales adheridas a ella, razón de \$ 270 por acción, lo que considerando 3.020 acciones, permite recaudar un máximo mensual de \$ 815.400.

Cuenta además con una sede social en construcción ubicada en la localidad de Poconchile y una secretaria ubicada en el Pasaje Yugoslavlia N° 1281, de la Población Ex-Estadio de Arica, cuyo local arrienda, en que se desarrollan las labores de Secretaría y Contabilidad.

Por otra parte, dispone de un repartidor de aguas, que también se desempeña como celador para todo el Valle de Lluta y la organización no cuenta con vehículo propio.

Las actividades que desarrolla esta organización se encuentra complementada con la acción que, en sus respectivos casos, realizan las Comunidades de Aguas y canales individuales antes referidos, en cuanto a la captación y distribución de las antes referidos, en cuanto a la captación y distribución de las aguas entre sus integrantes y en lo referente a la conservación y limpia de los canales y demás dispositivos de interés común, que cumplen estas funciones acorde con lo que señalan sus estatutos y el Código de Aguas, en sus artículos 200 y siguientes.

Estas comunidades de aguas cuentan, a su vez, con estatutos y su órgano administrativo es el Directorio y en el evento, de que los comuneros no sean más de cinco, se designan uno o más administrador, en sus casos, representan a sus entidades ante la Organización de Regantes Río Lluta y participan en las Juntas Generales.

En estas condiciones, se considera que el grado de representatividad de la Organización de Regantes Río Lluta y de las comunidades de aguas que la integran, es alto y su capacidad operativa y de gestión les permite cumplir con propiedad las acciones que le competen en el cauce natural indicado y en los diferentes canales que se derivan de él, en lo que dice relación, principalmente, con la captación, administración y distribución de las aguas que corresponden a los diferentes usuarios.

En cuanto a las 13 Comunidades de Aguas constituidas en la parte alta de la cuenca, su organización operativa y de gestión es similar a la que se ha descrito en relación con aquellas de las mismas características existentes en la cuenca del río San José.

La asamblea es el órgano resolutorio superior y está constituida por la reunión del conjunto de sus afiliados y corresponde la dirección y administración de la asociación de regantes a un directorio, cuyo presidente actual es don Osmán Sepúlveda Sepúlveda.

De este modo, aunque se trata de una organización que no se encuentra constituida conforme a las normas del Código de Aguas, ejerce la representación y protege los intereses de los usuarios pertenecientes a las Comunidades de Aguas y canales individuales antes mencionados.

En la actualidad, esta organización se encuentra en la fase de lograr su constitución legal, la que deberá realizarse por la vía judicial, de acuerdo al procedimiento que señalan los artículos 269 y siguientes del Código de Aguas, habiendo otorgado sus Estatutos ante el Notario Público de Arica don Armando Sánchez Risi, por escritura pública de fecha 24 de septiembre de 1996.

En lo que respecta a los cauces artificiales derivados del río Lluta, como se ha expresado, existen constituidas legalmente, esto es, con sus derechos de aprovechamiento inscritos, 62 Comunidades de Aguas, organizadas por la Dirección General de Aguas, con 2.883,47 acciones más una correspondiente a un usuario individual denominado canal Alfonso Bolaños, con 9 acciones, inscrita a fojas 30 N° 5 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1989. Por su parte, no registran inscripción en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, 22 canales individuales, con 129,90 acciones. En el Anexo 6 se adjunta listado de las Comunidades de Aguas y de los canales individuales o exclusivos.

Además, han sido organizadas por la Dirección General de Aguas, encontrándose con sus derechos de aguas inscritos, según los artículos 188 y siguientes de Código de Aguas, trece Comunidades de Aguas que captan sus aguas en la zona alta de la hoya hidrográfica del río Lluta, de diferentes afluentes y subafluentes, principalmente quebradas y vertientes, que agrupan, en su mayoría, a usuarios de comunidades de la etnia aymara. En el Anexo 6 se adjunta la nómina respectiva.

Las aguas que poseen estas organizaciones son escasas, éstas se distribuyen entre los usuarios, por turnos, en la forma que establecen los estatutos o conforme a usos ancestrales del recurso reconocidos por dichas comunidades.

Estas Comunidades de Aguas no se hallan integradas a la Organización de Regantes Río Lluta.

### **3.5.3 Situación de los Derechos de Aprovechamiento Actuales**

Se identifican aquí los derechos de aprovechamiento otorgados hasta diciembre de 1996 en las hoyas hidrográficas de los ríos San José, Lauca y Lluta, ubicados en las provincias de Arica y Parinacota.

Como antecedentes previos, debe expresarse que en la provincia de Arica, y fundamentalmente, en la parte baja de la cuenca del río San José, en el valle de Azapa, se ha desarrollado desde antaño una significativa actividad agrícola, para cuyo riego se han utilizado, por una parte, las aguas superficiales que se conducen por el canal Lauca y que provienen del río del mismo nombre y que se vierten al río San José, por cuyo cauce circulan,

hasta el punto en que son captadas por el canal Azapa, del cual se derivan todos los sistemas de riego superficial del valle, y por otra, importantes recursos obtenidos de la napa subterránea de la cuenca, que no sólo se usan en ese fin, sino que también para abastecer de agua potable, tanto a la población del sector, como de la ciudad de Arica, a través de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá (ESSAT S.A.)

Otra fuente importante de obtención del recurso en la zona del estudio, especialmente para fines agrícolas, la constituye el río Lluta.

**a) Derechos de Aprovechamiento Constituidos por la Autoridad Administrativa en la Zona del Estudio**

En el Anexo 5 se expone una nómina de los derechos de aprovechamiento (antes mercedes de aguas) que, hasta la fecha, ha constituido la Dirección General de Aguas y, antes de su existencia legal, las entidades públicas que la antecedieron en el ejercicio de tal facultad, separados por cuenca.

Cabe hacer notar que durante la vigencia del anterior Código de Aguas, cuyo texto sistematizado había sido fijado por el DFL N° 162, de 1969, del Ministerio de Justicia, la autoridad otorgaba, inicialmente, la merced de agua como provisional, para luego de ser presentado y aprobado por la autoridad el proyecto de aprovechamiento de las aguas, conceder la merced definitiva.

Esta situación cambió con el Código de Aguas actual, aprobado por el DFL N° 1.122, de 1981, del Ministerio de Justicia, que entró en vigencia el 29 de octubre del mismo año, normativa según la cual se otorga el derecho de aprovechamiento de inmediato con el carácter de definitivo y que, entre otros aspectos, cambiando la situación legal anterior, no exige que el peticionario precise el destino del recurso ni concede plazos para que éste se ejerza.

Los antecedentes respectivos se han obtenido del Catastro Público de Aguas que por mandato del artículo 122 del Código de Aguas le corresponde llevar a la Dirección General de Aguas, complementándose, en su caso, con los datos que sobre inscripciones figuran en los Registros de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica.

El caudal total de aguas subterráneas consideradas en los derechos de aprovechamiento presentados en el Anexo 5 asciende a 494,85 l/s.

**b) Derechos de Aprovechamiento Regularizados Según el Artículo 2° Transitorio del Código de Aguas**

Cabe expresar que existe una apreciable cantidad de solicitudes presentadas ante la Dirección Regional de Aguas de Arica, en que se pide la regularización e inscripción de derechos de aprovechamiento, principalmente, de aguas subterráneas, ubicadas en el valle de Azapa de la provincia de Arica, conforme al procedimiento que establece al efecto el artículo 2° transitorio del Código de Aguas, cuerpo legal que entró en vigencia el 29 de octubre de 1981.

La norma legal aludida expresa que: "Los derechos de aprovechamiento inscritos que estén siendo utilizados por personas distintas de sus titulares a fecha de entrar en vigencia este Código, podrán regularizarse cuando dichos usuarios hayan cumplido cinco años de uso ininterrumpido, contados desde la fecha en que hubieren comenzado a hacerlo...", agregando la letra a) del inciso 2° que "la utilización deberá haberse efectuado libre de clandestinidad o violencia, y sin reconocer dominio ajeno" y concluyendo su inciso final que "el mismo procedimiento se aplicará en los casos de las personas que, cumpliendo todos los requisitos indicados en el inciso anterior, solicitaren inscribir derechos de aprovechamiento no inscritos...".

Dichas solicitudes, luego de emitirse el informe técnico respectivo, han sido enviadas, en el tiempo, por la Dirección General de Aguas a la I. Corte de Apelaciones de Arica, para su distribución a los

correspondientes Juzgados de Letras en Lo Civil, a los que compete el conocimiento y resolución de las referidas solicitudes.

Al respecto, se efectuó una revisión de los Registros de Propiedad de Aguas del Conservador de Aguas de Arica, desde el año 1982 a la fecha, lo que permitió establecer que los distintos Juzgados de Letras de esa ciudad han dictado sentencia, ordenando la inscripción de derechos de aprovechamiento. Los resultados de esta revisión se presentan en el Anexo 5.

Las regularizaciones de derechos de aprovechamiento acogidas por los Tribunales de Justicia e inscritos en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, que se refieren a captaciones de aguas subterráneas de la hoya del río San José, localizadas en el valle de Azapa, mayoritariamente, y algunas en la ciudad de Arica, las que totalizan 623,59 l/s.

Por otra parte, existen numerosos procesos de regularización de derechos de aprovechamiento en trámite en los 4 Juzgados Civiles de Arica, así como también una serie de peticiones que se encuentran en la Dirección Regional de Aguas de esa ciudad, en espera de ser enviados a los Tribunales de Justicia para su conocimiento y resolución.

Al respecto, cabe destacar que en el Anexo B "Solicitudes de derechos de aprovechamiento pendientes en el Valle de Azapa" de la Minuta Técnica adjunta al Oficio ORD. N° 264, de 21 de marzo de 1996, del Departamento Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas dirigido a la Dirección Regional de Aguas de Tarapacá, se desarrolla un listado de las peticiones de regularización de derechos de aprovechamiento, las cuales hasta esa fecha totalizaban 1.621,14 l/s.

Sin embargo, debe consignarse que de dichas solicitudes al 31 de diciembre de 1996 se encuentran inscritas en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, las sentencias dictadas en los siguientes casos: Manuel Cabrera Saavedra (NDR-I-1-72) por 7,3 l/s; Cooperativa Agrícola Dr. Juan Noé (NR-I-1-77) por 330,0 l/s; Donald Erskine Molina (NR-I-1-87) por 0,25 l/s; Chedid Buneder Jorrat (NR-I-1-104) por 15,0 l/s; Sudamérica Agencias Aéreas y Marítimas S.A. (NR-I-1-105) por 1,5 l/s; Bartolomé Stagno Moya (NR-I-1-116) por 2,5 l/s, y Eid Khalil Kharrat Boudeguer (NR-I-1-137) por 12,0 l/s, todas las cuales totalizan 360,55 l/s, razón por la que las peticiones de dicha nómina, aún no conocidas y/o resueltas por los Tribunales de Justicia, comprenden 1.252,59 l/s.

Entre las peticiones de regularización de derechos de aprovechamiento se encuentran varias presentadas, principalmente más que todo en el último tiempo, por comunidades indígenas al amparo de lo que determina la Ley N° 19.253, publicada en el Diario Oficial de 5 de octubre de 1993, que establece normas sobre protección, fomento y desarrollo de los indígenas y crea la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI).

Esta Ley les otorga propiedad sobre las aguas a ciertas comunidades indígenas entre ellas los Aymaras de la Iª Región, reconociendo derechos consuetudinarios de aguas, contemplando asimismo una protección especial de los mismos, fundamentalmente, en lo que respecta a la disponibilidad del recurso.

A este propósito el artículo 64 de la Ley establece en el inciso 1º: "Se deberá proteger especialmente las aguas de las comunidades Aymaras y Atacameñas. Serán considerados bienes de propiedad y uso de la Comunidad Indígena establecida por esta ley, las aguas que se encuentran en los terrenos de la comunidad, tales como los ríos, canales, acequias y vertientes, sin perjuicio de los derechos que terceros hayan inscrito de conformidad al Código General de Aguas". El inciso 2º agrega: "No se otorgarán nuevos derechos de agua sobre lagos, charcos, vertientes, ríos y otros acuíferos que surten a las aguas de propiedad de varias Comunidades Indígenas establecidas por esta ley sin garantizar, en forma previa, el normal abastecimiento de agua a las comunidades afectadas".

Por otra parte, cabe señalar que según los antecedentes aportados en el Cuadro 3.3.5.2 del informe final del estudio "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca del río San José", DGA-Arrau 1997, los caudales de explotación correspondientes los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el valle de Azapa corresponden a 888 l/s de los cuales se encuentran en uso 704 l/s. De acuerdo a los antecedentes usados en el informe anteriormente citado, el escenario de explotación que presenta la situación (año 1995) es de 892 l/s. Lo anterior indica que existe una explotación cercana a 188 l/s sin derechos formalmente constituidos ni regularizados, entre los cuales se incluirán posibles captaciones no autorizadas.

Esta situación, aparte de las otras mencionadas anteriormente, conduce a la sobreexplotación del recurso y muestra la conveniencia y necesidad de avanzar decididamente en la organización de usuarios de aguas subterráneas, como ser una comunidad, a fin de que los propios interesados propongan soluciones y gestionen adecuadamente el recurso.

## **CAPITULO 4**

### **IDENTIFICACION DE PROBLEMAS Y CONFLICTOS**

#### **4. IDENTIFICACION DE PROBLEMAS Y CONFLICTOS**

En este capítulo se consignan los principales problemas y conflictos identificados en la cuenca del río San José, los que para efectos de simplificar el análisis y discusión se han agrupado en seis temas, a saber: (1) problemas en sectores de usuarios (de riego, agua potable e industrial, hidroelectricidad y minería) derivados de la escasez y calidad del recurso hídrico; (2) problemas legales vinculados con los derechos de aprovechamiento; (3) problemas asociados a aspectos institucionales; (4) aspectos ambientales condicionantes de la explotación de nuevas fuentes de recursos hídricos; (5) problemas causados por inundaciones y aluviones; (6) problemas asociados a la red medición de los recursos de agua.

Cada uno de los temas se presenta en un acápite separado y se desarrolla a partir de los antecedentes disponibles en estudios anteriores. En cada caso se identifica y discute el tipo de problema o conflicto, sus causas y sus consecuencias.

##### **4.1 PROBLEMAS EN SECTORES DE USUARIOS DERIVADOS DE LA ESCASEZ Y CALIDAD DEL RECURSO HIDRICO**

En este acápite se describen y analizan los principales problemas que afectan a los distintos sectores económicos en relación al uso y demanda de recursos hídricos, abordando el tema separadamente según el orden adoptado a lo largo del informe, esto es: riego, agua potable e industrial, hidroelectricidad y minería. Primeramente se presentan las fuentes de información recopilada y seguidamente se describen y analizan los problemas específicos asociados a cada sector de usuarios

Para caracterizar los principales problemas en la cuenca del río San José se consideraron los antecedentes consignados en los siguientes estudios de CONIC-BF-CORFO (1995) y DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), que como se ha explicado constituyen los estudios más actualizados que han presentado y analizado los problemas relevantes en la cuenca en materia de recursos hídricos. Además, se incluyen antecedentes recabados de las entrevistas sostenidas con diversas personas representantes de organismos relacionados con el aprovechamiento de los recursos hídricos en la cuenca en estudio, (Sr. Miguel Silva, Director Regional de Aguas de Arica; Sr. Luis Fuentes, Director Provincial Subrogante Dirección de Vialidad; Sr. Julio Garrido, Director Regional de Riego; Sr. Alberto Bordeau, Director de CONAF; Sr. Roberto Martinic, SEREMI de Agricultura; Sr. Jorge Torres, Director de INDAP; Sres. Armando Meza y Néstor Guzmán, encargados de riego de INDAP; Sr. Jorge Matus, Presidente Cámara Chilena de la Construcción; Sr. Osmán Sepúlveda, Asociación de Agricultores del Río Lluta, Presidente de la Asociación de Regantes; Sra. Viviana Pérez, Gerente de Ingeniería, ESSAT S. A.; Sr. José Ignacio Palma, Ingeniero Comercial, ESSAT S. A.; Sr. Walton O'Ryan, Gerente Provincial, ESSAT S. A.; Sr. Luis Devoto, Presidente Comunidad de Aguas del Canal Azapa (COMCA); Sr. Julio Santamaría, Presidente Asociación Gremial de Agricultores de Arica). Los principales contenidos de las reuniones efectuadas se consignan en el anexo 10.

##### **4.1.1 Problemas Asociados a los Usuarios Agrícolas**

Como se ha indicado anteriormente, la cuenca del río San José se ubica en una zona desértica, en que el factor limitante de mayor importancia para su desarrollo lo representa la disponibilidad de agua, tanto para uso agrícola como para usos de agua potable e industrial. Los recursos de agua provienen principalmente de los acuíferos, y ya que los caudales superficiales importantes se producen durante las crecidas, ellos serían aprovechables en la actualidad. Por lo demás, las únicas aguas superficiales disponibles de interés para el valle son las provenientes del río Lauca y que son trasvasadas mediante el canal del mismo nombre, con un caudal medio anual de 0,82 m<sup>3</sup>/s.

En la zona baja del río no se producen escurrimientos superficiales permanentes, mientras que en las subcuencas de cabecera sólo ocurre este tipo de escurrimientos en tramos cortos de los cauces, los cuales son producidos por el afloramiento de vertientes ligadas al volumen de agua almacenada en el acuífero respectivo.

Es mediante la explotación de las fuentes mencionadas, que se deben satisfacer tanto las demandas agrícolas como las de agua potable y usos industriales en el valle y la ciudad de Arica. El uso agrícola se concentra en el curso bajo del río San José y también en la zona precordillerana, donde existe un gran número de pequeños sectores de riego en la subcuenca del río Tignamar. Los principales problemas que se generan por la situación descrita son los que se exponen en los puntos siguientes.

#### a) Déficit de Agua para Satisfacer la Demanda de Riego

Debido a las características hidrológicas propias de la cuenca, las disponibilidades de recursos hídricos son muy limitadas frente a las necesidades del riego del valle de Azapa. Esta escasez se ha discutido anteriormente en este informe donde se ha mostrado los resultados de los balances entre oferta y demanda del recurso hídrico, que señalan que para un año hidrológico promedio existe un déficit actual del orden de 9 millones m<sup>3</sup>/año el que podría aumentar o disminuir dependiendo de la forma en que se modifique la agricultura del valle.

Las causas del déficit entre oferta y demanda radican en los aumentos de las necesidades de riego derivadas del incremento de la superficie regada en el valle de Azapa, de unas 800 ha en los comienzos de los años 60 a unas 3.200 ha en la actualidad. Hay que hacer notar que estos últimos aumentos, sin embargo, no han sido proporcionales a los incrementos de superficie regada, gracias a la tecnificación del riego que en paralelo se ha llevado a cabo. Todo lo anterior, en un escenario de gran escasez natural del recurso agua en la cuenca, aún considerando la mayoritaria importancia del recurso agua trasvasado desde la cuenca del río Lauca, que representa más de un 50% de los recursos superficiales para la zona baja de la cuenca (valle de Azapa) en términos de valores medios anuales. Se suma a lo anterior, la desuniforme distribución temporal que presentan los recursos propios de la hoya del río San José, manifestándose éstos como volúmenes importantes sólo durante la época de crecidas, en verano, en lapsos de tiempo muy breves. Este último hecho produce pérdidas de aguas superficiales que en promedio son del orden de 4,4 millones m<sup>3</sup>/año.

Las consecuencias principales de los déficits de agua son las siguientes:

- Sobreexplotación del acuífero: para paliar el déficit en la disponibilidad de agua, se ha ido progresivamente sobreexplotando las aguas subterráneas, más allá de su capacidad de recarga. Esto ha producido un progresivo descenso de los niveles que se manifiesta claramente en los distintos pozos de observación de la zona. En efecto, en los últimos diez años se han detectado descensos del orden de 25 m en el área de Saucache y de 10 m tanto en Pago de Gómez-Las Animas como en la zona costera. Además, a consecuencia de estos descensos se han agotado (secado) varias de las vertientes que históricamente servían para el regadío del valle de Azapa.
- Falta de agua para satisfacer las demandas: aun bajo las condiciones actuales de sobreexplotación de los acuíferos del valle, no se logra satisfacer apropiadamente las demandas. En efecto, las zonas de riego no son servidas con una seguridad apropiada y quedan sujetas en su abastecimiento a la variabilidad en las disponibilidades del recurso.

#### b) Deterioro de la Calidad Físico-Química de Aguas Subterráneas en el Valle de Azapa

El análisis de los datos de calidad físico-química del agua subterránea que existen en la cuenca, indican un progresivo deterioro en el tiempo en todos los parámetros que caracterizan la salinidad del recurso, el cual se manifiesta en grado importante en los pozos cercanos a la costa, lo que podría ser indicativo de un proceso de salinización del acuífero.

Por otro lado, hay antecedentes (Peña y Salazar, 1993) que señalan que la salinidad del agua de las vertientes existentes en el valle de Azapa, medida a través del parámetro conductividad, ha ido progresivamente aumentando, de tal forma que de valores del orden de 1000  $\mu\text{mhos/cm}$  en 1970, se ha llegado a cerca del doble en la actualidad. Esto último no es atribuible obviamente a problemas de intrusión marina sino que más bien debería pensarse en que la mayor incorporación de agua desde el río Lauca a partir de 1962, ha producido efectos de lavado progresivo de nuevos suelos, regados con aguas relativamente salobres, en el valle de Azapa.

Las consecuencias más evidentes del deterioro en la calidad físico-química del agua subterránea en el valle, en el largo plazo, se traducen en la limitación de las potencialidades de uso del recurso, principalmente para agua potable.

**c) Déficit de Recursos de Agua para Satisfacer las Necesidades de Agua de las Comunidades del Sector Precordillerano**

Este problema se refiere a las pequeñas comunidades de la zona alta del río San José particularmente, Tignamar, Saxamar, Lupica, Belén, Chapiquiña y Murmuntane. Si bien el total de población comprometida no es grande, puesto que alcanza a unas 400 personas, la información recogida en terreno y la apreciación de la propia población de estas comunidades señala a la escasez de agua como uno de los principales factores limitantes para su desarrollo a lo cual se suma en algunos casos problemas o limitaciones de infraestructura apropiada y la falta de inversión para su aprovechamiento adecuado. Por esto, no se han encontrado antecedentes que permitan cuantificar y diagnosticar apropiadamente este problema.

Las consecuencias concretas de la escasez del recurso se traducen en limitaciones en la calidad de vida y posibilidades de desarrollo crecimiento de la población afectada, que además en su totalidad forma parte del grupo étnico Aymara.

**d) Falta de una Organización de Usuarios de las Aguas Subterráneas del Valle de Azapa**

Dentro de la cuenca del río San José, los usuarios de agua de las distintas fuentes superficiales están en general organizados para la gestión y conservación del recurso hídrico. Con ello es potencialmente posible lograr en el largo plazo, optimizar el aprovechamiento de este recurso propendiendo hacia una adecuada conservación en cantidad y calidad del recurso y sin causar efectos adversos que puedan conspirar en contra de estos usuarios.

Esto no ocurre, sin embargo, con los usuarios de las aguas subterráneas, que tal como se señaló es una fuente sobreexplotada y que sufre un progresivo deterioro de su calidad. Si hubiera un único usuario del recurso subterráneo, el problema sería particular de éste, sin embargo, existen varios usuarios (industriales, agua potable y riego) de este recurso subterráneo que se ven afectados por la falta de una organización ad hoc.

De acuerdo a los resultados del estudio "Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca del río San José", Arrau-DGA (1997), se logró determinar que existen captaciones que no están formalmente constituidas ni regularizadas y posibles casos de captaciones no autorizadas.

En estas condiciones, parece importante que se constituya formalmente una organización de usuarios de aguas subterráneas que pueda servir para tomar decisiones para una racionalización del uso de la fuente, y que sea el interlocutor para la acción fiscalizadora que pueda ejercer en lo que corresponda la Dirección General de Aguas.

e) **Pérdidas por Filtraciones en el Canal Azapa**

Según los antecedentes recopilados, en los últimos años no se le ha hecho una mantención apropiada al canal Azapa, lo cual habría redundado en un aumento de las pérdidas por filtraciones afectando la conducción principal del valle de Azapa en lo que a aguas de riego se refiere. Nuevamente puede argumentarse que una parte de los recursos así perdidos constituye una recarga a la napa subterránea, pudiendo ser reutilizados por otros usuarios; sin embargo, de todos modos hay una parte de estos recursos que no son aprovechables dentro del sistema, por parte de los usuarios originalmente contemplados.

f) **Pérdidas por Filtraciones en el Cauce del río San José en el Sector Chapiquiña-Bocatoma Azapa**

En un estudio reciente (BF-DGA, 1991), se detectaron pérdidas en el cauce del río San José, entre Ausipar y la Bocatoma Azapa, de entre 90 y 220 l/s. Estas pérdidas en su mayor parte constituyen una recarga a la napa subterránea y por lo tanto son aprovechables por parte de los usuarios que tienen derechos sobre el agua subterránea del valle. Sin embargo, éstas constituyen pérdidas netas de agua de los titulares de los derechos de agua del canal Azapa. La Tabla 4.1 contiene un resumen de los problemas descritos, vinculados a la escasez de agua para satisfacer las demandas del regadío del valle.

**Tabla 4.1 Principales Problemas Asociados al Riego en el Valle de Azapa**

PROBLEMAS	CAUSAS	CONSECUENCIA
Déficit de agua para satisfacer demanda de riego	Desarrollo creciente de la demanda para agricultura	- Baja seguridad de riego - Sobreexplotación del acuífero - Agotamiento de vertientes para su uso en regadío del valle
Deterioro de la calidad físico-química del agua subterránea	- Percolación de aguas de riego en terrazas con suelos salinos	- Limitaciones en las posibilidades de desarrollo del riego
Déficit de recursos de agua para satisfacer las necesidades de agua de las comunidades: Tignamar, Saxamar, Lupica, Belén, Chapiquiña y Murmuntane.	-Características hidrológicas de la cuenca -Falta de inversión en obras de aprovechamiento	- Limitaciones en la calidad de vida y posibilidades de desarrollo económico de la población
Inexistencia de una organización de usuarios de agua subterránea	Existencia de un usuario mayoritario (ESSAT)	- Falta de una política y acciones de manejo y explotación racional del recurso - Falta de instancias para hacer valer los derechos de los usuarios minoritarios e individuales
Pérdidas de agua conducidas por el Canal Azapa	- Falta de Reparaciones - Mantención inadecuada de canales	- Mal aprovechamiento de recursos disponibles - Pérdidas de agua
Pérdida de aguas superficiales sector Chapiquiña-Bocatoma Azapa	- Naturaleza hidrogeológica del cauce	- Pérdidas de agua usuarios con derechos en canal Azapa
Crecidas Río San José	- Invierno Boliviano	- Inundaciones y socavaciones de terrenos agrícolas

**4.1.2 Problemas Asociados al Sector Agua Potable e Industria**

En lo que refiere a los usos de agua potable e industrial, los estudios disponibles indican que los principales problemas se refieren a la escasez de recurso para satisfacer las necesidades de la población y actividades

de la ciudad de Arica. En este sector, un problema que adquiere particular relevancia, dada la escasez del recurso, es el de las pérdidas en la red de distribución de agua potable. De acuerdo a los antecedentes recopilados, existe un porcentaje del orden de 43% de pérdidas de agua si se comparan los volúmenes producidos para agua potable por ESSAT en Arica, y los volúmenes efectivamente facturados. Una parte de estas pérdidas están asociadas directamente a consumos no controlados pero otra se deben a fugas en las redes de distribución urbanas y por robos o extracciones no autorizadas.

Las consecuencias de estas pérdidas son requerimientos mayores de producción que los estrictamente necesarios para satisfacer las demandas. Si bien puede suponerse que una parte de estas pérdidas efectivamente recargan la napa subterránea, siempre habrá una parte de las pérdidas que no son recuperables para volver a ser utilizadas.

Además, se debe hacer notar que en los últimos años, con excepción de 1994, la ciudad de Arica ha estado sometida a un régimen casi permanente de cortes del suministro de agua potable. Ello ha incentivado a los usuarios a incurrir en inversiones redundantes (estanques de acumulación) y en consumos ineficientes: acumulación de agua en contenedores precarios (tinajas, bidones, ollas, etc.), parte de lo cual se pierde cuando se reanuda el suministro después del corte.

Adicionalmente, la calidad del agua también impone restricciones al consumo humano, dado que puede ocasionar enfermedades a los usuarios.

En relación al sector industrial, no se conocen problemas específicos asociados a este sector económico, por cuanto sus consumos no son intensivos y porque este tipo de usuario puede emplear aguas relativamente de menor calidad que las requeridas en agua potable.

Los problemas descritos precedentemente que se refieren a los usuarios de agua potable se resumen en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2 Principales Problemas Asociados al Sector Agua Potable y Sector Industrial en Valle de Azapa**

PROBLEMA	CAUSAS	CONSECUENCIAS
Déficit de recursos de agua para satisfacer las necesidades en la ciudad de Arica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento creciente de las demandas de agua potable</li> <li>- Características hidrológicas de la cuenca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobreexplotación del acuífero</li> <li>- Racionamiento del abastecimiento de agua potable</li> </ul>
Deterioro de la calidad físico-química de las aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobreexplotación de acuíferos costeros</li> <li>- Percolación aguas de riego en terrazas con suelos salinos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restricción para el uso del acuífero en agua potable</li> </ul>
Pérdidas en la red de Agua Potable de Arica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insuficiente mantención, reposición y control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de agua</li> <li>- Pérdida económica por consumos no facturados de agua</li> </ul>

#### 4.1.3 Problemas Asociados al Sector Hidroelectricidad y Minería

Los estudios realizados no consignan problemas asociados a estos sectores de la actividad económica, principalmente porque la central Chapiquiña, la única existente en el valle, no altera el volumen ni la oportunidad de entrega del recurso a otros usuarios.

En cuanto al sector minero, actualmente no existen instalaciones mineras en la cuenca del río San José, y tampoco se proyectan otras a futuro.

#### 4.2 PROBLEMAS LEGALES VINCULADOS CON LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO

En este acápite se presentan los principales problemas que afectan a la situación actual de los derechos de agua, considerando aspectos relacionados tanto con el otorgamiento de derechos y sus efectos sobre los recursos hídricos, como los asociados al uso de posibles nuevas fuentes de agua. En este último caso, se analiza la factibilidad legal de tales usos.

##### 4.2.1 Declaración de Zona de Prohibición para Nuevas Explotaciones de Aguas Subterráneas en el Acuífero del Valle de Azapa

Por Resolución N° 202, de 19 de marzo de 1996, publicada en el Diario Oficial del 15 de mayo del año 1997, la DGA, basada en los artículos 63, 64, 68 y 300 del Código de Aguas y el artículo 22 de la Resolución DGA N° 207, de 1983, que establece normas sobre exploración y explotación de aguas subterráneas, declaró zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas, el acuífero del valle de Azapa en la Primera Región, considerando para ello que los estudios hidrológicos realizados indican que existe una sobreexplotación del acuífero. Lo anterior evidenciado por el paulatino agotamiento de las vertientes, el descenso progresivo de los pozos y el peligro de deterioro de la calidad de las aguas.

La declaración de zona de prohibición rige para todas aquellas solicitudes de derechos de aprovechamiento que se presenten con posterioridad al 15 de mayo de 1996, siempre que ellas se refieran a aguas situadas en la zona de prohibición que ha sido definida por las coordenadas UTM que se indican en el párrafo 1° de la parte dispositiva de la Resolución DGA N° 202, de 1996.

En el Plano 4.1 se presenta la ubicación de la zona de prohibición antes aludida.

##### 4.2.2 Solicitudes Pendientes en la Dirección General de Aguas

En la Dirección Regional de Aguas y también en el nivel central del Servicio, se encuentran en estudio, numerosas solicitudes de constitución de derechos de aprovechamiento, referentes a la zona que comprende el presente estudio, tanto de aguas superficiales como subterráneas, y, también, peticiones de autorización de exploración de aguas subterráneas.

Como todas estas peticiones se refieren a zonas declaradas fronterizas, se requiere la autorización previa de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Ministerio de Relaciones Exteriores, para la constitución de cualquier derecho real sobre las aguas, que son Bienes Nacionales de Uso Público, según establece el artículo 5° del Código de Aguas.

Al respecto, debe tenerse presente que mediante el Oficio ORD. N° 264, de 21 de marzo de 1996, del Departamento Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, que se remite a la Minuta Técnica sobre "Determinación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para Constituir Nuevos Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas en el Sector del Valle de Azapa", establece en su conclusión que: "corresponde la denegación de todas las solicitudes pendientes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el acuífero del valle de Azapa, a partir de la primera pendiente: ND-I-1-83, en atención a que no existe recurso disponible a nivel de fuente, por constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas".

El expediente ND-I-1-83 corresponde a la solicitud presentada por doña María Lorena Garbin Aste, con fecha 6 de febrero de 1992, de aguas subterráneas alumbradas en la comuna de Arica por 0,16 l/s en el predio "Loteo 8 Sector Pago de Gómez Sur", a la cual se hace referencia en el Anexo B "Solicitudes de derechos de aprovechamiento pendientes en el Valle de Azapa" del Oficio ORD N°264, del 21 de marzo de 1996, a cuya fecha se estimaba que las solicitudes de constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en ese sector totalizaban 626,27 l/s.

#### **4.2.3 Problemas Derivados de la Sobreexplotación de la Napa Subterránea en el Valle de Azapa**

En el desarrollo de este estudio ha sido posible advertir que en la zona del valle de Azapa se ha ido produciendo, desde hace años, una sobreexplotación de la napa subterránea, tanto más si se considera que sumados los caudales comprendidos en los derechos de aprovechamiento otorgados en el tiempo por la Dirección General de Aguas y agregados los correspondientes a los derechos de aprovechamiento regularizados de acuerdo al artículo 2° transitorio del Código de Aguas, según las inscripciones revisadas en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, a diciembre de 1996, todos ellos suman 1.118,59 l/s.

A este propósito, cabe recordar que la Dirección General de Aguas, en uso de sus facultades legales, mediante Resolución N° 202 de 1996, y considerando la sobreexplotación del acuífero, haya tenido que efectuar una declaración de zona de prohibición para nuevas explotaciones de agua subterránea en el acuífero del valle de Azapa.

Dicha decisión regula la situación de las explotaciones de aguas subterráneas para el futuro, impidiendo la concesión de nuevos derechos de aprovechamiento, pero ello no resuelve lo que sucede actualmente en el valle de Azapa, debido a la proliferación de explotaciones legales e ilegales del recurso existentes, lo cual hace necesario la adopción de medidas legales para remediar tal situación.

Con tal objeto, se debe tener en consideración que sólo a petición de las partes y si la explotación de aguas subterráneas por algunos usuarios ocasionare perjuicios a los otros titulares de derechos, la Dirección General de Aguas, podrá establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, a prorrata de ellos.

Así lo establecen los artículos 62 del Código de Aguas y 26 de la Resolución N° 186, de 11 de marzo de 1996, de la Dirección General de Aguas, y resulta indudable que en la situación que se describe no existirá inconvenientes para determinar la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento respecto de aquellos personas que sean titulares de los mismos, no ocurriendo así con los usuarios clandestinos de aguas subterráneas, porque en estos casos no existirá un caudal al cual tienen derecho.

Aun más, la Dirección General de Aguas también tiene facultades, según el artículo 65 del Código del ramo, para declarar, a petición de cualquier usuario del valle de Azapa, área de restricción aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

#### **4.2.4 Análisis Legal Sobre Nuevas Fuentes de Recursos Hídricos**

En relación con esta materia resulta necesario analizar desde el punto de vista legal las siguientes alternativas:

##### **a) Captación en la Laguna de Chungará**

La Laguna o Lago Chungará se encuentra situada dentro del Parque Nacional Lauca, según establecen los Decretos Supremos N°s. 270 de 1970 y 29 de 1983, ambos del Ministerio de Agricultura, situación

que fue posteriormente ratificada con la dictación, en 1984, de la Ley N° 18.362, que instituyó el Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado, al considerarlo como un Parque Natural.

La circunstancia de que dicha fuente de agua se encuentre dentro del Parque Nacional Lauca, hizo aplicable a su respecto el Decreto Supremo N° 531, de 1967, del Ministerio de Relaciones Exteriores, que ordena cumplir como ley de la República la Convención para la Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América, suscrita en la ciudad de Washington, Estados Unidos de Norteamérica, el 12 de octubre de 1940, en razón de lo cual, según el parecer de la Corporación Nacional Forestal, en lo expresado en el artículo 5° de la Ley, la concesión de un derecho de aprovechamiento de aguas y su posterior ejercicio, no resultaría compatible con la preservación del medio ambiente natural en una área protegida.

Posteriormente, la autoridad ordena cumplir como Ley de la República la Convención aprobada sobre Protección del Patrimonio Mundial, cultural y natural, suscrita en UNESCO en noviembre de 1972, y luego, a petición de Chile, se declaró al lago Chungará, reserva de la biósfera.

Al respecto, cabe agregar que la Corporación Nacional Forestal ha formulado oposiciones a solicitud de derechos de aprovechamiento que contemplen captaciones en cauces naturales ubicados en Parques Nacionales, con el fundamento de lo expresado en la parte final del artículo 3° de la citada Convención de Washington que dice: "Las riquezas existentes en ello no se explotarán con fines comerciales".

Por otra parte, debe hacerse presente que la Corte Suprema de Justicia, en sentencia de fecha 19 de diciembre de 1985, acogió un recurso de protección deducido en contra de la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, a raíz del proyecto para extraer 8.000.000 m<sup>3</sup> anuales del lago de Chungará para el regadío del valle de Azapa, y ordenó la suspensión de la extracción de aguas que se estaba efectuando, expresando que ello subsistirá mientras se mantenga al referido lago como parte del Parque Nacional del Lauca y en tanto no se le excluya del listado de UNESCO como reserva de la biósfera.

En estas condiciones, como la situación descrita se mantiene a la fecha, para poder utilizar debidamente aguas del lago de Chungará, se hace necesario efectuar modificaciones legales y/o que se adopten ciertas decisiones, todo ello para subsanar las restricciones a que alude la sentencia de la Corte Suprema, en los siguientes aspectos:

- Que el Gobierno de Chile acepte pedir a UNESCO que se excluya al lago de Chungará como reserva de la biósfera. Para ello, la petición respectiva debe plantearse a los Ministerios de Educación y de Relaciones Exteriores, quienes previo estudio e informe remitirán los antecedentes al Presidente de la República para su examen y resolución final.
- Excluir al lago de Chungará de la zona territorial que comprende el Parque Nacional Lauca, dejando sin efecto, en esta parte, la Ley N° 18.362, que lo consideró como un Parque Natural, todo ello en la medida que el ejercicio de un derecho de aprovechamiento de aguas no resultaría compatible con la preservación del medio ambiente natural en un área protegida.

#### **b) Captación del Río Lauca**

Otra nueva fuente de recursos de agua la constituye el aprovechamiento de mayores caudales del río Lauca. Para ello parece técnicamente posible captar aguas en un punto situado más abajo de la actual bocatoma del canal Lauca situada en las ciénagas de Parinacota.

El río Lauca nace en territorio Chileno, corre con rumbo al Sudeste y luego penetra en territorio Boliviano, donde sigue, siempre en dirección Sudeste, hasta su desembocadura en la Laguna de Coipasa, de modo

que se trata de un curso de agua que atraviesa sucesivamente los territorios de Chile, al cual le corresponde su parte superior, y de Bolivia, al que pertenece la corriente inferior hasta su desembocadura.

El Estado en cuyos dominios corren las aguas superiores de un río internacional, puede usarlas ya sea con fines de navegación, si el río se presta a ello, ya con fines de pesca o ya de aprovechamiento industrial y agrícola. Mas, el ejercicio de este derecho no puede causar perjuicios al derecho del Estado que recibe la corriente inferior de las aguas.

Al respecto, cabe destacar que el aprovechamiento de las aguas de un río internacional de curso sucesivo, como lo es el Lauca, a falta de tratado o acuerdo bilateral entre las partes, como ocurre en este caso debe ser resuelto teniendo en cuenta las normas de la Declaración de Montevideo, de 24 de diciembre de 1933, sobre uso industrial y agrícola de los ríos internacionales, aprobada en la VII Conferencia Panamericana.

El artículo 2º de la Declaración de Montevideo consagra claramente el derecho exclusivo de un estado ribereño para aprovechar con fines industriales o agrícolas las aguas de un río internacional, derecho que no puede ser negado o discutido por los otros codueños, pero en su uso, goce o ejercicio está sujeto a la condición de no causar perjuicio a los demás propietarios. En consecuencia, un Estado ribereño sólo puede oponerse al uso que le resulte perjudicial, pero no puede evitarlo a menos que compruebe un perjuicio efectivo para sus intereses.

A fin de establecer esta circunstancia, la Declaración ha creado un procedimiento que se encuentra señalado en los artículos 7 y 8 del texto. Según estas reglas, las obras que se proyectan para uso de las aguas deben ser denunciadas, esto es, informadas al Estado codueño, y la denuncia deberá ir acompañada de la documentación técnica necesaria. El Estado requerido debe contestar la denuncia dentro del término de tres meses, sea que formule o no objeciones al proyecto.

La normativa anteriormente señalada, contenida en la Declaración de Montevideo, fue cumplida por Chile con motivo de la construcción de las obras de aprovechamiento de una parte de las aguas del río Lauca para regar tierras del valle de Azapa, como consta de los antecedentes recopilados en el libro "La Cuestión del Río Lauca", publicado por el Ministerio de Relaciones Exteriores en el año 1963.

Sin embargo, a la luz de los documentos consultados no existirían inconvenientes legales para que nuestro país aprovechara mayores caudales del río Lauca, cabe expresar que resulta apropiada la opinión dada sobre la materia en el informe legal que se desarrolla en el estudio denominado "Plan de Aprovechamiento de los Recursos Hídricos en la Provincia de Arica", contratado por la Corporación de Fomento de la Producción con CONIC-BF, Ingenieros Civiles Consultores, en el año 1995, que constituye parte de la bibliografía considerada en el presente trabajo, en cuanto no parece aconsejable captar nuevos recursos de dicho cauce, dada la repercusión que en el concierto internacional pudiera tener una reclamación de Bolivia, Estado con el cual se encuentran suspendidas las relaciones diplomáticas desde el mes de abril de 1962.

Sin embargo, no existirían tales inconvenientes para que se dispusiera la construcción y habilitación de nuevos sondajes para extraer aguas subterráneas de la cuenca del río Lauca, en la medida que no perjudiquen el caudal de las aguas superficiales y los bofedales circundantes y considerando, además, que en estos casos se trata de obras de menor envergadura y de menor presencia física que aquellas que permiten la captación de aguas superficiales. Debe tenerse en cuenta que la zona es un Parque Nacional y está incluido en el Sistema Nacional de Areas Silvestres protegidas del Estado. También debe considerarse que el vecino país no ha presentado reclamación alguna a raíz de la perforación de varios pozos efectuado por la Dirección General de Obras Públicas (Ex-Dirección de Riego), y cuyos derechos se encuentran en trámite en la Dirección General de Aguas, con el expediente ND-1-2-152, desde el año 1994, que corresponde a una solicitud inicialmente presentada por ESSAT.

En tales condiciones, el derecho solicitado a la Dirección General de Aguas se tramitará, conforme a los artículos 59 a 61 y 140 y siguientes del Código de Aguas y la Resolución N° 186, de 1996, de la DGA que establece normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. En todo caso, debe tenerse presente que por tratarse de bienes ubicados en zonas declaradas como fronteras deberá solicitarse la autorización respectiva de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Ministerio de Relaciones Exteriores (DIFROL), conforme lo dispuesto en los DFL N°s. 4, de 1967, 7 de 1968 y 83 de 1979, todos del Ministerio citado.

En el evento de que las captaciones se encuentren en terrenos fiscales deberán pedirse las autorizaciones respectivas al Ministerio de Bienes Nacionales para constituir el derecho de aprovechamiento y si estuvieren en predios particulares, deberá pedirse la autorización expresa de sus propietarios, y, en su caso, además la de la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) si los pozos se hallaren en terrenos sujetos a su competencia. Del mismo modo, en la medida que los pozos se encuentren en terrenos que constituyen el Parque Nacional Lauca, deberá obtenerse un acuerdo con la Corporación Nacional Forestal para evitar cualquier oposición que perturbe la tramitación de los derechos en la Dirección General de Aguas.

#### **c) Captación en el Río Caquena**

El río Caquena también constituye un cauce internacional de curso sucesivo que nace en Chile y que posteriormente pasa a Bolivia, sirviendo, incluso, en parte de su trayecto de límite con Bolivia. Las mismas razones expresadas respecto de la situación del río Lauca, son válidas en el desarrollo de un proyecto que permita captar aguas superficiales de este cauce natural, por tratarse de aguas compartidas internacionalmente.

#### **d) Sondajes de la Zona de la Línea de la Concordia**

Mediante Decreto N° 1026, de 24 de octubre de 1969, del Ministerio de Obras Públicas, se reservó a favor del Fisco-Dirección de Obras Sanitarias de la napa subterránea de la zona señalada, un caudal de 200 l/s para destinarlo a la bebida, saneamiento y usos domésticos de la población de la ciudad de Arica. De este modo, correspondería que el organismo o institución pertinente, solicitara de la Dirección General de Aguas la constitución del derecho de aprovechamiento correspondiente, con cargo a la reserva fiscal aludida, previa la realización de estudios para determinar la recarga de los acuíferos situados en esta zona fronteriza.

### **4.3 PROBLEMAS ASOCIADOS A ASPECTOS INSTITUCIONALES**

Un aspecto básico que se ha detectado con motivo de la realización de este estudio, es la falta de una coordinación interinstitucional que permita que las políticas sectoriales sobre el aprovechamiento de los recursos hídricos no se contrapongan, como tampoco las acciones y proyectos que emanen de ellas.

Otros aspectos dicen relación con los conflictos existentes entre los organismos de usuarios en la cuenca del río San José y los problemas que se producen por la inexistencia de una organización de usuarios de aguas subterráneas en el valle de Azapa. Estos dos últimos aspectos se analizan desde una perspectiva legal a continuación.

#### **4.3.1 Conflictos Entre Organizaciones de Usuarios**

En relación con esta materia, sólo existe una situación conflictiva que se arrastra desde el año 1988, cuando un grupo de usuarios del Canal Azapa decidió formar la Sociedad Administradora de Aguas Pampa Algodonal, separándose con ello de la Organización Provisional de Usuarios del Canal Azapa (OPUCA) y dejando, por tanto, de pagar las cuotas sociales.

El conflicto se originó porque dichos usuarios estiman que sus derechos de aprovechamiento debían asignárseles en base al Decreto Supremo N° 380 de 1975, del Ministerio de Obras Públicas, que fija, por sectores, las tasas de uso racional y beneficioso del área en cultivo y regable en el valle de Azapa, con las aguas provenientes del río San José, canal Lauca y de pozos de captación de aguas subterráneas.

Ello motivó, que con posterioridad, dichas personas dedujeran ante la I. Corte de Apelaciones de Arica, en uso de la facultad que les confiere el artículo 137 del Código de Aguas, un recurso de reclamación en contra de la Resolución N° 320, de 1989, mediante la cual la Dirección General de Aguas, efectuó la asignación de derechos de aprovechamiento a los usuarios del Canal Azapa; en cuyo N° 5 de la parte resolutive se establece que los derechos que corresponden a los miembros de la Sociedad Administradora de Aguas Pampa Algodonal, ascendentes a un total de 304,1 acciones, serán asignados una vez que se resuelva su situación legal.

Sin perjuicio de ello, cabe destacar que en los últimos años los miembros de la Sociedad Administradora de Aguas Pampa Algodonal se han integrado de hecho a la COMCA, pagando las cuotas sociales respectivas y por ello han recibido aguas para regar sus predios.

Con todo, debe agregarse que mediante sentencia dictada por el Tercer Juzgado de Letras de Arica, de fecha 26 de agosto de 1996, en los autos "Fisco de Chile con Sociedad Administradora Pampa Algodonal Azapa", Rol 8112-90, se ordenó cancelar la inscripción de fojas 6 N° 4 del Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Arica, del año 1988, referente a dicha Sociedad. El fallo aludido se encuentra ejecutoriado y el Conservador de Bienes Raíces de Arica, procedió a cancelar dicha inscripción, con fecha 21 de octubre de 1996, según consta al margen de la misma.

#### **4.3.2 Problemas Asociados a la Inexistencia de una Organización de Usuarios de Aguas Subterráneas en el Valle de Azapa**

En el valle de Azapa no existe constituida organización alguna que agrupe, en general, a los usuarios de aguas subterráneas, dado que el Código de Aguas, en su artículo 186, no contempla la posibilidad que los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados en ese sector, de común acuerdo o judicialmente, pudieran constituir una comunidad de aguas, una asociación de canalistas y otro tipo de sociedad, ya que en la especie, se trata de usuarios que captan y explotan individualmente el recurso proveniente de sus pozo, no existiendo entre ellos comunidad alguna, como se refiere la norma antes aludida.

Sin embargo, cabe expresar que en el Código de Aguas sólo existen dos normas que se refieren a la formación de organizaciones de usuarios por parte de los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, pero ambos casos, como se verá, se refieren a situaciones específicas.

La primera de ellas se encuentra en el artículo 186 del Código de Aguas, la cual establece que: "Si dos o más personas tienen derechos de aprovechamiento en las aguas de un mismo canal o embalse, o usan en común la misma obra de captación de aguas subterráneas, podrán reglamentar la comunidad que existe como consecuencia de este hecho, constituirse en asociación de canalistas o en cualquier tipo de sociedad .....".

Como puede observarse, la ley posibilita que quienes se encuentren en la situación fáctica descrita, esto es, que usen en común la misma obra de captación de aguas subterráneas, pueden reglamentar la comunidad que se ha formado entre ellos, constituyéndose como una comunidad de aguas, según las normas que establecen los artículos 187 a 251 del Código de Aguas; como una asociación de canalistas, regulada por los artículos 257 a 262 del mismo Código o en cualquier otro tipo de sociedad.

La segunda situación surge, como expresa el inciso final del artículo 65 del Código de Aguas, a raíz de la declaración de un área de restricción, lo cual da origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella.

Según dicha norma, son áreas de restricción aquellos sectores hidrológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

La declaración de área de restricción corresponde a la Dirección General de Aguas, a petición de cualquier usuario del respectivo sector, que deberá acompañar los antecedentes que demuestren la conveniencia de restringir el acceso al sector, según exige el artículo 27 de la resolución DGA N° 186, de 1996 y concurriendo las circunstancias que establece el artículo 27 de la resolución N° 186, de 1996, de dicho servicio, que establece normas de exploración y explotación de aguas subterráneas.

De este modo, la resolución de la Dirección General de Aguas que declare el área de restricción, deberá indicar, también, que dicha circunstancia ha dado origen a una comunidad de aguas integrada por todos los usuarios de aguas subterráneas existentes en el sector respectivo.

Así, la declaración de un área de restricción produce efectos generales para todos los usuarios afectados con tal decisión, en cuanto los obliga, por el solo ministerio de la ley, a formar parte de la comunidad de aguas que tal hecho produce.

Esta comunidad de aguas deberá organizarse en la forma prevista en el párrafo 1° del Título III del Libro Segundo del Código de Aguas, que comprende los artículos 187 a 251 de ese Código. (Art. 28 de la resolución DGA N° 186, de 1996).

Respecto a las comunidades de aguas subterráneas, cabe destacar que sus estatutos deberán adaptarse a la realidad distinta que éstas presentan en relación con las organizaciones de usuarios tradicionalmente existentes, en cuanto éstas últimas ejercen sus facultades sobre aguas superficiales, siendo su objetivo principal, tomar las aguas del canal o caudal matriz, repartirlas entre los titulares de derechos, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos y otras que sean necesarias para el aprovechamiento común; aplicando en lo que sea procedente para su fines la normativa contemplada en los artículos 187 a 251 del Código de Agua.

#### 4.4 ASPECTOS AMBIENTALES CONDICIONANTES DE NUEVAS FUENTES DE RECURSOS HIDRICOS

Sobre la base de los antecedentes recopilados, en este acápite se caracterizan las áreas protegidas y los ecosistemas relacionados a nuevas fuentes de recursos hídricos, identificándose los principales problemas asociados. Los principales resultados de esta caracterización se sintetizan en el Plano 4.2.

##### 4.4.1 Revisión y Análisis de la Información Recopilada

El análisis de los aspectos ambientales vinculados al aprovechamiento de nuevas fuentes de recursos de agua en las cuencas en estudio (San José, Lluta y Lauca) y sectores adyacentes (Caquena y Concordia) constituye una temática bastante compleja, debido en parte a la carencia de estudios de línea base ambiental en el área de interés y también por la singularidad de los ecosistemas que en ella existen. En tal sentido es necesario señalar que los antecedentes disponibles en los estudios consultados proporcionan, más que todo, información con un carácter muy global y sesgado.

La información considerada se encuentra contenida en los informes de CONAF (1986) y (1989), CONAMA (1993), INYGE-DGA (1993), JICA-DGA (1995), DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), DR-MOP (1995), DGA-MOP (1996), DR-AMBAR (1996) y Arrau-DGA (1997).

En el estudio realizado por CONAMA (1993) se entrega solamente una identificación global de los principales problemas ambientales que afectan a la región, sin proporcionar mayores antecedentes sobre el lugar

específico en que ellos ocurren, ni de su magnitud. Debe mencionarse que este estudio es el resultado de una serie de seminarios desarrollados a nivel regional durante el año 1990 que tuvieron el fin de perfeccionar el conocimiento sobre esta temática. Contaron con la participación de especialistas de los sectores científico, académico, estatal y de la comunidad en general. Los antecedentes que se generaron a través de los diversos encuentros, tienen un carácter general a nivel regional, situación que se mantiene también a nivel de las cuencas de interés. Esto es consecuencia de ser el resultado de una consulta global y no de estudios específicos de cada uno de los problemas ambientales identificados.

Una situación similar se aprecia en el estudio de INYGE-DGA (1993) en donde son identificados los principales problemas ambientales y/o ecológicos asociados al recurso hídrico de las zonas altiplánicas y de los valles inferiores de la región. En lo específico, se menciona que los principales problemas ambientales que afectan en la actualidad al recurso agua están ligados a la contaminación de los cursos de agua superficial por diferentes fuentes como son: productos químicos usados en la agricultura, desechos sólidos y aguas servidas domésticas e industriales. Además, se señala como problema ambiental la salinización de las aguas superficiales y subterráneas.

Si bien en este estudio se abordan con mayor especificidad los problemas ambientales que afectan a las cuencas de interés que lo tratado en el estudio de CONAMA (1993), carece de un respaldo documental que permita aceptar o rechazar las afirmaciones formuladas, en términos de su magnitud e importancia, así como si los problemas son actuales o potenciales.

Al igual que en los estudios anteriores, en el informe de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) se entrega una visión general de los problemas ambientales que afectan a las cuencas de los ríos San José y Lauca, basado principalmente en el estudio realizado por CONAMA (1993), razón por la cual no agrega nuevos antecedentes que complementen la información ambiental del área.

Considerando el carácter general de los antecedentes existentes, y por otro lado la trascendencia que podrían tener los problemas ambientales identificados en los estudios consultados, se ha hecho necesario complementar esta información con otras fuentes disponibles. Para tales efectos, se han incorporado los antecedentes de los estudios de JICA-DGA (1995), DR-AMBAR (1996) y de Arrau-DGA (1997) en lo referente a la temática de calidad de aguas. Ellos aportan información para precisar los problemas ambientales vinculados a la contaminación de los recursos hídricos.

El estudio de DR-AMBAR (1996) propone una explotación inicial del acuífero del Lauca de 300 l/s, la que podría aumentar de acuerdo con la reacción del acuífero y de los bofedales circundantes, según se logre determinar en base a un monitoreo permanente del acuífero.

Otro de los aspectos ambientales vinculados al recurso hídrico que ha sido incorporado en el presente estudio está referido a las áreas protegidas y ecosistemas frágiles. Los antecedentes disponibles sobre estos aspectos, a diferencia de los vinculados a problemas ambientales propiamente tales, corresponden a análisis más complejos y detallados, que dan cuenta de las características de los ecosistemas y áreas protegidas involucradas, y de los niveles de restricción y problemas derivados del uso y demanda de los recursos hídricos.

#### **4.4.2 Caracterización Ambiental de la Zona Estudiada**

La caracterización ambiental de las cuencas de los ríos San José, Lluta, Lauca y áreas adyacentes en estudio, que se presenta a continuación se centra en torno al desarrollo de un análisis y diagnóstico de los aspectos ambientales que pueden ser asociados directa o indirectamente con el aprovechamiento del recurso hídrico en lo referente a áreas protegidas y ecosistemas frágiles, que han sido orientados principalmente a identificar los problemas ambientales asociados al uso y demanda de las aguas superficiales y subterráneas.

**a) Áreas Protegidas**

La denominación de áreas protegidas abordadas por este estudio está vinculado a las distintas categorías de manejo del Sistema Nacional de Áreas Silvestres y Protegidas por el Estado (SNASPE) existentes en el área de interés del estudio y en sus áreas adyacentes.

En esta zona se reconocen dos categorías de manejo del SNASPE, creadas según Ley N°18.362 de 1984 y administradas por CONAF. Ellas corresponden al Parque Nacional Lauca y Reserva Nacional Las Vicuñas, las cuales además han sido declaradas por UNESCO en el año 1981 como Reservas de la Biósfera.

Los objetivos que persigue el SNASPE son mantener áreas de carácter único o representativas de la diversidad ecológica natural del país, a fin de posibilitar la educación e investigación y de asegurar la continuidad de los procesos evolutivos. Lo anterior se traduce en la existencia de cuatro categorías de manejo que ofrecen un abanico de restricciones y posibilidades de uso de los recursos entre los cuales destaca el recurso agua.

Al respecto cabe destacar que las áreas protegidas representan más de un 30% de la superficie total de las cuencas de los ríos San José y Lauca, pero sólo el 2% de la superficie total de la primera de estas cuencas forma parte del Parque Nacional Lauca. En cambio, la totalidad de la superficie de la cuenca del río Lauca se encuentra protegida bajo las categorías de Parque Nacional Lauca (30%) y Reserva Nacional Las Vicuñas. Por otra parte en las cuencas de los ríos Lluta y Caquena, las categorías de manejo del SNASPE sólo representan un 11% y 7% de sus respectivas superficies.

Considerando los antecedentes señalados, a continuación se presenta una caracterización y análisis del Parque Nacional Lauca y Reserva Nacional Las Vicuñas en los aspectos relativos a uso y restricciones de aprovechamiento del agua en estas unidades, y problemas ambientales identificados.

**a.1) Parque Nacional Lauca**

**i) Antecedentes Generales**

El Parque Nacional Lauca se encuentra ubicado administrativamente en la comuna de Putre, provincia de Parinacota, Iª Región, distante a aproximadamente 165 km al este de la ciudad de Arica, entre las coordenadas geográficas 18° 03' a 18° 27' latitud sur y 69° 02' a 69° 39' longitud oeste. Comprende a los sistemas hidrográficos del río Lauca, río Lluta un pequeño tramo de su curso medio; río San José, corto tramo de su cabecera, cabecera del río Caquena y los sistemas lacustres Chungará y Cotacotani.

Esta unidad fue creada inicialmente en el año 1965 como "Reserva Forestal Lauca". Posteriormente en el año 1970 fue desafectada de su calidad de reserva forestal, siendo declarada "Parque Nacional de Turismo Lauca" en un área de aproximadamente 520.000 ha. Finalmente, en marzo de 1983, se desafectó parte de la unidad, fijándose nuevos límites y quedando constituida como "Parque Nacional Lauca" en un área de 137.883 ha. En el año 1981 fue declarada por la UNESCO Reserva de la Biósfera, al reconocerse su importancia y por constituir un ejemplo de los ecosistemas altiplánico lacustres más representativos del mundo.

De acuerdo a la normativa de SNASPE, la categoría Parque Nacional de la cual forma parte la unidad Lauca corresponde a un área generalmente extensa, donde existen diversos ambientes únicos, representativos de la diversidad ecológica natural del país, no alterados significativamente por la acción humana, capaces de autopertuarse, y en el que las especies de flora y fauna o las formaciones geológicas son de especial interés educativo, científico o recreativo.

Los objetivos que persigue esta categoría de manejo son: la preservación de muestras de ambientes naturales, de rasgos culturales y escénicos asociados a ellos, la continuidad de los procesos evolutivos, y, en la medida de lo compatible con lo anterior, la realización de actividades de educación, investigación o recreación.

Actualmente el Parque Nacional Lauca rige sus directrices de acción según un plan de manejo elaborado por CONAF el año 1986, y cuya aplicación ha sido estructurada a través de 4 programas de manejo, que a continuación se presentan.

**Programa de Manejo Ambiental:** Este programa contempla dos subprogramas: Manejo de Recursos e Investigación, cuyos objetivos son los siguientes:

**Subprograma de Manejo de Recursos:** Lograr la recuperación de ambientes o recursos naturales y culturales que se encuentran alterados; proteger y garantizar la estabilidad de los ambientes o recursos naturales, con especial énfasis en los recursos hídricos; poner en valor y conservar aquellas manifestaciones histórico culturales significativas, tanto del pasado como las actuales.

**Subprograma de Investigación:** Complementar el conocimiento del parque, con el propósito de apoyar su manejo a través de la obtención de datos, métodos y conocimientos técnicos, sobre el funcionamiento, composición e interrelaciones con el medio; realizar investigación básica a través del personal del parque y oficina regional de CONAF; generar la información necesaria para el monitoreo ambiental; velar por el cumplimiento de las normas que guíen los procedimientos y control de las investigaciones a desarrollar; proveer oportunidades para la investigación científica en un ambiente natural y realidad cultural y lograr el conocimiento necesario de la cultura aymara para apoyar su proceso de desarrollo sustentable.

**Programa de Uso Público:** Proporcionar oportunidades para que los visitantes a la unidad, exploren, disfruten y comprendan su patrimonio natural y cultural; procurar que el disfrute de los visitantes resulte consistente con sus preferencias y los objetivos del parque; promover y proyectar el conocimiento de los recursos, ambientes y del interés del parque, dentro y fuera del país; procurar un incremento en el flujo de visitantes al parque, así como su permanencia dentro de él.

**Programa de Operaciones:** Consta de tres subprogramas: Protección, Obras y Mantenimiento, Apoyo Administrativo. Sus objetivos son:

**Subprograma de Protección:** Orienta sus objetivos a la protección de los recursos tanto naturales como culturales y a dar seguridad a los visitantes.

**Subprograma de Obras y Mantenimiento:** Orienta sus objetivos y actividades a mantener en óptimas condiciones el funcionamiento de instalaciones y equipos con que cuenta o contará el parque.

**Subprograma de Apoyo Administrativo:** Es un conjunto complejo de funciones que apoyan la acción de manejo del parque, que incluye procedimientos administrativos, contabilidad, recursos humanos y control de bienes de la unidad.

**Programa de Desarrollo Integrado:** Este programa constituye una síntesis de los requerimientos de desarrollo físico y servicios para uso público y administrativo concentrados en las Áreas de Desarrollo. Se establece además la Secuencia de Desarrollo dentro del período de vigencia del Plan, mediante una Secuencia de Actividades y Secuencia de Requerimientos para cada programa y subprograma de manejo, en un orden lógico de 10 etapas.

ii) Población Humana y Especies Biológicas Existentes en el Parque

Cabe destacar que la relevancia natural y ambiental del Parque no se asocia a los aspectos puramente ecológicos sino que además a la existencia dentro del área de poblaciones humanas que desarrollan patrones definidos de organización social y uso de la tierra, lo cual resume la interacción entre los seres humanos y la biósfera.

La importancia ecológica del Parque, radica en parte en su gran riqueza florística, con la presencia de varios géneros endémicos especialmente en el sector de precordillera, entre los que se destacan por la riqueza de especies y abundancia: *Parastrephia*, *Pycnophyllum* y *Werneria*. De estas especies, tres están incluidas en la categoría "Vulnerables" según el Simposio "Flora Nativa Arbórea y Arbustiva de Chile Amenazada de Extinción" (CONAF, 1985), tales son: *Azorella Compacta*, *Polylepis Besseri*, *Polylepis Tarapacana*.

A ello se suma el hecho que el Parque contiene tal vez la mayor variedad ornitológica de Chile. Sus cuerpos hídricos y los bofedales constituyen el hábitat ideal de un gran número de especies de avifauna, las cuales tienen origen patagónico, boreal o autóctono. Sobre todo los sistemas lagunares se constituyen en lugares de reproducción de algunas especies tales como la Tagua Gigante (*Fulica gigantea*), Blanquillo (*Podiceps Occipitalis*), Pato Puna (*Anas Puna*), entre otras. La Tagua Gigante resulta ser una especie de gran relevancia, puesto que su distribución en Chile está restringida a la Iª Región, y sus poblaciones se encuentran en su mayoría concentrada en el lago Chungará, por lo que el Parque Nacional Lauca es la única unidad en donde se protege la especie contra la extinción. En el lago Chungará encuentra características excepcionales para su ciclo de vida, y es una especie activa en las relaciones tróficas e interacciones de la comunidad ornitológica, así como una indicadora de la calidad de vida de uno de los lagos más altos del mundo.

En lo específico el lago Chungará es considerado como una reserva genética muy valiosa. Existen algas hasta en profundidades cercanas a los 30 m, un complejo, rico y variado cinturón de algas y plantas acuáticas ribereñas de hasta 3 m de profundidad; y peces del género *Orestias* presentes, constituidas por especies casi desaparecidas.

Además, resulta de importancia relevante la existencia de la vicuña (*Vicugna vicugna*), cuya mayor concentración de población se encuentra dentro de los límites del Parque con 7.727 de 18.114 ejemplares existentes en 1985 en toda la zona de censo de la provincia de Parinacota (Censo CONAF, 1985). Se protege también el hábitat de otra valiosa especies como lo es la Taruca o Huemul del Norte (*Hipocamellus Antisensis*), cuya población censada en 1985 alcanza a 85 ejemplares. Las cuales, se encuentran en peligro de extinción fuera de los límites del parque.

Numerosas otras especies de fauna existentes en el parque gozan de protección y prohibición de caza indefinida por los instrumentos legales de Chile, por razones de persecución indiscriminadas y por ser benéficas desde el punto de vista ecológico, tales son: Puma, Gato Colo Colo, Gato Montés, Zorro Culpeo, Guanaco, Chingue Real, Aguilucho de la Puna, Aguilucho Común, Caití, Cóndor, Cuervo de Pantano, Flamenco Chileno, Parina Chica, Parina Grande, Halcón Perdiguero, Suri, Pato Cortacorrientes, Guayata, Tiuque Cordillerano.

iii) Uso del Agua en el Parque

El uso del agua en esta unidad, se encuentra directamente ligado a la extracción y utilización del recurso hídrico principalmente fuera de sus límites, destinado a abastecer en gran medida los requerimientos de riego en el valle de Azapa, lo cual se concreta a través de las obras e instalaciones de captación y conducción de la Dirección de Riego. Ello se debe a que en esta unidad se originan importantes fuentes de agua entre las que destacan el río Lauca, Lagunas Cotacotani y Chungará, sumado a la presencia de un número significativo de bofedales y vertientes.

Las obras destinadas a la extracción de los recursos hídricos son las siguientes:

- Canal Ungallire: corresponde a un canal no revestido, a tajo abierto, de unos 400 m de largo, ubicado a 2 km al norte del pueblo de Parinacota en el costado sur del bofedal de Ungallire. Su objetivo es desviar y conducir las aguas que pudiesen escurrir en forma natural por el bofedal de Ungallire, hacia el bofedal de Parinacota, en donde se encuentra la bocatoma del canal Lauca.
- Canal Lauca: representa la obra de desviación de las aguas del río Lauca hacia la cuenca del río San José. Su objetivo es conducir los recursos de agua disponibles en la bocatoma del Lauca, para producir energía eléctrica en la central de Chapiquiña en la precordillera, e incrementar el caudal natural del río San José.
- Control de Desagüe Cotacotani: se localiza en el extremo oeste de la laguna grande de Cotacotani. Se trata de una compuerta mecánica, destinada a regular la salida de aguas de la laguna Cotacotani hacia el río Desaguadero o Lauca Superior, por lo que hace actuar a la laguna como un embalse artificial.

Adicionalmente, se reconocen otros usos del agua, destinados al consumo en el interior del parque, los cuales están relacionados con el abastecimiento de los poblados altiplánicos que se sitúan en los sectores de Parinacota y Chucuyo, además de los relacionados con los cuatro pozos habilitados para el mineral aurífero de Choquelimpie de propiedad de la compañía minera Vilacollo.

#### iv) Restricciones al Uso del Recurso Hídrico dentro de la Unidad

Las restricciones al uso del agua en el Parque Nacional Lauca están ligadas con las políticas de manejo de los recursos naturales estipulados según las categorías de manejo del SNASPE. En relación al recurso hídrico, específicamente, las restricciones y potencialidades de uso del agua en esta unidad quedan definidas por una política de manejo que considera los siguientes aspectos:

- Protección de las fuentes de agua y los sistemas hidrológicos naturales, manteniendo, regulando o mejorando la cantidad y calidad del agua.
- Atendiendo a que la tuición y administración del agua está reglamentada por una legislación específica, se deberán solicitar los derechos de agua dentro de la unidad, requeridas para satisfacer las necesidades de consumo.
- Sólo excepcionalmente se permitirá el uso y manipulación del recurso agua de las cuencas, con el objeto de restaurar el área o bien por necesidades de manejo, para satisfacer requerimientos de agua que sean de interés comunitario.
- Cualquiera sea el caso, siempre que el uso y manipulación impliquen la alteración de la condición natural de la unidad, se requerirá de un estudio de impacto ambiental, el que será determinante para la aceptación de la inversión.
- En los casos en que los derechos de aprovechamiento de agua en una unidad sean de propiedad de terceros y su uso cause efectos negativos sobre los recursos naturales o culturales presentes en ella o se afecten sus objetivos o actividades de manejo, se procurará evitar o reducir tales inconvenientes a través de los medios legales u otros que sean apropiados.

Según antecedentes proporcionados por CONAF I<sup>a</sup> Región, estas disposiciones en el caso particular del Parque Nacional Lauca, en la práctica se materializan en que frente a cualquier solicitud de extracción del

recurso hídrico al interior de esta unidad, CONAF plantea su oposición a las solicitudes formuladas, lo que se traduce en un impedimento y limitación a cualquier tipo de explotación de agua en esta unidad con la excepción de las ya existentes, y que han sido descritas anteriormente.

Como antecedente destaca la suspensión de extracción de aguas del lago Chungará que había comenzado a desarrollar la Dirección de Riego a partir de diciembre de 1980 y durante algunos meses de 1984 y 1985 a través de la planta de impulsión Ajata. Esta suspensión la declaró la Corte de Apelaciones de Arica en agosto de 1985 en virtud de una serie de oposiciones que fueron presentadas por CONAF y otras instituciones, la cual estará vigente en la medida que el lago Chungará forme parte del Parque Nacional Lauca, éste no se excluya del listado de UNESCO como Reserva de la Biósfera, y no se tome decisión gubernamental mediante mecanismos admitidos por ley.

v) **Problemas Ambientales Asociados al Uso del Agua dentro de la Unidad**

Los problemas que se presentan al interior del Parque Nacional Lauca están ligados en gran medida con la presión que se ha ejercido y se ejerce sobre el recurso agua y que podrían tener implicancias ambientales, debido a que en gran parte de esta unidad se encuentra el origen de importantes fuentes de agua. En tal sentido CONAF ha identificado una serie de áreas críticas debido a su alto valor ecológico y por el grado de alteración actual o potencial que presentan, correspondiendo ellas a:

- **Lago Chungará:** Representa un área de alto valor ecológico por constituirse en un lugar de concentración de numerosas especies de avifauna, y por ser uno de los sistemas lacustres más altos del mundo. Potencialmente su balance natural puede ser alterado, y susceptible de degradación ante cualquier proyecto de extracción de aguas que no contemplen una acertada evaluación del impacto ecológico que determine niveles críticos.
- **Laguna Grande de Cotacotani:** Representa un sistema lagunar afectado actualmente por la extracción y regulación artificial de sus aguas embalsadas lo que se traduce en la disminución significativa de la cota de espejo de agua y de la alteración de su ecología, no precisándose cuales son los componentes ecológicos degradados. Se considera que potencialmente es susceptible de continuar degradándose ante la permanencia de regulación de sus aguas.
- **Bofedales Zona Cotacotani y Ungallire:** Corresponden a áreas degradadas a consecuencia de las obras de canalización y encauzamiento de aguas de irrigación natural para su conducción de forma más directa a la Laguna Parinacota. Los Bofedales de la zona Cotacotani corresponde a aquellos que de forma natural eran irrigados por el río Desaguadero. En tanto la zona del bofedal de Ungallire, localizado al costado NW del Bofedal de Parinacota presenta una pérdida casi total de su cubierta vegetal a causa de la desviación del cauce del mismo nombre que lo irrigaba.

**a.2) Reserva Nacional Las Vicuñas**

i) **Antecedentes Generales**

La Reserva Nacional Las Vicuñas fue creada en 1983 comprendiendo una superficie de aproximadamente 209.131 ha, de las cuales la mayor parte de su territorio está incluida en el área de estudio del proyecto. Está ubicada adyacente al sur del Parque Nacional Lauca, abarcando casi la totalidad de la superficie de la cuenca del río Lauca a excepción de sus cabeceras.

Cabe destacar que esta reserva no cuenta con ningún plan ni guía de manejo que defina sus directrices de acción, sin embargo actualmente se desarrolla un proyecto de manejo de la vicuña, en consideración de que esta categoría de manejo permite el uso consuntivo de los recursos naturales como consecuencia del desarrollo de tecnologías de aprovechamiento racional.

## ii) Uso del Agua dentro de la Unidad

Dentro de los límites de esta unidad no se originan importantes fuentes del recurso agua, lo que influye en que no exista presión por el uso de agua tan intensa como en el Parque Lauca. En comparación al Parque Nacional Lauca, esta reserva presenta menores problemas ambientales debido a la baja presión por el recurso hídrico, con la excepción de las destinadas a abastecer a los poblados altiplánicos existentes. A ello se suma el hecho que esta categoría de manejo tiene menos restricciones a las alteraciones antrópicas, además que por tratarse de una estepa seca, de estructuras geomorfológicas de carácter volcánico, sus zonas son menos frágiles que las del parque.

## iii) Restricciones al Uso del Agua Dentro de la Unidad

Aun cuando en esta unidad por el hecho de formar parte del SNASPE se aplican políticas similares a las del Parque Nacional Lauca en relación al manejo del recurso hídrico, su categoría de manejo posibilita el uso del agua debido a que es menos restrictiva, en la medida que exista un estudio de impacto ambiental que evalúe la viabilidad de los proyectos en términos de que ellos no generen impactos negativos al interior de la unidad.

## b) Ecosistemas Asociados a Vertientes y Cuerpos de Agua

### b.1) Bofedales del Sector Altiplánico

#### i) Antecedentes

La definición científica de bofedal alude a determinadas formaciones vegetacionales que se desarrollan en zonas en donde existe una importante persistencia del anegamiento. Se localizan preferentemente en fondos de valles abiertos, en sectores de quebradas estrechas y en laderas de montañas o conos volcánicos donde existen vertientes o ríos superficiales o subsuperficiales. Uno de los rasgos distintivos de estos ecosistemas es su condición de mal drenaje, desarrollándose sobre suelos orgánicos de turba alcalina generalmente profundos, que presentan niveles de agua subterráneo altos y escurrimientos superficiales permanentes. Su perfil del suelo es profundo generalmente orgánico, compuesto de una masa fibrosa de raíces, tallos y hojas vivas, en distintos estados de descomposición con algo de material mineral incluido. En el bofedal propiamente tal se desarrollan cubiertas de comunidades Pratense siempre verdes, en las que dominan especies tales como: *Oxychile andina* y *Distichia muscoides*, así como gramíneas perennes de los géneros *Deyeuxia* y *Festuca*, principalmente en sectores donde la napa freática se encuentra a mayor profundidad.

De acuerdo a los antecedentes consultados, en las cuencas en estudio y en zonas adyacentes existe un total de 49 bofedales alimentados por un número similar de acuíferos, y localizados en los sectores altiplánicos a una cota superior a los 4.000 msnm. La mayor parte de ellos, 36 se ubican en la cuenca del río Lauca, razón por la cual se inscriben dentro de los límites del Parque Nacional Lauca. En tanto, los restantes 2 se ubican en la cuenca del río Lluta, y 11 en las zonas adyacentes correspondientes a la cuenca del río Caquena.

En la Tabla 4.3, se presenta el detalle de los bofedales identificados en el área de estudio, usos asociados y poblados usuarios.

**Tabla 4.3 Listado de Bofedales Area de Estudio y Sectores Adyacentes**

N°	NOMBRE BOFEDAL	CUENCA	PASTOREO	USUARIOS
1	LAGUNAS COTAPAMPA	LAUCA		
2	LEQUEPALCA	LAUCA		
3	UNGALLIRE	LAUCA		
4	PARINACOTA	LAUCA	PERMANENTE	PARINACOTA
5	COTAPAMPA	LAUCA	TEMPORAL	CHAÑUÑUPALCA
6	PABLO JIGUATA	LAUCA		PARINACOTA
7	JAPUCUCHO	LAUCA		
7	CASA ROSADA	LAUCA	TEMPORAL	PARINACOTA
8	UMAPALCA	LAUCA	PERMANENTE	PARINACOTA
9	PATAPATANI	LAUCA	TEMPORAL	
10	AJATA	LAUCA	PERMANENTE	AJATA
11	LAUCA	LAUCA		PARINACOTA
12	QUEBRADILLA	LAUCA	PERMANENTE	AJATA
13	QUSIQUINE	LAUCA		
14	SOPOCALANE	LAUCA		CHUNGARA
15	JIGUAÑA-PAMPAUTA	LAUCA		CHUNGARA
16	CHUNGARA	LAUCA		
18	PUJIRUTA	LAUCA		CHUNGARA
19	TAIPICAHUA	LAUCA		
20	JALSURI	LAUCA	PERMANENTE	PARINACOTA
21	QUEÑENTA	LAUCA	TEMPORAL	PARINACOTA
22	MISITUME	LAUCA		
23	CHURIGUAYA	LAUCA	PERMANENTE	GUALLATIRE
24	TRAPICHE	LAUCA		ANCUTA
25	CHIVATAMBO	LAUCA	PERMANENTE	GUALLATIRI
26	JAPU	LAUCA		GUALLATIRI
27	ANCUTA	LAUCA	TEMPORAL	ANCUTA
28	AMPARMALLA	LAUCA		ISLUGA Y PICHILACHOQUE
29	CHOSJAVIRA	LAUCA		ANCUTA
30	LLIZA	LAUCA		PUTRE
31	CHINCANE	LAUCA		PARINACOTA
32	ANTACOLLO CHICO	LAUCA		ANCUTA Y GUALLATIRI
33	ANTACOLLO GRANDE	LAUCA		
34	GUALLATIRE	LAUCA		GUALLATIRI
35	PAQUISA	LAUCA		GUALLATIRI

**Tabla 4.3 Listado de Bofedales Area de Estudio y Sectores Adyacentes (Continuación)**

N°	NOMBRE BOFEDAL	CUENCA	PASTOREO	USUARIOS
36	CASTILLUMA	LAUCA	PERMANENTE	COLPITAS
37	JAPOCOTA	LLUTA		
38	ISPAJOCO	LLUTA		JAILLAVE
39	GUALLANCALLANE	CAQUENA	TEMPORAL	
40	UMAQUILCA	CAQUENA		
41	CAAMAÑA	CAQUENA		CAAMAÑA
42	PUCARANI	CAQUENA		PUCARANI Y TIACOLPA
43	PACHARAQUE	CAQUENA		CAQUENA
44	COLPITAS	CAQUENA		COLPITAS Y COTAPALCA
45	JAILLAVE	CAQUENA		
46	APACHETACUCHO	CAQUENA		
47	LAGUNILLAS	CAQUENA	PERMANENTE	LAGUNILLA
48	UPAJE	CAQUENA		UPAJE
49	NIQUELA	CAQUENA	PERMANENTE	

Estos ecosistemas poseen un importante papel ecológico, ya que por sí mismos constituyen ecosistemas únicos que sustentan especies altamente frágiles o raras tanto en aves como en otros géneros. Es así que sus cuerpos hídricos representan el hábitat ideal de un gran número de especies de aves de origen patagónico, boreal o autóctono, siendo sus principales especies la Tagua Gigante, el Blanquillo y el Pato Puna, entre otros.

Adicionalmente poseen un rol preponderante, por constituirse en la base de sustentación de macroespecies de fauna representada en la zona por camelidos tanto domésticos como silvestres, entre los que destacan Llamas, Alpacas, Vicuñas, Guallatas y Vizcachas.

#### ii) Uso Actual de los Bofedales

El uso actual de los bofedales está restringido principalmente a un uso ganadero y en menor medida al uso del recurso agua para satisfacer las necesidades de los poblados altiplánicos. Históricamente estos ecosistemas representan una gran importancia económica y/o cultural para los habitantes de los sectores altiplánicos, debido a que sus recursos constituyen la base alimenticia de la masa ganadera existente. Siendo sus suelos los más importantes en relación a la utilización por parte de los habitantes locales, quienes de acuerdo a CONAF han mantenido un uso y manejo histórico del bofedal con resultados relativamente satisfactorios.

Tal como ha sido mencionado precedentemente, de acuerdo a los antecedentes de CONAF, en el área del Parque Nacional Lauca sólo en los bofedales de la zona de Cotacotani y Ungallire se han materializado obras de canalización y encauzamiento de las aguas de irrigación para su conducción de forma más directa a la laguna Cotacotani, lo que se ha traducido en la degradación de estos ecosistemas, cuya manifestación es el deterioro de la cobertura vegetal existente en forma natural.

#### iii) Restricciones al Uso del Agua en Bofedales

A partir de las últimas modificaciones de Código de Aguas, se definieron medidas de protección y conservación de los humedales (vegas y bofedales), a través de la prohibición de explorar o explotar recursos

subterráneos que los sostienen, atendiendo a que tales humedales poseen un alto valor ecológico, al sustentar especies frágiles o raras como fue mencionado precedentemente.

De acuerdo a las normas generales del Código de Aguas relativas a la exploración y explotación de aguas subterráneas, las Dirección General de Aguas será la encargada de proteger las vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta según los artículos 58, 63 y 64 del citado código. En virtud de lo señalado en estos artículos, no se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas y bofedales tanto en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, salvo que exista una autorización fundada de la DGA, quién previamente deberá identificar y delimitar dichas zonas. Además, las zonas de acuíferos que alimentan a los humedales de las regiones ya mencionadas, se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa.

Adicionalmente, la DGA deberá dictar nuevas resoluciones sobre la mantención o alzamiento de la prohibición de explorar, a petición justificada, si así lo aconsejan los resultados de nuevas investigaciones respecto a las características de acuífero a la recarga artificial del mismo.

## **b.2) Sistema Lacustre Chungará**

### **i) Antecedentes**

El lago Chungará se sitúa al interior del Parque Nacional Lauca, entre la latitud sur 18° 10' y 18° 29' junto a la frontera Chileno-Boliviana. Su espejo de agua se encuentra a una cota de 4.517 msnm, comprendiendo una superficie de unos 21,5 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de alrededor de 37 m en las cercanías de Ajata. Se estima que el volumen de agua almacenada en el lago sería del orden de los 400 millones de m<sup>3</sup>, proviniendo su alimentación principalmente de una serie de cauces superficiales que drenan desde las cumbres de los Volcanes Nevados que cierran a la cuenca, tales como el Parinacota, Quisiquisini, los Quimsachatas, Guallatire y Ajoya.

El tributario más importante del lago Chungará corresponde al río de nombre similar, el cual desemboca en el extremo sur occidental del lago, y que recoge las aguas de la hoya formada al poniente de los cerros Quimsachatas y al oriente del volcán Guallatire. Se estima que posee un gasto de estiaje del orden de los 300 l/s y de unos 500 l/s durante el período lluvioso, representando aproximadamente el 80% del total de aguas afluentes al lago. Por el sector este del lago, en tanto, confluye el río Sopocalane, de reducida hoya hidrográfica y de régimen intermitente. Durante, su período lluvioso se estima su caudal medio en el orden de 30 l/s, pero se registran valores máximos de hasta 160 l/s. Adicionalmente, en la ribera occidental brotan las vertientes de Mal Paso y Ajata, con caudales medios de 15 l/s, y 20 l/s, respectivamente.

En términos generales se considera al lago Chungará como un sistema natural en equilibrio, debido a que las variaciones que experimenta su cuerpo de agua son relativamente pequeñas. En este sentido cuando el nivel de gasto de los afluentes al lago disminuye a montos muy bajos, por efecto de las variaciones en las precipitaciones, el lago tiende a mantener su nivel medio a través del drenaje de almacenamientos subterráneos de las estructuras volcánicas permeables que vierten hacia el mismo, principalmente del Volcán Parinacota. En tanto bajo condiciones de altos aportes, se ve aumentada la descarga subterránea hacia la laguna Cotacotani.

La fluctuación del nivel del lago Chungará tiene indudablemente incidencia en la variación del área de inundación del mismo, y por ende sobre los procesos fotosintéticos, la productividad y la actividad de las poblaciones de aves que se asocian principalmente a sus orillas.

En relación a la hidroquímica de las aguas del lago, ésta se caracteriza por presentar características físico-químicas especiales que determinan condiciones favorables para el desarrollo de organismos planctónicos y vertebrados que establecen un ecosistema muy singular. De acuerdo al análisis realizado por CONAF con motivo

del desarrollo del "Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Pavimentación Carretera Arica-Tambo Quemado", se demostraron los excesos de los componentes físico químicos del lago Chungará en relación a la Norma Chilena vigente para uso potable. Se estimó que los afluentes al lago se caracterizan por conductividades del orden de los 300  $\mu$ mhos/cm y con 1 a 2 ppm de boro.

La importancia que posee este lago se debe a que en parte representa un área de un alto valor ecológico por constituirse en un importante lugar de concentración de numerosas especies de avifauna y en uno de los sistemas lacustres más altos del mundo. En tal sentido, el lago Chungará se constituye en un lugar donde se encuentra concentrada en su mayoría una importante variedad ornitológica, constituida principalmente por las especies Tagua Gigante, Blanquillo, Pato Jergón Chico y Grande, Pato Puna, Flamenco Chileno, Cormoran o Pato Yeco, las cuales basan su alimentación en detritos microalgas y algas que crecen en un variado y angosto cinturón ribereño.

Adicionalmente, en el cuerpo hídrico del lago se desarrollan depredadores acuáticos representados por peces del género Orestías, endémicos de los sistemas acuáticos de altura.

#### ii) Uso del Agua en la Unidad

Como ha sido mencionado anteriormente, actualmente en este lago no existen explotaciones del recurso hídrico, ya que la extracciones que se realizaban fueron paralizadas en el año 1985 según dictamen de la Corte de Apelaciones de Arica. En virtud de ello, actualmente no se evidencian problemas de tipo ambiental en esta unidad. Sin embargo, CONAF ha calificado este sistema lacustre como un área crítica, ya que potencialmente su balance natural y sus componentes ecológicos podrían ser alterados ante cualquier proyecto de extracción de agua que conlleve a una variación significativa de sus niveles.

#### iii) Restricciones al Uso del Agua dentro de la Unidad

Considerando que este sistema lacustre se sitúa dentro de los límites del Parque Nacional Lauca, las restricciones respecto a su uso están dadas por la política de manejo del agua que fue descrita en el apartado a.1 del presente acápite.

### **b.3) Sistema Lacustre Cotacotani**

#### i) Antecedentes

Este sistema Lacustre se sitúa a unos 4 km al Noreste del lago Chungará al interior del Parque Nacional Lauca, perteneciendo a la hoya del río Lauca. Está conformado por cuatro lagunas de diferentes tamaños, con una superficie de aguas libres no superior a los 10 km<sup>2</sup>, incluyendo todas las lagunas que componen el sistema. Las tres mayores están conectadas mediante un canal cuya cota de fondo es de 4.495,5 msnm, en tanto, la cuarta laguna más pequeña, se conecta a la otras mediante un canal cuya cota de fondo es 4.497,5 msnm. Ocasionalmente en los períodos lluviosos, las lagunas suelen comunicarse entre sí.

La profundidad máxima de la laguna mayor es de 20 m y su espejo de agua se sitúa a unos 17 m, más abajo que la del lago Chungará. Un rasgo característico de esta laguna es la gran cantidad de islas o islotes que dislocan las lagunas, siendo esta morfología debida al campo de lavas en que ellas se desarrollan. Sus principales afluentes son el río Benedicto Morales y el Estero El Encuentro, dando origen su descarga natural al río Desaguadero, que vierte sus aguas en las ciénagas de Parinacota, de donde nace el río Lauca. La alimentación principal de esta laguna, proviene principalmente de dos tributarios superficiales que nacen en el volcán Parinacota el río Benedicto Morales y el río Encuentro, afluyendo el primero de ellos en el extremo noreste de la Laguna

Cotacotani, con un gasto que oscila entre los 90 y 110 l/s, en tanto, el río Encuentro afluye en la ribera oriental de la laguna con un gasto de 20 l/s.

La laguna Cotacotani posee un desagüe superficial hacia el bofedal de Parinacota, a través de umbral labrado entre los cerrillos de lava del bloque, dando origen al río Desaguadero, que en menos de 5 km, alcanza un desnivel de unos 150 m, para caer luego en un pequeño salto hacia el bofedal.

## ii) Uso del Agua en la Unidad

La utilización de las aguas de este sistema lacustre se remontan al año 1964, fecha a partir de la cual las aguas de la laguna mayor son embalsadas por la obra denominada Control de Desagüe Cotacotani, la que hace funcionar a este cuerpo hídrico como un embalse de regulación artificial, para el funcionamiento del canal Lauca.

## iii) Restricciones al Uso del Agua Dentro de la Unidad

De la misma forma que el lago Chungará, este sistema ha sido calificado por CONAF como un área crítica en consideración que actualmente se ve afectado por la extracción y regulación artificial de sus aguas. Debido a que se sitúa al interior del Parque Nacional Lauca, se aplican las políticas de manejo del recurso agua, que define las restricciones y potencialidades de uso según lo descrito en el punto a. 1).

### 4.4.3 Problemas Ambientales Identificados

Es bastante complejo precisar en detalle por los principales problemas ambientales asociados a los recursos hídricos que afectan a la cuenca en estudio y a sus sectores adyacentes. Sin embargo se dispone de cierta información que al respecto proveen los antecedentes documentales existentes. En la Tabla 4.4 se presenta una síntesis de los problemas ambientales que afectan a las áreas protegidas y ecosistemas, extraída de las fuentes de información señaladas.

#### a) Contaminación de las Aguas por Actividad Agrícola

Este tipo de contaminación se presentaría principalmente en las zonas agrícolas de los valles de los ríos Azapa y Lluta como consecuencia del empleo de tecnologías agrícolas con un apoyo importante de agroquímicos. Según los estudios realizados por CONAMA (1993), INYGE-DGA (1993) y DHV y otros-MINAGRI-DGA (1995) ello ocurriría principalmente en el sector medio y bajo de los ríos San José y Lluta.

**Tabla 4.4 Síntesis Caracterización Ambiental Areas Protegidas y/o Ecosistemas Frágiles**

Áreas Protegidas y/o Ecosistemas Frágiles	Problemas Ambientales	Uso Actual del Agua	Restricciones al Uso del Agua
1) Parque Nacional Lauca	Los existentes en bofedales, lago Chungará y laguna Cotacotani	- Bofedal de Ungallire y Cotacotani - Río Lauca - Laguna Cotacotani	Políticas de Manejo de los Recursos Hídricos del SNASPE.
2) Reserva Nacional Las Vicuñas	No presenta	No Presenta	Políticas de manejo de los recursos hídricos del SNASPE.
3) Bofedales	Pérdida de su cubierta vegetal	Bofedal de Ungallire y Cotacotani	Código de Aguas. Artículos N° 58, 63 y 64.
4) Lago Chungará	No presenta	No presenta	Políticas de manejo de los recursos hídricos del SNASPE.
5) Laguna Cotacotani	Alteración del ambiente físico natural.	Extracción y regulación artificial de sus aguas.	Políticas de manejo de los recursos hídricos del SNASPE.

De acuerdo a los resultados alcanzados en el análisis de calidad de aguas subterráneas desarrollado en el estudio de la JICA-DGA (1995), los altos contenidos de nitrato de los muestreos realizados en los pozos existentes en el valle del río Lluta, serían indicativos de una contaminación causada por químicos agrícolas. Los nitratos varían en un rango de 5,66 mg/l y 18,73 mg/l, y un promedio de 9,56 mg/l, excediendo la norma.

En el caso del valle de Azapa, se presenta una situación similar, en donde los contenidos de nitratos exceden la norma en algunos pozos que captan desde el acuífero. Lo anterior no ocurre en todo el valle por lo que es un problema aislado.

#### **b) Contaminación de las Aguas por Actividad Minera**

De acuerdo a los antecedentes presentados en el estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), existiría un problema de contaminación de las napas subterráneas en el sector de Saucache, cuenca del río San José, derivada de la operación de la refinadora de azufre existente en este sector.

Según los antecedentes del estudio JICA-DGA (1995), la salinización de las napas subterráneas se produciría por la operación de una mina de sal que se ubica en la quebrada Encantada. Ello sugiere que el escurrimiento subterráneo aguas abajo de la quebrada está influenciado por el agua salobre proveniente de esta mina, ya que los valores de los sólidos totales disueltos son extremadamente altos en uno de los pozos, (168-K), situado en Saucache.

Por otra parte, en el estudio de INYGE-DGA (1991), se indica que en la cuenca del río Lauca se localiza el mineral de Choquelimpie de propiedad de la empresa Minera Vilacollo, la que por la naturaleza de sus operaciones estaría provocando una lenta contaminación de los tributarios de la cuenca del río Lauca, sin especificarse el tipo de contaminación. Hacia aguas abajo las aguas contaminadas serían diluidas con las aguas naturales disponibles en la misma hoya lo que minimizaría el problema de contaminación.

No se disponen antecedentes sobre producción de desechos ni descargas de residuos líquidos a los cauces.

#### **c) Contaminación de las Aguas por Actividad Industrial**

De acuerdo a los antecedentes presentados en el estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) habría una contaminación físico química de las aguas como consecuencia de las descargas de aguas residuales de la planta procesadora de metales PROMEL-Arica que afectaría a una laguna natural y que no influiría en las aguas del río San José, con una descarga de 650 ton/día. De acuerdo a información proporcionada por la Inspección Fiscal, la DGA regional está tomando muestras en el río San José para determinar la magnitud de la contaminación producida en marzo de 1993 la que podría tener origen en unos acopios de residuos de la citada minera.

#### **d) Contaminación de las Aguas por Vertido de Aguas Servidas**

La contaminación de los recursos hídricos de las cuencas en estudio por la descarga de aguas servidas, se presentaría en los valles del río Lluta y San José. En las localidades pobladas altiplánicas ello se debería al hecho que en su inmensa mayoría no disponen de servicios sanitarios. Es importante señalar que de acuerdo al estudio de Arrau-DGA (1997), la temperatura de las aguas tanto superficiales como subterráneas es mas bien alta en el valle del río San José. Esto reduce la capacidad del agua para disolver oxígeno limitando el desarrollo de vida acuática y disminuyendo la capacidad de auto-purificación. Por este motivo estas aguas forman un sistema muy sensible a las descargas de aguas con contenidos orgánicos, ya sean de origen industrial o doméstico.

Sin embargo, este tipo de contaminación tiende a desaparecer en la medida del avance hacia aguas abajo por dilución y decaimiento con los aportes de las aguas naturales de las mismas hoyas. A ello se suma el

hecho que el número de poblados y de habitantes de los sectores precordilleranos y altiplánicos es muy bajo, razón por la cual las descargas son reducidas y puntuales.

#### 4.5 PROBLEMAS CAUSADOS POR INUNDACIONES Y ALUVIONES

##### 4.5.1 Revisión y Análisis de la Información Recopilada

En este acápite se identifican y caracterizan los principales problemas de inundaciones y aluviones en la hoya del río San José. Para realizar la identificación de aquellas zonas que se presentan más afectadas por las crecidas del río, se usó la información contenida en los informes de CONAF (1977), CONAF (1983), Prisma-DV (1992), Urrutia y Lanza (1993) y DHV y otros-MINAGRI-MOP (1997).

La información relativa a la ocurrencia histórica de inundaciones y aluviones en la cuenca del río San José y que han afectado a la ciudad de Arica y a las zonas agrícolas del valle de Azapa es escasa y poco precisa. Ellas han quedado consignadas principalmente en crónicas periodísticas de la época, así como en estudios específicos de la zona que han tomado como base la descripción de los antecedentes periodísticos ya mencionados.

El estudio de CONAF del año 1977 hace un diagnóstico de los problemas ocasionados por la crecidas del río San José sobre la base de información tomada de la Oficina de Emergencia, siendo en su mayor parte un diagnóstico cualitativo. Lo destacable de este informe es la descripción de los daños causados por la crecida de 1973, información que también es usada en los demás informes aquí analizados. Este estudio fue seguido por otro realizado por la propia CONAF el año 1983, en el cual se hace un recuento histórico de crecidas que han afectado el río San José, que considera al anterior y aporta otros antecedentes. Así por ejemplo, se entrega un recuento histórico de las crecidas que han afectado al río San José con anterioridad a la década de los 80. En dicho estudio se menciona la ocurrencia de 9 crecidas del río en un período de 33 años (1943 a 1976), identificándose a los años 1943, 1955, 1959, 1960, 1961, 1963, 1973, 1974 y 1976, como los años en los cuales hubo un aumento considerable de caudal. En algunos de estos eventos se generaron importantes daños en las zonas vecinas a la ciudad de Arica, así como en la zona agrícola del valle de Azapa en la medida que el escurrimiento alcanzó el mar. Se señala que la crecida más crítica correspondió a la ocurrida en enero de 1973, dada la magnitud de los daños registrados. Hubo cortes en caminos, puentes y se inundó gran parte de la ciudad junto con algunos predios agrícolas ribereños.

Por otro lado, en 1992 Prisma-DV (1992) desarrolló para la Dirección de Vialidad un diagnóstico técnico respecto del comportamiento en crecidas del río San José, donde lo más destacable es la determinación de los caudales instantáneos anuales en el período comprendido de 1964 a 1983, lo cual sirve de base para hacer un análisis probabilístico de crecidas usando análisis de frecuencias. Además, presenta una revisión histórica de las crecidas ocurridas en el río desde 1959 a 1971 y una monografía del cauce abarcando desde la desembocadura de éste hasta 7 km aguas arriba. En la revisión histórica se hace mención a la ocurrencia de 6 crecidas en un lapso de 15 años (1959 a 1994), identificándose, al igual que en el estudio anterior, al evento de enero de 1973 como el de mayor severidad que ha afectado tanto a la ciudad de Arica como a las zonas agrícolas adyacentes a este cauce. Ello debido a los considerables daños registrados en infraestructura urbana, agrícola, viviendas y en servicios.

En el catastro de Urrutia y Lanza (1993), se hace una reseña histórica de las catástrofes ocurridas en Chile en el período 1541-1992. La información contiene descripciones de los eventos catastróficos asociados a crecidas fluviales ocurridas en Arica lo cual permite disponer de un registro histórico de mayor extensión. La información, de tipo periodística, hace mención a la ocurrencia de 6 eventos extremos en la cuenca del río San José en un período de 48 años (1944 a 1992), correspondiendo uno de ellos a una corriente aluvional que afectó a la zona urbana de Arica en el año 1944, en tanto los restantes eventos identificados corresponden a crecidas y desbordes del cauce del río San José.

Finalmente, se dispone del estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995), que es el más actualizado y que incorpora tanto los antecedentes y análisis de estudios anteriores, así como la recopilación de información de terreno. En este estudio se identificaron y analizaron los problemas fluviales que se presentan en

el cauce del río San José y su principal tributario, la quebrada Acha. Se señala la ocurrencia de 9 crecidas en un período de 20 años analizados (1973 a 1993). Menor importancia se le da a los problemas de crecidas en la parte alta de la cuenca, ya que según los pobladores, éstas ocurren con poca frecuencia.

Cabe señalar que este informe presenta una descripción más completa de los problemas fluviales característicos del río San José, pero no una cuantificación de la superficie afectada por crecidas o el daño material causado por éstas. Tampoco establece una asociación del área descrita como afectada con el caudal o período de retorno, ni se hace una diferenciación entre eventos de crecida líquida y de detritos o aluviones.

A pesar de lo anterior el estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) se ha considerado aquí como una buena base para realizar el diagnóstico de las inundaciones y aluviones del río San José, debido a que engloba y actualiza los demás informes revisados.

#### 4.5.2 Antecedentes Históricos Relevantes de Inundaciones y Aluviones Pasados

Con base en los antecedentes mencionados precedentemente, en la Tabla 4.5 se entrega una síntesis de los eventos históricos acaecidos en la ciudad de Arica y sectores adyacentes. Se indica en dicha tabla el tipo de evento, la fecha de ocurrencia, la fuente consultada y las principales características del evento.

**Tabla 4.5 Inundaciones y Aluviones que han Afectado a la Cuenca del Río San José en el Presente Siglo**

EVENTO	FECHA	FUENTE	CARACTERISTICAS
Crecida	02/43	CONAF (1983)	Sólo se indica que durante la crecida del río San José, el caudal llegó al mar durante varios días. No se hace mención de daños materiales.
Aluvión en Arica	02/44	Urrutia y Lanza (1993)	Aluvión causó importantes daños en Arica. Se estimaron los daños en cuatro millones de pesos de la época.
Crecida	01/55	CONAF (1983)	La crecida del río San José duró dos meses, llegando su caudal al mar. No se hace mención de pérdidas materiales ni humanas.
Crecida	02/59-03/59	CONAF (1983) Prisma (1992)	Durante la crecida del río San José se estimó un gasto de 30 m <sup>3</sup> /seg en la parte baja del valle. Repetidas crecidas del río Tignamar obligaron a trasladar al pueblo de ese nombre.
Crecida	01/60	CONAF (1983)	La crecida del río San José tuvo una duración de 29 días, no llegando su caudal a la parte inferior del valle. No se hace mención de daños materiales.
Crecida	01/61-03/61	CONAF (1983) Prisma (1992)	Fue considerada como la crecida más importante en los últimos 20 años. Su volumen se calculó en 22 Hm <sup>3</sup> . No se hace mención sobre daños registrados.
Crecida	02/63-03/63	CONAF (1983)	Durante el desarrollo de esta crecida se estimó un caudal de 11 Hm <sup>3</sup> . No se hace mención sobre pérdidas materiales ni humanas durante este evento.
Crecida	20/02/65	Prisma (1992)	La crecida del río San José produjo el corte del camino del sector las Maitas.
Crecida	02/11/67	Urrutia y Lanza (1993)	Una copiosa lluvia causó importantes destrozos en Arica afectando a las poblaciones periféricas (Juan Noé y Los Areneros). Se interrumpió el suministro de energía eléctrica y se inundó el Aeropuerto de la Ciudad. Además, hubo daños en la agricultura del valle de Azapa.
Crecida	26/02/71	Prisma (1992)	Se estimó un caudal máximo de la crecida del río San José en 30 m <sup>3</sup> /s. El caudal arrasó las bocanomas de los regantes del valle de Azapa.
Crecida	02/72	Urrutia y Lanza (1993)	Como consecuencia de las lluvias torrenciales asociadas al invierno atiplánico, se produjo el desborde del río San José, arrasando con puentes, caminos y viviendas modestas principalmente en Arica. Se registraron cientos de damnificados que fueron trasladados a albergues habilitados en escuelas de la ciudad.
Crecida	01/73	CONAF (1983) Prisma (1992) Urrutia y Lanza (1993) DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Intensas lluvias se registraron en la precordillera y en el interior de Arica a partir del 13 de enero de 1973. Las cuales provocaron el desborde del río San José, estimándose su caudal en 290 m <sup>3</sup> /s. Hubo importantes daños en el valle de Azapa y en la ciudad de Arica. Más de un centenar de casas resultaron anegadas o destruidas en los sectores adyacentes a la zona ribereña. El agua y el barro también inundaron las dependencias de la Universidad de Chile, destruyendo laboratorios y oficinas. Los damnificados, más de 500, fueron trasladados a estadios, colegios y unidades vecinales.

**Tabla 4.5 Inundaciones y Aluviones que han Afectado a la Cuenca del Río San José en el Presente Siglo (Continuación)**

EVENTO	FECHA	FUENTE	CARACTERISTICAS
Crecida	01/74	CONAF (1983) Prisma (1992) DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	A partir del 9 de enero se produjo una crecida importante del río San José, con un caudal máximo que se presume superior a los 46 m <sup>3</sup> /s. Se produjeron algunos daños por inundaciones en las zonas rurales y se cortaron algunos puentes.
Crecida	01/76	CONAF (1983) Urrutia y Lanza (1993) DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Intensas lluvias azotaron a la ciudad de Arica en los últimos días del mes de enero, lo cual incidió en el desborde del río San José e inundación de las poblaciones modestas de Arica. En el camino internacional que une a esta ciudad con Bolivia se hundió un puente a la altura del valle del río Lluta.
Crecida	01/77 y 02/77	DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	A partir del mes de enero se produjo el descenso de las aguas por el río San José, llegando a fines del mes de febrero estas a un caudal de 14,3 m <sup>3</sup> /s, con lo cual se rompió la represa en Puntilla de Cabuza. La salida del cauce además rompió las defensas ubicadas en Sobraya y en el canal distribuidor en más de 25 m.
Crecida	01/78 y 02/78	DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Desde el 29 de Enero se produjo la llegada de las aguas del río San José al mar cesando éstas el 10 de febrero, el peak mayor fue de 15 m <sup>3</sup> /s. Se registraron algunos daños materiales en la central hidroeléctrica Chapiquiña.
Crecidas	01/81	DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Como consecuencia de la crecida del río San José, en el mes de enero éste llegó al mar, produciéndose el anegamiento del paso bajo nivel existente antes de su desembocadura.
Crecida	02/85	DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Otra crecida importante del río San José se registró a partir del 25 de febrero. Ella dejó varios caminos intransitables cortando prácticamente todas las pasadas vehiculares y dejando en malas condiciones la mayoría de los caminos que conducen a los pueblos de la cordillera y el altiplano, siendo muy dañados por derrumbes y levantamientos de terraplenes.
Crecida	02/87	DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Se registró una crecida del río San José que significó su llegada al mar con un caudal estimado en 5,0 m <sup>3</sup> /s que destruyó los canales que alimentan a la zona agrícola del cerro Sombrero.
Crecida	12/92	Urrutia y Lanza (1993)	Intensas lluvias se registraron en la zona precordillerana de Arica a partir del 24 de Diciembre, asociadas al frente de mal tiempo conocido como invierno del altiplano. Se produjo un aumento del caudal del río San José, que arrastró piedras, tierra y escombros por el centro de Arica obligando a desviar el tránsito en algunos sectores.
Crecida	08/93	DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995)	Se registró una crecida del río San José en el mes de agosto, en la cual las aguas alcanzaron un caudal de 6 m <sup>3</sup> /s, resultando inundado el paso bajo nivel de la Avenida Luis Beretta.

De la totalidad de las fuentes consultadas sólo existe coincidencia parcial respecto de la fechas de ocurrencia de crecidas del río San José y eventos aluvionales, lo cual tiene su explicación dado que los períodos analizados en las distintas fuentes consultadas no son homogéneos. En efecto, de todas ellas sólo existe concordancia en que el río ha sido afectado por una crecida de gran magnitud en enero del año 1973.

Si bien los antecedentes revisados, además indican la ocurrencia de otras crecidas del río San José, no se dispone de mayor información acerca de ellas, al parecer debido a que no afectaron al área urbana de Arica ni a sus sectores adyacentes y por no haberse registrado daños materiales importantes, como es el caso de los años 1943, 1955, 1960, 1961 y 1963.

En base a los antecedentes descritos anteriormente y en especial a los obtenidos a partir de la revisión periódica en los archivos de la Biblioteca Nacional, a continuación se presenta una recopilación con los

antecedentes históricos de inundaciones y aluviones de mayor magnitud acaecidos en la cuenca del río San José y que han afectado a la ciudad de Arica y a sus sectores adyacentes.

a) **Evento de Enero de 1973**

Intensas precipitaciones se registraron a partir del 13 de enero en la zona precordillerana y en el interior de Arica, asociadas al denominado invierno altiplánico.

Como consecuencia de estas precipitaciones, se produjo la crecida y desborde del río San José que causaron serios daños en el valle de Azapa y ciudad de Arica, siendo declarada ésta "Zona de Catástrofe", ya que el cauce dejó centenares de casas anegadas o destruidas en los sectores adyacentes a la zona ribereña.

De acuerdo a los antecedentes de la Oficina de Emergencia, los efectos producidos por la crecida fueron desastrosos en el sector rural, donde hubo cortes de puentes, destrucción de bermas del canal Lauca. El camino a Sobraya fue cortado en varios sectores al igual que el camino bifurcación Alto Ramírez.

En el sector urbano se detectaron daños en los terraplenes del puente Saucache y la red de agua potable sufrió daños, cortando el suministro de varias poblaciones. Además, 300 m aguas abajo del puente Saucache, el río San José se desbordó originándose un brazo que inundó calles y casas adyacentes al cauce.

Se estimó en más de 500 el número de personas damnificadas quienes fueron atendidos en albergues de emergencia habilitados en estadios, colegios y unidades vecinales.

De acuerdo a los antecedentes consultados, se presenta en la Tabla 4.6 un resumen con los principales daños registrados durante la crecida del año 1973, que han sido extraídos del estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995).

**Tabla 4.6 Daños Asociados a la Crecida de Enero de 1973**

SECTOR	DAÑOS ESTIMADOS
Río San José Sector Urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puente Saucache, daños en ambos terraplenes</li> <li>- Red de agua potable del sector Saucache 200 m dañados</li> <li>- Camino de acceso por el este, continuación puente Saucache, pérdida del 50% de su calzada quedando reducido a una sola vía</li> <li>- Población Maipú: pasarela destruida totalmente y 30 manzanas seriamente afectadas</li> <li>- Población Saucache Norte: daños de consideración en 15 manzanas.</li> <li>- Terrenos agrícolas de la Universidad de Chile y Hotel El Paso totalmente inundados</li> </ul>
Río San José Sector Rural Km 20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioros de la calzada del camino en varios sectores</li> <li>- Camino de bifurcación a Alto Ramírez y Las Maitas cortado en diferentes sectores</li> <li>- Puente Las Maitas deteriorado en 60% de su estructura</li> <li>- Inundación de zonas agrícolas en varios sectores</li> </ul>
Río San José Sector Rural desde Km 25	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Camino cortado por agrietamiento quedando aislado el valle</li> <li>- Se estimó en 50 el número de familias damnificadas</li> </ul>

b) **Evento de Febrero de 1977**

A partir del día 17 de febrero se registraron intensas precipitaciones, asociadas al llamado Invierno Boliviano que provocaron que el escurrimiento llegara al mar, a partir del día 25 de Febrero. Se estimó que el caudal alcanzó a 30 m<sup>3</sup>/s, llegando al paso superior de la línea férrea del tren Arica-Tacna.

Como consecuencia de las crecidas se produjo la socavación de las riberas del río en los Km 12, 23 y 24. Además, se produjo la destrucción de diferentes canales de regadío en el valle de Azapa que afectaron a numerosos predios agrícolas.

En el canal Lauca se produjeron varios embancamientos y derrumbes en la boca de entrada al túnel.

#### c) **Evento de Diciembre 1992**

Intensas y sostenidas precipitaciones, nevadas y persistentes granizadas se registraron a partir del día 27 de diciembre en todo el altiplano ariqueño, como consecuencia del llamado Invierno Boliviano, las cuales comenzaron el día 24 y 25, lo que motivó el aumento del caudal del río San José, que atravesó a toda la ciudad de Arica para luego desembocar en el mar.

El primer golpe de agua, que fue bastante violento, se produjo a la una de la mañana del día 27, lo que no provocó mayores problemas, ya que con anterioridad fueron evacuados los pobladores que habitan en las riberas del río, tanto en el sector sur como en la misma desembocadura en el mar.

La bajada del río motivó que quedara bloqueada la avenida Luis Beretta Porcel, donde el paso de las aguas alcanzó más de un metro de altura. No se registraron damnificados.

#### d) **Evento de Agosto de 1993**

Un fuerte temporal de viento y lluvia afectó a la ciudad de Arica durante los primeros días del mes de agosto, en tanto que en la zona precordillerana se registraron nevazones que afectaron a varios poblados y caminos altiplánicos.

Las intensas precipitaciones que se dejaron caer durante la noche del 10 de agosto causaron importantes daños materiales en el área urbana de Arica, así como en las zonas agrícolas del valle de Azapa.

En el área urbana de Arica, hubo importantes daños en varios sectores de la ciudad, principalmente en centenares de viviendas que no estaban preparadas para soportar los efectos de una precipitación intensa.

En las zonas agrícolas adyacentes a Arica, 66 agricultores del valle del río Lluta perdieron sus cosechas de maíz, situación similar a la que se presentó en el valle de Azapa, en donde las plantaciones quedaron cubiertas por barro.

### **4.5.3 Caudales Máximos en el Río San José**

En lo que sigue se presentan los resultados de un análisis de frecuencia para estimar la magnitud de los caudales máximos instantáneos asociados a diferentes períodos de retorno.

Para ello se empleó la información de caudales máximos instantáneos para el período 1964 a 1983, contenido en el estudio de Prisma-DV (1992). Estos caudales fueron obtenidos de mediciones realizadas en la estación de control fluviométrico San José antes Bocatoma de Puente Saucache. Dicha información se consigna en la Tabla 4.7.

Según el análisis realizado en el informe antes mencionado, los caudales registrados durante crecidas en el puente Saucache presentan valores inferiores en aproximadamente a  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  a los que se registran en la estación San José antes de Bocatoma. Esta escasa diferencia hace que sea posible realizar un análisis de frecuencias usando los valores de la Tabla 4.7, independientemente de la estación en que se registra el caudal.

**Tabla 4.7 Caudales Máximos Río San José**

Año	Estación	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1964	San José antes Bocatoma	6,0
1965	San José antes Bocatoma	7,0
1966	San José antes Bocatoma	6,0
1967	San José antes Bocatoma	10,0
1968	San José antes Bocatoma	8,0
1969	San José antes Bocatoma	10,0
1970	San José antes Bocatoma	0,0
1971	Puente Saucache	30,0
1972	Puente Saucache	140,0
1973	Puente Saucache	290,0
1974	Puente Saucache	40,0
1975	Puente Saucache	19,7
1976	San José antes Bocatoma	16,8
1977	San José antes Bocatoma	30,0
1978	Puente Saucache	15,0
1979	San José antes Bocatoma	3,5
1980	San José antes Bocatoma	3,6
1981	San José antes Bocatoma	5,8
1982	San José antes Bocatoma	5,3
1983	San José antes Bocatoma	1,4

Adicionalmente, según los registros de la DGA, para la estación San José antes Bocatoma Azapa, se dispone de los caudales de crecidas de los años 1984 y 1993 correspondientes a 7,1 y 16,3 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Dentro de este período se tiene antecedentes de que el río San José experimentó sólo una crecida el año 1987, la cual fue estimada en 5 m<sup>3</sup>/s.

Para efectos de calcular los caudales de crecidas asociados a diversos períodos de retorno, se realizó un análisis de frecuencias gráfico, en que a los eventos registrados se les asignó probabilidades de excedencia según la fórmula de Weibull.

En la Fig. 4.1 se presenta el análisis de frecuencias de los caudales máximos instantáneos en el río San José en el que sólo se muestran aquellos caudales mayores a 5 m<sup>3</sup>/s. De aquí se obtienen los valores que se presentan en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8 Caudales Máximos Río San José**

T (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
10	37
50	160
100	280
200	480

#### **4.5.4 Identificación de Sectores Críticos y Obras de Defensa en el Río San José**

Para identificar aquellos sectores que se ven más afectados por la ocurrencia de crecidas, se utilizó la información contenida en el estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1995) en el cual se incluye una

sectorización del río San José. Para cada uno de los sectores se hace una breve descripción del cauce y se identifica, en algunos de ellos, los problemas ocasionados por las crecidas.

- Sector urbano desde Km 0 al Km 5 (desembocadura a confluencia con quebrada Acha)

Este sector se caracteriza por tener un cauce de sección más o menos uniforme cuyo trazado se presenta medianamente regular con riberas altas e inestables que exponen las áreas urbanizadas inmediatamente adyacentes al cauce.

- Sector Km 5 al Km 7

Los problemas principales que existen dentro de este sector son derivados de la alta ocupación del lecho de la quebrada Acha, por poblaciones en su ribera izquierda, antes de la desembocadura al río San José. Esta situación representa un alto riesgo para los pobladores por la posibilidad de inundaciones causadas por desbordes de la quebrada. Adicionalmente, aguas abajo de este sector, existen problemas con la carretera panamericana la cual se acerca peligrosamente hasta unos 20 m de la quebrada, lo que amenaza seriamente su estabilidad y seguridad frente a la ocurrencia de crecidas.

- Sector Km 7 al Km 17 (Incluye los Sectores de Alto Ramírez y Las Maitas)

Este sector se caracteriza por ser una zona eminentemente agrícola, donde los agricultores han ocupado parte del cauce del río en algunos casos, lo cual reviste un peligro potencial de pérdida de sus cultivos en caso de crecidas. Además, en este sector se efectúa gran parte de la extracción de áridos, la que generalmente es de carácter artesanal.

En este sector existen distintos tipos de obras de defensas fluviales, básicamente pretilos y espigones de gaviones y mampostería de piedra destinados al control de las inundaciones que afectan la Ruta CH-11 y los terrenos agrícolas ribereños.

- Sector Km 24 al Km 26 (Puntilla de Cabuza)

La topografía en este sector es en general plana, presentándose la ocupación del lecho del río por parte de los agricultores. Debido a su topografía esta zona presenta riesgo de inundación tanto en su parte agrícola como en la vial.

En este sector se ha construido un sistema de espigones que cruzan de lado a lado el cauce destinados a la recarga de la napa freática.

Los agricultores han ocupado las riberas y parte del cauce, efectuando obras de protección dentro de éste.

- Sector Sobraya Km 37

En este sector se han construido pretilos como defensas fluviales destinadas principalmente a proteger la Ruta CH-11. Aguas abajo de este sector, aproximadamente a unos 3 km, existe una zona de cultivos con alto riesgo de inundación, debido a que los agricultores del lugar han invadido las riberas y parte del cauce, efectuando obras de protección dentro de este.

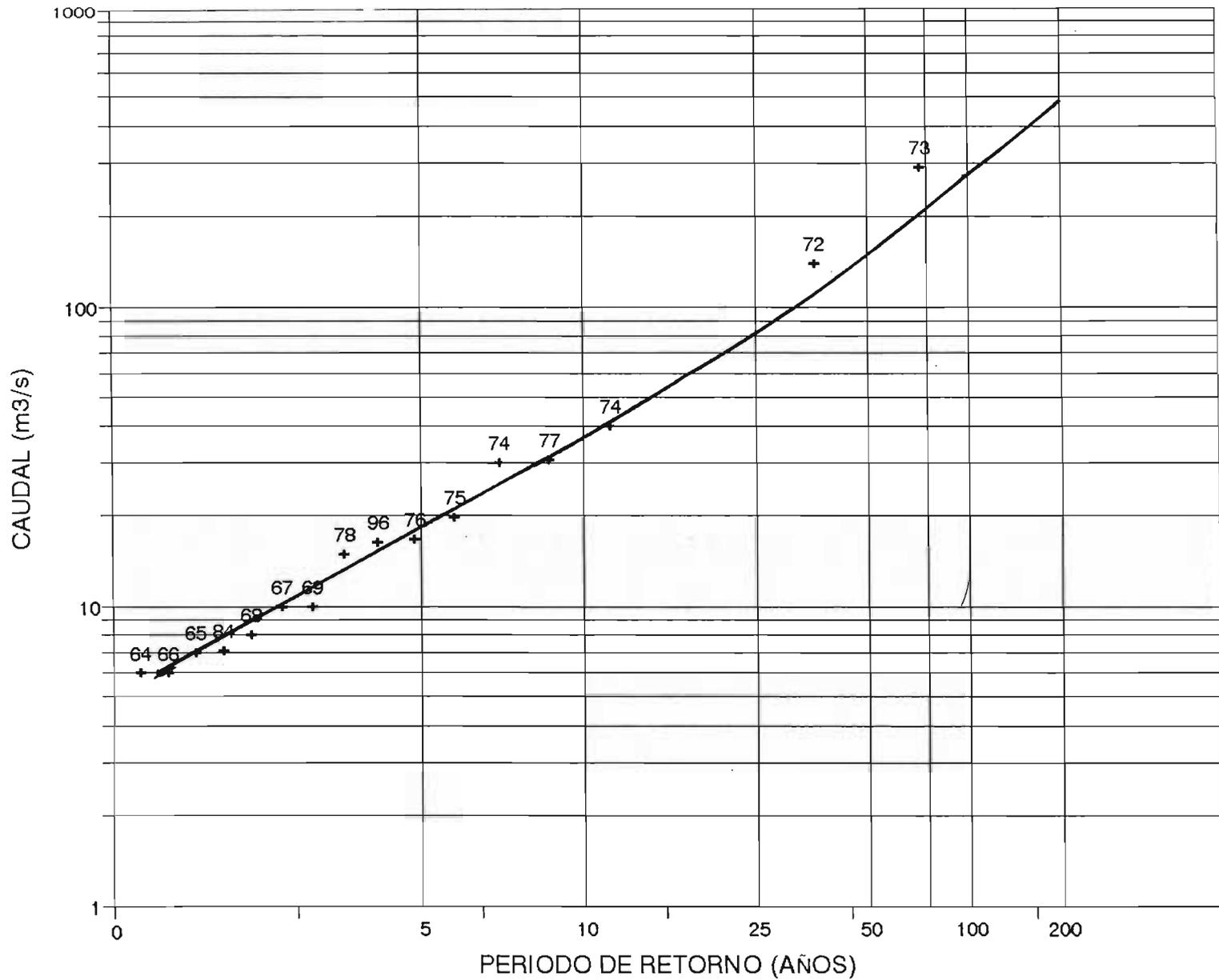


FIG. 4.1 ANALISIS DE FRECUENCIAS CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS RIO SAN JOSE

## - Sector Cuenca Alta

En este sector se producen crecidas con frecuencia. Cuando ellas ocurren afectan a terrenos agrícolas y dañan la red vial con el consiguiente aislamiento de las comunidades. Existen algunos diques que están en mal estado.

En la Tabla 4.9 se identifican en forma detallada los sectores mencionados y se describen los problemas existentes.

**Tabla 4.9 Identificación de Sectores Afectados  
Por Crecidas en el Río San José**

Tramo	DESCRIPCION PROBLEMA
Km-Km	
0,300-0,700	- Alta inestabilidad de taludes en ribera izquierda, afecta a instalaciones ribereñas - Cauce del río obstruido en algunos puntos por grandes piedras, restos de muros y vegetación, probables desbordes
0,700-2,500	- Cauce muy erosionado en el fondo y muy restringido por construcciones ribereñas - Posible desprendimiento de riberas - Alta inestabilidad de taludes en riberas izquierda y derecha. Secciones irregulares
2,500-3,020	- Inestabilidad de taludes de las riberas y presencia en el lecho del cauce de material de granulometría mayor ( $D_{m\acute{a}x} > 1$ m), restos de construcción y vegetación; lo cual obstruye el escurrimiento con peligro de inundación
3,020-3,860	- Riesgo de inundación de población Saucache en caso de colapso del pretil existente
4,570-6,300	- Lecho del cauce intervenido, amenaza de quebrada Acha a Carretera Panamericana y Población Nueva Esperanza
12,000-16,000	- Zona con riesgo de inundación a lo largo del camino a Alto Ramírez en 150 m de ancho
20,800-21,800	- Area de riesgo de inundación sobre ribera derecha en 40 m de ancho, afectando sectores agrícolas
22,000-25,000	- Zona de alto riesgo de inundación en ribera derecha en 100 m de ancho, afectando sectores agrícolas
25,000-26,000	- Posible inundación del camino a Ausipar en sector curva de Cabuza en 150 m a cada lado en 1 km de longitud
27,500-30,000	- Zona de riesgo de inundación en 400 m de ancho ribera derecha, afecta sectores agrícolas
29,300-30,800	- Riesgo de inundación ribera izquierda en 100 m de ancho, afecta sectores agrícolas
32,700-33,200	- Riesgo de inundación ribera derecha en 50 m de ancho, afecta sectores agrícolas
34,000-36,500	- Riesgo de inundación ribera derecha en 200 m de ancho afecta sectores agrícolas

#### 4.5.5 Tipos de Obras Existentes y Comportamiento en Crecidas

Este acápite presenta el catastro y caracterización de la infraestructura existente en el cauce del río San José y sus principales afluentes, en el que se incluyen todas aquellas obras que de alguna manera se ven afectadas por el comportamiento del cauce durante crecidas, como son los puentes, las defensas fluviales y las bocatomas de los canales. Además se describe la situación actual que presentan.

Se han construido en el cauce del río San José distintos tipos de obras fluviales, unas con el fin de aminorar los efectos provocados por el fenómeno denominado Invierno Altiplánico y otras destinadas a la recarga artificial del acuífero subterráneo.

Dentro de las primeras se pueden mencionar diques transversales de gaviones para la retención de material grueso arrastrado por las crecidas, ubicadas en el sector Ausipar y obras longitudinales de defensas de riberas de mampostería gavionada, destinadas a buscar el reforzamiento de las riberas, a objeto de evitar socavaciones e inundaciones por salida del cauce. Además de las anteriores existen espigones deflectores construidos con gaviones, para centralizar la corriente del curso del río.

En el sector urbano, las obras existentes corresponden básicamente a puentes y pasarelas peatonales, las que prácticamente no interfieren en el escurrimiento en épocas de crecidas normales. Este no es el caso para las crecidas extraordinarias, en las que algunos puentes provocan estrechamiento del cauce, aumentando la probabilidad de desbordes, así como también la velocidad del escurrimiento, produciendo socavación en las riberas.

Existen además en las zonas urbanas algunas obras fluviales como pretils y gaviones destinados a encauzamientos puntuales. Entre las obras fluviales construidas en el cauce del río San José en su paso por la ciudad de Arica, se cuentan las de la desembocadura, construidas mediante gaviones, defensa de riberas en el sector de la Universidad y de instalaciones militares ubicadas en la ribera izquierda y el pretil de defensa del sector Saucache. El objetivo de este último es impedir el desborde aguas abajo del puente Saucache hacia la ribera izquierda, donde el río salió de su cauce durante la crecida del año 1973, inundando importantes zonas pobladas localizadas en su antiguo lecho. Cabe destacar que este pretil no cuenta con revestimiento de protección, por lo que es susceptible a ser socavado durante una crecida de magnitud importante. Ambas obras mencionadas fueron construidas después del año 1973 y, en consecuencia, no han sido sometidas a una solicitud importante.

Con respecto a las obras de gaviones existentes en el cauce del río San José en la zona del valle de Azapa, éstas son básicamente de tres tipos:

- Obras de recarga del acuífero subterráneo ubicadas en el sector de Cabuza. Estas obras se encuentran en relativamente buen estado, aunque el cumplimiento de su objetivo puede considerarse dudoso en la actualidad, ya que varias de las estructuras presentan acumulación de sedimentos aguas arriba, provocando, en consecuencia, una retención de agua durante crecidas menor a la supuesta en el diseño.
- Defensa de riberas longitudinales y espigones transversales en sectores Las Maitas y Sobraya. Presentan daños relativamente menores por socavación de algunos tramos, pero se puede considerar que han cumplido y pueden seguir cumpliendo su objetivo con mantenciones y reparaciones menores.
- Obras transversales de retención de material grueso o de corrección de torrentes, localizadas aguas arriba de Ausipar. Estas obras presentan daños importantes, estando algunas de ellas casi completamente destruidas; las causas de las fallas pueden ser atribuidas principalmente a la rotura de los alambres de los gaviones, en especial en la zona de los vertederos, debido a la acción abrasiva de los sedimentos transportados por las crecidas.

En la Tabla 4.10 se presenta el catastro de las obras existentes a lo largo del cauce del río San José, acompañado de un comentario sobre estado general y funcionamiento.

**Tabla 4.10 Catastro Obras a lo Largo del Río San José  
y Análisis Crítico de su Funcionamiento**

Tramo Km-Km	TIPO Y CARACTERISTICA DE LAS OBRAS	ANALISIS CRITICO
0,000-0,150	Pretilos en ambas riberas	Obras se presentan en buen estado general, funcionando bien en época de crecidas normales
0,180-0,230	Gaviones de 50 m	Obras se presentan en buen estado general, funcionando bien en época de crecidas normales
0,700-2,700	Encauzamientos puntuales	Obras se presentan en buen estado general, funcionando bien en época de crecidas normales
3,020-3,860	Terraplén de cierre ribera izquierda	Obras se presentan en buen estado general, funcionando bien en época de crecidas normales
12,000-16,000	Muro pretil, coronamiento de cemento	En general las obras longitudinales de protección de ribera han funcionado bien, excepto por socavación en algunos puntos, no siendo el caso de los espigones deflectores de corrección de torrente los cuales se encuentran colmatados
12,000-16,000	Enrocado, con murete de cemento y badén cada 20 m	En general las obras longitudinales han funcionado bien, excepto por socavación en algunos puntos. Los espigones deflectores se encuentran colmatados
35,000 -	Gaviones y espigones deflectores	Las obras longitudinales han tenido buen comportamiento, no ocurriendo lo mismo con las obras transversales las cuales han experimentado daños
35,000 -	Dique de gaviones, defensa de enrocado vivo y muro de enrocado vivo	Las obras longitudinales han tenido buen comportamiento, no ocurriendo lo mismo con las obras transversales las cuales han experimentado daños
58,000-58,270	Diques de retención de material grueso	No han respondido a las condiciones del río en este punto, encontrándose seriamente dañados; estas obras, luego de retener material grueso, se colmataron siendo luego sobrepasadas

#### 4.5.6 Problemas Identificados

Como se desprende de los antecedentes presentados y discutidos precedentemente, los principales problemas detectados en la cuenca del río San José corresponden a los de la zona baja del cauce del río y de la quebrada Acha, principalmente el valle de Azapa y la ciudad de Arica.

Los problemas fluviales que podrían afectar a la ciudad de Arica se derivan de la inexistencia de una canalización consolidada, ya que el cauce del río San José, cruza la ciudad de este a oeste dividiéndola en dos partes, mediante un canal de sección irregular excavado en tierra no considerando obras de protección de riberas. Dicho canal tiene capacidad suficiente para evacuar las crecidas y los sedimentos provenientes de la parte alta de la cuenca. Sin embargo, la carencia de revestimiento o estructuras de protección del fondo y riberas hace que el cauce presente un grado de fragilidad alto frente a la posible ocurrencia de una crecida similar a la del año 1973. De ocurrir este, podría provocar la erosión del fondo y de las riberas, afectando la infraestructura existente, en especial los puentes y pasarelas, así como las calles y viviendas localizadas cerca de las orillas.

Por su parte, en el sector ubicado aguas arriba de la ciudad, donde se ubica el valle de Azapa, el cauce se presenta más abierto, por lo que crecidas de cierta magnitud provocan inundaciones y socavaciones en zonas agrícolas, afectando sembradíos e infraestructura, en especial el camino Arica-Ausipar (y bifurcación a Las Maitas y Alto Ramírez) y el canal Azapa.

En la parte superior de la cuenca donde se ubican varios poblados, tales como Belén, Tignamar, etc., los problemas con los cauces son relativamente menores y se localizan en sectores puntuales de quebradas. Tal es el caso de los cruces de caminos interiores los que son salvados mediante badenes con las consiguientes interrupciones durante las crecidas y, en algunos casos, daños en las estructuras. Dichos problemas corresponden al ámbito de la conservación y mantenimiento vial.

En el Plano 4.3 se muestran aquellas zonas que presentan mayores problemas en las crecidas del río San José, como también las obras más importantes existentes a lo largo del cauce.

#### 4.6 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA MEDICION DE LOS RECURSOS DE AGUA

En este acápite se incluye un análisis de los problemas asociados a la medición de los recursos de agua, a través de las redes de control fluviométrico, hidrometeorológico, de calidad de aguas y de niveles de aguas subterráneas existentes, empleando como criterios tanto la densidad de estaciones como la calidad y continuidad de la información registrada.

##### 4.6.1 Red Fluviométrica

Para el análisis de los problemas asociados a la red fluviométrica se utilizaron los antecedentes disponibles en el BNA de la DGA, en el Departamento de Explotación de la DR y antecedentes contenidos en el estudio CONIC-BF-DR (1995).

En base a la revisión de estos antecedentes se puede concluir que los principales problemas que afectan el funcionamiento de la red actual se originan fundamentalmente por la discontinuidad en el proceso de medición y registro de datos, lo que no permite cuantificar adecuadamente el recurso. En efecto, durante el período de funcionamiento de la red, no existen años en los cuales se pueda disponer de información sistemática para todos los meses y en todas las estaciones, sino que más bien se dispone de series incompletas y generalmente no concurrentes. Lo anterior obliga a recurrir a métodos indirectos para cuantificar los recursos, ya sea mediante rellenos con correlaciones con otras estaciones fluviométricas de la misma cuenca o de otras cuencas, o al empleo de correlaciones múltiples, incluyendo índices de precipitaciones.

Un segundo aspecto que afecta la calidad de la información, corresponde a la inadecuada ubicación de las estaciones de control. Esto hace que los antecedentes recopilados, aunque correspondan a años completos, no sean adecuados para la cuantificación del recurso. Entre estos problemas puede citarse por ejemplo, la situación de la estación Río Caquena en Nacimiento, la que al encontrarse en medio de un bofedal, no controla una cuenca bien definida, a diferencia de la estación Río Caquena en Vertedero que controla la cuenca en su totalidad. Otro ejemplo de esta situación corresponde a la estación Río Guallatire en Guallatire que controla la quebrada en un punto intermedio, no existiendo control para la totalidad de la cuenca. También debe mencionarse el caso de la mala ubicación de la estación Río Lauca en Japu, que hace que sea de muy difícil acceso. Esta estación podría ubicarse unos 20 km aguas arriba de su ubicación actual, mejorando así su accesibilidad, sin efectuar mayormente la cuantificación adecuada del recurso en la salida de la cuenca.

Otro aspecto importante de mencionar respecto a los problemas de la red fluviométrica de medición corresponde a la doble cuantificación del recurso. Puede citarse en este caso a las estaciones Río Lauca en Bocatoma

Canal Lauca y Canal Lauca en Km 3,3. La segunda estación controla una pequeña porción adicional de la cuenca, lo que sólo tendría utilidad para cuantificar pérdidas en el sistema.

También, debe indicarse el caso de estaciones que no sirven para los fines de cuantificación del recurso, como es el caso de la estación Acueducto Azapa en Bocatoma, que presta más utilidad a los agricultores que a la cuantificación del recurso.

Por último, debe considerarse la falta de estaciones que permitan cuantificar el recurso propio de la cuenca del río San José ya que no existen estaciones ubicadas aguas arriba del trasvase de aguas desde el río Lauca.

#### **4.6.2 Red Hidrometeorológica**

La información utilizada para este análisis fue obtenida desde el BNA, y la DMC, así como de algunos estudios específicos realizados por la DGA tales como el estudio BF-DGA (1985).

Al igual que en el caso de las estaciones fluviométricas, el principal problema que afecta a la red hidrometeorológica corresponde a lo incompleto de los registros, lo que obliga a realizar rellenos mediante métodos indirectos.

El segundo problema corresponde a la duplicidad de información, ya que existen mediciones tanto por parte de la DGA como de la DMC. Tal es el caso de la cuenca del río Lluta en la zona de Villa Industrial y en Alcérreca, o en la cuenca del río Lauca con la estación Chucuyo Retén, para nombrar sólo algunos casos.

Otro aspecto importante corresponde a la necesidad de aumentar la cobertura de medición de variables hidrometeorológicas, ya que en algunos sectores no se cuenta con este tipo de antecedentes.

#### **4.6.3 Red de Medición de Niveles Freáticos**

En el estudio de Alamos y Peralta-DGA (1987), se propuso una adecuación de la red de medición de niveles de aguas subterráneas existente a objeto de mejorar la representatividad de la información medida. La red existente a la fecha del estudio estaba formada por 10 pozos en la zona de la quebrada de La Concordia y por 15 en el valle de Azapa. Como resultado se eliminaron 4 puntos de monitoreo en la cuenca de La Concordia y 5 en el valle de Azapa, pero en este último valle se agregaron 5 pozos.

En la actualidad, de los 21 pozos incluidos en la red de vigilancia, se continúa con la medición de 5 ubicados en la cuenca de la Concordia y 5 ubicados en el valle de Azapa. Adicionalmente, se están controlando 3 pozos no incluidos en la red vigente. De estos pozos, 1 se ubica en la cuenca de La Concordia y 2 en el valle de Azapa.

Por lo anteriormente expuesto, se tendría un adecuado nivel de información para la zona de la quebrada La Concordia, y una menor cobertura para el valle de Azapa, lo que sin embargo no impide caracterizarlo espacialmente desde el punto de vista de los niveles de agua subterránea.

El problema se presenta en la cobertura temporal de la red, la que en la actualidad no es uniforme, porque no se dispone de antecedentes de nivel para todos los meses, y además porque, a diferencia de lo que ocurre con precipitaciones o caudales, los niveles faltantes no pueden ser correlacionados con el fin de rellenar los datos faltantes.

#### 4.6.4 Red de Vigilancia de Calidad de Aguas

La red de vigilancia de la calidad de las aguas superficiales fue definida en el estudio BF-DGA (1984), y está formada por 10 estaciones.

En cuanto a la cobertura espacial de la red, se estimó que ésta es adecuada para los fines de caracterizar el recurso superficial desde el punto de vista calidad. Sin embargo, desde el punto de vista temporal la calidad de los muestreos es muy deficiente, dado que en los últimos años prácticamente éstos no se han realizado.

Para las aguas subterráneas no existe en funcionamiento una red de medición de calidad de aguas, aunque en el estudio de Alamos y Peralta-DGA (1987) se definió la medición de conductividad eléctrica y cloruros para los pozos que forman la red de medición de niveles.

En la Tabla 4.11 se presenta una síntesis de los principales factores causantes y las consecuencias de las limitaciones de las redes de medición de los recursos de agua.

**Tabla 4.11 Problemas Asociados a las Redes de Medición**

Problema	Factores Causantes	Consecuencias
Limitaciones de las Redes de Monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de Cobertura Espacial</li> <li>- Inadecuada Cobertura Temporal</li> <li>- Ubicación Inadecuada de Estaciones</li> </ul>	- Insuficiente conocimiento de la ocurrencia del recurso e imposibilidad de tomar medidas tendientes a la optimización del uso del recurso

## **CAPITULO 5**

# **IDENTIFICACION Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION**

## 5. IDENTIFICACION Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION

### 5.1 IDENTIFICACION DE SOLUCIONES

La solución al grave déficit hídrico que afecta actualmente a la cuenca del río San José, así como aquel que se prevé a futuro, requiere necesariamente recurrir a soluciones que consideren tanto la incorporación de nuevas fuentes de recursos hídricos como también medidas o acciones tendientes a dar un mejor uso del recurso disponible.

Con el objeto contar con un abánico amplio de posibilidades, previamente a la formulación de un Plan Director para la cuenca, se hace necesario investigar y generar un portafolio de proyectos e iniciativas que puedan ser evaluados primeramente a nivel de prefactibilidad, antes de proceder a su confirmación o descarte por medio de distintos tipos de indicadores ad-hoc, para llevar aquellas seleccionadas a niveles superiores de análisis.

En razón de lo anterior, la presente etapa del estudio se ha iniciado con la recopilación, revisión y análisis de todas aquellas soluciones que con anterioridad a este estudio se han planteado como alternativas factibles para abastecer de agua la cuenca del río San José. A ello se ha sumado un conjunto nuevo de soluciones que a la luz del presente estudio, se han considerado atractivas de analizar.

Las soluciones que se proponen se han agrupado en torno a programas, entendiéndose como tal un conjunto de alternativas de una misma naturaleza. De este modo los proyectos analizados se han clasificado en: (1) estructurales, si los proyectos o soluciones involucran inversiones y operación de obras físicas; (2) no-estructurales, si se refieren a planes de acción, medidas, iniciativas o esfuerzos destinados a generar información o inducir comportamientos específicos de la población sin requerirse inversiones en bienes físicos; (3) combinados estructurales—no-estructurales, donde de una u otra forma se requiere estudiar e implementar soluciones mixtas que significan acciones intangibles e inversiones en bienes físicos.

También los proyectos se han diferenciado conforme al sector económico que se plantea atender. Ello en atención a que aún considerando una misma fuente de recursos, se requiere un tratamiento distinto si el proyecto en definitiva pretende abastecer por ejemplo sólo agua potable o sólo riego en la cuenca, ó lograr un abastecimiento mixto para usos diversos. De esta forma cada programa incluye una cartera de proyectos en que una combinación de dos o más dan origen a una solución que permite abordar o resolver el problema del déficit hídrico para un sector de usuarios dado.

En lo que sigue se describe en términos generales cada uno de los proyectos identificados y analizados en la presente etapa del estudio. Cada alternativa ha sido evaluada a nivel de prefactibilidad, analizando para cada caso las factibilidades de tipo técnico-económica, legal y ambiental. Se presenta en primer lugar una síntesis de los proyectos estructurales y no-estructurales que actualmente están desarrollándose en la cuenca.

El análisis detallado de cada alternativa estudiada se encuentra desarrollado en el Anexo 6, adjunto al presente informe. A fin de facilitar la identificación de cada proyecto o alternativa, en el caso de los programas estructurales, a cada uno de ellos se le ha asignado un código relacionado con el uso o usos del recurso agua a los cuales se destina el proyecto. En el caso de los programas no-estructurales o combinados, el código tiene por finalidad solamente identificar cada proyecto. Para mejor comprensión, en la Fig. 5.1 se presenta la ubicación de los proyectos dentro del área de estudio.

#### 5.1.1 Proyectos en Ejecución

En la cuenca del río San José, simultáneamente con la realización del Plan Director se están desarrollando proyectos para superar el déficit hídrico, especialmente en lo que respecta al sector agua potable en que ESSAT está efectuando tres proyectos estructurales destinados a mejorar el abastecimiento de Arica. El

primero de estos proyectos corresponde al mantenimiento periódico de la red de distribución, con el fin de reducir el nivel de pérdidas desde un 40 % en la situación actual, hasta 30 % que debería llegarse hacia el año 2005.

El segundo proyecto corresponde a la habilitación de 4 sondajes para extraer agua dulce desde el acuífero costero de Arica, y permitiría incrementar la producción de agua potable en 90 l/s para el abastecimiento de Arica. Este proyecto ha sido modelado para ESSAT. El costo de este proyecto es de 480 millones de pesos aproximadamente, lo que equivale a un Costo Incremental Medio (CIM) de  $\$/m^3$  95,4, valor utilizado para la fijación de las tarifas a cobrar por la sanitaria.

Por último, el tercer proyecto está relacionado con la explotación del acuífero subterráneo del valle del río Lluta, que en conjunto con la construcción de una planta desalinizadora para tratar las aguas salobres alumbradas, permitiría incrementar la producción en 278 l/s. El costo de los sondajes y sistema de conducción anexos asciende a la suma de 2.500 millones de pesos y la planta de tratamiento a 24 millones de dólares. Para el proyecto del conjunto el CIM corresponde a  $\$/m^3$  204,5.

En lo que respecta al sector riego, la DGA en conjunto con la Universidad del Norte están desarrollando un proyecto de tipo no-estructural que corresponde a una investigación destinada a analizar el mejoramiento del uso del agua en riego. El proyecto tiene un aporte de la DGA de aproximadamente 62 millones de pesos, para completar las facilidades locales que pone la Universidad para la ejecución de las investigaciones. Se establece una duración de 18 meses.

Un segundo antecedente de proyectos en ejecución en el valle lo constituyen los proyectos incluidos en el concurso N° 110, Plan Campesino Arica de la Ley N° 18.450, que considera el mejoramiento de algunos canales que forman parte del sistema de regadío del canal Azapa.

Por otro lado, en lo que respecta a defensas fluviales la Dirección de Vialidad no contempla la ejecución de obras durante el resto del año en la cuenca del río San José.

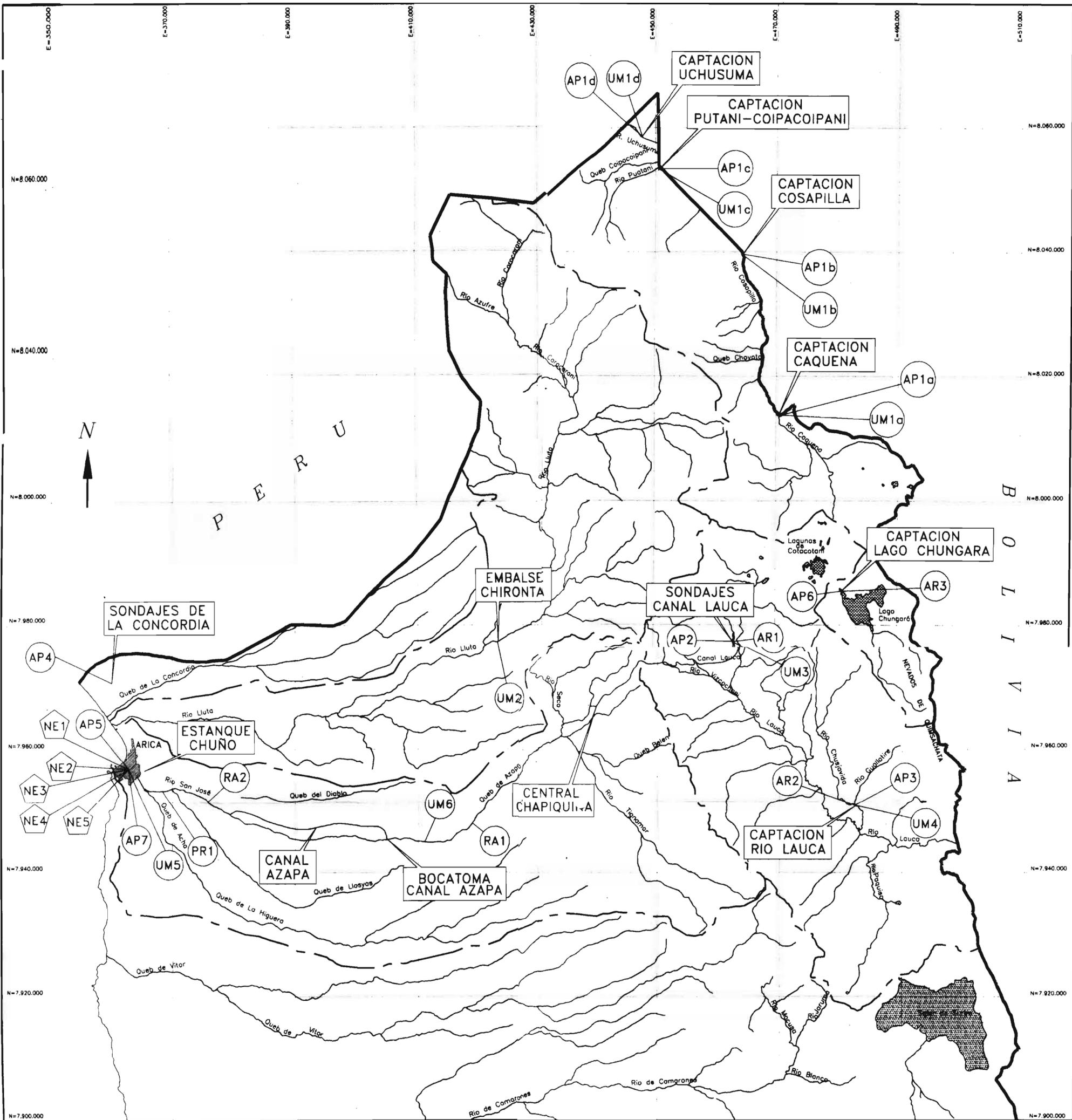
Por último, en lo que respecta a la hidroelectricidad, no se contempla el desarrollo de obras dado que la Comisión Nacional de Energía (CNE) no las considera en los programas futuros de generación eléctrica, debido a que no ofrecen seguridad para el abastecimiento, en comparación con las centrales térmicas. Se debe hacer notar que para el abastecimiento del Norte Grande sólo se encuentra programada la construcción y puesta en marcha de este último tipo de centrales.

### 5.1.2 Proyectos en Estudio

En lo que respecta a proyectos que se encuentran en etapa de estudio o para que sean estudiados, debe considerarse el proyecto de instalación de barreras de goma (rubber dam), impulsado por la Dirección Regional de riego, con el fin de infiltrar el agua de las crecidas, y de esta manera aprovecharla en la cuenca.

En relación a los posibles desarrollos hidroeléctricos, correspondientes a las centrales Canal Lauca, Socoroma, Campanani, Chaguire y las centrales en serie Cotani, Cosapilla, Tignamar y Livilcar, debe mencionarse que estos proyectos fueron mencionados en el estudio IPLA-DGA 1996, indicándose que su posible ejecución a ese momento no era económica.

La información que dispone este Consultor ahora, señala que en los próximos quince años la alternativa más conveniente de expansión del SING en nuevos proyectos de generación es de tipo termoeléctrico (Fuente: Análisis del Desarrollo de la Capacidad de Generación en el Sistema Interconectado del Norte Grande. CNE, agosto 1994). Por lo tanto, en el contexto del Plan Director, no corresponde analizar una expansión del sector energético que considere la utilización de recursos hídricos como fuente de energía. Sólo se ha considerado



**PROGRAMAS ESTRUCTURALES**

**PROGRAMAS NO ESTRUCTURALES (NE)**

SIMBOLOGIA	
PROYECTO ESTRUCTURAL	○
PROYECTO NO ESTRUCTURAL	◡

**PROGRAMA MEJORAMIENTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE ARICA (AP)**

- AP1: Captación Recursos Superficiales desde la Cuenca del Río Caquena
- AP2: Habilitación y Construcción Sondaes Sector Canal Lauca
- AP3: Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca
- AP4: Habilitación y Construcción Sondaes Quebrada de La Concordia
- AP5: Desalinización de Agua de Mar
- AP6: Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará
- AP7: Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable

**PROGRAMAS MEJORAMIENTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA RIEGO (AR)**

- AR1: Habilitación y Construcción Sondaes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa
- AR2: Captación Recursos Superficiales en Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa
- AR3: Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa

**PROGRAMA DE PROTECCION Y ESTABILIZACION DE RIBERAS (PR)**

- PR1: Defensas Fluviales en Río San José

**PROGRAMA DE USO MULTIPLE: AGUA POTABLE, RIEGO E HIDROELECTRICIDAD (UM)**

- UM1: Captación Recursos Superficiales desde la Cuenca del Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad
- UM2: Embalse Chironta: Regulación Recursos Superficiales Ríos Lauta y Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad
- UM3: Habilitación y Construcción Sondaes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad
- UM4: Captación Recursos Superficiales en Río Lauca para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad
- UM5: Reuso de Aguas Servidas en Riego e Intercambio Agua de Riego por Agua Potable
- UM6: Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable

**PROGRAMA DIJE USO MULTIPLE PARA LA RECARGA DEL ACUIFERO (RA)**

- RA1: Infiltración de Caudales en Río San José
- RA2: Reuso de Aguas Servidas en Infiltración a la Napa y Captación de Agua Subterránea para Agua Potable

**PROGRAMAS NO ESTRUCTURALES (NE)**

- NE1: Manejo de Cauces
- NE2: Organización de los Usuarios de Agua Subterránea y Superficial
- NE3: Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego
- NE4: Estudios de Investigación en la Cuenca
- NE5: Difusión Sobre Ahorro del Consumo de Agua

**AC INGENIEROS CONSULTORES**

PLANO DE UBICACION DE PROYECTOS ESTRUCTURALES Y PROYECTOS NO ESTRUCTURALES

PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DE RIO SAN JOSE

FECHA: JUNIO-1998 ESCALA: 1:500.000 FIGURA No: 5.1

esta posibilidad en el contexto del análisis de proyectos de uso múltiple en los que pudiera resultar económicamente conveniente la generación hidroeléctrica.

### 5.1.3 Programas Estructurales

Estos programas agrupan al conjunto de proyectos de inversión en obras físicas destinados a solucionar el déficit de agua para los sectores sanitarios (agua potable) y agrícola (riego) del valle del río San José. Incluye también alternativas de uso conjunto del agua para generación hidroeléctrica, pretendiendo con ello hacer económicamente más atractivas las inversiones si dicha generación constituyera una externalidad positiva del proyecto.

#### a) **Programa de Mejoramiento de Abastecimiento de Agua Potable para la Ciudad de Arica (AP)**

Dentro de este programa específico se han incluido todos los proyectos que puedan visualizarse como alternativas posibles para suplir el déficit hídrico que afecta actualmente y a futuro (dentro del horizonte del estudio) el abastecimiento de agua potable de Arica. En estos casos se ha tratado de hacer el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, sin considerar restricciones de ningún tipo, ya que ellas son consideradas posteriormente en el análisis comparativo de soluciones.

##### a.1) **Captación Recursos Superficiales desde la Cuenca del Río Caquena (AP1)**

Este proyecto contempla el aprovechamiento de los recursos superficiales de la cuenca del río Caquena con el objetivo de ser utilizados en el consumo de agua potable de la ciudad de Arica. Para ello se han evaluado cuatro alternativas de captación posibles, de manera de maximizar el caudal a utilizar.

##### - **Alternativa AP1a: Captación Caquena**

Esta alternativa permite extraer un caudal de 265 l/s desde río Caquena en el sector denominado Vertedero, ubicado aproximadamente 3 km aguas abajo de la confluencia con la quebrada Coipacolpagua.

##### - **Alternativa AP1b: Captación Cosapilla**

Esta alternativa permite captar un caudal de 595 l/s, de los cuales 265 l/s corresponden a los extraídos en la captación Caquena antes descrita y 330 l/s adicionales que se obtienen del río Cosapilla en el sector fronterizo, inmediatamente antes que el río ingrese a territorio boliviano.

##### - **Alternativa AP1c: Captación Putani-Coipacoipani**

En esta alternativa se aprovecha un caudal de 795 l/s, de los cuales 595 l/s corresponden a los indicados anteriormente y 200 l/s son captados por un canal interceptor desde la quebrada Coipacoipani, el río Putani y de otras quebradas menores ubicadas en el extremo norte de la cuenca del río Caquena-Cosapilla.

##### - **Alternativa AP1d: Captación Uchusuma**

Esta solución está destinada a captar un caudal de 985 l/s, de los cuales 795 l/s corresponden a los obtenidos en la solución Putani-Coipacoipani y los 190 l/s adicionales se captan desde el río Uchusuma.

**a.2) Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca (AP2)**

En este proyecto se plantea la captación del recurso subterráneo existente en la zona del canal Lauca en base a la habilitación de 6 de los 7 sondajes construidos por la Dirección de Riego en el período de 1992-1993 y la perforación de 11 nuevos sondajes. El caudal captado por los 17 sondajes ascendería a 545 l/s. Cabe señalar que el Modelo Hidrológico Operacional actualmente en desarrollo, Arrau-DGA (1997), permite realizar un análisis de la factibilidad de extraer el caudal indicado, resultando conveniente que a futuro se revise este proyecto con dicho modelo.

**a.3) Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca (AP3)**

Este proyecto consulta incrementar la captación de recursos superficiales de la cuenca del río Lauca, con el objetivo de ser utilizados en el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Arica.

El caudal a extraer alcanza a 285 l/s, captados desde el río Guallatire, en un punto ubicado aguas abajo de la confluencia con el río Chusjavidá y 5 km aguas arriba de la confluencia con el río Lauca (cota 4.095 msnm).

**a.4) Habilitación Sondajes Quebrada de la Concordia (AP4)**

En el sector de la quebrada de La Concordia, próximo al aeropuerto Chacalluta, se considera la habilitación de 4 sondajes existentes perforados por la CORFO en la década del año 60, lo cual permitiría contar con una producción total estimada para este conjunto de pozos de 125 l/s.

**a.5) Desalinización de Agua de Mar (AP5)**

Para suministrar agua potable a la ciudad de Arica se contempla la construcción de una planta desalinizadora de agua de mar que proporcionaría agua tratada, la cual sería impulsada a estanques de ESSAT.

El agua a desalinizar se captaría desde un dren diseñado para captar 1.170 l/s, ubicado en la playa Chinchorro, en el sector norte de la ciudad. Las aguas drenadas serían colectadas y bombeadas a un estanque de acumulación desde donde se alimentaría la planta desalinizadora. Esta última mediante un proceso de osmosis inversa, produciría un caudal total de 350 l/s de agua potable.

**a.6) Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará (AP6)**

Con este proyecto se pretende disminuir el déficit de agua potable de la ciudad de Arica, captando 500 l/s desde el lago Chungará. Con este fin se materializaría una aducción que tomaría las aguas desde el lago, para conducir las hasta las afueras de la ciudad, donde se construiría una planta de tratamiento que dejaría las aguas aptas para consumo humano.

**a.7) Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable**

Este proyecto consulta la reducción de las pérdidas de agua potable desde la red de distribución de la ciudad de Arica, mediante el reemplazo de tuberías, matrices, válvulas y grifos en mal estado. Además se propone un programa de mantención rutinaria de la red. Se estimó que del total de pérdidas del sistema, entre 40 % y 60 % correspondería a la red, lo que equivale a un caudal medio de 40 l/s a 60 l/s evaluado en el año 1995. Cabe mencionar que se podría analizar la posibilidad de emplear el Modelo Hidrológico Operacional actualmente en desarrollo, Arrau-DGA (1991), para evaluar el efecto que este proyecto pudiera tener sobre el acuífero.

**b) Programa de Mejoramiento de Abastecimiento de Agua para Riego (AR)**

Este programa está integrado por aquellos proyectos que tienen como objetivo el aumento de la disponibilidad de agua para riego en el valle del río San José. En su formulación se considera tanto la reutilización de aguas servidas de la ciudad de Arica como proyectos que aprovecharían recursos subterráneos o superficiales de cuencas adyacentes, conjuntamente con el mejoramiento de la infraestructura de canales para riego en el valle de Azapa.

**b.1) Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR1)**

Esta solución consiste en el aprovechamiento de los recursos subterráneos de la cuenca del río Lauca, con el fin de suplementar los recursos superficiales utilizados para riego en el valle de Azapa, trasvasados desde el río Lauca a través del canal Lauca.

El proyecto considera tres alternativas posibles, dependiendo del grado de complejidad de las obras propuestas.

- **Alternativa AR1a**

En esta alternativa se plantea la captación del recurso subterráneo existente en la zona del canal Lauca en base a la habilitación de 6 de los 7 sondajes construidos por la Dirección de Riego en el período 1992-1993 y la perforación de 11 nuevos sondajes. El caudal captado por los 17 sondajes ascendería hasta 545 l/s. En promedio el caudal que incorpora esta alternativa al sistema de riego es de 150 l/s, dado que el funcionamiento de los sondajes no es continuo, dependiendo de las necesidades de agua no satisfechas.

- **Alternativa AR1b**

Esta alternativa se diferencia de la anterior en que se realiza el mejoramiento del canal Azapa, con el fin de disminuir las pérdidas en la conducción. Como resultado se obtienen 190 l/s, por las mismas condiciones de funcionamiento descritas anteriormente.

- **Alternativa AR1c**

Esta alternativa complementa la construcción de sondajes con el mejoramiento del revestimiento del canal Lauca, con el fin de disminuir las pérdidas de la conducción. En esta alternativa el caudal producido se incrementa a 280 l/s en promedio.

**b.2) Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR2)**

Con este proyecto se pretende incrementar hasta en 300 l/s la captación de recursos superficiales desde la cuenca del río Lauca, con el objetivo de suplementar el riego en el valle de Azapa.

Como parte de este proyecto, se evaluaron tres alternativas para aprovechar los recursos superficiales captados desde la cuenca del río Lauca.

- **Alternativa AR2a**

En esta alternativa se considera aprovechar hasta 300 l/s provenientes del río Guallatire en un sector ubicado aguas abajo de la confluencia con el río Chusjaviada. Adicionalmente se construiría una planta de bombeo, una impulsión y una aducción que conduciría el agua hacia el canal Lauca. Esta alternativa permite incorporar en promedio 100 l/s al sistema, dado que la captación de recursos sólo se efectúa en caso que exista demanda no satisfecha por el sistema actual.

- **Alternativa AR2b**

Esta alternativa al igual que la AR1b considera el mejoramiento del canal Azapa con el fin de reducir las pérdidas de conducción. Con esta alternativa el caudal disponible aumenta a 150 l/s, por razones similares a las de la alternativa anterior.

- **Alternativa AR2c**

Esta alternativa considera las obras incluidas en la alternativa AR2b, en conjunto con el mejoramiento del canal Lauca. Con esta alternativa la oferta de agua se incrementa en 260 l/s en promedio.

**b.3) Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR3)**

Este proyecto permite incorporar un caudal de hasta 500 l/s para el riego en el valle de Azapa, el que se captaría desde el lago Chungará usando la captación descrita en el proyecto AP6. A partir de la toma se desarrollaría una aducción que conduciría las aguas desde el lago hasta el canal Lauca.

En este proyecto se consideraron tres posibles alternativas. La primera consiste en la entrega del agua del lago al sistema de canales Lauca-Azapa en la situación actual; la segunda considera el mejoramiento del revestimiento del canal Azapa, con el fin de disminuir las pérdidas por filtración y finalmente, la tercera solución incluye el mejoramiento del canal Azapa. Estas alternativas se han denominado AR3a, AR3b y AR3c, respectivamente. Los caudales incorporados por estas alternativas son en el mismo orden 140, 180 y 270 l/s, dado que la extracción desde el lago depende de la demanda no satisfecha, que es variable en el tiempo.

**c) Programa de Protección y Estabilización de Riberas (PR)**

El programa de protección y estabilización de riberas se compone de un proyecto destinado a dar solución a los daños a las personas e infraestructura causados por las crecidas en el río San José y sus afluentes.

**c.1) Defensas Fluviales en Río San José (PR1)**

Las obras que se proponen como parte de este proyecto tienen por objetivo evitar desbordes en los cauces del río San José y de la quebrada de Acha, junto con la probable socavación del lecho y la erosión de las riberas. Los tramos involucrados corresponden a aquellos que comprometen sectores poblados u obras de infraestructura vial.

**d) Programa de Uso Múltiple: Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad (UM)**

Los proyectos que constituyen este programa son aquellos que permiten simultáneamente dar solución al déficit de agua potable y/o de riego y al mismo tiempo incluyen la posibilidad de generar hidroelectricidad. Los proyectos incluidos en el programa también consideran combinaciones entre los tres usos.

**d.1) Captación Recursos Superficiales Cuenca del Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad (UM1)**

Este proyecto contempla el aprovechamiento de los recursos superficiales de la cuenca del río Caquena, con el doble objetivo de ser utilizados en el consumo de agua potable de la ciudad de Arica y en generación hidroeléctrica. Para ello se han considerado las cuatro alternativas de captación propuestas en el proyecto AP1, presentado anteriormente.

Las alternativas analizadas se han denominado como sigue:

- Alternativa UM1a : Captación Caquena
- Alternativa UM1b : Captación Cosapilla
- Alternativa UM1c : Captación Putani-Coipacoipani
- Alternativa UM1d : Captación Uchusuma

En lo que respecta a agua potable, con este proyecto el caudal captado es igual al del proyecto AP1, siendo iguales a 265, 595, 795 y 985 lt/s, por cada una de las alternativa.

En lo que respecta a energía eléctrica, en términos del promedio anual la energía producida en de 20,0; 41,6; 53,3 y 56,2 GWh/año, para las distintas alternativas. En tanto que si se descuenta la energía utilizada para las plantas de bombeo, se obtiene una producción menor para las alternativas UM1b, UM1c y UM1d equivalente a 32,8; 40,8 y 40,2 GWh/año, respectivamente.

#### **d.2) Embalse Chironta: Regulación Recursos Superficiales Ríos Caquena y Lluta para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad (UM2)**

Este proyecto consulta hacer el aprovechamiento conjunto de los recursos superficiales de las cuencas de los ríos Caquena y Lluta, para lo cual se construiría un embalse de regulación en el sector denominado Angostura de Chironta. Las aguas embalsadas serían utilizadas para el abastecimiento de agua potable de Arica, restituyéndose las aguas que corresponden conforme a los derechos de aprovechamiento que los agricultores poseen sobre las aguas del río Lluta.

Para los recursos de la cuenca del río Caquena se consideran las mismas cuatro alternativas de captación descritas en el proyecto AP1, con caudales diferentes, dado que la alternativa incorpora en promedio 600 l/s, captando hasta 2,65 m<sup>3</sup>/s. De esta forma, los caudales captados por cada alternativa, desde la UM2a hasta UM2d son de 600, 930, 1.130 y 1.320 l/s por cada alternativa en lo que respecta a agua potable. Por otra parte, el caudal promedio incorporado al riego en el valle del Lluta es variable entre cada alternativa, siendo iguales a 420, 422, 449 y 474 l/s, en promedio, según alternativa. Por último, la energía eléctrica total generada en los proyectos UM2e, UM2f, UM2g y UM2h es igual a 108,5; 122,2; 129,7 y 135,1 GWh/año y la energía restante, descontada la energía empleada en las impulsiones es igual a 108,5; 116,4; 120,6 y 121,9 GWh/año, por alternativa.

#### **d.3) Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM3)**

Este proyecto contempla el aprovechamiento de los recursos subterráneos de la cuenca del río Lauca con el fin de suplementar los recursos superficiales trasvasados desde la cuenca de este río al valle de Azapa. Se consideran las mismas alternativas presentadas en el proyecto AR1, incorporando adicionalmente el uso del recurso subterráneo en generación hidroeléctrica, aprovechando la capacidad instalada disponible de la central Chapiquiña. Con este proyecto se tiene una producción total de energía de 14,9; 12,9 y 19,9 GWh/año, y descontando la energía usada para el funcionamiento de los sondajes se producen 11,3; 9,8 y 18,1 GWh/año.

#### **d.4) Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM4)**

En este proyecto se aprovechan los recursos de la cuenca del río Lauca, con el objetivo de suplementar los recursos superficiales trasvasados desde esta cuenca al valle de Azapa. Se consultan las mismas alternativas presentadas en el proyecto AR2, considerando al igual que el proyecto anterior, el uso del recurso en generación hidroeléctrica aprovechando la capacidad instalada disponible de la central Chapiquiña. La producción

total de energía eléctrica asociada al proyecto es variable por alternativa, siendo igual a 10,0; 8,9 y 17,5 GWh/año. En el caso en que se descuenta la energía para el funcionamiento de las plantas de elevación, la energía disminuye a 7,6; 6,9 y 16,0 GWh/año.

#### **d.5) Reuso de Aguas Servidas en Riego e Intercambio de Agua de Riego por Agua Potable (UM5)**

La solución estudiada consiste en realizar el tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Arica con el propósito de obtener agua con calidad apta para el riego. Se propone entregar el caudal tratado a los agricultores del valle de Azapa y a cambio obtener de ellos un caudal de igual magnitud al proporcionado, para ser tratado y dejarlo apto para agua potable.

Este proyecto contempla dos alternativas. En el primer caso (Alternativa UM5a) se considera la entrega del agua tratada en el canal Azapa y la captación de agua para riego desde el mismo canal, en un lugar ubicado aguas arriba del punto de entrega anterior.

En el segundo caso (Alternativa UM5b) se consulta entregar el agua tratada a los agricultores en un estanque de regulación, captando al mismo tiempo las aguas para el uso en agua potable desde sondajes pertenecientes a los agricultores que presentarían interés en suscribir este tipo de convenio.

#### **d.6) Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM6)**

Este proyecto permitiría utilizar las aguas del río San José, con el fin de aumentar la seguridad de riego dada por el canal Azapa y además aumentando la disponibilidad de agua para uso potable.

Se consideran 2 alternativas. La primera (UM6a) considera el embalse únicamente para aumentar el abastecimiento para riego y la segunda (UM6b) considera además el abastecimiento de agua potable.

Este proyecto permite adicionalmente, con sus dos alternativas, disminuir el efecto destructor que tienen las crecidas del río San José.

Como resultado de la regulación efectuado, la disponibilidad de agua para riego desde el embalse se ve incrementada en 177,5 l/s en promedio en la alternativa UM6a, permitiendo que 100 ha adicionales sean regadas por el embalse. En lo que respecta a la alternativa UM6b, el aumento de la producción de agua potable llega a 50 l/s y el agua de riego se incrementa en promedio en 140,3 l/s.

#### **e) Programa de Uso Múltiple para la Recarga del Acuífero (RA)**

Este programa se compone de proyectos específicos destinados a la recarga del acuífero del río San José. Estos proyectos se han denominado de uso múltiple debido a que también permiten la mitigación del efecto destructor causado por las crecidas o el aumento de la disponibilidad de agua para uso potable.

##### **e.1) Infiltración de Crecidas en Río San José (RA1)**

Con este proyecto se pretenden lograr dos objetivos: por una parte, disminuir el efecto destructor que tienen las ocasionales crecidas que ocurren en el río San José y por otra, aprovechar esta agua para recargar el sobreexplotado acuífero del valle de Azapa.

Con este fin se plantea la construcción de pozas de infiltración donde se acumularía el agua de las crecidas, que además de permitir una recarga del acuífero redundaría en la disminución de los daños provocados

aguas abajo por este tipo de evento. Estas pozas se ubicarían a lo largo del río, en el sector de aguas arriba de la bocatoma del canal Azapa. Para esto se han planteado tres alternativas.

- **Alternativa RA1a**

Esta alternativa consulta construir barreras transversales al cauce, las que se ubicarían en el tramo alto del río y tendrían como objetivo asentar la pendiente del lecho, evitando el transporte masivo de sedimento en crecidas hacia sectores de aguas abajo. En el tramo inferior en tanto, se ubicarían las pozas de infiltración, las que acumularían agua limpia de sedimentos, percolando hacia el subsuelo y napa.

Adicionalmente este proyecto requiere construir un canal by-pass que permitiría conducir el agua de riego que debe llegar a los agricultores durante épocas normales y que sería interceptada por las obras.

Aguas abajo se instalarían sondajes que permitirían captar parte del caudal infiltrado, que corresponde a 7,7 l/s.

- **Alternativa RA1b**

Con el fin de acelerar el proceso de infiltración, en esta alternativa se considera utilizar, además de las pozas de acumulación, sondajes para inyectar el agua hacia la napa. El resto de las obras involucradas es el mismo indicado en la alternativa anterior. El caudal que se puede captar del acuífero en este caso es de 42,9 l/s.

- **Alternativa RA1c**

En esta alternativa no se consideran las barreras estabilizadoras de pendiente del cauce en la zona alta del río. Lo anterior trae como consecuencia que hay que prever el ingreso de sedimento a las pozas de infiltración, el que debe ser retirado mediante mantenciones periódicas a fin de evitar su colmatación. Con esta alternativa se estima que puede obtenerse un caudal de 6,5 l/s.

**e.2) Reuso de Aguas Servidas en Infiltración a la Napa y Captación de Agua Subterránea para Agua Potable (RA2)**

Este proyecto consiste en el tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Arica, con el propósito de obtener agua con calidad apta para el riego. Esta sería infiltrada a la napa del valle de Azapa, extrayendo a cambio un caudal de menor magnitud, que sería tratado para dejarlo de calidad potable. El caudal posible de extraer desde el acuífero sería de 360 l/s.

**5.1.4 Programa No-Estructural**

Esta categoría de programa está compuesta por todos aquellos proyectos cuya realización consiste en la ejecución de estudios y acciones que podrían complementar los programas estructurales y que se orientan a lograr un mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos. Esto último a través de la promoción de la organización de los usuarios y el desarrollo de estudios de investigación y campañas de difusión dirigidas a la población, a fin de promover el ahorro en el consumo del agua y en general, el uso apropiado de los recursos hídricos.

**a) Manejo de Cauces (NE1)**

Uno de los problemas que se presenta actualmente en la cuenca del río San José, se refiere a las pérdidas materiales que se registran frecuentemente en los sectores agrícolas e infraestructura vial, urbana y turística debido a las crecidas y desbordes del río San José.

Entre las causas que contribuyen a este problema está la acción antrópica, asociada a un uso inadecuado de los cauces durante períodos de estiaje, como producto de extracciones de áridos, uso del cauce como botadero de basuras y en menor medida, el emplazamiento de viviendas no regularizadas y uso del lecho como suelo agrícola.

En virtud de ello, el presente programa de manejo de cauces, se ha concebido en primer lugar como un conjunto de estudios destinados a aportar los antecedentes para promover por parte de las instituciones públicas competentes en la materia, el ordenamiento, regulación y zonificación de los usos del cauce del río San José.

**a.1) Regulación Uso del Cauce (NE1.1)**

Este estudio está orientado hacia la definición de una base y normas técnicas, así como procedimientos específicos a partir de los cuales se pueda realizar la zonificación y regulación de áreas para un uso planificado del cauce del río San José.

**a.2) Fijación de Deslindes (NE1.2)**

A partir de un estudio de ingeniería destinado a la generación de antecedentes técnicos que permitan la fijación de los deslindes entre el bien nacional de uso público y las propiedades colindantes al cauce del río San José, la o las instituciones públicas responsables en el tema deberán arbitrar las medidas para el establecimiento de estos deslindes. Es deseable que la determinación y fijación de ellos abarque en forma integral el cauce iniciándose en la desembocadura en el Océano Pacífico y extendiéndose por lo menos hasta el Km 50 aproximadamente.

**b) Organización de Usuarios del Agua Subterránea y Superficial del Valle de Azapa (NE2)**

La presión por la demanda de agua que ejercen los distintos usuarios del recurso (riego, agua potable, agua industrial e hidroelectricidad) ha generado un creciente déficit en la disponibilidad de los recursos superficiales y subterráneos de la cuenca, y está afectando también su calidad. Lo anterior hace cada vez más necesario y recomendable la creación de un organismo de usuarios de las aguas superficiales y subterráneas que puedan abordar la gestión integrada, coordinada y participativa de los recursos hídricos en la cuenca.

El proyecto propuesto tendría como objetivos: a) el promover, por parte de las instituciones públicas en cuyo ámbito de competencia cae este tipo de problema, la formación de una organización en la cuenca del río San José que agrupe a todos los usuarios de aguas subterráneas y superficiales; b) Estudiar las formas y mecanismos permanentes en el tiempo de control y monitoreo de niveles, caudales y parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas, y c) Facilitar la acción coordinada de los usuarios, tanto de aguas superficiales como subterráneas para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca.

Se ha propuesto desarrollar este proyecto en etapas sucesivas siendo la primera el estudio de la organización de aguas subterráneas, la segunda correspondería a la formación de la organización de las aguas superficiales, la tercera a la formación de la organización que agrupe a las dos anteriores, y finalmente la puesta en marcha de la organización.

### c) **Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego (NE3)**

Este proyecto estaría orientado a complementar las líneas de investigación y acciones concretas que en la actualidad desarrolla la DGA, y que tienden al uso óptimo de los recursos hídricos en la cuenca. El proyecto considera tres componentes fundamentales:

- Investigación sobre el Proceso de Salinización del Acuífero
- Estudio de Técnicas para Mejoramiento del uso del Agua en Riego
- Difusión

La primera componente estaría orientada a complementar el conocimiento que se tiene sobre el efecto real que las actuales prácticas de riego empleadas en la cuenca tendrían sobre el proceso de salinización del acuífero. La segunda componente se orientaría a la optimización del uso del agua en riego, con el fin de eliminar o reducir la salinización del acuífero. Finalmente, la tercera componente estaría destinada a difundir los resultados obtenidos de las investigaciones efectuadas.

### d) **Estudios e Investigaciones de Recursos Hídricos (NE4)**

Este proyecto se ha concebido como un conjunto de estudios o investigaciones que permitan profundizar y perfeccionar el conocimiento sobre ciertas temáticas relativas al medio ambiente y recursos hídricos, lo cual redundaría en el mediano y largo plazo en una gestión y administración de los recursos hídricos de la cuenca fundamentada en mejores elementos científicos y técnicos. Se han planteado tres líneas de investigación, las cuales se detallan a continuación:

#### d.1) **Estudio de las Procesos de Infiltración en el Valle de Azapa**

Con este estudio se pretende cuantificar en forma más precisa el fenómeno de recarga hacia el embalse subterráneo en la zona del valle de Azapa. Se considera especialmente estudiar el efecto que tendría para el acuífero mejorar el canal Azapa en lo que respecta a la reducción de las recargas y el efecto de las crecidas del río San José. Los resultados de estas investigaciones podrían ser incorporados al Modelo de Simulación Hidrológico Operacional en desarrollo, Arrau-DGA (1997), y evaluar los efectos indicados empleando este modelo computacional.

#### d.2) **Caracterización del Régimen**

Este proyecto dice relación con la evaluación integral de los recursos hídricos, comenzando con un programa que permita aumentar la calidad, representatividad y cantidad de la información hidrometeorológica e hidrológica propiamente tal: base de datos pluviométricos, fluviométricos, niveles en pozos, calidad de aguas, etc. A partir de ello, determinar la disponibilidad real o sustentable en el largo plazo de los recursos provenientes tanto de fuentes superficiales como subterráneas.

#### d.3) **Modelo de Pronóstico y Sistema de Alerta de Crecidas**

En el caso en que construya un embalse regulador y para control de crecidas, se requeriría conocer con antelación la llegada de las crecidas al valle, por lo que se requiere desarrollar un modelo de pronóstico de crecidas que permita realizar una adecuada operación del embalse para que efectivamente se produzca control del caudal afluente.

**e) Programa Educativo sobre Ahorro del Consumo de Agua (NE5)**

Durante el desarrollo del diagnóstico se pudo establecer que actualmente existen conductas en la población relacionadas con el uso de los recursos hídricos o cauces naturales que pueden producir externalidades negativas en otros sectores de la economía.

Se estima que es deseable fomentar en la población la toma de conciencia acerca de la escasez del agua y de la importancia de cuidar el recurso por las limitaciones que imponen al desarrollo de la región y al mejoramiento de la calidad de vida de su población.

Este proyecto está orientado a promover en la población actitudes y conductas que favorezcan el uso y preservación adecuados de los recursos disponibles.

**f) Estudio Ecológico del Lago Chungará (NE6)**

Debido a la escasez del recurso hídrico en la cuenca del río San José, el lago Chungará ha sido un centro de atracción como fuente alternativa para el abastecimiento de agua. Ello ha motivado una serie de presiones y conflictos permanentes, principalmente por las implicancias ambientales que pudiese tener la explotación de agua en su ecosistema.

Esta línea de investigación tiene como objetivo actualizar y avanzar en el conocimiento de la hidrodinámica de este lago, así como estudiar la relación que ella tiene con los recursos bióticos y abióticos del sistema.

Formando parte de este mismo estudio, es recomendable abordar también el tema desde un punto de vista jurídico, tanto en lo que se refiere a las normas legales internas del país como a los convenios o acuerdo internacionales que restringen o impiden el uso de sus recursos.

**g) Estudio para el Uso de Recursos Hídricos en Cuencas Compartidas (NE7)**

Dado que existen fuentes de abastecimiento compartidas con países limítrofes, se hace necesario estudiar con detalle la factibilidad de utilizar estas aguas en beneficio de la zona de Arica.

**5.1.5 Programas Combinados**

Los programas combinados agrupan a todos aquellos proyectos que para ser realizados necesitan de la ejecución simultánea de obras físicas y del desarrollo de medidas administrativas que se mantengan en el tiempo, a fin de que se pueda alcanzar los objetivos del proyecto. En esta categoría se agrupan todos los proyectos relacionados con el mejoramiento de la redes de medición fluviométrica, hidrometeorológica, de niveles, y de calidad de aguas y sedimentometría.

**a) Proyecto de Mejoramiento Red Fluviométrica (PC1)**

Los principales problemas que presenta la red fluviométrica se deben a la discontinuidad temporal de los registros de datos y a la inadecuada distribución espacial de las estaciones de control. En ciertos casos se verifica además la doble cuantificación del recurso, debido a la existencia de estaciones controladas por organismos independientes en un mismo sector.

Dado lo anterior, como parte de este proyecto se sugiere modificar la distribución espacial de la red de medición actual, de manera de mejorar el proceso de registro y caracterización de los recursos hídricos.

**b) Proyecto de Mejoramiento Red Hidrometeorológica (PC2)**

La red hidrometeorológica que actualmente se encuentra en operación está formada por 28 estaciones, de las cuales 20 son operadas por la DGA y 8 por la DMC. La mayoría sólo miden precipitaciones, de manera que la red no cumple con el objetivo de caracterizar los diversos parámetros hidrometeorológicos.

Para efectos de mejorar la cobertura de la red de medición, como parte de este proyecto se contempla preliminarmente implementar nuevas estaciones y suprimir algunas de las que actualmente se encuentran en operación.

**c) Proyecto de Mejoramiento Red de Medición de Niveles (PC3)**

La red de vigilancia vigente es adecuada para caracterizar espacial y temporalmente al recurso en el valle de Azapa y en la quebrada de La Concordia. Sin embargo, dado que el acuífero del valle del río Lluta será explotado para su uso en agua potable, se recomienda extender la red e incluir como parte de este programa puntos de muestreo en esta última cuenca. La ubicación de los puntos se deberá definir una vez que se terminen las perforaciones que se están realizando.

**d) Proyecto de Mejoramiento Red de Calidad de Aguas y Sedimentometría (PC4)**

En el sector de interés al presente estudio se encuentra en operación una red de vigilancia para la caracterización de recursos superficiales, no existiendo red de monitoreo de aguas subterráneas ni de medición de sedimentos.

Por lo anterior, el proyecto propuesto permitiría mejorar la operación de la red de calidad de aguas superficiales, y a la implementación de la red para las aguas subterráneas y para el de control sedimentométrico.

## 5.2 CRITERIOS DE EVALUACION TECNICO-ECONOMICA, LEGAL Y AMBIENTAL

En este acápite se describen los criterios e indicadores empleados para evaluar la factibilidad técnico- económica, legal y ambiental de cada una de las alternativas de solución identificadas en el acápite 5.1 precedente.

La prefactibilidad de cada proyecto ha abarcado tres aspectos independientes entre sí, a saber: la prefactibilidad técnico-económica, la prefactibilidad legal y la prefactibilidad ambiental. De esta forma, a cada uno de los proyectos se le ha evaluado desde cada uno de estos aspectos, siendo el conjunto de los indicadores los que en definitiva señalan la prefactibilidad global del proyecto.

Los tres criterios indicados han sido aplicados a todos los proyectos que conforman los programas de tipo estructural. Sin embargo, en aquellos programas no-estructurales o combinados, el análisis se basa sólo en aspectos de tipo económico.

En el caso de las evaluaciones técnico-económicas se presentan los criterios, método de cálculo y consideraciones de costos, mientras que para el caso de las evaluaciones legal y ambiental, se definen escalas cualitativas indicadoras de la factibilidad correspondiente de cada proyecto.

### 5.2.1 Criterio de Evaluación Económica

Los criterios de evaluación económica tradicionales requieren para su aplicación conocer los beneficios esperados asociados a la inversión efectuada, además del monto de la inversión. Esta última se determina directamente a partir del desarrollo técnico realizado como se ha hecho para los proyectos consultados en el portafolio elaborado y que fue presentado en el acápite 5.1.

La cuantificación de los beneficios de estos proyectos es más compleja, particularmente en aquellos casos en que se requiere conocer los efectos que se producen al agrupar proyectos, debiendo considerarse para ello beneficios integrados de tipo directo, indirecto e intangibles de usuarios con intereses distintos y diversos. Indudablemente que a nivel de prefactibilidad, lo anterior no pasaría más allá de ser un mero ejercicio teórico, por cuanto sería posible conocer el efecto real de cada proyecto sólo una vez que se defina un programa con objetivos de desarrollo específico dentro del cual quede inserto el proyecto.

Al respecto, debe considerarse que ninguno de los proyectos desarrollados es capaz por sí mismo de satisfacer el 100 % del déficit hídrico para un determinado sector de usuarios. Por esta razón los beneficios asociados a cada grupo de proyectos sólo podrían estimarse una vez formulado el programa completo y habiendo planteado hipótesis de trabajo sobre la percepción y comportamiento esperado de los potenciales beneficiados.

Otro aspecto a tener presente es que la evaluación de las externalidades, que constituyen la base de los beneficios indirectos y que son fundamentales para la evaluación social, no necesariamente son producidos por cada proyecto particular, sino que pueden ser producto del efecto de combinaciones de ellos. Esto último puede tornarse aún más complejo, por ejemplo al considerar que los proyectos individuales pueden tener efectos en diferentes sectores económicos, algunas veces en iguales "direcciones" y otras en "direcciones" contrapuestas.

Tomando en cuenta lo señalado y que además a nivel de prefactibilidad el análisis consideró la determinación de otro tipo de indicadores, tales como aquellos de tipo ambiental y de tipo legal, los que en definitiva permiten filtrar los proyectos que requieren pasar a una etapa superior de análisis (factibilidad), no resulta apropiado realizar una evaluación económica tan compleja y basada en una serie de supuestos no verificables, sólo para constatar que no obstante tener quizás buenos indicadores económicos de proyectos individuales, dichos proyectos en la práctica no resultan factibles y por tanto no se sigue adelante con ellos, porque globalmente la rentabilidad del conjunto es baja.

Un tercer aspecto que dificulta la evaluación de los beneficios se encuentra relacionado con la materialización de cada proyecto en el tiempo, ya que una vez identificadas las posibles soluciones, el Plan Director debe considerar una priorización de cada uno de ellos, planificando su incorporación al corto, mediano o largo plazo. Lo anterior implica que la evaluación de beneficios para los proyectos de mediano y largo plazo no tendrían en cuenta las condiciones futuras derivadas de la materialización del conjunto de proyectos de corto plazo. En efecto, la evaluación económica de proyectos de mediano y largo plazo dependería de una situación base hipotética, estimada a partir de supuestos basados a su vez en otros supuestos.

Tomando en cuenta los antecedentes anteriormente expuestos, se recurrió a un indicador económico que junto a los indicadores que posibilitan filtrar los proyectos, permitiera realizar una comparación directa entre los proyectos individuales para un mismo sector productivo, considerando que los beneficios unitarios esperados son similares para estos proyectos, y por lo tanto irrelevantes para los fines de su priorización. De este modo, los proyectos legal y ambientalmente factibles que podrían ser interesantes de incluir en un portafolio de proyectos individuales de corto plazo pueden ser ranqueados previo a considerar su rentabilidad propia o a combinarlos para lograr una rentabilidad global.

Por las razones anteriores se eligió la metodología que se usa para la evaluación de proyectos sanitarios, la cual considera sólo el monto de las inversiones y la producción de agua, mediante la evaluación del costo medio de incrementar la producción al considerar la construcción de obras que permiten satisfacer total o parcialmente la demanda no satisfecha. Este indicador recibe el nombre de Costo Incremental Medio (CIM).

Este indicador refleja los costos aproximados de mediano plazo, sirviendo como orientación para las decisiones de inversión. El indicador reparte los costos de inversión en el período de análisis y toma en cuenta los distintos niveles de utilización de la capacidad de las obras, mediante la actualización de los volúmenes anuales producidos. En general, hablando en términos relativos un CIM alto refleja un proyecto no adecuado en relación al programa de inversiones y sus resultados.

El CIM se calcula empleando una moneda de valor constante, suponiendo que no hay inflación en la economía. De esta manera, los costos de inversión serían recuperados si se aplicará una tarifa por lo menos igual al CIM durante un lapso igual al período de análisis del proyecto.

Para el análisis efectuado en el presente estudio, se calculó el CIM para las distintas alternativas analizadas a fin de poder compararlas y seleccionar las más convenientes desde el punto de vista de los costos de inversión. Para su cálculo y siguiendo lo señalado en su definición, en el numerador se incluye la suma actualizada de la inversión y costos de operación durante el período de análisis. Por otra lado, el denominador contiene la suma actualizada de los volúmenes incrementales anuales producidos por el proyecto.

De acuerdo a esta metodología, el CIM se calcula a partir de la siguiente relación.

$$\text{CIM} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{\text{Inversión} + \text{Operación}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{\text{Volumen de Producción Anual}}{(1+r)^t}} \quad (\$/m^3)$$

en que:

T: período de análisis  
r: tasa de descuento

El período de análisis considerado es de 35 años, de acuerdo al procedimiento establecido por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para proyectos de agua potable.

La tasa de descuento a utilizar en la evaluación, corresponde a la tasa de interés del capital para la empresa sanitaria correspondiente de acuerdo a la normativa, que en el caso de Arica es ESSAT. Conforme a información obtenida en MIDEPLAN, esta tasa actualmente es de 9,16% para todas las empresas sanitarias.

Por último, cabe señalar que con la finalidad de contar con un índice de referencia, que permita realizar comparaciones entre los distintos proyectos destinados a un mismo uso, se ha considerado razonable utilizar la metodología descrita también para los proyectos que componen los programas de abastecimiento de agua para riego y los de uso múltiple, considerándose para estos casos una tasa de descuento de 12%, usual para este tipo de proyectos. Por otra parte, en el entendido que este indicador representa un valor medio para recuperar la inversión por unidad de volumen producido, a partir de este punto recibirá el nombre de Valor Medio de Recuperación de la Inversión por Unidad de Volumen Producido (VMRI).

Se estima conveniente también incorporar antecedentes del costo real actual de la producción de agua y de la energía eléctrica, de manera de contar con una base referencial para los resultados obtenidos.

Al respecto, se realiza un análisis comparativo entre los valores del VMRI y costos actuales de producciones, para lo cual se utilizan los antecedentes del proyecto de extracción de agua en los pozos de la zona baja del río Lluta, desarrollado por ESSAT, el costo del agua de riego del canal Azapa y el costo del agua proveniente de los pozos del valle de Azapa. Asimismo en lo que respecta a la energía eléctrica se usa como referencia el costo marginal de la energía del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Los valores de referencia descritos, conforme a los antecedentes que dispone este Consultor, corresponden a: \$/m<sup>3</sup> 204,5 para el agua potable; \$/m<sup>3</sup> 30 y 50 para el agua del canal Azapa y los pozos del valle, respectivamente; y US\$/kWh 0,030 para la energía.

Por otra parte, a fin de tomar en cuenta la dinámica que presenta el mercado eléctrico, en donde las tarifas actuales debieran tender a bajar producto de la construcción de nuevas centrales termoeléctricas, se utilizan como valor de referencia para las evaluaciones las tarifas eléctricas que ESSAT ha negociado con EDELNOR (1997), y también los valores vigentes a la fecha de realización del Plan de Desarrollo de ESSAT (1995).

Por último, en los proyectos hidroeléctricos, no se considera la inclusión de los costos de transmisión de la energía, ya que si el VMRI del proyecto es mayor al costo marginal de la energía, el proyecto no es interesante desde el punto de vista hidroeléctrico. Si resultara menor, habría que recurrir a un modelo de simulación que permitiera considerar aspectos más específicos tales como flujo de energía, dirección y ubicación de los centros de consumo en relación a la central y también al punto de distribución del SING.

#### a) Costos de Operación

Los costos de operación considerados para la evaluación de los flujos anuales, corresponden a gastos en personal, energía e insumos requeridos para el funcionamiento de los sistemas.

Para evaluar los costos asociados al uso de energía, se ha considerado que en conformidad a la normativa tarifaria vigente, y dado que el uso de energía eléctrica es continuo, corresponde aplicar una tarifa de tipo AT3 que considera un bajo costo de energía, contra un valor alto de la potencia eléctrica instalada. Los valores de las tarifas eléctricas a emplear para el análisis, de acuerdo a lo indicado anteriormente, se presentan en la Tabla 5.1.

#### b) Costo de Mantenimiento

El costo anual de mantenimiento de las obras del proyecto se ha estimado equivalente al 0,5% del valor de la inversión para el caso de obras civiles y en un 2% en el caso de equipos. Para el caso de las obras necesarias para generación hidroeléctrica se ha considerado un costo de mantenimiento equivalente al 1% del valor de las obras.

**Tabla 5.1 Tarifas Eléctricas Mensuales**

CARGO	AÑO	
	1995 (1)	1997 (2)
Fijo (UF)	1,93064	0,15141
Potencia Demandada (UF/kW)	0,58816	0,09226
Energía Demandada (UF/kWh)	0,00247	0,00168

Nota: (1) ESSAT-ICSA, (1995)

(2) Tarifas Negociadas por ESSAT, (1997)

### c) Costo de Ingeniería e Inspección

Se ha considerado como costo del proyecto la ingeniería e inspección requerida para desarrollar cabalmente los proyectos en su fase de diseño y materialización respectivamente. Dicho monto se ha estimado equivalente a un 10% del costo total de las obras.

### d) Base de Precios

Para los fines del análisis, el nivel de precios vigente corresponde al 1º de abril de 1997. Las equivalencias consideradas para las monedas es la siguiente:

UF 1 = \$ 13.495,31

US\$ 1 = \$ 415,69

## 5.2.2 Criterio de Evaluación Legal o de Implicancia Internacional

A cada una de las alternativas de solución se le efectuó un análisis desde el punto de vista legal, o de implicancia internacional, con el objeto de determinar las dificultades que pudieran existir para su materialización y de existir, la forma de resolver dichas dificultades.

El análisis fue realizado considerando los antecedentes, tanto del diagnóstico efectuado en el presente estudio como de antecedentes complementarios relativos a recursos hídricos compartidos internacionalmente, necesarios para el análisis. Como una forma de sintetizar lo expresado en el análisis se ha definido un indicador cualitativo de factibilidad legal o de implicancia internacional. Este indicador puede señalar que las condiciones del proyecto son legalmente factibles (LF), tratarse de Recursos Hídricos Compartidos (RHC) que necesitan de negociaciones especiales, o con impedimento legal (IL).

El primer indicador de prefactibilidad legal, se refiere a todos aquellos casos que no presentan dificultades legales para su realización en el corto plazo. Requiere que los procedimientos legales necesarios estén definidos en la legislación actual, sin requerir de ningún tipo de acción especial para poder realizarlo que no sea seguir un procedimiento ya establecido. El caso de las RHC se refiere a la naturaleza de este recurso, que influye en la decisión de su uso.

El indicador de proyectos legalmente infactibles, se refiere a todos aquellos casos en los que se requiere aclarar aspectos legales del proyecto en forma previa para poder realizarlos. Tal es el caso de proyectos en los que existe un dictamen previo que impide su realización.

## 5.2.3 Criterio de Evaluación Ambiental Preliminar

La evaluación ambiental preliminar de los proyectos se realizó aplicando la metodología de evaluación de impactos establecida por la Unidad Técnica del Medioambiente (UTMA) del Ministerio de Obras Públicas.

Mediante dicha metodología se identifican y evalúan cualitativamente, a partir de los antecedentes disponibles, los posibles impactos que se podrían producir en las etapas de construcción y operación del proyecto. Al mismo tiempo se definen las posibles medidas de mitigación que podrían implementarse para minimizar los efectos negativos.

A fin de sintetizar los resultados del análisis ambiental preliminar se ha definido un indicador cualitativo de factibilidad ambiental. Este indicador puede señalar dos condiciones del proyecto: ambientalmente factible (AF) o ambientalmente no-factible (ANF).

El indicador de proyecto ambientalmente factible (AF) se aplica a aquellos casos en que no se han identificado impactos ambientales negativos de importancia durante las etapas de construcción y operación, y a los que es posible aplicarles medidas de mitigación más o menos evidentes que tiendan a minimizar efectos adversos. También se aplica a aquellos casos en los que existiendo impactos negativos, estos pueden ser mitigados en el tiempo mediante medidas o acciones razonables.

Lo anterior supone implícitamente, que una vez hecho el balance entre los distintos efectos o impactos que genera el proyecto, el saldo será favorable respecto de aquellos de tipo positivo o a lo sumo similar magnitud. De lo contrario, es decir un balance con saldo evidentemente negativo, equivale a suponer que el proyecto genera un deterioro ambiental no controlable o de una magnitud tal que no resulta aceptable para el ecosistema analizado.

La última situación descrita, se ha definido a través del indicador de proyectos no-factibles (ANF), el cual se aplica a aquellos en los que según lo expuesto existiría un deterioro ambiental significativo en alguno de los componentes del área de influencia.

### 5.3 ANALISIS DE LA EVALUACION DE LOS PROYECTOS

En este acápite se sintetizan los resultados obtenidos en la evaluación técnico-económica, legal y ambiental de los proyectos identificados en el acápite 5.1. Estos resultados se presentan separadamente para las distintas categorías de programas, esto es, estructurales, no-estructurales y combinados.

#### 5.3.1 Programas Estructurales

Los resultados se han ordenado en una matriz para cada programa en la cual la primera columna identifica el proyecto y en las siguientes se consignan los indicadores de caudal medio producido y/o energía media generada, inversión requerida, Valor Medio de Recuperación de la Inversión asociados a la producción del agua y/o energía y los indicadores de prefactibilidad legal y ambiental. Cada fila de la matriz contiene para cada programa la identificación del proyecto y los indicadores de factibilidad correspondientes. En el caso del programa de protección de riberas, no se presenta VMRI ya que no existe producción de agua o energía eléctrica. Adicionalmente, para los proyectos que involucran aumento en el agua potable se indica la población abastecida y en los de riego la superficie que se vería beneficiada con el agua suministrada.

Los resultados de la evaluación se presentan en las Tablas 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6, los sectores agua potable, recarga del acuífero, protección de riberas, riego y uso múltiple, respectivamente.

**Tabla 5.2 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad  
Programa Mejoramiento Abastecimiento de Agua Potable**

Proyecto	Caudal Producido (l/s) (2)	Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión (\$/m <sup>3</sup> )		Factibilidad Legal	Factibilidad Ambiental	Población Abastecida (hab) (4)	
			Tarifa (3)					
			1995	1997				
Captación Recursos Superficiales desde la cuenca del Río Caquena (AP1)	Alt. AP1a	235	2.099,8	539,8	539,8	RHC	AF	43.490
	Alt. AP1b	529	4.337,4	553,3	539,8	RHC	AF	97.900
	Alt. AP1c	707	5.357,7	620,8	607,3	RHC	AF	130.843
	Alt. AP1d	876	6.312,1	688,3	674,8	RHC	AF	162.118
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca (AP2)	490	2.730,5	407,8	379,3	LF	AF	90.682	
Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca (AP3)	256	2.338,8	688,2	634,3	RHC	AF	47.377	
Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia (AP4)	100	333,7	421,3	401,8	LF	AF	18.506	
Desalinización de Agua de Mar (AP5)	350	2.198,3	1.008,5	920,5	LF	AF	64.773	
Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará (AP6)	450	2.484,4	399,6	381,8	IL	ANF	83.280	
Mejoramiento de la Red de Distribución del Agua Potable (AP7)	40 % (1)	40	121,3	272,2	272,2	LF	AF	7.402
	50 % (1)	50		217,8	217,8			9.253
	60 % (1)	60		181,5	181,5			11.104

- (1): Porcentaje de reducción de pérdidas considerado  
 (2): Corresponde al efluente de la planta de tratamiento, definido para el periodo de previsión de las obras  
 (3): Considera para la evaluación de los costos de energía eléctrica las tarifas contratadas por ESSAT en los años indicados  
 (4): Corresponde a la población equivalente abastecida calculada con una dotación de consumo de 326,8 l/hab/día, correspondiente al valor definido en el Plan de Desarrollo de ESSAT

**Tabla 5.3 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad  
Programa de Uso Múltiple para la  
Recarga del Acuífero**

Proyecto	Caudal Producido (l/s) (1)	Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión (\$/m <sup>3</sup> )		Factibilidad Legal	Factibilidad Ambiental	
			Tarifa (2)				
			1995	1997			
Infiltración de Crecidas en Río San José (RA1)	Alt. RA1a	8	436,2	3.952,6	3.943,8	LF	AF
	Alt. RA1b	43	1.045,2	3.209,6	3.202,9	LF	AF
	Alt. RA1c	7	155,4	1.939,6	1.870,1	LF	AF
Tratamiento y Reuso de Aguas Servidas para Recarga Acuífero (RA2)	360	2.188,7	726,3	673,5	LF	AF	

- (1): Corresponde al caudal a extraer desde el acuífero  
 (2): Considera para la evaluación de los costos de energía eléctrica las tarifas controladas por ESSAT en los años indicados

**Tabla 5.4 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa de Protección y Estabilización de Riberas**

Proyecto	Inversión (Miles UF)	Factibilidad Legal	Factibilidad Ambiental
Defensas Fluviales en Río San José (PR1)	219,6	LF	AF

**Tabla 5.5 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa Mejoramiento de Agua para Riego**

Proyecto	Caudal Producido (l/s) (1)	Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión				Seguridad de Riego (%) (3)	Factibilidad Legal	Factibilidad Ambiental	Superficie Beneficiada (ha) (4)	
			\$/m <sup>3</sup>		(Miles \$/ha)						
			Tarifa (2)		Tarifa (2)						
			1995	1997	1995	1997					
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR1)	Alt. AR1a	150	348,0	205,9	187,8	1.836,0	1.674,6	90,8	LF	AF	2.600
	Alt. AR1b	190	358,0	170,0	155,9	1.515,9	1.390,2	93,5	LF	AF	2.600
	Alt. AR1c	280	525,8	150,1	141,5	1.338,4	1.261,8	99,1	LF	AF	2.600
Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR2)	Alt. AR2a	100	913,3	516,4	592,0	5.496,4	5.278,9	75,6	RHC	AF	2.600
	Alt. AR2b	150	934,2	337,2	421,0	3.898,4	3.754,0	79,2	RHC	AF	2.600
	Alt. AR2c	260	1.114,9	304,9	296,0	2.718,8	2.639,4	92,9	RHC	AF	2.600
Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR3)	Alt. AR3a	140	133,2	95,0	76,3	847,1	680,4	89,0	IL	ANF	2.600
	Alt. AR3b	180	143,2	77,4	63,1	690,2	562,7	91,4	IL	ANF	2.600
	Alt. AR3c	270	311,0	87,7	78,9	782,0	703,6	99,1	IL	ANF	2.600

- (1): Corresponde al caudal adicional promedio entregado para ser utilizado en riego  
 (2): Considera para la evaluación de los costos de energía eléctrica las tarifas contratadas por ESSAT en los años indicados  
 (3): Corresponde a seguridad de riego dada por el canal Azapa  
 (4): Considera que la superficie beneficiada con el agua de riego adicional, correspondiente a aquella que actualmente abastece el canal Azapa

Tabla 2.6 Síntesis de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad  
Programa de Uso Múltiple: Sectores Agua Potable e Hidroelectricidad

Proyecto		Producción Media			Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión					Factibilidad Legal	Factibilidad Ambiental	Población Abastecida (hab) (5)
		Caudal Potable (Us) (1)	Energía (GWh/año)			Agua Potable (\$/m <sup>3</sup> )			Energía (US\$/kWh)				
			Total (2)	Parcial (3)		Tarifa (4)		Energía Propia (3)	Total (2)	Parcial (3)			
						1995	1997						
Captación Recursos Superficiales desde Cuenca del Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad (UM1)	Alt. UM1a	235	20,0	20,0	2.319,0	539,8	539,8	539,8	0,065	0,065	RHC	AF	43.490
	Alt. UM1b	529	41,6	32,8	4.807,4	553,3	539,8	526,3	0,063	0,079	RHC	AF	97.900
	Alt. UM1c	707	53,3	40,8	6.085,7	620,8	607,3	580,3	0,093	0,119	RHC	AF	130.843
	Alt. UM1d	876	56,2	40,2	6.939,0	688,3	674,8	661,3	0,079	0,109	RHC	AF	162.118
Embalse Chironta Regulación Recursos Superficiales Río Lluta y Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad (UM2)	Alt. UM2a	360	-	-	6.446,7	742,3	742,3	-	-	-	RHC	AF	66.624
	Alt. UM2b	558	-	-	8.093,0	782,8	769,3	-	-	-	RHC	AF	103.267
	Alt. UM2c	678	-	-	9.203,3	850,2	833,2	-	-	-	RHC	AF	125.475
	Alt. UM2d	792	-	-	10.213,6	931,2	904,2	-	-	-	RHC	AF	146.573
	Alt. UM2e	360	108,5	108,5	9.326,7	742,8	742,3	742,3	0,122	0,122	RHC	AF	66.624
	Alt. UM2f	558	122,2	116,4	10.808,7	782,8	769,3	755,8	0,102	0,112	RHC	AF	103.267
	Alt. UM2g	678	129,7	120,6	11.666,4	850,2	823,2	809,7	0,089	0,099	RHC	AF	125.475
	Alt. UM2h	792	135,1	121,9	12.689,2	931,2	904,2	877,2	0,089	0,099	RHC	AF	146.573
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM3)	Alt. UM3a	-	14,9	11,3	348,0	-	-	-	-	-	LF	AF	-
	Alt. UM3b	-	12,9	9,8	358,0	-	-	-	-	-	LF	AF	-
	Alt. UM3c	-	19,9	18,1	525,8	-	-	-	-	-	LF	AF	-
Captación Recursos Superficiales Cuenca río Lauca para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM4)	Alt. UM4a	-	10,0	7,6	913,3	-	-	-	-	-	RHC	AF	-
	Alt. UM4b	-	8,9	6,9	934,2	-	-	-	-	-	RHC	AF	-
	Alt. UM4c	-	17,5	16,0	1.114,9	-	-	-	-	-	RHC	AF	-
Reuso de Aguas Servidas en Riego y Agua de Riego por Agua Potable (UM5)	Alt. UM5a	350	-	-	2.321,5	1.028,3	327,1	-	-	-	LF	AF	64.773
	Alt. UM5b	350	-	-	1.927,6	829,9	755,2	-	-	-	LF	AF	64.773
Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM6)	Alt. UM6a	-	-	-	502,1	-	-	-	-	-	LF	AF	-
	Alt. UM6b	77	-	-	947,1	377,7	377,7	-	-	-	LF	AF	20.245

- (1): Corresponde al efluente de la planta de tratamiento, definido para el período de previsión de las obras  
(2): Considera que la energía total producida se entrega al SING  
(3): Considera que la energía requerida para la operación de las obras se obtiene de la generación propia y que sólo el excedente se entrega al SING  
(4): Considera para la evaluación de los costos de energía eléctrica las tarifas contratadas por ESSAT en los años indicados  
(5): Corresponde a la población equivalente abastecida calculada con una dotación de consumo de 326,8 l/hab/día, correspondiente al valor definido en el Plan de Desarrollo de ESSAT

**Tabla 5.6 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad  
Programa de Uso Múltiple: Sector Riego**

Proyecto	Caudal Riego (l/s) (1)	Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión Agua Riego							Seguridad de Riego (%)	Superficie Beneficiada (ha) (4)
			(\$/m <sup>3</sup> )				(Miles \$/ha)				
			Tarifa (2)		Energía Propia (3)	Tarifa (2)		Energía Propia (3)			
			1995	1997		1995	1997				
Captación Recursos Superficiales desde Cuenca del Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad (UM1)	Alt. UM1a	-	2.319,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	Alt. UM1b	-	4.807,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	Alt. UM1c	-	6.085,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	Alt. UM1d	-	6.939,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Embalse Chironta Regulación Recursos Superficiales Río Lluta y Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad (UM2)	Alt. UM2a	420	6.446,7	356,3	356,3	-	3.177,1	3.177,1	-	85,0	2.220
	Alt. UM2b	422	8.093,0	301,0	301,0	-	2.684,0	2.684,0	-	85,0	2.220
	Alt. UM2c	449	9.203,3	272,6	272,6	-	2.430,8	2.430,8	-	85,0	2.220
	Alt. UM2d	474	10.213,6	257,8	257,8	-	2.298,8	2.298,8	-	85,0	2.220
	Alt. UM2e	420	9.326,7	256,3	356,3	356,3	1.685,3	1.685,3	1.685,3	85,0	2.220
	Alt. UM2f	422	10.808,7	301,0	301,0	301,0	1.358,1	1.358,1	1.358,1	85,0	2.220
	Alt. UM2g	449	11.666,4	272,6	272,6	272,6	1.238,6	1.238,6	1.238,6	85,0	2.220
	Alt. UM2h	474	12.689,2	257,8	257,8	257,8	1.174,4	1.174,4	1.174,4	85,0	2.220
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM3)	Alt. UM3a	150	348,0	205,9	187,8	173,0	1.836,0	1.674,6	1.542,6	90,8	2.600
	Alt. UM3b	190	358,0	170,0	155,9	145,4	1.515,9	1.390,2	1.296,5	93,5	2.600
	Alt. UM3c	280	525,8	150,1	141,5	136,8	1.338,4	1.261,8	1.219,8	99,1	2.600
Captación Recursos Superficiales Cuenca río Lauca para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM4)	Alt. UM4a	100	913,3	616,4	592,0	576,2	5.496,4	5.278,9	5.138,0	75,6	2.600
	Alt. UM4b	150	934,2	437,2	421,0	411,1	3.898,4	3.754,0	3.665,7	79,2	2.600
	Alt. UM4c	260	1.114,9	304,9	296,0	291,8	2.718,8	2.639,4	2.602,0	92,9	2.600
Reuso de Aguas Servidas en Riego y Agua de Riego por Agua Potable (UM5)	Alt. UM5a	360	2.321,5	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	47,3	2.600
	Alt. UM5b	360	1.927,6	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	47,3	2.600
Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM6)	Alt. UM6a	178	502,1	406,8	406,8	-	3.627,4	3.627,4	-	88,7	2.700
	Alt. UM6b	140	947,1	353,3	353,3	-	3.150,4	3.150,4	-	85,0	2.600

(1): Corresponde al caudal adicional promedio entregado para ser utilizado en riego  
(2): Considera para la evaluación de los costos de energía eléctrica las tarifas contratadas por ESSAT en los años indicados  
(3): Considera que la energía requerida para la operación de las obras se obtiene de la generación propia y que sólo el excedente se entrega al SING  
(4): Considera que la superficie beneficiada con el agua de riego adicional corresponde a aquella que actualmente abastece el canal Azapa o al área total del valle del Lluta

### 5.3.2 Programa No-Estructural

En la Tabla 5.7 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación a nivel de prefactibilidad, del programa no-estructural propuesto.

**Tabla 5.7 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa No-Estructural**

Proyecto		Costo del Proyecto (Miles UF)
Manejo de Cauces (NE1)		14,1
Organización de Usuarios (NE2)		5,5
Estudio del Proceso de Salinización del Acuífero y Mejoramiento del Uso de Agua para Riego (NE3)		4,6
Estudios de Investigación (NE4)	Est. Ecológico Lago Chungará	6,6
	Cuantificación Rec. Hídricos	28,1
	Estudio de Infiltración en el Valle de Azapa	3,6
	Modelo de Pronóstico y Sistema de Alerta de Crecidas	3,0
Difusión sobre Ahorro del Consumo de Agua (NE5)		2,7

### 5.3.3 Resultados del Análisis del Programa Combinado

En forma similar al acápite precedente, en la Tabla 5.8 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación a nivel de prefactibilidad de los proyectos combinados propuestos. No se presenta costo de la implementación de los proyectos de las redes de medición de niveles, calidad de aguas y sedimentometría, dado que la operación de estas redes está incluida en el presupuesto ordinario de la DGA.

**Tabla 5.8 Matriz de Resultados de la Evaluación de Prefactibilidad Programa Combinado**

Proyecto	Costo (Miles UF)
Programas de mejoramiento red hidrometeorológica (PC1)	6,6
Programa de mejoramiento red fluviométrica (PC2)	4,2

### 5.3.4 Comentarios a la Evaluación Realizada

El conjunto de proyectos que se ha presentado provee de una visión completa de las diversas alternativas que es posible considerar para dar solución al déficit hídrico del valle del río San José. A su vez, al contar cada uno de ellos con los indicadores de factibilidad se conforma una cartera o portafolio de inversiones alternativas, según los distintos usos posibles y actores involucrados.

Debe tenerse presente que cada sector asociado a un uso dado, tendrá orientaciones distintas para su inversión, por lo cual su interés y expectativas pueden ser también diferentes. Por ejemplo, en el caso del sector sanitario (agua potable) se esperaría que su orientación sea de tipo social, en contraposición a lo que puede

esperarse de sectores agrícolas o generadores eléctricos, donde el objetivo de la inversión es netamente lucrativo. La situación se torna más compleja de prever en el caso de que se formen asociaciones de sectores para emprender inversiones con fines de uso múltiple, ya que no sólo puede esperarse que intervengan en la decisión los aspectos económicos señalados, sino otros, como por ejemplo de una naturaleza más política.

Otro aspecto que debe tenerse presente respecto de los resultados obtenidos del análisis de prefactibilidad realizado, se encuentra relacionado con la necesidad de que a partir de los antecedentes aportados en esta etapa, procede desarrollar una fase posterior de análisis con afinamientos técnicos y análisis de sensibilidad, que permitan llevar aquellos proyectos más atractivos a un nivel de factibilidad.

Respecto del análisis efectuado, se debe indicar que existen proyectos que presentan restricciones de que impedirían su ejecución a corto plazo. Ellos corresponden a aquellos que usan recursos superficiales de cauces compartidos internacionalmente, como es el caso de los ríos Lauca, Caquena y Uchusuma. Adicionalmente, se deben agregar los proyectos que contemplan el aprovechamiento de los recursos superficiales del Lago Chungará, en donde se presentan impedimentos de tipo legal que se fundamentan en restricciones ambientales. Dado lo anterior, no se considerarán en los análisis posteriores los proyectos estructurales AP1, AP3, AP6, AR2, AR3, UM1, UM2 y UM4.

En relación a los proyectos que contemplan el aprovechamiento de las aguas servidas y la desalinización de agua de mar, se debe indicar que requieren de grandes inversiones, lo que se traduce en altos costos incrementales (proyectos estructurales AP5, RA2 y UM5). Una situación similar se observa en el caso del proyecto de infiltración de crecidas (RA1), el cual presenta los mayores costos incrementales y la menor producción de agua dentro del portafolio de proyectos analizados.

Al considerar dentro de los proyectos restantes lo que tienen por objetivo el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Arica, sólo en el caso que se evalúa el mejoramiento de la red de distribución (proyecto AP7), tiene costos incrementales medios similares a los de los proyectos que a la fecha de ejecución de este estudio se encuentra implementando ESSAT (sondajes en acuífero costero del río San José y planta desalinizadora más pozos en el río Lluta). En los otros proyectos analizados (AP2 y AP4), el valor de dicho indicador prácticamente duplica a los obtenidos para los proyectos en ejecución mencionados.

En forma análoga a lo anteriormente planteado, en el caso de los proyectos que consideran el aprovechamiento de agua de riego (proyectos AR1 y UM6), los costos incrementales obtenidos resultan 2 a 3 veces superiores, respecto de los que actualmente se tienen al extraer el agua desde el acuífero del valle de Azapa. Adicionalmente se requeriría efectuar altas inversiones.

Respecto del análisis efectuado al considerar distintas tarifas de suministro de energía eléctrica se debe hacer notar que tanto en los proyectos de abastecimiento de agua potable como los de riego, no se obtienen variaciones importantes en los costos incrementales. Ello se debe a que estas tarifas sólo influyen en los costos de operación de las obras, y a que en la mayoría de los proyectos analizados prima la componente asociada a la inversión.

Por otro lado, en las alternativas en donde se evaluó la incorporación de la componente de generación hidroeléctrica, los costos incrementales medios obtenidos para la producción de energía, resultan ampliamente superiores a los del costo marginal del SING, razón por la cual no se justificaría la ejecución que obras que involucren la construcción de centrales hidroeléctrica (proyectos UM1, UM2). La excepción la contribuyen aquellos proyectos que consideran utilizar la capacidad instalada ociosa de la central Chapiquiña, por cuanto no sería necesario efectuar nuevas inversiones (proyectos UM3 y UM4).

## **CAPITULO 6**

### **PLAN DIRECTOR DE LA CUENCA DEL RIO SAN JOSE**

## **6. PLAN DIRECTOR DE LA CUENCA DEL RIO SAN JOSE**

### **6.1 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PLAN DIRECTOR**

#### **a) Objetivos Generales**

Con el fin de encarar los principales problemas identificados en el diagnóstico, a raíz de la escasez de los recursos hídricos de la cuenca del río San José, se ha planteado como objetivo general del presente estudio recopilar, evaluar, analizar y ordenar las distintas iniciativas y proposiciones de solución generadas tanto en estudios anteriores como aquellas surgidas durante el desarrollo del presente estudio. Este esfuerzo tiene como meta jerarquizar y priorizar las diversas acciones identificadas, de modo de constituir un Plan Director de los recursos hídricos de esta cuenca. Para ello se han empleado tanto criterios técnico-económicos como legales y ambientales, definiendo planes de corto/mediano y largo plazo. En estos planes quedan plasmadas las proposiciones de secuencias de acción, debidamente ordenadas, las cuales se traducen en programas y proyectos específicos a ser implementados escalonadamente en el horizonte de desarrollo contemplado para el estudio. La implementación de alguna secuencia individual o de alguna combinación de las secuencias propuestas, permitiría en definitiva ir superando las restricciones al desarrollo económico y social en el valle del río San José, derivadas del déficit de sus recursos hídricos.

En el contexto de lo señalado, el Plan Director constituye una herramienta de planificación y gestión a nivel de cuenca que además supone diferentes escenarios de desarrollo y por lo mismo, tiene un carácter flexible y revisable a lo largo del tiempo.

La formulación del Plan Director considera, de manera específica, los siguientes aspectos en su desarrollo:

- Los problemas y conflictos detectados en la etapa de diagnóstico de los recursos hídricos en el valle.
- Las alternativas de solución, proyectos y acciones constituyentes de diversos programas para enfrentar los problemas y solucionar los conflictos relacionados con la gestión de los recursos hídricos en condiciones de escasez. De un modo especial, considera las alternativas de nuevas fuentes de agua para satisfacer la demanda actual y futura.
- La proposición de una metodología para la revisión y actualización periódica del Plan Director.
- El desarrollo e implementación de un sistema de base de datos que sirva de apoyo a la toma de decisiones.

El Plan Director propone una secuencia de acciones a ser implementadas de una manera planificada a lo largo del tiempo, y posee adicionalmente características tales que permiten su adecuación futura a nuevas e imprevistas situaciones locales. De esta forma se aumenta la vigencia del Plan, posibilitando su reformulación a lo largo del tiempo, si ello se hace necesario por cambios en los escenarios o condiciones específicas supuestas en su formulación.

#### **b) Objetivos Específicos**

Entre los principales objetivos de desarrollo identificados para la cuenca, en relación a la utilización de recursos hídricos, se pueden indicar los siguientes:

- i) Asegurar el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Arica.

- ii) Mejorar la seguridad de riego de los regantes del valle de Azapa tanto para los que se abastecen desde el canal Azapa como para los que utilizan los recursos subterráneos como complemento o en forma exclusiva.
- iii) Controlar las crecidas y mitigar las inundaciones provocadas por el río San José.
- iv) Evitar el continuo descenso de nivel y deterioro en calidad de los recursos subterráneos del valle de Azapa.

Sobre la base de los objetivos planteados, se ha definido un Plan de Acción de Corto/Mediano Plazo que tiene un horizonte de planificación circunscrito en principio a 15 años. Las acciones y proyectos que constituyen este plan han sido desarrolladas a nivel de factibilidad a partir de la información analizada en la etapa anterior del estudio, que aparece descrita en el Capítulo 5 del presente informe.

Seguidamente se ha definido un Plan de Acción de Largo Plazo, basado en las acciones y proyectos analizados y evaluados a nivel de prefactibilidad, también formando parte de la etapa anterior del estudio.

## 6.2 FORMULACION DEL PLAN DIRECTOR

### 6.2.1 Metodología

El Plan Director consideró para su formulación el conjunto de alternativas de solución del portafolio de proyectos analizados en el capítulo 5, así como los distintos escenarios posibles de desarrollo y la coordinación de las unidades ejecutoras o supervisoras de la implementación y marcha de los proyectos. En la Fig. 6.1 se presenta un esquema que ilustra la formulación general del Plan Director, mientras que en la Fig. 6.2 se muestran los elementos principales que lo integran.

Para formular el Plan Director, las alternativas estructurales que constituyen soluciones técnicas para superar el déficit hídrico del valle, se ordenaron empleando criterios de tipo técnico-económico, legales y ambientales. Dicho ordenamiento fue establecido luego de aplicar los procedimientos de selección cuyos contenidos y alcances se describen a continuación.

En primer término se efectuó una agrupación de las alternativas de solución a objeto de generar un listado de proyectos y acciones distinguiendo preliminarmente entre aquellos que presentan menos restricciones y que aparecen como más convenientes, de aquellas otras que se visualizan con limitaciones significativas. Para ello se emplearon los indicadores desarrollados en el estudio de prefactibilidad, considerando simultáneamente la factibilidad ambiental y la factibilidad legal.

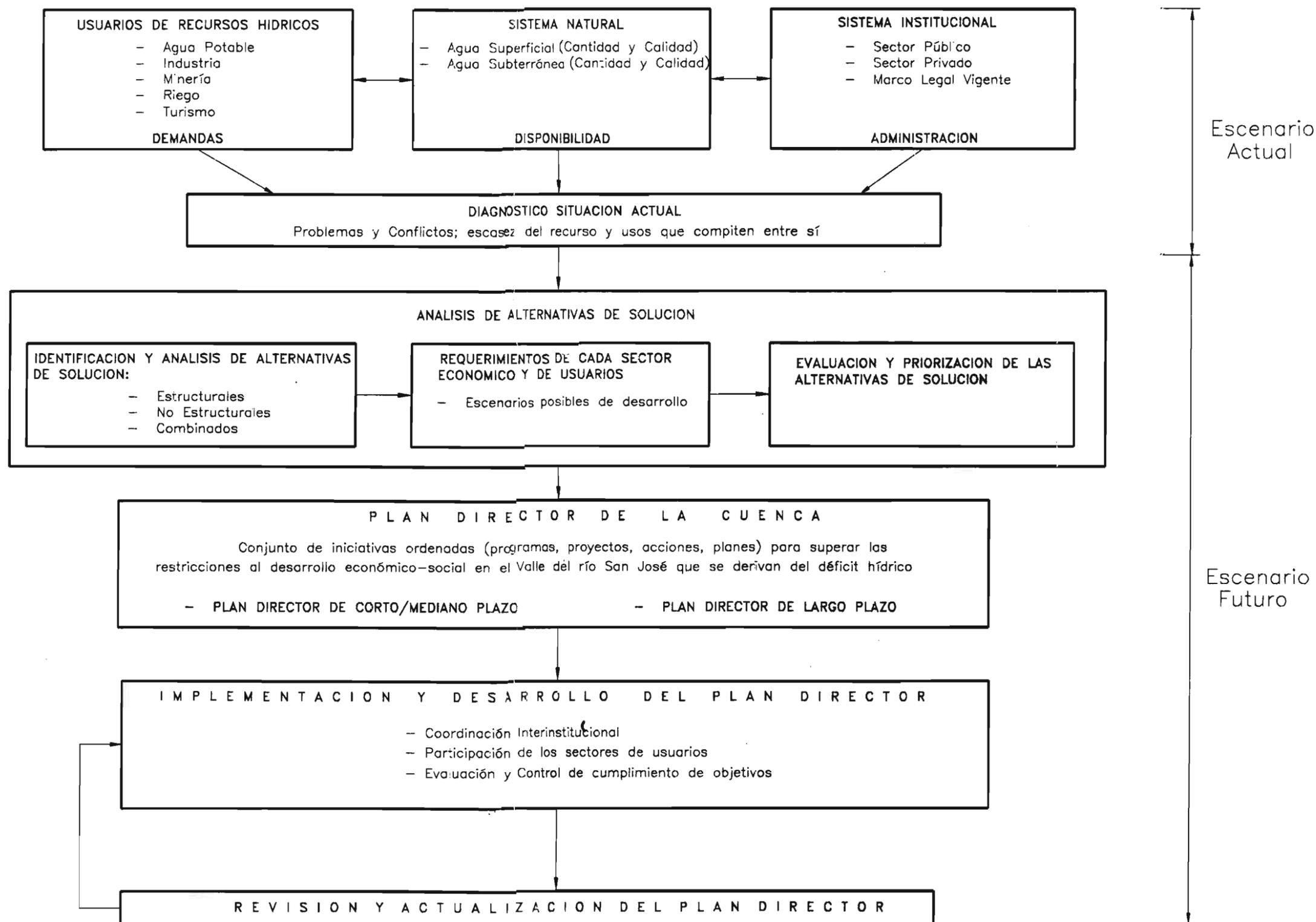
El procedimiento indicado se aplicó separadamente para las soluciones vinculadas a los diferentes usos del recurso, sean éstos asociados al riego o al agua potable y/o al control de crecidas.

De esta forma se identificó un primer grupo de proyectos ejecutables en un plazo definido como corto/mediano, que corresponden a los que no presentan ningún tipo de restricción legal o ambiental y que sólo requieren de la voluntad e interés de los usuarios para su ejecución, aceptando el marco legal y administrativo vigente. Todos los proyectos restantes, se consideraron ejecutables en el largo plazo.

Una vez efectuado el agrupamiento señalado, la atención se centró en el conjunto de soluciones de corto y mediano plazo (hasta 15 años), procediéndose a priorizar los proyectos de este conjunto según criterios de rentabilidad económica y de producción.

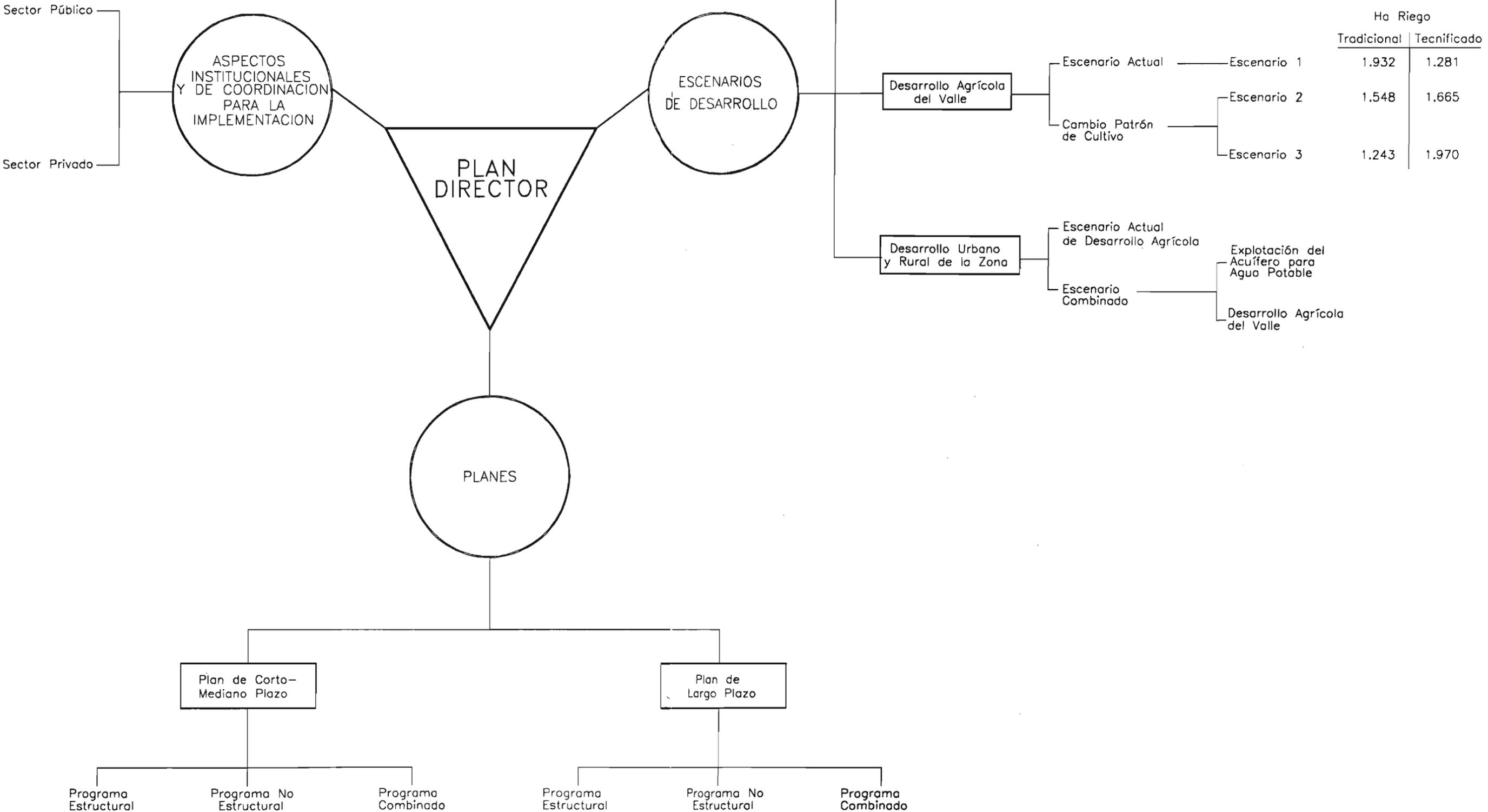
El paso siguiente consistió en la definición de la situación base o situación sin proyecto en relación a la cual se medirían los efectos de las soluciones a evaluar. Para ello se seleccionaron las variables que definen los escenarios posibles de desarrollo, para cada uno de los sectores productivos, definiendo luego los valores repre-

### DIAGRAMA DE LA FORMULACION GENERAL PLAN DIRECTOR



AC INGENIEROS CONSULTORES	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LA CUENCA DEL RIO SAN JOSE		
	DIAGRAMA DE LA FORMULACION GENERAL PLAN DIRECTOR	FECHA: JUNIO-1998	ESCALA: S/E

# COMPONENTES DEL PLAN DIRECTOR



		Ha Riego	
		Tradicional	Tecnificado
Escenario Actual	Escenario 1	1.932	1.281
	Escenario 2	1.548	1.665
	Escenario 3	1.243	1.970

<b>AC INGENIEROS CONSULTORES</b>	PROYECTO: <b>PLAN DIRECTOR PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LA CUENCA DEL RIO SAN JOSE</b>		
	COMPONENTES DEL PLAN DIRECTOR	FECHA: JUNIO-1998	ESCALA: S/E

sentativos del escenario actual. La situación base quedó representada por la situación actual proyectada, incluyendo los proyectos que estén en ejecución, dentro del horizonte de tiempo del Plan Director, y considerando que no se implementa ninguna medida de solución adicional.

A continuación se definieron los posibles escenarios de desarrollo para cada uno de los sectores productivos que son usuarios del agua del valle. Estos escenarios se establecieron a partir de valores definidos de las variables representativas, de manera que ello permita incorporar al análisis los posibles desarrollos futuros. Se consideraron dos situaciones que definen los respectivos escenarios para cada sector: uno favorable caracterizado por un uso moderado y racional de los recursos hídricos, y otro desfavorable, en el que se supone se mantiene un uso intensivo de estos recursos. Para el caso de proyectos combinados, que tienen efectos simultáneos sobre distintos sectores productivos, se consideraron combinaciones de los valores de las variables de escenario para cada sector.

Una vez definidos los escenarios posibles de desarrollo, se procedió a realizar el análisis económico de las alternativas de solución de corto/mediano plazo. Este consistió en la determinación de la rentabilidad privada y social de las soluciones, medida por los indicadores de VAN, TIR e IVAN a los flujos incrementales que resultan al comparar la situación con proyecto con la situación base o situación sin proyecto. Este análisis se realizó para cada uno de los escenarios definidos previamente.

El resultado del análisis anterior, además de justificar la inversión a través de los indicadores de rentabilidad, permite establecer un ordenamiento racional a lo largo del tiempo de las soluciones propuestas, constituyendo en definitiva un plan de inversiones.

A partir de todo lo anterior se realizó la formulación del plan de corto/mediano plazo del Plan Director, utilizando para ello los resultados obtenidos para cada escenario analizado, contrastándolos entre sí y escogiendo la o las alternativas de solución que responden en mejor forma a los requerimientos que imponen los escenarios planteados.

Seguidamente, se abordó la formulación del plan de largo plazo, realizando una evaluación similar a la indicada precedentemente, con la diferencia que en este caso los proyectos fueron evaluados a nivel de prefactibilidad.

Dado que el Plan Director constituye un importante instrumento de planificación y gestión para el aprovechamiento optimizado de los recursos hídricos de la cuenca, lo cual permitiría ir superando paulatinamente los problemas y las restricciones derivadas de la escasez de éstos, su internalización, implementación y uso en la región aparece como algo crucial. Para ello se ha estimado conveniente y necesario abordar como parte de la formulación integral del Plan, los aspectos de coordinación interinstitucional pública de modo de identificar los actores y acciones que permitirían que la región hiciera suyo el Plan, para que luego las autoridades regionales procedan a establecer los mecanismos para la puesta en marcha de las distintas iniciativas que allí se propone implementar.

### **6.2.2 Ordenamiento y Clasificación de Alternativas de Solución Estructurales y No-Estructurales**

A partir de los resultados obtenidos del análisis de alternativas de solución desarrollada en el Capítulo 5, se cuenta con la caracterización del universo de proyectos que se han planteado para resolver el déficit hídrico en la cuenca, agrupados en programas estructurales, no-estructurales y combinados, para los distintos usos del recurso.

Sobre la base de la caracterización anterior se cuenta con indicadores que permiten comparar proyectos de un mismo tipo, de manera de ordenarlos según distintos atributos. Dichos indicadores se refieren a la factibilidad legal, ambiental y económica, y también incluye la producción de agua asociada.

Considerando los indicadores de factibilidad legal y ambiental de los proyectos se agruparon en dos conjuntos, según presentaren o no restricciones desde estos puntos de vista. De acuerdo a ello se definió un primer grupo, que corresponde a los implementables en el corto/mediano plazo, teniendo en consideración que ellos son ejecutables con la institucionalidad vigente. En contraposición con el grupo anterior, se definió un segundo grupo de proyectos considerándolos de largo plazo, ya que requieren de modificaciones importantes en la institucionalidad y posiblemente de ciertos estudios o investigaciones (caso de restricciones ambientales) para poder lograr su implementación.

Seguidamente, cada grupo fue ordenado en forma independiente utilizando los restantes indicadores (económicos y de producción), lo cual permite identificar aquellos que resultarían más atractivos para su implementación más inmediata en un horizonte de previsión dado.

Conforme a lo anterior en la Fig.6.3 se presenta un diagrama que muestra los distintos proyectos que conforman los planes de corto/mediano plazo y de largo plazo para los distintos programas que componen el Plan Director, y en la Fig. 6.4 se muestra un plano de ubicación de los mismos.

Por otro lado, en las Tablas 6.1 a 6.4 se presenta, para el programa de soluciones estructurales, la priorización de los proyectos utilizando como criterios de ordenación, los indicadores económicos, como el valor medio de recuperación de la inversión (VMRI) e inversión inicial, además de los indicadores de producción que corresponden al caudal y/o energía producida según el tipo de proyecto analizado. A continuación en la Tabla 6.5 se consignan las inversiones requeridas para el proyecto estructural de defensas fluviales del río San José, las soluciones no-estructurales y las soluciones combinadas estructurales y no-estructurales analizadas en el presente estudio.

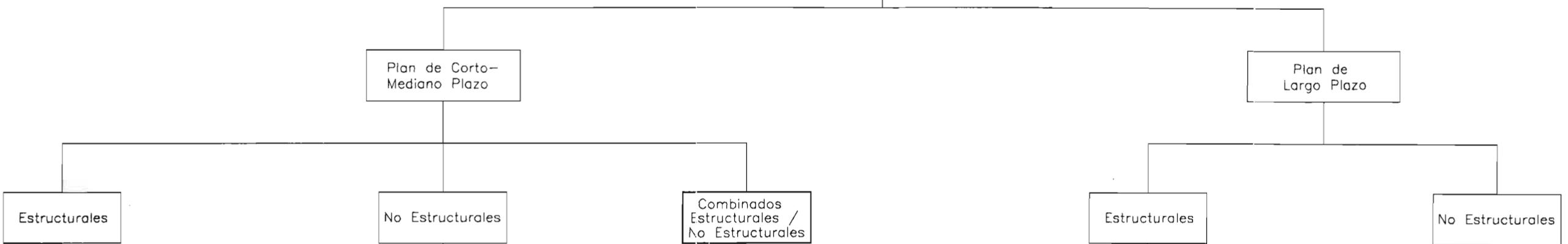
En el caso de los proyectos estructurales, la priorización propuesta se basa principalmente en el valor medio de recuperación de la inversión (VRMI) porque se trata de un indicador económico que se asociaría directamente a una tarifa de producción. Conforme a lo detallado en el Capítulo 5, los VRMI resultan mayores que las tarifas o costos en que deben incurrir actualmente los usuarios, y en la mayoría de los casos varias veces superiores. De este modo, va quedando claro, a través de este análisis, que las inversiones estructurales a ser realizadas para reducir o eliminar el déficit de agua en el valle se traducirían necesariamente en un aumento significativo de las tarifas o costos con respecto a lo que sucede en la actualidad.

**Tabla 6.1 Priorización de Proyectos del Programa Mejoramiento del Abastecimiento de Agua Potable**

Proyecto	Valor Medio de Recuperación de la Inversión (\$/m <sup>3</sup> )		Inversión (Miles UF) (3)	Caudal Producido (l/s)	Orden de Prioridad
	Tarifa (2)				
	1995	1997			
Mejoramiento de la Red de Distribución del Agua Potable (AP7)	40 % (1)	272,2	121,3	40	1
	50 % (1)	217,8		50	
	60 % (1)	181,5		60	
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca (AP2)	407,8	379,3	2.730,5	490	2
Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia (AP4)	421,3	401,8	333,7	100	3
Desalinización de Agua de Mar (AP5)	1.008,5	920,5	2.198,3	350	4

Notas: (1) Porcentaje Reducción de Pérdidas Considerado  
 (2) En los costos de energía se han considerado las tarifas contratadas por ESSAT en los años indicados  
 (3) Valor UF al 01/04/97 \$13.495,31

PLANES



MEJORAMIENTO ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE	
Mejoramiento de la Red de Distribución del Agua Potable	AP7
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca	AP2
Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia	AP4
Desalinización de Agua de Mar	AP5
MEJORAMIENTO ABASTECIMIENTO AGUA PARA RIEGO	
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa	AR1
USO MULTIPLE	
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad	UM3
Reuso de Aguas Servidas en Riego y Agua de Riego por Agua Potable	UM5
Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José Para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable	UM6
RECARGA DEL ACUIFERO	
Tratamiento y Reuso de Aguas Servidas para Recarga Acuífero	RA2
Infiltración de Crecidas en Río San José	RA1
CONTROL DE CRECIDAS Y MITIGACION DE INUNDACIONES	
Defensas Fluviales Cuenca Río San José	PR1

Manejo de Cauces	NE1
Organización de Usuarios	NE2
Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego	NE3
ESTUDIO E INVESTIGACIONES DE RECURSOS HIDRICOS	
Estudio de Infiltración en el Valle de Azapa	NE4
Caracterización del Régimen Hídrico	
Modelo de Pronóstico y Sistema de Alerta de Crecidas	
Programa Educativo sobre Ahorro del Consumo de Agua	NE5
Estudio Legal y Ecológico Incluyendo Acciones Necesarias para el Lavantamiento de Restricciones al uso de Recursos del Lago Chungará	NE6

Programas de Mejoramiento red Hidrometeorológicas	PC1
Programas de Mejoramiento red Fluviométrica	PC2

MEJORAMIENTO ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE	
Captación Recursos Superficiales desde Cuenca Río Caquena	AP1
Captación Recursos Superficiales Río Lauca	AP3
Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará	AP6
MEJORAMIENTO ABASTECIMIENTO AGUA PARA RIEGO	
Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa	AR2
Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa	AR3
USO MULTIPLE	
Captación Recursos Superficiales desde Cuenca Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad	UM1
Embalse Chironta Regulación Recursos Superficiales Río Lluta y Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad	UM2
Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad	UM4

Estudio Legal Incluyendo Acciones para la Utilización de Recursos Hídricos Internacionales Compartidos	NE7
--	-----

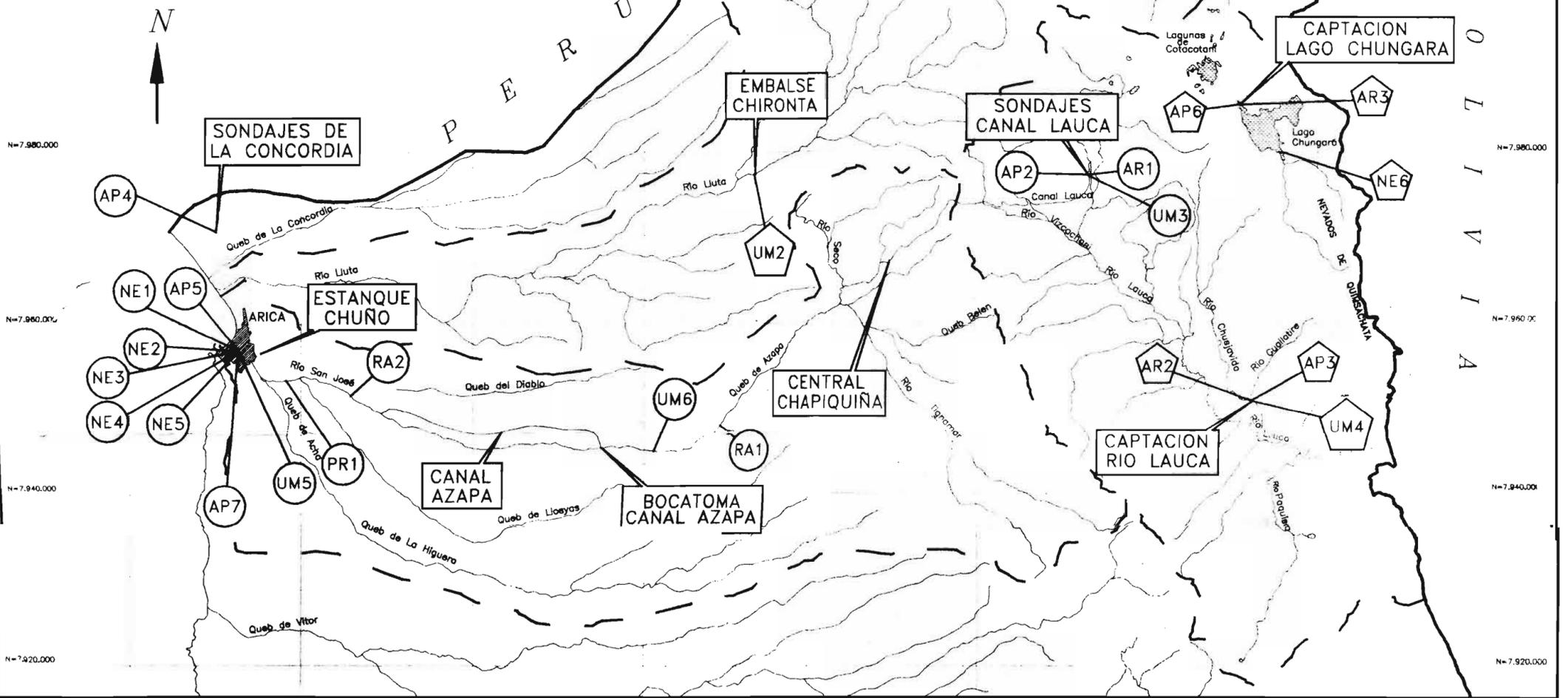
AC INGENIEROS CONSULTORES	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LA CUENCA DEL RIO SAN JOSE		
	PROYECTOS QUE CONFORMAN LOS PLANES DE CORTO/MEDIANO Y LARGO PLAZO	FECHA: JUNIO-1998	ESCALA: S/E

PROYECTOS Y ESCENARIOS DE EVALUACION PLAN DE CORTO/MEDIANO PLAZO

PROGRAMA	VARIABLE DE ESCENARIO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Mejoramiento Abastecimiento Agua Potable	Caudal extraído del Acuífero de Azapa (l/s)	503	463	365	345
	Combinación de Proyectos	AP7 + AP4 + AP2 + AP5			

PROGRAMA	VARIABLE DE ESCENARIO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Mejoramiento Abastecimiento Agua para Riego	Superficie Cultivada (ha)	Riego Tradicional: 1.932	Riego Tradicional: 1.548	Riego Tradicional: 1.293
		Riego Tecnificado: 1.281	Riego Tecnificado: 1.661	Riego Tecnificado: 1.970
	Proyecto	AR1	AR1	AR1
PROGRAMA: Control de Crecidas y Mitigación de inundaciones	Proyecto	PR1	PR1	PR1

PROGRAMA	VARIABLE DE ESCENARIO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
Uso Múltiple	Caudal extraído del Acuífero de Azapa (l/s)	345	345	345
	Superficie Cultivada (ha)	Riego Tradicional: 1.932	Riego Tradicional: 1.548	Riego Tradicional: 1.293
		Riego Tecnificado: 1.281	Riego Tecnificado: 1.661	Riego Tecnificado: 1.970
	Proyecto	UM7	UM7	UM7



PLAN DE CORTO-MEDIANO PLAZO

PROGRAMA	PROYECTO
Soluciones Estructurales	Mejoramiento Abastecimiento Agua Potable
	Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca (AP2)
	Habilitación y Construcción Sondajes Quebrada de La Concordia (AP4)
	Desalinización de Agua de Mar (AP5)
	Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable (AP7)
	Mejoramiento Abastecimiento Agua para Riego
	Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR1)
	Uso Múltiple en Riego e Hidroelectricidad
	Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM3)
	Uso Múltiple en Riego y Agua Potable
Reuso de Aguas Servidas en Riego y Agua de Riego por Agua Potable (UM5)	
Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM6)	
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM7)	
Recarga del Acuífero	
Infiltración Crecidas en Río San José (RA1)	
Tratamiento y Reuso de Aguas Servidas para Recarga Acuífero (RA2)	
Control de Crecidas y Mitigación de inundaciones	
Defensas Fluviales Cuenca Río San José (PR1)	
Soluciones No-Estructurales	
Manejo de Cauces (NE1)	
Organización de Usuarios (NE2)	
Estudio del Proceso de Salinización del Acuífero y Mejoramiento del Uso de Agua para Riego (NE3)	
Estudio de Investigación en la Cuenca (NE4)	
Programa Educativo y de Difusión sobre Ahorro del Consumo de Agua (NE5)	

PLAN DE LARGO PLAZO

PROGRAMA	PROYECTO
Soluciones Estructurales	Mejoramiento Abastecimiento Agua Potable
	Captación Recursos Superficiales desde la Cuenca del Río Caquena (AP1)
	Captación Recursos Superficiales Río Lauca (AP3)
	Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará (AP6)
Mejoramiento Abastecimiento Agua para Riego	Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR2)
	Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará y Mejoramiento de Canales Lauca y Azapa (AR3)
	Captación Recursos Superficiales desde Cuenca Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad (UM1)
	Embalse Chironta Regulación Recursos Superficiales Río Luján y Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad (UM2)
Uso Múltiple en Riego, Agua Potable e Hidroelectricidad	Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca para Aprovechamiento en riego e Hidroelectricidad (UM4)
Soluciones No-Estructurales	
Estudio Legal Incluyendo Acciones Necesarias para el Levantamiento de Restricciones al Uso de Recursos del Lago Chungará (NE6)	
Estudio Legal Incluyendo Acciones para la Utilización de Recursos Hídricos Internacionales Compartidos (NE7)	

SIMBOLOGIA	
PLAN DE CORTO-MEDIANO PLAZO	○
PLAN DE LARGO PLAZO	◡

AC INGENIEROS CONSULTORES  
UBICACION DE PROYECTOS Y ESCENARIOS DE EVALUACION

PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DE RIO SAN JOSE  
FECHA: JUNIO-1998  
ESCALA: 1:500.000  
FIGURA N.º: 6.4

**Tabla 6.2 Priorización de Proyectos del Programa  
Mejoramiento de Agua para Riego**

Proyecto		Valor Medio de Recuperación de la Inversión				Inversión (Miles UF)	Caudal Producido (l/s)	Seguridad de Riego (%)	Orden de Prioridad
		\$/m <sup>3</sup>		(Miles \$/ha)					
		Tarifa		Tarifa					
		1995	1997	1995	1997				
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR1)	Alt. AR1a	205,9	187,8	1.836,0	1.674,6	348,0	150	90,8	3
	Alt. AR1b	170,0	155,9	1.515,9	1.390,2	358,0	190	93,5	2
	Alt. AR1c	150,1	141,5	1.338,4	1.261,8	525,8	280	99,1	1

**Tabla 6.3a Priorización de Proyectos del Programa de Uso Múltiple: Sectores,  
Agua Potable e Hidroelectricidad-Indicadores de  
Agua Potable e Hidroelectricidad**

Proyecto		Producción Media			Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión					Orden de Prioridad
		Caudal Potable (l/s)	Energía (GWh/año)			Agua Potable (\$/m <sup>3</sup> )		Energía (US\$/kWh)			
			Total	Parcial		Tarifa		Energía Propia	Total	Parcial	
			1995	1997		Energía Propia	Total		Parcial		
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad (UM3)	Alt. UM3a	-	14,9	11,3	348,0		-	-	-	-	-
	Alt. UM3b	-	12,9	9,8	358,0	-	-	-	-	-	2
	Alt. UM3c	-	19,9	18,1	525,8	-	-	-	-	-	4
Reuso de Aguas Servidas en Riego y Agua de Riego por Agua Potable (UM5)	Alt. UM5a	350	-	-	2.321,5	1.028,3	327,1	-	-	-	7
	Alt. UM5b	350	-	-	1.927,6	829,9	755,2	-	-	-	6
Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM6)	Alt. UM6a	-	-	-	502,1	-	-	-	-	-	3
	Alt. UM6b	77	-	-	947,1	377,7	377,7	-	-	-	5

**Tabla 6. 3.b Priorización de Proyectos del Programa de Uso Múltiple: Sectores Riego, Agua Potable e Hidroeléctricidad-INDICADORES DE RIEGO**

Proyecto	Caudal Riego (l/s)	Inversión (Miles UF)	Valor Medio de Recuperación de la Inversión Agua Riego						Seguridad de Riego (%)	Superficie Beneficiada (ha)	Orden de Prioridad	
			(\$/m <sup>3</sup> )			(Miles \$/ha)						
			Tarifa		Energía Propia	Tarifa		Energía Propia				
			1995	1997		1995	1997					
Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa para Aprovechamiento en Riego e Hidroeléctricidad (UM3)	Alt. UM3a	150	348,0	205,9	187,8	173,0	1.836,0	1.674,6	1.542,6	90,8	2.600	3
	Alt. UM3b	190	358,0	170,0	155,9	145,4	1.515,9	1.390,2	1.296,5	93,5	2.600	2
	Alt. UM3c	280	525,8	150,1	141,5	136,8	1.338,4	1.261,8	1.219,8	99,1	2.600	1
Reuso de Aguas Servidas en Riego y Agua de Riego por Agua Potable (UM5)	Alt. UM5a	360	2.321,5	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	47,3	2.600	7
	Alt. UM5b	360	1.927,6	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	47,3	2.600	6
Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable (UM6)	Alt. UM6a	178	502,1	406,8	406,8	-	3.627,4	3.627,4	-	88,7	2.700	5
	Alt. UM6b	140	947,1	353,3	353,3	-	3.150,4	3.150,4	-	85,0	2.600	4

**Tabla 6.4 Priorización Proyectos del Programa de Uso Múltiple para la Recarga del Acuífero**

Proyecto		Valor Medio de Recuperación de la Inversión (\$/m <sup>3</sup> )		Inversión (Miles UF)	Caudal Producido (l/s)	Orden de Prioridad
		Tarifa				
		1995	1997			
Tratamiento y Reuso de Aguas Servidas para Recarga Acuífero (RA2)		726,3	673,5	2.188,7	360	1
Infiltración de Crecidas en Río San José (RA1)	Alt. RA1a	3.952,6	3.943,8	436,2	8	4
	Alt. RA1b	3.209,6	3.202,9	1.045,2	43	3
	Alt. RA1c	1.939,6	1.870,1	155,4	7	2

**Tabla 6.5 Programa de Soluciones Estructurales de Protección y Estabilización de Riberas y Programa de Soluciones No-Estructurales y Combinadas**

PROGRAMAS Y PROYECTOS		Inversión (miles UF)
<b>PROGRAMA DE SOLUCIONES ESTRUCTURALES DE DEFENSA CONTRA INUNDACIONES</b>		
Defensas Fluviales en río San José (PR1)		219,6
<b>PROGRAMA DE SOLUCIONES NO-ESTRUCTURALES</b>		
Manejo de Cauces (NE1)		18,9
Organización de Usuarios del Agua Subterránea y Superficial del Valle de Azapa (NE2)		26,0
Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego (NE3)		14,2
Estudios e Investigaciones de Recursos Hídricos (NE4)	Estudio de Infiltración en el Valle de Azapa	10,6
	Caracterización del Régimen Hídrico	11,7
	Modelo de Pronóstico y Sistema de Alerta de Crecidas	3,2
Campaña Educativa sobre Ahorro del Consumo de Agua (NE5)		3,0
Estudio Ecológico y Legal para el Levantamiento de las Restricciones del Uso del Lago Chungará (NE6)		42,0
Estudio Legal para Levantamiento de Restricciones para el Uso de Recursos Compartidos en Cuencas Compartidas (NE7)		5,00
<b>PROGRAMA SOLUCIONES COMBINADAS</b>		
Programa de mejoramiento red hidrometeorológica (PC1)		6,6
Programa de mejoramiento red fluviométrica (PC2)		4,2

En el siguiente acápite se presenta el análisis económico, a nivel de factibilidad, realizado para las soluciones arriba enumeradas.

### 6.2.3 Estudio de Factibilidad de Soluciones Estructurales de Corto/Mediano Plazo

#### a) Sector Agua Potable

##### a.1) Antecedentes Disponibles

Se dispone del estudio "Análisis Programa de Desarrollo de ESSAT", realizado por Bustamante y Schudeck Ing. Consultores Ltda, (1992), en el cual se presentan los costos a precios privados asociados a las inversiones en el sistema de abastecimiento de agua potable, requeridas en la construcción de redes secundarias y conexiones futuras; costos históricos de personal en que incurre el servicio de agua potable por conexión y por mes; costos históricos por concepto de mantención, materiales, administración y gastos generales; costos variables en energía y productos químicos requeridos por la empresa. Además, se entregan las tarifas vigentes hasta 1994, aplicables a la venta de agua y para nuevas conexiones. Estos costos fueron actualizados para ser usados en la evaluación económica del presente estudio.

En lo que respecta a los beneficios, se dispone del documento de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A., en el cual comunica a sus clientes las nuevas tarifas de agua potable y alcantarillado que se aplicarán a los consumos que se determinen de las lecturas realizadas a contar del 15 de junio de 1997. Estas tarifas se usaron para la evaluación de alternativas en la Situación Sin Proyecto (SSP) y situación Con Proyecto (SCP) analizadas en el presente estudio.

Los costos y tarifas mencionados son los que se presentan a continuación:

## i) Costos por inversión en nuevas redes y por nuevas conexiones

En la Tabla 6.6 se presentan los costos de inversión en nuevas redes, evaluados a partir de la indicado en el estudio de Bustamante y Schudeck, a los cuales se le agregó IVA (1 UF = \$7.971,77).

**Tabla 6.6 Costos de Inversión en Nuevas Redes**

Costo	B y S (\$/conex)	Actualizado (UF/conex)
Costo de redes por conexión	52.850	7,83
Costo de nueva conexión	31.500	4,66
Total	84.350	12,49

## ii) Costos de Personal y de Explotación

En la Tabla 6.7 se presentan los costos de personal y de explotación considerados, en el estudio citado anteriormente. Se supone un aumento del costo de personal, atribuible a un nuevo proyecto, equivalente al 50 % del costo histórico (\$ 2.957,3 conexión/año) lo que equivale a \$ 1.478,7 conexión/año, e igual a UF 0,245 conexión/año (1 UF = \$ 6.035,81).

Al igual que para el costo de personal, según Bustamante y Schudeck, el costo de explotación que es atribuible a nuevos proyectos, se considera igual a un 50% del histórico (\$ 2.958,9 conexión/año) lo que equivale a \$ 1.479,5 conexión/año que es igual a UF 0,245 conexión/año. Agregándole a este valor el 18 % de IVA resulta UF 0,289 conexión/año, con lo cual el costo total actualizado por concepto de personal y explotación asciende a UF 0,534 conexión/año.

**Tabla 6.7 Costo de Personal y Explotación (\$/conex/año)**

Costo	Personal	Explotación
Directo	1.885,4	1.886,4
Indirecto	1.071,9	1.072,5
Total	2.957,3	2.958,9

## iii) Costos Variables y Tarifas Vigentes desde el 15/6/97

Los costos variables corresponden según datos históricos a \$/m<sup>3</sup> 15,94 valor que actualizado (1UF=\$6.035,81) equivale a UF/m<sup>3</sup> 0,0026 y agregándole el IVA alcanza a UF/m<sup>3</sup> 0,0031.

En cuanto a las tarifas vigentes, se consideró como cargo variable el valor de \$/m<sup>3</sup> 256,62 consumido (s/IVA), equivalente a UF/m<sup>3</sup> 0,019 (1 UF = \$13.609,79). Como cargo fijo se adoptó un valor medio correspondiente a conexiones de 38 mm (promedio conexión habitacional 1½") de \$ 3.950 por conexión (s/IVA), equivalente a UF 0,290 por conexión.

## a.2) Definición de la Situación Base (Sin Proyecto)

De acuerdo a la metodología de MIDEPLAN empleada en este estudio, la situación sin proyecto corresponde a la situación base optimizada. Dentro de este contexto, en el estudio ICESA-ESSAT (1995), se presenta el diagnóstico de la situación actual del sistema de agua potable, la cual se caracteriza en los siguientes términos:

- El acuífero está siendo sobre-explotado debido a la necesidad de abastecimiento, por lo que los sondeos funcionan a máxima capacidad 24 hrs diarias.
- Las conducciones no presentan restricciones y se encuentran en buenas condiciones. A futuro se requieren obras de mejoramiento con el fin de optimizar la distribución del agua.
- Las plantas elevadoras se encuentran en buen estado, aunque la planta La Lisera opera con equipos antiguos.
- El estanque en Planta Azapa posee filtraciones que aconsejan su reemplazo.
- El estanque en cerro La Cruz se reemplazará por uno de hormigón armado de 500 m<sup>3</sup> y el Rosado se someterá a mejoramiento durante el período 96-97. El 2005 se deberá construir el estanque Bellavista de 5.000 m<sup>3</sup>.
- La red de distribución de 407.727 m está en general en buenas condiciones, con excepción de los sectores La Cruz y Pampa Nueva que requerirían de mejoramiento.
- Se requieren obras de refuerzo para soportar las presiones a que se ve sometida la red actual y bajo condiciones futuras.
- En relación a macromedición se contempla completar el sistema de medición de caudal el año 1996.
- El sistema de cloración, se encuentra en buen estado operacional.

El funcionamiento del sistema en la situación sin proyecto (SSP) consulta mantener en operación la captación existente y las que estén en desarrollo, considerando los mejoramientos que permitan elevar la eficiencia del actual sistema de agua potable. Asimismo se considera la mantención de equipos en sondeos y plantas elevadoras, mejoramientos concernientes a captación, conducciones, regulación y redes de distribución. Además se consulta la implementación de una primera etapa del programa de detección y reducción de fugas, para solucionar el problema de pérdidas de agua y reducir a un 35% el nivel de pérdidas actuales.

Se incluyen además en la SSP los proyectos actualmente en ejecución, que según la Memoria Anual de ESSAT S.A. al 31/03/97 son los siguientes:

- Pozos del Río Lluta Bajo y planta de tratamiento para agua potable, proyecto a desarrollar en etapas para obtener un caudal de agua tratada total de 450 l/s.
- Sondeos Costero Dulce (4 pozos), con un total de 90 l/s de agua potable a entregar en estanque de cerro Chuño.
- Estanque de Regulación de 5.000 m<sup>3</sup>

Los costos asociados a estas inversiones se presentan en la Tabla 6.8.

**Tabla 6.8 Inversiones en Proyectos de Agua Potable  
en Ejecución a 1997 (Millones \$)**

PROYECTO	1996	1997	1998	Total
Costero Dulce	622	106	0	728
Sistema Lluta Bajo	605	8.989	0	9.594
Costero Salado	19	0	345	364
Telemetría	0	97	0	97
Estanque y Alim. Sist. Bellavista	30	1.232	0	1.262
<b>TOTAL INVERSION ANUAL</b>	<b>1.276</b>	<b>10.424</b>	<b>345</b>	<b>12.045</b>

Nota: La ejecución del proyecto Costero Salado depende de los resultados del sistema Lluta Bajo.

### a.3) Identificación de Proyectos Factibles de Corto y Mediano Plazo

Los proyectos de nuevas fuentes para el abastecimiento de agua potable, identificados en el presente estudio como factibles a corto y mediano plazo corresponden a: Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable (AP7), Habilitación y Construcción Sondajes Canal Lauca (AP2), Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia (AP4), y finalmente la Desalinización de Agua de Mar (AP5).

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos proyectos, detallando las inversiones requeridas para su implementación. En el Anexo 8 se presenta el desarrollo detallado de cada proyecto.

#### i) Proyecto AP7: Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable

El proyecto, en la SSP, considera una reducción de pérdidas de agua potable en la red de distribución de la ciudad de Arica con lo cual el nivel de pérdidas totales se reduce desde un 41,9 % (1996) hasta 35 % (2000), y en la SCP desde 35 % (2000) hasta un 30 % al año (2005) en adelante. El caudal medio que se dejaría perder por la red a 1996, es del orden de 55 l/s, y al 2016 este caudal ascendería a un valor aproximado de 90 l/s. En la Tabla 6.9 se presentan las inversiones asociadas al proyecto AP7.

**Tabla 6.9 Inversiones Proyecto AP7 Mejoramiento de la Red de  
Distribución de Agua Potable**

Costo de Inversión	Miles UF
Reemplazo Tuberías	117,3
Reemplazo Válvulas y Grifos	3,8
<b>SUB- TOTAL</b>	<b>121,1</b>
10% Estudio de Ingeniería	12,1
<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>133,2</b>

El costo estimado en reemplazo de equipos para este proyecto AP7 alcanza las UF 60.650, mientras que el costo de mantención anual se estimó en un valor de UF 19.200. En la situación sin proyecto (SSP) se consideró un mejoramiento de la red, reduciendo las pérdidas hasta un 35 % al año 2000. En la situación con proyecto (SCP) se adoptó la etapa siguiente del proyecto que consiste en la reducción de pérdidas desde un 35 % a 30 % entre el año 2000 y año 2005 en adelante. Por lo tanto para la inversión y el costo de mantención asociado a la situación con proyecto (SCP) se consideró que el 50 % de los valores antes indicados corresponden a pérdidas por la red.

## ii) Proyecto AP2: Habilitación y Construcción Sondajes Canal Lauca

Este proyecto considera dos escenarios de producción de agua potable para entregar a estanques: el Escenario 1 con 117 l/s producidos a partir de 130 l/s de agua cruda y el Escenario 4 con 234 l/s producidos a partir de 260 l/s del agua cruda obtenida de sondajes. El número de sondajes máximo a construir sería de 5 para el Escenario 1, y 10 para el Escenario 4. No se contempla el empleo de los pozos existentes de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). Las inversiones, reemplazos de equipos y costos de operación del proyecto AP2 se presentan en la Tabla 6.10.

**Tabla 6.10 Inversiones Proyecto AP2 Habilitación y Construcción Sondajes Canal Lauca**

Costos de Inversión (Miles UF)	Escenario 1	Escenario 4
Construcción Sondajes	150,0	292,3
Planta Elevadora e Impulsión	56,1	75,3
Aducción a Planta Tratamiento	1.282,1	1.286,9
Planta Tratamiento	52,8	105,7
Aducción a Ciudad	121,6	138,8
SUB-TOTAL	1.663,0	1.898,9
10% Estudio de Ingeniería	166,3	189,9
TOTAL INVERSION	1.829,3	2.088,8
Costos de Reemplazo Equipos		122,5
COSTOS DE OPERACION (UF/m <sup>3</sup> )		
Costo Energía		0,00447
Costo Operación Planta		0,00174
Costo Personal		0,00015
Costo de Mantenimiento		0,00106

Cabe señalar que para el Escenario 4 de la situación con proyecto (SCP) se supuso que la ejecución del Proyecto AP2 se materializa en etapas, captándose en las dos primeras etapas un caudal de 130 l/s lo que equivale a 117 l/s de agua potable producida.

## iii) Proyecto AP4: Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia

Se estima una producción de agua potable de 100 l/s a partir de 125 l/s de agua cruda obtenido de 4 exploraciones existentes en la zona de la Quebrada de La Concordia las que están sujetas a aprobación previa por parte de la DIFROL. En las Tabla 6.11 se presentan las inversiones y costos de operación de este proyecto. Cabe señalar que este proyecto se realizaría en una sola etapa.

**Tabla 6.11 Inversiones Proyecto AP4. Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia**

Costos de Inversión (Miles UF)	
Habilitación Sondajes, Impulsión, Estanque	37,5
Planta Elevadora, Impulsión, Estanque Carga	81,2
Planta Tratamiento	89,7
Aducción a Estanque Ciudad	124,3
Trabajos Diversos	16,6
SUB-TOTAL	349,1
10% Estudio de Ingeniería	34,9
TOTAL	384,3
Costo de Reemplazo de Equipos	30,3
Costos de Operación (UF/m <sup>3</sup> )	
Costo Energía	0,00245
Costo Operación Planta	0,0117
Costo Personal	0,000303
Costo Mantenimiento	0,000615

iv) Proyecto AP5: Desalinización de Agua de Mar

Se considera la construcción de una planta desalinizadora de agua de mar, la cual proporcionaría agua tratada que sería impulsada a estanques de ESSAT. El caudal de agua a tratar sería de 370 l/s para producir 110 l/s de agua potable. Se estimó el reemplazo de equipos en UF 6.518,0. Las inversiones del proyecto y los costos de operación se presentan en la Tabla 6.12.

**a.4) Definición de Escenarios en Situación con Proyecto**

Para definir los posibles escenarios de desarrollo se consideró el grado de explotación del acuífero del Valle de Azapa. De esta forma para un nivel dado de explotación del acuífero, se presentará un cierto déficit hídrico el cual podría satisfacerse mediante la implementación escalonada de proyectos en el tiempo. A fin de fijar de algún modo dicho nivel de explotación del acuífero para el análisis de factibilidad de los proyectos de agua potable, se han considerado cuatro escenarios representativos de los niveles de explotación del acuífero, el primero definido por ESSAT en su Plan de Desarrollo y tres de ellos establecidos por la DGA en la Minuta Análisis de Explotación Futura del Acuífero de Azapa del Departamento Legal de la Dirección General de Aguas con fecha 13 de marzo de 1997, en la que se indica que el caudal de explotación sustentable del acuífero de agua se estima en 700 l/s. De este total, el caudal de agua potable para escenarios futuros varía entre 463 y 365 l/s. Actualmente se encuentra en desarrollo el estudio del Modelo Hidrológico Operacional del Valle de Azapa (Arrau, 1997) el que puede posteriormente ser empleado para analizar la sustentabilidad de los caudales propuestos. En la Tabla 6.13 se indican estos valores.

**Tabla 6.12 Inversiones Proyecto AP5. Desalinización de Agua de Mar**

Costos de Inversión (Miles UF)	
Construcción Drenes	19,5
Planta Elevadora Agua Salobre	31,6
Estanque de Acumulación	10,1
Planta Desalinizadora	734,3
Planta Elevadora Agua Potable	22,0
Impulsión a Estanque Cerro Chuño	66,7
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>884,1</b>
10% Estudio de Ingeniería	88,4
<b>TOTAL</b>	<b>972,5</b>
Costos de Reemplazo de Equipos	6,5
Costos de Operación (UF/m <sup>3</sup> )	
Costo Energía	0,0035
Costo Operación Planta	0,00115
Costo Personal	0,00029
Costo Mantenimiento	0,00010

**Tabla 6.13 Escenarios Sobre Niveles de Explotación del Acuífero Para Agua Potable (l/s)**

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
503	463	365	345

Por otro lado, tal como se señaló anteriormente, en la SSP se tienen los siguientes proyectos en ejecución:

- El sistema Lluta Bajo consistente en los pozos del Lluta y una planta de tratamiento que está programada para entrar en operación al año 1998.
- El mejoramiento del sistema de abastecimiento, que considera una reducción gradual de pérdidas hasta el año 2000, alcanzando un valor del 35 %.

Atendiendo a lo anterior, para satisfacer el déficit hídrico en la SCP, se consideró implementar en forma combinada los proyectos anteriormente citados como de corto y mediano plazo. La SSP se deberá complementar con el proyecto de mejoramiento de la red (Proyecto AP7) para alcanzar el objetivo planteado de ESSAT de obtener al año 2005 una reducción total de pérdidas al 30%. Posteriormente, se supone se irán incorporando los demás proyectos que satisfagan el déficit hídrico remanente en forma escalonada.

Estos nuevos proyectos de abastecimiento serían:

- AP2 Sondajes Canal Lauca
- AP4 Sondajes Quebrada La Concordia
- AP5 Desalinización de Agua de Mar

Por lo tanto, para satisfacer el déficit hídrico se tienen las siguientes combinaciones de casos o alternativas a evaluar para los escenarios ya definidos:

Caso 1: Proyecto AP7 + Proyecto AP2

Caso 2: Proyecto AP7 + Proyecto AP4 + Proyecto AP2

Caso 3: Proyecto AP7 + Proyecto AP4 + Proyecto AP5

El proyecto AP5 se consideró complementario al AP7 y AP4 dado el alto costo del proceso de desalinización de agua de mar.

En la Tabla 6.14 se presentan para los Escenarios 1 y 4 las proyecciones de producción, consumo, y déficit hídrico para los casos analizados con el fin de suplir este último.

En el Escenario 1 se tiene que los proyectos actualmente en ejecución abastecerían la demanda proyectada hasta el año 2013, punto en el cual sería necesario incorporar nuevos proyectos de abastecimiento.

Dado que el Plan de Desarrollo de ESSAT considera al año 2005 reducir a un 30 % las pérdidas de agua potable, el proyecto AP7 señalado, considerado en los Planes de Desarrollo de ESSAT, se implementaría en el período 2000 a 2004. Esta reducción de pérdidas desplaza el déficit en el abastecimiento hasta el año 2013, en el cual se deberá incorporar un nuevo proyecto. Este déficit, entre el 2013 (Prod. Máx. 1.110,4 l/s) y 2016 (Prod. Máx. 1.180,1 l/s), alcanza los 70 l/s (Ver Fig. 6.5), que sería posible abastecer con solo uno de los siguientes proyectos: AP2 (Caso 1), AP4 (Caso2) o AP5 (Caso 3).

Por otra parte, para el caso del Escenario 4, se requeriría de la incorporación de nuevos proyectos al año 2003. Dado que se materializaría el proyecto AP7 entre el año 2000 y el 2004, la necesidad de nuevos proyectos se desplaza al año 2006. En este caso el déficit hídrico entre el 2006 ( Prod. Máx. 939,8 l/s) y el 2016 (Prod. Máx. 1.180 l/s) alcanza los 240 l/s (Ver Fig. 6.8), los que se deberán satisfacer mediante la materialización escalonada de proyectos en el tiempo, lo cual puede realizarse con el proyecto AP2 dividido en 2 etapas (Caso 1), el proyecto AP4 más una etapa del AP2 (Caso 2) o el proyecto AP4 más el AP5 (Caso 3).

En las Figs. 6.5 a 6.8 se presentan, para los cuatro escenarios de explotación del acuífero definidos, el efecto producido para la satisfacción del déficit hídrico por las tres alternativas o casos de solución que se han descrito.

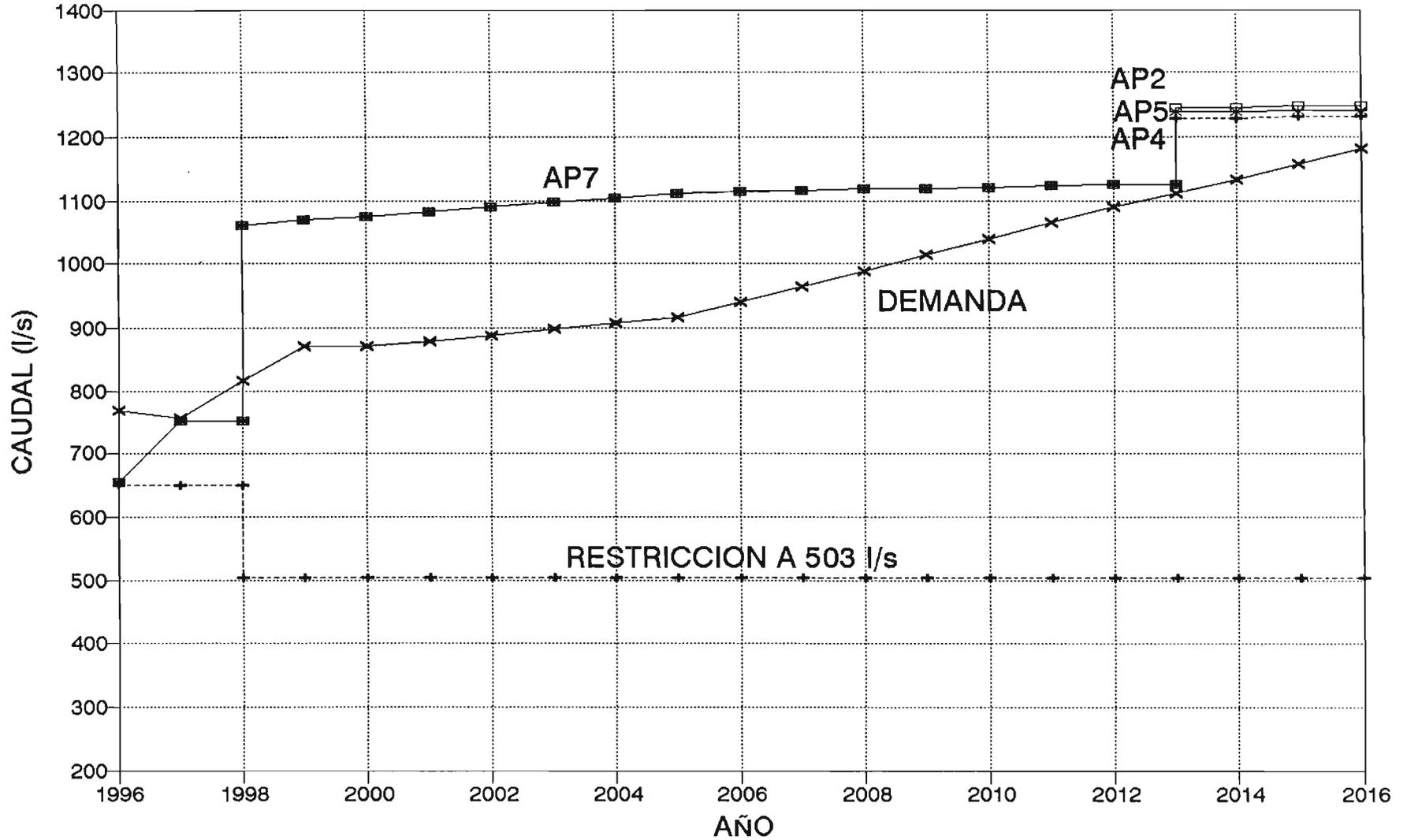
#### **a.5) Evaluación Económica**

Se realizó la evaluación económica de los dos escenarios 1 y 4, con el fin de determinar el rango en que se podrían mover los indicadores económicos para aquellos proyectos de agua potable que se visualizan como los más convenientes y atractivos económicamente. En la Tabla 6.15 se presenta un resumen con los indicadores económicos obtenidos en las evaluaciones de los Escenarios 1 y 4 respectivamente, tanto a precios privados como a precios sociales. Las consideraciones básicas para uno y otro análisis se detallan a continuación.

AÑO	POBLACION (hab)	CONSUMO (m3/año)	PRODUCCION (m3/año)	PRODUCCION MAXIMA = (1,3 · Producción) (l/s)	ESCENARIOS USO RESTRINGIDO (l/s)		DEFICIT MAXIMO (l/s)		CASO 1: (l/s) AP7 + AP2 (etapas)		CASO 2: (l/s) AP7 + AP4 + AP2		CASO 3: (l/s) AP7 + AP4 + AP5	
					1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
1992	159.267	10.290.392	16.940.700	698,3	503,0	503,0	195,3	195,3	0	0	0	0	0	0
1993	161.509	9.739.853	17.234.200	710,4	703,0	703,0	7,4	7,4	0	0	0	0	0	0
1994	165.230	10.570.571	19.343.684	797,4	650,0	650,0	147,4	147,4	0	0	0	0	0	0
1995	167.074	10.687.873	18.959.622	781,6	650,0	650,0	131,6	131,6	0	0	0	0	0	0
1996	168.962	10.829.462	18.640.181	768,4	650,0	650,0	118,4	118,4	6	6	6	6	6	6
1997	170.872	10.972.968	18.342.372	756,1	650,0	650,0	106,1	106,1	101	101	101	101	101	101
1998	172.976	12.172.953	19.777.757	815,3	503,0	345,0	312,3	470,3	558	558	558	558	558	558
1999	176.522	13.361.003	21.115.986	870,5	503,0	345,0	367,5	525,5	566	566	566	566	566	566
2000	180.321	13.716.067	21.101.642	869,9	503,0	345,0	366,9	524,9	573-AP7	573-AP7	573-AP7	573-AP7	573-AP7	573 - AP7
2001	184.017	14.066.540	21.312.939	878,6	503,0	345,0	375,6	533,6	580	580	580	580	580	580
2002	187.790	14.426.022	21.531.376	887,6	503,0	345,0	384,6	542,6	587	587	587	587	587	587
2003	191.639	14.794.747	21.756.980	896,9	503,0	345,0	393,9	551,9	594	594	594	594	594	594
2004	195.568	15.172.954	21.989.788	906,5	503,0	345,0	403,5	561,5	601	601	601	601	601	601
2005	199.577	15.560.889	22.229.842	916,4	503,0	345,0	413,4	571,4	609	609	609	609	609	609
2006	203.668	15.958.804	22.798.292	939,8	503,0	345,0	436,8	594,8	610	610-AP2	610	610-AP4	610	610-AP4
2007	207.844	16.366.958	23.381.368	963,8	503,0	345,0	460,8	618,8	612	729	612	712	612	712
2008	212.104	16.785.615	23.979.450	988,5	503,0	345,0	485,5	643,5	614	731	614	714	614	714
2009	216.453	17.215.048	24.592.925	1013,8	503,0	345,0	510,8	668,8	616	733	616	716	616	716
2010	220.890	17.655.536	25.222.194	1039,7	503,0	345,0	536,7	694,7	618	735	618	718	618	718
2011	225.418	18.107.366	25.867.666	1066,3	503,0	345,0	563,3	721,3	620	737-AP2	620	720-AP2	620	720-AP5
2012	228.889	18.478.024	26.397.177	1088,2	503,0	345,0	585,2	743,2	622	856	622	839	622	832
2013	232.414	18.856.343	26.937.633	1110,4	503,0	345,0	607,4	765,4	623-AP2	857	623-AP4	840	623-AP5	833
2014	235.994	19.242.485	27.489.264	1133,2	503,0	345,0	630,2	788,2	742	859	725	842	735	835
2015	239.628	19.636.611	28.052.302	1156,4	503,0	345,0	653,4	811,4	744	861	727	844	737	837
2016	243.318	20.038.891	28.626.987	1180,1	503,0	345,0	677,1	835,1	746	863	729	846	739	839
2017	247.065	20.449.494	29.213.563	1204,3	503,0	345,0	701,3	859,3	747	981	847	964	740	840
2018	250.870	20.868.594	29.812.277	1228,9	503,0	345,0	725,9	883,9	866	983	849	966	742	842
2019	254.733	21.296.370	30.423.385	1254,1	503,0	345,0	751,1	909,1	868	985	851	968	744	844
2020	258.656	21.733.002	31.047.146	1279,8	503,0	345,0	776,8	934,8	870	987	853	970	746	846

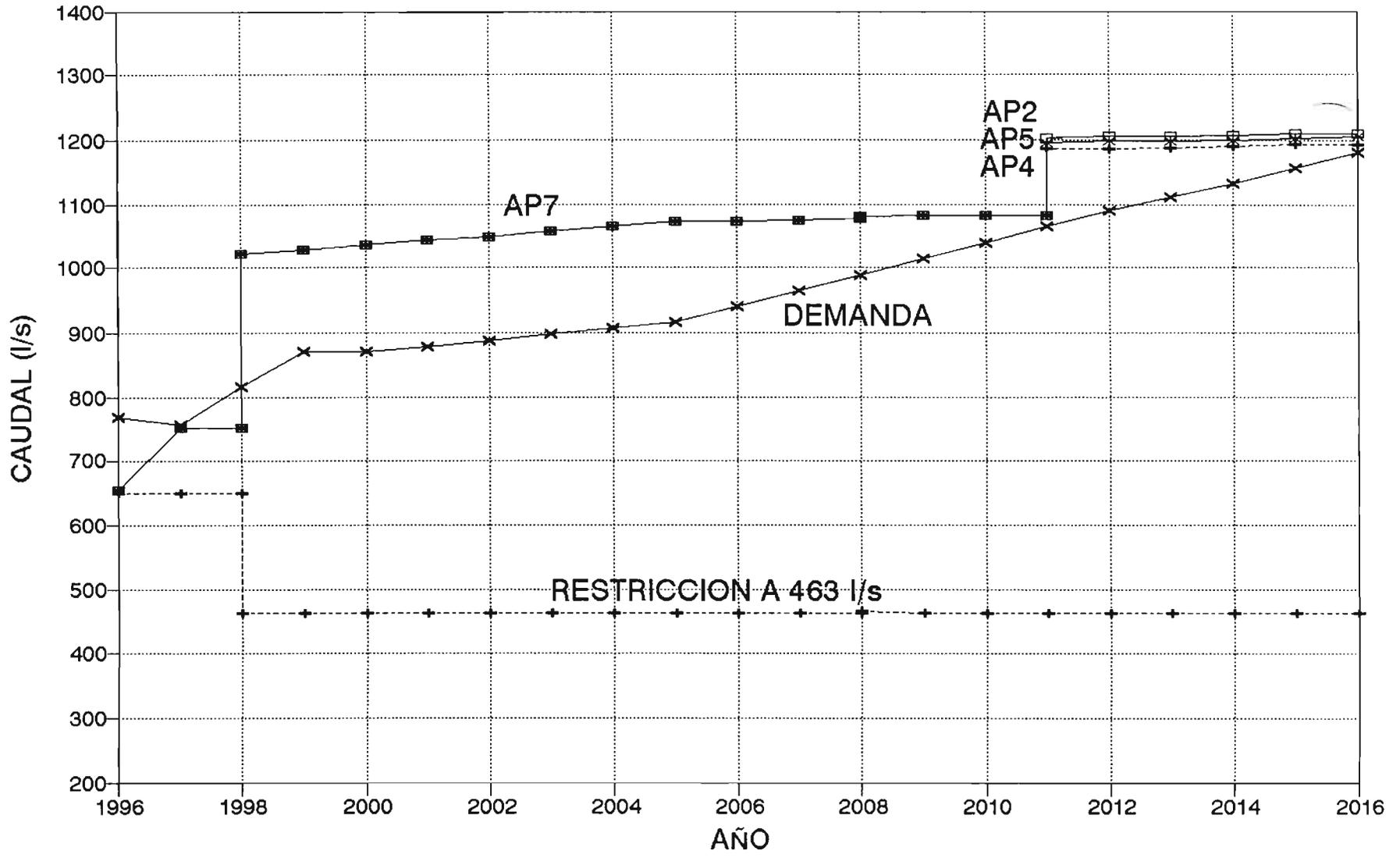
Tabla 6.14: Proyección de Producción, Consumo, Déficit y Suministros de Agua Potable para Escenarios 1 y 4

FIG.6.5 DEMANDA vs OFERTA  
 ESCENARIO 1 - CASOS 1, 2 y 3



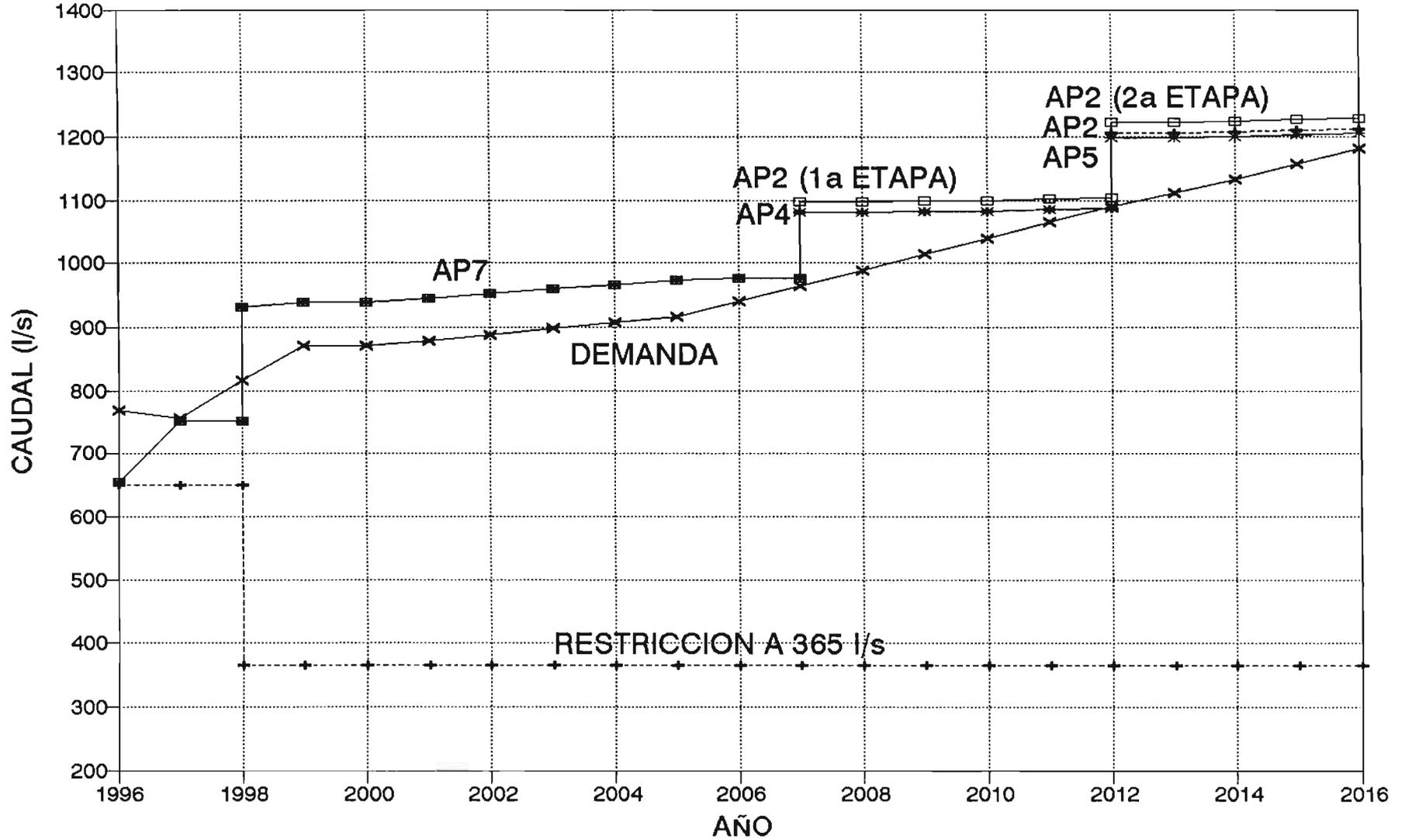
✕ DEMANDA MAX    + Q.A.SUB.    □ CASO-1  
 \* CASO-2        ✱ CASO-3

FIGURA DEMANDA VS OFERTA  
 ESCENARIO 2 - CASOS 1, 2 y 3



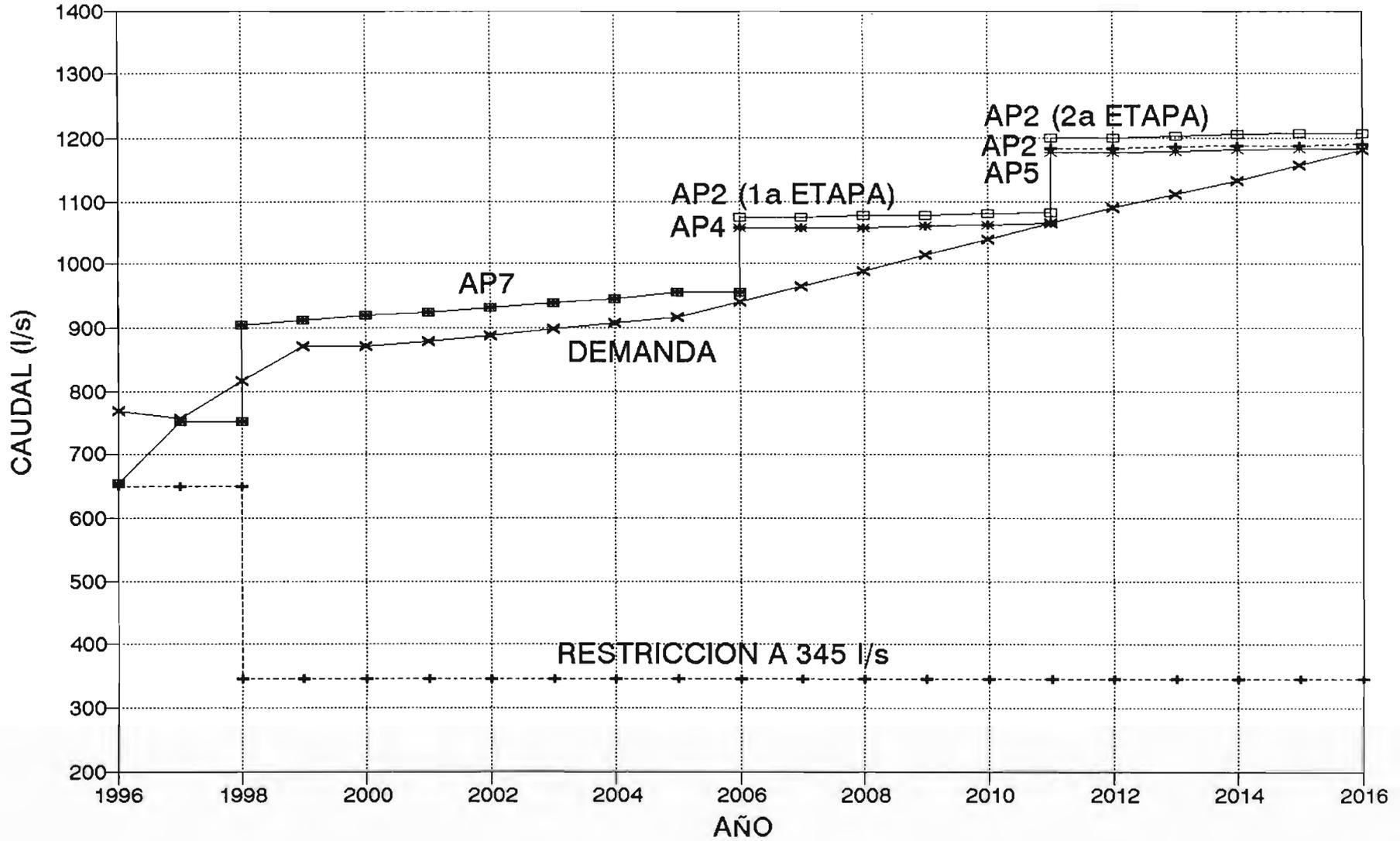
x DEMANDA MAX    + Q A.SUB.    □ CASO-1  
 + CASO-2    \* CASO-3

FIG. 6.7 DEMANDA vs OFERTA  
 ESCENARIO 3 - CASOS 1, 2 y 3



✕ DEMANDA MAX    + Q A.SUB.    □ CASO-1  
 + CASO-2        ✕ CASO-3

FIG. 6.8 DEMANDA vs OFERTA  
 ESCENARIO 4 - CASOS 1, 2 y 3



✕ DEMANDA MAX    + Q A.SUB.    □ CASO-1  
 + CASO-2       ✕ CASO-3

## i) Evaluación Económica a Precios Privados

Para la evaluación privada se adoptaron los valores de costos de operación y mantención, y tarifas señalados en el Punto a.1. Se estimó un costo variable de operación actual del sistema equivalente a UF/m<sup>3</sup> 0,0071, que incluye los costos históricos y los costos que se esperan obtener de los proyectos en ejecución.

En el Anexo 7 se presentan flujos y resultados de las evaluaciones económicas privadas de los Casos 1,2 y 3 para los Escenarios 1 y 4, respectivamente.

## ii) Evaluación Económica a Precios Sociales

Para la evaluación social se realizaron las correcciones de costos según las recomendaciones de MIDEPLAN, adoptando los siguientes valores:

- El costo por inversión en nuevas redes y conexiones sería de UF 10,25/conexión.
- El costo de personal + explotación resulta de UF 0,421/ conex/año.
- El costo variable sería de UF/ m<sup>3</sup> 0,0051 producido.

Para el proyecto AP7 se tiene un costo anual de UF 7.488. Por otro lado, para cada uno de los proyectos se tienen los siguientes costos variables.

- AP2: UF 0,0044 por m<sup>3</sup> producido + UF 0,00098 por m<sup>3</sup> consumido
- AP4: UF 0,0097 por m<sup>3</sup> producido + UF 0,00074 por m<sup>3</sup> consumido
- AP5: UF 0,0122 por m<sup>3</sup> producido + UF 0,00105 por m<sup>3</sup> consumido

En las Tabla 6.15 se presentan las evaluaciones sociales de las alternativas consideradas.

**Tabla 6.15 Resultados Evaluación Económica Privada y Social Escenarios 1 y 4**

Tipo de Evaluación	ESCENARIO 1 (503 l/s)			ESCENARIO 4 (345 l/s)		
	VAN (UF)	TIR (%)	IVAN	VAN (UF)	TIR (%)	IVAN
<b>Evaluación Privada</b>						
Caso 1 (1)	(411.149)	-	(0,77)	(831.257)	-	(0.79)
Caso 2 (2)	(66.685)	-	(0,42)	(670.427)	-	(0.82)
Caso 3 (3)	(221.398)	-	(0,72)	(459.811)	-	(0.84)
<b>Evaluación Social</b>						
Caso 1	(207.101)	-	(0,70)	(482.304)	-	(0.72)
Caso 2	(22.160)	5,29	(0,24)	(364.246)	-	(0.75)
Caso 3	(103.958)	-	(0,61)	(241.350)	-	(0.73)

Nota: Los valores entre paréntesis indican valores negativos

- 1) El caso 1 corresponde a la ejecución de los proyectos AP7 y AP2.
- 2) El caso 2 corresponde a la ejecución de los proyectos AP7, AP4 y AP2.
- 3) El caso 3 corresponde a la ejecución de los proyectos AP7, AP4 y AP5

b) Sector Agua Para Riego

b.1) Antecedentes Disponibles

Para definir la distribución de los cultivos existentes en el valle de Azapa, se utilizaron los antecedentes consignados en los estudios de CONIC-BF-CORFO (1995) y Arrau-DGA (1997), en tanto para la estimación de las demandas se utilizaron los antecedentes consignados en este último estudio.

En lo que respecta a los costos de producción, así como a los rendimientos e ingresos asociados a cada tipo de cultivo, se utilizaron los antecedentes incluidos en los estudios de INDAP denominados "Estrategia de Desarrollo Agropecuario Provincia de Arica" (1996) y "Cédulas de Cultivo. Provincia de Arica" (1997). También se hizo uso de otros antecedentes obtenidos a partir del VI Censo Agropecuario (INE, SEREMI Agricultura I Región de Tarapacá, 1997).

Para la evaluación social, se utilizó la información consignada en el estudio de Edwards-DR (1982), en donde se presenta un análisis de precios para los diversos insumos que se requieren para cada cultivo. Esta información fue corregida considerando el valor actual de los insumos e incorporando los efectos de la tecnificación del riego, en los casos que corresponda. A los valores obtenidos de esta forma se le efectuaron las correcciones que sugiere MIDEPLAN, determinando el porcentaje respecto del precio privado que corresponde a cada precio social.

b.2) Definición de la Situación Base (Sin Proyecto)

Para realizar la evaluación económica de los proyectos de riego, se requieren definir las condiciones actuales de distribución y tipo de cultivos que se practican en el valle de Azapa. Ello permite establecer una situación base respecto de la cual se deben efectuar comparaciones en relación a eventuales alternativas de desarrollo agropecuario, derivadas de la mayor disponibilidad y/o seguridad en el abastecimiento de agua.

En lo que sigue, se presenta la caracterización de la distribución de cultivos en el valle de Azapa en la situación actual, incluyendo a partir de ella una estimación de las demandas de agua para riego, todo lo cual define la situación base o sin proyecto.

i) Distribución Actual de Cultivos en el Valle de Azapa

Según se consigna en el estudio de Arrau-DGA (1997), la superficie agrícola potencialmente cultivable en el valle de Azapa, corresponde a 3.213 ha. De esta cantidad se emplean actualmente en cultivos más rentables 3.088 ha (96,1%) y las 125 ha (3,9%) restantes corresponden a empastadas, las cuales permitirían recuperar y/o habilitar nuevos terrenos para ser utilizados en este tipo de cultivos. La distribución de cultivos según lo indicado en el estudio citado, se presenta en la Tabla 6.16, separando la superficies entre aquellas con riego tradicional de aquellas otras que tienen riego tecnificado.

**Tabla 6.16 Distribución Actual de Cultivos en el Valle de Azapa (Fuente: Arrau-DGA, 1997)**

Cultivos	Superficie (ha)		
	Riego Tradicional	Riego Tecnificado	Total
Olivos y frutales	1.101	68	1.169
Tomates	65	460	525
Hortalizas	641	753	1.394
Alfalfa	125		125
Total	1.932	1.281	3.213

Los cultivos de similares características fueron agrupados considerando partidas generales, como ocurre en el caso de cultivos tales como ajos, ajíes, betarragas, cebollas, lechugas, acelgas, choclos, pimientos, porotos verdes, pepinos, entre otros, a los que se identifica bajo el nombre de hortalizas, o en el caso de olivos, mangos, guayabas y cítricos, que se indican con el nombre de olivos y frutales.

Por otra parte, en el estudio de CONIC-BF-CORFO (1995), se presenta una distribución diferente señalándose además que el área total utilizada en el valle de Azapa correspondería a una superficie de 2.877 ha. En este caso los cultivos que se presentan están clasificados por el tipo de riego tecnificado o tradicional, estacionalidad del cultivo (invierno o verano) y tipo de rendimiento (bajo, medio o alto). Se debe hacer notar que los cultivos de invierno corresponden a aquellos en que la cosecha se efectúa entre los meses de marzo y noviembre, mientras que en los de verano ésta se desarrolla entre diciembre y marzo generalmente. Por otro lado el tipo de rendimiento alcanzado se encuentra directamente relacionada con el nivel de tecnología de riego fertilización que se incorpora en el cultivo.

Por efectos del presente estudio, y con el fin de mantener la consistencia con la determinación de demandas de agua de riego presentada en el Capítulo 3, se adoptó la distribución superficial de cultivos presentada en el estudio de Arrau-DGA (1997). No obstante, la superficie de cada cultivo fue reclasificada según lo indicado en el estudio de CONIC-BF-CORFO (1995), con el objeto de contar con un mayor grado de detalle en los cálculos de la producción total del valle. Para ello, dependiendo del tipo de cultivo, se consideró la clasificación en cuanto a rendimiento y/o estacionalidad consignada en el último estudio citado, manteniendo en cada caso la relación porcentual que se obtiene con los valores indicados en el informe de 1995. Estos antecedentes se consignan en la Tabla 6.17.

**Tabla 6.17 Distribución de Cultivos Adoptados para la Producción Agrícola del Valle de Azapa**

Cultivos	Distribución Porcentual de cultivos Adoptada		Superficie Adoptada (ha)		
	Riego Tecnificado	Riego Tradicional	Riego Tecnificado	Riego Tradicional	Total
Olivos Baja		23,03		740	740
Olivos Media	4,20	1,92	135 (1)	62	197
Frutales	7,22		232 (1)		232
Tomate Invierno Alto	10,80		347	65	347
Tomate Invierno Medio	3,52	2,02	113		178
Hortalizas de Invierno	11,73	15,25	377	490	867
Hortalizas de Verano	11,73	4,70	376	151	527
Empastadas		3,89		125	125
Total			1.580	1.633	3.213

(1) Valor obtenido del estudio de CONIC-BF-CORFO (1995). Incluye cítricos y mangos, principalmente.

Cabe señalar que, la superficie de frutales adoptada se obtuvo del informe de CONIC-BF-CORFO (1995), la cual fue descontada del área de olivos consignada en el estudio de Arrau-DGA (1997).

## ii) Determinación de las Demandas de Agua para Riego

Utilizando la distribución de cultivos indicada, junto con las demandas evapotranspirativas y eficiencias consignadas en el estudio de Arrau-DGA (1997), se determinaron las demandas de riego para el valle de Azapa. Los requerimientos a nivel mensual se resumen en la Tabla 6.18.

**Tabla 6.18 Demanda de Agua de Riego del Valle de Azapa (l/s)**

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1.043	1.220	973	824	1.719	910	482	620	595	711	850	955

Lo mostrado en la Tabla 6.18, permite apreciar que el mes con mayor consumo de agua corresponde a febrero. Para suplir las demandas señaladas en la tabla en las condiciones actuales, el agua se obtiene desde el canal Azapa y de sondajes. Este canal abastece una superficie de aproximadamente 2.600 ha con una seguridad del 50%. El déficit de agua se trata de satisfacer a través de la explotación del acuífero del valle, el que también es utilizado simultáneamente para abastecer de agua potable a la ciudad de Arica.

Para estas condiciones de explotación, los diagnósticos existentes indican que se produciría un descenso paulatino en el nivel de agua en el acuífero, a una tasa de aproximadamente 2,5 m/año, lo cual generaría el incremento sostenido de costos de producción para los agricultores, por efecto de la profundización de los sondajes y mayor consumo eléctrico derivado de mayores alturas de elevación.

### **b.3) Identificación de Proyectos Factibles de Corto y Mediano Plazo**

A partir de los resultados obtenidos en la etapa de prefactibilidad, es posible concluir que sólo el proyecto AR1 (Habilitación y Construcción Sondajes Canal Lauca y Mejoramiento Canal Azapa), que contempla la captación de recursos subterráneos en la cuenca del río Lauca, no presenta restricciones legales y/o ambientales que impidan su ejecución.

En el proyecto citado se identifican tres alternativas, cada una de las cuales permitiría captar un caudal máximo de 545 l/s desde el acuífero Lauca, mediante la operación de una batería de 18 sondajes. Ellas podrían verificarse empleando el Modelo Hidrológico Operacional de la Cuenca del Río San José actualmente en ejecución (Arrau-DGA 1997). De acuerdo con la evaluación realizada, en la Alternativa AR1a el caudal captado sería descargado directamente al canal Lauca; en la alternativa AR1b, se propone además el mejoramiento de parte del canal Azapa; y en la Alternativa AR1c se analiza adicionalmente la posibilidad de revestir el canal Lauca. No se ha considerado la alternativa consistente en sólo revestir el canal Azapa, ya que aún cuando podría resultar más ventajosa económicamente, no resuelve el problema de escasez del recurso en el sector de riego del Valle de Azapa.

Como parte del presente análisis se han definido soluciones alternativas de extracción para este proyecto, considerando que se obtienen desde el acuífero del Lauca caudales máximos de hasta 285 l/s y 415 l/s, en cada caso. Estos caudales permitirían suplementar el riego de la superficie total cultivada en el valle de Azapa hasta obtener una seguridad de 85 %, suponiendo por un lado que se satisfacen las restricciones impuestas por la DGA para el acuífero de Azapa (de manera de extraer un caudal sustentable de 302 l/s) y por otro, los posibles escenarios de captación en que podría situarse ESSAT.

Para efectos del presente análisis se descartaron las alternativas que consideran los revestimientos de los canales Lauca y Azapa (AR1b y AR1c) debido a que ello significaría incrementar fuertemente las inversiones respecto de un pequeño aumento en el caudal para riego. En la presente solución analizada a nivel de factibilidad se requeriría realizar inversiones mucho menores que las planteadas en las diversas alternativas evaluadas a nivel de prefactibilidad como parte del proyecto AR1, las que comparadas con la alternativa más barata (AR1a), resultan entre un 30 % y un 47 % inferiores, dependiendo de si se captan 415 l/s o 285 l/s, respectivamente. Por otro lado, las iniciativas que consideren revestimientos de canales afectan la recarga del acuífero en cantidades no cuantificables, pero que podrían ser significativas, las cuales podrían estimarse empleando el Modelo Operacional actualmente en desarrollo DGA-Arrau (1997).

Se debe hacer notar que la solución planteada en esta etapa difiere de las alternativas evaluadas a nivel de prefactibilidad (AR1a, AR1b y AR1c), tanto en que sería necesario captar un caudal inferior como porque las inversiones que se requeriría efectuar, resultarían de manera tal que se trata de proyectos distintos.

Si se captara un caudal máximo de 285 l/s, el proyecto contempla la habilitación de 6 de los 7 sondajes construidos por la Dirección de Riego en el período 1992-1993 y la perforación de 2 adicionales. En el caso que se captara un caudal de 415 l/s, se requeriría construir 4 pozos adicionales respecto del caso anterior.

En la Tabla 6.19 se presenta un resumen con los costos del proyecto para cada caso analizado.

**Tabla 6.19 Costos del Proyecto de Aprovechamiento de los Recursos Subterráneos del Río Lauca Evaluación Privada y Social**

Caudal Máximo Captado (l/s)	Costo Privado (Miles UF)		Costo Social (Miles UF)	
	Equipo	Total	Equipo	Total
285	71,8	162,6	57,5	130,1
415	111,6	242,1	87,5	193,7

#### **b.4) Definición de Escenarios en la Situación con Proyecto**

Para efectos de la evaluación económica de los proyectos de riego, se han supuesto tres escenarios de desarrollo agrícola posibles, de acuerdo con la distribución de cultivos que se podría presentar en el valle de Azapa.

El primero de ellos, que corresponde a la situación actual (Escenario 1), supone que ante la mayor disponibilidad de agua no se producen cambios significativos en el comportamiento de los agricultores, de manera tal que las condiciones actuales se mantienen para la situación futura de abastecimiento de agua riego.

En el segundo, denominado Escenario 2, se supone que se conserva la distribución actual de cultivos del valle, mientras que la superficie utilizada se incrementa hasta alcanzar el máximo de 3.213 ha, por efecto de eliminar las empastadas y aprovechar esta superficie en cultivos más rentables.

El tercer escenario denominado Escenario 3, considera que además del incremento en el área, se produce un cambio en la distribución de cultivos debido a que al existir una mayor seguridad en el abastecimiento de agua para riego, los agricultores introducirían especies más rentables. En este caso, teniendo en consideración algunas recomendaciones de INDAP (1996), se supone que el mayor incremento se produce en la superficie plantada con frutales. En este caso se ha considerado que se mantiene la superficie actual de olivos y que en el área restante, la tercera parte se planta con frutales, otro tercio con tomates y en el resto se mantiene la distribución actual de los demás cultivos (porotos verdes y hortalizas en general).

En la Tabla 6.20 se detallan las distribuciones de cultivos para los Escenarios 2 y 3. Para el Escenario 1 de situación actual la distribución de cultivos fue indicada en la Tabla 6.16.

**Tabla 6.20 Distribución Futura de Cultivos - Escenarios 2 y 3**

Cultivos	Superficie Riego (ha)					
	Tecnificado		Tradicional		Total	
	Esc 2	Esc 3	Esc 2	Esc 3	Esc 2	Esc 3
Olivos baja			740	740	740	740
Olivos media	135	136	62	61	197	197
Frutales	245	759	-	-	245	759
Tomate Invierno alta	367	502			367	502
Tomate Invierno media	120	163	69	94	189	257
Hortalizas Invierno	399	205	518	266	917	471
Hortalizas Verano	398	205	160	82	558	287
Empastadas			0	0	0	0
Total	1.665	1.970	1.548	1.243	3.213	3.213

En forma análoga a la situación sin proyecto, se calcularon las demandas de riego para los diversos escenarios de desarrollo agrícola supuestos, considerando las tasas de riego consignadas en el estudio de arrau-DGA (1997). Esta información que se consigna en la Tabla 6.21.

**Tabla 6.21 Demandas de Riego para los Diversos Escenarios (l/s)**

Escenario	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
Escenario 1	1.043	1.220	972	824	1.719	910	482	620	595	711	850	955	908
Escenario 2	984	1.132	869	739	1.375	768	449	600	570	679	808	909	824
Escenario 3	959	1.110	779	672	1.686	843	406	606	536	642	773	870	824

Hay que hacer presente que para efectos de la evaluación, se ha supuesto que cuando se incorpora nueva agua para riego al valle de Azapa, los agricultores reducirían efectivamente la explotación del acuífero hasta alcanzar un caudal sustentable, de manera que los niveles no continuarían descendiendo.

### b.5) Evaluación Económica

#### i) Costos de Producción e Ingresos.

Para determinar los costos de producción e ingresos totales de las actividades agrícolas desarrolladas en el valle de Azapa en cada uno de los escenarios considerados, se utilizaron los antecedentes consignados en los estudios de INDAP (1996 y 1997).

En la Tabla 6.22 se indican los rendimientos y costos de producción que en promedio se obtendrán en el Valle de Azapa con cada tipo de cultivo. Adicionalmente, para el caso de los ingresos, se presenta valores tanto para condiciones medias como para una situación muy favorable (ingresos máximos), de manera tal de sensibilizar los resultados de las evaluaciones económicas a efectuar. Estos antecedentes fueron obtenidos de estudio de INDAP (1997).

**Tabla 6.22 Rendimientos, Costos de Producción e Ingresos para los  
Diversos Cultivos del Valle de Azapa**

Cultivos	Rendimiento (kg/ha)		Costo Producción/(UF/ha)		Ingreso Condiciones Medias/(UF/ha)		Ingresos Condiciones Máximas (UF/ha)	
	Tecnificado	Tradicional	Tecnificado	Tradicional	Tecnificado	Tradicional	Tecnificado	Tradicional
Olivos baja Olivos media	12.000	4.000 8.000	175	40 95	490	163 325	603	201 402
Frutales	5.000	3.000	65	36	314	188	471	282
Tomate Invierno alta Tomate Invierno media	160.000 100.000	100.000 50.000	752 394	40 234	1.005 628	163 314	1507 941	201 470
Hortalizas Invierno (1) Hortalizas Verano (1)	150.000 59.000	150.000 59.000	138 182	71 152	293 378	150 304	377 500	201 354
Empastadas (2)		476		20		31		37

(1) Corresponde a un valor medio para diferentes tipos de hortalizas

(2) Se utilizó la unidad (fardos /ha)

En la Tabla 6.23 se consigna la información anterior considerando el análisis a precios sociales. En el caso de los costos de producción se corrigieron los precios privados por un factor obtenido del estudio de Edwards-DR (1982), aquí se presenta un desglose de los insumos que intervienen en los diversos cultivos. Para ello, tal como se indicó anteriormente, se actualizaron los valores consignados en dicho estudio y luego se les aplicaron los factores de corrección que recomienda MIDEPLAN. En algunos casos se consideraron costos adicionales correspondientes a la tecnificación del riego. En el caso de los ingresos sólo se descontó el IVA.

En la Tabla 6.24 se resumen los costos de producción total y las utilidades obtenidas en el valle de Azapa, considerando los 3 escenarios analizados y los precios privados y sociales empleados.

**Tabla 6.23 Costos de Producción e Ingresos por Venta  
para los Diversos Cultivos en el Valle de Azapa. Evaluación Social**

Cultivo	Factor de Corrección de Costos (%)		Costo de Producción (UF/ha)		Ingresos (UF/ha)	
	Tecnificado	Tradicional	Tecnificado	Tradicional	Tecnificado	Tradicional
Olivos Baja Olivos Media	83,11	81,18 83,09	146	32 79	490	163 325
Frutales	83,11	83,09	54	30	314	188
Tomate Invierno alta Tomate Invierno media	83,56 84,68	84,66	628 333	40 198	1.005 628	163 314
Hortalizas Invierno Hortalizas Verano	81,64 82,63	81,10 82,17	113 150	58 125	293 378	150 304
Empastadas		83,09		17		31

**Tabla 6.24 Costos Ingresos y Utilidades  
de la Producción Total en el Valle de Azapa**

Escenario	Costos Producción/(Miles UF)		Ingresos/( Miles UF)		Utilidades/(Miles UF)	
	Privado	Social	Privado	Social	Privado	Social
Escenario 1	575,1	477,5	1.096,2	1.096,2	521,1	618,7
Escenario 2	602,6	500,3	1.143,8	1.143,8	541,2	643,6
Escenario 3	657,8	548,1	1.238,1	1.238,1	550,6	689,0

Nota: El Escenario 1 representa la situación actual

Hay que señalar que a los costos de producción indicados en la Tabla 6.24, se le deben agregar las inversiones necesarias por recambio de cultivos derivadas de la incorporación de frutales en áreas con cultivos anuales. Estos antecedentes se indican en la Tabla 6.25 y fueron obtenidos considerando costos medios de producción para cultivos de frutales e implementación de sistemas de riego. Para ello se consultó antecedentes consignados en boletines de la Sociedad Nacional de Agricultura y cotizaciones efectuadas por el Consultor en relación a la implementación de sistemas de riego unificado.

**Tabla 6.25 Inversiones Requeridas en Recambios de Cultivos**

Escenario (*)	Inversión Precio Privados (Miles UF)		Inversión Precios Sociales (Miles UF)		Total Area de Recambio (ha)	
	Frutales	Riego	Frutales	Riego	Frutales	Riego
Escenario 2	2,6	3,8	2,2	3,1	13	112
Escenario 3	105,4	16,4	87,5	13,6	527	234

(\*): Según se indica en Tabla 6.20

## ii) Evaluación Económica Según Escenarios

Se presentan a continuación los resultados de la evaluación económica realizada, incluyendo los diversos escenarios de desarrollo agrícola analizados. Estos valores fueron calculados considerando la situación incremental, respecto de la condición actual del valle de Azapa.

Al evaluar el escenario correspondiente a la condición actual se debe hacer presente que en relación a la situación sin proyecto no existen diferencias en lo que se refiere a costos de producción e ingresos del valle de Azapa. No obstante, existirían diferencias respecto del caudal captado por los agricultores desde el acuífero del valle y de los costos de profundización y energía de la operación de los sondajes. Ello debido a que en la situación con proyecto dejarían de disminuir los niveles de la napa.

En la Tabla 6.26 se resumen los resultados obtenidos de la evaluación económica, incluyéndose indicadores a nivel privado y social, para los diversos escenarios de desarrollo agrícola supuestos. Estos valores se encuentran condicionados además por los escenarios de captación para agua potable desde el acuífero del valle de Azapa, ya que ellos determinan los caudales máximos a explotar para riego, si se acotan a valores totales sustentables.

En relación a los resultados obtenidos, se aprecia que al considerar las actividades agrícolas actuales del valle de Azapa, no resultaría rentable la incorporación de agua para riego desde los pozos construidos en el sector del río Lauca. Por otro lado, al suponer variaciones en la superficie y/o en la distribución de cultivos

del valle, sólo en el caso en que ESSAT extraiga el caudal que la DGA le asigna como sustentable ( $Q=345$  l/s), resultan rentabilidades para el proyecto de riego, próximas al 12%. En todo caso, no se aprecian mayores variaciones entre la rentabilidad privada y social.

**Tabla 6.26 Resultados Evaluación Económica**

Escenario Agrícola	Caudal Riego					Indicadores Evaluación Económica					
	Acuífero Valle de Azapa		Acuífero Río Lauca			Privado			Social		
	Agua Potable (l/s)	Riego (l/s)	ESSAT AP.	Máximo (l/s)	Medio Anual (l/s)	VAN (Miles UF)	TIR (%)	IVAN	VAN (Miles UF)	TIR (%)	IVAN
Escenario 1	345	302	260	285	167	(116,6)	-	(0,71)	(89,1)	-	(0,66)
	503	144	130	415	393	(39,9)	8,90	(0,24)	(6,5)	11,40	(0,05)
Escenario 2	345	302	260	285	67	(57,8)	9,17	(0,35)	(12,4)	11,31	(0,09)
	503	144	130	415	293	(218,9)	-	(0,89)	(175,1)	-	(0,87)
Escenario 3	345	302	260	285	80	(156,1)	1,72	(0,63)	(106,8)	3,81	(0,53)
	503	144	130	415	305	(175,5)	4,88	(0,71)	(113,2)	6,78	(0,56)

Nota: Los valores entre paréntesis indican cifras negativas

### c) Proyectos de Control de Crecidas y Mitigación de Inundaciones

#### c.1) Antecedentes Disponibles

La valorización de los daños por inundación asociados a los desbordes del río San José, se realizó considerando los efectos de las crecidas tanto en el sector urbano como en el valle de Azapa. Para ello se utilizaron los antecedentes consignados en los estudios de PRISMA-DV (1992), y DHV y otros-MINAGRI-MOP (1997).

En el primer estudio se realizó una valorización de daños para el sector urbano, ocasionados tanto por desbordes en los cauces de la quebrada de Acha como del río San José, considerando para ello crecidas de 10, 50 y 100 años de período de retorno. En forma análoga, en el segundo estudio, se efectuó una valorización de daños ocasionados por una crecida de 100 años de período de retorno, incluyendo al sector urbano y al valle de Azapa.

Adicionalmente, para cuantificar las pérdidas en el sector agrícola, se utilizó la información relativa a los diversos cultivos existentes en valle, la que fue obtenida de los estudios de BF-CONIC-CORFO (1995), Arrau - DGA (1997) e INDAP (1996 y 1997).

#### c.2) Estimación de Daños

Para efectos de la presente evaluación se consideraron como daños directos aquellos originados por el contacto directo del agua con la infraestructura pública y/o privada. En cuanto a infraestructura pública se incluyeron los puentes y pasarelas, las redes de agua potable y las reparaciones y/o reposiciones en tramos de caminos y carreteras. En el caso de la infraestructura privada se consideraron daños en viviendas incluyendo su equipamiento, más los daños en el sector agrícola.

Los daños indirectos se clasificaron como aquellos que no se originan necesariamente por el contacto físico con el agua, haciendo sentir su efecto a nivel de la economía local, regional y nacional. Para el estudio se consideraron en este contexto los gastos asociados a la habilitación y mantención de los lugares de emergencia para albergados, viviendas de emergencia y la devaluación del valor comercial de la propiedad privada.

Cabe comentar que la devaluación de la propiedad privada permite representar el daño experimentado por los propietarios vecinos a los cauces de los ríos San José y la Quebrada de Acha, que no

necesariamente podrían ser afectados por los desbordes, pero que se ven perjudicados al no poder vender sus propiedades a un valor comercial real, debido a encontrarse próximos a un foco de riesgo por inundaciones.

Por otro lado, los beneficios intangibles se consideraron relacionados con el valor económico de las pérdidas en vidas humanas, bienestar y seguridad de las personas, condiciones sanitarias de la ciudad, enfermedades, etc.

i) Sector Urbano

Para valorizar los daños en lo que respecta a infraestructura vial, viviendas, damnificados y pérdidas de terrenos urbanos, se utilizó la información consignada en el estudio de PRISMA-DV (1992). Estos antecedentes se indican en la Tabla 6.27, la que incluye el total de los daños ocasionados tanto por los desbordes del río San José como de la quebrada de Acha.

**Tabla 6.27 Daños Asociados a Crecidas de Diversos Períodos de Retorno Según Estudio de PRISMA-DV (1992)**

Tipo de Daño	Unidad	Cantidades de Daños o Areas Afectadas		
		10 años	50 años	100 años
<b>Infraestructura Vial</b>				
Camino de Tierra	km	0,05	0,23	0,60
Reposición Carretera Panamericana	km	-	-	0,50
Reposición Terraplén Carretero	m <sup>3</sup>	200	2.200	15.000
Reparación de Pasarelas	u	-	3	3
Reparación de Puentes	u	-	1	1
<b>Daños en Viviendas</b>				
Viviendas a Reparar	u	10	46	130
Viviendas a Reconstruir	u	-	7	17
Pérdidas de Terrenos Urbano	m <sup>2</sup>	-	6.000	12.000
Personas Albergadas	u	40	270	860

Adicionalmente, según se consigna en el estudio de DHV y otros-MINAGRI-MOP (1997), durante la crecida de 1973 se anegaron 36 manzanas y se destruyen 200 m de la red de agua potable, aproximadamente. De acuerdo con el análisis de frecuencias efectuado como parte de este estudio, esta crecida tiene asociado un período de retorno de 100 años, de manera tal que estos antecedentes fueron incorporados como parte de los daños en la crecida respectiva. Para crecidas de menor magnitud, se supuso que los daños se distribuyen manteniendo proporción del ítem Pérdidas de Terrenos Urbanos que se indica en la Tabla 6.27.

Para el caso del camino Derivado a Cerro Sombrero se consideraron daños equivalentes al 25% de los ocurridos en la carretera Panamericana, y en relación a los daños indirectos, se incluyeron costos en viviendas de emergencia, atención de albergados y devaluación de la propiedad privada (36 manzanas).

En base a estos antecedentes, en la Tabla 6.28 se resume la valorización de daños para el sector urbano.

**Tabla 6.28 Valorización de Daños Asociados a  
Crecidas de Diversos Períodos de Retorno. Sector Urbano**

Tipo de Daños	Valorización de Daños (Miles UF)		
	T=10 años	T=50 años	T=100 años
<b>DIRECTOS</b>			
<b>INFRAESTRUCTURA</b>			
Reparación Caminos de Tierra	0,03	0,16	0,35
Reparación Pasarelas	-	6,25	10,42
Reparación Puentes	-	4,17	8,33
Reposición Carretera Panamericana	0,21	2,29	29,52
Reposición Camino Derivado Cerro Sombrero	0,05	0,57	7,38
<b>VIVIENDAS</b>			
Reparación de Viviendas	2,00	9,20	26,00
Reconstrucción de Viviendas	-	4,20	10,20
Pérdidas en Terrenos Urbanos	-	10,00	20,00
Pérdidas en mobiliario (Parcial)	0,65	2,98	8,41
Pérdidas en mobiliario (total)	-	0,75	1,83
Reparación Red Agua Potable	-	1,39	2,78
<b>SUBTOTAL DAÑOS DIRECTOS</b>	<b>2,94</b>	<b>41,96</b>	<b>125,22</b>
<b>INDIRECTOS</b>			
Devaluación Propiedad Privada	-	45,00	90,00
Plan de Emergencia	1,78	11,99	38,18
Viviendas de emergencia	-	0,28	0,68
<b>SUBTOTAL DAÑOS INDIRECTOS</b>	<b>1,78</b>	<b>57,27</b>	<b>128,86</b>
<b>TOTAL DAÑOS DIRECTOS + INDIRECTOS</b>	<b>4,72</b>	<b>99,23</b>	<b>254,08</b>

Nota: Los caudales correspondientes a cada período de retorno se indican en la Tabla 4.8.

ii) Sector Valle de Azapa

En el caso del valle de Azapa se consideraron daños directos asociados a obras de infraestructura vial, viviendas y producción agrícol.

Para determinar la superficie afectada por los desbordes del río San José, se utilizó el análisis hidráulico efectuado en el estudio de PRISMA-DV (1992). En base a estos antecedentes se consideró como representativo de las características geométricas del cauce del río San José en el sector del valle de Azapa, la geometría de la sección del cauce ubicada aguas arriba de la confluencia con la quebrada de Acha. El área amagada se calculó utilizando como información el ancho superficial asociado a una crecida de un determinado período de retorno, más la longitud del tramo a proteger. Para efectos de la valorización de daños, se descontó el área asociada a un evento de 5 años de período de retorno, debido a que esta superficie define al lecho del cauce y corresponde a un Bien Nacional de uso Público.

En la Tabla 6.29 consigna el área total amagada en función del período de retorno. Adicionalmente, se presenta el número total de viviendas dañadas y de damnificados, considerando para ello, tal como se indica en la valorización de daños efectuada en el estudio de DHV-y otros-MINAGRI-MOP (1997), densidades habitacionales y poblaciones de 1,5 casas/ha y de 6 habitantes/ha, respectivamente.

**Tabla 6.29 Superficie Amagada, Viviendas Dañadas y N° de Damnificados  
Producto de Crecidas del Río San José en el Valle de Azapa**

Sector	Unidad	Daño Según Sector		
		T=10 años	T=50 años	T=100 años
Superficie Privada Amagada	ha	34	184	305
Damnificados	N°	204	1104	1830
Viviendas Dañadas	u	51	276	458

**Nota:** El área del cauce, determinada para una crecida de 5 años de período de retorno, fue estimada en 24 ha.

Se debe hacer notar que para el caso de una crecida de 100 años de período de retorno, la superficie estimada resulta similar a la determinada en el estudio de DHV y otros MINAGRI-MOP (1997), de 301 ha.

Para determinar la proporción de viviendas que sería necesario reconstruir o reparar del total de casas afectadas, al no disponerse de antecedentes al respecto, se adoptó la misma proporción considerada en el caso del sector urbano.

Para efectos de definir los daños en el sector agrícola, se consideró que el 90% del área afectada corresponde a terrenos cultivados, a los que se les asignaron los valores de producción medios del valle de Azapa. La valorización de daños directos se efectuó considerando los costos de producción e ingresos consignados en el Punto b, en tanto los daños indirectos se evaluaron en forma análoga al caso del sector urbano.

En la Tabla 6.30 se resumen los daños en el sector agrícola para diversos períodos de retorno, calculados conforme a los criterios y antecedentes arriba descritos.

### **c.3) Identificación de Proyectos**

Para el control de crecidas y mitigación de inundaciones se consideró la evaluación del proyecto PR1, en el cual se propone la materialización de obras de defensa de riberas destinadas a proteger tanto al sector urbano como rural, transformándose en una solución global a los daños ocasionados tanto por crecidas del río San José como de la quebrada de Acha.

En la Tabla 6.31 se consigna un resumen con las obras proyectadas para cada sector y los costos asociados a su ejecución, tanto a precios privados como sociales.

### **c.4) Definición de Escenarios de Desarrollo y Valorización de Beneficios Esperados**

Para realizar la evaluación económica del proyecto de control de crecidas y mitigación de inundaciones se evaluaron tres posibles escenarios de desarrollo agrícola indicados en el Punto b.4. Estos corresponden al Escenario 1 (situación actual), que considera que no se producen cambios en la producción agrícola del valle de Azapa; el Escenario 2, que considera que se incrementa al área utilizada manteniendo la distribución de cultivos actual; y el Escenario 3, que considera un cambio en la distribución de cultivos junto a un aumento en la superficie empleada.

**Tabla 6.30 Daños asociados a crecidas en el sector del Valle de Azapa**

Tipo de Daños	Valorización de Daños (Miles UF)		
	T= 10 años	T= 50 años	T= 100 años
<b>DIRECTOS</b>			
Infraestructura Vial	19,52	35,13	37,09
Daños en Viviendas	10,20	69,78	112,66
Mobiliario	3,30	19,43	31,89
Pérdidas Sector Agrícola	10,44	56,50	93,65
<b>SUBTOTAL DAÑOS DIRECTOS</b>	<b>43,46</b>	<b>180,84</b>	<b>275,29</b>
<b>INDIRECTOS</b>			
Devaluación de la Propiedad Privada	6,12	33,12	54,90
Plan de Emergencia	1,05	5,70	9,46
Viviendas de emergencia	0,00	1,27	1,87
<b>SUBTOTAL DAÑOS INDIRECTOS</b>	<b>7,17</b>	<b>40,09</b>	<b>66,23</b>
<b>TOTAL DAÑOS DIRECTOS + INDIRECTOS</b>	<b>50,63</b>	<b>220,93</b>	<b>341,52</b>

**Tabla 6.31 Obras para Control de Crecidas y Mitigación de Inundaciones en la Cuenca del río San José**

ITEM	COSTO (Miles UF)	
	Privado	Social
<b>1. Obras de Defensa con Enrocados río San José Sector Urbano</b>		
A. Tramo Km 0,300 a Km 0,700 Ribera Izquierda	9,7	7,8
B. Tramo Km 0,700 a Km 2,500 ribera Izquierda	43,6	34,9
C. Tramo Km 0,700 a Km 2,500 Ribera Derecha	43,6	34,9
D. Tramo Km 2,500 a Km 3,020 Ribera Izquierda	12,6	10,1
E. Tramo Km 2,500 a Km 3,020 Ribera Derecha	12,6	10,1
F. Tramo Km 3,020 a Km 3,860 Ribera Izquierda	20,3	16,2
G. Tramo Km 3,860 Km 4,580 Ribera Izquierda	17,2	13,8
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>159,6</b>	<b>127,8</b>
<b>2. Obras de Encauzamiento, Protección de Riberas y Badenes de Cruce Valle de Azapa</b>		
A. Badén y Gaviones Sector Alto Ramírez (Km 11,5)	6,7	5,4
B. Badén y Gaviones Sector Las Maitas (Km 15,9)	6,7	5,4
C. Badén y Gaviones Sector Cabuza (Km 27,8)	6,7	5,4
D. Encauzamiento Sector Alto Ramírez-Los Maitas (Km 11,5 a Km 15,90)	6,3	5,0
E. Reparación Defensas Sector Alto Ramírez-Las Maitas (Km 12,15 a Km 15,9)	2,6	2,1
F. Encauzamiento Sector Puntillas de Cabuza (Km 32,50 a Km 33,20)	8,2	6,5
G. Encauzamiento Sector Puntilla de Cabuza (Km 27,5 a Km 30,9)	4,9	3,9
H. Defensa Fluvial y Encauzamiento Sector Sobraya (Km 38)	3,7	2,9
I. Encauzamiento Sector Sobraya (Km 32,50 a Km 33,20)	1,0	0,8
J. Encauzamiento Sector Sobraya (Km 34,0 a Km 36, 50)	3,6	2,8
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>50,4</b>	<b>40,2</b>
<b>3. Obra de defensa Quebrada de Acha</b>	<b>6,0</b>	<b>4,8</b>
<b>4. Badén de cruce Quebrada de Acha</b>	<b>3,9</b>	<b>3,1</b>
<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>219,9</b>	<b>175,9</b>

No se consideraron nuevos desarrollos urbanos en torno al cauce del río San José, en el sector ubicado aguas abajo de la confluencia con la Quebrada de Acha, debido a que se ha proyectado que el desarrollo de la ciudad de Arica se materializaría hacia el sector norte y no hacia el valle de Azapa, según se indica en los planos seccionados del MINVU (B&S-ESSAT, 1992).

Para realizar la evaluación económica se consideraron como beneficios a los daños totales evitados, incluyendo al sector urbano y al valle de Azapa. Adicionalmente se supuso un 8% de los daños totales evitados (directos más indirectos), correspondiente a los beneficios intangibles. Esta información se consigna en la Tabla 6.32, incluyendo los diversos escenarios evaluados.

**Tabla 6.32 Beneficios Totales para Crecidas de 10, 50 y 100 años de Período de Retorno, Considerando Diversos Escenarios**

Sector	Beneficios (Miles UF)								
	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	T=10 años	T=50 años	T=100 años	T=10 años	T=50 años	T=100 años	T=10 años	T=50 años	T=100 años
Sector Urbano	4,72	99,23	254,08	4,72	99,23	254,08	4,72	99,23	254,08
Valle de Azapa	50,62	220,93	341,52	51,23	224,17	346,89	51,98	228,24	353,64
Subtotal	55,35	320,16	595,60	55,95	323,40	600,97	56,70	327,47	607,72
Beneficios Intangibles (8%)	4,43	25,61	47,65	4,48	25,87	48,08	4,54	26,20	48,62
Beneficios Totales	59,78	345,77	643,25	60,43	349,27	649,27	61,24	353,67	656,34

Con base en la información anterior se determinaron los daños esperados asociados a las diversas crecidas evaluadas. Se consideró que los daños se comienzan a producir para crecidas superiores a la de 5 años de período de retorno. Los resultados se presentan en la Tabla 6.33.

**Tabla 6.33 Cálculo de los Beneficios Esperados para Diversos Escenarios**

Período de Retorno (años)	Probabilidad de Excedencia	Beneficios Esperados (Miles UF)		
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
5	0,20	0,00	0,00	0,00
10	0,10	2,99	3,02	3,06
50	0,02	19,21	19,41	19,66
100	0,01	24,16	24,40	24,71

#### c.5) Evaluación Económica Según Escenarios

En lo que sigue se presentan los resultados de la evaluación económica realizada, incluyendo los escenarios de desarrollo analizados. En la Tabla 6.34 se consignan los resultados obtenidos, considerando los indicadores de tipo privado y social.

Según se aprecia en la Tabla 6.34, en todos los escenarios evaluados el proyecto sólo se justifica desde el punto de vista social, obteniéndose rentabilidades bajas, cercanas a la tasa descuento. No se aprecian mayores diferencias entre un escenario u otro.

Tabla 6.34 Resultados de la Evaluación Económica

Escenario de Desarrollo Agrícola	Indicadores Evaluación Económica					
	Privado			Social		
	VAN (Miles UF)	TIR (%)	IVAN	VAN (Miles UF)	TIR (%)	IVAN
Escenario 1	(41,0)	9,25	(0,20)	4,2	12,34	0,03
Escenario 2	(39,2)	9,38	(0,19)	6,0	12,49	0,04
Escenario 3	(36,8)	9,54	(0,18)	8,4	12,68	0,05

#### d) Proyectos de Uso Múltiple

##### d.1) Antecedentes Disponibles

Para la evaluación de los proyectos de uso múltiple se usarán todos los antecedentes recopilados previamente para la evaluación de los proyectos de agua potable, riego, y control de crecidas y mitigación de inundaciones.

##### d.2) Definición de la Situación Sin Proyecto

Para este caso, la situación sin proyecto contempla todos los sectores de uso en que se desarrolla el mismo, esto es, situación del sector agua potable, riego y lo relativo al control de crecidas. Por esta razón, la situación sin proyecto queda representada por lo indicado en el Punto a.2) para el agua potable, en el Punto b.2) para el sector riego, y en el Punto c.1) para la que es control de crecidas y mitigación de inundaciones.

##### d.3) Identificación de Proyectos Factibles de Corto y Mediano Plazo

A partir del análisis presentado en el Capítulo 5 se concluye que de los proyectos de uso múltiple estudiados, sólo el proyecto UM6 (Proyecto Embalse Regulador Río San José) es factible de materializar en el corto o mediano plazo. Lo anterior debido a que los proyectos UM1 (Proyecto Captación Recursos Superficiales río Caquena) y UM2 (Embalse Chironta Regulación Recursos Superficiales Río Lluta) requieren definir el uso de los recursos hídricos compartidos, cuestión que, como se ha explicado anteriormente no se ha considerado solucionable en el corto ni en el mediano plazo. Por otro lado, los proyectos UM3 (Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca) y UM4 (Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca) no han sido incorporados en la evaluación como proyectos de uso múltiple dado que la generación de hidroelectricidad es tomada en cuenta como una externalidad del proyecto.

Por otro lado, el proyecto UM5 (Reuso Aguas Servidas en Riego y Agua Riego para Agua Potable) tampoco ha sido incluido en la cartera de proyectos de corto y mediano plazo, ya que si bien es cierto no existen restricciones legales o ambientales para su materialización, su alto costo y posible reticencia de los usuarios no lo hacen atractivo para ser realizado en el futuro inmediato aunque no se descarta su materialización en el futuro. Por último, en lo que respecta a los proyectos de recarga al acuífero, se estima que no son implementables en el corto o mediano plazo por su alto costo. En particular, el proyecto RA1 (Infiltración Crecidas Río San José) que además podría controlar crecidas, no aparece como factible dado que para el período de retorno de diseño (5 años), no aportaría beneficios ya que las crecidas no producirían daños.

Debe indicarse además, que de acuerdo a los análisis realizados previamente, resultaría atractivo aprovechar el agua subterránea de la cuenca del río Lauca tanto para riego como para agua potable, lo que implica necesariamente una adecuación del proyecto RA1 para poder satisfacer las necesidades de los sectores involucrados.

Por este motivo, se consideró conveniente desarrollar un nuevo proyecto de uso múltiple que considera este aprovechamiento del agua subterránea de la cuenca del río Lauca. A este nuevo proyecto se le ha denominado Proyecto UM7.

Se presenta a continuación una breve descripción de los proyectos factibles de ser desarrollados en el corto y mediano plazo, que según lo precedentemente indicado corresponden a los proyectos UM6 y UM7.

i) **Proyecto UM6: Embalse Regulador Recursos Superficiales Río San José para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable**

Este proyecto se planteó con el fin de aprovechar las aguas excedentes del río San José, especialmente durante el período del invierno altiplánico, entre los meses de diciembre y febrero. El embalse permitiría regular las aguas embalsadas, optimizando la entrega hacia la zona de riego del canal Azapa.

En lo que respecta al aprovechamiento de las aguas, en la etapa de prefactibilidad se plantearon 2 alternativas de uso de éstas. La primera consideró sólo el uso del agua en riego, suplementando el riego de las 2.600 ha bajo canal Azapa, y permitiendo la incorporación de 100 ha al riego con aguas superficiales. La segunda alternativa, al igual que la primera, supone suplementar el riego con el canal Azapa, pero además permite entregar 50 l/s para ser usados en el abastecimiento de agua potable de Arica.

Para esta etapa de factibilidad, se descartó la ejecución de la segunda alternativa dado su altísimo costo y bajo nivel de eficiencia, destinándose por este motivo el uso de las aguas del embalse sólo al riego.

En lo que respecta al costo del proyecto, se tiene que a precios privados la inversión total asciende a UF 938.000, en tanto que a precios sociales la inversión disminuye a UF 797.300. Es importante indicar que dado que no existen antecedentes adicionales no es posible desarrollar este proyecto a nivel de factibilidad, debiéndose usar para la evaluación sólo los antecedentes del proyecto evaluado a nivel de pre-factibilidad, tal como fue presentando en el Capítulo 5.

Los resultados de la evaluación económica tanto privada como social se presentan en el Punto d.5.

ii) **Proyecto UM7: Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable**

Este proyecto aprovecha las aguas subterráneas de la cuenca del río Lauca, para lo cual se considera la perforación de 12 sondajes en las cercanías del canal Lauca y la habilitación de 6 de los 7 sondajes construidos por la Dirección de Riego en el período 1992-1993. Estos sondajes permitirían captar hasta 545 l/s, lo que sería acorde con el caudal recomendado en el estudio AC-ESSAT (1996) que consideró 11 pozos, de los cuales 330 l/s serían usados en agua potable y los restantes 215 l/s permitirían suplementar el agua captada en el río San José para el riego en el valle de Azapa. Esta distribución de caudales a extraer desde el acuífero está determinada por el nivel de explotación del sistema subterráneo que se le permita efectuar a ESSAT, que de acuerdo a la DGA asciende a 345 l/s. Lo anterior implica un déficit de agua para el abastecimiento de Arica al año 2016 (plazo de previsión del Plan Director), que debe ser satisfecho con las aguas del acuífero del río Lauca.

Luego de ser entregadas al canal Lauca, las aguas serían conducidas hasta el río San José y captadas unos 4 km aguas arriba de la actual bocatoma del canal Azapa, lugar en donde se construiría una obra de toma con barrera transversal para apretillar el río y captar el caudal para el canal Azapa y para el aprovechamiento potable requerido. Por otra parte, dado que en el río y en el canal Lauca se producen importantes pérdidas, se plantea captar para agua potable sólo 240 l/s, de los 330 l/s originalmente extraídos, y al igual que con la obra de toma original, hasta 1.200 l/s para riego, incluyendo el caudal suplementado con los pozos del Lauca. La materialización de esta obra requeriría además la extensión del canal Azapa en 3.600 m y la construcción de una aducción de 400 mm de diámetro y 25 km de longitud para conducir el agua destinada a uso potable desde la toma

a una planta de tratamiento, desde donde se entregaría un efluente máximo de 220 l/s para consumo en la ciudad de Arica.

Debe agregarse que con este proyecto se puede suplementar el abastecimiento de la central hidroeléctrica de Chapiquiña con un caudal firme del orden de 300 l/s, cuya generación constituiría una externalidad positiva del proyecto.

En lo que respecta a costos, debe tenerse en cuenta por una parte la inversión total y la inversión en equipos que deben ser repuestos periódicamente. A precios privados la inversión total asciende a UF 972.093 y los equipos a UF 120.697. En cambio, a precios sociales la inversión total es de UF 826.279 y en equipos igual a UF 102.592.

Los resultados de la evaluación económica tanto privada como social, se presentan en el Punto d.5.

#### d.4) Definición de Escenarios en la Situación con Proyecto

La definición de los escenarios para la evaluación de los proyectos de uso múltiple no es única, y depende del proyecto considerado, dado que están involucrados diversos usos del agua o efectos del proyecto. En particular el proyecto UM6 tiene efectos en riego y control de crecidas y el UM7 en riego y agua potable.

En lo que respecta al uso del agua en riego se consideran los mismos escenarios de evaluación presentados en el Punto b.4, es decir, Escenario 1 (situación actual), Escenario 2 y Escenario 3. Por otro lado, para el caso del uso de agua potable se consideró sólo el escenario en que ESSAT se ve obligada a limitar la extracción desde el acuífero del valle de Azapa a 345 l/s. Finalmente en lo que respecta al control de crecidas se consideran 2 escenarios de evaluación, correspondiendo el primero a la situación actual, y el segundo a una situación en que las áreas afectadas por inundaciones son utilizadas por cultivos de mayor rentabilidad, correspondiendo a los Escenarios 2 y 3 de riego, respectivamente.

#### d.5) Evaluación Económica

Con los beneficios y costos ya evaluados, se procedió a realizar la evaluación económica de los 2 proyectos en sus diferentes escenarios. Los resultados de esta evaluación se presentan en forma resumida en la Tabla 6.35, encontrándose el detalle de los flujos en el Anexo 7.

**Tabla 6.35 Resultados Evaluación Económica**

Proyecto	Escenario	EVALUACION PRIVADA			EVALUACION SOCIAL		
		VAN (Miles UF)	TIR (%)	IVAN	VAN (Miles UF)	TIR (%)	IVAN
UM 6	1	(603,7)	0,17	(0,75)	(447,5)	1,52	(0,70)
	2	(526,9)	2,57	(0,66)	(366,5)	4,24	(0,57)
	3	(526,9)	3,91	(0,66)	(366,0)	5,61	(0,55)
UM 7	1	(391,5)	1,24	(0,72)	(226,7)	5,07	(0,52)
	2	(318,5)	3,52	(0,59)	(148,6)	7,56	(0,34)
	3	(337,5)	4,62	(0,62)	(154,6)	8,22	(0,35)

Nota: El Escenario 1 representa la situación actual del valle.  
Los valores entre paréntesis indican cifras negativas.

#### **6.2.4 Estudio de Factibilidad del Programa de Soluciones No-Estructurales**

Los proyectos que conforman este programa y que se presentan a continuación, han sido tomados de la cartera de proyectos desarrollada en el Capítulo 5, y se han revisado, profundizado o reformulado a fin de adaptarlos en mejor forma a los objetivos del Plan Director, llevándolos a un nivel de factibilidad.

##### **a) Proyecto NE1: Manejo de Cauces**

###### **a.1) Problema a Abordar**

Uno de los problemas que presenta actualmente la cuenca del río San José, se refiere a las pérdidas materiales que se registran frecuentemente en los sectores agrícolas e infraestructura vial y urbana aledaña al cauce, así como en las actividades turísticas por efecto de las crecidas y desbordes del río San José.

Entre las causas que contribuyen a este problema está la acción antrópica desfavorable traducida en un uso inadecuado de los cauces durante períodos de estiaje, como producto de extracciones de áridos, uso del cauce como botadero de basuras y en menor medida, el emplazamiento de viviendas no regularizadas o utilización de las áreas de inundación con fines agrícolas.

En la actualidad se realizan extracciones clandestinas de áridos de tipo artesanal en ciertos tramos del cauce, lo cual genera problemas durante eventos de crecida tal como el desmejoramiento de la sección de escurrimiento, desvío de las aguas hacia zonas ribereñas y daños en obras de defensas fluviales, favoreciendo todo ello la ocurrencia de rebases e inundaciones. También ocurre lo mismo en algunas zonas de extracción autorizadas, debido a que no se respetan las disposiciones en cuanto al manejo y explotación respectivas.

En virtud de ello, el presente proyecto de manejo de cauces, se ha concebido en primer lugar como un conjunto de estudios destinados a aportar los antecedentes para promover por parte de las instituciones públicas competentes en la materia, el ordenamiento, regulación y zonificación de los usos del cauce del río San José. Por tal motivo el proyecto se plantea integrado por dos componentes: regulación del uso del cauce y fijación de deslindes.

La ejecución de los estudios incluidos en este proyecto proporcionaría un instrumento técnico para definir y facilitar la implementación de la solución de los problemas descritos, lo cual exige que las recomendaciones y normativas de manejo y explotación del cauce que de ellos se deriven se pongan efectivamente en práctica.

###### **a.2) Estudio de Regulación Uso del Cauce y Normativas de Manejo y Explotación del Cauce**

###### **i) Objetivos**

Este proyecto está orientado hacia la definición de una base y normas técnicas, así como procedimientos específicos a partir de los cuales se pueda realizar la zonificación y regulación de áreas para un uso planificado del cauce del río San José.

###### **ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades**

Se espera que el estudio permita perfeccionar el control y regulación de las actividades que hacen uso del cauce del río San José, de tal manera que con las acciones implementadas se puedan evitar desbordes y la erosión de riberas, como asimismo se impidan los daños sobre obras existentes en el cauce. Además, poner a disposición de los organismos e instituciones reguladoras del uso del suelo un instrumento técnico de planificación actualizado que facilite la toma de decisiones en cuanto a la fijación de zonas de restricción aledañas al cauce para el desarrollo de actividades en el ámbito urbano y rural. Asimismo los resultados del estudio podrán ser usados por

la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas a fin de definir los proyectos de control del cauce, particularmente de regularización de éste y rigidización de riberas.

Los beneficios de este proyecto, surgen de la disminución de personas damnificadas por crecidas del río o el mal uso de su cauce, además de la disminución de los costos en la reparación de la infraestructura de caminos y puentes. La extracción planificada y controlada de áridos desde el cauce natural, por otro lado, puede mejorar efectiva y significativamente la capacidad y sección de éste, contribuyendo a evitar los problemas ya indicados, al mismo tiempo de generar una actividad económica probablemente a un nivel más industrializado que el actual.

Por otro lado, a partir de cobros por permisos de extracción de áridos y con un mejor control de los volúmenes extraídos, se puede lograr un beneficio económico adicional para la municipalidad.

### iii) Actividades a Desarrollar

El desarrollo de un estudio de ingeniería de regulación de uso del cauce del río San José, consultaría la realización de las siguientes actividades: reconocimiento y levantamiento aerofotogramétrico del cauce y sus zonas ribereñas; caracterización granulométrica de los sedimentos; estudios hidrológicos, hidráulicos, sedimentológicos-geomorfológicos y legales; identificación de las áreas de riesgo de inundación y/o socavación por crecidas fluviales en función del período de retorno; catastro de propiedades roles y avalúos del SII; revisión de antecedentes legales sobre los títulos de propiedad; evaluaciones económicas de las áreas amagadas; estimación de la población afectada; análisis de la vulnerabilidad de las obras de infraestructura urbana y agrícola; proposición de una zonificación del cauce de acuerdo a las características de cada sector y a la existencia de obras; definición de los procedimientos técnicos específicos y legales para cada tramo, a través de un plan que defina y regule la extracción de áridos en zonas permitidas y prohibidas, conjuntamente con una estimación de los volúmenes de explotación admisibles de cada sector del río.

#### a.3) Estudio de Fijación de Deslindes

##### i) Objetivos

A partir de un estudio de ingeniería destinado a la generación de antecedentes técnicos que permitan la fijación de los deslindes entre el bien nacional de uso público y las propiedades colindantes al cauce del río San José, la o las instituciones públicas responsables en el tema deberán arbitrar las medidas para el establecimiento de estos deslindes. Es deseable que la determinación y fijación de ellos abarque en forma integral el cauce, iniciándose por lo menos a partir de la bocatoma del canal Azapa hasta la desembocadura en el Océano Pacífico.

##### ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

La fijación de los deslindes posibilitaría el ordenamiento y regulación de las zonas urbanas y de expansión potencialmente inundables, estableciendo los límites de las propiedades ribereñas, con lo cual se evitarían además conflictos de usos con los propietarios ribereños. Otros beneficios asociados serían el facilitar la ejecución de obras fluviales en terrenos de uso público y en lo que respecta a la concesiones otorgadas por las municipalidades respectivas para el uso de los cauces, se evitarían conflictos con los propietarios ribereños. Por otra parte, los organismos públicos podrían contar con un instrumento legal para evitar la ocupación indebida y perjudicial del cauce (construcción de obras, botadero de desechos, viviendas o tierras de cultivo) y en particular incorporar en la planificación urbana y territorial los deslindes, además de fijar zonas de restricción por riesgos de inundación en el plano regulador de Arica y en los planos reguladores comunales que correspondan.

iii) **Actividades a Desarrollar**

Sobre la base de los antecedentes técnicos y legales, se deberá proceder a la fijación de los deslindes del cauce conforme con el procedimiento vigente.

**a.4) Equipo Profesional Requerido**

El equipo profesional para abordar los distintos estudios y análisis debería estar compuesto por especialistas en las diferentes áreas que abarcan el estudio, considerándose por lo tanto ingenieros civiles especialistas en hidráulica (hidrólogos y especialistas en hidráulica y mecánica fluvial), ingenieros agrónomos, arquitectos urbanistas, economistas y abogados, y personal técnico.

**a.5) Duración Estimada**

Se ha estimado que el proyecto con sus distintas componentes debería tener una duración de 1 año.

**a.6) Presupuesto**

El presupuesto del estudio se presenta detallado en el Anexo 8 y alcanza un valor total de UF 21.000.

**a.7) Marco Institucional y de Coordinación**

Basado en las conclusiones y recomendaciones del estudio, las acciones y medidas de corto plazo a implementar deberían estar orientadas a la tramitación y aprobación de los deslindes del cauce natural del río San José con los propietarios ribereños, la incorporación a la planificación territorial de zonas con restricción por inundación y/o desborde a través de los instrumentos de planificación urbana normativos que correspondan y la concesión planificada de extracción de áridos desde el cauce.

En virtud de la orientación del proyecto en sus dos componentes se considera que su gestión y administración debería estar a cargo del Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección de Vialidad (Departamento de Obras Fluviales) y/o la Dirección de Obras Hidráulicas (ex Dirección de Riego). Además, deben coordinarse acciones con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y con el Ministerio de Bienes Nacionales, dada la tuición sobre los cauces y el territorio que ellos poseen.

**b) Proyecto NE2: Organización de Usuarios del Agua Subterránea y Superficial del Valle de Azapa**

**b.1) Problema a Abordar**

Actualmente en la cuenca del río San José no existe junta de vigilancia, pero sí varios conjuntos de comunidades de aguas. Entre estas comunidades se encuentra un grupo de 5 que incluye a usuarios que captan sus aguas de vertientes que se forman en la parte intermedia de la hoya hidrográfica del río San José, y otro grupo de 121 comunidades de aguas, que corresponden básicamente a agrupaciones de origen Aymara de la parte alta de la cuenca, las que no cuentan con personal técnico, de secretaría o contabilidad, limitándose a seguir usos y costumbres ancestrales. Cada una de estas comunidades funciona de forma independiente distribuyendo el agua entre sus miembros, sin intervenir en el mejoramiento de sus sistemas. En la parte baja de la cuenca, interviene la Comunidad de Aguas del Canal Azapa (COMCA) que administra el sistema del canal Azapa.

La situación descrita muestra que actualmente las organizaciones asociadas al aprovechamiento de los recursos superficiales operan en forma independiente entre ellas y en particular, las comunidades de origen

Aymara constituyen organizaciones que se limitan a seguir sus costumbres ancestrales sin introducir mejoramiento en sus sistemas de riego.

Por otra parte, la presión por la demanda de agua que ejercen los distintos usuarios del recurso (riego, agua potable, agua industrial e hidroelectricidad) ha generado un creciente déficit en la disponibilidad de los recursos superficiales y subterráneos de la cuenca, y está afectando también su calidad. Lo anterior hace cada vez más necesario y recomendable la creación de una organización de usuarios que pueda abordar la gestión integrada, coordinada y participativa de los recursos hídricos en la cuenca.

En lo que se refiere en particular a la explotación del agua subterránea, se ha declarado al valle de Azapa Zona de Prohibición de acuerdo al Código de Aguas que tiene como único objetivo impedir la concesión de nuevos derechos de aproximadamente.

Por otra parte, en el evento que, a petición de algún usuario, se declarara por resolución de la DGA Zona de Restricción al valle de azapa, ello daría origen a una comunidad de aguas formada por los usuarios de las aguas subterráneas del valle, de acuerdo al Art. 65 del Código de Aguas.

Sin embargo, hasta la fecha no se ha hecho la petición de Zona de Restricción y por lo tanto no se ha podido constituir una comunidad de aguas subterráneas. Las ventajas que tendría la constitución y puesta en práctica de una comunidad de aguas subterráneas, es la posibilidad de negociar tarifados especiales para el suministro de energía, lo cual podría incidir significativamente en la reducción de los costos de operación de estos usuarios. También permitiría monitorear y controlar el volumen de extracción de manera de acotarlo a un valor sustentable, compatible con la recarga del sistema, y sobre todo, lograr que se produjera un autocontrol de las extracciones por parte de los propios usuarios.

La sobre-explotación del acuífero del valle de Azapa ha conducido gradual pero sostenidamente al descenso de los niveles y al desmejoramiento de la calidad del agua subterránea, lo cual está poniendo en grave riesgo la sustentabilidad del sistema. Esto ha sido analizado en el estudio Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca del río San José, Arrau-DGA (1997), según se indicó en el Capítulo 3, apartado 3.5.3. Dada la importancia que tiene esta fuente de abastecimiento de agua para el valle, resulta imperioso iniciar un control y monitoreo efectivo de la explotación de estos recursos subterráneos de forma tal que se asegure que dicho aprovechamiento es compatible con la recarga del acuífero. En este sentido, un sistema organizado de usuarios de agua subterránea y superficial podría contribuir a una mejor coordinación con las instituciones del sector público, especialmente aquellas cuyas políticas apuntan por un lado a apoyar la actividad productiva o a mejorar la competitividad y que por otro, pueden estar en contraposición con el uso sustentable de los recursos. Tal podría ser el caso en que al destinarse fondos para la aplicación de la Ley de Fomento a las Inversiones en Riego y Drenaje (Ley 18.450) se pudiera producir una sobreexplotación de los recursos subterráneos. En este caso, una adecuada coordinación con los usuarios de aguas subterráneas podría corregir este efecto, toda vez que esta organización podría aportar los antecedentes relativos al uso efectivo del acuífero, por ejemplo contando con una red telemétrica de medición, tanto de niveles como de calidad de aguas.

## **b.2) Estudio para la Organización de Usuarios del Agua Subterránea y Superficial del Valle de Azapa**

### **i) Objetivos**

El proyecto propuesto tendría como objetivos promover por parte de las instituciones públicas, en cuyo ámbito de competencia cae este tipo de problema, la formación de una organización en la cuenca del río San José que agrupe a todos los usuarios de aguas subterráneas y superficiales, y de los distintos sectores económicos de la cuenca que dependen en su actividad del recurso agua. En segundo término, estudiar formas y mecanismos permanentes a lo largo del tiempo de control y monitoreo de niveles, caudales y parámetros físico-químicos de las

aguas subterráneas, y en tercer lugar, facilitar la acción coordinada de los usuarios, tanto de aguas superficiales como subterráneas, para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca.

ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

El principal beneficio directo de este proyecto estaría dado por la proposición de una organización de usuarios de aguas de la cuenca con claros objetivos, actores y responsabilidades, estructura organizativa y legal, financiamiento y presupuestos, y un plan de acción para materializar la organización. Mediante esta organización se esperaría que los usuarios tanto de aguas superficiales como subterráneas, actúen coordinadamente en la administración del agua de la cuenca, optimizando el uso actual y futuro de los recursos. Esta organización incluiría a las comunidades Aymaras de la parte alta de la cuenca.

A partir de esta organización, se posibilitaría alcanzar la meta de lograr un uso sustentable de los recursos hídricos, al mismo tiempo que permitiría mejorar condiciones para negociar (como por ejemplo tarifados más ventajosos en lo que respecta al suministro de energía eléctrica), y para emprender conjuntamente acciones que favorezcan su competitividad en términos de mejorar la producción y comercialización de los productos agrícolas, tales como desarrollar programas para incorporar riego tecnificado o de educación para un uso optimizado del agua.

Otro beneficio de este proyecto es el establecimiento del marco legal para la constitución de una organización de usuarios de aguas subterráneas, pues este tipo de organizaciones no existe en el país y será necesario analizar y definir una forma para que sea posible esta organización. Al respecto cabe mencionar que las Comunidades de Aguas se encuentran reglamentadas en el Título III del Libro Segundo del Código de Aguas el cual señalan que para que pueda existir una Comunidad de Agua se deben cumplir los requisitos de hacer un aprovechamiento común de una fuente natural de agua y tener una obra de captación común. Sobre estos requisitos, es importante señalar que es en el aprovechamiento común donde se encuentra radicada la fuente esencial de toda Comunidad de Aguas. Para la constitución de la Comunidad de Aguas subterráneas se deberá analizar tanto la posibilidad de que sea en forma voluntaria como que sea promovida judicialmente, analizando en cada caso las ventajas y desventajas que pudiera tener cualquiera de estas formas de proceder.

Finalmente se espera generar las condiciones para que se produzca un autocontrol de los propios usuarios del agua subterránea del valle, del modo que sean ellos quienes limiten sus extracciones, haciéndolas compatibles con el respaldo hidrológico del acuífero.

iii) Actividades a Desarrollar

El proyecto se contempla que sea desarrollado en cuatro etapas sucesivas. La primera etapa consistirá en un estudio de la factibilidad legal, económica y administrativa para la constitución de una organización de usuarios de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca del río San José. Luego, en una segunda etapa se desarrollaría la organización de aguas superficiales. La tercera etapa consistirá en la formación de la organización que agrupe en una sola a las dos organizaciones, de aguas subterráneas y de aguas superficiales. Finalmente, seguiría una etapa de puesta en marcha y asesoría inicial para el funcionamiento de la organización.

Además se deberá realizar un estudio para definir una red de monitoreo y control de los recursos subterráneos, que incluya tanto los niveles freáticos como la calidad del agua. Especial relevancia adquiere la posibilidad de establecer una red de medición automática. Para ello se deberá definir una red compuesta por un grupo de sondajes en los que se instalarían medidores de nivel conectados a un sistema telemétrico de recolección de datos. En este sistema, los datos recolectados a intervalos regulares serían incorporados a una base de datos en forma inmediata, permitiendo además medir algunos parámetros de calidad química, tales como conductividad y pH. La información generada mediante este sistema podría servir para tomar decisiones operativas respecto del

grado de explotación del acuífero, a partir del modelo de simulación desarrollado por la DGA para el valle, además de constituir en sí un banco de datos para el control día a día de la operación del sistema acuífero.

Una forma alternativa para operar la red de medición es realizar su operación manual, tanto de niveles como de calidad. En este caso, se deberá estudiar los requerimientos necesarios de equipamiento, personal y recursos necesarios para el desarrollo de estas tareas, las que podrían ser realizadas por la propia organización de usuarios.

**b.3) Equipo Profesional Requerido**

El equipo de profesionales que participaría en el estudio debería estar compuesto por ingenieros civiles, hidrogeólogos, abogados, sociólogos y economistas.

**b.4) Duración Estimada**

Se ha estimado que la duración del proyecto sería de 2 años.

**b.5) Presupuesto**

El presupuesto del estudio que se presenta detallado en el Anexo 8 y asciende a la suma de UF 34.800.

**b.6) Marco Institucional y de Coordinación**

Se ha estimado que en virtud de sus atribuciones y funciones legales, la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas debería ser la institución encargada de ejecutar el proyecto, y promoverlo e implementarlo en conjunto con otras instituciones regionales y usuarios.

Debido a que en su primera fase este proyecto ha sido concebido para analizar la factibilidad de constitución de organización de usuarios, en términos legales, administrativos y económicos, se considera que al cabo de él, las acciones a implementar deberían estar orientadas a plantear el tema a nivel de actores y autoridades; proponer los estatutos de la nueva organización, acción que podría ser realizada por la Dirección General de Aguas; y finalmente, promover y destacar entre los distintos actores, los beneficios de la nueva forma de organización.

Se considera que esta labor debería ser realizada y coordinada por la Dirección General de Aguas la cual junto a otras instituciones del Gobierno Regional a través de la modalidad de una junta de promoción, serían los encargados de la difusión del proyecto por medio de reuniones con los distintos usuarios organizados de agua potable y de riego de la cuenca del río San José.

**c) Proyecto NE3: Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego**

**c.1) Problema a Abordar**

A partir de la etapa de diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del río San José, se ha podido constatar que el uso del recurso para el riego de la zona agrícola del valle de Azapa, no sólo está condicionado por la escasez de éste, sino que también por la calidad de sus aguas, tanto superficiales como subterráneas, ya que los contenidos de sales de estas aguas exceden el límite aceptado por la Norma Chilena NCh 1.333.

Este programa estaría orientado al desarrollo de líneas de investigación y acciones concretas que favorezcan el uso óptimo de los recursos hídricos en la cuenca, y que a la vez complementen el trabajo que la DGA

está realizando con este objetivo. Este proyecto considera dos componentes fundamentales. La primera componente está orientada a determinar el efecto real que las prácticas de riego actuales empleadas en la cuenca tendrían sobre el proceso de salinización del acuífero, así como posibles medidas de mitigación. La segunda en tanto, se orienta a la optimización del uso del agua en riego, promoviendo por ejemplo el uso generalizado de tecnologías más modernas o avanzadas que permitan incrementar significativamente la eficiencia de riego. Estas tecnologías se justifican mejor en la medida que los costos y precios de la producción del agua sean altos y su calidad baja.

## **c.2) Estudio para el Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego**

### **i) Objetivos**

Los objetivos específicos del proyecto son: (1) determinar la contribución del riego a la salinización del acuífero; (2) establecer las medidas para mitigar este impacto; (3) asociado con lo anterior, estudiar y recomendar el uso de tecnologías modernas de riego para optimizar el uso del agua con fines agrícolas.

### **ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades**

El beneficio de este proyecto reside en el hecho que mediante la aplicación de prácticas de riego más eficientes, implementación de medidas de control y mitigación podría disminuirse el proceso de salinización del acuífero, favoreciendo de este modo el desarrollo de una actividad agrícola más productiva y con una oferta de mayor variedad de cultivos.

La aplicación de riego más eficiente liberaría recursos de agua que podrían ser usados ya sea con otros fines o bien en regar otras áreas o en aumentar la seguridad de riego de zonas deficitarias. Además, daría origen a un proceso de transferencia tecnológica que favorecería directamente a los agricultores.

Por otra parte, este proyecto podría hallar un ambiente favorable para su realización en el contexto de la organización de usuarios planteada en el proyecto NE2, la que podría prestar apoyo técnico y financiero para llevar a cabo el proyecto. Ello por cuanto este proyecto favorecería el uso óptimo y sustentable de los recursos, al mismo tiempo que mejoraría la productividad y competitividad que son objetivos perseguidos también de alguna manera por la organización de los usuarios.

### **iii) Actividades a Desarrollar**

#### **Investigación sobre el Proceso de Salinización del Acuífero**

Con el fin de mejorar el conocimiento del proceso de la salinización del acuífero, debe investigarse en profundidad este fenómeno, realizando una campaña para monitorear y llevar una estadística actualizada de la calidad del agua del acuífero. Como herramienta técnica de análisis, puede recurrirse al modelo de simulación de calidad de aguas, realizado en el marco del estudio Arrau-DGA (1997), usando toda la información generada en el proyecto de Parcelas Experimentales que se encuentra desarrollando la DGA (1997) y aquella que se reúna durante la presente investigación.

#### **Estudio de Técnicas para el Mejoramiento del Uso del Agua en Riego**

Usando todos los antecedentes obtenidos previamente, en particular los que se refieren a la relación entre la situación actual del riego y el desmejoramiento de la calidad del agua subterránea, a las prácticas de riego empleadas en el valle y al estudio de introducción de nuevos cultivos, se analizará la forma de cambiar u optimizar los métodos actualmente en uso, con el fin de mitigar o proponer soluciones al problema de la salinización en el acuífero.

Ciertas consideraciones de política ambiental hacen más atractivas la aplicación de tecnologías de riego modernas y justifican la intensificación de su adopción. En zonas donde el agua subterránea está siendo contaminada con residuos químicos o agentes biológicos nocivos para la salud humana por efectos del riego tradicional, el uso de tecnologías de riego modernas resulta además apropiado para reducir el impacto ambiental ya que disminuyen la percolación del agua y la escorrentía superficial.

La ejecución de este tipo de proyectos podría hallar financiamiento a través de la Ley N° 18.450 de Fomento a las Inversiones en Riego y Drenaje, de 1986, que promueve y apoya económicamente las actividades de tecnificación del riego a nivel predial. Las bases conceptuales de esta ley apuntan a no subsidiar el agua y/o energía, sino más bien hacia estimular las inversiones reales, en cuanto a riego mecánico, o al perfeccionamiento de sistemas tradicionales. Esta ley establece que el Estado de Chile financiará hasta un 75 % del costo de construcción y reparación de obras de riego y drenaje, y las inversiones en equipos y elementos de riego mecánico, siempre que se ejecuten para cumplir con las siguientes finalidades: incrementar el área de riego, mejorar el abastecimiento de agua y habilitar suelos agrícolas. En este caso, una organización de usuarios como la propuesta en el proyecto NE2 podría velar por el adecuado uso de las postulaciones de sus miembros a esta ley, evitando la expansión del suelo destinado a usos agrícolas, resguardando así la sustentabilidad del sistema.

## **Difusión**

La actividad final del proyecto consistiría en una campaña destinada a difundir y promover la aplicación de las medidas y tecnologías propuestas como resultado de los estudios realizados, lo cual también se conseguiría en forma más efectiva de contarse con la asociación de usuarios de aguas del valle.

### **c.3) Equipo Profesional Requerido**

El equipo profesional que se encargaría de este estudio debería ser multidisciplinario e integrado por ingenieros civiles, agrónomos especialistas en riego tecnificado, abogados, economistas y sociólogos.

### **c.4) Duración Estimada del Programa**

La duración estimada del proyecto se estima en 2 años.

### **c.5) Presupuesto**

El presupuesto estimado para este proyecto asciende a la suma de UF 17.800 y se presenta detallado en el Anexo 8.

### **c.6) Marco Institucional y de Coordinación**

Este proyecto debería ser abordado por la DGA coordinando acciones con la Dirección de Riego y el Ministerio de Agricultura, y también con la Comisión Nacional de Riego. En la etapa de difusión, capacitación e implementación de las tecnologías de riego deberían participar organismos regionales y representantes de los agricultores.

## **d) Proyecto NE4: Estudios e Investigaciones del Sistema de Recursos Hídricos**

### **d.1) Problema a Abordar**

Este proyecto se ha concebido como un conjunto de investigaciones y estudios de ingeniería que permitirían profundizar y perfeccionar el conocimiento sobre ciertas temáticas relativas a los recursos hídricos, lo cual redundaría en el mediano y largo plazo en la posibilidad de realizar una gestión y administración de los

recursos hídricos de la cuenca fundamentada en mejores elementos científicos y técnicos. Con este fin se han planteado tres líneas de trabajo:

#### Estudio de los Procesos de Infiltración en el Valle de Azapa

Debido a la explotación intensiva de las aguas subterráneas del valle de Azapa, y a la falta de información científica que avale en forma sólida la definición de un caudal de explotación sustentable de acuífero en el largo plazo, el estudio de los mecanismos de recarga a la napa es de vital importancia. Un segundo aspecto a considerar es poder evaluar a priori el efecto que tendría la materialización de obras, tales como el mejoramiento del canal Azapa o la tecnificación de áreas de riego que aportarían menos recursos a la napa.

#### Caracterización del Régimen Hídrico

Dada la existencia de un déficit en la calidad y cantidad de información referente a los recursos hídricos de las cuencas de los ríos San José, Lauca y altiplánicas, se propone este proyecto que dice relación con un estudio que permita definir los regímenes hídricos, la relación agua subterránea-superficial del sistema y aspectos ambientales asociados al uso de los recursos.

#### Modelo de Pronóstico y Sistema de Alerta de Crecidas

Con el fin de contar con una herramienta adecuada para tomar decisiones ante la ocurrencia de crecidas, especialmente en la época del invierno altiplánico, se debería contar con un modelo de pronóstico de crecidas estimar a priori el posible efecto que podrían tener sobre la infraestructura y zonas urbanas, y agrícolas, de modo de poder tomar decisiones que permitan paliar dichos efectos.

De estos tres proyectos a abordar, el primero corresponde a un proyecto de investigación, en tanto que el segundo y tercero corresponden a estudios de ingeniería.

#### **d.2) Estudio de los Procesos de Infiltración en el Valle de Azapa**

##### i) Objetivos

Conocer en forma exacta los mecanismos, procesos y tasas de infiltración característicos, identificando y caracterizando las zonas de recarga del acuífero del Valle de Azapa.

##### ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

Como resultado se espera obtener una adecuada cuantificación de las tasas de infiltración y de los mecanismos involucrados en el fenómeno de infiltración hacia el acuífero, además de una caracterización espacial de la infiltración a lo largo del valle.

El principal beneficio de este proyecto estaría dado por un aumento del conocimiento del funcionamiento del acuífero, especialmente en lo que se refiere a la interacción entre el sistema superficial y el subterráneo, particularmente durante las crecidas, lo que permitiría formular de mejor forma y más confiablemente proyectos tendientes al aprovechamiento sustentable de este recurso. Además, permitiría definir zonas donde sea factible y conveniente implementar sistemas de riego tecnificado, con el consiguiente beneficio agrícola, junto con ayudar a establecer tasas de riego óptimas para los diferentes sistemas de riego en sectores definidos del valle.

Los resultados que se obtengan a partir de este estudio podrán ser incorporados al actual modelo de simulación operacional que ha desarrollado la DGA (ARRAU-1997), lo que permitiría que el modelo pasara a ser una herramienta muy confiable para el análisis de la operación del sistema de aguas subterráneas.

iii) Actividades a Desarrollar

Para el estudio se contempla la realización de las siguientes actividades:

- Sectorización del área en estudio
- Determinación de tasas de infiltración por zonas
- Análisis de los mecanismos de recarga

iv) Equipo Profesional Requerido

El equipo profesional involucrado en este estudio deberá considerar expertos en suelos, agrónomos, hidrogeólogos, geólogos y apoyo técnico.

v) Duración Estimada

Se ha estimado la duración del estudio en 1,5 años.

vi) Presupuesto

El presupuesto estimado para la ejecución de este estudio alcanza a la suma de miles UF 14.600, y se presenta detallado en el Anexo 8.

**d.3) Caracterización del Régimen Hídrico**

i) Objetivos

Aumentar la calidad y representatividad de los antecedentes que permitan caracterizar el régimen hídrico en la cuenca, considerando tanto los recursos superficiales como los subterráneos y sus interrelaciones.

Adicionalmente, se espera aumentar la calidad y cantidad de la información sobre los impactos ambientales presentes en la cuenca del río San José que se derivan o están asociados al uso de los recursos hídricos y analizar la capacidad de absorción del medio ambiente ante posibles impactos.

ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

El principal beneficio de este proyecto se produciría por la generación de información confiable y representativa acerca del régimen hídrico en la cuenca. Ello permitiría contar con valiosos antecedentes relativos, por ejemplo, a caudales sustentables de explotación, con el fin de ser captados para utilizarlos principalmente en agua potable o riego. Además, ayudaría a evitar conflictos entre usuarios de las mismas fuentes de aguas, al permitir la definición en forma más precisa de los volúmenes posibles de ser extraídos. En particular, el sistema subterráneo que desde el punto de vista de las recargas quedará suficientemente estudiado y caracterizado a partir del estudio d.2) precedentemente descrito.

Junto con lo anterior, la caracterización del régimen hídrico superficial en la cuenca permitiría disponer del conocimiento adecuado tanto acerca de las características medias de la disponibilidad de recursos, como de los eventos extremos y su frecuencia, tales como sequías, crecidas y aluviones.

Por otra parte, mediante la ejecución de este proyecto se espera aumentar el conocimiento e información acerca de los procesos que afectan o que potencialmente podrían afectar a los recursos hídricos y al medioambiente en la cuenca, además de establecer la fragilidad del ecosistema y la capacidad de mitigación de los impactos originados por la explotación de los recursos hídricos. Todo ello permitiría realizar una mejor estimación

de los reales efectos de los proyectos sobre los recursos hídricos, facilitando la formulación de medidas de mitigación de impactos negativos y estimación de sus costos.

iii) **Actividades a Desarrollar**

El estudio contemplaría básicamente la recopilación y análisis de la información hidrológica existente así como de la relativa a aspectos ambientales asociados a los usos de los recursos hídricos. Adicionalmente requerirá del desarrollo sistemático de aforos en lugares a ser definidos durante el estudio y vincular todo esto con el proyecto PC2 del programa de soluciones combinadas que se detalla más adelante en este informe.

iv) **Equipo Profesional Requerido**

Para la realización de este estudio se requeriría la participación de expertos en el área de hidrología, hidrogeología e ingenieros civiles. También deberá contarse con la participación de especialistas en el área de evaluación de impacto ambiental y biólogos. Como personal de apoyo deberá contarse con técnicos para actividades de aforo topografía y laboratorio.

v) **Duración Estimada**

Se estima que el período de duración del estudio debe ser de 2 años

vi) **Presupuesto**

En Anexo 8 se indica el presupuesto estimado para este estudio, el que asciende a UF 12.500.

**d.4) Estudio de un Modelo de Pronóstico y Proposición de un Sistema de Alerta de Crecidas**

i) **Objetivos**

El objetivo del estudio es contar con un modelo de pronóstico que permita tomar decisiones, de manera tal que se pueda mitigar los posibles daños ante la ocurrencia de crecidas en el río San José.

ii) **Logros Esperados, Beneficios y Externalidades**

Los beneficios derivados del estudio favorecerían principalmente a los habitantes de las zonas ribereñas, así como propiedades agrícolas, urbanas y obras fluviales, ya que se contaría con una herramienta que permitiría adoptar medidas de emergencia frente a eventos de crecidas extraordinarias, y paliar los daños causados por desbordes e inundaciones.

iii) **Actividades a Desarrollar**

Con el fin de cumplir los objetivos esperados se deben complementar los estudios de caracterización de los recursos hídricos desarrollados en el proyecto NE4 en la componente de Evaluación de los Recursos Hídricos. Se debe definir además en qué consistirá el sistema de alerta de crecidas y cuáles serían los requerimientos de equipos y personal para su correcta implementación y operación, y de una manera especial analizar la efectividad real que tendría un sistema de alerta considerando los tiempos de respuesta de la cuenca y el desfase para la alerta temprana.

iv) **Equipo Profesional Requerido**

En este estudio participarían expertos en el área de hidrología, modelación de recursos hídricos, ingenieros civiles, apoyo técnico en el área computacional y de equipos de control remoto de parámetros meteorológicos.

v) **Duración Estimada**

Se estima que este proyecto debería tener 10 meses de duración.

vi) **Presupuesto**

El presupuesto estimado para este estudio se presentan en detalle en el Anexo 8, y alcanza a la suma de UF 4.000.

**d.5) Marco Institucional y de Coordinación**

Dadas las características de las líneas de investigación a implementar y de los estudios de ingeniería a desarrollar, las etapas de ejecución de los estudios deberían estar asignados a la DGA en conjunto con otras instituciones como es la COREMA en la segunda línea de investigación, en lo relativo a la investigación de aspectos ambientales asociados al uso de los recursos hídricos.

En lo que respecta a la difusión de los resultados de los estudios, esta actividad también le compete a la DGA.

**e) Proyecto NE5: Campaña Educativa Sobre Ahorro del Consumo de Agua**

**e.1) Problema a Abordar**

La superación parcial o total de la situación deficitaria de los recursos hídricos en la cuenca del río San José no sólo ha de contemplar la identificación de nuevas fuentes de agua y la ejecución de obras para el aprovechamiento de estos recursos, sino también en forma determinante la optimización de su uso.

Se perciben en la población conductas inapropiadas respecto del uso de los recursos hídricos o de los cauces naturales que repercuten como externalidades negativas en otros sectores productivos de la economía regional y que dentro del marco del programa de soluciones no-estructurales cabe abordarlas como complemento al programa de soluciones estructurales.

**e.2) Proyecto para realizar una campaña educativa sobre ahorro del consumo de agua**

i) **Objetivos**

El objetivo de este proyecto es realizar una campaña educativa que haga consciente a la población local de las implicancias que tiene la escasez del agua y sus altos costos de producción. A partir de ello inculcar patrones y conductas sobre el uso más eficiente y formas de ahorro de agua para consumo.

ii) **Logros Esperados , Beneficios y Externalidades**

Mediante el desarrollo de este proyecto se esperaría disminuir los actuales niveles de consumo de agua potable o al menos controlar su crecimiento, de modo que la demanda de agua potable se vaya paulatinamente acotando y su incremento no termine constituyéndose en un freno al desarrollo de la región. Resulta muy importante

que esta campaña se dirija al público en general, particularmente a los estudiantes primarios, secundarios y universitarios de la región, y en general a los grupos familiares.

### iii) Actividades a Desarrollar

El proyecto de difusión contempla el desarrollo de campañas publicitarias a través de medios de cobertura local, prensa, radio y televisión, por parte de ESSAT y el Ministerio de Educación. Asimismo, por debe consultarse un trabajo a nivel de establecimientos educacionales, consistente en entrega de afiches, manuales y video especialmente elaborados para el proyecto, y charlas dictadas por profesionales del área hidráulica.

La campaña de difusión de ESSAT, estaría dirigida hacia los consumidores de agua potable de la cuenca del río San José, a objeto de promover el uso racional y ahorro del consumo de agua potable. Las acciones del Ministerio de Educación, en tanto, deberían estar orientadas hacia la comunidad escolar a través de programas de educación ambiental del recurso hídrico, en las cuales se debería promover el uso y cuidado de los recursos hídricos. Previo al desarrollo de esta actividad se deberían realizar cursos de capacitación para profesores de educación básica y media, y monitores en estas materias.

#### e.3) Equipo Profesional Requerido

Se debería contar con un grupo de profesionales que tengan relación con el área de recursos hídricos, secundados por profesionales capacitados en educación y difusión de información y expertos publicitarios.

#### e.4) Duración Estimada

Se considera que este proyecto debería estudiarse en un plazo breve (3 a 6 meses) y luego poner en marcha una campaña de duración mínima de 1 ó 2 años, la cual debería ser evaluada continuamente en cuanto a sus resultados.

#### e.5) Presupuesto

El presupuesto anual estimado para la ejecución de este proyecto se presenta en detalle en el Anexo 8 y alcanza a UF 3.600.

#### e.6) Marco Institucional y de Coordinación

Este proyecto debería ser abordado y coordinado por el Gobierno Regional (Intendencia, Gobernación y Municipio), con la participación de la DGA, ESSAT y el Ministerio de Educación.

### f) Proyecto NE6: Estudio Ecológico y Legal para el Levantamiento de las Restricciones del Uso del Lago Chungará

#### f.1) Problema a Abordar

Este proyecto se ha concebido como un conjunto de acciones tendientes a profundizar y perfeccionar el conocimiento del sistema ecológico del lago Chungará, así como estudiar las posibilidades del uso futuro de sus recursos hídricos para disminuir el déficit en la cuenca del río San José.

Este estudio estaría compuesto por una serie de proyectos enlazados, los cuales pueden agruparse en tres grandes componentes: estudios técnicos, estudios de impacto ambiental y estudio legal.

La componente de estudios técnicos incluiría una serie de estudios tendientes a lograr un conocimiento más acabado de los aspectos hidrológicos y ecológicos del sistema lacustre del Lago Chungará. El

objetivo fundamental de esta unidad es el recabar información de terreno que permita definir una línea base para posteriormente desarrollar un estudio de impacto ambiental para determinar los efectos positivos o negativos de una potencial extracción de agua desde el Lago Chungará. Dentro de esta unidad se dará principal relevancia al análisis de las cadenas tróficas al interior del sistema lacustre Chungará, lo que permitirá evaluar el impacto que nuevas políticas de explotación de los recursos hídricos del lago tendrían sobre la avifauna, microfauna y microflora. Esta unidad contempla la realización de estudios de terreno cuyo objetivo principal es recabar información que permita caracterizar en forma más completa este complejo sistema lacustre. No obstante que para este estudio se han planteado plazos específicos sería aconsejable el continuar esta campaña de mediciones con el propósito de mejorar el conocimiento de este sistema. Los estudios hidrológicos y de dinámica del sistema lacustre permitirán generar información que permita estimar los cambios en las condiciones de almacenamiento y niveles dentro del lago debido a políticas de explotación definidas de acuerdo a las necesidades de agua de la zona. El uso de modelos de simulación tanto físicos, como de calidad, permitirá estudiar el efecto global de cambios en el manejo del lago sobre la cadena trófica del sistema lacustre.

La segunda componente, que se refiere al estudio de impacto ambiental, tiene como objetivo el desarrollar un completo estudio que indague en las posibles consecuencias ambientales que se deriven del uso de los recursos hídricos del Lago Chungará. Esta unidad debe hacer uso de toda aquella información recabada en la componente técnica, así como también toda otra información de tipo histórica que se encuentre disponible. El objetivo principal de esta unidad será determinar aquellas reglas de operación que no produzca daños en el ecosistema del lago Chungará o, en su defecto, que minimice el potencial impacto de ellos. De esta manera, este estudio debiera incluir no sólo el análisis de los potenciales impactos sino también posibles medidas de mitigación que se considere apropiadas.

La componente legal incluye el estudio de los aspectos jurídicos de este problema con el propósito de realizar las presentaciones necesarias para conseguir la autorización para el uso racional del recurso. Dentro de un cronograma del estudio integral, la unidad legal debería comenzar una vez que existan antecedentes técnicos suficientes como para acompañar a las presentaciones legales.

## **f.2) Componente de estudios Técnicos**

Esta componente incluye una serie de actividades independientes cuyo objetivo es el recabar información acerca de la situación actual y pasada del sistema lacustre del Lago Chungará. Se incluye en esta unidad las siguientes actividades :

### **f.2.1) Catastro de la Avifauna, Microflora y Microfauna Acuática del Lago Chungará**

#### **i) Objetivo**

Caracterizar y cuantificar la población avícola existente en el Lago Chungará. Estudiar los hábitos de las distintas especies avícolas con el propósito de estimar su evolución futura ante cambios en la situación actual del lago. De ser posible debiera estimarse las fluctuaciones históricas en la fauna avícola y relacionarla con cambios en el nivel de agua en el Lago Chungará.

Caracterizar y cuantificar la microflora y microfauna acuática en el Lago Chungará, estudiando la cadena trófica y los hábitos alimenticios de las distintas especies avícolas con el propósito de determinar su dependencia de este recurso.

#### **ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades**

Se espera que este estudio proporcione información actualizada que permita estimar los posibles cambios en la fauna avícola debida a la extracción de recursos hídricos desde el lago. Los conocimientos adquiridos en esta actividad permitirían determinar en forma aproximada el impacto de esta extracción sobre la avifauna y su capacidad de absorción de este impacto. Se estima que esta actividad es de primordial interés para demostrar que

los posibles cambios en la operación del Lago Chungará no tendrían efectos negativos sobre el hábitat de la avifauna, o bien fijar los niveles de operación que minimicen tales efectos negativos.

De igual forma, se espera que este estudio proporcione información actualizada que permita estimar los posibles cambios en la fauna avícola debida a cambios en la microflora y microfauna. En definitiva, este estudio busca determinar las posibles modificaciones a los eslabones de las cadenas tróficas causada por la extracción de recursos hídricos desde el lago. Se estima que esta actividad serviría de complemento a la caracterización de la fauna avícola del lago Chungará.

### iii) Actividades a desarrollar

El desarrollo de este proyecto deberá contemplar a lo menos, las siguientes actividades:

- Formación de un catastro de las distintas especies de aves existentes en el área del Lago Chungará.
- Investigación de los hábitos migratorios y rutas de migración de las especies identificadas.
- Investigación de los hábitos alimenticios de las diversas especies.
- Realizar un catastro de la microflora y microfauna existente en el Lago Chungará.
- Desarrollar una campaña de medición de concentración de algas en el lago, a lo largo de todo el período del estudio.
- Desarrollar una campaña de terreno para la medición de parámetros físicos y físico-químicos en distintos puntos y profundidades dentro del lago.

### iv) Equipo Profesional Requerido

El equipo profesional deberá estar integrado por hidrólogos, ingenieros civiles especialistas en medio ambiente e hidrodinámica lacustre, biólogos especialistas en ornitología, así como biólogos especialistas en flora y fauna acuática, apoyo técnico y personal de laboratorio.

## f.2.2) Estudio Hidrológico e Hidrodinámico del Lago Chungará

### i) Objetivo

Caracterizar y cuantificar las distintas fuentes de recarga y descarga del Lago Chungará a fin de desarrollar un balance hídrico del sistema. Esta caracterización deberá incluir una campaña de terreno destinada a localizar las distintas fuentes de recarga y puntos de descarga del lago, incluyendo la interacción con el sistema subterráneo. Se estima importante la realización de aforos periódicos para generar información histórica que pueda ser utilizada en un estudio del impacto ambiental causado por la extracción de recursos hídricos desde el Lago, analizando incluso la posible instalación de estaciones permanentes de aforo.

De igual forma, se caracterizará y cuantificará la hidrodinámica del lago, ligándola con los distintos mecanismos de recarga y descarga del lago, así como la interacción con el sistema subterráneo circundante. Esta actividad incluiría además la caracterización histórica de los niveles de agua en el Lago Chungará para lo cual debiera recopilarse toda aquella información relevante a los fines de este estudio. Dentro de esta información debiera considerarse aquella generada por la Dirección de Riego durante la operación de la impulsión Ajata entre los años 1983 y 1985. Dentro de este estudio se analizará el impacto de la implementación de distintas políticas de uso de

los recursos hídricos del Lago Chungará sobre la cota del espejo de agua, y en general sobre su comportamiento hidrodinámico.

ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

El conocimiento de las fuentes de recarga al Lago Chungará permitirá estudiar distintas alternativas de manejo del recurso hídrico; particularmente la información recolectada en terreno hará posible verificar la consistencia de las estimaciones realizadas en base a técnicas hidrológicas diversas, lo cual es muy importante para estudiar el efecto de largo plazo causado por la extracción de recursos hídricos desde el lago para su uso en la cuenca del río San José.

Esta actividad permitiría determinar el efecto que diferentes reglas de operación, para la explotación de los recursos hídricos del Lago Chungará, tendrían sobre el volumen embalsado y la cota del espejo de agua. En base a esta información se podrá determinar la evolución temporal de las áreas inundadas y de los volúmenes embalsados, y lo que es más importante aún determinar qué efectos tiene la extracción de agua del lago en términos de su hidrodinámica y sobre el sistema ecológico.

iii) Actividades a desarrollar

El proyecto deberá contemplar la medición de los niveles de agua en el lago, la identificación y caracterización de los puntos o zonas de descarga, así como la definición y caracterización de las zonas de recarga incluyendo un análisis de precipitaciones en la zona y de caudales afluentes al lago, todo lo cual debe conducir al desarrollo de un balance hídrico del lago. En el desarrollo del proyecto podrá considerarse el empleo de técnicas isotópicas para determinar el origen y destino de las recargas, incluso con el apoyo de una estación meteorológica a instalar en el área.

Este estudio deberá contemplar el desarrollo de un modelo de simulación computacional para el análisis de las corrientes, así como parámetros físicos y físico-químicos, en función de las fluctuaciones de nivel de agua en el lago. En este modelo se deberá emplear toda la información generada en el estudio hidrológico. Además deberá hacerse un esfuerzo por caracterizar en forma detallada, mediante campañas de terreno ad-hoc, la hidrodinámica del lago en términos de su perfil de temperaturas, salinidad, contenido de oxígeno disuelto en la situación actual no intervenida y luego analizar mediante un modelo los cambios que se esperarían si se modifican las condiciones al extraer el agua.

Una vez que el modelo de simulación hidrodinámico sea apropiadamente calibrado a las condiciones del sistema lacustre Chungará será necesario desarrollar un modelo específico para estudiar las variaciones en las concentraciones de algas causadas por los cambios en la operación del lago. Este modelo debiera ser calibrado usando toda aquella información recopilada en las campañas de terreno incluidas en la actividad anterior. Una vez obtenida esta información será posible estudiar el impacto de los cambios en el nivel de agua sobre la cadena trófica del sistema lacustre Chungará.

iv) Equipo Profesional

El equipo profesional deberá estar integrado por ingenieros civiles especialistas en hidrodinámica de lagos, hidrólogos, hidrogeólogos, ingenieros civiles hidráulicos, biólogos especialistas en flora y fauna acuática, personal técnico de apoyo.

**f.3) Componente de estudios de Impacto Ambiental**

Los estudios de impacto ambiental estarían orientados a la evaluación de las posibles consecuencias del uso de los recursos hídricos del Lago Chungará. Estos estudios integrarían toda aquella información recabada

en la componente anterior, así como también toda otra información de tipo histórica que se encuentre disponible. Para efectos de este estudio será necesario definir las posibles reglas de operación del sistema lacustre Chungará con el propósito de evaluar su potencial impacto sobre la cadena trófica del lago. De igual forma, se considerará el análisis de posibles medidas de mitigación de los impactos ambientales causados por las distintas políticas de explotación. El informe final debiera evaluar en forma completa las diversas alternativas de tal modo de incorporar dicha información dentro de los antecedentes para el estudio legal del uso de los recursos.

i) **Objetivo**

Realizar un estudio para analizar el impacto que produciría la extracción de los recursos hídricos del Lago Chungará sobre el ecosistema de la zona. Esta actividad debiera tomar en consideración la fragilidad del ecosistema así como su capacidad para absorber los posibles impactos. En esta actividad se analizará el impacto de cada política de explotación con respecto a la línea base del lago, determinada durante la etapa de estudios técnicos.

ii) **Logros Esperados, Beneficios y Externalidades**

Se espera que esta actividad proporcione elementos cuantitativos para determinar el real impacto que una extracción de agua desde el Lago Chungará tendría sobre el ecosistema circundante, lo cual servirá para descartar definitivamente el lago como fuente de abastecimiento de agua para el valle del río San José y Arica o bien aceptar su explotación controlada. En este último caso este estudio, así como los antecedentes anteriores, servirían para establecer aquella regla de operación que permita mantener el equilibrio ecológico en el sistema del Lago Chungará.

iii) **Actividades a Desarrollar**

En este estudio se deberá analizar el efecto de distintas reglas de operación sobre la avifauna, así como la fauna y flora acuática en el lago Chungará. Este análisis deberá incluir también los aspectos jurídicos que pudieran estar involucrados, incorporando toda la información generada en los estudios previos, lo que deberá permitir determinar las áreas de mayor impacto potencial dentro del lago y su entorno.

Las reglas de explotación de los recursos hídricos serán definidas a partir de las necesidades de abastecimiento de la cuenca del río San José. En esta actividad se debería incluir un conjunto de alternativas las cuales se analizarían en detalle usando las metodologías desarrolladas en el estudio técnico. Para cada una de estas alternativas se deberá determinar su potencial impacto ambiental, así como las posibles medidas de mitigación de estos impactos.

iv) **Equipo Profesional Requerido**

El equipo profesional deberá ser multidisciplinario constituido por biólogos especialistas en avifauna y flora acuática, especialistas en evaluación de impacto ambiental, hidrólogos, hidrogeólogos, ingenieros civiles, personal de apoyo técnico y de laboratorio.

**f.4) Componente de estudios Legales**

La posibilidad de utilizar aguas provenientes del Lago Chungará se encuentra restringida por varios motivos, entre los que se cuentan:

- El Lago Chungará se encuentra dentro del Parque Nacional Lauca lo que le hace aplicable el Decreto Supremo N°531 de 1967, que ordena cumplir como Ley de la República la Convención para la Protección de la Flora, Fauna y Bellezas Escénicas Naturales de América, suscrita en Washington D.C. el 12 de octubre de 1940, lo que resulta en que, en el parecer de la Corporación Nacional Forestal, la concesión

de un derecho de aprovechamiento de aguas y su posterior ejercicio resultaría incompatible con el medio ambiente natural de esta área.

- En esta zona se debe cumplir, como Ley de la República, la Convención aprobada sobre Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, suscrita con Unesco en 1972.
- A petición de Chile se declaró el Lago Chungará como reserva de la biósfera.

Por otra parte, la sentencia de la Corte Suprema de Justicia de fecha 19 de Diciembre de 1985, al acoger un recurso de protección deducido en contra de la Dirección de Riego ordenó la suspensión de la extracción de aguas que se estaba efectuando y mantener dicha suspensión mientras el Lago sea parte del Parque Nacional Lauca y en tanto no se excluya del listado de Unesco como reserva de la biósfera.

Por las razones señaladas, la correcta utilización de las aguas del Lago Chungará requiere de las acciones legales necesarias para que se levanten las restricciones actuales.

#### i) Objetivos

El estudio que se propone tiene como objetivo realizar los análisis que proporcionen los antecedentes y argumentos necesarios para:

- que el gobierno de Chile pueda pedir a UNESCO la exclusión del Lago Chungará como reserva de la Biósfera.
- permitir el otorgamiento de derechos de aprovechamiento sobre las aguas del Lago Chungará, considerando las limitaciones técnicas derivadas de los estudios anteriores.

#### ii) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

Se espera que el levantamiento de las restricciones de uso de estas aguas permitirá el desarrollo de un proyecto de ingeniería que usaría estos recursos en una forma racional y ambientalmente sustentable, favoreciendo así el desarrollo de la zona del valle del río San José y Arica.

#### iii) Actividades a Desarrollar

El estudio y análisis de los antecedentes necesarios para alcanzar los objetivos propuestos, incluyendo las gestiones para hacer efectivo el levantamiento de las restricciones, requeriría de la recopilación y análisis de antecedentes, y de la formulación y tramitación de la iniciativas legales correspondientes.

#### iv) Equipo Profesional

El equipo profesional que deberá formar parte de este estudio estaría compuesto básicamente por abogados, con el apoyo técnico de ingenieros civiles hidráulicos, ecólogos y expertos en áreas protegidas.

#### f.5) Duración Estimada

Se estima que la duración total de los estudios y análisis necesarios sería de seis años, siendo incierta la duración de la tramitación legal de estas iniciativas.

Los estudios deberán ejecutarse secuencialmente en el siguiente orden: componente de estudios técnicos, componente de estudio de impacto ambiental y componente de estudios legales.

La componente de estudios técnicos tendría una duración total de tres años. Dentro de este lapso los estudios de: Catastro de la Avifauna, Microflora y Microfauna Acuática del Lago Chungará se ejecutarían durante los dos primeros años de este estudio. En el segundo y tercer año correspondería ejecutar el Estudio Hidrológico y Dinámica del Lago Chungará.

La componente de estudio de impacto ambiental se estima que tendría dos años de duración, mientras que la componente de estudios legales ocuparía un año. Sin embargo, debe mencionarse que la tramitación legal de las iniciativas que surjan de esta última componente, se considera incierta en su duración, por lo que no se incluye en la duración del proyecto.

#### **f.6) Presupuesto**

En el Anexo 8 se presenta el detalle del presupuesto para cada componente, siendo el presupuesto total de miles UF 47.200.

#### **f.7) Marco Institucional y de Coordinación**

Las instituciones que podrían tomar parte en la ejecución de cada uno de los proyectos se indican a continuación, para cada una de la componentes.

#### **Componente de Estudios Técnicos**

Se estima que los estudios de esta componente debieran ser abordadas y coordinadas por la Dirección General de Aguas, la CONAF y universidades.

#### **Componente de Estudio de Impacto Ambiental**

En este caso, se estima que las instituciones que debieran participar y coordinarse para la ejecución de esta componente son: La DGA, CONAF y el COREMA.

#### **Componente de Estudios Legales**

Los estudios legales deberán coordinarse básicamente con la DGA y el Ministerio de Relaciones Exteriores.

#### **6.2.5 Estudio de Factibilidad del Programa de Soluciones Combinadas**

El programa de soluciones combinadas que podría formar parte del Plan de Corto/Mediano Plazo está compuesto por el proyecto de mejoramiento de la red fluviométrica (PC1) y el de mejoramiento de la red hidrometeorológica (PC2), los que fueron presentados en el Capítulo 5. Estos proyectos incluyen tanto la ejecución de obras físicas como las medidas administrativas para que puedan alcanzarse los objetivos perseguidos. A continuación se presenta una descripción de estos proyectos y un presupuesto para su ejecución.

##### **a) Proyecto PC1: Mejoramiento de la Red Fluviométrica**

###### **a.1) Problema a Abordar**

Los antecedentes analizados en este estudio indican que los principales problemas que presenta actualmente la red fluviométrica son: la discontinuidad temporal de los registros de datos y la inadecuada distribución espacial de las estaciones de control. Por otra parte, en algunos casos se verifica además la doble

cuantificación del recurso debido a que existen en un mismo sector estaciones que son controladas por organismos independientes.

La situación señalada dificulta la caracterización de la disponibilidad de los recursos superficiales y por lo tanto también se afecta el adecuado desarrollo de iniciativas y proyectos que requieren de esta información. Cabe destacar que la disponibilidad de información fluviométrica de buena calidad y representatividad, constituye un aspecto fundamental para la gestión adecuada y efectiva de los recursos en la cuenca, de modo de lograr un uso productivo optimizado y sustentable. La ejecución de este proyecto permitirá establecer las condiciones más adecuadas para la medición y registro sistemático de la información fluviométrica de la zona estudiada.

#### **a.2) Objetivos**

Los objetivos de este proyecto son lograr un mejoramiento efectivo de la red fluviométrica de modo que permita disponer de información actualizada y con una cobertura espacial razonable a fin de conformar una base de datos temporal y espacialmente representativos del régimen hidrológico de la cuenca para cuantificar adecuadamente los recursos superficiales en la zona.

#### **a.3) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades**

Del desarrollo de este proyecto se espera que logre establecer una red de medición fluviométrica que permita la generación de datos representativos en el tiempo y espacio del régimen hídrico de la cuenca. Ello generaría beneficios importantes para el desarrollo de proyectos ya que permitiría una caracterización más precisa, detallada y confiable de estos recursos y por lo tanto establecer su factibilidad de uso para distintos fines.

#### **a.4) Actividades a Desarrollar**

El proyecto incluiría tanto acciones estructurales como no estructurales, las que deben realizarse conjuntamente para alcanzar el objetivo perseguido. Las acciones propuestas que se describen a continuación comprenden las cuencas del río San José, río Lluta, río Lauca y río Caquena.

### **Cuenca del río San José**

#### **i) Medidas No-Estructurales**

- Se propone suprimir la estación acueducto Azapa en Bocatoma. Ello por cuanto esta estación es útil solamente para cuantificar los recursos que son utilizados por los regantes. El registro de esta estación podría ser mantenido por los propios regantes y ser parte de las actividades rutinarias que realice la organización de usuarios propuesta en el proyecto NE2.
- Se propone establecer una coordinación con EDELNOR para permitir la incorporación al BNA de los registros que dicho organismo lleva en la estación Descarga Central Chapiquiña. Con ello podría contarse en el BNA con la información de los recursos trasvasados desde la cuenca del río Lauca a la del río San José.
- Se recomienda realizar la verificación de las coordenadas geográficas correspondientes a la ubicación de cada una de las estaciones de la red fluviométrica.

#### **ii) Medidas Estructurales**

- Se propone realizar el mejoramiento de la estación río San José en Ausipar, actualmente en funcionamiento, agregándole un sistema de transmisión remoto de niveles de agua.

- Se propone la instalación de las estaciones río Tignamar en Tignamar Viejo y río San José en Saucache. La primera permitiría caracterizar los recursos del río San José en régimen natural, antes que se agreguen los trasvases desde la cuenca del río Lauca, mientras la segunda registraría los recursos de la parte baja, constituyéndose en una estación de cierre de la cuenca. Debido a que en el sector de Saucache la mayor parte del año el río se encuentra seco la estación propuesta podría operar solo eventualmente.

### **Cuenca del río Lluta**

#### **i) Medidas No-Estructurales**

En este caso sólo se propone la implementación de medidas no-estructurales que consisten en suprimir las estaciones Caracarani en Alcérreca y Colpitas en Alcérreca. Ello por cuanto estas estaciones miden los recursos en subcuencas asociadas a cauces secundarios. Estas estaciones sólo podrían ser suprimidas una vez que con la información disponible sea posible establecer una buena correlación con otra estación, tal como Lluta en Alcérreca.

### **Cuenca del río Lauca**

#### **i) Medidas No-Estructurales**

- Se sugiere suprimir la estación Canal Lauca en Km 3,3 pues esta estación duplica la información de la estación Bocatoma Canal Lauca. Junto con esta medida, los registros de esta última estación, que es controlada por la Dirección de Riego, deberían ser incorporados al Banco Nacional de Aguas, BNA.
- Se propone suprimir la estación Guallatire en Guallatire, luego de un período de operación común con la nueva estación, Guallatire en Desembocadura, a ser construida una vez que sea posible establecer una correlación entre ambas.
- Se propone suprimir la estación Laguna Cotacotani, controlada por la Dirección de Riego, por cuanto en el mismo lugar se encuentra la estación Río Desaguadero Cotacotani que es administrada por la DGA, con lo cual se evitaría la duplicación de información.

#### **ii) Medidas Estructurales**

- Se propone instalar una nueva estación en la confluencia entre el río Guallatire y el río Lauca, en el punto de salida de la cuenca, la que se denominaría Guallatire en Desembocadura. Esta estación sería considerada como primaria debido a que controla el total de los recursos de la cuenca, incluyendo a la quebrada Guallatire propiamente tal y a la quebrada Chusjavidá, su principal afluente.
- Se propone instalar la nueva estación Lauca en Quiburcanca, a fin de reemplazar la estación Lauca en Japu, luego de un período de operación común entre ambas. La nueva estación cumpliría la misma función que la de Lauca en Japu, que consiste en cuantificar los recursos aportados por esta cuenca en territorio chileno, pero tendría mejores condiciones de acceso que esta última. La nueva estación estaría equipada con un sistema de transmisión remota de niveles de agua.
- Se propone la instalación de una estación de carácter primario en la desembocadura del Lago Chungará para controlar los afluentes naturales del lago.

## **Cuenca del río Caquena**

### **i) Medidas No-Estructurales**

- Suprimir la estación Caquena en Nacimiento, ya que no presenta una cuenca aportante bien definida debido a que se encuentra ubicada en medio de un extenso bofedal.

### **ii) Medidas Estructurales**

- Equipar la estación Caquena en Vertedero con un sistema de transmisión remota de niveles de agua. Esta estación permite cuantificar los recursos totales de la cuenca, antes que se incorporen al río aportes desde territorio Boliviano.

#### **a.4) Equipo Profesional Requerido**

Se estima que para la ejecución de estos proyectos se requiere de ingenieros hidráulicos, especialistas en instrumentación y personal técnico de apoyo.

#### **a.5) Duración Estimada**

La duración estimada de estos proyectos es de 6 meses en total.

#### **a.6) Presupuesto**

El presupuesto que se indica en el Anexo 8 incluye solamente el costo de implementación de las medidas estructurales, pues los costos involucrados para ejecutar las medidas no-estructurales se consideran incluidas en el presupuesto habitual que dispone la Dirección General de Aguas. El costo total de este proyecto alcanza a UF 16.900.

#### **a.7) Marco Institucional y de Coordinación**

A fin de poder materializar algunas de las medidas no-estructurales propuestas, tales como la eliminación de estaciones, traspaso de información al BNA en poder de otras instituciones, la Dirección General de Aguas deberá coordinarse con la Dirección de Riego y EDELNOR.

### **b) Proyecto PC2: Mejoramiento de la Red Hidrometeorológica**

#### **b.1) Problema a Abordar**

La red hidrometeorológica que actualmente se encuentra en operación en las cuencas de interés al presente estudio está formada por 28 estaciones, de las cuales 20 son operadas por la DGA y 8 por la DMC. La mayoría sólo mide precipitaciones, de manera que la red no cumple con el objetivo de caracterizar los diversos parámetros hidrometeorológicos.

En relación a la cobertura espacial, existe una alta densidad de estaciones en las cuencas altiplánicas, concentrándose principalmente en la cuenca del río Lauca. Por otro lado, existe duplicidad de información debido a que en algunos sectores hay más de una estación, que en la mayoría de los casos dependen de diversos organismos.

Dado lo anterior, para efectos de mejorar la cobertura de la red de medición, como parte de este proyecto se contempla implementar 5 nuevas estaciones y suprimir 12 de las que actualmente se encuentran en operación. Además, se mejorarán otras 12 estaciones.

Este proyecto se basa en el estudio de BF-DGA realizado en el año 1985, en el que se realizó un análisis crítico de la red existente y un proyecto de mejoramiento de ésta. Adicionalmente se consideraron los antecedentes consignados en el estudio de DHV y Otros-MINAGRI-MOP (1997), constatándose que la información presentada se encuentra restringida sólo a la cuenca del río San José y resulta plenamente concordante con la del estudio citado anteriormente.

### b.2) Objetivos

El objetivo de este proyecto es el de mejorar la cobertura espacial y aumentar el tipo de parámetros hidrometeorológicos que mide la red actual.

### b.3) Logros Esperados, Beneficios y Externalidades

Mediante la ejecución de este proyecto se espera mejorar la cobertura y tipo de información hidrometeorológica que proporciona la red actual. Ello permitiría contar con información relevante para la caracterización de procesos tales como la evapotranspiración, evaporación y precipitaciones en las que parámetros tales como horas de sol, radiación solar y viento son determinantes. Los datos mencionados son importantes para la evaluación de proyectos que involucran desarrollo del riego o embalses, para la determinación de la demanda de los cultivos y pérdidas por evaporación.

### b.4) Actividades a Realizar

De acuerdo al estudio BF-DGA (1985) se propuso la red de medición que se indica en la Tabla 6.36 siguiente.

**Tabla 6.36 Red Hidrometeorológica Propuesta**

CUENCA	ESTACION	CODIGO BNA	INSTITUCION	TIPO	EXISTENTE
Río Caquena	Visviri	01000050-5	DGA	C	SI (D)
	Cosapilla	-		A	NO
	Caquena	01001050-0	DGA	A	SI (D)
Río Lauca-Lago Chungará	Parinacota ex-Endesa	01020054-7	DGA	A	SI (B)
	Chungará Retén	01010050-k	DGA	B	SI (D)
	Guallatire	01021050-k	DGA	C	SI (D)
	Chilcaya	01030050-9	DGA	B	SI (D)
Río Lhuta	Humapalca	01200051-0	DGA	B	SI (D)
	Alcérreca	01201050-8	DGA	D	SI (D)
	Colpitas	-		D	NO
	Pacollo	01202050-3	DGA	D	SI (D)
	Putre	01202051-1	DGA	B	SI (C)
	Molinos	-		C	NO
	Arica Chacalhuta	-	DMC	A	SI (C)
Río San José	Azapa	01310051-9	DGA	B	SI (D)
	Murmantane	01300050-6	DGA	A	SI (D)
	Ausipar	-		C	NO
	Belén	01300053-0	DGA	D	SI
	Tigamar	01300054-9	DGA	D	SI
	Codpa	01400051-2	DGA	B	SI (D)
	Chaca	-		C	NO

Para efecto de caracterizar las estaciones de control en base a los parámetros hidrometeorológicos que cada una mediría se clasificaron en cuatro categorías, tal como se indica a continuación:

- Tipo A: Estación hidrometeorológica completa. Registra precipitación, estado del tiempo, temperatura, humedad, evaporación y recorrido del viento, radiación solar, horas de sol y viento.
- Tipo B: Estación termopluvioevaporimétrica. Registra precipitación, estado del tiempo, temperatura, humedad, evaporación y recorrido del viento.
- Tipo C: Estación termopluviométrica. Registra precipitación, estado del tiempo y temperatura.
- Tipo D: Estación de precipitación. Registra precipitación y estado del tiempo.

i) **Medidas Estructurales**

La red propuesta contemplaría un total de 5 estaciones hidrometeorológicas completas (Tipo A), 6 Tipo B, 5 Tipo C y 5 Tipo D, de manera tal que permitirían definir índices representativos de los diferentes regímenes, con base en los diversos parámetros considerados en cada tipo de estación. Ello cumpliría con el objetivo de conocer la variación espacial de estos parámetros, considerando como el de mayor importancia a la precipitación.

Bajo estas consideraciones, en relación a la red actual se agregarían las estaciones Cosapilla, Colpitas, Molinos, Ausipar y Chaca.

La estación Colpitas se ubicaría en la localidad del mismo nombre. A través de los registros de esta estación se obtendría información del sector altioplánico de la cuenca del río Lluta, evaluando la variación espacial de la precipitación en altura.

La estación Cosapilla se ubicaría en la localidad del mismo nombre, ubicada en la cuenca del río Caquena. Su objetivo es medir la variación espacial de la precipitación, la cual se encuentra influenciada por el efecto orográfico del cordón montañoso que separa esta cuenca con la del río Lluta.

La estación Molinos se ubicaría a unos 40 km al oriente de Arica, en la localidad del mismo nombre. Cumpliría con el objetivo de cuantificar la precipitación en la zona en la cual ésta comienza a manifestarse, mejorando además la cobertura espacial de la red.

ii) **Medidas No-Estructurales**

Debido a la alta densidad de estaciones existentes en algunos sectores, se propone reducir su número de manera de evitar duplicidad de información. En el caso de las estaciones controladas por la DGA se propone suprimir 6, las que corresponderían a Chungará, Azapa Chuncuyo Retén, Villa Industrial, Central Chapiquiña y Oficina Arica. También se propone suprimir las estaciones de la DMC de Caquena Retén, Chuncuyo Carabinero, Guallatire Retén, Villa Industrial, Alcérreca Retén y Central Chapiquiña Retén.

**b.5) Equipo Profesional Requerido**

Para el desarrollo de este proyecto se requeriría de la participación de especialistas en meteorología y personal técnico de apoyo.

**b.6) Duración Estimada**

La duración estimada de este proyecto es de 6 meses.

**b.7) Presupuesto**

El presupuesto que se detalla en el Anexo 8 sólo considera la ejecución de las medidas estructurales pues las medidas no-estructurales no representan gastos. El costo del proyecto alcanza a la suma de UF 4.200.

**b.8) Marco Institucional y de Coordinación**

Para ejecutar este proyecto la DGA deberá coordinarse con la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

**6.3 PLAN DIRECTOR PROPUESTO**

Este acápite contiene una proposición para el Plan Director para los Recursos Hídricos en la cuenca del río San José, desarrollada a partir de los resultados obtenidos de las evaluaciones previamente efectuadas. El Plan que se propone incluye tanto proyectos que involucran soluciones estructurales como no-estructurales y combinadas estructurales/no-estructurales, y se compone de un plan de corto/mediano plazo (años 1 a 15) y otro de largo plazo (años 16 a 20).

El presente Plan Director constituye una herramienta de planificación que puede favorecer el desarrollo regional, contribuyendo a superar la pobreza y a mejorar la calidad de vida de las personas, al proporcionar alternativas de solución a los problemas que se derivan de la insuficiente disponibilidad de recursos hídricos. Al mismo tiempo, las acciones que se propone implementar como parte de este plan pueden contribuir también a alcanzar objetivos de integración e internacionalización de la economía regional, al superarse las restricciones que impone la escasez de agua.

Dentro del contexto de lo planteado, el Plan Director debe visualizarse como un plan estratégico de desarrollo regional, centrado en el aprovechamiento racional y optimizado de los recursos hídricos, pero con objetivos específicos compatibles con los objetivos e intereses de carácter nacional. Entre otros, estos intereses se relacionan con mantener una presencia nacional fuerte en zonas fronterizas y geopolíticamente estratégicas; posibilitar el desarrollo de una economía regional sana y con sólidas proyecciones futuras; minimizar el efecto devastador que tiene para la región y el resto del país el tráfico de drogas y de estupefacientes; preservar la cultura regional y posibilitar un desarrollo ambientalmente sustentable.

**6.3.1 Plan de Corto/Mediano Plazo (PCM)****a) Programa de Soluciones Estructurales**

El resultado de las evaluaciones técnico-económicas a nivel de factibilidad realizadas para los proyectos estructurales, tanto para agua potable como para agua de riego y uso múltiple muestra que, en todos los casos, los proyectos presentan costos que hacen que no se justifiquen económicamente, a nivel privado ni social. Esta situación indica que en las condiciones actuales no sería posible contar con un escenario económicamente favorable para la solución de los problemas de escasez de recursos hídricos en la zona.

No obstante lo anterior, en el Plan Director propuesto se plantean las alternativas de solución que aparecen como las más atractivas y potencialmente con mayor posibilidad de ser justificadas desde el punto de vista económico en el futuro. Ello, por cuanto una revisión del Plan en condiciones futuras y bajo nuevos escenarios,

podría hacer justificables las alternativas de este tipo. Siguiendo esta línea, a continuación se describen algunas de las soluciones que se muestran más promisorias.

Para el sector agua potable, en el Escenario 1, que significa extraer 503 l/s desde el acuífero de Azapa para este fin, la alternativa de solución más favorable para poder satisfacer las demandas de este sector en el horizonte de tiempo analizado está dada por la ejecución de los proyectos AP7 (Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable) y AP4 (Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia). Además, para estas condiciones de explotación desde el acuífero de Azapa, el Escenario 3 para riego exige considerar una extracción de 305 l/s en promedio anual del acuífero del Lauca para este uso que sería el más favorable.

Sin embargo, a partir de un análisis de sensibilidad de esta alternativa para agua potable, se verifica que se requeriría cobrar una tarifa cercana a 1,3 veces la actual para obtener un VAN positivo en el caso de evaluación privada y de 1,17 veces para evaluación social, lo que ilustra el mayor valor que los usuarios deberían estar dispuestos a pagar para lograr que esta solución sea económicamente viable. Del mismo modo, la solución para el sector riego resultaría favorable sólo si se considera que los beneficios que resultan de la comercialización de los productos corresponden a una situación extremadamente favorable la cual supone precios de venta máximos. Esta situación no es esperable que se dé en la práctica, por lo menos en las actuales condiciones del mercado, y por lo tanto no resulta conveniente como supuesto para recomendar la inversión.

Debe considerarse además, que la extracción de 503 l/s para agua potable desde el acuífero de Azapa, limitaría la extracción desde este acuífero para riego a sólo 144 l/s, lo cual representa una situación muy restrictiva para este sector, ya que dispone de derechos de aprovechamiento de este acuífero por más de 1.100 l/s. En estas condiciones, el sector riego quedaría obligado a extraer adicionalmente 305 l/s desde el acuífero del Lauca, lo que le dejaría en una posición muy desmejorada y no hace recomendable a esta alternativa, especialmente si se considera su escasa rentabilidad.

Otra alternativa de solución surge al suponer un escenario en el que se extraen 345 l/s para agua potable desde el acuífero de Azapa, lo que significa por otro lado la extracción de este mismo acuífero de 302 l/s para el riego. Luego, para poder satisfacer las demandas de agua potable la alternativa de solución más favorable consiste en la ejecución de los proyectos AP7 (Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable), AP4 (Habilitación Sondajes Quebrada de La Concordia) y AP5 (Desalinización de Agua de Mar), mientras que para el sector de riego consiste en complementar la extracción indicada con un caudal máximo de 285 l/s desde el acuífero del Lauca con valores medios anuales de 67 u 80 l/s en las alternativas de desarrollo agrícola más favorables. En esta alternativa se requeriría cobrar una tarifa de agua potable 2,01 veces superior a la actual para obtener un VAN positivo en el caso de evaluación privada y de 1,86 veces para evaluación social, y al igual que en el caso anterior, sólo la comercialización a precios máximos de los productos agrícolas haría económicamente justificable el proyecto para este sector. Sin embargo, el escaso realismo de los supuestos anteriores, tampoco hacen recomendable considerar esta alternativa como parte del Plan Director de Corto/Mediano Plazo (PCM).

Una tercera alternativa de solución consiste en la extracción de agua subterránea desde el acuífero del Lauca para ser usada simultáneamente para el abastecimiento de agua potable y agua de riego, conforme a lo indicado en el Proyecto UM7 (Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable). El caudal total extraído alcanzaría a 545 l/s, de los cuales 330 l/s serían usados para agua potable y 215 l/s para riego. En este caso la extracción desde el acuífero de Azapa estaría destinada a agua potable y se limitaría a 345 l/s.

En las condiciones señaladas, los Escenarios 2 y 3 de desarrollo de riego (incremento en el área de cultivos eliminando las superficies empastadas o crecimiento en la superficie con recambio de cultivos, respectivamente) resultan ser los más favorables, alcanzando valores de la TIR desde el punto de vista social cercanos a la tasa de descuento que recomienda MIDEPLAN. Esto indica que para las condiciones económicas actuales, este proyecto tiene un mayor atractivo desde el punto de vista social y, puede pensarse que en una

revisión posterior del Plan podría resultar económicamente mejor justificado. Por este motivo, y considerando que esta solución es la que posee los mejores indicadores económicos entre todas las soluciones analizadas, se la escogió como alternativa para la solución estructural a recomendar en el Plan de Corto/Mediano Plazo (PCM), en conjunto con el proyecto AP7 que también es adecuado para su desarrollo en el corto plazo.

#### **b) Programas de Soluciones No-Estructurales**

Se estima que los proyectos no-estructurales pueden ser puestos en ejecución desde el inicio del PCM, ya que al ser todos de diferente contenido y alcance, pueden ejecutarse simultáneamente. En todo caso, este tipo de proyectos debe diferenciarse en proyectos que le dan sentido al PCM, es decir, sin los cuales éste no sería factible de ser implementado o producir los resultados esperados con su implementación, y proyectos que sólo cumplen una labor de soporte o apoyo al PCM, por lo que su exclusión de éste no afectaría en lo esencial los logros esperados.

Al aplicar los criterios explicados resulta que el proyecto NE2, que corresponde a la organización de la Asociación de Usuarios de Aguas Subterránea y Superficial, constituye un proyecto clave para el Plan Director ya que la explotación planificada y sustentable del acuífero es un aspecto central para superar exitosamente las restricciones derivadas de la escasez de agua en el valle y ello puede ser asegurado solamente en la medida que los propios usuarios se constituyan en una agrupación responsable de esta fase. Por otra parte, los proyectos NE1, NE3, NE4, NE5 y NE6 pueden ser agrupados en la segunda categoría de proyectos ya que cumplen principalmente con la función de apoyar el desarrollo del PCM, ya sea a algunos de los proyectos que lo conforman o sólo como soporte general del PCM.

#### **c) Programa de Soluciones Combinadas Estructurales y No-Estructurales**

Al igual que en el caso de los proyectos no-estructurales, las soluciones incluidas en este programa también podrían ser puestas en marcha desde el inicio de las acciones del PCM. Por su naturaleza, los resultados que se deriven de estos proyectos debieran constituirse en un importante apoyo en las fases posteriores de revisión del PCM, lo que significa que corresponden a proyectos de apoyo y no proyectos fundamentales para dicho Plan.

#### **d) Plan Director Propuesto**

Conforme a lo arriba explicado, el Plan Director de Corto/Mediano Plazo (PCM) tendría dos componentes fundamentales o pilares del plan, complementadas con los proyectos de apoyo. La primera de ellas corresponde a los proyectos estructurales, es decir a los proyectos AP7 y UM7, en tanto la segunda la conforman los proyectos no-estructurales de los cuales sólo el proyecto NE2 se considera como pilar del PCM. Los restantes proyectos no-estructurales y aquellos combinados estructurales-no estructurales pasarían a ser parte del grupo de proyectos de apoyo para el desarrollo, ejecución y validación del PCM propuesto, y deberían ser estudiados en la medida que se vaya implementando el PCM, en especial los proyectos: AP4, habilitación Sondajes Quebrada La Concordia; AP5, desalinización de agua de mar; PR1, defensas fluviales en el río San José y Quebrada de Acha; y UM6, Embalse regulador en el río San José, alternativa Barreras Inflables.

Con el fin de visualizar qué significa en términos económicos la puesta en marcha del Plan director, en la Tabla 6.37 se presenta el plan de inversiones asociado al plan propuesto y en la Fig. 6.9 se muestra en forma gráfica el cronograma que permite visualizar cómo se van incorporando escalonadamente a través del tiempo los distintos proyectos del PCM.

### 6.3.2 Plan de Largo Plazo (PLP)

De los estudios de prefactibilidad realizados se pudo concluir que existen alternativas que siendo económicamente atractivas tienen impedimentos legales, de uso de recursos hídricos compartidos y/o ambientales que los hacen inviables en la situación actual. Tal es el caso por ejemplo, de las alternativas que consideran la utilización de los recursos del Lago Chungará o provenientes de recursos hídricos compartidos.

Ante la imposibilidad de establecer el momento adecuado en que se producirían las condiciones de rentabilidad que justifiquen estos proyectos, se estima conveniente incluir estos estudios dentro del PCM, con miras a que las restricciones mencionadas puedan ser resueltas con la adecuada anticipación para la puesta en marcha futura del PLP. Por otro lado estas acciones no son evaluables en su totalidad por cuanto existe incertidumbre en la definición del tiempo requerido para las negociaciones necesarias para definir el uso de los recursos hídricos compartidos. Por esta razón, las acciones del PLP sólo se listan en la Tabla 6.38

**Tabla 6.38 Proposición para Plan Director de Largo Plazo (PLP)  
Cuenca Río San José**

Programa		Proyecto
Soluciones Estructurales	Mejoramiento Abastecimiento Agua Potable (ESSAT)	Captación Recursos Superficiales desde Cuenca Río Caquena (AP1)
		Captación Recursos Superficiales Río Lauca (AP3)
		Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará (AP6)
	Mejoramiento Abastecimiento Agua para Riego	Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR2)
		Captación Recursos Superficiales desde Lago Chungará y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa (AR3)
	Uso Múltiple en Riego, Agua Potable e Hidroelectricidad	Captación Recursos Superficiales desde Cuenca Río Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad (UM1)
		Embalse Chironta Regulación Recursos Superficiales Río Lluta y Caquena para Aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad. (UM2)
		Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca para Aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad. (UM4)
	Soluciones No-Estructurales	

### 6.3.3 Recomendaciones para la Implementación del Plan Director

Este acápite contiene algunas proposiciones para la implementación del Plan Director las que incluyen la identificación de las instituciones o unidades ejecutoras de cada proyecto, su forma de participación y los mecanismos de coordinación que podrían emplearse.

#### a) **Identificación de las Unidades Ejecutoras de los Programas y Proyectos Propuestos en el Plan Director**

La identificación de las unidades ejecutoras de los proyectos se ha realizado considerando tanto las características de cada proyecto como las funciones y atribuciones de cada una de ellas. Entre las unidades ejecutoras se han incluido a las instituciones públicas y privadas cuando corresponde, especialmente cuando estas últimas se ven más directamente relacionadas en el proyecto. El detalle de estas relaciones se presenta en la Tabla 6.39 sólo para el Plan Director Corto/Mediano Plazo (PCM), dado que para el plan de largo plazo no se visualiza en este momento las instituciones que deberían considerarse para su materialización.

**Tabla 6.37 Proposición para el Plan Director de Corto/Mediano Plazo (PCM) Cuenca Río San José**

Escenario: 545 l/s extracción desde acuífero del río Lauca; 345 l/s extracción desde el acuífero del Valle de Azapa para Agua Potable; Escenario 3 Agrícola

Programa	INVERSION (Miles UF)																				Total (Miles UF)
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
a) Soluciones Estructural																					
UM7			97,2	56,1	56,1	56,1	184,6	184,6	247,1	62,5						62,5					1.069,3
AP7 (ESSAT)				10,7	10,7	10,7	10,7	10,7													53,5
b) Soluciones No-Estructurales			21,0																		21,0
NE1			17,4	17,4																	34,8
NE2			8,9	8,9																	17,8
NE3			13,6	13,6	4,0																31,2
NE4			5,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	64,8
NE5 (ESSAT)			5,1	12,0	6,8	9,7	9,7	3,9													47,2
NE6																					
c) Soluciones Combinados			3,3	3,3	3,9	3,3	3,3														1,5
PC1			2,1	2,1																	4,2
PC2																					
<b>Total (miles UF)</b>			172,2	127,7	85,5	83,4	311,9	202,8	250,7	66,1	3,6	3,6	66,1	3,6	3,6	66,1	3,6	3,6	3,6	3,6	1.361,3

# PLAN DE INVERSIONES PROYECTOS ESTRUCTURALES (MILES DE UF)

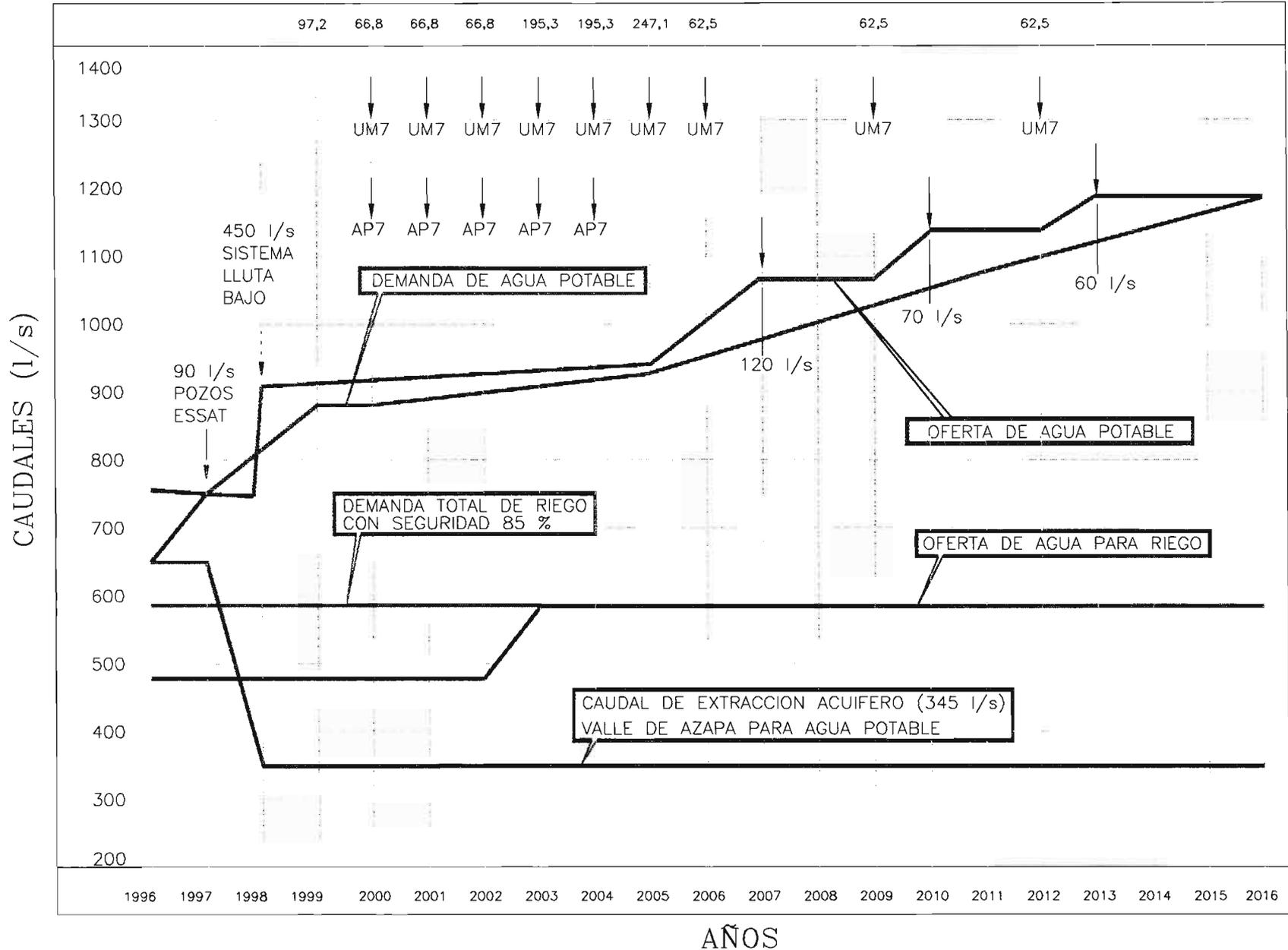


FIG. 6.9 PLAN DE INVERSIONES Y CURVAS DE OFERTA Y DEMANDA PARA EL PCM.

## b) Forma de Participación de cada Unidad Ejecutora

Para la ejecución de los proyectos del Plan Director se han identificado cinco actividades principales en que se estima es posible dividir las acciones que conducen a la implementación del Plan. Estas actividades son: gestión de financiamiento, gestión para la realización y supervisión de estudios, gestión para la materialización de los proyectos, gestión en la etapa de operación de los proyectos, y labores de soporte técnico.

**Tabla 6.39 Unidades Ejecutoras del Plan Director**

Plan	Programa	Proyecto		Unidad Ejecutora	
PCM	Soluciones Estructurales	AP7	Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable	ESSAT	
		UM7	Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable	DGA-DOH-CNR-ESSAT-Vialidad-Regantes	
	Soluciones No-Estructurales	NE1	Manejo de Cauces		DV - DOH
		NE2	Organización de Usuarios		DGA - DOH
		NE3	Mejoramiento de Técnicas y Uso de Agua en Riego		DGA DOH
		NE4	Estudios e Investigación Lago, Cuantificación Recursos Hídricos, Infiltración Valle de Azapa y Modelo Pronóstico y Sistema Alerta Crecidas		DGA-SEREMI Agricultura-INDAP-COREMA DOH
		NE5	Campaña Educativa Sobre Ahorro del Consumo de Agua		Intendencia-Gobernación-Municipios ESSAT-Ministerio de Educación
		NE6	Estudio Ecológico y Legal Lago Chungará		DGA-COREMA
	Soluciones Combinadas	PC1	Mejoramiento Red Fluviométrica		DGA
		PC2	Mejoramiento Red Hidrometeorológica		DGA

La forma en que estas actividades serían compartidas durante la implementación del Plan Director se indica en la Tabla 6.40, donde además se entrega información sobre los montos de inversión y plazos de ejecución de cada proyecto.

Debe mencionarse que la función de evaluación así como el control del grado de avance y cumplimiento de los objetivos y metas del Plan Director, parece adecuado que quede a cargo de la Dirección General de Aguas, por ser ésta la institución promotora del Plan y a la que le corresponde, de acuerdo a las atribuciones que le confiere la ley, la tareas de planificación de los recursos hídricos.

## c) Mecanismos de Coordinación para la Implementación del Plan

La implementación del Plan Director requiere que las instituciones participantes operen en forma coordinada para lograr los objetivos propuestos. Para lograrlo se propone que sea la Dirección General de Aguas la institución que lleve adelante el proceso de coordinación, situación que queda reflejada en su rol protagónico, al ser la gestora de la implementación en la totalidad de los proyectos propuestos. Con este fin la DGA deberá tomar contacto con las autoridades correspondientes de las instituciones participantes en el Plan Director y comunicar la iniciativa a fin de lograr acuerdos que permitan su puesta en ejecución.

Posteriormente, durante la ejecución del Plan Director, esta Dirección debe tener una participación preponderante en la mantención de los contactos entre las distintas instituciones a fin de mantener la comunicación permanente para la solución de conflictos, consideración de los distintos intereses y la recopilación de los antecedentes necesarios para la evaluación del cumplimiento de los objetivos del Plan.

El mecanismo que se propone para lograr la coordinación consiste en la estructuración de una Comisión Coordinadora del Plan Director, compuesta por las diversas instituciones públicas relacionadas con la problemática del déficit hídrico de la cuenca, dependientes de la Intendencia - I Región, en donde se llevarían a cabo los acuerdos que permitan materializar los proyectos. El desarrollo y ejecución del Plan, debe ser monitoreado a través de fijar un plan de trabajo con metas y logros específicos, evaluando en forma permanente el cumplimiento de los objetivos propuestos. Para facilitar esto último deberán asignarse las responsabilidades y tareas que cada componente de la comisión deberá cumplir. Debe considerarse como actividad importante para facilitar la materialización de los proyectos, la realización de seminarios de difusión de las iniciativas del Plan Director entre los sectores involucrados. Se estima que la realización de estas actividades, sumado al liderazgo que debiera asumir la DGA para coordinar e implementar el Plan serían suficientes para lograr los objetivos propuestos.

**Tabla 6.40 Forma de Participación de las Unidades Ejecutoras del Plan**

Proyecto	Unidad Ejecutora	Responsabilidad					Inversión Total (miles UF)	Duración años	
		1	2	3	4	5			
UM7	Habilitación y Construcción Sondajes Sector Canal Lauca para Aprovechamiento en Riego y Agua Potable	DGA DOH CNR(Ley 18.450) COREMA ESSAT VIALIDAD REGANTES	X X	X X	X		X X	1069,3	10
NE1	Manejo de Cauces	VIALIDAD DOH	X	X			X	14,5	1
NE2	Organización de usuarios del agua subterránea y superficial del Valle de Azapa	DGA DOH	X	X X				6,9	2
NE3	Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego	DGA DOH	X	X X				18,8	5
NE4	Estudios e Investigación, Cuantificación Recursos Hídricos, Infiltración Valle de Azapa y Modelo Pronóstico y Sistema Alerta Crecidas	DGA COREMA AGRICULTURA INDAP DOH	X X	X X			X X	41,2	5
NE5	Campaña Educativa Sobre Ahorro del Consumo de Agua	INTENDENCIA GOBERNACION MUNICIPIO ESSAT Min. Educación	X			X X	X	68,4	20
NE6	Estudio Ecológico y Legal Lago Chungará	DGA COREMA	X	X X			X X	13,7	2
PC1	Mejoramiento Red Hidrológica	DGA	X			X	X	6,6	2
PC2	Mejoramiento Red Fluvimétrica	DGA	X			X	X	4,2	2

Nota: Las responsabilidades corresponden a: (1)Financiamiento; (2) Realización Estudio; (3) Ejecución de Construcción; (4) Operación; (5) Soporte Técnico.

No obstante lo anterior, y considerando la relevancia que tiene el Plan Director para el desarrollo de la zona y la importancia de lograr su implementación, se ha elaborado un estudio, denominado "Marco Institucional Público para la Gestión de los Recursos Hídricos", el que está orientado a facilitar las acciones que pueda emprender la DGA para difundir e implementar el Plan Director. Dicho estudio se presenta en el Anexo 9.

En el anexo mencionado se propone la formación de una Comisión cuyo único propósito es servir a los fines de coordinación e implementación del Plan Director. Esta Comisión estaría radicada en la Intendencia, contando con apoyo directo de la DGA.

#### 6.4 METODOLOGIA PARA LA REVISION Y ACTUALIZACION PERIODICA DEL PLAN DIRECTOR

El procedimiento para la actualización y reformulación del Plan Director, es similar, en todas sus etapas, a la metodología empleada en este estudio. Esta metodología se muestra esquemáticamente en la Fig. 6.1.

La revisión se inicia por una actualización del diagnóstico de la cuenca. Para ello deberá incluirse los estudios recientes que se hayan ejecutado hasta la fecha de la revisión, así como también los antecedentes relativos a proyectos en ejecución.

Utilizando los antecedentes consignados y analizados en el presente informe, y complementados con los nuevos antecedentes, se elabora un nuevo diagnóstico de la cuenca. Ello permitirá definir los problemas y conflictos que deberán ser resueltos con el nuevo Plan Director.

La existencia de la Base de Datos desarrollada en este estudio, será una herramienta de gran utilidad para la actualización del diagnóstico. Ello sin embargo, está sujeto a que esta Base sea mantenida adecuadamente durante la ejecución del Plan Director. En efecto, el sistema desarrollado permite la actualización de estadísticas fluviométricas, pluviométricas y meteorológicas, así como de calidad de aguas y de información relacionada con los derechos de agua. Todo ello facilitará el proceso de caracterización de los recursos hídricos de la cuenca.

Seguidamente se debe efectuar el análisis de las alternativas de solución para los problemas y conflictos detectados. Para ello, se deberá recurrir a la Cartera de Proyectos evaluada en el presente estudio, la que podría ser complementada con aquellas nuevas iniciativas que pudieran haber surgido hasta el momento de la actualización del Plan Director. El análisis deberá incluir una evaluación técnico-económica a nivel de prefactibilidad, incluyendo aspectos legales y ambientales.

Nuevamente, la existencia de la Base de Datos será de utilidad para la identificación de las soluciones. La potencialidad de esta herramienta será mayor aún si en el proceso de mantención de la Base de Datos se ha actualizado previamente los datos correspondientes a las nuevas iniciativas.

La definición de los escenarios para la evaluación de las alternativas de solución deberá ser objeto de un análisis específico. La definición de los escenarios deberá reflejar la situación existente en la cuenca al momento de realizar la actualización del Plan, así como los desarrollos futuros que puedan ser previsibles.

Luego de definir los escenarios, se debe proceder a evaluar económicamente las alternativas de solución que no presentan restricciones legales o ambientales que dificulten su ejecución, empleando para ello las metodologías establecidas por MIDEPLAN. Los proyectos que presenten mayor rentabilidad serán los que se incluirán en el nuevo Plan Director para su ejecución en el corto y mediano plazo, mientras que los restantes proyectos constituirán el Plan de Largo Plazo.

La actualización se recomienda que se ejecute cada 5 años, una vez que haya sido puesto en práctica el Plan Director. Este lapso permitiría plantear el nuevo Plan cuando ya se hayan ejecutado los proyectos de corto plazo (primeros 5 años) y se pueda conocer los logros alcanzados.

El horizonte de análisis del nuevo Plan deberá ser de 20 años a contar del momento de la revisión, lo que permitirá mantener la vigencia del Plan adaptándolo sucesivamente a las condiciones y expectativas de desarrollo de la cuenca.

Finalmente, debe mencionarse que la actualización del Plan Director es una labor cuya magnitud corresponde a un proyecto de características similares al presente estudio.

## **CAPITULO 7**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE BASE DE DATOS**

## 7. DISEÑO E IMPLEMENTACION DE BASE DE DATOS

### 7.1 ALCANCES Y OBJETIVOS DE LA BASE DE DATOS

Con el fin de disponer de una herramienta que permita integrar la información recopilada y generada durante el presente estudio, así como la del Plan Director para el uso y planificación de los recursos hídricos de la cuenca del río San José, se diseñó un sistema de base de datos de tipo relacional. Se trata de una herramienta destinada a administrar esta información y a la vez servir como soporte para la toma de decisiones que debe realizar la DGA y otras reparticiones, ya sea a nivel central o local en la cuenca.

La base de datos integra la totalidad de los antecedentes y resultados obtenidos en el presente estudio, incluyendo la información básica contenida en los sistemas de la DGA, como son el Banco Nacional de Aguas (BNA) y el Catastro Público de Aguas (CPA), los proyectos, planes y programas analizados, y el Plan Director propiamente tal. También incorpora los resultados del diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca, los antecedentes relativos a los usuarios y derechos de agua, y los resultados del análisis de problemas y conflictos. De esta forma, la base de datos permite en forma fácil y rápida, caracterizar los recursos hídricos de la cuenca del río San José, tomando en cuenta los aspectos de cantidad, calidad, demandas y temas legales, entre otros.

La cobertura espacial de la información incorporada a la base de datos corresponde a la cuenca del río San José más otras cuencas adyacentes de interés para la caracterización de los recursos hídricos y el Plan Director, las cuales corresponden a las cuencas de los ríos Lluta, Lauca, Caquena y la cuenca de la quebrada La Concordia.

Por último, al ser esta base de datos de tipo relacional, puede ser integrada fácilmente al Sistema Integrado para la Gestión de Información de Recursos Hídricos (SIGIRH), que actualmente está desarrollando la DGA. Así, la base de datos genera archivos compatibles con este sistema, permitiendo que pueda implementarse la migración de datos desde y hacia el BNA y CPA.

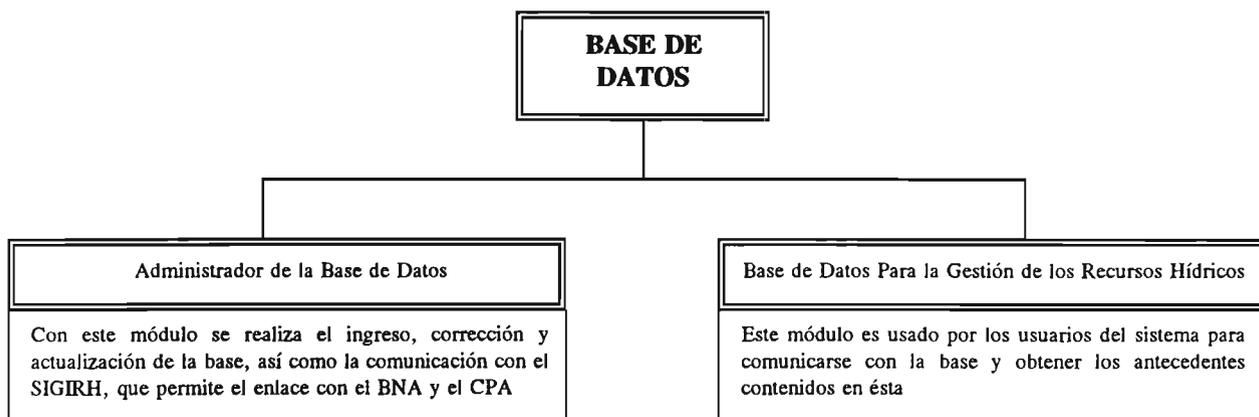
### 7.2 ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

Con el fin de lograr los objetivos anteriores, la base de datos se ha estructurado en los dos módulos siguientes:

- Administrador de la Base de datos
- Base de datos para la gestión de los recursos hídricos

Se presenta en la Fig. 7.1 un esquema general de la base, en el que se distinguen sus módulos principales.

Fig. 7.1 Esquema General Base de Datos



El primero de los módulos, vale decir el administrador de la base de datos, está orientado a ser utilizado por los encargados de mantener la información contenida en la base, así como también por personal del CIRH encargado de actualizar la información proveniente del BNA y CPA. Por otro lado, al segundo módulo sólo tendrían acceso los usuarios que requieren obtener la información contenida en la base de datos.

#### 7.2.1 Módulo: Administrador de la Base de Datos

Con este módulo se realiza el ingreso de información, la actualización de la base de datos y el traspaso de información al SIGIRH. Se ha estructurado considerando los siguientes sub-módulos:

- Mantenimiento de estaciones
- Caracterización de los recursos hídricos
- Otros aspectos
- Plan Director
- Utilidades

En lo que sigue se describen en detalle las características de cada uno de estos sub-módulos.

##### a) **Sub-Módulo: Mantenimiento de Estaciones**

Este sub-módulo permite la creación de las estaciones que son parte de la base de datos, y que corresponden a las redes de medición actualmente existentes en el BNA, tales como red fluviométrica, red pluviométrica y meteorológica, red de calidad de aguas superficiales y red de medición de niveles de aguas subterráneas. Para la definición de las estaciones de medición, se consideró la división en cuencas y sub-cuencas del área de estudio y el código BNA de cada estación. La información de las estaciones está complementada con sus coordenadas geográficas y altitud, tal como se encuentran contenidas en el BNA. Además para las estaciones de calidad de aguas se entrega el parámetro "temporalidad", que diferencia entre estaciones permanentes, eventuales y ocasionales. El primer tipo de estaciones corresponde a las estaciones en que regularmente se realiza medición de calidad de aguas, las eventuales corresponden a estaciones en las que se realiza muestreo debido a un evento, que aunque está limitado en el tiempo debe ser muestreado. Finalmente, las estaciones ocasionales corresponden a aquellas en las que se realizan muestreos sin ningún tipo de regularidad.

En la Fig. 7.2 se presenta el esquema correspondiente a al menú de estaciones, observándose los dos componentes en que se ha dividido: Mantenimiento e Informe de Estaciones. En Mantenimiento de Estaciones se

realiza la creación de las estaciones y el ingreso de sus características, mientras que Informe de Estaciones permite imprimir el listado de estaciones existentes en la base de datos, indicando sus características.

**Fig. 7.2 Esquema Menú de Estaciones**

<b>Estaciones</b>	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director	Utilidades
Mantenimiento de Estaciones	▶			
Informe de Estaciones	▶			

**b) Sub-Módulo: Caracterización de Recursos Hídricos**

Este sub-módulo está destinado a realizar el ingreso, actualización y modificación de la información necesaria para caracterizar los recursos hídricos, tanto en cantidad como calidad, y que para las aguas superficiales corresponden a caudales, precipitaciones, temperaturas, vientos, humedad relativa y horas de sol los que corresponden a los antecedentes de estaciones fluviométricas, pluviométricas y meteorológicas, respectivamente. En lo que respecta a las aguas subterráneas, los antecedentes se refieren a los consignados en los catastros de pozos y norias, y a los antecedentes de niveles disponibles en el BNA, de la red de vigilancia existente. El menú general de este módulo se presenta en la Fig. 7.3, en el que se distinguen los ítemes Aguas Superficiales, Aguas Subterráneas y Calidad de Aguas.

**Fig. 7.3 Esquema Menú Caracterización de Recursos Hídricos**

Estaciones	<b>Caracterización de Recursos Hídricos</b>	Otros Aspectos	Plan Director	Utilidades
	Aguas Superficiales	▶		
	Aguas Subterráneas	▶		
	Calidad de Aguas	▶		

En primer lugar se presenta en la Fig. 7.4 el menú de ingreso de los antecedentes catalogados como aguas superficiales, los que corresponden a las mediciones de tipo fluviométrico, pluviométrico y meteorológico, tal como se indicó anteriormente. Con este sub-módulo se definen las características de las variables hidrológicas incluidas en el sistema, pudiendo ingresarse unidades de medición, rangos de variación, etc. Posteriormente se realiza el ingreso, modificación y eliminación de mediciones. En este caso se hace la distinción entre mediciones originales y corregidas, en que las primeras corresponden a los datos provenientes del BNA, en cambio las mediciones corregidas corresponden a resultado de los estudios y análisis realizados, y contienen estadísticas rellenadas, corregidas y extendidas. Estas últimas sólo existen para las estaciones fluviométricas y pluviométricas, por lo que el número de este tipo de estadísticas es inferior al de estaciones con mediciones originales. Debe dejarse establecido que la variable viento, que corresponde a los antecedentes meteorológicos incluidos en el BNA, tiene su propio ítem de eliminación dado que tiene un tratamiento distinto a las restantes variables de este tipo.

Fig. 7.4 Esquema Menú Aguas Superficiales

Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director	Utilidades
	<b>Aguas Superficiales</b> ▶	Mantenimiento de Variables Hidrológicas		
	Aguas Subterráneas ▶	Informe de Variables Hidrológicas		
	Calidad de Aguas ▶	Ingreso de Mediciones ▶		
		Mantenimiento de Mediciones ▶		
		Eliminación de Mediciones ▶		
		Eliminación Vientos		

En segundo lugar se presenta en la Fig. 7.5 el menú de ingreso de aguas subterráneas, que está dividido en los catastros de pozos y norias por un lado, y por otro, en los datos contenidos en al red de medición de niveles, incluyendo todos los antecedentes consignados en el BNA y no sólo los que corresponden a estaciones vigentes. Al igual que para las aguas superficiales, a través de este menú se pueden eliminar datos y corregir la información contenida en la base.

Por último este administrador permite definir los parámetros a utilizar para la caracterización de los recursos hídricos en cuanto a la calidad de las aguas, e ingresar la información nueva no incluida en el BNA. Es importante indicar que la información relevante de calidad de aguas corresponde sólo a aquella generada posterior a 1980, de acuerdo a lo consignado en el estudio AC-DGA (1994). Además debido a que en el BNA la información está diferenciada de acuerdo al método de laboratorio empleado, los datos tal como se encuentran almacenados no son utilizables por la base de datos. Debido a ello, los antecedentes que debe contener la base son aquellos del estudio citado los cuales corresponden a los mismos antecedentes contenidos en el BNA debidamente agrupados.

Fig. 7.5 Esquema Menú Aguas Subterráneas

Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director	Utilidades
	Aguas Superficiales ▶			
	<b>Aguas Subterráneas</b> ▶	Mantenimiento de Catastro Pozos y Norias		
	Calidad de Aguas ▶	Mantenimiento de Niveles Red de Vigilancia		

En lo que respecta al diseño de este sub-módulo, en la Fig. 7.6 se muestra el desglose del menú Calidad de Aguas, en el que se observan 2 campos de trabajo. El primero permite la mantención de los elementos, que está ligada a los tipos de parámetros, su ingreso y a la presentación de un informe con sus características. En tanto, en el segundo se incluye el ingreso de datos propiamente tal, su modificación y eliminación cuando es necesario.

### c) Sub-Módulo: Otros Aspectos

En este sub-módulo se incluye el ingreso de los antecedentes de derechos de aguas, instituciones ligadas con el uso del agua, así como a aquellos aspectos relativos a las demandas de agua, problemas y conflictos, y bibliografía. En la Fig. 7.7 se presenta el esquema del menú correspondiente, en el que se observan los elementos anteriormente indicados.

Fig. 7.6 Esquema Menú Calidad de Aguas

Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director	Utilidades
	Aguas Superficiales ▶ Aguas Subterráneas ▶ <b>Calidad de Aguas</b> ▶	Mantención de Elementos y Parámetros Medibles Orden de Ingreso de Elementos y Parámetros Medibles Informe de Elementos Ingreso de Mediciones Mantención de Mediciones Eliminación de Mediciones		

El primer ítem de este menú posibilita el ingreso de los antecedentes de problemas y conflictos que fueron presentados en el Capítulo 4, identificándose el problema, su causa y el impacto que ocasiona. En Instituciones se permite el ingreso de los organismos ligados directa o indirectamente al uso del agua, sus atribuciones y relaciones, entre otros aspectos.

Por otro lado, con el ítem Derechos de Agua se ingresan las solicitudes de derechos de aprovechamiento. La información incluida corresponde a los antecedentes contenidos en el CPA, y corresponde al titular del derecho, origen del agua, tipo de fuente, temporalidad, continuidad y otras características asociadas a los derechos de agua. También se incluye el número del expediente, caudal solicitado y antecedentes sobre la resolución de la petición, en caso de que esté resuelto. Por otro lado, con Usos y Demandas se permite ingresar los antecedentes de demandas de agua consignados en el Capítulo 3 del informe, y que se entrega por actividad económica y en situación actual y futura. Por último, el ítem Bibliografía está destinado al ingreso de la información bibliográfica recopilada en la primera etapa del estudio y que fue presentada en el Capítulo 2, diferenciando la información contenida en un texto específico por tema, de la misma forma en que los antecedentes están presentados en el informe.

Fig. 7.7 Esquema Menú Otros Aspectos

Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director	Utilidades
		Problemas y Conflictos Instituciones Derechos de Agua ▶ Usos y Demandas Bibliografía		

#### d) Sub-Módulo: Plan Director

Este sub-módulo está diseñado para el ingreso de la información de los programas y proyectos y del Plan Director propiamente tal, teniendo una estructura muy simple, tal como se muestra en la Fig. 7.8.

Fig. 7.8 Esquema Menú Plan Director

Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	<b>Plan Director</b>	Utilidades
			Programas y Proyectos ▶	
			Plan Director ▶	

Con el primer ítem del menú se ingresan las características principales de los distintos programas y proyectos que fueron desarrollados en la Etapa 2, tal como fue presentado en el Capítulo 5 del informe. La información de los proyectos se complementa con tablas con el resumen de los resultados de la evaluación de prefactibilidad.

Por otra parte, el ítem Plan Director se divide en tres ítems tal como se muestra en la Fig. 7.9. El primero permite el ingreso de información básica del Plan Director, como son sus objetivos, alcances y metodología. Con el segundo se ingresan antecedentes relativos a los diferentes escenarios utilizados para la evaluación, tales como caudales de explotación desde el acuífero, desarrollo agrícola del valle y desarrollo urbano y rural de Arica. El tercer y último ítem considerado corresponde al Plan Director propiamente tal, el que se ha dividido en plan de corto y mediano plazo, y plan de largo plazo. En este caso se ingresan las características más importantes de los planes, y también indicadores que permitan caracterizar sus atributos.

#### f) Sub-Módulo: Utilidades

En esta categoría se encuentran los parámetros de control del sistema, a los que sólo tiene acceso el administrador. Entre estos parámetros se cuenta la creación de usuarios y la definición de aquellos conceptos que se usan en los distintos sub-módulos, incluyendo los tipos de estaciones, temporalidad de las estaciones de calidad de aguas, tipo de derechos de aguas, etc.

Fig. 7.9 Esquema Menú Plan Director

Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	<b>Plan Director</b>	Utilidades
			Programas y Proyectos ▶	
		Aspectos Básicos	<b>Plan Director</b> ▶	
		Escenarios		
		Planes		

#### 7.2.2 Módulo: Base de Datos para la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río San José

Tal como se indicó anteriormente, este módulo permite acceder para consulta, a la información disponible en la base de datos, ya sea los datos básicos o datos procesados en lo que respecta a la caracterización de los recursos hídricos. Se divide en los siguientes sub-módulos:

- Ambiente
- Caracterización de los recursos hídricos
- Otros aspectos
- Plan Director

A continuación se describen en mayor detalle las características principales de los sub-módulos que integran la Base de Datos.

a) **Sub-Módulo: Ambiente**

Este primer sub-módulo permite predefinir un conjunto de estaciones de una cuenca dada, en la que se quiere centrar el análisis. Esta definición es básica para la caracterización de los recursos hídricos que se realiza en el módulo siguiente. En la Fig. 7.10 se muestran los componentes de este módulo, que corresponde a Seleccionar y Definir.

**Fig. 7.10 Esquema Menú Ambiente**

Ambiente	Estaciones	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director
Seleccionar Ambiente Definir Ambiente				

Con la opción Seleccionar Ambiente se elige alguno de los ambientes previamente definidos y con la opción Definir Ambiente se eligen las estaciones que se quieren analizar, las que pasarán a ser parte del ambiente.

b) **Sub-Módulo: Caracterización de Recursos Hídricos**

Esta caracterización se realiza atendiendo a los aspectos de cantidad y calidad. La caracterización en cuanto a cantidad se desarrolla en forma separada para las aguas superficiales y subterráneas. En cambio, la caracterización de la calidad se realiza en un sólo sub-módulo, diferenciado internamente entre el recurso superficial y el subterráneo. El esquema general de este menú es similar al presentado en la Fig. 7.3.

El primer ítem de este módulo corresponde a las aguas superficiales, y permite realizar la cuantificación de estos recursos usando toda la información ingresada a la base de datos previamente, el que se presenta en forma esquemática en la Fig. 7.11. En lo que respecta a los reportes que pueden obtenerse con este sistema, se cuenta en primer lugar con las estadísticas de mediciones, las que pueden entregarse por año calendario o año hidrológico para las mediciones originales obtenidas desde el BNA, y sólo por año hidrológico para las mediciones corregidas, que corresponden a antecedentes pluviométricos y fluviométricos. Para estas últimas variables pueden entregarse reportes en forma gráfica, los que corresponden a dos tipos: curvas de variación media mensual, ya sea para un año hidrológico cualquiera o un conjunto de años hidrológicos, y series de tiempo, que corresponde al valor anual para un conjunto de años hidrológicos previamente definidos por el usuario. Por último, para todos los parámetros puede entregarse la cantidad de datos por año a través de todo el período histórico, o sólo una parte.

Debe agregarse que todos los reportes pueden ser traspasados a archivos magnéticos para su uso posterior o análisis más completos.

El segundo ítem se refiere a las aguas subterráneas, en que el sistema posibilita la impresión de los catastros de sondajes y norias, y de los niveles a través del tiempo, los que provienen de la red de vigilancia correspondiente. En la Fig. 7.12 se presenta esquemáticamente este menú de obtención de resultados.

Fig. 7.11 Esquema Menú Aguas Superficiales

Ambiente	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director
	<b>Aguas Superficiales</b> ▶	Variación Media Mensual	
	Aguas Subterráneas ▶	Serie de Tiempo	
	Calidad de Aguas ▶	Estadísticas de Mediciones ▶	
		Disponibilidad de Datos	

Fig. 7.12 Esquema Menú Aguas Subterráneas

Ambiente	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director
	Aguas Superficiales ▶		
	<b>Aguas Subterráneas</b> ▶	Informe Catastro Pozos y Norias	
	Calidad de Aguas ▶	Informe Niveles Red de Vigilancia	

El tercer y último ítem incluido en el módulo de caracterización corresponde a la calidad de Aguas, y esquemáticamente se presenta en la Fig. 7.13.

Para este tema, la base de datos permite entregar reportes similares a los definidos en el estudio AC-DGA (1994), en forma de tablas con los datos medidos y reportes gráficos en forma de diagrama de Stiff y diagramas de barras normalizados, tal como fueron definidos en el Capítulo 3. También se genera un reporte que entrega los parámetros estadísticos principales por parámetro para las estaciones seleccionadas. Al igual que en el caso de las aguas superficiales, los antecedentes disponibles pueden ser traspasados a archivos magnéticos.

Fig. 7.13 Esquema Menú Calidad de Aguas

Ambiente	Caracterización de Recursos Hídricos	Otros Aspectos	Plan Director
	Aguas Superficiales ▶		
	Aguas Subterráneas ▶		
	<b>Calidad de Aguas</b> ▶	Estadísticas de Calidad de Aguas	
		Diagramas de Stiff y Barras Normalizados	

### c) Sub-Módulo: Otros Aspectos

Este sub-módulo permite efectuar consultas relacionadas con la información de problemas y conflictos, derechos de aguas, demandas, instituciones y bibliografía, y esquemáticamente corresponde a lo presentado en la Fig. 7.7.

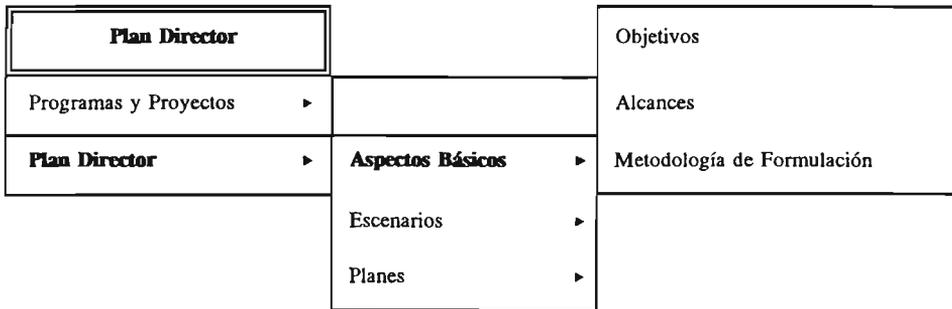
La información que permite desplegar este menú corresponde a la ingresada con el administrador, la que en los casos de demandas de agua e instituciones está formada por reportes escritos y gráficos.

d) **Sub-Módulo: Plan Director**

Con este sub-módulo se puede obtener la información disponible relacionada con el Plan Director, y los programas y proyectos considerados para su formulación. El esquema de este módulo corresponde al mismo que tenía el administrador de la base de datos, y que fuera presentado en la Fig. 7.8. Los resultados que se entregan corresponden a toda la información ingresada con el administrador, la que se detalla en lo que sigue.

En primer lugar se presenta en la Fig. 7.14 en detalle el contenido del sub-módulo, en particular el ítem Aspectos Básicos. Con este ítem se entrega información básica. Con este ítem se entrega información básica del plan como son sus objetivos, alcances y metodología de formulación. en siguiente lugar se presenta en la Fig. 7.15 en detalle el esquema del ítem Escenario, con el que se puede presentar la información relativa a los escenarios de evaluación, que corresponden a: Explotación Acuífero (EA), Desarrollo Agrícola del Valle (DAV) y Desarrollo Urbano y Rural (DUR). Finalmente en la Fig. 7.16 se presentan el Plan Director formulado, desglosado en dos componentes: Corto y Mediano Plazo, y Largo Plazo.

**Fig. 7.14 Esquema Menú Plan Director: Aspectos Básicos**



**Fig. 7.15 Esquema Menú Plan Director: Escenarios**

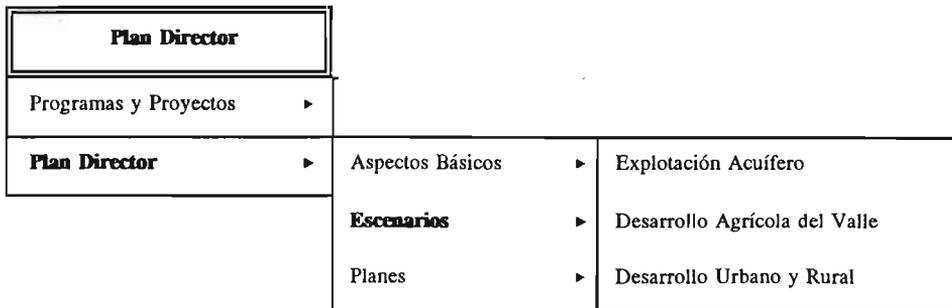
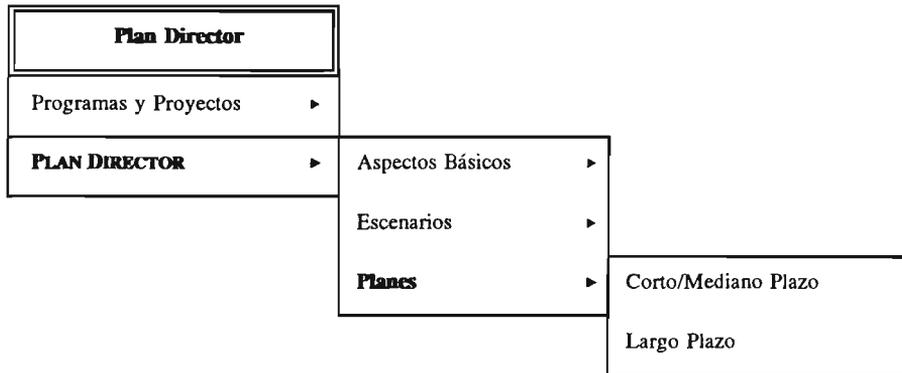


Fig. 7.16 Esquema Menú Plan Director: Planes



## **CAPITULO 8**

### **SINTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 8. SINTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las principales conclusiones y recomendaciones que se derivan del estudio realizado. Se incluyen separadamente los diversos temas analizados, tanto en lo relativo a los antecedentes recopilados como el diagnóstico de los recursos hídricos, los problemas y conflictos, la identificación y análisis de alternativas de solución y el Plan Director propuesto.

### 8.1 SINTESIS Y CONCLUSIONES

#### 8.1.1 Antecedentes Disponibles

- a) Los antecedentes disponibles de estudios realizados en los últimos 10 años para la cuenca en estudio y las cuencas adyacentes, comprenden una amplia variedad de aspectos relevantes para la gestión de los recursos hídricos. Ello ha permitido recabar información tanto relativa a la cantidad y calidad de los recursos superficiales y subterráneos como a los usos y demandas, y aspectos legales y administrativos.

No obstante lo anterior, debe mencionarse la carencia de estudios agronómicos del Valle de Azapa, lo que dificulta la evaluación de proyectos destinados al desarrollo de este sector.

Por otra parte, también se aprecia una carencia de estudios ambientales que permitan establecer la situación actual o línea base en los sectores de interés en la cuenca y zonas adyacentes.

- b) En lo que se refiere a ejemplos recientes sobre la experiencia extranjera en torno a planes de gestión de recursos hídricos, se destaca el empleo de conceptos tales como el establecimiento de estrategias para alcanzar objetivos de corto, mediano y largo plazo, promoviendo una gestión descentralizada basada en mecanismos de mercado. En la elaboración de estas estrategias se consideran tanto a las autoridades públicas de niveles centrales y locales, como a las industrias y a las comunidades campesinas.

En algunos casos los programas de manejo de cuencas están encabezados por un consejo, compuesto por representantes del gobierno así como por representantes de las industrias, de los usuarios, población campesina, etc. El consejo administra el programa de modo que exista un equilibrio entre consideraciones sociales, económicas y ambientales para satisfacer las necesidades de la generación presente y futura.

Los planes de cuenca se enmarcan en el reconocimiento de que el agua es un recurso finito y que las soluciones deben buscar el uso sustentable de los recursos, cuidando los ecosistemas, reforzando la organización de los usuarios y la calidad y cantidad de información de modo de facilitar el proceso de toma de decisiones.

#### 8.1.2 Diagnóstico de los Recursos Hídricos

- a) Recursos Superficiales. El análisis de los recursos superficiales ha mostrado que el área en estudio puede caracterizarse como una zona de régimen pluvial seco. Las precipitaciones son escasas y las lluvias más importantes se presentan en la parte alta de la cuenca durante los meses de enero, febrero y marzo, en el período del denominado invierno altiplánico. En este lapso se producen las mayores crecidas observadas en los ríos.
- b) Recursos Subterráneos. El estudio del acuífero del Valle de Azapa mostró que actualmente el acuífero está sometido a una sobreexplotación, la que no es atribuible necesariamente a un período de sequía prolongado, por cuanto el análisis de recursos superficiales mostró que la zona es seca y no se distinguen tendencias claras que permita identificar un evento característico de sequía.

- c) **Calidad de Aguas.** La calidad de las aguas superficiales del río San José presenta limitaciones para su uso, tanto para agua potable como para riego. Igual situación se presenta con las aguas superficiales de los ríos Lauca, Caquena y Lluta. En general las restricciones para el uso en agua potable están dadas por el exceso de arsénico, boro, fierro, sulfatos y cloruros, mientras que las restricciones para su uso en riego surgen del exceso de boro y arsénico.

Las aguas subterráneas, tanto en el entorno del río San José como en las cuencas del Lauca, el río Lluta y Quebrada de La Concordia, presentan restricciones para su uso como aguas de riego y agua potable. En el caso de agua de riego las restricciones provienen del exceso de sulfatos, cloruros boro, arsénico y nitratos, mientras que en el caso de uso para agua potable dichas restricciones se originan por el exceso de sulfatos, cloruros, arsénico, fierro y boro.

- d) **Balance Hídrico.** El déficit actual de recursos hídricos para satisfacer la demanda para riego en el Valle de Azapa tiene las siguientes consecuencias sobre el sistema hídrico:
- Sobreexplotación del acuífero, debido a que para paliar el déficit se ha ido extrayendo agua en volúmenes que van más allá de su capacidad de recarga.
  - Falta de agua aún bajo las condiciones actuales de sobreexplotación.

Los sectores de riego y agua potable son los que presentan las mayores restricciones para su desarrollo como producto del déficit de recursos hídricos y del deterioro de la calidad físico-química de los mismos. El balance hídrico del acuífero del Valle de Azapa permite señalar que el déficit actual es del orden de 500 (l/s) para un año tipo 50%.

- e) **Crecidas y Aluviones.** El río San José registra periódicamente la ocurrencia de eventos del tipo crecidas y aluviones de origen pluvial, caracterizándose éstos por los daños ocasionados a la infraestructura, cortando caminos, dañando puentes y produciendo damnificados. Adicionalmente produce daños al turismo al contaminar las playas cercanas a la desembocadura del río San José.
- f) **Redes de Medición del Recurso Hídrico.** En general, las redes de medición de los recursos hídricos, tanto fluviométrica como hidrometeorológica, de niveles freáticos y de calidad de aguas, presentan una cobertura espacial y temporal deficiente, dificultando la caracterización cuantitativa de los recursos a un nivel de precisión y representatividad razonable.

En particular, la red fluviométrica necesita ser mejorada en lo que se refiere al número y posición de las estaciones de medición. Igualmente, la red hidrometeorológica requiere aumentar la cobertura de medición pues existen sectores sin este tipo de antecedentes. En lo que se refiere a la red de medición de niveles freáticos ésta es más adecuada en su distribución espacial.

Finalmente, la red de medición de calidad de aguas superficiales sería aceptable para los fines caracterizar los recursos desde este punto de vista, mientras que la de calidad de aguas subterráneas no se encuentra en funcionamiento.

- g) **Organizaciones de Usuarios.** En términos de las organizaciones de usuarios, tanto en la cuenca del río San José como en la del río Lauca no existen constituidas Juntas de Vigilancia.

Por otra parte en la cuenca del río San José existen 6 Comunidades de Aguas que aprovechan el recurso de vertientes, y otras 121 de origen Aymara.

Las comunidades mencionadas no cuentan con suficientes medios de personal y económicos que les permitan desarrollar adecuadamente sus funciones de distribución de agua.

En lo que se refiere a cauces artificiales que aprovechan las aguas del río Lauca, existe constituida la comunidad de aguas del canal Azapa COMCA, cuyo objeto es aprovechar gravitacionalmente las aguas del río Lauca y aprovecharlas por el canal Azapa, administrando para ello todas las obras hidráulicas que constituyen el sistema de riego azapa.

Esta organización cuenta con recursos técnicos y económicos para desarrollar sus actuales funciones, y poseen grado de representatividad alto, agrupando el 83 % del total de acciones del canal azapa.

- h) Derechos de Agua. En lo que se refiere a la situación de derechos de agua, el análisis mostró que actualmente existe una importante cantidad de solicitudes de regularización e inscripción de derechos de aprovechamiento en el Valle de Azapa, en su mayoría de aguas subterráneas. Las solicitudes presentadas a la DGA de constitución de derechos en el Valle de Azapa alcanzaban a 626,27 l/s al 21 de mayo de 1996 y las de regularización de derechos de aprovechamiento, conforme al art. 2º transitorio del Código de Aguas alcanzaban a 1252,58 (l/s), materia esta última que en definitiva debe ser resuelta por los tribunales de justicia.

Por otra parte, en el Valle de Azapa se ha declarado zona de prohibición, la que rige para todas las solicitudes de derechos que se presentan con posterioridad al 15 de mayo de 1996 y que se refieran a aguas subterráneas situadas dentro de la zona de prohibición.

### **8.1.3 Portafolio de Alternativas de Solución**

- a) Las alternativas de solución analizadas ha comprendido la totalidad de las soluciones planteadas en estudios previos, agregándose a ella un conjunto nuevo planteado y analizado en el presente estudio, con lo cual se ha logrado producir una cartera de proyectos abarcando una amplia gama de alternativas, agrupadas en tres categorías, de acuerdo al tipo de acciones involucradas en la ejecución del proyecto. Es así que se distinguieron los proyectos de tipo estructural, que involucran la construcción de obras civiles para su ejecución, los de tipo no-estructural que sólo requieren de la realización de estudios o de acciones administrativas o de gestión, y los de tipo combinado, que requieren de ambos tipos de acciones para poder materializar las iniciativas y alcanzar sus objetivos.
- b) El portafolio de proyectos fue evaluado a nivel de prefactibilidad, empleándose criterios técnico-económicos, legales y ambientales. Estos tres criterios fueron aplicados a todos los proyectos que conforman los programas de tipo estructural. Sin embargo, en aquellos programas no-estructurales o combinados, el análisis incluyó sólo los aspectos de tipo económico.

El criterio de tipo económico consistió en evaluar el Valor Medio de Recuperación de la Inversión, que representa el costo promedio actualizado de las inversiones requeridas para disponer de una unidad adicional de agua. Este indicador es similar al utilizado para la evaluación de proyectos de agua potable. Por otra parte, para la evaluación ambiental se utilizó la metodología establecida por la Unidad Técnica del Medioambiente (UTMA) del MOP. Por último, la evaluación legal consistió en determinar si existen impedimentos de tipo legal para materializar el proyecto.

- c) El completo análisis de alternativas para el déficit hídrico que se realizó por sector económico mostró que la mayoría de las soluciones técnicamente factibles presentan un costo de inversión muy alto, lo que los hace económicamente no justificables. Tal es el caso de los proyectos para aumentar el abastecimiento de agua potable y para agua de riego.

En el sector agua potable, los proyectos en desarrollo que tiene ESSAT, para la entrega de agua a Arica al mínimo costo, "Habilitación de Sondajes Costeros" y "Aducción y Planta de Tratamiento para Aprovechamiento Sondajes en el río Lluta", logra resolver el déficit crónico de abastecimiento de la ciudad. Estos dos proyectos anteriores se relacionan favorablemente con el proyecto, también en ejecución, "Reducción de pérdidas en la red de distribución", las cuales se pueden rebajar de un 40 % actual al 30 % en el año 2005 y siguiente. Los proyectos en ejecución dan un horizonte de abastecimiento de agua potable hasta el año 2005. Las otras soluciones estudiadas para un tiempo posterior y técnicamente factibles, presentan un costo de inversión muy alto, lo que los hace económicamente no justificables por el momento.

Una situación similar, en cuanto a costo de inversión, se tiene para los proyectos futuros de aumento de agua para riego, desarrollándose en la actualidad sólo algunos proyectos menores de mejora de infraestructura.

Por otra parte, en las alternativas que incluyeron la posibilidad de generación hidroeléctrica, los costos de la energía producida también fueron superiores al costo de producción del SING, haciendo que estas alternativas no sean justificables.

De esta forma, la evaluación técnico-económica de las alternativas de solución a los problemas de escasez ha mostrado que, en general, el costo del agua que resultaría en el futuro para materializar soluciones como las estudiadas es mayor que el costo de los actuales proyectos en ejecución, haciendo que los proyectos no sean económicamente justificables, privada ni socialmente. Otras alternativas presentan limitaciones legales o ambientales, requiriendo para elevarlas a un nivel de prefactibilidad comparable a las anteriormente señaladas, la realización de estudios específicos que permitan levantar las actuales restricciones para su uso.

En lo que respecta a las alternativas de control de crecidas, estas tienden a presentar elevados costos de materialización, aun en los casos en que puede aprovecharse el agua en abastecimiento de riego o agua potable. Resulta interesante de analizar a futuro la posibilidad de instalar barreras de goma en el lecho del río San José, a la usanza de los Estados Unidos.

Por último, en los proyectos de defensas fluviales realizados muestran que el costo de ejecutar estas obras es socialmente rentable, lo que justifica su materialización.

#### **8.1.4 Plan Director**

- a) La agrupación de las alternativas de solución, en estructurales no-estructurales y combinadas, permitió llevar a cabo la formulación de un Plan Director de corto/mediano plazo y otro de largo plazo. Para definir los proyectos constituyentes del Plan de corto/mediano plazo (PCM) se consideró tanto su factibilidad técnico-económica como su facilidad de ejecución inmediata, es decir, la inexistencia de restricciones de uso de recursos hídricos compartidos, legales o ambientales que impidieran su materialización en el corto plazo. Los restantes proyectos pasaron a formar parte del Plan de Largo Plazo (PLP).
- b) Para la formulación del PCM se evaluaron las alternativas más promisorias analizando distintos escenarios de desarrollo, representados éstos por diferentes niveles de explotación del acuífero y de desarrollo agrícola del Valle de Azapa. Así el conjunto de proyectos que conforman el PCM representa la combinación de iniciativas y acciones técnica y económicamente más convenientes con el objetivo común de favorecer el uso productivo y sustentable de los recursos hídricos, y que puedan ser llevados a cabo en un horizonte de tiempo cercano.

- c) Los antecedentes recabados y analizados muestran que es necesario realizar acciones que, tal como el presente Plan Director de los Recursos Hídricos, ordenen las inversiones públicas y procedimientos dentro de la cuenca. Particular relevancia adquiere en este sentido, la posibilidad de estancamiento de la actividad económica asociada que se prevé dentro de los próximos 20 a 30 años de continuar el actual nivel de explotación de los recursos subterráneos. El uso ordenado de los recursos, a través del Plan Director podría evitar esta situación.
- d) Las condiciones de escasez de recursos hídricos que se presentan en el Valle de Azapa, tanto en calidad como en cantidad, unido al uso competitivo por los mismos entre los sectores de riego y agua potable, proporcionan las condiciones básicas para el desarrollo de acciones que tiendan a la gestión integrada, participativa, flexible y permanente de los recursos hídricos. Dicha gestión aparece como una necesidad, a fin de asegurar la sustentabilidad del sistema y mejorar la calidad de vida en la cuenca del río San José. En este contexto, la posibilidad de instaurar un organismo a nivel de cuenca debe ser estudiada en profundidad, tanto en su factibilidad técnica como de financiamiento económico.
- e) El Plan Director de corto/mediano plazo (PCM) incorpora proyectos de tipo estructural no-estructural y combinado, siendo tres sus componentes principales.

El proyecto estructural más promisorio, considerando que es la solución que presenta los mejores indicadores económicos del conjunto de alternativas analizadas, corresponde al proyecto, en ejecución por ESSAT, AP7 (Reducción de Pérdidas y Mejoramiento de la Red de Distribución de Agua Potable). Además resulta en términos relativos también atractivo el proyecto de uso múltiple UM7, (Habilitación y Construcción de Sondajes sector canal Lauca) para aprovechamiento conjunto en riego y agua potable, y su externalidad positiva de aprovechar la capacidad ociosa de la Central Chapiquiña de EDELNOR para generación eléctrica. Este proyecto permite disponer de un caudal adicional de agua en el Valle de Azapa.

El proyecto no-estructural más importante para el Plan Director corresponde al proyecto NE2, (Organización de Usuarios del agua superficial y subterránea del Valle de Azapa), ya que la explotación planificada y sustentable del acuífero es un aspecto central de los objetivos perseguidos.

Los restantes proyectos no-estructurales y combinados estructurales/no-estructurales constituyen proyectos de apoyo para el desarrollo, ejecución y validación del PCM. Ellos corresponden al proyecto NE1, Manejo de Cauces, NE3 Mejoramiento de Técnicas y Uso del Agua en Riego, NE4 Estudios e Investigaciones de Régimen Hídrico, NE5 Campaña Educativa para el Ahorro del Consumo de Agua, NE6 Estudio Ecológico y Legal del Lago Chungará, PC1 Mejoramiento Red Fluviométrica y PC2 Mejoramiento Red Hidrometeorológica.

El PCM planteado constituye una herramienta de planificación estratégica, centrado en el aprovechamiento sustentable de los recursos y capaz de favorecer la superación a los problemas derivados de la insuficiente disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca.

El costo del PCM para los primeros 5 años alcanza a la suma de miles UF 780,7.

- f) El Plan Director de Largo Plazo (PLP) se compone de proyectos que siendo económicamente atractivos presentan uso de recursos hídricos compartidos, impedimentos legales y/o ambientales que los hacen difíciles de materializar en el corto plazo.

Los proyectos estructurales del PLP para agua potable son: AP1 (Captación Recursos Superficiales desde la Cuenca del Río Caquena), AP3 (Captación Recursos Superficiales Río Lauca) y AP6 (Captación Recursos Superficiales desde el Lago Chungará).

Para el sector riego los proyectos estructurales de este plan son: AR2 (Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa), AR3 (Captación Recursos Superficiales desde el Lago Chungará y Mejoramiento Canales Lauca y Azapa).

Por otra parte, los proyectos que consideran el uso múltiple de los recursos en hidroelectricidad, agua potable y riego son: UM1 (Captación Recursos Superficiales desde Cuenca río Caquena para aprovechamiento en Agua Potable e Hidroelectricidad), UM2 (Embalse Chironta, Regulación Recursos Superficiales río Lluta y Caquena para aprovechamiento en Agua Potable, Riego e Hidroelectricidad) y UM4 (Captación Recursos Superficiales Cuenca Río Lauca para aprovechamiento en Riego e Hidroelectricidad).

En particular en el caso de los proyectos que consideran el uso de los recursos del lago Chungará se consideró pertinente incluir los estudios para resolver las restricciones al uso de estos recursos dentro del PCM, a fin de que puedan ser resueltos con adecuada anticipación.

En el caso de los restantes proyectos que requieren de los recursos de cuencas internacionales, debido a su naturaleza se consideró conveniente que ellos se incluyeran en el PLP mediante el proyecto no-estructural NE7 (Estudio de Recursos Hídricos Compartidos). Ello en el entendido que dichos estudios deberán iniciarse cuando la actualización del Plan Director indique la conveniencia de incorporar dentro de sus acciones estructurales de corto o mediano plazo alguno de dichos proyectos.

- g) Como parte del soporte al Plan Director se ha elaborado una Base de Datos que sirve de apoyo a la toma de decisiones a través del ordenamiento de la información recabada y generada durante el presente estudio. El sistema permite realizar consultas sobre diversos aspectos asociados a la gestión de los recursos hídricos del Valle de Azapa, tales como derechos de agua, estadísticas fluviométricas y pluviométricas, balance entre oferta y demanda de agua, alternativas de solución, tanto estructurales como no-estructurales y combinadas. Además el sistema permite su actualización periódica y una comunicación con el SIGIRH.

## 8.2 RECOMENDACIONES

- a) Las evaluaciones técnico-económicas han mostrado que el uso múltiple de los recursos resulta ser el más factible. Se recomienda este tipo de soluciones, especialmente en los estudios que se realicen en las revisiones posteriores que se hagan al Plan Director, considerando los nuevos escenarios que pudieran producirse.
- b) Los resultados de la evaluación técnico-económica del estudio han mostrado la conveniencia de incentivar la gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas. Se recomienda que la DGA realice acciones tendientes a incentivar la acción coordinada entre los sectores usuarios de ambos tipos de recursos.
- c) El uso de los recursos disponibles, tanto superficiales como subterráneos, para el sector riego, hacen recomendable que se limite el desarrollo de este sector, a un máximo de 3213 ha cultivadas, al menos en la situación actual. Ello, por cuanto esta cifra representa un valor de superficie cultivada que puede considerarse máximo, ya que ha sido alcanzado solo una vez en los últimos años.

Por otra parte, los proyectos indicados en el Plan Director permitirían abastecer sólo esta superficie con adecuada seguridad. Ello significa entregar al canal Azapa un caudal máximo de 1.200 l/s.

- d) La DGA debe tomar la iniciativa tendiente a hacer público el Plan Director, divulgarlo e incentivar su ejecución.

Para ello, en lo que sigue se exponen algunas proposiciones para la implementación del Plan Director las que incluyen la identificación de las instituciones o unidades ejecutoras de cada proyecto, su forma de participación y los mecanismos de coordinación que podrían emplearse:

d.1) Identificación de las Unidades Ejecutoras de los Programas y Proyectos Propuestos en el Plan Director

La identificación de las unidades ejecutoras de los proyectos se debe realizar considerando tanto las características de cada proyecto como las funciones y atribuciones de cada una de ellas. Entre las unidades ejecutoras se han incluido a las instituciones públicas y privadas cuando corresponde, especialmente cuando estas últimas se ven más directamente relacionadas en el proyecto.

d.2) Forma de Participación de cada Unidad Ejecutora

Para la ejecución de los proyectos del Plan Director se deben identificar las actividades principales en que se estima es posible dividir las acciones que conducen a la implementación del Plan. Estas actividades al menos son: gestión de financiamiento, gestión para la realización y supervisión de estudios, gestión para la materialización de los proyectos, gestión en la etapa de operación de los proyectos, y labores de soporte técnico.

Debe mencionarse que la función de evaluación así como la coordinación para el avance y cumplimiento de los objetivos y metas del Plan Director, parece adecuado que quede a cargo de la Dirección General de Aguas, por ser ésta la institución promotora del Plan y a la que le corresponde, de acuerdo a las atribuciones que le confiere la ley, la tareas de planificación de los recursos hídricos.

d.3) Mecanismos de Coordinación para la Implementación del Plan

La implementación del Plan Director requiere que las instituciones participantes operen en forma coordinada para lograr los objetivos propuestos. Para lograrlo se propone que sea la Dirección General de Aguas la institución que lleve adelante el proceso de coordinación, situación que queda reflejada en su rol protagónico, al ser la gestora de la implementación en la totalidad de los proyectos propuestos. Con este fin la DGA deberá tomar contacto con las autoridades correspondientes de las instituciones participantes en el Plan Director y comunicar la iniciativa a fin de lograr acuerdos que permitan su puesta en ejecución.

Posteriormente, durante la ejecución del Plan Director, esta Dirección debe tener una participación preponderante en la mantención de los contactos entre las distintas instituciones a fin de mantener la comunicación permanente para la solución de conflictos, consideración de los distintos intereses y la recopilación de los antecedentes necesarios para la evaluación del cumplimiento de los objetivos del Plan. El mecanismo que se propone para lograr la coordinación consiste en la estructuración de una Comisión Coordinadora del Plan Director dependiente de la Intendencia I Región o de la Gobernación de la provincia de Arica, compuesta por las diversas instituciones públicas relacionadas con la problemática del déficit hídrico de la cuenca, en donde se llevarían a cabo los acuerdos que permitan materializar los proyectos. El desarrollo y ejecución del Plan, debe ser monitoreado a través de fijar un plan de trabajo con metas y logros específicos, evaluando en forma permanente el cumplimiento de los objetivos propuestos. Para facilitar esto último deberán asignarse las responsabilidades y tareas que cada componente de la comisión deberá cumplir. Debe considerarse como actividad importante para facilitar la materialización de los proyectos, la realización de seminarios de difusión de las iniciativas del Plan Director entre los sectores involucrados. Se estima que la realización de estas actividades, sumado al liderazgo que debiera asumir la DGA para coordinar el Plan serían suficientes para lograr los objetivos propuestos.

De acuerdo con lo anterior, y considerando la relevancia que tiene el Plan Director para el desarrollo de la zona y la importancia de lograr su implementación, se ha elaborado un estudio, denominado "Marco Institucional Público para la Gestión de los Recursos Hídricos", el que está orientado a facilitar las acciones que pueda emprender la DGA para difundir e implementar el Plan Director y que se presenta en el Anexo 9.

En el documento mencionado se propone la formación de una Comisión cuyo único propósito es servir a los fines de coordinación e implementación del Plan Director. Esta Comisión estaría radicada en la Intendencia, contando con apoyo directo de la DGA.

- e) Se recomienda que la DGA tome un rol activo en la capacitación y entrenamiento del personal encargado de ejecutar el Plan Director. Esta actividad se estima de relevancia para la actualización y reformulación del Plan Director, lo que se recomienda hacer cada cinco años.
- f) Cabe destacar que el Plan Director involucra a los diversos sectores productores que compiten por el uso del agua del Valle de Azapa. Por ello, y a la luz de los resultados del diagnóstico que muestran la sobreexplotación del acuífero y la escasez del recurso, la coordinación entre usuarios y el sector público aparece como un aspecto clave para alcanzar los objetivos del Plan Director que se centra en promover y lograr el uso sustentable y productivo de los recursos.

En la medida que exista una mayor coordinación entre los involucrados se podrán mejorar las decisiones, evitando interferencias o incompatibilidades entre objetivos de desarrollo de los distintos sectores que puedan desvirtuar el Plan Director.