



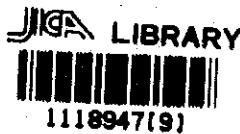


AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN(JICA)

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
REPÚBLICA DE CHILE

**EL ESTUDIO**  
**SOBRE**  
**EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE AGUA**  
**EN**  
**LA PARTE NORTH DE CHILE**

**INFORME PRINCIPAL**



27437

MARZO 1995

PACIFIC CONSULTANTS INTERNATIONAL, TOKIO

En este Informe los costos del proyecto son estimados a precios de marzo de 1994 con una tasa de cambio de

US\$1.00 = Peso Chileno (\$) 435.00 = Yen Japonés ¥110.00

国際協力事業団

27437

## PREFACIO

En respuesta a una solicitud del Gobierno de la República de Chile, el Gobierno del Japón decidió realizar un plan maestro y estudio de factibilidad para el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile, y confió el estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

JICA envió a Chile un equipo de estudio encabezado por el señor Naohito Murata, de Pacific Consultants International, desde marzo de 1993 al marzo de 1995.

El equipo mantuvo discusiones con los oficiales involucrados del Gobierno de Chile, y condujo investigaciones de campo en el Area del Estudio. Después que el equipo retornó a Japón, estudios ulteriores fueron realizados y el presente informe fue preparado.

Espero que este informe contribuya a la promoción del proyecto y al realce de loa relaciones amistosas entre nuestros dos países.

Deseo expresar mi sincero aprecio a los oficiales involucrados del Gobierno de la República Chile por su estrecha cooperación con el equipo.

marzo de 1995

Kimio Fujita  
Presidente

Agencia de Cooperación Internacional del Japón

(El presente prefacio en español es una traducción del original en inglés y es solo para referencia)



**EL ESTUDIO SOBRE EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE  
AGUA EN LA PARTE NORTE DE CHILE**

marzo de 1995

Señor Kimio Fujita  
Presidente  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón

**CARTA DE TRANSFERENCIA**

Estimado Señor,

Nos complace presentar el informe final titulado "EL ESTUDIO SOBRE EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE AGUA EN LA PARTE NORTE DE CHILE". Este informe ha sido preparado por el Equipo de Estudio de acuerdo con el contrato firmado el 25 de marzo de 1993, 14 de setiembre de 1993, y 8 de junio de 1994 entre la Agencia de Cooperación Internacional del Japón y Pacific Consultants International.

El informe consiste en Sumario, Informe Principal, e Informe Suplementario. El Resumen resume los resultados de todos los estudios. El Informe Principal presenta los resultados del estudio completo incluyendo el análisis de las condiciones existentes, evaluación del potencial para el desarrollo de los recursos de agua y formulación del plan de desarrollo de los recursos de agua para el suministro de agua para las ciudades de Arica e Iquique. El Informe Suplementario describe en detalle los aspectos técnicos del estudio en su totalidad. Adicionalmente, un Libro de Datos ha sido preparado y presentado aquí.

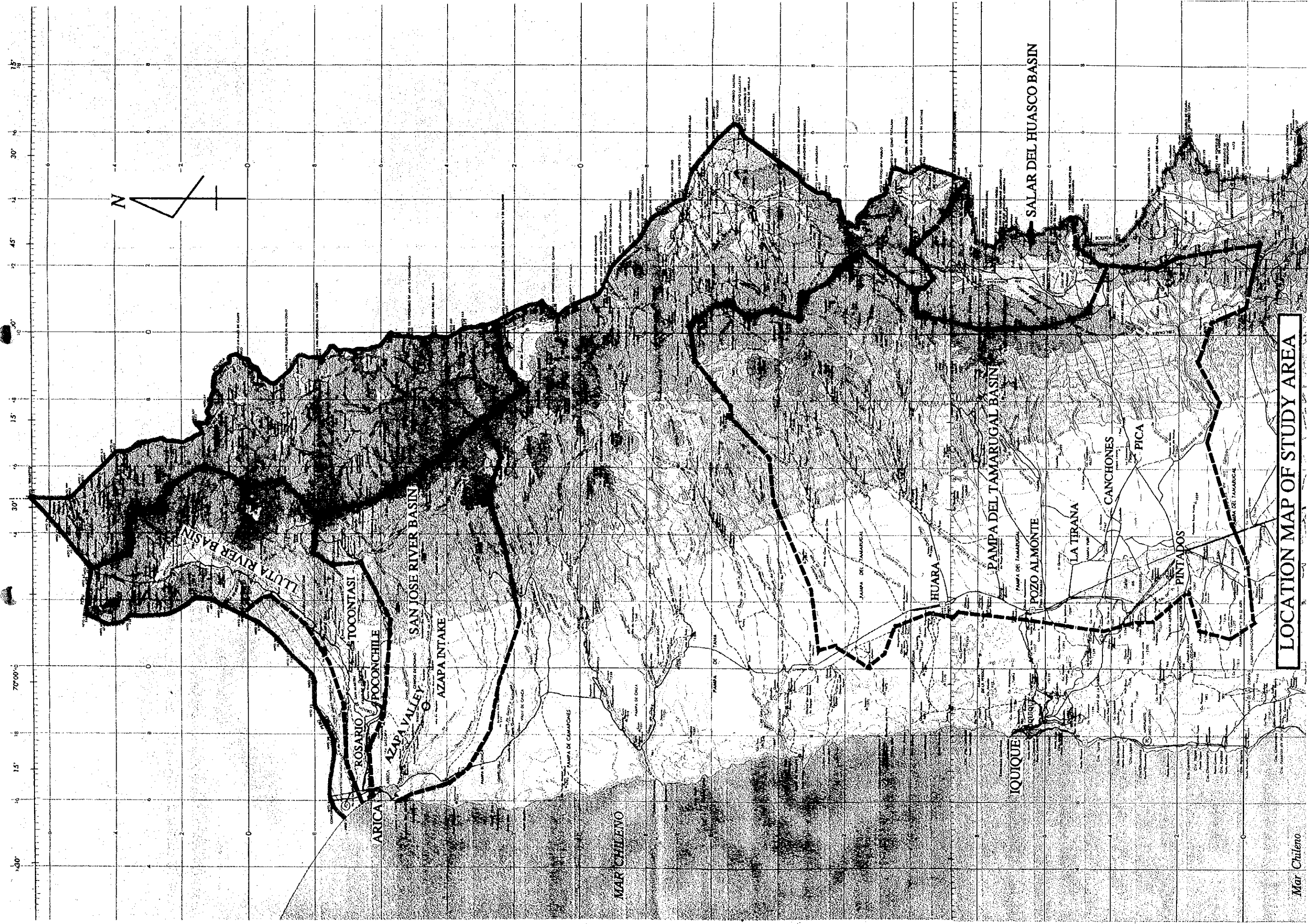
Todos los miembros del Equipo de Estudio desean expresar su sentido reconocimiento al personal de su Agencia, al del Ministerio de Relaciones Exteriores, y al de la Embajada del Japón en Chile, y también a los oficiales e individuos del Gobierno de Chile por su asistencia extendida al Equipo de Estudio. El Equipo de Estudio sinceramente desea que los resultados del estudio contribuirán al mejoramiento de las condiciones para el suministro de agua y al desarrollo social y económico en la ciudades de Arica e Iquique.

Atentamente,

---

Naohito MURATA  
Líder del Equipo

(La presente Carta de Transferencia es una traducción del original en inglés y es solo para referencia)



LOCATION MAP OF STUDY AREA

Mar Chileno



## SUMARIO

## SUMARIO

### I. Antecedentes

Las ciudades de Arica e Iquique, centros económicos de la Región I (Región Tarapacá), han estado teniendo un desarrollo económico remarcable en años recientes con el apoyo de la política nacional de "Zonas de Libre Comercio". La población de la ciudad de Arica se ha incrementado de 88,000 habitantes en 1970 a 169,000 habitantes en 1992 y se espera que llegue a 265,000 habitantes para el 2015. Similarmente, la población de la ciudad de Iquique ha aumentado de 64,000 habitantes en 1970 a 153,000 habitantes en 1992 y se espera que llegue a 273,000 habitantes para el 2015.

Sin embargo, ambas ciudades están sufriendo una severa escasez de agua. El aumento poblacional en el futuro empeorará las condiciones del abastecimiento de agua en ambas ciudades.

Por otro lado, los recursos de agua potenciales existentes en las proximidades de las dos (2) ciudades son sólo las cuencas de los ríos San José y Lluta para la ciudad de Arica, y las cuencas de Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco para la ciudad de Iquique.

Por lo tanto, se espera que el desarrollo de los recursos de agua de las cuencas anteriores pueda satisfacer la creciente demanda de agua de las ciudades de Arica e Iquique.

Los objetivos del Estudio son los siguientes:

- (1) Evaluar los recursos de agua potenciales del Area de Estudio.
- (2) Formular el plan de desarrollo de los recursos de agua para el abastecimiento de agua de las ciudades de Arica e Iquique.

El Area de Estudio cubre las cuatro (4) cuencas antes mencionadas (Ver Mapa de Ubicación).

## II. Recursos de Agua, Usos de Agua y Medio Ambiente

### 2.1 Cuenca del Río San José

#### 1) Recursos de Agua

El río San José abarca una cuenca de drenaje de 3,187 km<sup>2</sup>. La precipitación de la cuenca se concentra en las áreas de la sección superior de la Cordillera de los Andes, con una elevación de 4,000 - 5,000 m. Una parte de las aguas del río Lauca son desviadas para complementar los recursos de agua naturales del río San José.

La razón de flujo promedio anual del río es estimada en 1,101 l/s, de los cuales 149 l/s se desbordan al mar durante el período de crecidas. Los 952 l/s restantes se consumen para agua potable, irrigación y otros propósitos o se infiltra en el suelo recargando las aguas subterráneas del valle de Azapa ubicado aguas abajo del río.

Existe un acuífero de agua subterránea grande de tipo no confinado con un almacenamiento de 302 millones de m<sup>3</sup> en el valle de Azapa. Este se extiende 22 km desde Cabuza hasta la costa. El acuífero está mayormente formado por Depósitos Aluviales, cuyo tamaño y constantes hidrológicas se resumen a continuación.

Ancho (m)	Espesor (m)	Permeabilidad (cm/seg)	Rendimiento Específico (l/s/m)
600 ~ 1,700	45 ~ 60	$3.22 \times 10^{-2}$	4.92

El nivel freático se ha reducido gradualmente desde 1977 debido a la extracción excesiva de agua subterránea. Esta reducción en los últimos 15 años ha alcanzado los 30 m en la sección aguas abajo del valle de Azapa.

La calidad del agua subterránea ha estado también empeorando en años recientes. La calidad de agua existente en lo relativo a TDS está en el rango de 519 mg/l y 2,835 mg/l, excediendo los límites permisibles para el agua potable (1,000 mg/l) en muchos pozos de la sección aguas abajo del valle.

#### 2) Uso de Agua

La totalidad del agua municipal de la ciudad de Arica es provista mediante la extracción de agua subterránea del valle de Azapa incluyendo el área metropolitana. La capacidad de producción de las fuentes de agua era de 503

l/s hasta 1993. Sin embargo, aumentó a 730 l/s debido a los derechos de agua temporalmente concedidos a fines de 1993 en vista de la seria escasez de agua en la ciudad de Arica.

En el valle de Azapa, 3,213 ha de tierras agrícolas son irrigadas para el cultivo de frutas (1,694 ha), vegetales (1,393 ha) y pastos (126 ha). El agua de irrigación es tomada del río por medio del Canal Azapa siendo complementada por agua de vertiente y agua subterránea.

Además, una parte del agua subterránea es extraída para usos domésticos individuales, industriales y otros en el valle de Azapa.

Los usos de agua en el valle de Azapa incluyendo el área metropolitana no son todos para consumo. Una cantidad considerable del agua extraída recarga las aguas subterráneas para su reuso. La extracción existente de agua y el consumo real se resumen a continuación.

	<u>Extracción (l/s)</u>	<u>Consumo Real (l/s)</u>
Agua Municipal de la ciudad de Arica	730	639
Irrigación en el valle de Azapa	1,269	787
Otros usos en el valle de Azapa	53	21
Total	2,052	1,447

### 3) Potencial de Desarrollo de Recursos de Agua

El balance de agua del valle de Azapa tiene un déficit de 495 l/s como se muestra a continuación.

Afluencia al valle de Azapa	1,101 l/s
Efluente al mar	-149 l/s
<u>Cosumo Real de Agua en el valle de Azapa</u>	<u>-1,447 l/s</u>
Balance	-495 l/s

Por lo tanto, el almacenaje de agua subterránea del valle de Azapa disminuirá gradualmente en el futuro. Si los usos existentes de agua continúan, la vida restante de estas aguas se estima en aproximadamente 20 años.

No se esperan desarrollos de recursos de agua adicionales en la cuenca del río San José.

## 2.2 Cuenca del Río Lluta

### 1) Recursos de Agua

El río Lluta abarca una cuenca de drenaje de 3,378 km<sup>2</sup>. La precipitación de la cuenca se concentra en el área de la sección superior de la Cordillera de los Andes, con una altitud de 4,000 - 5,000 m. La razón de flujo del río en la estación Tocontasi/Chapisca (sección superior del valle del bajo Lluta) por estación se resumen a continuación.

(Unid.: l/s)

	Ene. - Mar.	Abr. - Jun.	Jul. - Sep.	Oct. - Dic.	Promedio
Promedio	3,950	1,790	1,742	1,382	2,216
80% Sequía	1,752	1,455	1,454	1,116	1,444
90% Sequía	1,357	1,261	1,370	1,050	1,260

Un acuífero de agua subterránea con un almacenamiento total de 107 millones de m<sup>3</sup> es identificado en los Depósitos Aluviales del valle del bajo Lluta. El acuífero se extiende 18 km desde Rosario hasta Panamericana. Este acuífero está compuesto por un acuífero de poca profundidad de tipo no confinado y un acuífero profundo de tipo confinado, de los cuales el último es considerado como prospecto para desarrollar. El tamaño y las constantes hidrológicas del acuífero profundo se resumen a continuación.

Ancho (m)	Espesor (m)	Permeabilidad (cm/seg)	Rendimiento Específico (l/s/m)
800 ~ 3,000	50 ~ 100	3.63 x 10 <sup>-3</sup>	1.72

Tanto el agua del río como el agua subterránea del valle del bajo Lluta están muy contaminadas por contaminantes que se originan en los tributarios superiores; los ríos Azufre y Colpitas. La contaminación del agua se resume a continuación.

	TDS (mg/l)	Cl (mg/l)	B (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)
Agua de río	1,051	323	10.7	3.8	0.31
Agua subterránea profunda	3,289	949	21.9	1.5	0.029
Límite permisible para agua potable	1,000	250	(5.0)	0.3	0.05

Nota: ( ) : asumido

## 2) Uso de Agua

El uso de agua existente en el valle del bajo Lluta es sólo agrícola. Las 2,784 ha de tierras agrícolas son irrigadas mayormente con agua de río para el cultivo de maíz (1,698 ha), pastos (684 ha), y vegetales (402 ha). La extracción de agua subterránea es insignificante.

El agua del río es usada repetidamente en su flujo a la boca del río. La extracción promedio de agua de río y el consumo real para irrigación en la sección aguas abajo de Tocontasi/Chapisca son estimados en 1,925 l/s y 894 l/s respectivamente.

## 3) Potencial de Desarrollo de los Recursos de Agua

El agua de río es totalmente usada para irrigación en la época seca. Por lo tanto, el agua subterránea del valle del bajo Lluta es considerada como la única fuente de agua probable para el desarrollo del abastecimiento de agua de la ciudad de Arica.

El desarrollo del agua subterránea deberá hacerse dentro de los límites del volumen de recarga considerando que el almacenamiento de agua subterránea no es grande. El agua subterránea es recargada por el excedente de agua de río después de su uso en irrigación.

La recarga anual promedio de agua subterránea es estimada en 542 l/s. Sin embargo, el desarrollo potencial del agua subterránea es reducido a 450 l/s en consideración a las restricciones del uso de irrigación y la limitación de la densidad de instalación de los pozos.

## 2.3 Cuenca de Pampa del Tamarugal

### 1) Recursos de Agua

La cuenca de Pampa del Tamarugal cubre un área hidrológicamente cerrada de 18,005 km<sup>2</sup>. La elevación de la cuenca varía entre 1,000 m en Pampa del Tamarugal y los 4,000 - 5,000 m en la Cordillera de los Andes. La precipitación de la cuenca se concentra en la sección superior de la Cordillera de los Andes.

Varios ríos que se originan en la Cordillera de los Andes recargan el agua subterránea de Pampa del Tamarugal y no hay aguas que fluyan fuera de la cuenca. La razón de flujo anual promedio de los ríos es estimada en 976 l/s.

Aparte de la recarga por el agua de los ríos, el acuífero de Pampa del Tamarugal es recargado por el afluente subterráneo proveniente de Salar del Huasco y otras cuencas vecinas. El afluente subterráneo es estimado en 289 l/s. Por lo tanto, el total de recarga de agua subterránea por el agua de río y el afluente subterráneo es de 1,265 l/s.

El acuífero subterráneo es de tipo no confinado y formado por la formación Altos de Pica. Se extiende 130 km en dirección norte-sur desde Zapiga hasta Bellavista y tiene un almacenamiento total de 26,908 millones de m<sup>3</sup>. El tamaño y las constantes hidrológicas se muestran a continuación.

Ancho (km)	Espesor (m)	Permeabilidad (cm/seg)	Rendimiento Específico (l/s/m)
13 ~ 46	60 ~ 225	$5 \times 10^{-3}$	2.37

El agua de la cuenca está desbalanceada en algún grado. El nivel freático ha estado reduciéndose a razón de 7 cm/año en promedio en años recientes.

El agua subterránea está contaminada en la parte oeste del acuífero, especialmente en las áreas aguas abajo de los ríos Aroma y Tarapacá, y en las áreas de Salar de Pintados y Salar de Bellavista. La calidad del agua subterránea en la parte centro-oriental del acuífero es apropiada para su uso como agua potable sin tratamiento (ver Fig. 2).

Para la cuenca de drenaje y área del acuífero, ver Fig. 2.

## 2) Uso de Agua

La totalidad del agua municipal de la ciudad de Iquique es provista desde Pampa del Tamarugal mediante la extracción de agua subterránea en el campo de pozos de Canchones, 70 km al este de la ciudad. La producción promedio de agua existente es estimada en 547 l/s. El requerimiento de recursos de agua de Pampa del Tamarugal aumentará de acuerdo con el aumento poblacional futuro en la ciudad.

El agua doméstica de siete (7) poblados es provista del agua subterránea de Pampa del Tamarugal. La demanda de agua futura también se incrementará de acuerdo con el crecimiento poblacional de los poblados.

580 ha de tierras agrícolas en la cuenca son irrigadas con agua de río y agua subterránea actualmente. Se espera que estas tierras se expandan a 1,040 ha en el año 2015.

Actualmente cuatro (4) minas son abastecidas de agua de río y de agua subterránea. Se estima que el número de minas aumentará a 28 en el año 2015.

Los usos de agua en Pampa del Tamarugal no son consumidos en su totalidad sino que una parte considerable del agua extraída es regresada al acuífero para su reuso.

La demanda de agua presente y futura y el consumo real de agua por categoría se estima como a continuación.

	Presente (1992)		Futura (2015)	
	Demanda (l/s)	Consumo Real (l/s)	Demanda (l/s)	Consumo Real (l/s)
Agua Municipal de Iquique	547	547	1,062	1,062
Uso de Agua en la Cuenca	645	340	1,684	1,034
Agua Doméstica	117	47	134	54
Agua de Irrigación	459	249	597	406
Agua de Minería	69	44	953	574
Total	1,192	887	2,746	2,096

### 3) Medio Ambiente

Tres (3) distritos en Pampa del Tamarugal, con un área de 101,000 ha están designadas como Area de Reserva Nacional. Los tamarugos, que cubren un área total de 24,000 ha, están distribuidos actualmente en el Area de Reserva Nacional. El área de tamarugos se expandirá a 25,000 ha en el 2015.

Los tamarugos consumen una gran cantidad de agua subterránea. La evapotranspiración existente de los tamarugos es estimada en 1,109 l/s. Está proyectado que aumentará a 1,523 l/s en el 2015.

### 4) Potencial de Desarrollo de Recursos de Agua

El total del consumo de agua real y la evapotranspiración de los tamarugos excede la recarga total del agua subterránea. Por lo tanto, el almacenamiento de agua subterránea del acuífero disminuirá gradualmente en el futuro.

La reducción total del almacenamiento de agua subterránea durante los 23 años hasta el 2015 es estimado en 986 millones de m<sup>3</sup> o 3.7% del almacenamiento de agua subterránea de 26,908 millones de m<sup>3</sup>.



El potencial de desarrollo del agua subterránea de Pampa del Tamarugal es considerado suficientemente grande como para satisfacer la demanda futura de agua. Su desarrollo está restringido por la calidad más que por la cantidad. Por lo tanto, el agua subterránea potencial apropiada para el desarrollo de abastecimiento de agua de la ciudad de Iquique es identificado en la parte centro-oriental del acuífero (ver Fig. 2).

## 2.4 Salar del Huasco

### 1) Recursos de Agua

La cuenca de Salar del Huasco cubre una cuenca de drenaje cerrada de 1,712 km<sup>2</sup> con una elevación que varía entre los 3,800 m en la laguna Huasco hasta 5,000 m en la Cordillera de los Andes. Toda el agua superficial se infiltra en el subsuelo para recargar el acuífero de agua subterránea en las planicies de Salar del Huasco. No hay aguas superficiales que fluyan fuera de la cuenca. Sin embargo, una porción del agua subterránea descarga en el acuífero de Pampa del Tamarugal a través de fisuras geológicas.

La laguna Huasco cubre un área total de 29 km<sup>2</sup> y está compuesta por un área de agua (2 km<sup>2</sup>) y tierras húmedas (27 km<sup>2</sup>). La profundidad del agua es de menos de 20 cm.

El balance de agua de la cuenca es como se muestra a continuación.

Promedio anual de agua superficial:	809 l/s
Evaporación del área de lagos:	575 l/s
Descarga de agua subterránea a Pampa del Tamarugal:	234 l/s

El acuífero de agua subterránea de tipo no confinado es identificado en la Formación Callacagua de las planicies de Salar del Huasco. Se extiende sobre un área de 126 km<sup>2</sup> y tiene un almacenamiento total de 465 millones de m<sup>3</sup>. El espesor varía entre 130 m y 210 m. Las constantes del acuífero son estimadas en  $2.60 \times 10^{-3}$  cm/seg en permeabilidad y 0.99 l/seg/m en rendimiento específico.

La calidad del agua subterránea es buena en general excepto por el Mn y Fe. Los contenidos de Mn y Fe se muestran a continuación.

	<u>Mn (mg/l)</u>	<u>Fe (mg/l)</u>
Calidad de Agua	0.61 ~ 1.40	4.30 ~ 18.0
Límite permisible para Agua Potable	0.1	0.3

El tratamiento del agua es necesario para su uso como agua potable.

Para la cuenca de drenaje y área del acuífero, ver Fig. 2.

2) **Uso de Agua**

No existe uso de agua en la región.

3) **Medio Ambiente**

El factor ambiental más importante en la cuenca es la ecología de los flamencos. Tres (3) especies de flamencos; Flamenco Chileno, Flamenco Andino y Flamenco de Puna, son identificados en las áreas de la laguna del Huasco. En este estudio se observó una población de flamencos de aproximadamente 3,300.

El Flamenco de Puna es la especie más rara y vive en la Cordillera de los Andes. La población observada en la laguna del Huasco fue de aproximadamente 1,500, equivalente a alrededor del 10% de la población total de la Cordillera de los Andes.

4) **Potencial de Desarrollo de Recursos de Agua**

El volumen de desarrollo de agua subterránea hidrológicamente sostenible es estimado en 575 l/s como máximo.

Sin embargo, cualquier extracción de agua subterránea reducirá o secará las áreas de la laguna para mantener el balance hidrológico de la cuenca. Esto puede causar efectos adversos en la ecología de los flamencos.

Por lo tanto, estudios de impacto ambiental adicionales son necesarios para determinar el potencial de desarrollo de los recursos de agua de la cuenca.

### III. Desarrollo del Abastecimiento de Agua Municipal para la Ciudad de Arica

#### 3.1 Demanda de Agua

##### 1) Servicio de Abastecimiento de Agua Existente

El agua municipal de la ciudad de Arica es abastecida por ESSAT, la corporación de servicio sanitario de la Región I. El sistema de abastecimiento de agua existente cubre alrededor de 1,680 ha del área urbanizada de la ciudad, sirviendo a la población completa de la ciudad de 169,000 habitantes.

La ciudad sufrió de una severa escasez de agua hasta fines de 1993, cuando el Proyecto de Abastecimiento de Agua de Emergencia fue completado. La capacidad de producción de agua aumentó de 503 l/s a 730 l/s mediante el proyecto anteriormente mencionado, basado en la concesión temporal de derechos de agua. Actualmente, los 730 l/s de agua son constantemente provistos de 39 pozos profundos ubicados en el valle de Azapa y el área metropolitana durante todo el año.

El servicio de abastecimiento de agua fue limitado a 10.5 - 15.0 horas por día antes de la culminación del Proyecto de Abastecimiento de Agua de Emergencia. Esta restricción está temporalmente levantada.

La tarifa de agua está compuesta de un cargo fijo y uno variable. El cargo variable normal existente es de 140.02 pesos/m<sup>3</sup> para 1992.

##### 2) Demanda de Agua Futura

La demanda de agua de la ciudad aumentará en el futuro de acuerdo con el crecimiento poblacional y el mejoramiento de las condiciones de vida. Por otra parte, la reducción de la pérdida de agua progresará basada en el programa de ESSAT. La población servida estimada futura, pérdida de agua y demanda de agua (producción promedio) se muestran a continuación.

	Población Servida	Pérdida de Agua (%)	Demanda de Agua (l/s)
1995	178,087	40	779
2005	214,524	30	840
2015	265,375	30	1,091

### 3.2 Plan de Desarrollo de Corto Plazo

#### 1) Capacidad de Desarrollo

El desarrollo del agua subterránea del bajo Lluta puede abastecer 425 l/s de agua cruda en promedio diario mediante la perforación de 26 pozos profundos. Sin embargo, un tratamiento especial del agua cruda por el método de Osmosis Inversa (OI) es necesario para eliminar el alto contenido de TDS y boro (B). La producción del agua tratada es estimada en 319 l/s en promedio diario, asumiendo una eficiencia de recuperación del tratamiento de 75%. El agua concentrada restante se desecha.

Por otra parte, la producción temporalmente incrementada de 227 l/s en el valle de Azapa será cancelada después de la culminación del desarrollo del agua subterránea del bajo Lluta para conservar el agua subterránea del valle de Azapa. Por lo tanto, la capacidad integrada de abastecimiento de agua (822 l/s) de los sistemas de Azapa y del bajo Lluta satisfarán la demanda de la ciudad sólo hasta el año 2003.

La capacidad de producción de agua (máximo diario) del plan de desarrollo de corto plazo (plan de desarrollo del bajo Lluta) se muestra a continuación.

Agua Cruda	553 l/s (48,000 m <sup>3</sup> /día)
Agua Tratada	414 l/s (36,000 m <sup>3</sup> /día)
Agua Residual	139 l/s (12,000 m <sup>3</sup> /día)

#### 2) Instalaciones de Desarrollo de Agua

El agua subterránea del valle del bajo Lluta es desarrollada mediante 26 pozos profundos instalados entre Rosario y Chuilona. Toda el agua de los pozos es transferida a través de una tubería de transmisión de 12.5 km a una planta de tratamiento, por gravedad.

La planta de tratamiento por el método de OI es construída en un terreno de 3.8 ha en Chuilona. El agua tratada es abastecida a la parte norte de la ciudad de Arica a través de los estanques de distribución adyacentes a la planta de tratamiento. Por otro lado, el agua residual es descargada directamente al mar a través de una tubería de drenaje de 8,750 m por gravedad.

Las principales trabajos de construcción propuestos se muestran a continuación.

- (1) **Obras de Toma**  
 Pozo Profundo :  $\phi 12'' \times (120\sim 150 \text{ m}) \times 26$  pozos  
 Bombas : 26 bombas sumergibles
- (2) **Tubería de Transmisión Principal**  
 Tubería :  $\phi(150\sim 500 \text{ mm}) \times 1$  línea  $\times 12,500 \text{ m}$   
 Estanques : 4 estanques de control de presión
- (3) **Planta de Tratamiento**  
 OI : 12 unidades  
 Estanques : estanques receptores (2 unidades), estanques de distribución (2 unidades), etc.  
 Tubería de Aguas Residuales:  $\phi 350 \text{ mm} \times 1$  línea  $\times 8,750 \text{ m}$
- (4) **Adquisición de Tierras**  
 Planta de Tratamiento : 3.8 ha
- (5) **Obras de compensación (Reconstrucción del Sistema de Irrigación)**  
 Obras de Toma : 1 lugar  
 Canal de Irrigación : 77.6 km

La ubicación y la ruta de las instalaciones propuestas se muestran en la Fig. 3.

### 3) Costos del Proyecto y Programa de Implementación

El costo de inversión total, que consiste en el costo de construcción directo, el costo de adquisición de la tierra, costos de ingeniería, costos administrativos y contingencia física, totalizan 32,694 millones de pesos (\$) a precios de 1994 con una porción de 48,177 miles de US\$ en moneda extranjera y una porción de 11,737 millones de pesos (\$) en moneda local. La desagregación de costos se muestra en la Tabla 1.

El costo anual total de operación y mantenimiento (costo de O&M), que incluye costos de consumo de electricidad y químicos, costo de personal y costos de reparación en la etapa de operación plena es estimado en 1,257 millones de pesos (\$) a precios de 1994.

El Proyecto será completado en tres años, de 1996 a 1998. El diseño detallado y la adquisición de tierras serán completados en 1996. Los trabajos de construcción incluyendo los costos de construcción directa y las obras de compensación serán completadas en el período 1997 - 1998. Será puesto en servicio en 1999 y alcanzará la operación plena en el 2003.

### 3.3 Evaluación del Proyecto

#### 1) Evaluación Económica

Los valores presentes de los beneficios y costos del Proyecto son estimados en  $18,574 \times 10^3$  pesos (\$) y  $20,148 \times 10^3$  pesos (\$) respectivamente, asumiendo una tasa de descuento de 12% basado en recomendación de MIDEPLAN (Ministerio de Planificación). La rentabilidad económica es evaluada en términos de Valor Presente Neto (VPN), Razón Beneficio/Costo (B/C) y Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) como se muestra a continuación.

VPN:  $-1,574 \times 10^3$  Pesos (\$), B/C: 0.92, TIRE: 11.36%

El VPN es ligeramente negativo y la TIRE es un poco menor que el 12% solicitado por las normas del MIDEPLAN.

De acuerdo al análisis de sensibilidad, sería necesario reducir el costo de inversión propuesto en 10.35% o disminuir la tasa de descuento (12%) a 11.36% para volver al VPN no-negativo.

Sin embargo, el proyecto es considerado como rentable en caso que beneficios intangibles tales como mejoras en las condiciones sanitarias/higiénicas y standard de vida en la ciudad de Arica son tomados en cuenta.

#### 2) Evaluación Financiera

La rentabilidad financiera del proyecto es evaluada en términos del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF).

El VPN se calcula que es  $7,199 \times 10^6$  Pesos (\$) bajo las siguientes condiciones:

Tarifa de Agua Promedio: 154 pesos (\$)/m<sup>3</sup> para fines de 1994. Aumentará a una tasa de 16% anual

Tasa de Descuento: 12% (Basado en recomendación de MIDEPLAN)

Luego, el TIRF es estimado que es 13.06%.

### 3) Estudio de Impacto Ambiental

3.8 ha de tierras privadas deberán de ser adquiridas para la construcción de la planta de tratamiento. No se anticipa ningún impacto negativo en lo concerniente a la adquisición de tierras debido a que ésta se encuentra disponible.

Los trabajos de construcción no causarán molestias significativas en cuanto a vibración, ruido, polvo, perturbación del tránsito, etc. debido que los lugares de construcción están escasamente habitados y el volumen del tráfico de las carreteras relacionadas es pequeño.

El Proyecto planea extraer el agua subterránea dentro del límite de su recarga potencial. El nivel freático existente será mantenido en promedio en el largo plazo aunque podría fluctuar estacional o anualmente.

Sin embargo, la reducción del nivel freático en la época seca acelerará la recarga de agua subterránea con agua de río. Esto puede causar algunos impactos negativos en la extracción de agua de río para irrigación existente. Por lo tanto, el proyecto propuesto incluye la reconstrucción del sistema de irrigación existente para enfrentar este problema

No se anticipan efectos en los pozos existentes debido a que están lejos de los lugares de pozos propuestos.

## IV. Desarrollo de Abastecimiento de Agua Municipal para la Ciudad de Iquique

### 4.1 Demanda de Agua

#### 1) Servicio de Abastecimiento de Agua Existente

El agua municipal de la ciudad de Iquique es también abastecida por ESSAT. El sistema de abastecimiento existente cubre 2,162 ha de la ciudad, sirviendo a toda la población de 153,000 habitantes.

Toda el agua de la ciudad se extrae de 12 pozos profundos del campo de pozos de Canchones en Pampa del Tamarugal y transferida a través de dos (2) tuberías de transmisión de 75.3 km de longitud al estanque de distribución de Cavancha en la colina del este de la ciudad.

En 1992, se abasteció a la ciudad 547 l/s de agua en promedio diario. Por otro lado, la capacidad de producción de agua del sistema existente es estimada en 680 l/s. La demanda máxima diaria excederá la capacidad de producción existente.

La pérdida de agua existente del sistema de distribución es estimada en aproximadamente 40% de la producción.

La tarifa de agua está compuesta de un cargo fijo y uno variable. Los cargos variables normales existentes son de 233.44 pesos (\$)/m<sup>3</sup> fuera de estación y 230.82 pesos (\$)/m<sup>3</sup> para la estación pico para 1994.

## 2) Demanda de Agua Futura

La población servida, pérdida de agua, y demanda de agua futuras (producción promedio) son estimadas de la misma forma que para la ciudad de Arica como se muestra a continuación.

	Población Servida	Pérdida de Agua (%)	Demanda de Agua (l/s)
1995	165,236	40	708
2005	213,356	30	807
2015	272,605	30	1,062

## 4.2 Plan de Desarrollo de Largo Plazo

### 1) Capacidad de Desarrollo

El plan de desarrollo de largo plazo tiene como año objetivo al año 2015. La demanda de producción de agua de la ciudad para el año 2015 es estimada en 1,381 l/s diarios máximo. Por otro lado, la capacidad de producción existente es de 680 l/s. Por lo tanto, la capacidad de producción adicional de 701 l/s deberá ser desarrollada.

### 2) Instalaciones de Desarrollo de Abastecimiento de Agua

El desarrollo de la fuente de agua es el agua subterránea en la parte este, vecina a La Tirana en Pampa del Tamarugal. La calidad del agua es apropiada para su uso sin tratamiento como agua potable. El agua subterránea es extraída de 16 pozos profundos y colectada en los estanques colectores propuestos en el campo de pozos. El campo de pozos cubre un área de 260 ha.



El agua es transferida por dos (2) tuberías de transmisión de 67.6 km de longitud desde el estanque colector al estanque de distribución de Cavanha vía el estanque de Alto Hospicio. La mayor parte de las tuberías corre a lo largo de las carreteras existentes.

El agua es bombeada por la bomba de transmisión instalada en el campo de pozos para que pueda cruzar la zona montañosa de la costa.

Los principales trabajos de construcción propuestos son los siguientes.

(1) Obras de Toma

Pozo Profundo :  $\phi 12''$  x 200 m x 16 pozos

Bomba : 16 bombas sumergibles

Tubería de Colección:  $\phi$  (250~800 mm ) x 9,750 m

(2) Bomba de Transmisión

Bomba : 5 unidades x 1 lugar

(3) Tubería de Transmisión Principal

Tubería :  $\phi$  (400~700 mm) x 2 líneas x 67,600 m

(4) Estanque

Estanque de Colección : 2 unidades x 1 lugar

Estanque de Transmisión : 2 unidades x 2 lugares

Estanque de Control de Presión : 2 unidades x 3 lugares

Estanque de Distribución : 4 unidades x 1 lugar

(5) Adquisición de Tierras

Campo de pozos y lugares de estanques: 261 ha

La ubicación y ruta de las instalaciones propuestas se muestra en la Fig. 4.

3) Costo del Proyecto

El costo de inversión total, compuesto por el costo de construcción directo, costo de adquisición de tierras, costos de ingeniería, costos administrativos y contingencia física totaliza 46,091 millones de pesos (\$) a precios de 1994. Su descomposición se muestra en la Tabla 2.

#### 4.3 Plan de Desarrollo de la Primera Etapa

##### 1) Capacidad de Desarrollo

El plan de desarrollo de la primera etapa tiene como año objetivo al 2005. La demanda de producción de agua es estimada en 1,049 l/s diarios máximos. La capacidad de producción adicional de 369 l/s deberá ser desarrollada.

##### 2) Instalaciones de Desarrollo de Abastecimiento de Agua

El plan de desarrollo de la primera etapa cubre exactamente la mitad de las obras propuestas en el plan de largo plazo. Sin embargo, toda la adquisición de tierras será completada en la primera etapa.

Las principales obras propuestas son las siguientes.

###### (1) Obras de Toma

Pozo Profundo :  $\phi 12''$  x 200 m x 8 pozos

Bomba : 8 bombas sumergibles

Tubería de Colección:  $\phi$  (250~800 mm ) x 5,750 m

###### (2) Bomba de Transmisión

Bomba : 3 unidades x 1 lugar

###### (3) Tubería de Transmisión Principal

Tubería :  $\phi$  (400~700 mm) x 1 línea x 67,600 m

###### (4) Estanque

Estanque de Colección : 1 unidad x 1 lugar

Estanque de Transmisión : 1 unidad x 2 lugares

Estanque de Control de Presión : 1 unidad x 3 lugares

Estanque de Distribución : 2 unidades x 1 lugar

###### (5) Adquisición de Tierras

Campo de pozos y lugares de estanques: 261 ha

##### 3) Costo del Proyecto

El costo de inversión total, compuesto por los costos directos de construcción, costo de adquisición de tierras, costo de ingeniería, costos administrativos y contingencia física totalizan 24,177 millones de pesos (\$) a precios de 1994 con una porción en moneda extranjera de 41,024 miles de US\$ y una porción

en moneda local de 6,331 millones de pesos (\$). Su descomposición se muestra en la Tabla 2.

El costo anual total de O&M, incluyendo el costo del consumo de electricidad y químicos, costos de personal y costos de reparación en la etapa de operación plena, es estimado en 614 millones de pesos (\$) a precios de 1994.

El Proyecto será completado en tres (3) años, de 1996 a 1998. El diseño detallado y la adquisición de tierras serán completados en 1996. Los trabajos directos de construcción serán completados en los años 1997 y 1998. Será puesto en operación en 1999 y alcanzará la operación plena en el 2005.

#### 4.4 Evaluación del Proyecto

##### 1) Evaluación Económica

Los valores presentes de los beneficios y costos del Proyecto son estimados en  $20,868 \times 10^3$  pesos (\$) y  $14,138 \times 10^3$  pesos (\$) respectivamente, asumiendo una tasa de descuento de 12% basado en recomendación de MIDEPLAN (Ministerio de Planificación). La rentabilidad económica es evaluada en términos de VPN, B/C y TIRE de la siguiente manera.

VPN:  $6,730 \times 10^3$  pesos (\$), B/C: 1.48, TIRE: 17.33%

##### 2) Evaluación Financiera

La rentabilidad financiera del Proyecto es evaluada en términos de VPN y TIRF.

El VPN se calcula en  $11,456 \times 10^6$  Pesos (\$) bajo las siguientes condiciones:

Tarifa de Agua Promedio: 278 pesos(\$)/m<sup>3</sup> para fines de 1994. Aumentará a una tasa de 12% anual

Tasa de Descuento: 12% (Basado en recomendación de MIDEPLAN)

Luego, el TIRF es estimado en 14.86%.

##### 3) Estudio del Impacto Ambiental

La adquisición de 261 ha de tierras es necesaria para la construcción del campo de pozos y los estanques. No se anticipa ningún impacto negativo en

lo relativo a la adquisición de tierras debido a que está disponible y es en su mayor parte propiedad del gobierno.

Los trabajos de construcción no causarán molestias públicas, tales como vibración, ruido, polvo, perturbación del tránsito, etc., significativas debido a que la mayoría de los lugares de construcción están en el desierto y la densidad del tráfico en las carreteras relacionadas es pequeña.

El nivel freático existente será reducido en el futuro por varios desarrollos de agua tales como el agua municipal de la ciudad de Iquique, agua doméstica para los poblados, agua de irrigación y para minería. La reducción total causada por el proyecto propuesto y otros desarrollos de agua después de 100 años es estimada como a continuación.

- en 25 - 30 m en el área más seriamente afectada
- en menos de 15 m en la mayor parte del área del acuífero
- en menos de 15 m en el área de tamarugos existente.

Los seis (6) pozos de poca profundidad existentes serán afectados por la reducción del nivel freático. Estos deberán de ser profundizados y reconstruídos en el futuro.

Las raíces de los tamarugos generalmente alcanzan una profundidad de 25 - 30 m para absorber el agua subterránea. Por lo tanto, no se anticipan impactos significativos en los tamarugos.

## V. Recomendaciones

- 1) El proyecto de desarrollo propuesto para el abastecimiento de agua del bajo Lluta satisfará sólo la demanda de agua de corto plazo de la ciudad de Arica. Estudios adicionales sobre el desarrollo de recursos de agua para satisfacer la demanda de largo plazo son recomendados.
- 2) El agua subterránea del valle de Azapa será agotada en el futuro cercano si los usos de agua existentes continúan. La administración de los recursos de agua y los usos de agua en el valle de Azapa y la ciudad de Arica deberán ser fortalecidos.
- 3) Se deberá aplicar un proceso de tratamiento de agua adecuado al agua cruda existente en Canchones en el futuro.

- 4) Basados en los datos disponibles, la calidad del agua subterránea en el área de La Tirana en la Pampa del Tamarugal es adecuada para servir como agua potable sin tratamiento. Sin embargo, se recomienda reconfirmar la calidad del agua del campo de pozos propuesto en el área de La Tirana por medio de la perforación de un pozo de prueba, antes de determinar la localización detallada del campo de pozos.
- 5) El sistema de monitoreo de agua subterránea en el valle de Azapa, el valle del Bajo Lluta y Pampa del Tamarugal debe de ser fortalecido.

Tabla 1 Costos de Inversión para Arica

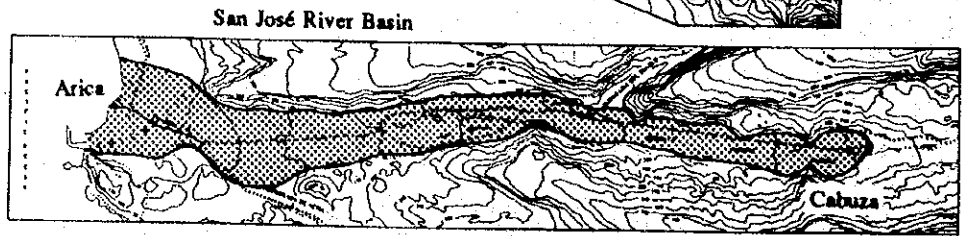
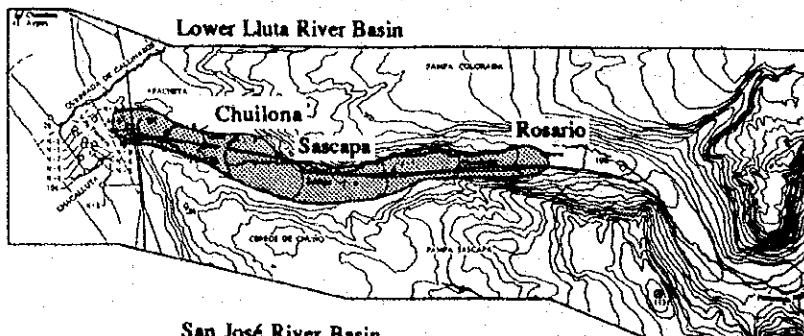
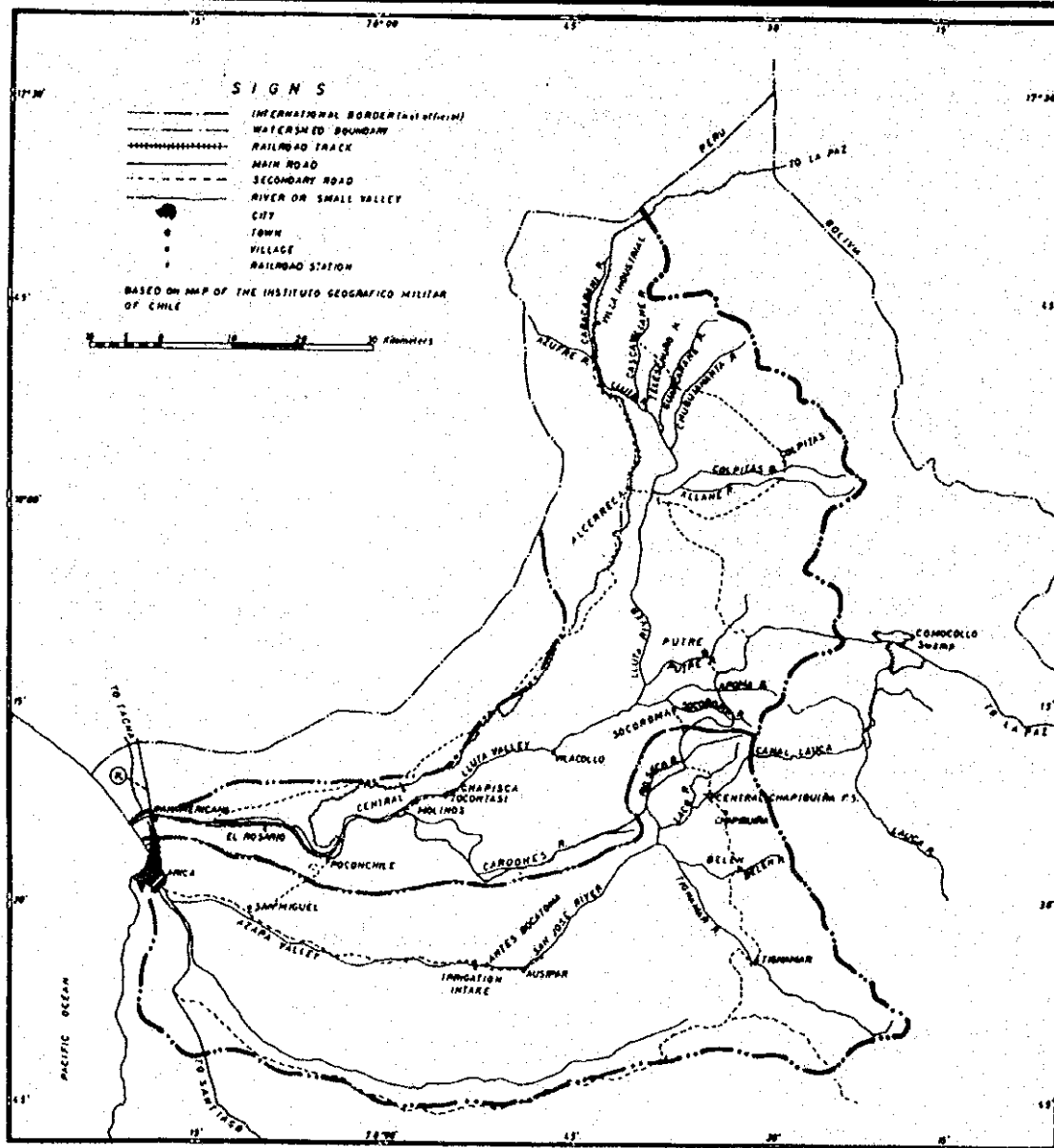
Rubro	M/E (10 <sup>3</sup> US\$)	M/L (10 <sup>3</sup> Pesos \$)	Total (10 <sup>3</sup> Pesos \$)
Costo de Construcción Directo	42,080	6,722,117	25,027,108
(1) Obras de Toma	7,153	1,700,006	4,811,728
(2) Instalaciones de Transmisión	1,470	118,258	757,702
(3) Planta de Tratamiento	29,597	4,112,572	16,987,214
(4) Redes de Distribución	3,850	633,281	2,312,464
(5) Línea de Transmisión Eléctrica	0	158,000	158,000
Costo de Adquisición de la Tierra	0	2,912,000	2,912,000
(1) Adquisición de la Tierra	0	12,000	12,000
(2) Obras de Compensación	0	2,900,000	2,900,000
Costos de Ingeniería	1,782	726,456	1,501,626
Costos de Administración	0	750,813	750,813
Contingencia Física	4,315	625,678	2,502,711
Total	48,177	11,737,064	32,694,258

Nota: Costos: a Marzo de 1994, excluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA)  
 Tipo de Cambio: US\$1.00 = Pesos Chilenos \$435.00 = Yenes Japoneses ¥110.00

Table 2 Costos de Inversión para Iquique

Rubro	Largo Plazo	Primera Etapa		
	Total (10 <sup>3</sup> Pesos \$)	M/E (10 <sup>3</sup> US\$)	M/L (10 <sup>3</sup> Pesos \$)	Total (10 <sup>3</sup> Pesos \$)
Costo de Construcción Directo	38,512,014	36,032	4,422,575	20,096,326
(1) Obras de Toma	4,075,846	2,532	1,193,663	2,295,144
(2) Instalaciones de Transmisión	32,327,643	33,499	2,305,366	16,877,636
i) Bombas de Transmisión	1,873,190	3,126	151,091	1,510,912
ii) Tubería de Transmisión	29,081,203	30,373	1,468,050	14,680,499
iii) Estanques	1,373,250	0	686,225	686,225
(3) Redes de Distribución	1,950,525	0	765,546	765,546
(4) Línea de Transmisión Eléctrica	158,000	0	158,000	158,000
Costo de Adquisición de la Tierra	262,000	0	262,000	262,000
Costos de Ingeniería	2,310,721	1,528	541,100	1,205,780
Costos de Administración	1,155,360	9	602,890	602,890
Contingencia Física	3,851,201	3,465	502,408	2,009,633
Total	46,091,296	41,024	6,330,973	24,176,629

Nota: Costos: a Marzo de 1994, excluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA)  
 Tipo de Cambio: US\$1.00 = Pesos Chilenos \$435.00 = Yenes Japoneses ¥110.00




 Aquifer Area

Fig. 1 San José and Lluta River Basins  
 <Cuencas de los Ríos San José y Lluta>

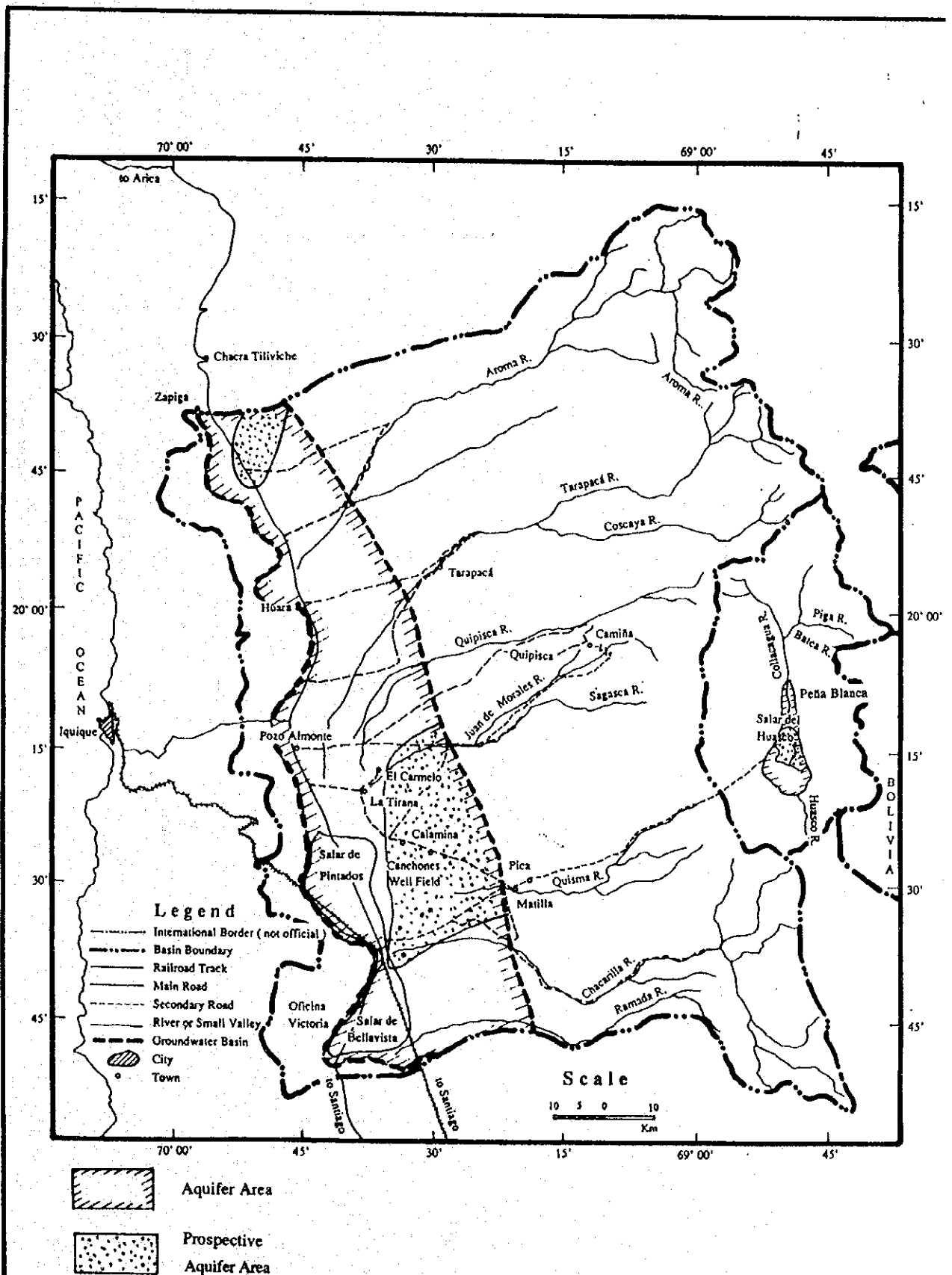


Fig. 2

Pampa del Tamarugal and Salar del Huasco Basins

<Cuencas de los Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE

JICA



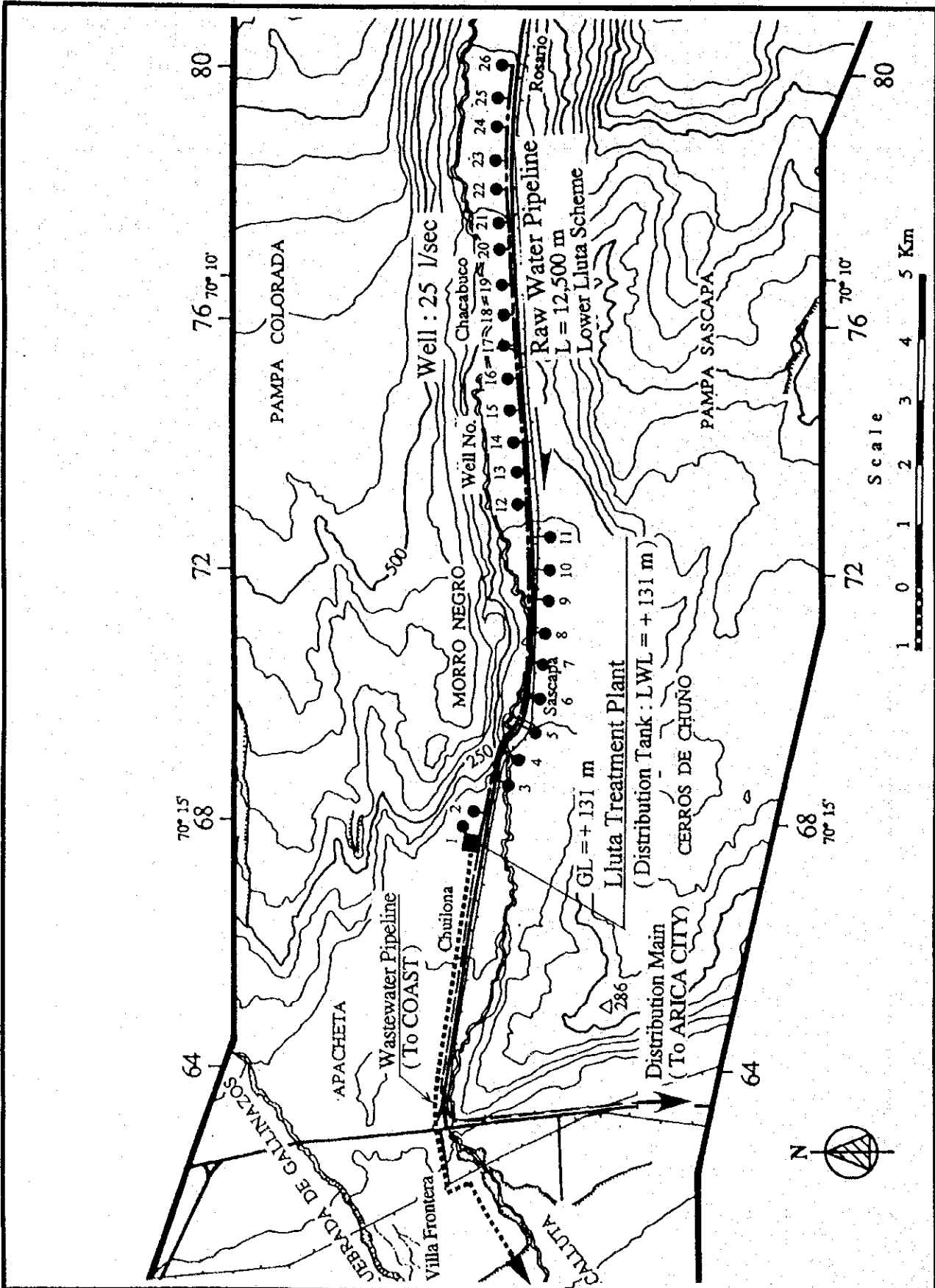


Fig. 3 Water Supply Development for Arica  
 <Desarrollo de Abastecimiento de Agua para Arica>

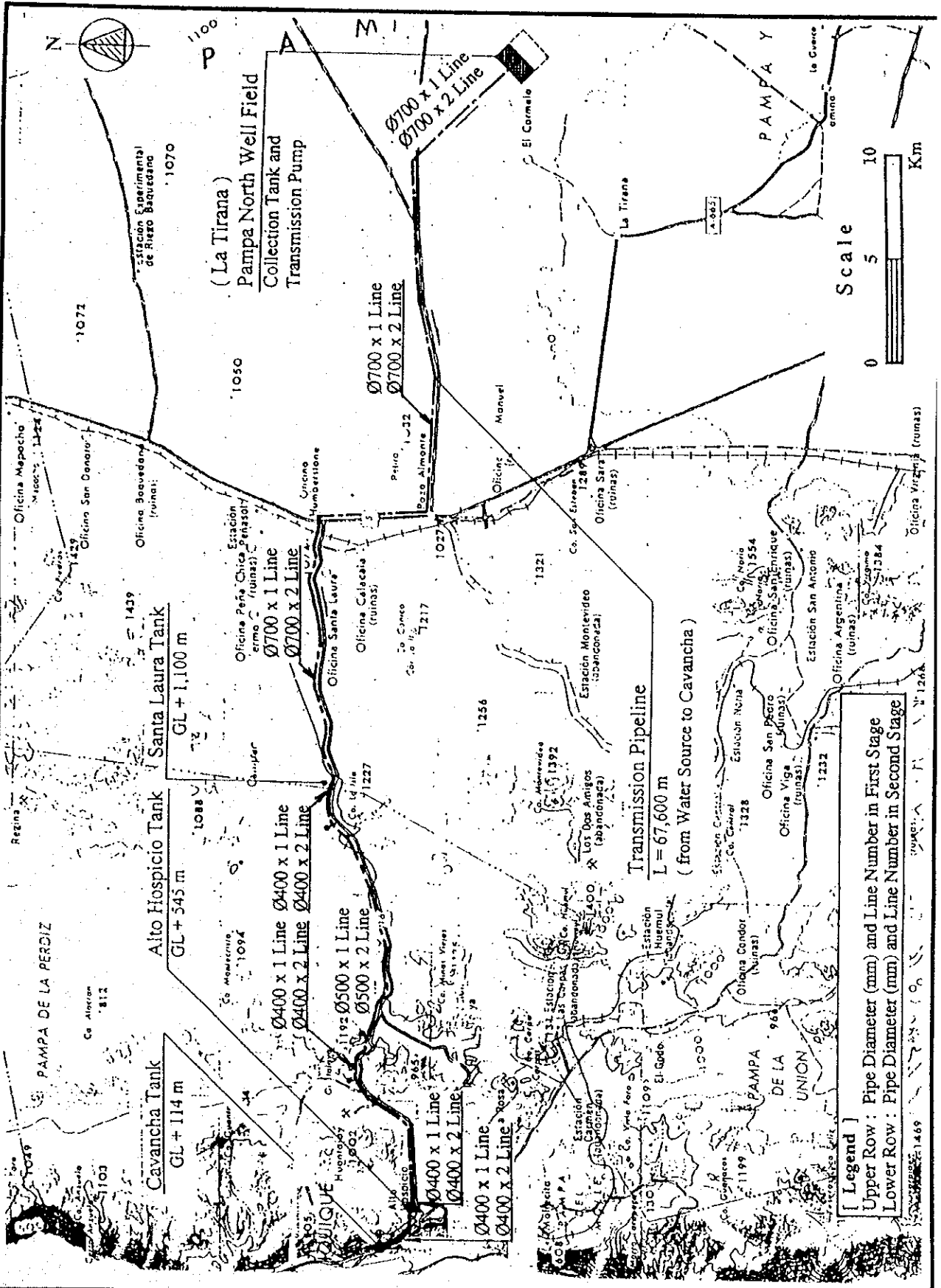


Fig. 4 Water Supply Development for Iquique  
 <Desarrollo de Abastecimiento de Agua para Iquique>



# TABLA DE CONTENIDO

Sumario

Tabla of Contenido

Lista of Tablas

Lista of Figuras

Capítulo I	INTRODUCCION .....	I-1
1.1	Antecedentes del Estudio .....	I-1
1.2	Area de Estudio.....	I-2
1.3	Objetivos del Estudio .....	I-2
1.4	Implementación del Estudio.....	I-3
1.5	Composición del Reporte.....	I-4
Capítulo II	POTENCIAL DE RECURSOS HIDRICOS.....	II-1
2.1	Cuenca del Río San José .....	II-1
2.1.1	Características Generales de la Cuenca .....	II-1
2.1.2	Caudal Superficial.....	II-1
2.1.3	Calidad del Agua Superficial.....	II-2
2.1.4	Hidrogeología del Valle de Azapa .....	II-3
2.1.5	Acuíferos .....	II-4
2.1.6	Nivel y Calidad del Agua Subterránea .....	II-7
2.2	Cuenca del Río Lluta.....	II-10
2.2.1	Características Generales de la Cuenca .....	II-10
2.2.2	Caudal Superficial.....	II-11
2.2.3	Calidad del Agua Superficial.....	II-12
2.2.4	Hidrogeología del Valle de Lluta .....	II-15
2.2.5	Estudio Geológico.....	II-16
2.2.6	Acuíferos .....	II-18
2.2.7	Nivel y Calidad del Agua Subterránea .....	II-22
2.3	Cuenca de Pampa del Tamarugal .....	II-24
2.3.1	Características Generales de la Cuenca .....	II-24
2.3.2	Agua Superficial.....	II-24
2.3.3	Hidrogeología de Pampa del Tamarugal.....	II-27

2.3.4	Estudio Geológico.....	II-27
2.3.5	Acuíferos.....	II-29
2.3.6	Nivel y Calidad del Agua Subterránea.....	II-32
2.4	Salar del Huasco.....	II-35
2.4.1	Características Generales de la Cuenca.....	II-35
2.4.2	Agua Superficial.....	II-35
2.4.3	Hidrogeología del Salar del Huasco.....	II-36
2.4.4	Estudio Geológico.....	II-37
2.4.5	Acuíferos.....	II-38
2.4.6	Nivel y Calidad del Agua Subterránea.....	II-39
Capítulo III	USO DEL AGUA.....	III-1
3.1	Agua Potable de Arica.....	III-1
3.1.1	Servicio Existente de Abastecimiento de Agua.....	III-1
3.1.2	Futura Demanda de Agua.....	III-2
3.2	Riego y Otros Usos del Agua en el Valle de Azapa.....	III-4
3.2.1	Áreas de Riego Existentes.....	III-4
3.2.2	Uso Existente del Agua de Riego.....	III-6
3.2.3	Otros Usos Existentes del Agua.....	III-8
3.3	Agua de Riego en el Valle de Lluta.....	III-9
3.3.1	Area Irrigada Existente.....	III-9
3.3.2	Uso Existente del Agua.....	III-10
3.4	Agua Potable de Iquique.....	III-12
3.4.1	Servicio Existente de Abastecimiento de Agua.....	III-12
3.4.2	Futura Demanda de Agua.....	III-13
3.5	Uso del Agua en Pampa del Tamarugal.....	III-15
3.5.1	Uso Doméstico del Agua.....	III-15
3.5.2	Uso del Agua de Riego.....	III-17
3.5.3	Uso del Agua en Minería.....	III-21
3.5.4	Uso Total del Agua.....	III-23
Capítulo IV	ASPECTOS AMBIENTALES.....	IV-1
4.1	Generalidades.....	IV-1
4.2	Bosque de Tamarugo en Pampa del Tamarugal.....	IV-1

	4.2.1	Bosque de Tamarugo .....	IV-1
	4.2.2	Características y Rasgos del Tamarugo.....	IV-3
	4.2.3	Consumo del Agua por Transpiración.....	IV-3
	4.3	Medio Ambiente del Salar del Huasco .....	IV-5
	4.3.1	Topografía y Calidad del Agua .....	IV-5
	4.3.2	Ecología .....	IV-6
	4.3.3	Flamencos.....	IV-7
<b>Capítulo V</b>		<b>ABASTECIMIENTO DE AGUA Y BALANCE DE LA DEMANDA .....</b>	<b>V-1</b>
	5.1	Abastecimiento de Agua y Balance de la Demanda del Area de Arica.....	V-1
	5.1.1	Potencial de Desarrollo del Agua Subterránea del Valle de Azapa .....	V-1
	5.1.2	Potencial de Desarrollo del Agua Superficial del Río Lluta.....	V-3
	5.1.3	Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea del Valle del Bajo Lluta .....	V-6
	5.1.4	Abastecimiento de Agua Potable y Balance de la Demanda en Arica .....	V-12
	5.2	Abastecimiento de Agua y Balance de la Demanda del Área de Iquique.....	V-13
	5.2.1	Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea en Pampa del Tamarugal .....	V-13
	5.2.2	Simulación de las Aguas Subterráneas.....	V-16
	5.2.3	Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea en la Cuenca del Salar del Huasco.....	V-23
	5.2.4	Abastecimiento de Agua Potable y Balance de la Demanda en Iquique.....	V-24
<b>Capítulo VI</b>		<b>DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE ARICA .....</b>	<b>VI-1</b>
	6.1	Sistema Existente de Abastecimiento de Agua .....	VI-1
	6.1.1	Generalidades sobre el Sistema.....	VI-1
	6.1.2	Infraestructura del Abastecimiento de Agua.....	VI-2
	6.1.3	Problemas Existentes en el Abastecimiento de Agua.....	VI-3
	6.2	Aspectos Institucionales y Financieros Existentes.....	VI-4
	6.2.1	Organización de ESSAT.....	VI-4
	6.2.2	Tarifas .....	VI-5
	6.3	Plan de Desarrollo a Corto Plazo .....	VI-6

6.3.1	Capacidad de Desarrollo.....	VI-6
6.3.2	Instalaciones de Desarrollo de Abastecimiento de Agua Propuestas.....	VI-7
6.3.3	Costo Estimado de la Inversión.....	VI-12
6.3.4	Programa de implementación .....	VI-12
6.3.5	Operación y Mantenimiento .....	VI-13
6.3.6	Evaluación Económica.....	VI-14
6.3.7	Evaluación Financiera.....	VI-19
6.3.8	Estudio del Impacto Ambiental .....	VI-21
<b>Capítulo VII</b>	<b>DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN IQUIQUE.....</b>	<b>VII-1</b>
7.1	Sistema de Abastecimiento de Agua Existente .....	VII-1
7.1.1	Generalidades del Sistema.....	VII-1
7.1.2	Instalaciones del Sistema de Abastecimiento de Agua .....	VII-1
7.1.3	Problemas Existentes en el Abastecimiento de Agua.....	VII-3
7.2	Aspectos Institucionales y Financieros Existentes.....	VII-4
7.2.1	Organización de ESSAT.....	VII-4
7.2.2	Tarifa.....	VII-4
7.3	Plan de Desarrollo a Largo Plazo.....	VII-6
7.3.1	Capacidad de Desarrollo.....	VII-6
7.3.2	Alternativas de Desarrollo .....	VII-6
7.3.3	Plan de Desarrollo de Largo Plazo Propuesto.....	VII-12
7.4	Plan de Desarrollo de la Primera Etapa .....	VII-16
7.4.1	Generalidades.....	VII-16
7.4.2	Instalaciones de desarrollo de Abastecimiento de Agua.....	VII-16
7.4.3	Adquisición de Tierra .....	VII-17
7.4.4	Costo de Inversión Estimado .....	VII-17
7.4.5	Programa de Implementación .....	VII-18
7.4.6	Operación y Mantenimiento .....	VII-19
7.4.7	Evaluación Económica.....	VII-20
7.4.8	Evaluación Financiera.....	VII-22
7.4.9	Estudio del Impacto Ambiental .....	VII-24
<b>Capítulo VIII</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>VIII-1</b>

# LISTA DE TABLAS

## INFORME PRINCIPAL

Tabla 2.1	Surface Water Quality (Rio Lluta) ..... II-41 <Calidad de Agua Superficial (Rio Lluta)>
Tabla 2.2	Surface Water Quality (Upstream Tributaries) (Observed in June, 1993)..... II-41 <Calidad de Agua Tributarios (Curso Superior) (Observado en Jun. 1993)>
Tabla 2.3	Result of Boring Test (Lower Lluta Valley) ..... II-42 <Resultado de Perforación (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Tabla 2.4	Result of Pumping Test (Lower Lluta Valley)..... II-42 <Resultado de Prueba de Bombeo (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Tabla 2.5 (1)	Result of Boring Test (Pampa del Tamarugal)..... II-43 <Resultado de Prueba de Sondaje (Pampa del Tamarugal)>
Tabla 2.5 (2)	Result of Boring Test (Pampa del Tamarugal)..... II-44 <Resultado de Prueba de Sondaje (Pampa del Tamarugal)>
Tabla 2.6	Result of Pumping Test (Pampa del Tamarugal) ..... II-45 <Resultado de Prueba de Bombeo (Pampa del Tamarugal)>
Tabla 2.7	Previous Pumping Test..... II-46 <Prueba de Bombeo de Pozo Existentes>
Tabla 2.8	Result of Boring Test (Salar del Huasco)..... II-47 <Resultado de Prueba de Sondaje (Salar del Huasco)>
Tabla 2.9	Result of Pumping Test (Salar del Huasco) ..... II-47 <Resultado de Prueba de Bombeo (Salar del Huasco)>
Tabla 3.1	Total Existing and Future Water Demand and Real Consumption of Pampa del Tamarugal..... III-24 <Demanda Total de Agua Existente y Futura y Consumo Real de Pampa del Tamarugal>
Tabla 5.1	Monthly Average Groundwater Recharge Potential (1)..... V-25 <Potencialidad Medio Mensual de Recarga de Agua Subterránea>
Tabla 5.2	Monthly Average Groundwater Recharge Potential (2)..... V-26 <Potencialidad Medio Mensual de Recarga de Agua Subterránea>
Tabla 6.1	Break-down of Direct Construction and Land Acquisition ..... VI-24 <Costo de Construcción Directo y de Adquisición de la Tierra>
Tabla 6.2	Disbursement Schedule of Investment ..... VI-25 <Programa de Desembolso de los Costos de Inversión>



Tabla 6.3	Cash Flow Analysis (Arica) ..... VI-26 <Análisis de Flujo de caja (Arica)>
Tabla 6.4	Financial Statement (Arica)..... VI-27 <Estado Financiero (Arica)>
Tabla 7.1	Estimated Construction Cost and Power Consumption ..... VII-27 <Costo de construcción Estimado y Consumo de Energía>
Tabla 7.2	Break-down of Direct Construction and Land Acquisition ..... VII-28 <Costo de Construcción Directo y de Adquisición de la Tierra>
Tabla 7.3	Disbursement Schedule of Investment Cost..... VII-29 <Programa de Desembolso de los Costos de Inversión >
Tabla 7.4	Cash Flow Analysis (Iquique Stage I)..... VII-30 <Análisis de Flujo de caja (Iquique Etapa I)>
Tabla 7.5	Financial Statement (Iquique Stage I)..... VII-31 <Estado Financiero (Iquique Etapa I)>

# LISTA DE FIGURAS

## INFORME PRINCIPAL

Fig. 2.1	River System of San José and Lluta River Basin ..... II-48 <Systema Fluvial de las Cuencas de los Ríos San José y Lluta>
Fig. 2.2	Geological Map (Azapa Valley)..... II-49 <Mapa Geológico (Valle de Azapa)>
Fig. 2.3	Geological Profile (Azapa Valley) ..... II-50 <Perfil Geológico (Valle de Azapa)>
Fig. 2.4	Hydrogeological Profile (X - X')..... II-51 <Perfil Hidrogeológico (X- X')>
Fig. 2.5	Relation between Groundwater Level and Flood (Azapa Valley) ..... II-52 <Relación entre de Nivel Estático y Avanzada (Valle de Azapa)>
Fig. 2.6 (1)	Observed Water Quality in Azufre River ..... II-53 <Calidad de Agua Observada en Río Azufre>
Fig. 2.6 (2)	Observed Water Quality in Colpitas River..... II-54 <Calidad de Agua Observada en Río Colpitas>
Fig. 2.7	Geological Map (Lower Lluta Valley)..... II-55 <Mapa Geológico (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.8	Location of TEM Station and Test/Observation Wells (Lower Lluta Valley)..... II-56 <Ubicación de las Estaciones TEM y Pozos de Pruebas Observación (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.9	Geoelectric Profiles (Lower Lluta Valley) ..... II-57 <Perfiles Geoeléctricos (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.10	Geological Profile (X-X') (Lower Lluta Valley) ..... II-58 <Perfil Geológico (X-X') (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.11	Geological Cross Sections (Lower Lluta Valley)..... II-59 <Sección de es Cruce Geológico (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.12	Isopach Map of Deep Aquifer (Lower Lluta Valley)..... II-60 <Mapa Isopaca de Acuífero Profundo (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.13	Tri-linear Diagram of Major Ions (Lower Lluta Valley) ..... II-61 <Diagrama Tri-Lineal de Iones Mayores (Curso Bajo del Valle de Lluta)>
Fig. 2.14	Basin Map of Pampa del Tamarugal and Salar del Huasco ..... II-62 <Plano de Cuencas Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco>
Fig. 2.15	Geological Map (Pampa del Tamarugal) ..... II-63 <Mapa Geológico (Pampa del Tamarugal)>

Fig. 2.16	Location of TEM Station and Test/Observation Well (Pampa del Tamarugal) ..... II-64 <Ubicación de las Estaciones TEM y Pozos de Prueba y Observación (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.17	Geoelectric Profile (Pampa del Tamarugal) ..... II-65 <Perfiles Geoeléctricos (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.18	Location of Geological Profiles and Cross Section (Pampa del Tamarugal) ..... II-66 <Ubicación Perfil Geológico y Sección Geológica Transversal (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.19	Geological Profile (Pampa del Tamarugal) ..... II-67 <Perfil Geológico (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.20	Geological Cross Section (Pampa del Tamarugal) ..... II-68 <Sección Geológica Transversal (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.21	Hydrogeological Map (Pampa del Tamarugal) ..... II-69 <Mapa Hidrogeológico (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.22	Static Water Level (1993) : unit: mBGL ..... II-70 <Nivel Estático (1993) : unidad: mBGL>
Fig. 2.23 (1)	Distribution of TDS (Pampa del Tamarugal) ..... II-71 <Distribución de TDS (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (2)	Distribution of Cl (Pampa del Tamarugal) ..... II-71 <Distribución de Cl (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (3)	Distribution of As (Pampa del Tamarugal) ..... II-72 <Distribución de As (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (4)	Distribution of B (Pampa del Tamarugal) ..... II-72 <Distribución de B (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (5)	Distribution of Mn (Pampa del Tamarugal) ..... II-73 <Distribución de Mn (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (6)	Distribution of Fe (Pampa del Tamarugal) ..... II-73 <Distribución de Fe (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (7)	Distribution of Cd (Pampa del Tamarugal) ..... II-74 <Distribución de Cd (Pampa del Tamarugal)>
Fig. 2.23 (8)	Prospective Aquifer Area ..... II-74 <Área de Acuíferos Probables>
Fig. 2.24	Geological Map and Resistivity Profile of C-C' (Salar del Huasco) ..... II-75 <Mapa Geológico y Perfil de Resistividad del C-C' (Salar del Huasco)>
Fig. 2.25	Geological Profile (Salar del Huasco) ..... II-76 <Perfil Geológico (Salar del Huasco)>

Fig. 2.26	Geological Cross Section (Salar del Huasco).....	II-77
	<Seccion de Cruce Geológico (Salar del Huasco)>	
Fig. 3.1	Existing Municipal Water Supply System of Arica City .....	III-25
	<Sistema de Abastecimiento de Agua PoTabla Existente de Arica>	
Fig. 3.2	Population Projections - Arica .....	III-25
	<Proyección de la Población - Arica>	
Fig. 3.3	Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Azapa Valley .....	III-26
	<Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Azapa>	
Fig. 3.4 (1)	Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Lluta Valley .....	III-27
	<Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Lluta>	
Fig. 3.4 (2)	Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Lluta Valley .....	III-28
	<Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Lluta>	
Fig. 3.5	Water Conveyance System of Iquique City and Province .....	III-29
	<Sistema de Conducción de Agua de la Ciudad y Provincia de Iquique>	
Fig. 3.6	Population Projections - Iquique .....	III-29
	<Proyección de la Población - Iquique>	
Fig. 3.7	Location of Water Served Towns and, Irrigation and Mining Area in Pampa del Tamarugal .....	III-30
	<Ubicación de Areas de Riego y Mineras en la Pampa del Tamarugal>	
Fig. 4.1	National Reserved Area and Tamarugo Plantation .....	IV-9
	<Area de Reserva Nacional y Plantación de Tamarugo>	
Fig. 4.2	Evapotranspiration by Tamarugo Plantations in Pampa del Tamarugal.....	IV-10
	<Evapotranspiración de las Plantaciones de Tamarugo en Pampa del Tamarugal>	
Fig. 4.3	Location of Salar del Huasco .....	IV-11
	<Ubicación del Salar del Huasco>	
Fig. 5.1	Proposed New Irrigation System .....	V-27
	<Nuevo Sistema de Irrigación Prospuesta>	
Fig. 5.2	Surface Area of Aquifer Model.....	V-28
	<Area Superficial de Modelo Acuífero>	
Fig. 5.3	Longitudinal Profile of Aquifer Model .....	V-28
	<Perfil Longitudinal de Modelo Acuífero>	
Fig. 5.4	Comparison Between Observed and Calculated Groundwater Level .....	V-29
	<Comparacion Entre Mueles Freaticos Observados y Calculados>	
Fig. 5.5	Simulated Groundwater Level and Flow Vector in Future .....	V-30
	<Nivel Freatico Simulado y Vector de Flujo Futuro>	
Fig. 5.6	Drawdown of Groundwater Level in Future (2015, 2043 & 2093) .....	V-31
	<Mapa del Nivel Freatico en el Futuro (2015, 2043 & 2093)>	

Fig. 6.1	Outline of the Water Supply Facilities for Arica ..... VI-28 <Bosquejo del Facilidad de Abastecimiento de Agua para Arica>	VI-28
Fig. 6.2	Water Supply Service Area - Arica ..... VI-28 <Area del Servicio de Abastecimiento de Agua -- Arica>	VI-28
Fig. 6.3	Lower Lluta Scheme to Arica Water Supply ..... VI-29 <Escena de Agua PoTabla de Arica en la Agua abajo de Río Lluta>	VI-29
Fig. 6.4	Longitudinal Profile of Transmission Pipeline ..... VI-29 <Perfil Longitudinal de la Cañería de Conducción>	VI-29
Fig. 6.5	Flow Diagram of Lluta Treatment Plant ..... VI-30 <Diagrama Flujo de Planta Tratamiento del Lluta>	VI-30
Fig. 6.6	Layout of Lluta Treatment Plant ..... VI-30 <Plano de Planta Tratamiento del Lluta>	VI-30
Fig. 6.7	Explanation Chart of Demand Curve Type ..... VI-31 <Gráfica de Curva de Demanda>	VI-31
Fig. 7.1	Outline of Water Supply Facilities for Iquique ..... VII-32 <Basquejo del Facilidad de Abastecimiento de Agua para Iquique>	VII-32
Fig. 7.2	Water Supply Services Area - Iquique ..... VII-32 <Area del Servicio de Abastecimiento de Agua - Iquique>	VII-32
Fig. 7.3	Longitudinal Profile of Transmission Pipeline (Canchones-Cavancha-Iquique) ..... VII-33 <Perfil Longitudinal de las cannerías de Transmisión (Canchones-Cavancha-Iquique)>	VII-33
Fig. 7.4	Pipelines Alternatives (1) - (5) for Iquique Water Supply (from Water Resources to alto Hospicio) ..... VII-34 <Tuberías Alternativas (1) - (5) para el Abastecimiento de Agua para Iquique (desde las Fuentes hasta alto Hospicio)>	VII-34
Fig. 7.5	Proposed Transmission Pipeline ..... VII-35 <Cañería de Conducción Propuesta>	VII-35
Fig. 7.6	Longitudinal Profile of Proposed Transmission ..... VII-36 <Perfil Longitudinal dela Conducción Propuesta>	VII-36
Fig. 7.7	Layout of La Tirana Well Field (1st Stage) ..... VII-37 <Distribución de la Batería de Pozos de La Tirana (1ª Etapa)>	VII-37
Fig. 7.8	Transmission Pump Station in La Tirana Well Field - Plan ..... VII-37 <Planta Elevadora de Conducción Propuesta en al Baerla de Pozos en La Tirana - Planta>	VII-37

## ABREVIACIONES

acc.	: Acción (especie de derecho de agua)
ACP	: Tubería de Fibrocemento
B/C	: Razón Beneficio Costo
BNA	: Banco Nacional de Aguas
CAPPTA	: Corporación Agrícola Proyecto Pampa del Tamarugal
CITES	: Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (Convención sobre el comercio internacional de especies en peligro de la flora y fauna silvestres)
CONAF	: Cooperación Nacional Forestal
DGA	: Dirección General de Aguas
EC	: Conductividad Eléctrica
EDR	: Electrodiálisis Reversa
TIRE	: Tasa interna de retorno económica
ENAP	: Empresa Nacional de Petróleo
ESSAT	: Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá
GL	: Nivel del Suelo
Irr.	: Irrigación
IVA	: Impuesto al Valor Agregado (Value Added Tax)
JICA	: Japan International Cooperation Agency
MIDEPLAN	: Ministerio de Planificación y Cooperación
MOP	: Ministerio de Obras Públicas
MSL	: Nivel medio del mar
VPN	: Valor presente neto
O&M	: Operación y Mantenimiento
PCI	: Pacific Consultants International
Qda.	: Quebrada
OI	: Osmosis Inversa
SIMOP	: Simulación de Obras Públicas
sp.	: Especies
TDS	: Sólidos disueltos totales
TEM	: Electro-magnetismo transitorio
U.S.A	: Estados Unidos de América

**CAPITULO I INTRODUCCION**

## Capítulo I INTRODUCCION

### 1.1 Antecedentes del Estudio

La Región I (Región Tarapacá) abarca la mayor parte de los 58,700 km<sup>2</sup> del área norte de Chile, limitando con los territorios de Perú al norte, de Bolivia al este, y con el Océano Pacífico al oeste (Ver Mapa de Localización). En su región este, la Cordillera de los Andes, con una elevación de 4,000 - 5,000 m atraviesa el territorio de norte a sur.

La región tuvo una población total de 341,000 habitantes en 1992, de los cuales 322,000 o 94% se concentraba en dos ciudades principales, Arica e Iquique, localizadas en el área costera. Estas ciudades, especialmente Iquique, han alcanzado un notable desarrollo económico en años recientes con el apoyo de la política nacional de "Zonas de Libre Comercio". La población de Arica ha aumentado de 88,000 habitantes en 1970 a 169,000 en 1992 y se espera que para el año 2015 llegue a 265,000 habitantes. De forma similar, la población de la ciudad de Iquique aumentó de 64,000 habitantes en 1970 a 153,000 en 1992 y se estima que llegue a 273,000 habitantes para el año 2015.

Actualmente la totalidad de la demanda de agua de la ciudad de Arica depende de las aguas subterráneas de la cuenca del río San José. Sin embargo, la ciudad ha venido sufriendo una severa escasez de agua en años recientes. La totalidad del agua de la ciudad de Iquique es provista de la extracción de las aguas subterráneas de Pampa del Tamarugal, ubicada al este de la ciudad. Sin embargo, la demanda de agua de la ciudad está excediendo la capacidad de abastecimiento existente. El futuro aumento de la población empeorará las condiciones del abastecimiento de agua en ambas ciudades.

Sin embargo, los recursos hidráulicos de la región son muy escasos debido a su clima seco. La precipitación es limitada en las áreas de la cordillera de los Andes. El área costera no tiene precipitaciones en todo el año. Los recursos hidráulicos potenciales que existen en las proximidades de las dos (2) ciudades son sólo las cuencas de los ríos San José y Lluta para la ciudad de Arica y las cuencas de Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco para la ciudad de Iquique (Ver Mapa de Localización).

Por lo tanto, se espera que el desarrollo de los recursos hidráulicos de las cuencas mencionadas satisfaga la creciente demanda de agua de las ciudades de Arica e Iquique.



## 1.2 Area de Estudio

El Area de Estudio fue determinada en el Alcance del Estudio acordado entre los gobiernos de ambos países el 10 de noviembre de 1992. El Area abarca la cuenca del río San José (3,187 km<sup>2</sup>) y la cuenca del río Lluta (3,378 km<sup>2</sup>) para el abastecimiento de agua de la ciudad de Arica, y la cuenca de Pampa del Tamarugal (18,005 km<sup>2</sup>) y la Cuenca del Salar del Huasco (1,712 km<sup>2</sup>) para el abastecimiento de agua de la ciudad de Iquique.

El agua superficial de las cuencas de los ríos San José y Lluta se origina en la Cordillera de los Andes (las partes más altas) con una altitud de 4,000 - 5,000 m y finalmente entra al Océano Pacífico en la ciudad de Arica. Sin embargo, la mayor parte de estas aguas es consumida para irrigaciones, agua potable y otros propósitos o se filtra en el subsuelo en las partes bajas antes de llegar al mar. Por esto, se considera a las aguas subterráneas como el principal recurso hídrico potencial a ser desarrollado en estas cuencas.

Las cuencas de Pampa del Tarugal y Salar del Huasco son ambas hidrológicamente cerradas. El agua superficial que se origina en la Cordillera de los Andes (en sus partes más altas) de 4,000 - 5,000 m de altitud se filtra al subsuelo aguas abajo, en las planicies llanas de las cuencas. No hay aguas que fluyan fuera desde las cuencas. Las elevaciones de las planicies llanas de las cuencas de Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco son de alrededor de 1,000 m y 3,800 m respectivamente. Las aguas subterráneas son también consideradas como el principal recurso hídrico potencial a ser desarrollado en estas cuencas.

## 1.3 Objetivos del Estudio

Los objetivos del Estudio se definen en el acuerdo antes mencionado de la forma siguiente.

- (1) Evaluar los recursos hídricos potenciales, principalmente las aguas subterráneas, del Area de Estudio
- (2) Formular el plan de desarrollo de recursos hídricos, principalmente relacionado a las aguas subterráneas, para el abastecimiento de agua de las ciudades de Arica e Iquique.
- (3) Conducir la transferencia tecnológica al personal de contraparte chileno.

#### 1.4 Implementación del Estudio

La Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) fue nombrada como la agencia ejecutora de contraparte del Gobierno de Chile, mientras que la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) fue nombrada como la agencia oficial responsable por la implementación del programa de cooperación técnica del Gobierno del Japón.

El Estudio fue realizado por el equipo consultor japonés, contratado por JICA y por el personal de la contraparte chilena.

El estudio fue realizado desde marzo de 1993 a marzo de 1995. Los miembros que participaron en el Estudio son mencionados abajo.

(1) Consejero de JICA

Sr. Yasuo MUKAI

(2) Equipo de Estudio de JICA

Sr. Naohito MURATA

Jefe del Equipo de Estudio

Sr. Yasumasa YAMASAKI

Jefe Adjunto del Equipo de Estudio/Hidrogeólogo

Dr. Chaisak SRIPADUNGTHUM

Hidrólogo

Dr. Shuichi KUDO

Analista de Calidad de Agua/Hidrogeólogo

Sr. Masatane KATO

Experto en Estudios Geofísicos

Sr. Takenobu SUZUKI

Experto en Medio Ambiente

Sr. Norifumi YAMAMOTO

Experto en Simulación de Aguas Subterráneas

Sr. Yoshiaki SHIBATA

Experto en Análisis de Imágenes por Satélite

Sr. Yuichi HATA

Experto en Perforaciones (A)

Sr. Makoto KUSAKABE

Experto en Perforaciones(B)

Sr. Hideki YAMAZAKI

Planificador de Instalaciones de Agua

Sr. Hiroaki MIYAKOSHI

Diseñador de Instalaciones de Agua/Estimación de Costos

Sr. Dennis HARIS

Demanda de Agua

Dr. Jorge TOKESHI                      Analista Económico/Financiero

Dr. Katsuhito YOSHIDA              Coordinador

(3) Comité Técnico de Chile

(4) Contraparte

Sr. Angel Silva                      Jefe de Contraparte, DGA

Sra. Fernanda Rojas              DGA

Sr. Luis Rojas                      DGA

Sr. Arturo Beltrán              DGA

Sr. Domingo                      DGA

Sr. Conrado Popp              ESSAT

### 1.5 Composición del Reporte

Este reporte consiste en cuatro (4) volúmenes : Informe Sumario, Informe Principal, Informes Suplementarios y Libro de Datos. El Informe Principal presenta el resumen de los resultados de todos los Estudios. En el Capítulo II hasta el IV, la información básica para el Estudio es descrita. El abastecimiento de agua y el balance de la demanda de las ciudades Arica e Iquique se describe en el Capítulo V. Del Capítulo VI al VII, el plan de desarrollo para el abastecimiento de agua de ambas ciudades es presentado. El Capítulo VIII presenta las recomendaciones y estudios ulteriores.

Los resultados del estudio detallado son descritos en los Informes Complementarios y en el Libro de Datos. Los contenidos de dichos informes son como a continuación;

- A. Agua Superficial
- B. Geología y Agua Subterránea
- C. Uso de Agua
- D. Desarrollo de Abastecimiento de Agua Municipal
- E. Medio Ambiente
- F. Economía y Finanzas del Proyecto

## **CAPITULO II POTENCIAL DE RECURSOS HIDRICOS**



## Capítulo II POTENCIAL DE RECURSOS HIDRICOS

### 2.1 Cuenca del Río San José

#### 2.1.1 Características Generales de la Cuenca

El río San José abarca una cuenca hidrográfica de 3,187 km<sup>2</sup>. Las precipitaciones de la cuenca se concentran en las áreas de la Cordillera de los Andes, con una altura de 4,000 - 5,000 m. El promedio anual de agua caída aumenta en forma gradual de cero, en la parte baja, a 200 mm en las áreas superiores. Los principales tributarios de las cabeceras, fuentes naturales de la cuenca, son los ríos Laco, Seco y Tignamar.

Los recursos de agua natural de la cuenca son reducidos. Por lo tanto, en 1962 se construyó el canal Lauca para desviar el río Lauca (río internacional que fluye hacia Bolivia a través de la frontera) y así aumentar el agua disponible en los tramos aguas abajo del río San José.

El agua desviada del río Lauca es descargada a la Central Chapiquiña, generando energía hidroeléctrica. Después de unirse al agua natural del río San José, sigue el curso principal de éste hasta el inicio del Canal Azapa. Finalmente ingresa al Océano Pacífico en la ciudad de Arica.

El agua conducida desde la bocatoma del canal Azapa riega 3,213 ha de tierras agrícolas del valle de Azapa, junto con las vertientes y el agua subterránea disponibles en el valle.

El valle de Azapa contiene un gran acuífero de agua subterránea. El agua potable de Arica proviene en su totalidad de estas aguas subterráneas.

La Fig. 2.1 muestra el sistema fluvial de la cuenca.

#### 2.1.2 Caudal Superficial

##### 1) Recarga al Valle de Azapa

Desde 1967, la DGA ha observado el flujo superficial del río San José, en las estaciones de aforo de Ausipar y Antes Bocatoma. Este caudal incluye el agua desviada desde el río Lauca. Por otro lado, también desde 1967, existen en la estación de energía hidroeléctrica Central Chapiquiña datos disponibles sobre el agua desviada.

Las estaciones de Ausipar y Antes Bocatoma captan toda el agua de sus cuencas aguas arriba, incluida tanto el agua superficial como subterránea, ya que los lechos en las estaciones están formados de rocas del basamento impermeable. El agua subterránea en las cuencas de aguas arriba aparece en el río como agua superficial antes de llegar a las estaciones. Por consiguiente, el caudal superficial observado en Ausipar y Antes Bocatoma es considerado como el influjo de agua total que ingresa al valle de Azapa.

El caudal promedio mensual en Ausipar y Antes Bocatoma fluctúa entre 694 l/s, en Octubre, y 2,272 l/s en Febrero, con un promedio anual de 1,101 l/s. El promedio mensual de agua desviada en la Central Chapiquiña es relativamente constante. Se encuentra en el orden de 752 l/s en Junio y 879 l/s en Enero, dando como promedio 796 l/s. El balance de los caudales en Ausipar y Antes Bocatoma y la Central Chapiquiña constituye el caudal propio de la cuenca.

Los caudales promedio anuales de la cuenca del río San José se resumen de la siguiente manera:

Caudal desviado del Lauca	:	796 l/s
Caudal natural	:	305 l/s
Caudal en Ausipar y Antes Bocatoma	:	1,101 l/s

## 2) Descarga al Mar

Las crecidas del río San José generalmente ocurren entre enero y febrero. Gran parte de estas crecidas se infiltra en los lechos para recargar el agua subterránea del valle de Azapa. Sin embargo, el remanente es descargado al mar.

La descarga promedio anual al mar se estima en 149 l/s ó 13.5% del caudal en Ausipar y Antes Bocatoma.

La Fig. 2.1 muestra la ubicación de las estaciones de aforo.

### 2.1.3 Calidad del Agua Superficial

Desde 1967, la DGA ha observado la calidad del agua superficial del río San José en Antes Bocatoma. Todos los elementos que afectan la calidad del agua, a excepción del As y Fe, se encuentran bajo los límites permisibles para uso potable en Chile. La concentración promedio de As y Fe en Antes Bocatoma se indica a continuación, en comparación con la del canal Lauca.

	As (mg/l)	Fe (mg/l)
Canal Lauca	0.087	0.268
Antes Bocatoma	0.080	1.399
Límite Permisible	0.050	0.3

#### 2.1.4 Hidrogeología del Valle de Azapa

La geología del valle de Azapa se clasifica en siete (7) unidades, como se describe a continuación.

##### 1) Rocas del Basamento

Las rocas del basamento comprenden la Formación Grupo Arica; Formación Grupo Vilacollo, Formación Grupo Chapiquiña, Formación Azapa y Rocas Plutónicas. Estas formaciones son impermeables.

##### 2) Depósitos de Terrazas Marinas

Los depósitos de terrazas marinas se formaron en la planicie costera por movimiento eustático. Estos depósitos están compuestos principalmente de arena y grava, a veces intercaladas con limo. Forman uno de los acuíferos en el área urbana de Arica.

##### 3) Depósitos Fluviales

El río San José formó una planicie fluvial a lo largo del río. Los depósitos fluviales compuestos de grava, arena y limo están dispuestos en esta planicie. Esta unidad es altamente permeable, por lo que constituye uno de los principales acuíferos del valle de Azapa.

##### 4) Depósitos Detríticos

Los depósitos detríticos consisten principalmente de taludes y otros depósitos formados por deslizamientos o derrumbes de terreno. Las principales unidades de los depósitos de talud mantienen sus estructuras sedimentarias originales. Los otros depósitos están dispuestos con la matriz rellena de materiales finos. Así, los depósitos detríticos son menos permeables.



5) Depósitos de Abanico

La quebrada El Diablo, quebrada Llosyas y quebrada de Acha formaron abanicos en las confluencias con el río San José. Los depósitos de abanico están compuestos principalmente de arena, grava y limo. Esta unidad es, en general, permeable.

6) Depósitos de Playa Recientes

Los depósitos de playa recientes que consisten en arena y grava, se distribuyen a lo largo de la costa, formando una playa. La permeabilidad de los depósitos es alta.

7) Depósitos Fluviales Recientes

Los depósitos fluviales recientes se distribuyen a lo largo de los canales del río San José y Quebrada de Acha. Los depósitos consisten en ceniza volcánica, barro, arena y grava. La permeabilidad de esta unidad es en general alta y, por consiguiente, es considerada como uno de los importantes acuíferos en el valle de Azapa.

El mapa geológico y el perfil geológico del valle de Azapa se muestran en la Fig. 2.2 y Fig. 2.3, respectivamente.

### 2.1.5 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

La ubicación y el tamaño de los acuíferos del valle de Azapa y del área urbana de Arica, se calcularon en base al mapa geológico existente y a datos de sondajes.

Los acuíferos están ubicados en los depósitos fluviales recientes, depósitos fluviales, depósitos de abanico, y depósitos de terrazas marinas. Los principales acuíferos del valle de Azapa están formados en los depósitos fluviales. Por otra parte, los que pertenecen al área urbana de Arica están contenidos en los depósitos marinos.

Los acuíferos prospectados de estas áreas se extienden 22 kilómetros, desde la costa marítima hasta Cabuza en el valle de Azapa. No se identifican grandes acuíferos potenciales en los tramos aguas arriba de Cabuza.

El acuífero alcanza su ancho máximo en la capa superior. Equivale al ancho del valle. Este ancho disminuye gradualmente desde la capa superior hasta la capa inferior del acuífero. El fondo de éste se localiza en general en el centro del valle.

La configuración de acuíferos por sector se resume a continuación:

(1) Area Cabuza

El ancho del acuífero es de 600 - 1,200 m. El espesor es de 50 - 60 m. La intercalación de capas impermeables, tales como limo y arcilla en el acuífero es reducida.

(2) Area San Miguel

El acuífero está dividido en dos (2) capas : una capa superior y una capa inferior, con una capa impermeable intercalada. El ancho del acuífero es de 1,200 m. El espesor total de los dos acuíferos, incluida la capa impermeable de 15 m, se estima en 50 m.

(3) Area Pago de Gómez

El ancho y espesor del acuífero es de 1,200 m y 45 m, respectivamente. En el acuífero se localizan capas impermeables irregulares.

(4) Area Saucache

El ancho del acuífero alcanza más de 1,700 m. Su espesor se estima en 55 m. Raramente se identifican capas impermeables en el acuífero.

(5) Area Urbana de Arica

El acuífero de esta área se extiende en los depósitos de terrazas marinas. En estos depósitos predominan las capas impermeables. El acuífero está dividido por estas capas, dando como resultado una reducción en su espesor neto. El acuífero inferior se distribuye bajo el nivel del mar.

La Fig. 2.4 muestra el perfil longitudinal de los acuíferos.

## 2) Características Hidrogeológicas de los Acuíferos

La mayor parte de los acuíferos en esta área está formada por depósitos fluviales, en el valle de Azapa, y depósitos de terrazas marinas en el área urbana de Arica. Los acuíferos se componen de una secuencia de unidades permeables. Sin embargo, están en un estado no-confinado.

Las constantes hidrogeológicas del acuífero están evaluadas en base a los datos existentes disponibles. La transmisibilidad promedio, la permeabilidad y el rendimiento específico por región se resumen a continuación

	Transmisibilidad (m <sup>3</sup> /día/m)	Permeabilidad (cm/seg)	Rendimiento Específico (l/s/m)
Cabuza	-	-	5.23
Las Riveras	-	-	7.44
San Miguel	37	9.51 x 10 <sup>-4</sup>	8.36
Pago de Gomez	1,934	5.83 x 10 <sup>-2</sup>	2.81
Saucache	1,231	3.73 x 10 <sup>-2</sup>	3.88
Area urbana	-	-	1.83
Promedio	1,067	3.22 x 10 <sup>-2</sup>	4.92

El rendimiento específico constituye la constante más importante en la evaluación del potencial de aguas subterráneas. El valor de la constante fluctúa entre 1.83 l/s/m, en el área urbana de Arica, y 8.36 l/s/m en San Miguel con un promedio de 4.92 l/s/m. Este valor promedio de 4.92 l/s/m se considera normal para los acuíferos compuestos de arena y grava mezclada con limo.

## 3) Almacenamiento Estimado del Agua Subterránea

El principal acuífero de esta área se extiende desde el área costera de Arica hasta Cabuza, en el valle de Azapa. El acuífero ubicado en los tramos aguas arriba de Cabuza, se considera insignificante. El acuífero que existe bajo el nivel del mar en el área urbana tampoco se considera aprovechable.

La reserva total de agua subterránea se estima en 302 millones de m<sup>3</sup>, con el siguiente detalle:

Zona	Sección	Almacenamiento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Area
1	Costa a A-A'	0.26	Costa Arica
2	A-A' a B-B'	2.25	Arica central
3	B-B' a C-C'	53.20	Saucache
4	C-C' a D-D'	89.61	Pago de Gomez
5	D-D' a E-E'	55.54	Pago de Gomes, Las Maitas
6	E-E' a F-F'	31.37	San Miguel
7	F-F' a G-G'	69.95	Las Riveras, Cabuza
Total		302.18	

Para obtener la localización de las secciones, remitirse a las Fig. 2.2 y 2.4.

En los cálculos anteriores se supuso una porosidad efectiva de los acuíferos de 30%.

#### 2.1.6 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

##### 1) Extracción del Agua Subterránea Existente

El agua subterránea del valle de Azapa y del área urbana de Arica, se extrae de 206 pozos. La extracción de agua subterránea existente se calculó en base a entrevistas a los usuarios, las que se efectuaron durante este Estudio.

Además, se extrae agua de cinco (5) vertientes para uso de riego en el valle de Azapa. La extracción de agua de manantial existente fue observada durante este Estudio.

Los resultados de las entrevistas y observación de descargas se resumen a continuación.

	No de Pozos/Manantiales	Extracción (l/s)
<b>Agua subterránea</b>		
Arica Municipal	39	730.0
Riego	122	302.0
Individual Doméstico	30	43.0
Industrial	3	4.0
Otros	12	6.4
<b>Agua de manantial</b>		
Riego	5	73.0
<b>Total</b>	<b>211</b>	<b>1,158.4</b>

## 2) Nivel del Agua Subterránea

El nivel estático del agua subterránea del valle de Azapa y área urbana de Arica ha sido observado en pozos seleccionados por la DGA desde 1962.

El nivel freático ha disminuído gradualmente desde 1977. En una ocasión se recuperó hasta cierto punto debido a la recarga de las crecidas del río San José ocurridas entre 1984 y 1988. Desde entonces, ha descendido nuevamente.

El descenso durante 15 años, de 1977 a 1992, en los pozos representativos se indica a continuación.

Ubicación de Pozos	Descenso (m)
San Miguel (aguas arriba)	3
Las Maitas	15
Pago de Gomez	20
Saucache	30

San Miguel aguas arriba se ubica aguas arriba de la confluencia de la quebrada El Diablo. El descenso del nivel freático en San Miguel (aguas arriba) es pequeño. Se considera que se debe a los efectos de embalse del ramal impermeable de la quebrada El Diablo.

Para obtener la variación histórica del nivel freático en los pozos representativos, remitirse a la Fig. 2.5.

El perfil longitudinal del nivel freático existente se muestra en la Fig. 2.4.

## 3) Calidad del Agua Subterránea

Existen datos disponibles sobre la calidad del agua subterránea de 61 pozos localizados en el valle de Azapa y área urbana de Arica; estos datos provienen de la ESSAT y la DGA. Los pozos mencionados están ampliamente distribuídos desde el área urbana hasta Cabuza.

### (1) Calidad del Agua Subterránea Existente

Las características sobresalientes de la calidad del agua subterránea se indican a continuación:

- i) Los elementos críticos referidos a la calidad del agua subterránea de esta área son: TSD, SO<sub>4</sub>, Cl y NO<sub>3</sub>. Por otra parte, As, B, además de otros elementos, en general son aceptables para uso potable.
- ii) Los contenidos de TSD, SO<sub>4</sub>, Cl y NO<sub>3</sub> se resumen a continuación.

	TDS	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>
Rango (mg/l)	519-2,835	117.1-861.3	71.3-577.6	0.0-113.1
Promedio(mg)	913	253.2	154.2	9.6
Límite Permissible	1.000	250	250	10.0

Nota: Esta tabla se preparó a partir del Informe Suplementario B, Tabla B-I, 3.3. En esta preparación, los datos del pozo No. 168-K fueron excluidos, debido a que está afectado por una fuente especial de contaminación.

- iii) En todos los pozos, el elemento B es inferior a 1.8 mg/l y el As es inferior al límite permisible de 0.05 mg/l.

## (2) Variación Histórica

La salinidad del agua subterránea en la parte baja del valle de Azapa y área urbana de Arica ha ido en aumento durante los últimos años. La DGA ha llevado a cabo estudios para obtener la variación histórica de la conductividad eléctrica de los numerosos manantiales localizados en los tramos medios e inferiores del valle de Azapa. La conductividad promedio de las vertientes durante los últimos años se estima aproximadamente como se indica:

	1975	1986	1987	1990	1990
CE (mmho/cm)	1,300	1,500	1,600	1,800	1,900

Se proyecta que aumente a 2,200 mmho/cm en el año 2000 y 2,600 mmho/cm en el 2010.

Por otra parte, el valor CE puede convertirse en TSD mediante el uso de la siguiente relación establecida para esta área en base a los datos disponibles existentes.

$$Y = 0.6848 x + 91.38$$

donde, x : valor CE (mmho/cm)

y : valor TSD (mg/l)

El valor TSD futuro del agua de manantial se estima en 1,097 mg/l en el año 2000 y 1,869 mg/l en el 2010, respectivamente.

La conductividad del agua de pozo en el valle de Bajo Azapa y área urbana también muestra una tendencia similar al aumento.

## 2.2 Cuenca del Río Lluta

### 2.2.1 Características Generales de la Cuenca

El río Lluta abarca una cuenca hidrográfica de 3,378 km<sup>2</sup>. El agua se origina en la Cordillera de los Andes, con una altura de 4,000 - 5,000 m. Las precipitaciones de la cuenca se limitan a las áreas superiores de la cordillera. Las precipitaciones promedio anuales aumentan gradualmente de cero en el valle del Bajo Lluta, a 350 mm en la Cordillera de los Andes.

El agua es recolectada por los tributarios aguas arriba y transferida por el río principal a las planicies aguas abajo del río. Finalmente es descargada al mar en el borde norte de la ciudad de Arica. Los principales tributarios aguas arriba que recolectan el agua son: Azufre, Caracarani, Cascavillane, Teleschuño, Guancarane, Chuquiananta, Colpitas, Allane, Putre, Aroma y Socoroma.

El agua del río se extrae en 80 puntos en el valle a Lluta a 65 km de distancia entre Vilacollo y Panamericana para el riego de 2,784 ha de terreno para cultivo, que se extienden a lo largo del río Lluta. La extracción de agua de río en los tramos aguas arriba de Vilacollo es insignificante.

La extracción de agua subterránea se limita al área inferior del valle de Lluta. Una pequeña cantidad de agua subterránea es bombeada por aproximadamente 10 pozos para regadío y usos industriales.

La ubicación del sistema fluvial de la cuenca del río Lluta, se muestra en la figura 2.1.

## 2.2.2 Caudal Superficial

### 1) Caudal Superficial del Río Principal y Tributarios

El flujo del río Lluta en Tocontasi y Chapisca ha sido observado por la DGA desde 1946. Los caudales promedios, de 80% y 90% de excedencia, por temporada, se resumen a continuación:

(Unidad: l/s)

	Ene.-Mar.	Abr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Dic.	Promedio
Promedio	3,950	1,790	1,742	1,382	2,216
80% Excedenc.	1,752	1,455	1,454	1,116	1,444
90% Excedenc.	1,357	1,261	1,370	1,050	1,260

Para obtener el caudal mensual, remitirse al Informe Complementario A, Tabla A.2.4.

Las fuentes de agua del río Lluta se limitan a los siguientes tributarios aguas arriba (ver Fig. 2.1):

- (1) Caracarani
- (2) Azufre
- (3) Tributarios de la ladera oriental (Cascavillane, Teleschuño, Guancarane y Chuquiananta).
- (4) Colpitas (Colpitas y Allane)
- (5) Putre y Otros (Putre, Aroma y Socoroma)

En este estudio se llevó a cabo, entre Junio 1 ~ 3 de 1993, una observación simultánea del caudal de los tributarios superiores junto con el Río Lluta en Chapisca. Los resultados se muestran a continuación.

Río	Flujo(l/s)	Porcent. (%)	Probabilidad de Excedencia del Flujo en Junio (%)
Caracarani (en Humapalca)	394	33	50
Azufre	76	6	
Tributarios de la ladera oriental	334	29	
Sub-total (Caracarani en Alcerreca)		(68)	50
Colpitas	231	19	95
Putre y Otros	360	31	
Pérdida	-211	-15	
Lluta (en Chapisca)	1.184	100	95



Nota: La pérdida incluye el consumo de agua para regadío en Putre, Socoroma y el valle de Lluta aguas arriba de Chapisca, y errores de observación.

## 2) Caudal Superficial Excedente

Existen aproximadamente 2,500 ha de terrenos para cultivo irrigados en los tramos aguas abajo de Tocontasi y Chapisca. Consumen gran parte del agua superficial para riego de cultivos. El agua restante es descargada al mar como agua excedente.

La estación fluviométrica localizada en los tramos inferiores del río es Panamericana. Esta estación está ubicada 2 km aguas arriba de la desembocadura del río. El flujo superficial observado en esta estación proporciona una aproximación del agua superficial excedente de la cuenca del río Lluta.

Los caudales promedios de 80% y 90% de excedencia, por temporada en Panamericana, es el siguiente:

	Ene.-Mar.	Abr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Nov.	Promedio
Promedio (l/s)	3,744	906	643	248	1,385
80% Exced. (l/s)	520	390	409	76	349
90% Exced.(l/s)	340	274	348	63	256

Para obtener el caudal mensual, remitirse al Informe Suplementario A, Tabla A,2.4.

### 2.2.3 Calidad del Agua Superficial

#### 1) Características Sobresalientes de la Calidad del Agua Superficial

La DGA ha llevado a cabo un completo análisis del río Lluta desde 1967. El agua del río Lluta está muy contaminada por el agua de los tributarios aguas arriba de Azufre y Colpitas. Los elementos contaminantes son originados principalmente de fuentes de contaminación naturales. Los principales elementos que afectan la calidad del agua excediendo los límites permisibles para agua potable son: As, B, Fe, Cl, y SO<sub>4</sub>. La concentración de As, B, Fe, Cl y SO<sub>4</sub> en los principales sitios de la cuenca del río Lluta se muestran en la Tabla 2.1.

En este estudio se condujo un análisis simultáneo de la calidad del agua de los tributarios de aguas arriba, junto con el río Lluta (Chapisca), para identificar las fuentes de contaminación. La Tabla 2.2 resume los elementos As, B, Fe observados en los tributarios (los elementos más críticos del río Lluta).

Las características sobresalientes de la calidad del agua de la cuenca del río Lluta son las siguientes:

- (1) Las mayores fuentes de As las constituyen los ríos Azufre y Colpitas Superior que representan el 86.4% del total de As de la cuenca.
- (2) La principal fuente de Fe la representa el río Azufre con un porcentaje de 75% del total de Fe de la cuenca.
- (3) Los ríos Azufre y Colpitas Superior constituyen las grandes fuentes de B. No obstante, una parte considerable proviene de fuentes distintas a los tributarios observados en Junio de 1993.
- (4) En el valle de Lluta, As y Fe disminuyen gradualmente hacia aguas abajo desde Tocontasi hasta Panamericana debido a efectos de purificación natural. Por otra parte, B, Cl y SO<sub>4</sub> aumentan hacia aguas abajo.

## 2) Fuentes de Contaminación del Agua Superficial

Este estudio efectuó una detallada observación sobre calidad del agua, en Noviembre de 1993, con el propósito de identificar las principales fuentes de contaminación del agua de los ríos Azufre y Colpitas.

La calidad del agua observada en cuanto a As y B en cada punto de los ríos Azufre y Colpitas se indica en las Fig. 2.6 (1) y 2.6 (2), respectivamente.

Los resultados se resumen a continuación:

### (1) Río Azufre

- i) Las cargas contaminantes de As y B en el río Azufre aumentan gradualmente hacia abajo hasta el punto A-8. Sin embargo, disminuyen considerablemente entre el punto A-8 y el punto A-5A, aún cuando el caudal aumenta en estos tramos. De allí en adelante, nuevamente aumentan entre el punto A-5A y el punto

A-3 (desembocadura del Azufre), a pesar de que el caudal disminuye en estos tramos.

El caudal y las cargas contaminantes por sector fluvial se detallan a continuación:

Sector Fluvial	A-8	A-5A	A-3
Caudal (l/s)	48	119	74
Contenido de As(mg/l)	6.75	0.01	5.21
Carga de As (g/s)	0.324 (83.9%)	0.001 (0.3%)	0.386 (100%)
Contenido de B (mg/l)	28.93	6.82	27.87
Carga de B (g/s)	1.389 (67.4%)	0.812 (39.4%)	2.062 (100%)

- ii) Las mayores fuentes de contaminación se presentan entre los puntos A-5A y A-3. Se considera que las cargas de contaminación surgen de los lechos ya que los tributarios que se unen al río entre las dos (2) secciones no contenían agua superficial durante el periodo de observación.

La producción de carga contaminante de los lechos entre los puntos A-5A y A-3 representa un 99.7% para el As y un 60.6% para el B de las cargas totales de contaminación en la desembocadura del Azufre.

- iii) El desvío del cauce existente entre los puntos A-5A y A-3 se considera como uno de los proyectos prospectados para reducir el As y B del río Azufre.

(2) Río Colpitas

- i) La mayor proporción de As y B se origina aguas arriba del punto C-10. El porcentaje de carga de contaminación en este punto a la carga total del río Colpitas (carga en el punto C-3) corresponde a 66.1% de As y 58.4% de B, como se indica a continuación:

Sección Fluvial	C-10	C-3
Caudal (l/s)	74	346
Contenido de As (mg/l)	2.08	0.67
Carga de As (g/s)	0.154 (66.1%)	0.233 (100%)
Contenido de B (mg/l)	61.79	22.61
Carga de B (g/s)	4.572 (58.4%)	7.823 (100%)

- ii) Se considera la construcción de un estanque de evaporación del agua del río en el punto C-10, como uno de los proyectos prospectados para reducir el As y B del río Colpitas.

#### 2.2.4 Hidrogeología del Valle de Lluta

La geología del valle del Bajo Lluta en general se clasifica en rocas del basamento y rocas cuaternarias.

Las rocas del basamento las componen la formación Azapa, formación Oxaya, formación El Diablo y sus bloques deslizados en este orden ascendente. Las fisuras y fracturas se encuentran bien desarrolladas en la capa superior, y menos desarrolladas en la capa inferior. Por consiguiente, se consideran impermeables.

Las formaciones cuaternarias consisten en las siguientes cuatro (4) unidades:

##### 1) Depósitos Fluviales

Los depósitos fluviales abarcan principalmente los tramos medios y superiores del Valle del Bajo Lluta. El espesor total de la formación se estima en 200 m aproximadamente.

Estos depósitos se dividen en tres (3) unidades : superior, media e inferior. Las unidades superior e inferior se componen principalmente de capas de grava con un diámetro de 5 a 30 cm. Por otra parte, la unidad media consiste en capas impermeables de toba.

La matriz de los depósitos está rellena principalmente con limo y arena muy fina originada de las cenizas volcánicas. Esto disminuye la permeabilidad de los depósitos.

##### 2) Formación Concordia

La formación Concordia de depósitos marinos se distribuye sobre Villa Frontera y las áreas de Concordia en los tramos inferiores del valle del Bajo Lluta. El espesor total de la formación alcanza aproximadamente 200 m.

Esta formación se divide en tres (3) unidades: superior, media e inferior. Las unidades superior e inferior se componen principalmente de arena no consolidada. La unidad media consiste principalmente de cenizas volcánicas.

A juzgar por la litofacies, las unidades superior e inferior se consideran permeables, aún cuando la unidad media se estima impermeable.

3) Depósitos Detríticos

Los depósitos detríticos consisten en sedimentos de talud, sedimentos de ladera y sedimentos de abanico. Los sedimentos de talud y ladera se componen de clastos de diferente tamaño. Los sedimentos de abanico se componen principalmente de limo y arena.

Estos depósitos se distribuyen en las faldas de la cordillera.

4) Toba Pumícea

La toba pumícea, que consiste en ceniza volcánica y pumita, se distribuye en Gallinazos y Apacheta, en los tramos inferiores del valle del Bajo Lluta. La permeabilidad se considera reducida.

5) Depósitos de Playa Recientes

Los depósitos de playa recientes se distribuyen a lo largo de la costa formando una playa. Los depósitos consisten en arena y grava. Existen menos materiales finos en la matriz. Por lo tanto la permeabilidad es alta.

6) Depósitos Fluviales Recientes

Los depósitos fluviales recientes, que consisten en arena, grava y limo, se distribuyen a través del cauce del río Lluta. Los depósitos son menos permeables debido a que la matriz esta rellena con una gran cantidad de materiales finos.

La Fig. 2.7 muestra un mapa geológico del Valle del Bajo Lluta.

### 2.2.5 Estudio Geológico

En este estudio se realizaron estudios electromagnéticos y pruebas de sondaje, en el Valle del Bajo Lluta, entre Panamericana y Chacabuco para complementar los datos geológicos existentes.

## 1) Estudio Electromagnéticos (TEM)

Se efectuaron estudios TEM en treinta estaciones establecidas en cinco (5) líneas de estudio. La ubicación de las líneas de estudio y las estaciones se muestran en la Fig. 2.8.

Los perfiles geo-eléctricos a través de las cinco líneas de estudio se trazaron en base a la curva de resistividad aparente observada en cada estación. Estos se muestran en la Fig. 2.9.

La geología del área de estudio se clasifica en tres (3) a cuatro (4) capas en términos de resistividad aparente. El espesor y resistividad de cada capa se resumen a continuación:

Capa	Espesor (m)	Resistividad (ohm-m)
Primera capa	5 - 70	28 - 300
Segunda capa	50 - 250	11 - 30
Tercera capa	70 - 190	29 - 96
Cuarta capa		< 9.8

La segunda capa, que existe en las cinco (5) líneas, se considera acuífero prospectado.

## 2) Pruebas de Sondaje

Se perforaron cuatro (4) pozos, incluidos dos (2) pozos de prueba (J-A, J-B) y dos (2) pozos de observación (J-1, J-2), a través de las líneas de estudio TEM. Para obtener su ubicación remitirse a la Fig. 2.8.

Los resultados de las pruebas de sondaje se resumen en la Tabla 2.3. Esta tabla muestra la profundidad perforada, las dimensiones de las tuberías de entubado y colado, las características geológicas de los acuíferos identificados y el registro de resistividad en el pozo, comparado con los del estudio TEM. Para obtener las columnas estratigráficas de los cuatro pozos, remitirse a la Fig. 2.10 y a la Fig. 2.11.

Además, se efectuaron en estos cuatro pozos pruebas de bombeo, incluidas las pruebas de gasto variable, pruebas de gasto constante y pruebas de recuperación.

Los resultados de las pruebas de bombeo se resumen en la Tabla 2.4. La tabla muestra los datos de bombeo mediante prueba constante, constantes del acuífero y capacidad del pozo.