AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN(JICA)

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
REPÚBLICA DE CHILE

REH-559
v.1 c.3
Español

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

INFORME PRINCIPAL

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

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.

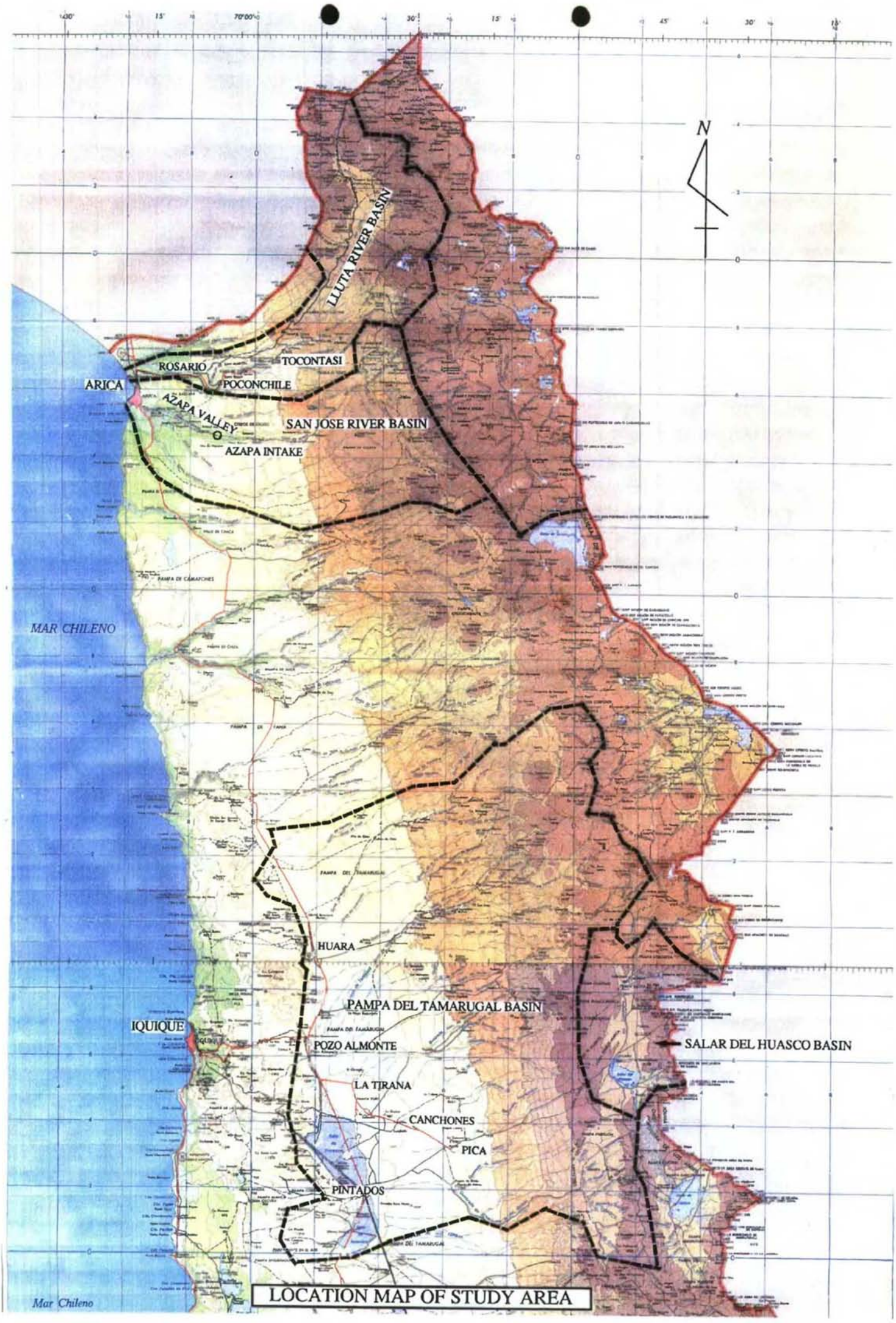
El informe consiste en Sumario, Informe Principal, e Informe Suplementario. El Resumen resume los resultados de todos los estudios. El Informe Principal presenta los resultados del estudio completo incluyendo el análisis de las condiciones existentes, evaluación del potencial para el desarrollo de los 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

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 lo 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 lo 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^2. 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.

Exite un acuífero de agua subterránea grande de tipo no confinado con un almacenamiento de 302 millones de m^3 en el valle de Azapa. Este se extiende 22 km desde Cabuza hasta la costa. El acuífero esta 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	3.22×10^{-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 subterreaneas para su reuso. La extracción existente de agua y el consumo real se resumen a continuación.

	Extracción (l/s)	Consumo Real (l/s)
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
Cosumo Real de Agua en el valle de Azapa	-1,447 l/s
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^2. 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^3 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	3.63×10^{-3}	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 extración 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 desarrolo 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^2. 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^3. 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	$5x\ 10^{-3}$	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 aua 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 distribuídos 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 evapo-transpiración 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 evapo-transpiración 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^3 o 3.7% del almacenamiento de agua subterránea de 26,908 millones de m^3.

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^2 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^2 y está compuesta por un área de agua (2 km^2) y tierras húmedas (27 km^2). 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^2 y tiene un almacenamiento total de 465 millones de m^3. El espesor varía entre 130 m y 210 m. Las constantes del acuífero son estimadas en 2.60×10^{-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.

	Mn (mg/l)	Fe (mg/l)
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 falmencos.

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^3 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^3/día)
Agua Tratada	414 l/s (36,000 m^3/día)
Agua Residual	139 l/s (12,000 m^3/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 : ø12" x (120~150 m) x 26 pozos

Bombas : 26 bombas sumergibles

(2) Tubería de Transmisión Principal

Tubería : ø(150~500 mm) x 1 línea x 12,500 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: ø350 mm x 1 línea x 8,750 m

(4) Adquisición de Tierras

Planta de Tratamiento : 3.8 ha

(5) Obras de compensación (Reconstrución 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 servico 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 x 10^3 pesos ($) y 20,148 x 10^3 pesos ($) 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 x 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 x 10^6 Pesos ($) bajo las siguientes condiciones:

Tarifa de Agua Promedio:	154 pesos ($)/$m^3$ 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 ($)/m^3 fuera de estación y 230.82 pesos ($)/m^3 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 Cavancha 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 : ø12" x 200 m x 16 pozos
Bomba : 16 bombas sumergibles
Tubería de Colección: ø (250~800 mm) x 9,750 m

(2) Bomba de Tansmisión
Bomba : 5 unidades x 1 lugar

(3) Tubería de Transmisión Principal
Tubería : ø (400~700 mm) x 2 líneas x 67,600 m

(4) Estanque
Estanque de Collección : 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 desarollo 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 : ø12" x 200 m x 8 pozos
Bomba : 8 bombas sumergibles
Tubería de Colección: ø (250~800 mm) x 5,750 m

(2) Bomba de Tansmisión
Bomba : 3 unidades x 1 lugar

(3) Tubería de Transmisión Principal
Tubería : ø (400~700 mm) x 1 línea x 67,600 m

(4) Estanque
Estanque de Collección : 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 construciión, 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 Proyectoserá 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 x 10^3 pesos ($) y 14,138 x 10^3 pesos ($) 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 x 10^3 pesos ($), B/C: 1.48, TIRE: 17.33%

2) Evaluación Financiera

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

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

Tarifa de Agua Promedio: 278 pesos($)/$m^3$ 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 pro 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 (10^3 US$)	M/L (10^3 Pesos $)	Total (10^3 Pesos $)
Costo de Construción 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 (10^3 Pesos $)	M/E (10^3 US$)	M/L (10^3 Pesos $)	Total (10^3 Pesos $)
Costo de Construción 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

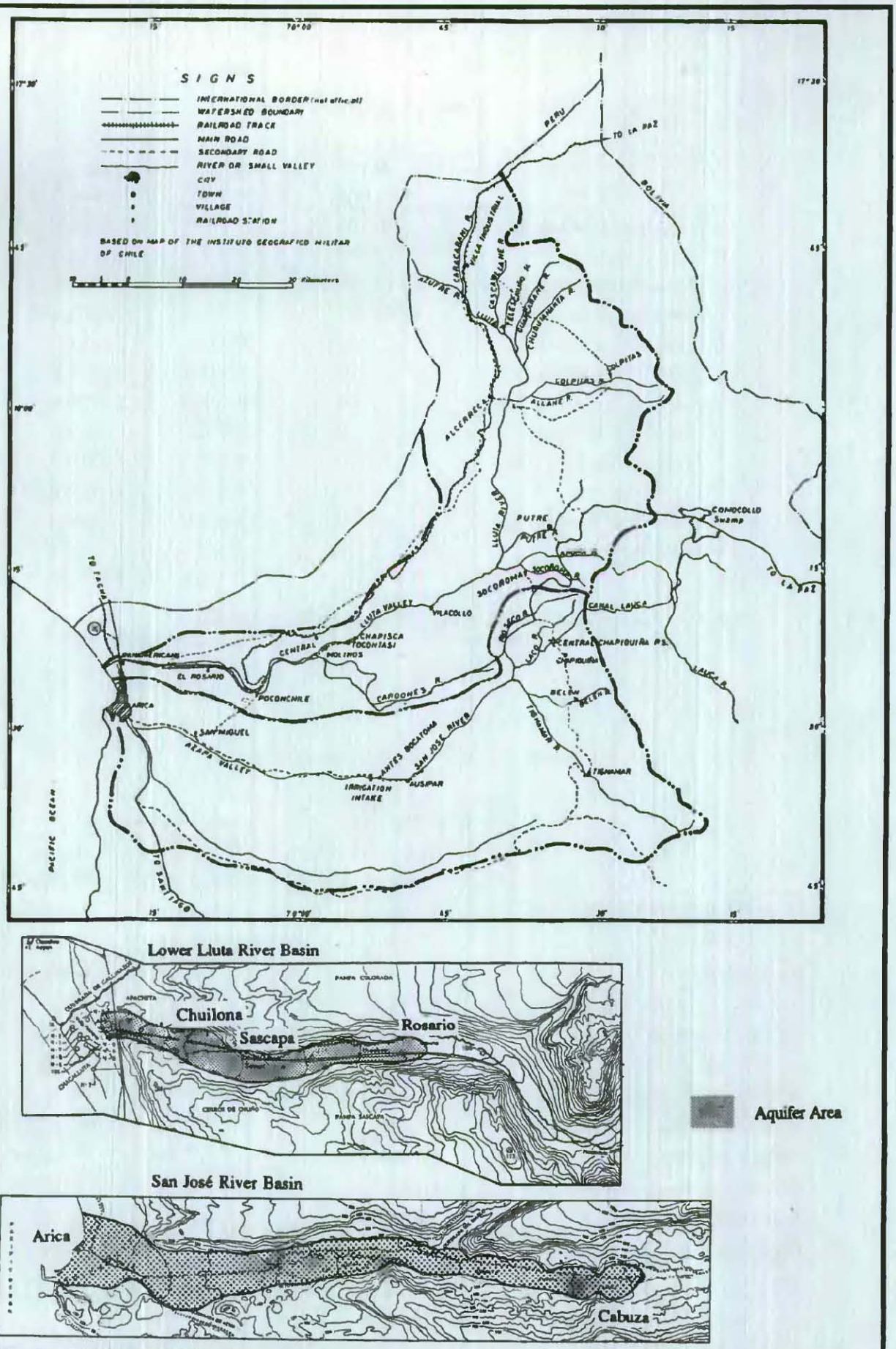


Fig. 1 San José and Lluta River Basins

<Cuencas de los Ríos San José y Lluta>

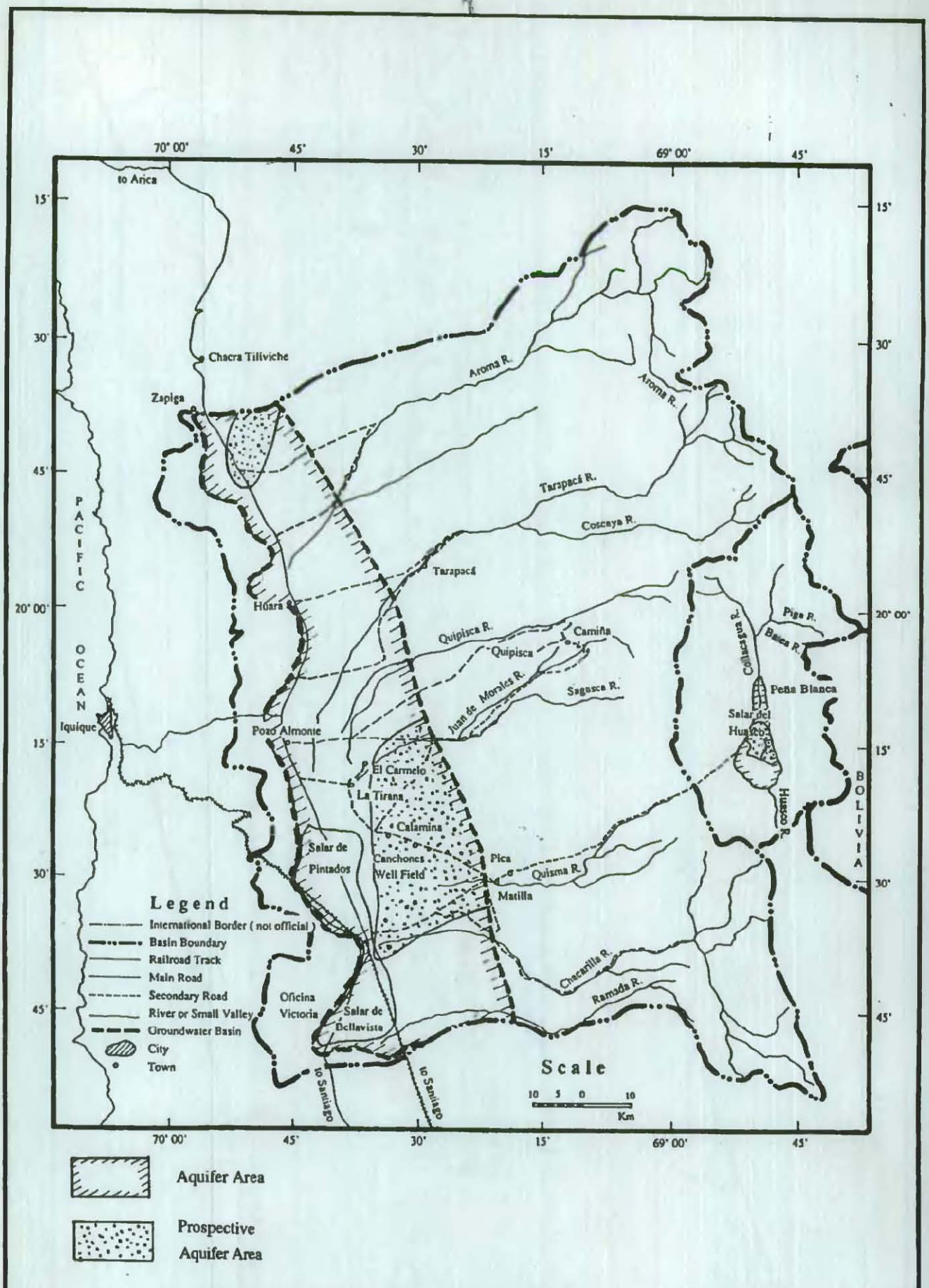


Fig. 2 Pampa del Tamarugal and Salar del Huasco Basins

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

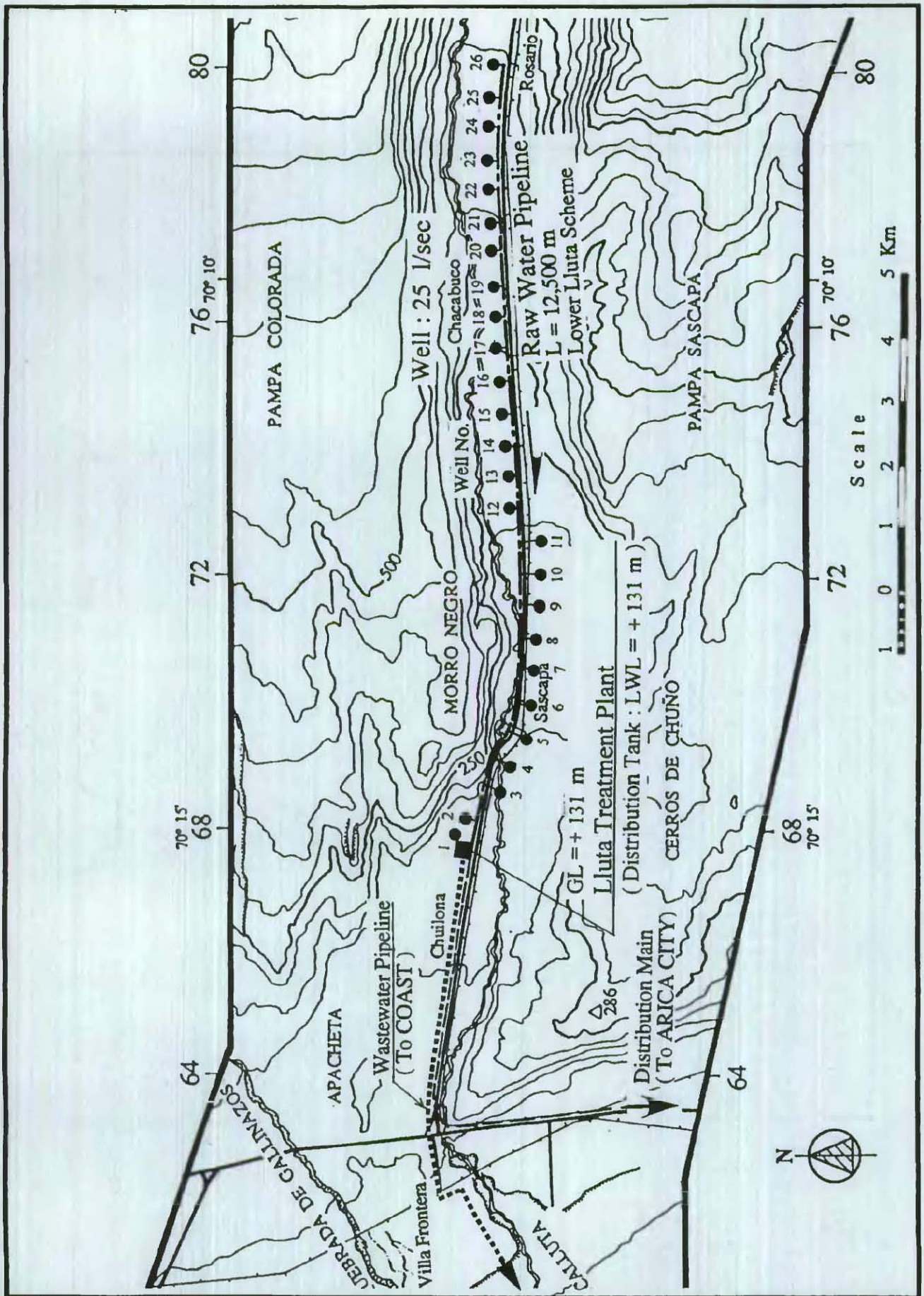


Fig. 3 Water Supply Development for Arica

<Desarrollo de Abestecimiento de Agua para Arica>

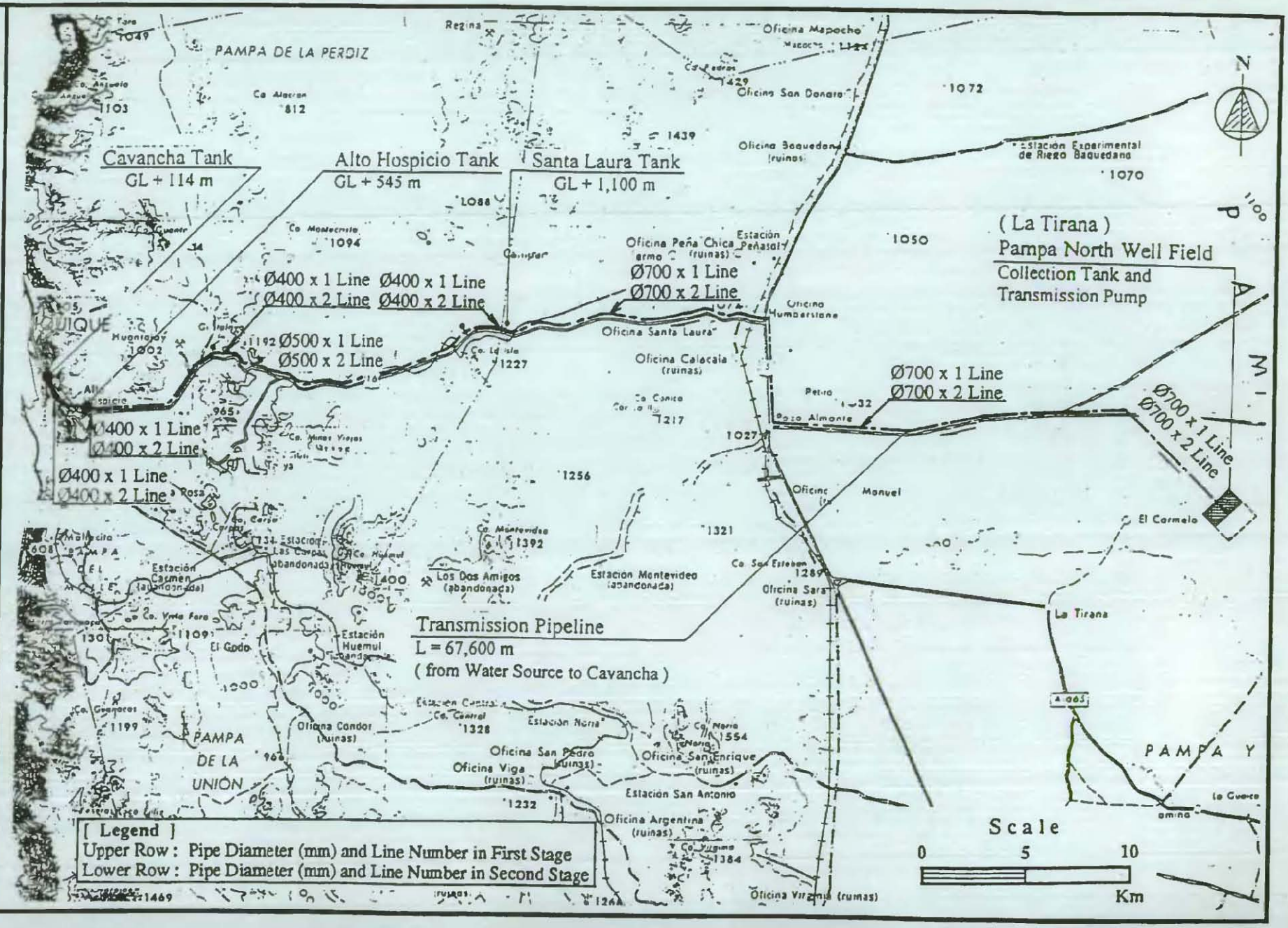


Fig. 4 Water Supply Development for Iquique
<Desarrollo de Abestecimiento de Agua para Iquique>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

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

Capítulo V ABASTECIMIENTO DE AGUA Y BALANCE DE LA DEMANDA V-1

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

Capítulo VI DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE ARICA VI-1

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

Capítulo VII DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN IQUIQUE VII-1

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

Capítulo VIII RECOMENDACIONES VIII-1

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
	<Calida 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
<Analisis 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 Energia>
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
<Analisis 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 Avanida (Valle de Azapa)>	
Fig. 2.6 (1)	Observed Water Quality in Azufre River	II-53
	<Calidad de Agua Observad en Río Azufre>	
Fig. 2.6 (2)	Observed Water Quality in Colpitas River	II-54
	<Calidad de Agua Observad 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 Pruebay 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
	<Seccion 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 Gelógica 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: m*BGL* 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 Iquiqu>	
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 Irigation 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>

Fig. 6.2 Water Supply Service Area - Arica VI-28
<Area del Servicio de Abastecimiento de Agua -- Arica>

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>

Fig. 6.4 Longitudal Profile of Transmision Pipeline VI-29
<Perfil Longitudinal de la Cañeria de Conducción>

Fig. 6.5 Flow Diagram of Lluta Treatment Plant VI-30
<Diagrama Flujo de Planta Tratamiento del Lluta>

Fig. 6.6 Layout of Lluta Treatment Plant VI-30
<Plano de Planta Tratamiento del Lluta>

Fig. 6.7 Explanation Chart of Demand Curve Type VI-31
<Gráfica de Curva de Demanda>

Fig. 7.1 Outline of Water Supply Facilities for Iquique VII-32
<Basquejo del Facilidad de Abastecimiento de Agua para Iquique>

Fig. 7.2 Water Supply Services Area - Iquique VII-32
<Area del Servicio de Abastecimiento de Agua - Iquique>

Fig. 7.3 Longitudal Profile of Transmission Pipeline
(Canchones-Cavancha-Iquique) VII-33
<Perfil Longitudinal de las cannerias de Transmisión
(Canchones-Cavancha-Iquique)>

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 Iquiqe (desde las Fuentes hasta alto Hospicio)>

Fig. 7.5 Proposed Transmission Pipeline VII-35
<Cañería de Conducción Prospuesta>

Fig. 7.6 Longitudinal Profile of Proposed Transmission VII-36
<Perfil Longitudinal dela Conducción Prospuesta>

Fig. 7.7 Layout of La Tirana Well Field (1st Stage) VII-37
<Distribución de la Batería de Pozos de La Tirana (1ª Etapa)>

Fig. 7.8 Transmission Pump Station in La Tirana Well Field - Plan VII-37
<Planta Elevadora de Conducción Prospuesta en al Baería
de Pozos en La Tirana - Planta>

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 Naciónal 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 Publicas
sp.	: Especies
TDS	: Sólidos disueltos totales
TEM	: Electro-magnetismo transitorio
U.S.A	: Estados Unidos de America

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^2 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 precipitatciones 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^2) y la cuenca del río Lluta (3,378 km^2) para el abastecimiento de agua de la ciudad de Arica, y la cuenca de Pampa del Tamarugal (18,005 km^2) y la Cuenca del Salar del Huasco (1,712 km^2) 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 tranferencia 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 fuerealizado 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 Pricipal, 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^2. 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, incluída 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 estan 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, incluída 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^3/día/m)	Permeabilidad (cm/seg)	Rendimiento Específico (l/s/m)
Cabuza	-	-	5.23
Las Riveras	-	-	7.44
San Miguel	37	9.51×10^{-4}	8.36
Pago de Gomez	1,934	5.83×10^{-2}	2.81
Saucache	1,231	3.73×10^{-2}	3.88
Area urbana	-	-	1.83
Promedio	1,067	3.22×10^{-2}	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^3, con el siguiente detalle:

Zona	Sección	Almacenamiento ($10^6 m^3$)	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)
Agua subterránea		
Arica Municipal	39	730.0
Riego	122	302.0
Individual Doméstico	30	43.0
Industrial	3	4.0
Otros	12	6.4
Agua de manantial		
Riego	5	73.0
Total	211	1,158.4

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 caguas 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_4, Cl y NO_3. Por otra parte, As, B, además de otros elementos, en general son aceptables para uso potable.

ii) Los contenidos de TSD, SO_4, Cl y NO_3 se resumen a continuación.

	TDS	SO_4	Cl	NO_3
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 Permisible	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 excluídos, 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^2. 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 laladera 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_4. La concentración de As, B, Fe, Cl y SO_4 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_4 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, incluídas 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.

2.2.6 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

(1) Generalidades

La ubicación y el tamaño de los acuíferos en el valle del Bajo Lluta se estimaron en base a las pruebas de sondaje de JICA junto con datos previos de sondaje.

La parte principal del acuífero se ubica en los depósitos fluviales que se distribuyen en el valle entre Panamericana y Rosario. La distancia entre Panamericana y Rosario es de aproximadamente 18 km. La pequeña parte restante del acuífero está contenida en la formación Concordia que se distribuye en las áreas aguas abajo de la Panamericana. La distancia entre la Panamericana y la costa es aproximadamente 2 km.

Los depósitos fluviales se dividen en dos (2) unidades, superior e inferior, mediante una fina capa de toba, en el área entre la Panamericana y Chacabuco. No obstante, la capa de toba desaparece en Chacabuco, integrando tanto las unidades superiores como inferiores en el área aguas arriba de Chacabuco. La formación Concordia también se divide en dos (2) unidades, superior e inferior, mediante una fina capa de toba.

El perfil geológico y las secciones transversales del acuífero se muestran en la Fig. 2.10 y la Fig. 2.11.

(2) Acuífero Poco Profundo

El acuífero poco profundo contenido en las unidades superiores de los depósitos fluviales y la formación Concordia no tiene una gran profundidad. Esta profundidad es del orden de los 10 m y los 30 m. Sin embargo, su ancho es considerable, fluctuando entre los 800 y los 1,000 m, en Chacabuco, hasta los 3 - 4 km, en Chacalluta.

(3) Acuífero Profundo

El acuífero profundo contenido en las unidades inferiores de los depósitos fluviales y la formación Concordia se extiende sobre todo el

Valle del Bajo Lluta entre Rosario y la costa. Tanto el espesor como el ancho del acuífero aumentan gradualmente hacia aguas abajo.

El espesor, ancho, nivel superior bajo la superficie de terreno y nivel base sobre el nivel medio del mar del acuífero se resumen a continuación:

Localización	Espesor (m)	Ancho (m)	Nivel Superior (m. BST)	Nivel Base (m. SNM)
Rosario	70	1,000	10	330
Chacabuco	70	800 a 1,000	15	110
Sascapa	50	1,500	30	90
Chuilona	100	2,800 a 3,000	30	-25
Villa Frontera	100	3,000	20 a 25	-80 a -90

Las distribuciones por área y el espesor del acuífero profundo en la parte principal (entre la Panamericana y Rosario) se muestran en la Fig. 2.12.

2) Características Hidrogeológicas de los Acuíferos

(1) Acuífero Poco Profundo

Este acuífero poco profundo es del tipo no-confinado.

No existen datos disponibles respecto a las características hidrogeológicas del acuífero poco profundo. Sin embargo, estas características se consideran similares a las del acuífero profundo debido a la similitud de litofacies entre ambos acuíferos.

El coeficiente de permeabilidad del acuífero se estima aproximadamente en 10^{-3}cm/seg (alrededor de 1 m/día), a juzgar por las pruebas de bombeo JICA en el acuífero profundo.

(2) Acuífero Profundo

Este acuífero profundo es básicamente de tipo confinado. Sin embargo, la capa impermeable subyacente al acuífero es dicontínua en algunos lugares. En tales lugares, el acuífero se vuelve de tipo semi-confinado.

Se considera que el acuífero profundo es recargado por el agua superficial del río Lluta mayormente desde los tramos aguas arriba de

Chacabuco, debido a que está cubierto por una capa impermeable de toba en los tramos aguas abajo de Chacabuco, aunque la capa de toba desaparece en algunos lugares. En estos tramos, el agua superficial recarga sólo el acuífero poco profundo.

Los anteriores supuestos están apoyados por los siguientes hechos:

i) La gradiente de agua subterránea del acuífero profundo es mayor que la del lecho del río de los tramos aguas abajo de Chacabuco.

ii) El contenido de NO_3 del acuífero poco profundo es muy alto comparado con el del acuífero profundo y el agua superficial, de acuerdo con lo indicado a continuación:

Tipo	Promedio (NO_3) (mg/l)
Acuífero poco profundo	9.56
Acuífero profundo	0.78 (promedio de pozos JICA)
Agua superficial	0.21 (Tocontasi / Chapisca)

Esto significaría que el acuífero poco profundo es recargado por el agua superficial contaminada por fertilizantes y que el NO_3 se acumula en el acuífero.

Las constantes hidrogeológicas del acuífero profundo se calculan en base a las pruebas de bombeo de JICA junto con los datos previos, según se indica:

No. Pozo	Rendimiento Específico (l/seg/m)	Transmisibilidad (m^3/día/m)	Capacidad de Almacenamiento	Permeabilidad (cm/seg)
J-1	1.44	368	6.62×10^{-6}	7.01×10^{-3}
J-A	0.24	23	8.54×10^{-4}	6.25×10^{-4}
J-2	0.73	150	6.60×10^{-6}	1.93×10^{-3}
J-B	0.62	310	4.72×10^{-4}	4.98×10^{-3}
100-2	0.36			
101-0	2.60			
102-9	0.99			
103-7	2.70			
104-5	4.26			
Promedio	1.72	213		3.63×10^{3}

Para ver la ubicación de los pozos, remitirse a la Fig. 2.7.

La capacidad de almacenamiento es generalmente pequeña, de 6.60×10^{-6} a 8.54×10^{-4}, con un promedio de 3.35×10^{-4}. Este nivel de capacidad de almacenamiento significa que el acuífero es de tipo confinado.

Los coeficientes de permeabilidad son del orden de 10^{-3} cm/seg, que equivale a valores en acuíferos normales. Sin embargo, este valor es inferior al generalmente esperado en un acuífero de grava. Esto se debe a que la matriz está rellena con materiales finos.

El rendimiento específico cambia según el lugar, fluctuando entre 0.24 l/s/m a 4.26 l/s/m. Esto significa que la productividad del acuífero profundo varía de acuerdo a la ubicación, como se describe a continuación.

(i) El rendimiento específico promedio de los pozos JICA ubicados entre Panamericana y Chacabuco es 0.76 l/s/m, indicando una producción media.

(ii) El rendimiento específico del área de Rosario es reducido.

(iii) El rendimiento específico del área Villa Frontera (aguas abajo de Panamericana) es de 2.64 l/s/m como promedio. Indica una alta productividad

3) Almacenamiento Estimado de Agua Subterránea.

El principal acuífero del valle del Bajo Lluta se extiende desde Rosario hasta la costa. Sin embargo, no se puede esperar un gran desarrollo de agua subterránea en el acuífero de la formación Concordia, distribuido aguas abajo de Panamericana, debido a los efectos de la intrusión marina.

Por consiguiente, el acuífero localizado en el área entre Panamericana y Rosario se considera como el más probable.

El almacenamiento total de agua subterránea se estima en 107 millones de m^3, con el siguiente detalle por zona:

Zona No.	Sección	Almacenamiento ($10^6 m^3$)
1	A-A a B-B	14.5
2	B-B' a C-C'	23.6
3	C-C' a D-D'	23.7
4	D-D' a E-E'	13.8
5	E-E' a F-F'	31.3
Total		106.9

La Fig. 2.7 muestra la ubicación de las secciones.

En relación con el cálculo anterior, la porosidad efectiva del acuífero se estimó en 20%.

2.2.7 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

1) Extracción Existente de Agua Subterránea

La extracción actual de agua subterránea en el valle del Bajo Lluta es reducida. El agua subterránea es extraída sólo de diez (10) pozos y dos (2) manantiales para uso de riego, potable e industrial. Estos se resumen según se indica:

Area	Acuífero Poco Profundo	Acuífero Profundo
Chuilona /Villa Frontera	8 pozos	2 pozos
Poconchile	-	1 vertiente
Bocanegra	-	1 vertiente

2) Nivel del Agua Subterránea

El nivel del agua subterránea del acuífero poco profundo en el área de Villa Frontera es del orden de 5 m a 27 m, dando un promedio de 20 m bajo superficie.

Por otro lado, el nivel del agua subterránea del acuífero profundo que se distribuye desde Panamericana hasta Rosario fluctúa entre los 6 m y los 74 m, con un promedio de 30 m.

3) Calidad del Agua Subterránea

(1) Principales Elementos Contaminantes del Agua

La calidad del agua subterránea tanto de los acuíferos poco profundos como profundos fue analizada por este estudio durante Julio de 1993, Octubre de 1993 y Febrero de 1994.

La calidad del agua excede el límite permisible para uso potable en cuanto a elementos que influyen sobre ella. Tales elementos son: TSD, Na, SO_4, Cl, B y Fe.

El As del agua subterránea se encuentra dentro del límite permisible, a pesar de que el agua superficial del río Lluta está muy contaminada con As.

El contenido de los elementos mayores anteriormente indicados se resume a continuación, comparado con el del agua superficial:

	AguaSubterránea		Agua Superficial	Límite
Elemento	Poco Profunda	Profunda	Tocontasi/Chapisca	Permisible
TSD	3,522	3,452	1,051	1,000
Na	503	529	198.9	200
SO_4	919	852	310	250
Cl	1,110	949	323	250
B	18.94	21.87	10.69	
Fe	0.51	1.53	3.817	0.30
As	0.033	0.029	0.305	0.050

(2) Composición de los Iones Mayores

Los iones principales tales, como: Mg, Ca, Na, SO_4, Cl, HCO_3 y CO_3 presentes en la calidad del agua de los ocho (8) pozos poco profundos y cinco (5) pozos profundos fueron trazados en un diagrama tri-lineal, según se indica en la Fig. 2.13.

La calidad del agua de todos los pozos se sitúa dentro de la misma zona del diagrama tri-lineal al igual que la calidad de agua superficial del río Lluta. Esto significa que el agua de todos los pozos es recargada por el agua superficial del río Lluta.

2.3 Cuenca de Pampa del Tamarugal

2.3.1 Características Generales de la Cuenca

La cuenca de la Pampa del Tamarugal está constituida por la Cordillera de los Andes, Pampa del Tamarugal y Cordillera de la Costa. Abarca un área hidrológicamente cerrada de 18,005 km^2, que limita al este con la Cordillera de los Andes, al oeste con la Cordillea de la Costa, al norte con la cuenca hidrográfica de Quebrada Aroma y al sur con Cerro Gordo. La cota de terreno de la cuenca fluctúa entre los 1,000 m en Pampa del Tamarugal y los 4,000 - 5,000 m en la Cordillera de Los Andes.

Las precipitaciones de la cuenca se concentran en la parte superior de la cordillera y el promedio anual de agua caída de la cuenca aumenta gradualmente de cero, en Pampa del Tamarugal, a 200 mm en las áreas superiores de la cordillera.

Los ríos que se originan en la Cordillera de los Andes recargan el agua subterránea de Pampa del Tamarugal. No fluye agua a través del límite. Los principales ríos que recargan el agua subterránea son: Quebrada Aroma, Quebrada Tarapacá, Quebrada Quipisca, Quebrada Sagasca (Juan Morales), Quebrada Quisma, Quebrada Chacarilla y Quebrada Ramada.

El sector más bajo de la cuenca lo constituye el Salar de Bellavista. Toda el agua subterránea recargada desciende hacia el Salar de Bellavista.

El agua superficial de algunos de los ríos anteriormente indicados se extrae con fines de riego de 275 ha del valle. El agua subterránea de Pampa del Tamarugal es bombeada para uso potable de la ciudad de Iquique y siete (7) poblados locales; para uso de riego de 305 ha y para cuatro (4) minas.

El sistema de la cuenca se muestra en la Fig. 2.14.

2.3.2 Agua Superficial

1) Caudal Superficial

El caudal superficial de Pampa del Tamarugal se observa sólo en el río Tarapacá. No existen datos de flujo disponibles de los otros ríos.

El caudal superficial estacional promedio en Mina San Juan del río Tarapacá es el siguiente:

Caudal (l/s)	Ene.-Mar.	Abr.-Jun.	Jul.-Sep.	Oct.-Dic.	Promedio
	394	295	321	200	303

Para obtener el caudal mensual, remitirse al Informe Complementario A, Tabla A, 3.2.

El caudal superficial promedio anual de los siete (7) principales ríos anteriormente indicados se calcula a partir de las precipitaciones promedio anuales de cada cuenca hidrográfica multiplicado por el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía de la cuenca hidrográfica en general aumenta de acuerdo con el incremento de las precipitaciones. La relación entre precipitaciones promedio anuales y coeficiente de escorrentía en esta área de estudio se calcula en base al caudal promedio observado en diversas estaciones de los ríos del área de estudio y sus inmediaciones: Lluta, San José, Vitor, Camarones, Tara, Tarapacá Chacarilla y Loa. Este coeficiente es el siguiente.

$$R = 1{,}423.17f + 23.52$$

donde,

R: Precipitaciones promedio anuales de la cuenca hidrográfica

f: Coeficiente de escorrentía

Para obtener detalles, remitirse al Informe Suplementario A, Capítulo V.

La relación indicada se aplica para calcular los caudales superficiales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Los resultados se resumen a continuación:

	Cuenca Hidro-gráfica (km^2)	Precipitaciones Promedio Anuales(mm)	Coeficiente de Escorrentía	Caudal (l/s) Promedio Anual
Aroma	1,746	102	0.055	310
Tarapacá	1,716	104	0.056	318
Quipisca	846	82	0.041	89
Sagasca	971	71	0.033	72
Quisma	298	70	0.032	21
Chacarilla	1,221	89	0.046	159
Ramada	244	49	0.016	7
Total	7,042			976

Esta escorrentía total de 976 l/s de los siete (7) ríos se considera como la cantidad de recarga de agua subterránea en la Pampa del Tamarugal.

2) Calidad del Agua Superficial

La calidad del agua superficial de la Pampa del Tamarugal ha sido observada por la DGA, sólo en lo que respecta a la cuenca del río Tarapacá. Por consiguiente, este estudio condujo una observación adicional de la calidad de agua, en Octubre de 1993, en los ríos Aroma, Tarapacá, Quipisca y Sagasca.

La calidad del agua superficial de la Pampa del Tamarugal se caracteriza por lo siguiente:

(1) El río Aroma está muy contaminado con As, B y Cl.

(2) El río Tarapacá está relativamente limpio, excepto por el B.

(3) El río Quipisca está contaminado con Mn y Al.

(4) El río Sagasca está muy contaminado por las actividades mineras. Posee una gran concentración de As, Cd, F, P_b, SO_4, Zn, Al, Cu, Fe y Mn.

La contaminación del agua de estos ríos se resume como sigue:

(Unidad = mg/l)

	Aroma	Tarapacá	Quipisca	Sagasca	Límite Permisible
As	1,764			0.176	0.05
Cd				0.050	0.005
F				5.10	1.50
Pb				2.00	0.05
Cl	1,472				250
SO4				4.035	400
Zn				16.00	5.00
Al			2.5	190.00	0.20
Cu				35.80	1.00
Fe				956.0	0.30
Mn			0.48	727.0	0.10
B	22.87	6.60			

2.3.3 Hidrogeología de Pampa del Tamarugal

La geología de Pampa del Tamarugal se clasifica en las siguientes tres (3) unidades desde el punto de vista hidrogeológico.

(1) Sedimentos recientes
(2) Formación Altos de Pica
(3) Rocas del basamento

La Pampa del Tamarugal constituye una cuenca cerrada denominada "Depresión Intermedia". Está rellena con sedimentos recientes y la formación Altos de Pica.

Los sedimentos recientes, que consisten en depósitos aluviales, depósitos eólicos y depósitos de abanico cubren el extremo superior de la cuenca. Por otra lado, la mayor parte de ésta la rellena la formación Altos de Pica, que consiste en grava, arena y lodo.

Las rocas del basamento las compone principalmente la formación Longacho (formación Mesozóica).

La Fig. 2.15 muestra el mapa geológico de Pampa del Tamarugal.

Los principales acuíferos se encuentran en la formación Altos de Pica. Esta formación se distribuye sobre toda la Pampa del Tamarugal. El espesor de la formación es inferior a 100 m en la franja norte de la cuenca. Sin embargo, aumenta hacia el sur, alcanzando 700 m en Salar de Pintados, ubicado en la parte sur de la cuenca.

En el área de Pica, la formación Altos de Pica se encuentra densamente depositada en el lado oriental de la elevación de rocas del basamento. El agua subterránea que fluye hacia la formación Altos de Pica se acumula y aparece como manantial. Similares condiciones hidrogeológicas se identifican en las áreas ubicadas a lo largo del borde oriental de la cuenca (Depresión Intermedia). Para obtener detalles, remitirse al Informe Suplementario B-III, 1.2.3.

2.3.4 Estudio Geológico

En este estudio se efectuaron estudios electromagnéticos y pruebas de sondaje que abarcaron toda el área de Pampa del Tamarugal, para complementar los datos geológicos existentes.

1) Estudios Electromagnéticos (TEM)

Se efectuaron estudios TEM en 100 estaciones ubicadas en ocho (8) líneas de estudio. La ubicación de las líneas de estudio y estaciones se muestran en la Fig. 2.16.

Se prepararon perfiles geo-eléctricos a lo largo de las ocho (8) líneas de estudio en base a curvas de resistividad aparente en las respectivas estaciones. Estos se muestran en la Fig. 2.17.

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

Capa	Espesor (m)	Resistividad (ohm-m)
Primera Capa	10 - 120	28 - 1,400
Segunda Capa	20 - 400	10 - 50
Tercera Capa	>50	<10
Cuarta Capa		>100

La segunda capa se considera como probable acuífero.

2) Pruebas de Sondaje

Se perforaron once (11) pozos, que incluyen cuatro (4) pozos de prueba (J-C a J-F), y siete (7) pozos de observación (J-3 a J-9), en toda el área de la Pampa del Tamarugal. La ubicación de los pozos se estableció en las líneas del estudio TEM en principio, según se indica en la Fig. 2.16.

Los resultados de las pruebas de sondaje se resumen en la Tabla 2.5. Esta tabla muestra la profundidad perforada, dimensiones de la tubería de entubado y colado, además de las características geológicas de los acuíferos identificados y el registro de resistividad en el pozo, comparado con el del estudio TEM. Para obtener las columnas estratigráficas de los 11 pozos, remitirse a la Fig. 2.19 y Fig. 2.20.

Además, en estos 11 pozos se efectuaron pruebas de bombeo que incluyen pruebas de gasto variable, pruebas de gasto constante y pruebas de recuperación.

Los resultados de las pruebas de bombeo se resumen en la Tabla 2.6. Esta tabla indica los datos de bombeo por prueba constante, constantes de acuífero y capacidad del pozo.

2.3.5 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

La ubicación y el tamaño de los acuíferos se calcularon en base a las once (11) pruebas de sondaje de JICA y tres (3) pruebas de sondaje de ENAP.

Los perfiles geológicos y secciones transversales de los acuíferos se muestran en la Fig. 2.19 y Fig. 2.20, respectivamente. Para obtener su ubicación, remitirse a la Fig. 2.18.

Los acuíferos se ubican en la formación Altos de Pica. Esta comprende las unidades Q_1, Q_2, Q_3 y Q_4. Los acuíferos aparecen en las unidades Q_3 y Q_4. Debajo de estas unidades se extienden gruesas capas arcillosas impermeables de la unidad Q_2.

La unidad Q_4 que consiste en arena y grava con barro se distribuye sobre toda el área de acuíferos. Por otro lado, la unidad Q_3 que consiste en arena y grava se limita al área desde Huara hasta el Salar de Bellavista. No se identifican capas impermeables entre las unidades Q_3 y Q_4.

El área de acuíferos está circundada por los siguientes límites:

Al norte: Cuenca hidrográfica del río Aroma

Al sur : Cerro Gordo

Al este : Falda de Los Andes. Este límite está formado por las fallas que corren por el oeste de Pica y Tarapacá.

Al oeste: Borde oriental de la Cordillera de la Costa. Este borde está formado por fallas.

Para obtener la ubicación del área de acufferos, remitirse a la Fig. 2.21.

La extensión del acuífero en dirección norte-sur es de aproximadamente 130 km. Por otra parte, el ancho en dirección este-oeste es 13 km a 46 km, dando como promedio 30 km.

El espesor de los acuíferos aumenta hacia el sur, desde aproximadamente 80 m en la franja norte hasta 200 m en Salar de Pintados.

El espesor, ancho y nivel de los acuíferos se resume a continuación:

Area	Espesor (m)	Ancho (km)	Nivel Superior* (m. BST)	Nivel Base* (m. BST)
Zapiga/Dolores	80	13 - 17	10	90
Negreiros	70	15	20	90
Huara	60	15 - 19	50	110
Humberstone	155	27	30 - 40	180 - 200
Pozo Almonte	225	26	20 - 30	240 - 260
Pintados	200	30 - 37	10 - 30	220
Bellavista	110	30 - 46	10 - 60	120 - 170

* Nivel Bajo la Superficie de Terreno

2) Características Hidrogeológicas de los Acuífero

Los acuíferos de la Pampa del Tamarugal se ubican en las unidades Q3 y Q4 de la formación Altos de Pica. Q3 consiste en arena y grava. Q4 está compuesto de arena y grava que se mezclan con barro en algunas partes, intercaladas con capas de barro.

Q3 y Q4 se consideran hidráulicamente como un (1) cuerpo, aún cuando sus composiciones geológicas son distintas. No se identificaron capas impermeables entre Q3 y Q4.

Las características hidrogeológicas de los acuíferos, incluído el rendimiento específico, transmisibilidad y permeabilidad, están evaluadas en base a las pruebas de bombeo de JICA junto con las pruebas de bombeo anteriores.

Los resultados de las pruebas de bombeo de JICA por área se resumen a continuación:

Area	Pozo No.	Gasto Específico (l/seg/m)	Transmisibilidad (m^3/día/m)	Permeabilida (cm/seg)
Dolores	J-3	0.73	113.81	2.20×10^{-3}
Negreiros	J-4	2.22	271.08	5.22×10^{-3}
Huara	J-C	0.09	8.29	1.23×10^{-4}
	J-D	3.47	1506.17	1.81×10^{-2}
Pozo Almonte	J-5	8.33	769.61	8.23×10^{-3}
	J-E	6.77	644.33	7.31×10^{-3}
Canchones	J-6	0.26	21.63	3.20×10^{-4}
	J-7	2.72	383.83	5.30×10^{-3}
Pintados	J-8	2.18	376.27	5.18×10^{-3}
Bellavista	J-9	1.92	266.06	3.54×10^{-3}
	J-F	1.65	86.81	9.57×10^{-4}
Promedio		2.76	404.35	5.13×10^{-3}

Los resultados de las pruebas de bombeo anteriores se resumen en la Tabla 2.7.

El gasto específico y la transmisibilidad de ambas pruebas son coincidentes. El gasto específico promedio y la transmisibilidad de toda el área de acuíferos de dos (2) pruebas de bombeo están comparados según se indica:

	Gasto Específico Promedio (l/s/m)	Transmisibilidad Promedio (m^3/día/m)
Prueba JICA	2.76	404
Prueba Anterior	2.27	547

Sin embargo, la permeabilidad de las dos pruebas de bombeo son bastante diferentes.

En este informe, el gasto específico promedio y la transmisibilidad de cada área de acuíferos se calcularon promediando todos los datos de las dos (2) pruebas de bombeo. Sin embargo, la permeabilidad promedio de cada área de acuíferos está calculada en base a las pruebas de bombeo de JICA, considerando la confiabilidad de los datos.

Los resultados se resumen a continuación:

Area de Acuíferos	Rendimiento Específico (l/s/m)	Transmisibilidad (m^3/d/m)	Permeabilidad (cm/s)
Zapiga/Dolores/Negreiros	0.94	202	4×10^{-3}
Huara	2.91	702	9×10^{-3}
Pozo Almonte/Canchones/Pintados	3.41	826	5×10^{-3}
Oficina Victoria / Bellavista	1.46	205	2×10^{-3}
Area Completa	2.37	502	5×10^{-3}

3) Almacenamiento Estimado de Agua Subterránea

El almacenamiento total de agua subterránea de los acuíferos en la Pampa del Tamarugal se estima en 26,900 millones de m^3, con el siguiente detalle por zona:

Zona	Sección Geológica	Almacenamiento ($10^6 m^3$)	Comunidades Incluídas
1	A-A' a B-B'	3,638	
2	B-B' a C-C'	886	Dolores, Negreiros
3	C-C' a D-D'	867	
4	D-D' a E-E'	1,057	Huara
5	E-E' a F-F'	2,077	Baquedano, Humberstone
6	F-F' a G-G'	1,116	Pozo Almonte
7	G-G' a H-H'	2,031	
8	H-H' a I-I'	4,405	La Tirana, Huayca
9	I-I' a J-J'	2,373	Canchones
10	J-J' a K-K'	3,411	Pintados
11	K-K' a L-L'	3,398	Oficina Victoria
12	L-L' hasta el extremo sur	1,624	Cerro Gordo
Total		26,908	

En este cálculo, la porosidad efectiva de los acuíferos se supone en 30%.

Para obtener la ubicación de las secciones indicadas, remitirse a la Fig. 2.18.

2.3.6 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

1) Extracción del Agua Subterránea Existente

La extracción del agua subterránea existente en los acuíferos de la Pampa del Tamarugal se calculó en base a entrevistas a los usuarios, las cuales se condujeron en este estudio. Los resultados se resumen a continuación:

Uso de Agua	Cantidad Extraída (l/s)
Uso Doméstico	600.24*
Uso para Regadío	0.35
Uso para Minería	35.00
Total	696.00

* Incluye el uso en asentamientos militares.

La cantidad indicada anteriormente excluye la extracción de agua subterránea en el área de Pica y Matilla y los valles aguas arriba, que se ubican fuera de los acuíferos de la Pampa del Tamarugal.

2) Nivel del Agua Subterránea Existente

Desde 1981, la DGA ha observado en forma periódica el nivel estático del agua subterránea en aproximadamente 40 pozos de la Pampa del Tamarugal. Además de esto, este estudio observó desde Octubre a Noviembre de 1993 el nivel estático del agua de 160 pozos.

(1) Profundidad del nivel del agua (m, BST): nivel del agua bajo la superficie de terreno.

El mapa de niveles de agua subterránea, con la profundidad del nivel del agua se muestra en la Fig.2.22.

La profundidad es reducida desde la parte central a la occidental de los acuíferos, especialmente en Salar de Pintados y Salar de Bellavista. La profundidad aumenta hacia el este ya que la parte oriental de los acuíferos está cubierta por densos depósitos de abanico.

La profundidad del nivel del agua por región se resume como sigue:

Región	Profundidad del Nivel del Agua (m.BNT)
Zapiga, Dolores y Negreiros	10 - 50 m
Huara hasta Pozo Almonte	20 - 50 m
Salar de Pintados	10 m
Salar de Bellavista	< 15 m

(2) Nivel del Agua (m SNM): nivel del agua sobre el nivel medio del mar.

El nivel del agua de los acuíferos se reduce gradualmente hacia el sur, de 1,150 m SNM en Zapiga a 909 m SNM en el Salar de Bellavista. El gradiente del nivel del agua es aproximadamente 2/1000.

El cambio histórico del nivel del agua es muy pequeño. El descenso promedio del nivel del agua de toda el área de acuíferos durante el período de 1985 a 1993 no superó los 0.6 m, equivalente a 0.07 m/año.

No se perciben cambios estacionales en el nivel del agua.

La extracción del agua subterránea existente en Canchones no provoca un descenso significativo del nivel del agua en las áreas circundantes.

El nivel del agua subterránea en el área de Pica es aproximadamente 60 m superior al de las áreas bajas de la Pampa. Esto se debe a que el acuífero del área de Pica es independiente del de las áreas planas de la Pampa.

(3) Calidad del Agua

No existe diferencia entre pozo poco profundo y pozo profundo en cuanto a calidad del agua, excepto por las áreas de Salar de Pintados y Salar de Bellavista. De este modo, los datos sobre la calidad del agua de los pozos profundos y poco profundos se tratan de manera conjunta.

El agua subterránea en algunas áreas de la Pampa del Tamarugal está contaminada con TSD, Cl, As, Mn, Fe y Cd. Las áreas con agua contaminada están delineadas según se indica en las Fig. 2.23 (1) a Fig. 2.23 (7).

Se han adoptado las siguientes normas de calidad del agua potable, como criterio para la delineación de las áreas con agua contaminada.

TSD: 1,000 mg/l, Cl: 250 mg/l, As: 0.05 mg/l, Mn: 0.1 mg/l, Fe: 0.3 mg/l, Cd: 0.01 mg/l.

No existe una norma para el boro en estos momentos. En este informe, se adoptan 5 mg/l, considerando que se permite esta cantidad en el abastecimiento de agua de Antofagasta.

En general, el agua subterránea de la parte occidental de los acuíferos está contaminada, especialmente en las áreas aguas abajo de los ríos Aroma y Tarapacá, y en las áreas del Salar de Pintados y Salar de Bellavista.

La calidad del agua subterránea en las áreas aguas abajo del río Sagasca es buena aunque el agua de río está muy contaminada por las aguas residuales de las actividades mineras.

Sin embargo, el tratamiento del Mn y Fe es en general técnica y financieramente fácil. Por lo tanto, el área de acuíferos potencial para el desarrollo de agua potable puede ser delineada como se muestra en la Fig. 2.23 (8) ignorando la limitación de Mn y Fe.

2.4 Salar del Huasco

2.4.1 Características Generales de la Cuenca

La cuenca abarca un área de drenaje cerrada de 1,712 km^2. El agua es recolectada por el río Collacagua que se origina en la Cordillera de los Andes con una altura de 4,000 m a 5,000 m. Las precipitaciones de la cuenca varían de acuerdo a su altura. Las precipitaciones promedio anuales fluctúan entre los 100 mm en el área de la laguna del Huasco y los 250 mm en las áreas superiores de la cordillera. Toda el agua superficial se infiltra bajo el suelo recargando el agua subterránea del Salar del Huasco. No fluye agua desde la cuenca al exterior.

El Salar del Huasco está ubicado a una altura de aproximadamente 3,800 m. Abarca un área total de 29 km^2, de la cual el área del agua superficial, en Diciembre de 1993, era de 2 km^2. Los 27 km^2 restantes corresponden a áreas pantanosas. La profundidad del agua del Salar (laguna) es inferior a 20 cm.

No existe uso de agua en la cuenca.

Para ubicación de la cuenca, remitirse a la Fig. 2.14.

2.4.2 Agua Superficial

1) Escorrentía Superficial

Las precipitaciones anuales de la cuenca fluctúan entre 100 mm el el área de la laguna y 250 mm en los puntos superiores de la cordillera, dando como promedio, 158 mm. El coeficiente de escorrentía de la cuenca se calcula en 0.094, en base a la fórmula establecida en la Sección 2.3.2.

De este modo, la escorrentía promedio anual de la cuenca se estima en 25,513 x $10^3 m^3$/año (= 809 l/s). Esto se considera como la cantidad de recarga de agua subterránea de la cuenca.

2) Calidad del Agua Superficial

La calidad del agua del río Collacagua es buena excepto por los elementos As y Fe. La concentración de As y Fe se muestra a continuación:

	As (mg/l)	Fe (mg/l)
Calidad del Agua Observada	0.103	2.856
Límite Permisible	0.05	0.30

2.4.3 Hidrogeología del Salar del Huasco

La geología de la cuenca del Salar del Huasco se clasifica en cinco (5) unidades, como se describe a continuación:

1) Depósitos Recientes

Los depósitos recientes corresponden a finos sedimentos consolidados, que consisten en depósitos de abanico, depósitos eólicos, y depósitos aluviales. La permeabilidad de los depósitos es en general baja debido a que los depósitos contienen abundante arcilla, limo y ceniza volcánica de grano fino.

2) Formación Pastillos

La formación Pastillos se divide en una unidad superior y una inferior. La unidad inferior está compuesta de ceniza volcánica escasamente soldada y depósitos de flujos de barro que contienen abundante lapilli y pumita. La unidad superior está compuesta de toba dacítica intercalada con limolita y diatomita. También está débilmente soldada.

La permeabilidad de la formación es baja.

3) Rocas Volcánicas

Las rocas volcánicas se componen de flujos de lava andesítica y dacítica, además de rocas piroclásticas que forman estrato volcanes y domos de lava. Las fracturas y fisuras se encuentran bien desarrolladas en las rocas. No obstante, las rocas volcánicas no contienen acuíferos significativos.

4) Formación Collacagua

La formación Collacagua está compuesta de depósitos aluviales de grano grueso, de gran permeabilidad. Se divide en tres (3) unidades: superior, media e inferior. Las unidades superior y media son bastante permeables. Sin embargo, la inferior es relativamente menos permeable ya que ocasionalmente contiene piroclastos y es en general compacta.

5) Ignimbrita Huasco

Las fracturas y fisuras están bien desarrolladas en las rocas. Se considera permeable hasta cierto punto. Sin embargo, a menudo es difícil alcanzar el acuífero mediante perforación.

A partir de las discusiones y consideraciones anteriores, se concluye que sólo en la formación Collacagua existen acuíferos promisorios.

La Fig. 2.24 muestra un mapa geológico del Salar del Huasco.

2.4.4 Estudio Geológico

En este estudio se condujeron estudios electromagnéticos y pruebas de sondaje en las planicies que se extienden sobre los cursos inferiores del río Collacagua, para complementar los datos geológicos existentes.

1) Estudios Electromagnéticos (TEM)

Se efectuaron estudios TEM en cinco (5) estaciones establecidas en una (1) línea de análisis. La ubicación de la línea de estudio y las estaciones se muestran en la Fig. 2.24.

El perfil geo-eléctrico a través de la línea de estudio se preparó en base a las curvas de resistividad aparente en las estaciones respectivas. Esto se muestra en la Fig. 2.24.

La geología del área de estudio se clasifica en seis (6) capas en términos de resistividad aparente. La resistividad de cada capa es la siguiente:

Capa	Resistividad (ohm-m)	Capa	Resistividad (ohm-m)
1ra. capa	> 350	4ta. capa	11 - 12
2da. capa	55 - 90	5ta. capa	14 - 42
3ra. capa	190	6ta. capa	3 - 7

La segunda, cuarta y quinta capas se consideran acuíferos esperados.

2) Pruebas de Sondaje

Se perforó un (1) pozo de prueba (J-G) y un (1) pozo de observación (J-10) en los puntos indicados en la Fig. 2.24.

Los resultados de las pruebas de sondaje se resumen en la Tabla 2.8. Esta tabla muestra la profundidad perforada, dimensiones de la tubería de entubado y colado, además de 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 (2) pozos indicados, remitirse a la Fig. 2.25 y Fig. 2.26.

Además, en estos dos (2) pozos se realizaron pruebas de bombeo, incluídas pruebas de descenso, pruebas de gasto constante y pruebas de recuperación.

Los resultados de las pruebas de bombeo se resumen en la Tabla 2.9. La tabla indica datos de bombeo por prueba constante, constantes de aquífero y capacidad del pozo

2.4.5 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

La ubicación y tamaño de los acuíferos del Salar del Huasco se calcularon en base a las pruebas de sondaje de JICA junto con datos anteriores.

Los acuíferos que existen en la formación Collacagua se extienden desde la franja sur del Salar hacia el norte hasta aproximadamente 6 km al norte de Peña Blanca. Están rodeados de rocas volcánicas cuaternarias a terciarias al norte y al sur, y por fallas al este y al oeste. La distancia en dirección norte-sur es 30 km. El ancho en dirección este-oeste disminuye hacia el norte. El área total es de aproximadamente 190 km^2.

Sin embargo, el acuífero en el área del Salar no puede dearrollarse debido a problemas ambientales y de calidad del agua. Por lo tanto, los acuíferos, sin considerar los del área del Salar, se consideran comoprometedores. La longitud es de 20 km y el ancho es de 4.5 a 7.0 km. De este modo, el área de acuíferos prospectados alcanza a 126 km^2. Para obtener la ubicación de los acufferos prospectados, remitirse a la Fig. 2.24.

El perfil geológico y las secciones transversales de los acuíferos se muestran en la Fig. 2.25 y Fig. 2.26.

El espesor de los acuíferos prospectados aumenta hacia el sur, de 130 m en el extremo norte, a 210 m en el extremo sur, dando como promedio 170 m.

2) Características Hidrogeológicas de los Acuíferos

Los acuíferos prospectados están compuestos principalmente de grava intercalada con barro, además de costras de sal y cal. Las constantes del acuífero, incluídos el rendimiento específico, transmisibilidad y permeabilidad se calculan en base a las pruebas de bombeo de JICA.

Las constantes promedio de los acuíferos se calculan como sigue:

Gasto Específico : 0.99 l/sec/m Transmisibilidad : 174 m^3/día/m
Permeabilidad : 2.60×10^{-3} cm/seg

El gasto específico y la transmisibilidad señalados indican un valor normal. Sin embargo, la permeabilidad es algo inferior a la usualmente esperada en las capas de arena y grava.

3) Almacenamiento Estimado del Agua Subterránea

El almacenamiento total de agua subterránea en los acuíferos prospectados se estima en 465 millones de m^3. En este cálculo, la porosidad efectiva de los acuíferos se supuso en 30% como promedio. Este almacenamiento excluye los acuíferos del área del Salar.

2.4.6 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

1) Nivel de Agua Subterránea Existente

El nivel de agua subterránea existente es reducido. La profundidad de este nivel, medida desde la superficie de terreno se encuentra en el orden de 6.0 y 27.0 m, dando como promedio 16.0 m.

2) Calidad del Agua Subterránea

Se realizó un análisis de la calidad del agua en dos (2) pozos JICA y dos (2) vertientes existentes en el área de la franja del Salar. La Fig.2.24 indica la ubicación de los pozos JICA y el Informe Suplementario B, Fig. B-IV, 1.1, la ubicación de los manantiales.

La calidad del agua en general es buena. El contenido de todos los elementos que afectan la calidad del agua, a excepción del Mn, Fe y As, está dentro de las normas de agua potable.

Mn es de 0.61 - 1.40 mg/l, alrededor de 10 veces el valor estándar (0.10 mg/l).

Fe es de 4.30 - 18.00 mg/l, bastante considerable comparado con el valor estándar de 0.30 mg/l.

Se observó una gran concentración de As (0.460 mg/l) en un (1) pozo JICA (J-10). Esto equivale a casi diez veces el valor estándar (0.050 mg/l). El As en todas las otras ubicaciones no supera el valor estándar.

Tabla 2.1 Surface Water Quality (Lluta Valley)

<Calidad de Agua Superficial (Valle de Lluta)>

River	Location	As (mg/l)	B (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl (mg/l)	SO_4 (mg/l)	pH
Caracarani	Huamapalca	0.120	3.23	1.17	165	285	7.80
Azufre	Huamapalca	1.246	19.05	61.94	1,377	2,111	2.11
Caracarani	Alcerreca	0.140	5.81	4.79	219	305	5.72
Colpitas	Alcerreca	0.465	21.55	1.41	545	223	7.53
Lluta	Alcerreca	0.209	9.85	4.83	309	284	6.28
Lluta	Tocontasi	0.305	10.69	3.82	323	310	6.89
Lluta	Poconchile	0.173	11.17	----	411	373	7.05
Lluta	Panamericana	0.124	16.84	2.37	704	751	7.43
Permissible Limit		0.05		0.30	250	250	6.0-8.5

Tabla 2.2 Surface Water Quality (Upstream Tributaries) (Observed in June, 1993)

<Calidad de Agua Tributarios (Curso Superior) (Observado en Jun 1993)>

River	Flow Rate		As		B		Fe	
	(l/s)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)<3	(mg/l)	(%)
Caracarani	394	28.2	0.085	5.2	2.30	6.3	0.26	1.2
Azufre	76	5.4	4.308	51.1	25.72	13.5	82.24	75.0
East Tributaries	334	23.9	0.112	5.8	0.23	0.5	2.75	11.0
Cascavillane	(82)	(5.8)	(0.421)	(5.4)	(0.48)	(0.3)	(10.30)	(10.1)
Others <1	(252)	(18.1)	(0.012)	(0.4)	(0.15)	(0.2)	(0.30)	(0.9)
Colpitas	231	16.6	0.981	35.3	13.28	21.2	2.38	6.6
Upper Colpitas	(211)	(15.1)	(1.058)	(34.8)	(14.10)	(20.6)	(2.54)	(6.4)
Upper Allane	(20)	(1.4)	(0.175)	(0.5)	(4.74)	(0.6)	(0.74)	(0.2)
Putre & Others <2	360	25.8	0.045	2.6	1.22	3.0	1.43	6.2
Total / Average	1,395	100.0	0.460	100.0	4.77	43.5	6.19	100.0
Lluta (at Chapisca)	1,184		0.270		12.22	100.0	2.55	
Permissible Limit			0.05				0.30	

Note: <1 Others: Teleschuno, Guancarane and Chuquiananta

<2 Others: Aroma and Socoroma

<3 B (%) : Percentage to Lluta (at Chapisca)

Average : Weighted average of all tributaries

Tabla 2.3 Result of Boring Test (Lower Lluta Valley)

< Resultado de Perforación (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

Well No.	Bore hole Depth (m)	Casing Pipe		Screen Pipe		Geological Conditions of Aquifer			Geophysical Characteristics of Aquifer			
									Well Logging			TEM
		Size (inches)	Total Length (m)	Position (m)	Total Length (m)	Lithology	Formation	Period	Spontaneous Potential (mv)	Resistivity (ohm-m)	Gamma Ray (cps)	Resistivity (ohm-m)
J-A	150	8-5/8"	108.01	59.93 to 101.98	42.05	Sand, Sandy to clayey gravel	Fluvial Deposit	Quaternary	985-1025	15-30	50-70	12-26
J-B	200.4	8-5/8"	126.00	60.05 to 90.10	72.12	Clayey gravel, Sand	Fluvial Deposit	Quaternary	-8.2 to -8.4	15-30	25-50	17-26
				102.10 to 144.17		Fissured Ignimbrite	Oxaya Formation	Tertiary	-8.3 to -8.4	15-30	35-75	17-26
J-1	145	5-1/2"	85.00	31.00 to 91.00	60.00	Gravel, Sandy gravel	Fluvial Deposit	Quaternary	925-935	22-32	50-110	11-23
J-2	225	5-1/2"	136.00	64.02 to 154.01	89.99	Silty to sandy gravel	Fluvial Deposit	Quaternary	1060-1100	20-30	50-100	17-30

Tabla 2.4 Result of Pumping Test (Lower Lluta Valley)

< Resultado de Prueba de Bombeo (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

Well No.	Pumping Data (from Constant Test)					Aquifer Constants			Well Capacity	
	Static Water Level (m)	Pumping Rate (l/s)	Dynamic Water Level (m)	Drawdown (m)	Specific Yield (l/s/m)	Transmissibility (m3/d/m)	Storage Coefficient	Permeability (cm/sec)	Critical Discharge (l/s)	Safe Yield (l/s)
J-A	9.82	15.30	74.51	64.69	0.24	22.72	8.54E-04	6.25E-04	15.30	7.50
J-B	34.56	18.90	65.19	30.63	0.62	310.44	4.72E-04	4.98E-03	20.30	13.00
J-1	21.69	4.40	24.75	3.06	1.44	368.06	6.62E-06	7.01E-03	4.40<	2.25
J-2	35.02	4.92	41.78	6.76	0.73	149.69	6.60E-06	1.93E-03	3.85	2.25

Tabla 2.5 (1) Result of Boring Test (Pampa del Tamarugal)

< Resultado de Prueba de Sondaje (Pampa del Tamarugal) >

Sheet No.1

Well No.	Bore hole Depth (m)	Casing Pipe		Screen Pipe		Geological Conditions of Aquifer			Geophysical Data	
		Size (inches)	Total Length (m)	Position (m)	Total Length (m)	Lithology	Altos de Pica Formation	Period	Well Logging Resistivity (ohm-m)	TEM Resistivity (ohm-m)
J-C	209	8-5/8"	131.99	43.01-73.01 79.01-97.02 163.02-192.99	78.01	clayey gravel, clayey sand sandy clay	Q4 Q4 Q2	Quaternary	10 - 20 10 - 30 10 - 30	13 - 23 13 - 23 13 - 23
J-D	210	8-5/8"	114.00	53.89-59.91 71.91-89.93 101.94-150.00 156.00-162.00 174.00-180.01 186.01-198.02	96.12	clayey gravel clayey gravel clayey gravel clayey gravel clayey gravel clayey gravel	Q4 Q4 Q3 Q3 Q2 Q2	Quaternary	10 - 20 10 - 20 10 - 25 15 - 25 15 - 20 7 - 15	7.9 -14 7.9 -14 7.9 -14 7.9 -14 7.9 -14 7.9 -14
J-E	250	8-5/8"	149.93	76.05-94.06 106.60-118.00 124.00-136.02 148.00-154.03 160.03-172.05 184.04-202.06 208.06-220.08 232.08-244.09	102.07 1.00	gravely clay gravely clay clayey gravel clayey gravel clayey gravel clayey gravel gravel clayey gravel	Q4 Q3 Q3 Q3 Q3 Q3 Q3 Q3	Quaternary	10 - 20 10 - 20 10 - 20 10 - 20 10 - 25 12 - 30 15 - 25 15 - 30	9.1 - 19 9.1 - 19 9.1 - 19 9.1 - 19 9.1 - 19 9.1 - 19 9.1 - 19 9.1 - 19
J-F	224	8-5/8"	119.85	52.98-73.98 91.96-97.96 103.96-133.96 145.99-158.00 163.99-169.99 182.00-194.00 200.03-218.03	105.01	gravely clay clayey sand gravely clay clayey sand sand sandy clay sandy clay	Q4 Q4 Q3 Q3 Q2 Q2 Q2	Quaternary	20 - 70 15 - 28 12 - 30 8 - 20 8 - 20 8 - 20 8 - 20	7.3 - 16 7.3 - 16 7.3 - 16 7.3 - 16 3.8 - 6.6 3.8 - 6.6 3.8 - 6.6
J-3	150	5-1/2"	92.74	45.61-81.53 87.57-99.53 132.83-144.83	59.86	sandy clay sandy clay sandy clay	Q4 Q4 Q2	Quaternary	20 - 40 10 - 30 15 - 31	- - -
J-4	150	5-1/2"	91.62	43.75-73.59 79.61-85.61 97.67-115.72 138.92-144.94	60.09	gravel clayey gravel clayey gravel conglomerate	Q4 Q4 Q2 Q2	Quaternary	10 - 40 10 - 20 10 - 20 15 - 25	52 - 70 52 - 70 52 - 70 52 - 70

Tabla 2.5 (2) Result of Boring Test (Pampa del Tamarugal)

< Resultado de Prueba de Sondaje (Pampa del Tamarugal) >

Sheet No.2

Well No.	Bore hole Depth (m)	Casing Pipe		Screen Pipe		Geological Conditions of Aquifer			Geophysical Data	
		Size (inches)	Total Length (m)	Position (m)	Total Length (m)	Lithology	Formation	Period	Well Logging Resistivity (ohm-m)	TEM Resistivity (ohm-m)
J-5	300	5-1/2"	193.35	103.12-109.13	108.29	clayey gravel	Q4	Quaternary	10 - 20	10 -17
				121.19-145.28		clayey gravel	Q4		10 - 30	10 - 17
				168.46-174.48		clayey gravel	Q3		15 - 30	10 - 17
				186.55-198.58		gravel	Q3		10 - 25	10 - 17
				204.61-246.71		clayey gravel	Q3		13 - 30	10 - 17
				264.82-282.46		sandy clay	Q2		10 - 20	0.1 - 7.5
J-6	200	5-1/2"	126.63	49.54-73.57	78.10	sandy gravel	Q4	Quaternary	25 - 40	10 - 19
				91.66-103.69		sandy gravel	Q3		30 - 35	10 - 19
				115.75-127.72		sandy gravel	Q3		30 - 35	10 - 19
				157.87-175.91		gravely clay	Q2		30 - 35	10 - 19
				181.94-193.97		clayey gravel	Q2		35 - 45	10 - 19
J-7	210	5-1/2"	126.75	55.79-61.76	83.79	sandy clay	Q4	Quaternary	13 - 18	7.4 - 9.5
				67.79-79.80		sandy clay	Q4		15 - 20	7.4 - 9.5
				109.95-139.81		gravely clay	Q3		15 - 21	7.4 - 9.5
				144.87-156.85		gravely clay	Q3		14 - 21	7.4 - 9.5
				167.94-179.96		gravely clay	Q3		13 - 20	7.4 - 9.5
				185.99-192.00		gravely clay	Q3		15 - 20	7.4 - 9.5
				198.03-203.97		clayey gravel	Q3		14 - 20	7.4 - 9.5
J-8	210	5-1/2"	129.35	53.12-65.13	84.04	clayey gravel	Q4	Quaternary	20 - 30	8.9 - 9.3
				75.13-81.10		gravely clay	Q4		12 - 25	8.9 - 9.3
				91.10-97.10		gravely clay	Q4		10 - 20	8.9 - 9.3
				112.42-118.44		gravely clay	Q4		10 - 22	8.9 - 9.3
				123.64-129.63		gravely clay	Q4		10 - 30	8.9 - 9.3
				135.63-141.66		clayey gravel	Q3		10 - 30	8.9 - 9.3
				146.66-152.66		clayey gravel	Q3		10 - 24	8.9 - 9.3
				157.73-163.71		fine gravel	Q3		15 - 33	8.9 - 9.3
				168.88-186.91		gravely clay	Q2		10 - 30	8.9 - 9.3
				191.97-203.98		sandy clay	Q2		11 - 30	8.9 - 9.3
J-9	172	5-1/2"	87.92	58.59-115.64	86.98	clayey gravel	Q4	Quaternary	5 - 20	-
				121.67-133.63		gravely clay	Q4		10 - 20	-
				144.87-156.84		sandy clay	Q3		10 - 30	-
				162.87-168.87		gypsum clay	Q2		15 - 45	-

Tabla 2.6 Result of Pumping Test (Pampa del Tamarugal)

< Resultado de Prueba de Bombeo (Pampa del Tamarugal) >

Well No.	Pumping Data (by Constant Test)					Aquifer Constants		Well Capacity	
	Static Water Level (m)	Pumping Rate (l/s)	Dynamic Water Level (m)	Drawdown (m)	Specific Yield (l/s/m)	Transmissibility (m3/d/m)	Permeability (cm/sec)	Critical Discharge (l/s)	Safe Yield (l/s)
J-C	52.03	2.25	75.75	23.72	0.09	8.29	1.23E-04	2.50	0.80
J-D	46.05	22.5	52.53	6.48	3.47	1506.17	1.81E-02	25.00<	10.00
J-E	13.73	27.00	17.72	3.99	6.77	644.33	7.31E-03	27.00<	50.00
J-F	57.00	20.00	69.15	12.15	1.65	86.81	9.57E-04	8.33	1.80
J-3	9.17	5.00	16.05	6.88	0.73	113.81	2.20E-03	5.00<	3.75
J-4	46.22	4.40	48.20	1.98	2.22	271.08	5.22E-03	4.00	0.30
J-5	29.08	5.00	29.68	0.60	8.33	769.61	8.23E-03	5.00<	2.00
J-6	14.04	4.04	29.70	15.66	0.26	21.63	3.20E-04	4.04<	5.00
J-7	7.94	5.00	9.78	1.84	2.72	383.83	5.30E-03	5.00<	10.00
J-8	37.99	3.34	39.52	1.53	2.18	376.27	5.18E-03	3.34<	29.00
J-9	13.97	5.00	16.57	2.60	1.92	266.06	3.54E-03	5.00<	3.50

Tabla 2.7 Previous Pumping Test
<Prueba de Bombeo de Pozo Existentes>

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m3/d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Zapiga-Dolores-Negreiros Area)					
170	4.0	0.31			J
172	5.0	0.47			J
168	9.0	0.62			J
171	7.0	0.82			J
173	7.0	0.92			J
174	7.5	0.99			J
928	6.0	1.79	520	4.15E-02	C
925		1.21	164	1.89E-02	C
923	3.0	0.70	398	5.12E-02	C
922	3.0	0.89	135	1.30E-02	C
921	3.0	1.10	258	2.99E-02	C
941	1.0	0.24	53	3.06E-03	J
930	8.0	0.60	110	4.55E-03	J
927		0.15	23	1.75E-03	C
933	5.5	2.20	173	9.02E-03	J
Average		0.87	204	0.0192	
(Huara Area)					
190-6			1440		C
946	2.2	4.1	39	1.56E-04	J
949		4.0	935	3.37E-02	C
951	18.0	2.9	284	2.35E-02	J
Average		3.7	675	0.0191	
(Pica-Matilla Area)					
117-5	6.0	0.08			J
252-k	7.5	0.38			J
253-6	1.1	0.14			J
265-1	42.0	1.89			J
272-4	2.0	0.04			J
389-5	8.0	0.16	6	8.43E-05	J
390-9	1.0	0.04	312	1.39E-02	J
391 or 392			155		C
394-1	1.5	0.06			J
401-8			49		C
403-4	5.0	0.43			J
Average		0.36	130	6.99E-03	

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m3/d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Pozo Almonte-Canchones-Pintados Area)					
129-9	36.0	5.14			J
130-2		1.66	47		C
131-0	60.0	3.82			J
132-9	30.0	2.61			J
136-1	3.8	0.40	9	8.51E-04	J
200-7	6.0	0.12			J
202-3	64.0	10.67			J
206-6	25.0	2.08			J
207-4	3.5	0.81	1094	1.06E-01	J
221-k	40.0	6.78			J
222-8	70.0	4.43	450		C
226-0	47.0	2.72			J
229-5	4.0	0.21			J
232-5	24.0	2.00			J
234-1			4280		C
240-6	20.0	3.33			J
357-7	120.0	5.36			J
366-6	120.0	4.72			J
415-8	9.3	3.10			J
421-2	5.5	2.75			J
423-9	70.0	1.37	920		C
955		4.46	915	2.52E-02	C
Average		3.26	1102	0.044	
(Oficina Victoria-Bellavista Area)					
432-b	25.0	1.51			J
445-k	26.0		420	1.39E-02	J
985		3.04	220		C
986		0.32	81		C
987		0.32	157		C
Average		1.30	219.5	0.014	
(TOTAL PAMPA AREA: except Pica-Matilla Area)					
Average		2.27	547	0.024	

(Note) C: Existing Data.
J: Estimated by the Study Team on the basis of existing test data

Tabla 2.8 Result of Boring Test (Salar del Huasco)
< Resultado de Prueba de Sondaje (Salar del Huasco)>

Well No.	Bore hole Depth (m)	Casing Pipe		Screen Pipe		Geological Conditions of Aquifer			Geophysical Data	
		Size (inches)	Total Length (m)	Position (m)	Total Length (m)	Lithology	Formation	Period	Well Logging Resistivity (ohm-m)	TEM Resistivity (ohm-m)
J-G	157	8-5/8"	96.03	30.81 -54.84	66.12	gravel clayey gravel	Collacagua (Qcm)	Quaternary	30 - 90	55 -90
				60.82 -102.91		clayey gravel sandy gravel			25 -90	55 -90
J-10	207	5-1/2"	116.70	39.02 -51.03	89.95	gravel	Collacagua (Qcu)	Quaternary	70 -300	-
				86.53 -146.51		clayey gravel	Collacagua (Qcm)		40 - 500	-
				161.81 -167.81		clayey gravel	Collacagua (Qcl)		25 -80	-
				172.83 -184.79		sandy mudstone clayey sandstone			40 - 80	-

Tabla 2.9 Result of Pumping Test (Salar del Huasco)
< Resultado de Prueba de Bombeo (Salar del Huasco) >

Well No.	Pumping Data (by Constant Test)					Aquifer Constants		Well Capacity	
	Static Water Level (m)	Pumping Rate (l/s)	Dynamic Water Level (m	Drawdown (m)	Specific Yield (l/s/m)	Transmissibility (m3/d/m)	Permeability (cm/sec)	Critical Discharge (l/s)	Safe Yield (l/s)
J-G	5.86	25.00	39.76	33.90	0.74	156.39	2.74E-03	25.00<	6.70
J-10	26.56	5.00	30.64	4.08	1.23	191.38	2.46E-03	5.00<	1.75

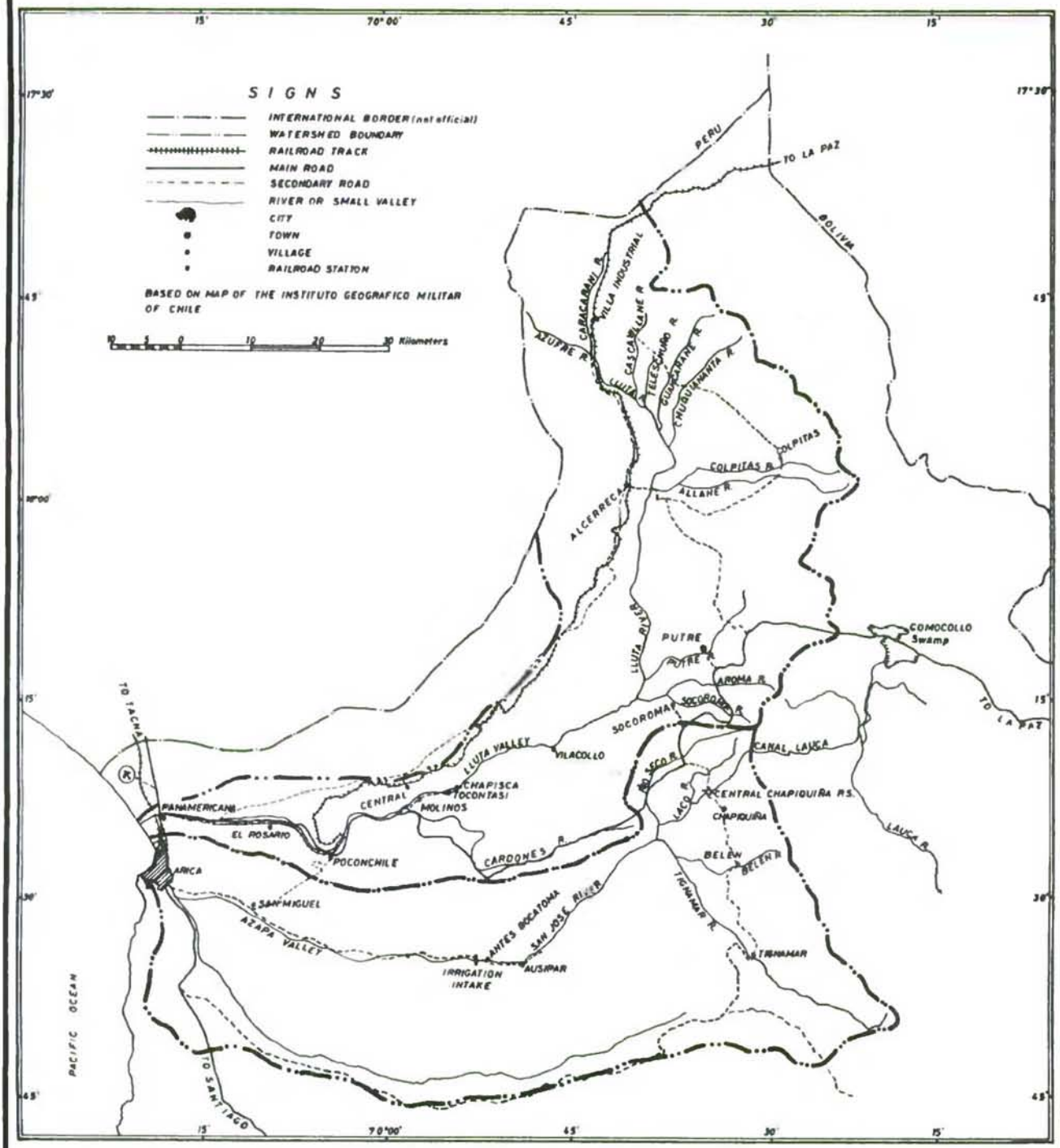


Fig. 2.1 River System of San José and Lluta River Basin

< Sistema Fluvial de las Cuencas de los Ríos San José y Lluta >

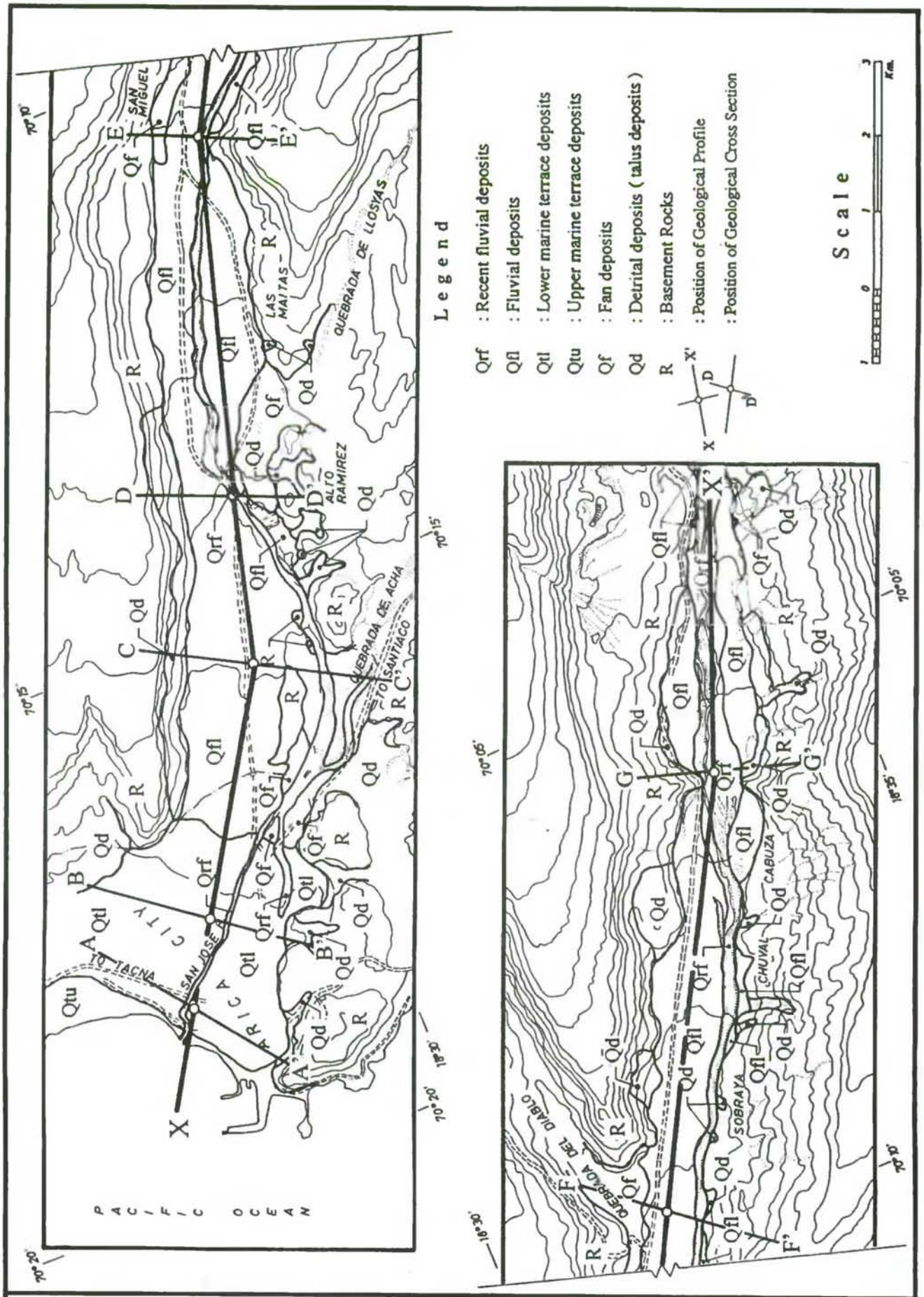


Fig. 2.2 Geological Map (Azapa Valley)

< Mapa Geológico (Valle de Azapa) >

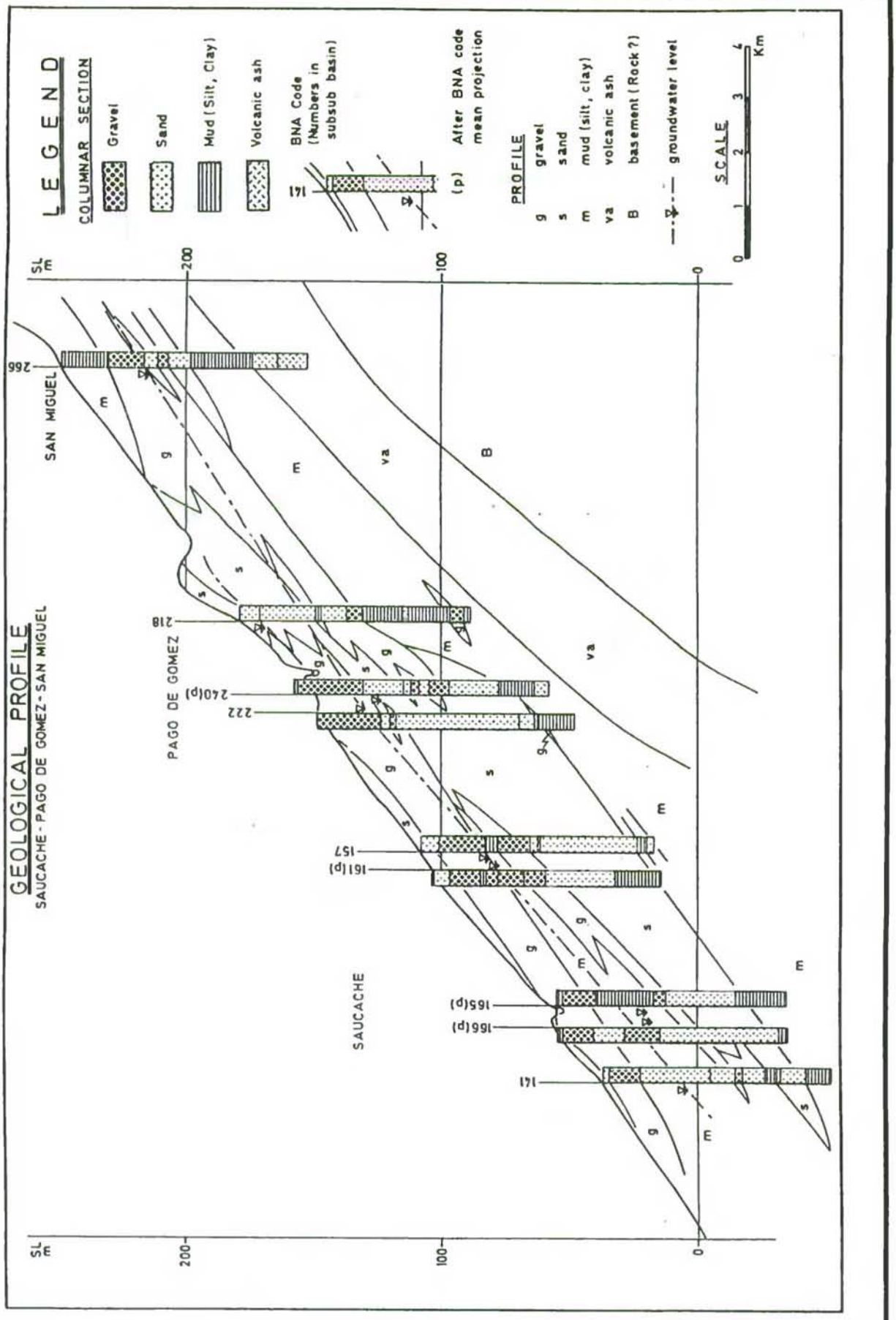


Fig. 2.3 Geological Profile (Azapa Valley)

< Perfil Geógico (Valle de Azapa)>

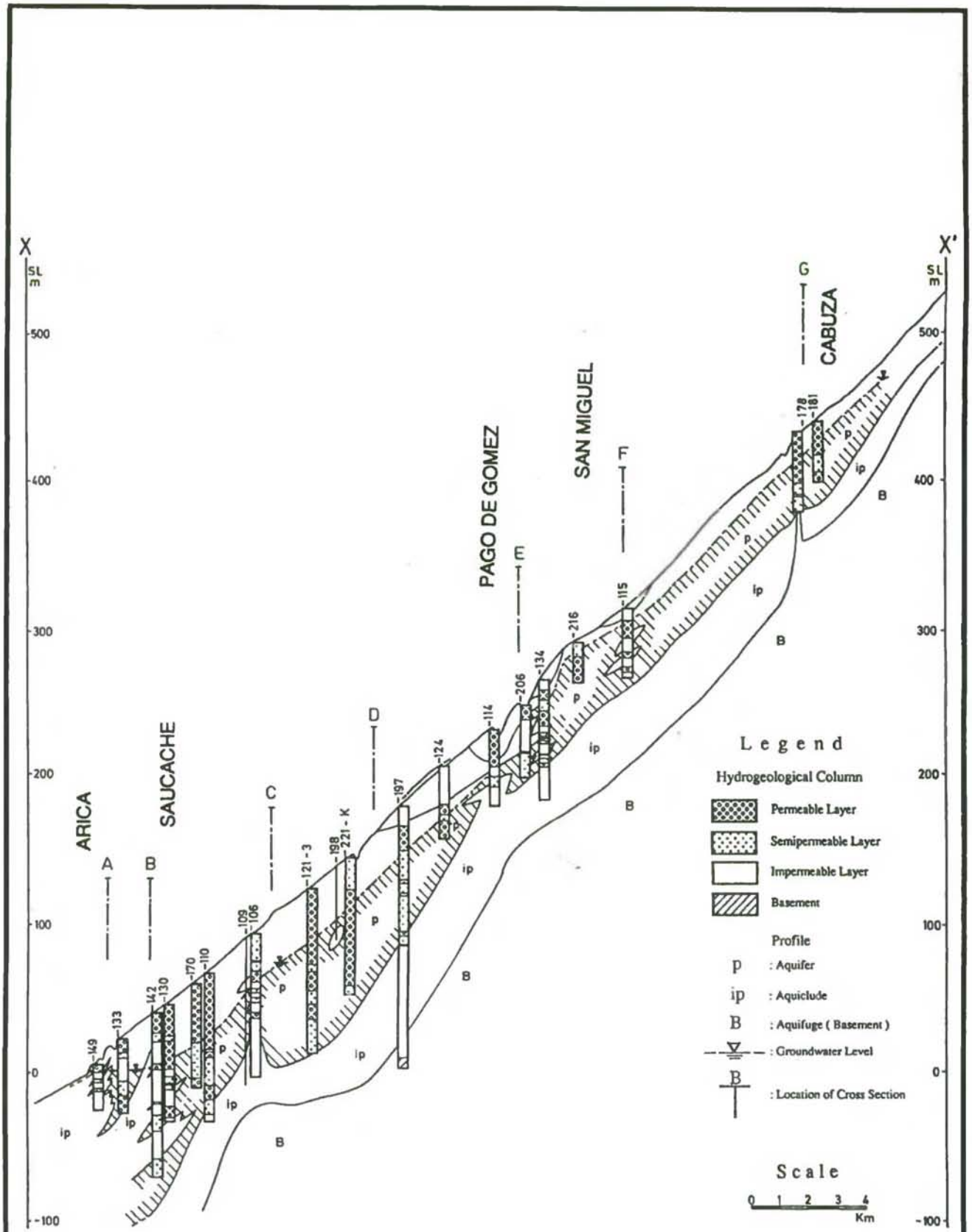
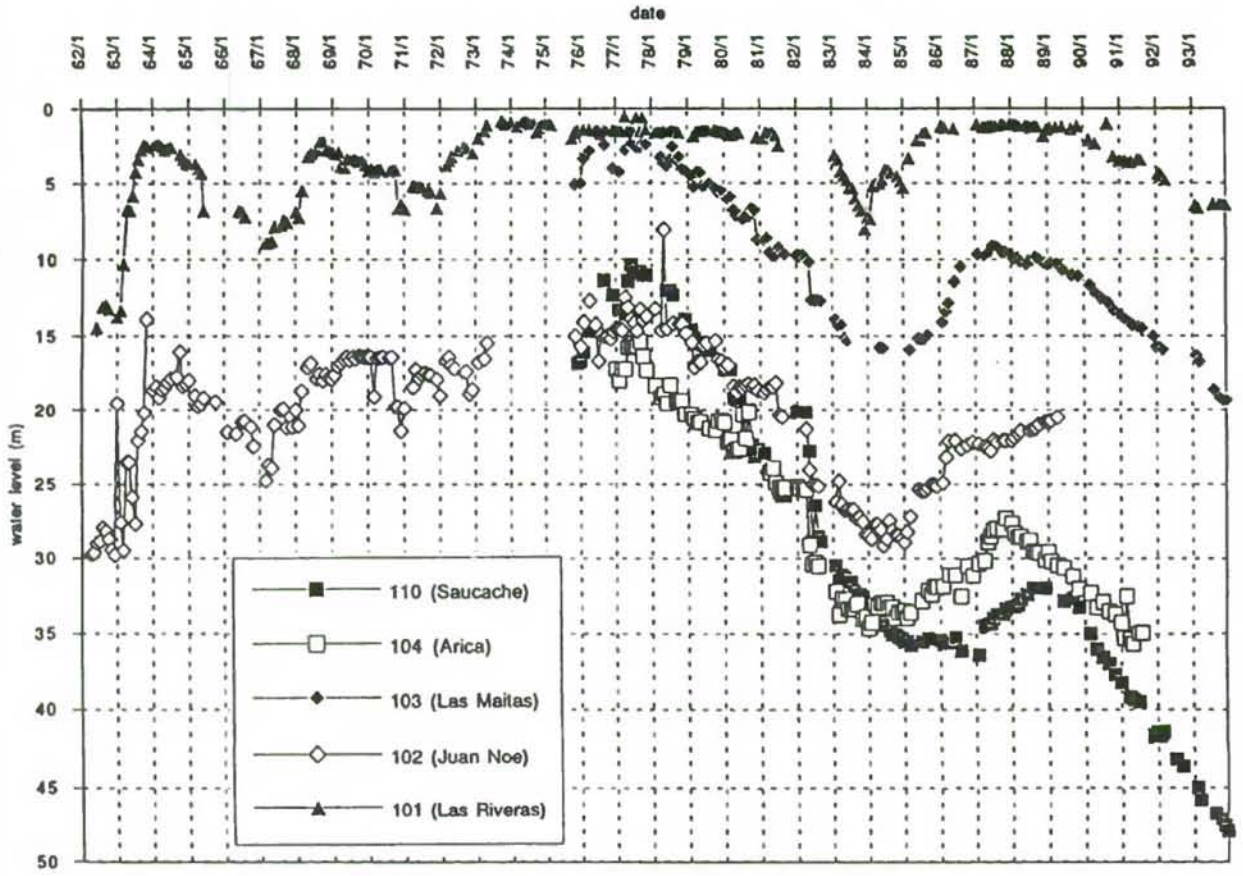


Fig. 2.4 Hydrogeological Profile (X - X')

< Perfil Hidrogeológico (X - X') >



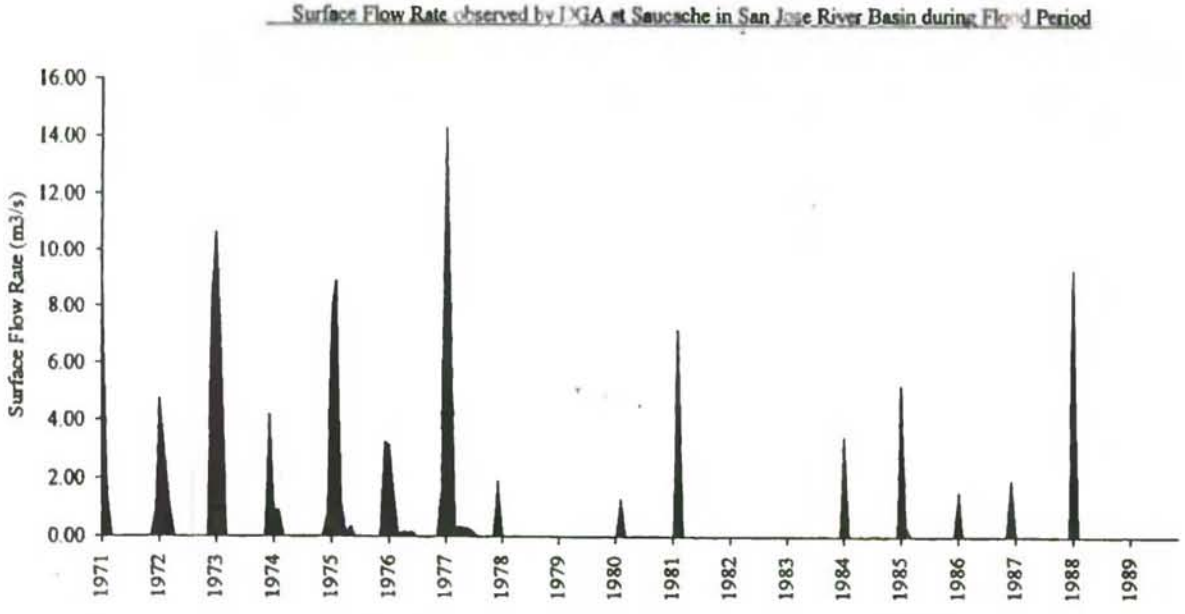


Fig. 2.5 Relation between Groundwater Level and Flood (Azapa Valley)

< Relación entre el Nivel Estático y Avenida (Valle de Azapa) >

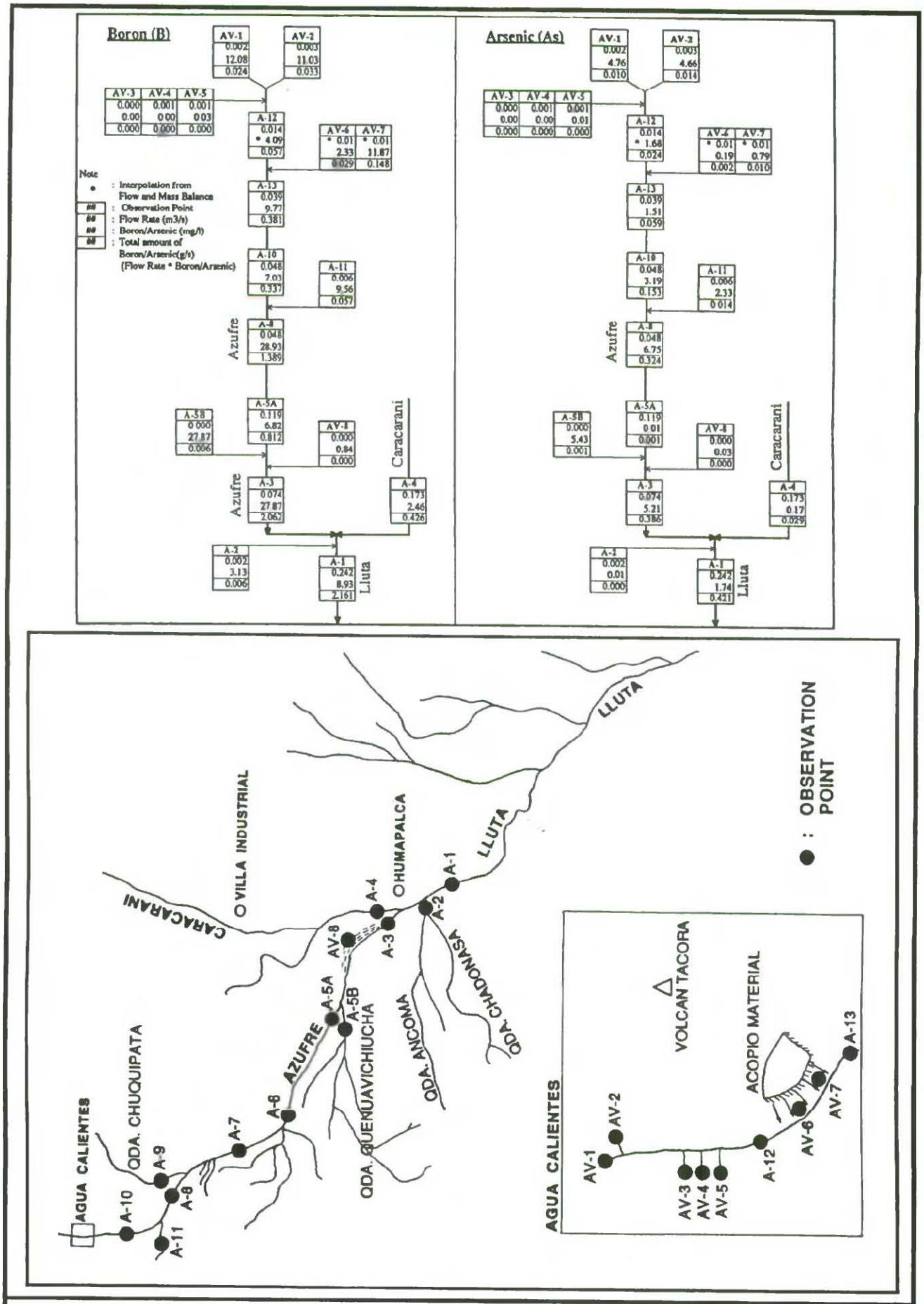
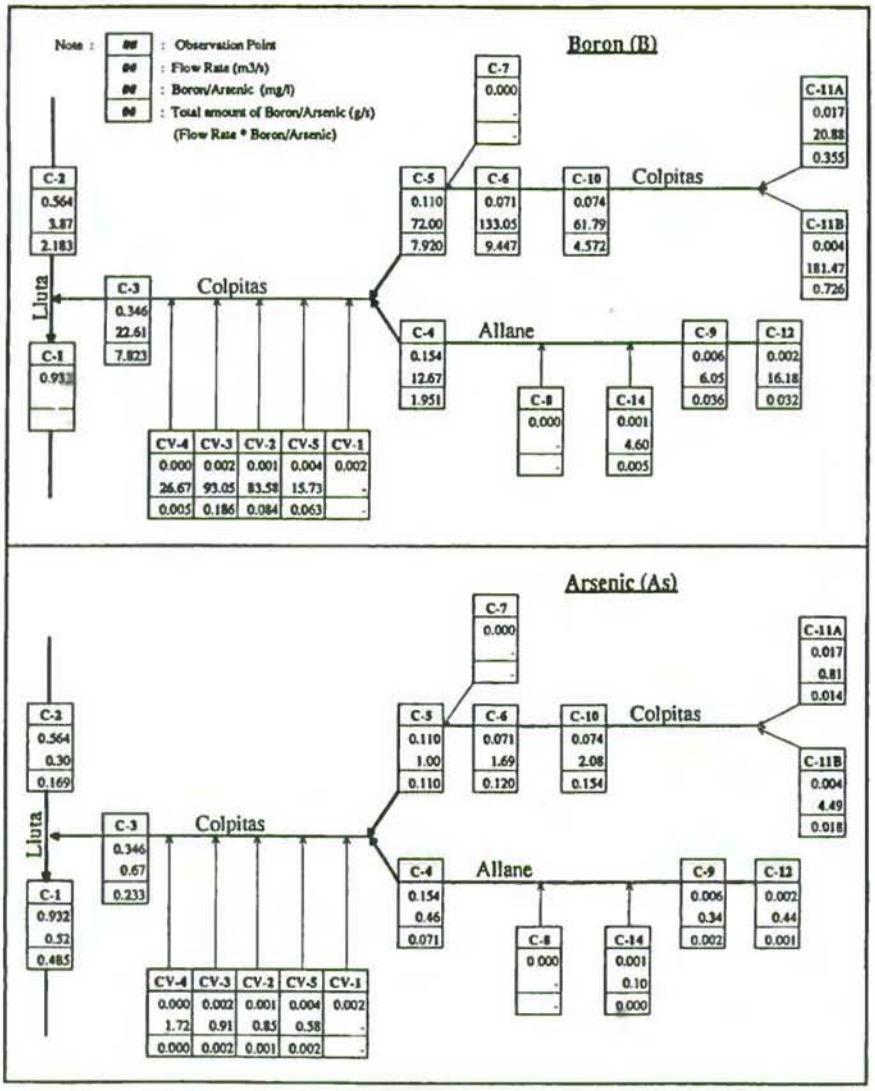


Fig. 2.6 (1) Observed Water Quality in Azufre River

<Calidad de Agua Observad en Rio Azufre>



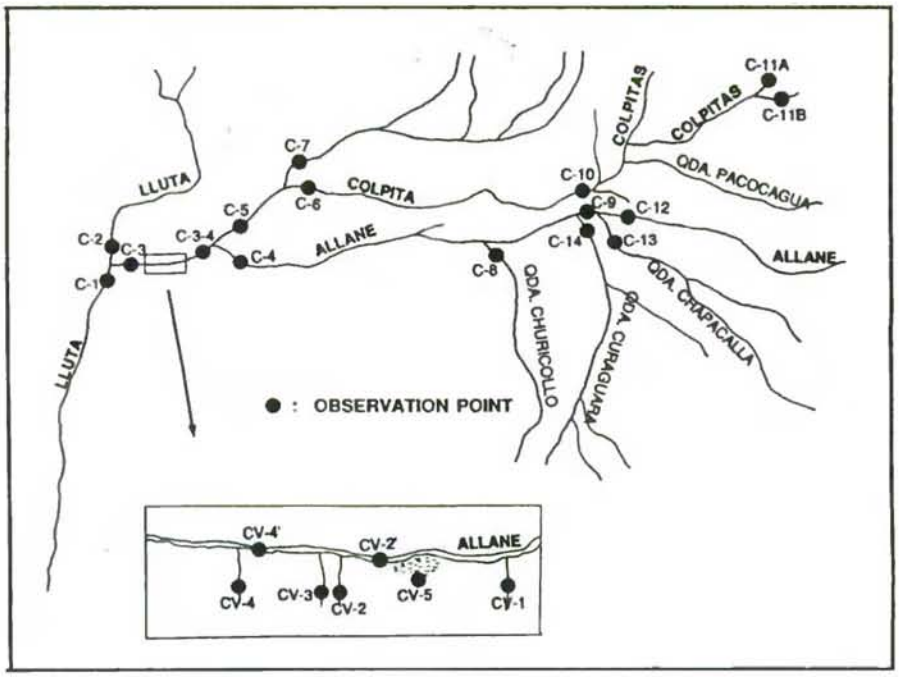
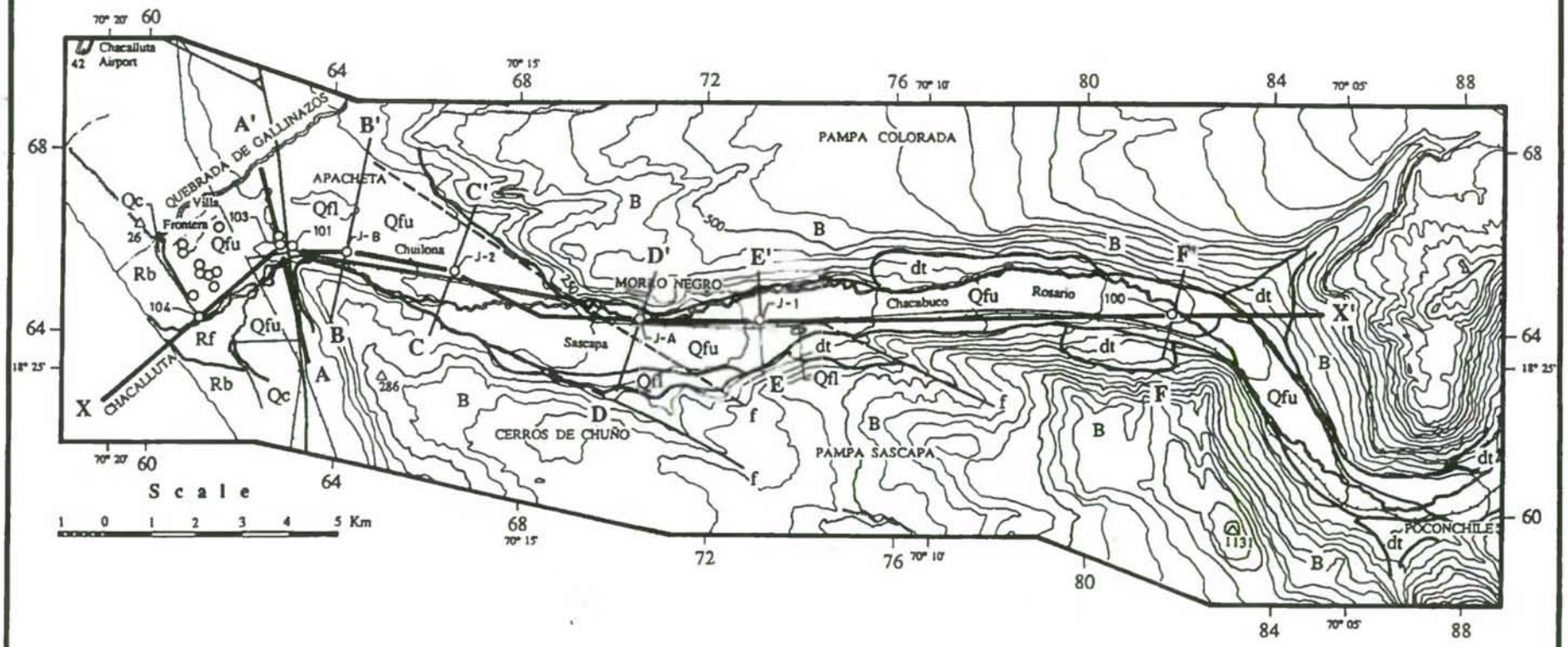


Fig. 2.6 (2) Observed Water Quality in Colpitas River

<Calidad de Agua Observad en Río Colpitas>



L e g e n d

Geological Division

dt	: Detrital Deposits
Rf	: Recent Fluvial Deposits
Rb	: Recent Beach Deposits
Qfu	: Fluvial Deposits (Upper)
Qfl	: Fluvial Deposits (Lower)
Qc	: Concordia Formation
B	: Basement Rocks (Oxaya Formation, Azapa Formation and Mesozoic)

f : Fault

X X' : Position of Geological Profile

D D' : Position of Geological Cross Section

o J-A : Well

Fig. 2.7 Geological Map (Lower Lluta Valley)

< Mapa Geológico (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

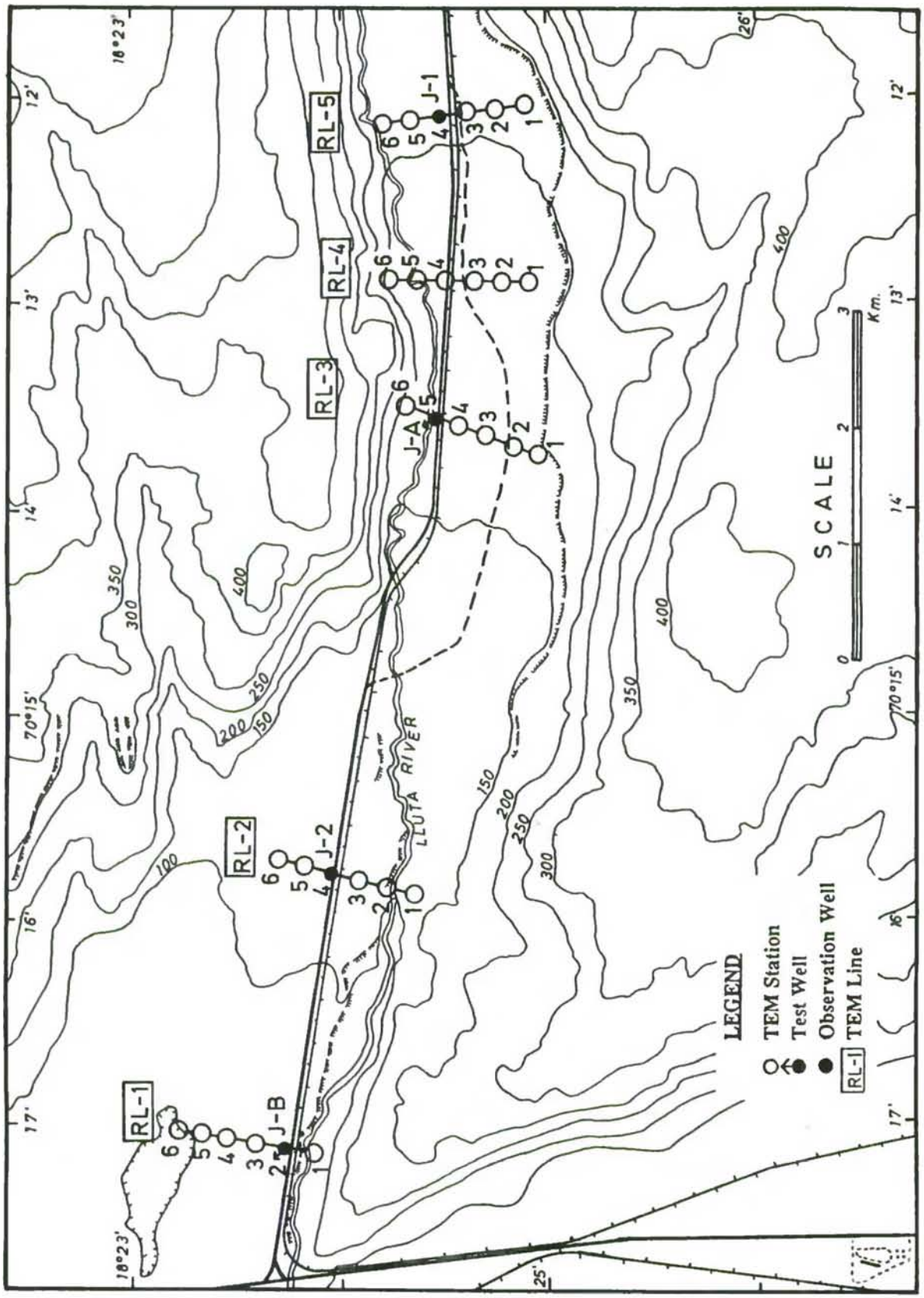


Fig. 2.8 Location of TEM Station and Test/Observation Wells (Lower Lluta Valley)

<Ubicación de las Estaciones TEM y Pozos de Pruebay Observación (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

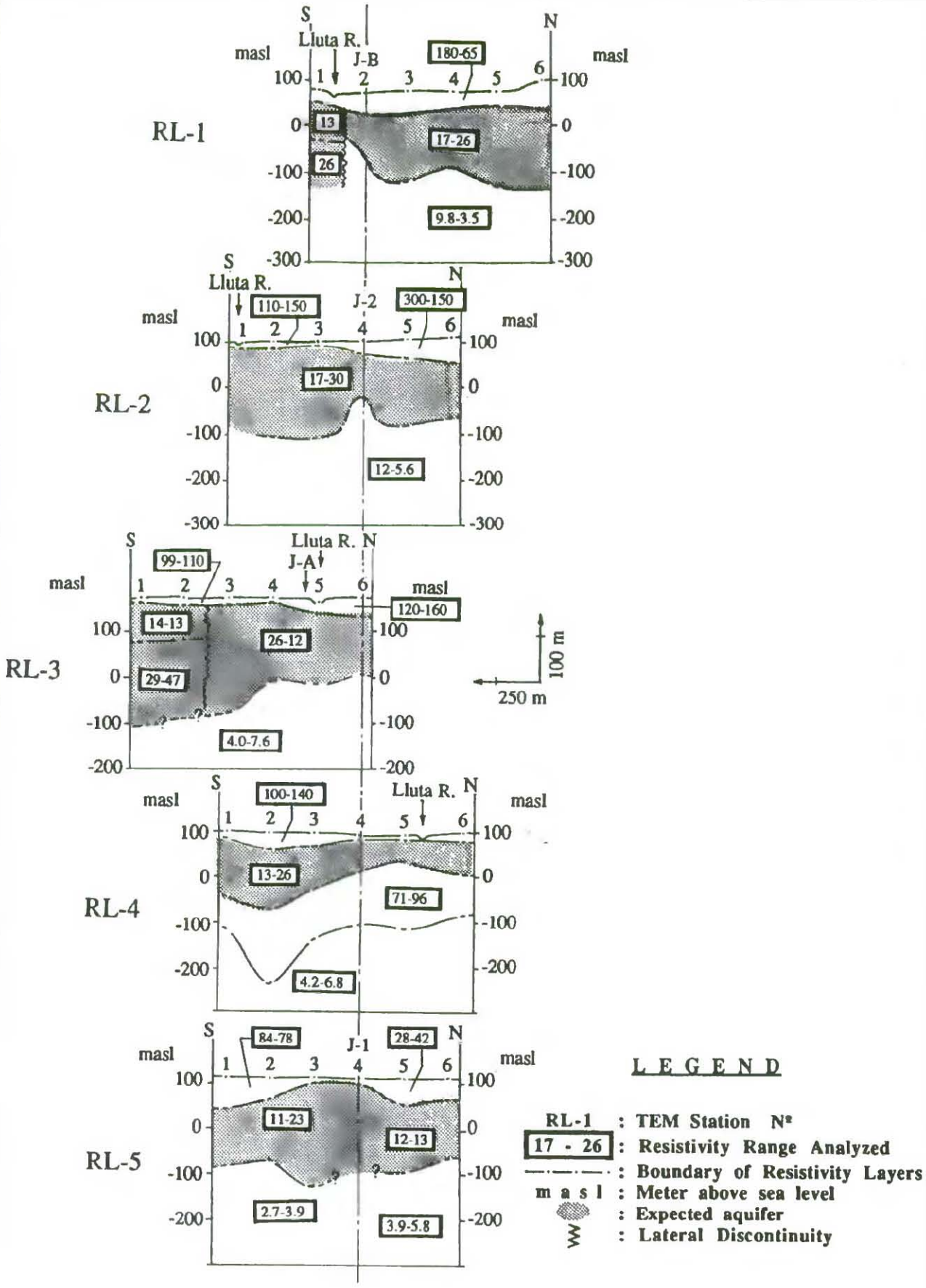


Fig. 2.9 Geoelectric Profiles (Lower Lluta Valley)

<Perfiles Geoeléctricos (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

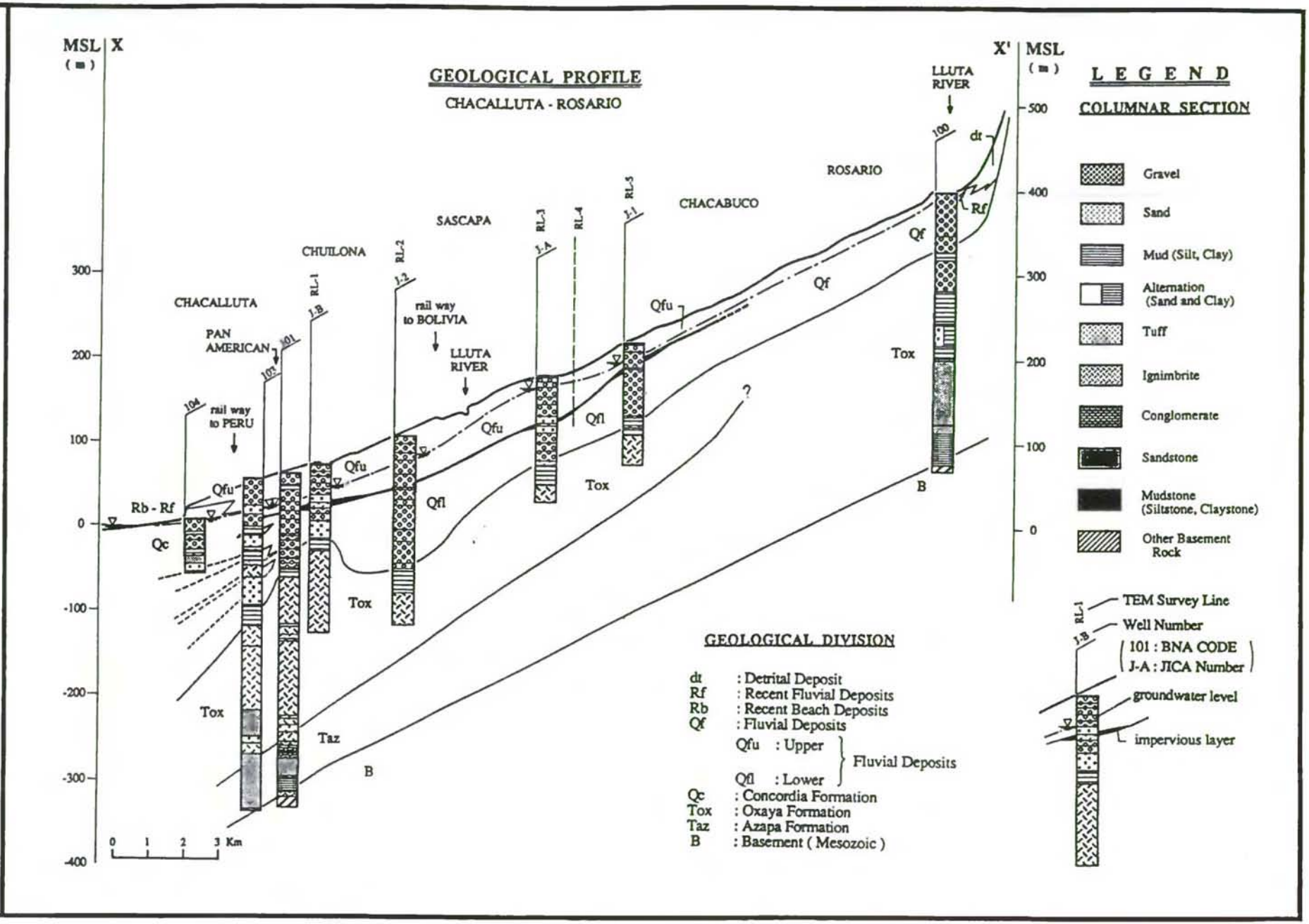


Fig. 2.10 Geological Profile (X-X') (Lower Lluta Valley)

< Perfil Geológico (X-X') (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

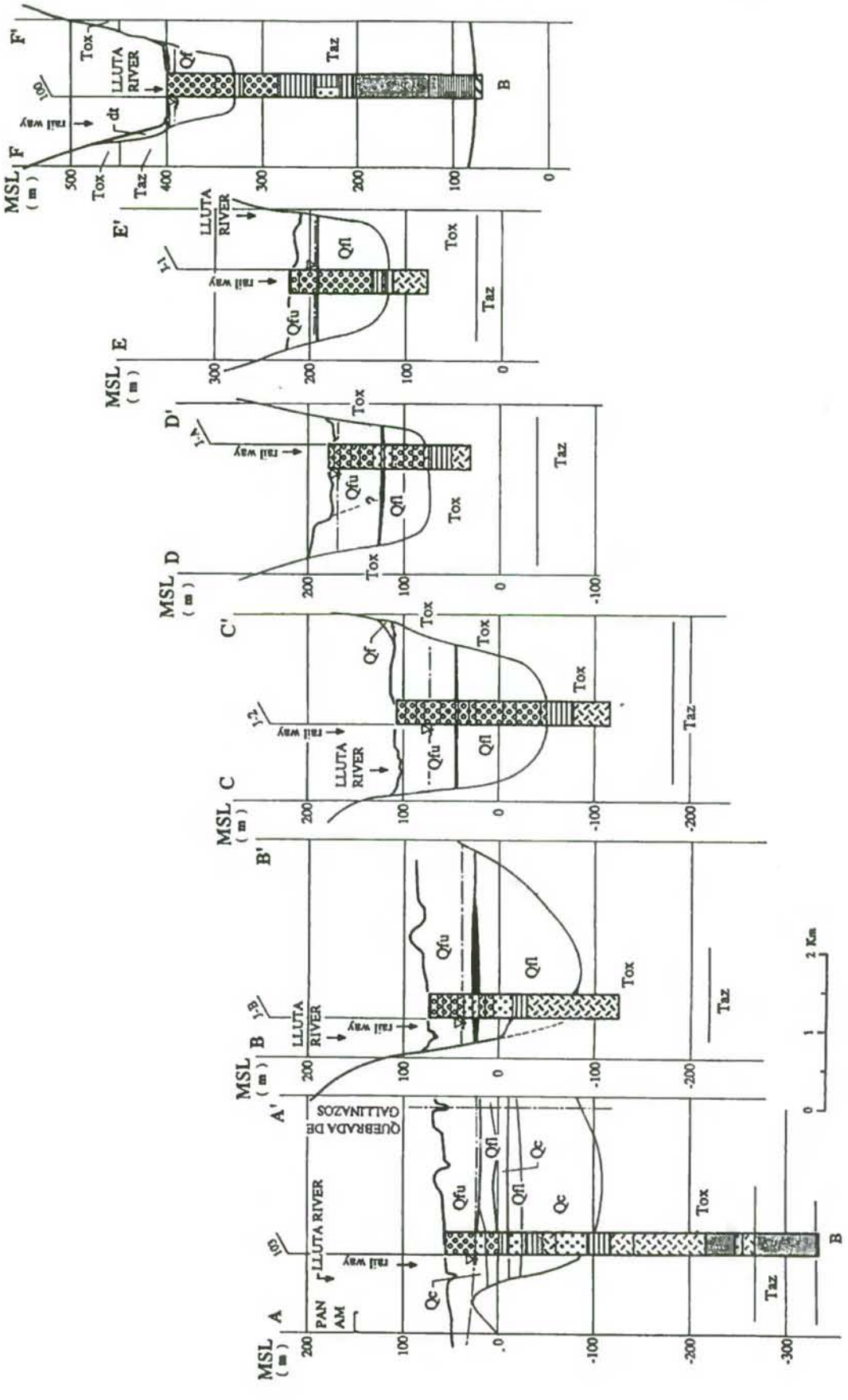


Fig. 2.11 Geological Cross Sections (Lower Lluta Valley)

<Seccion de es Cruce Geológico (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

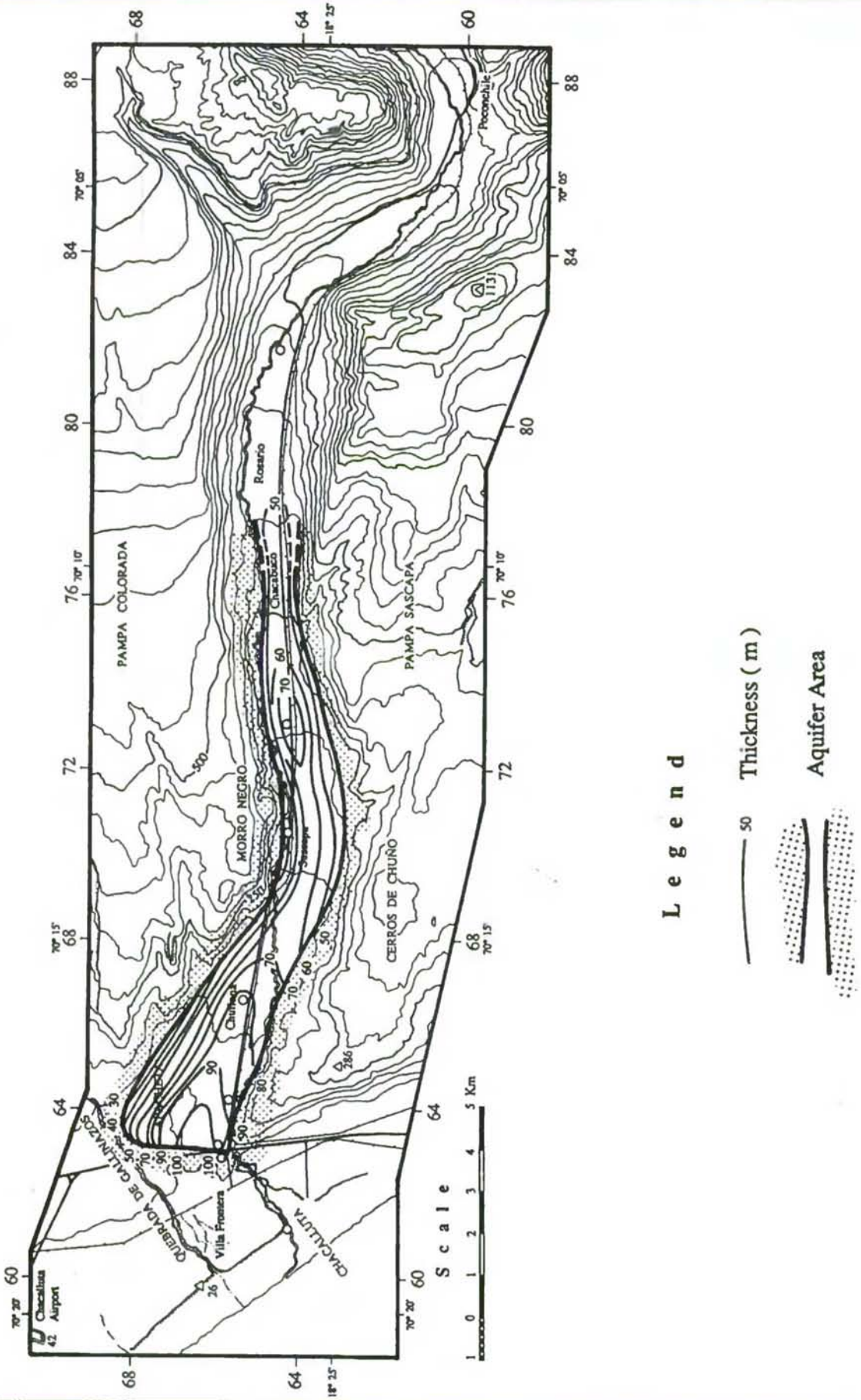


Fig. 2.12 Isopach Map of Deep Aquifer (Lower Lluta Valley)

<Mapa Isopaca de Acuífero Profundo (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

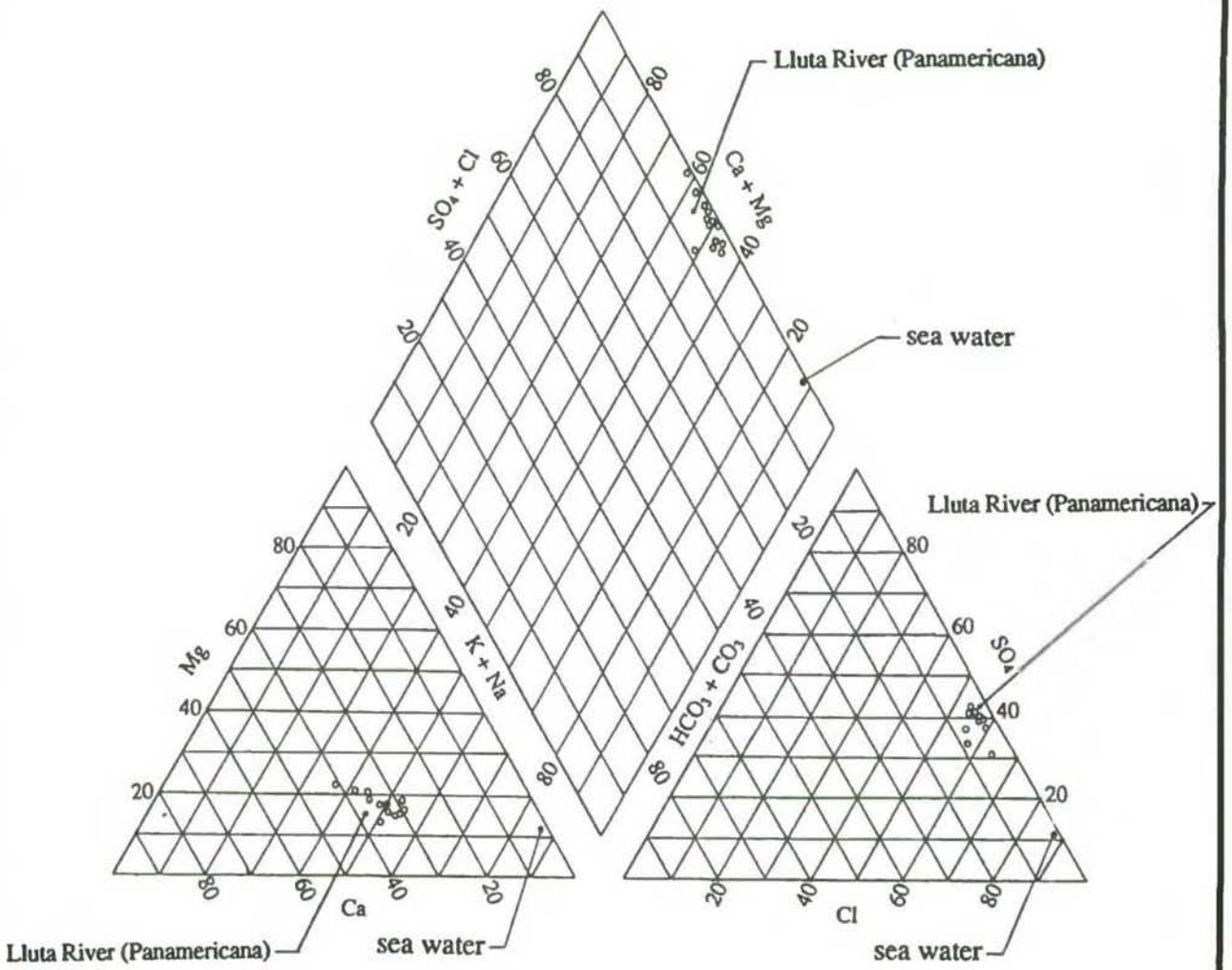


Fig. 2.13 Tri-linear Diagram of Major Ions (Lower Lluta Valley)

< Diagrama Tri-Lineal de Iones Mayores (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

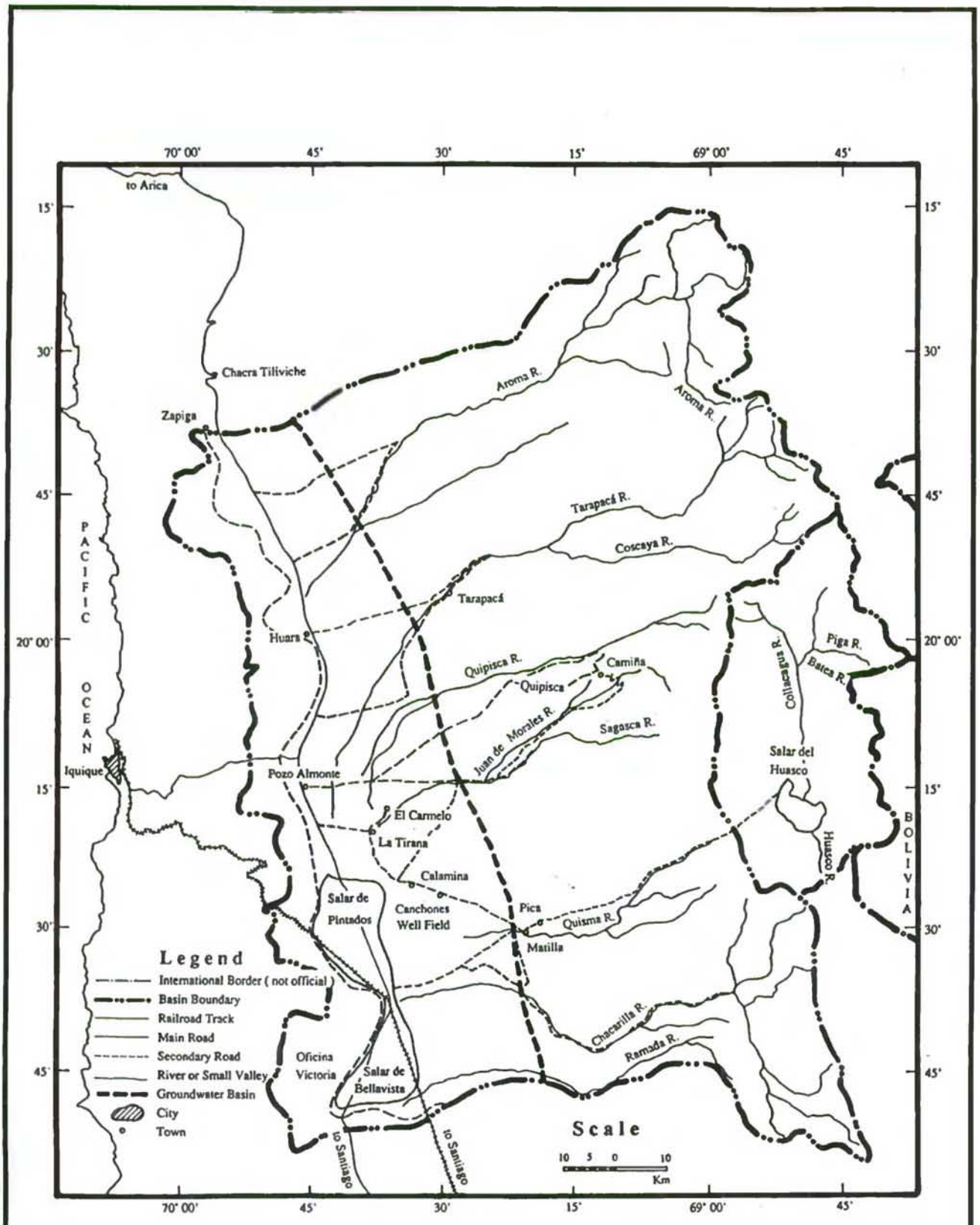


Fig. 2.14 Basin Map of Pampa del Tamarugal and Salar del Huasco

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

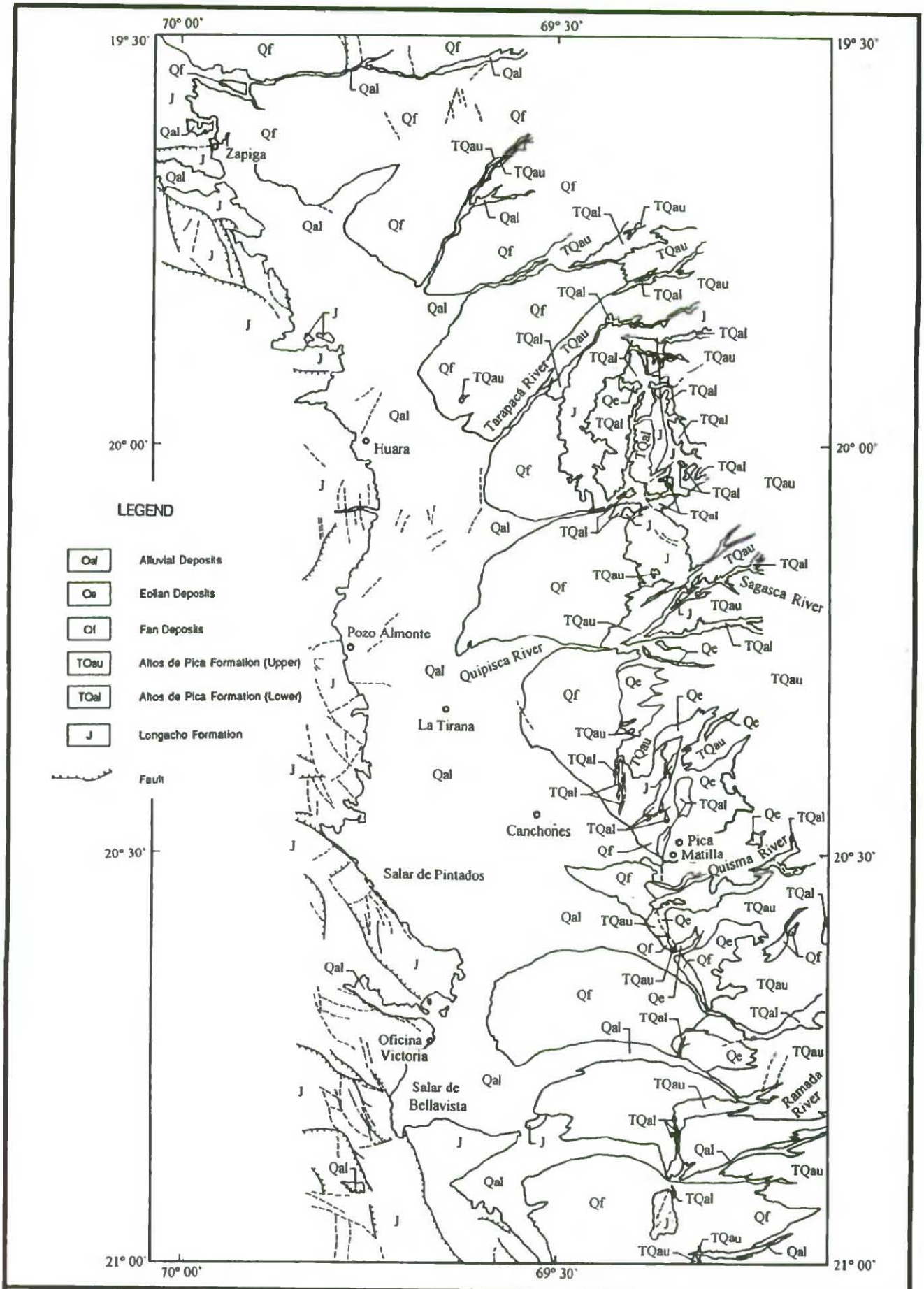


Fig. 2.15 Geological Map (Pampa del Tamarugal)

< Mapa Geológico (Pampa del Tamarugal) >

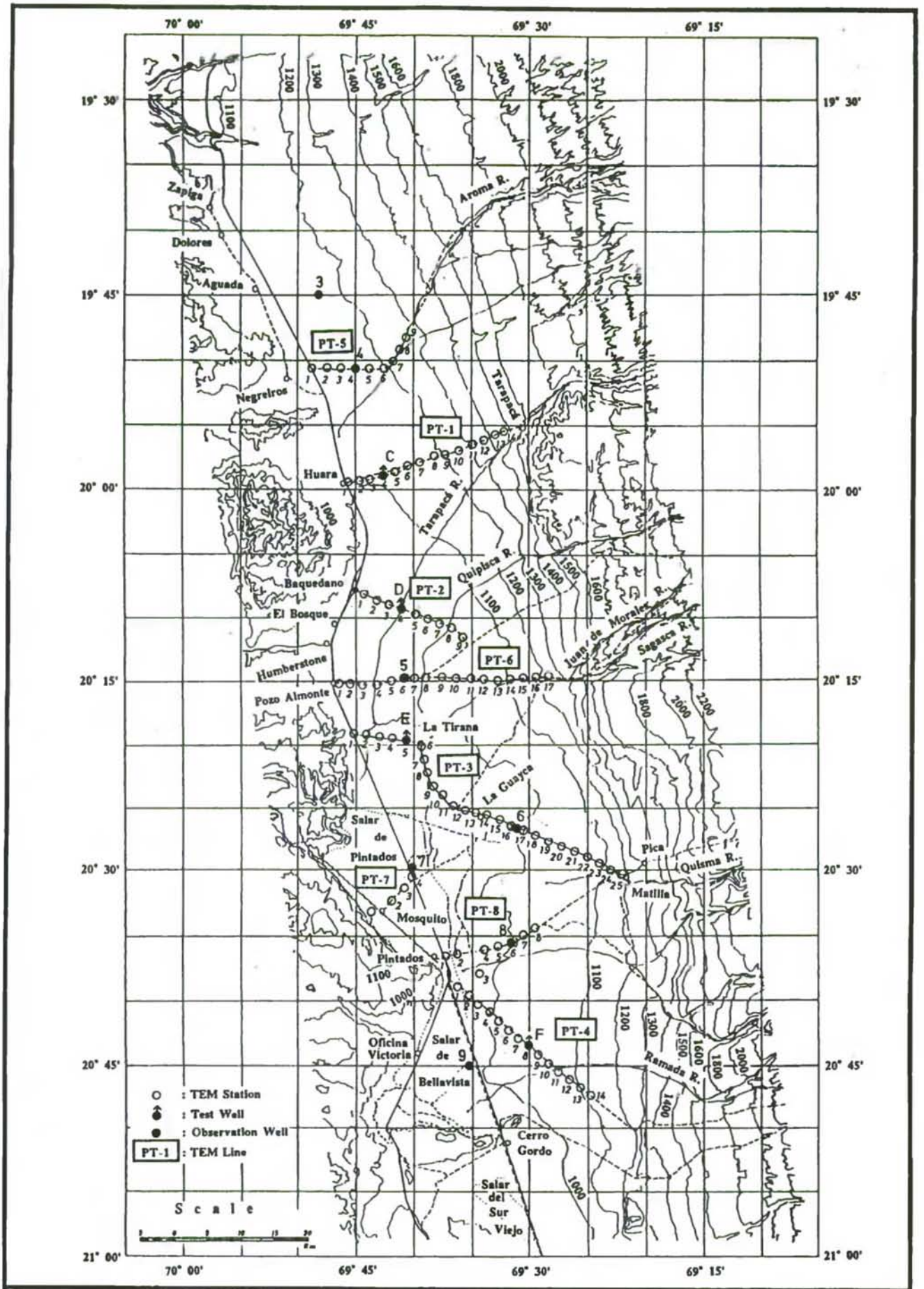


Fig. 2.16 Location of TEM Station and Test/Observation Well (Pampa del Tamarugal)

<Ubicación de las Estaciones TEM y Pozos de Prueba y Observación (Pampa del Tamarugal)>

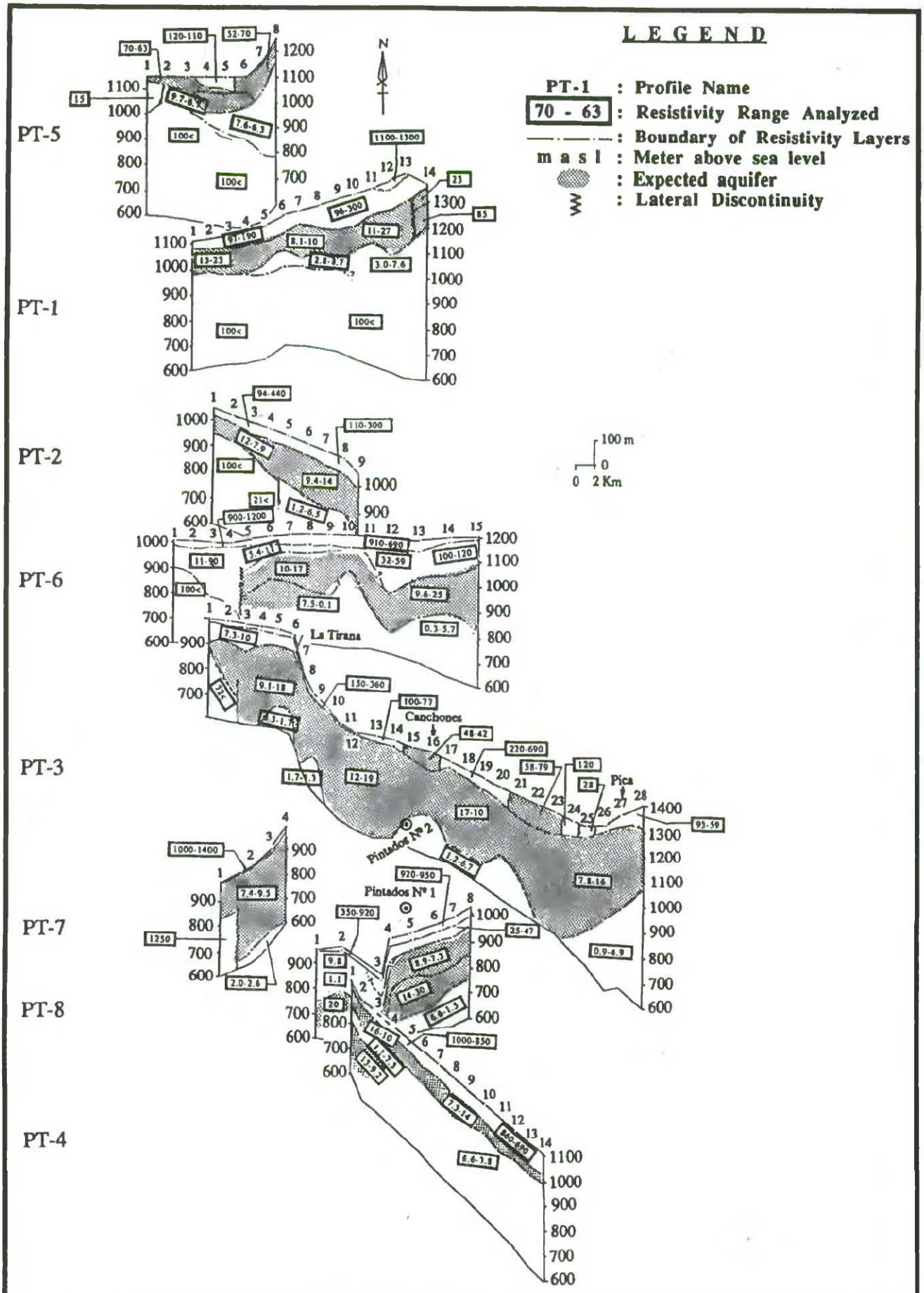


Fig. 2.17 Geoelectric Profile (Pampa del Tamarugal)

<Perfiles Geoeléctricos (Pampa del Tamarugal)>

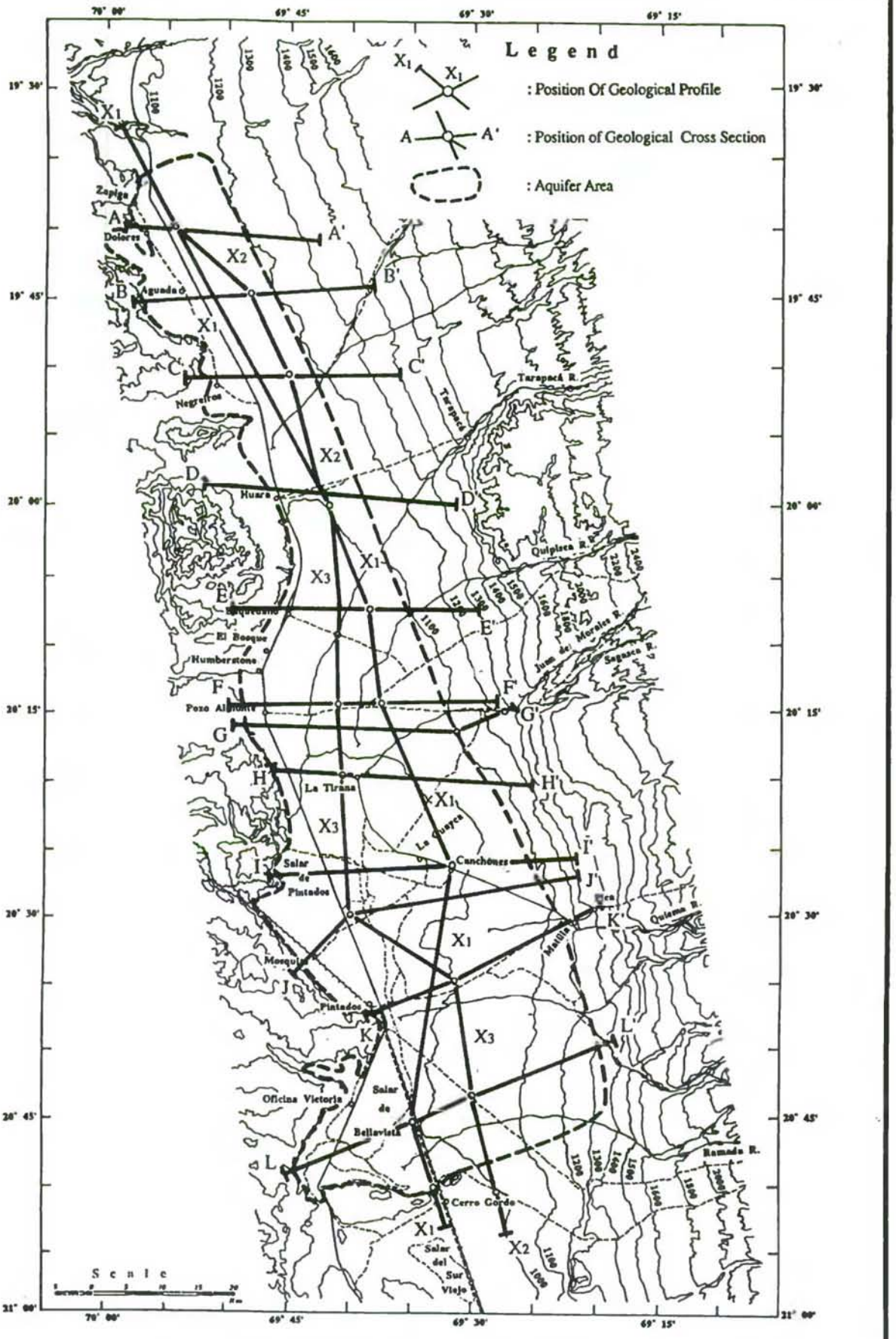


Fig. 2.18 Location of Geological Profile and Cross Section (Pampa del Tamarugal)

< Ubicación Perfil Geológico y Sección Geológica Transversal (Pampa del Tamarugal) >

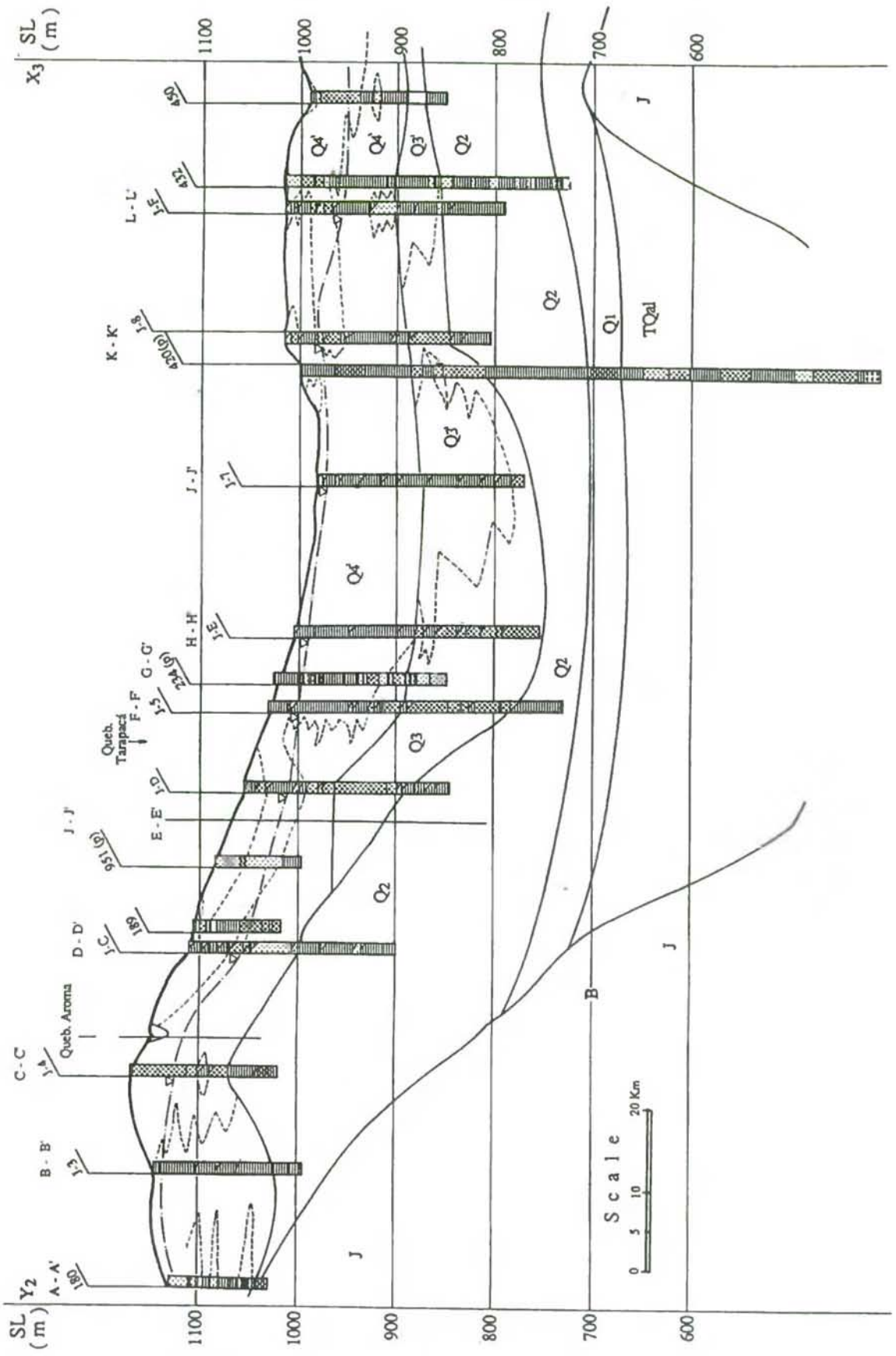


Fig. 2.19 Geological Profile (Pampa del Tamarugal)

< Perfil Geológico (Pampa del Tamarugal)>

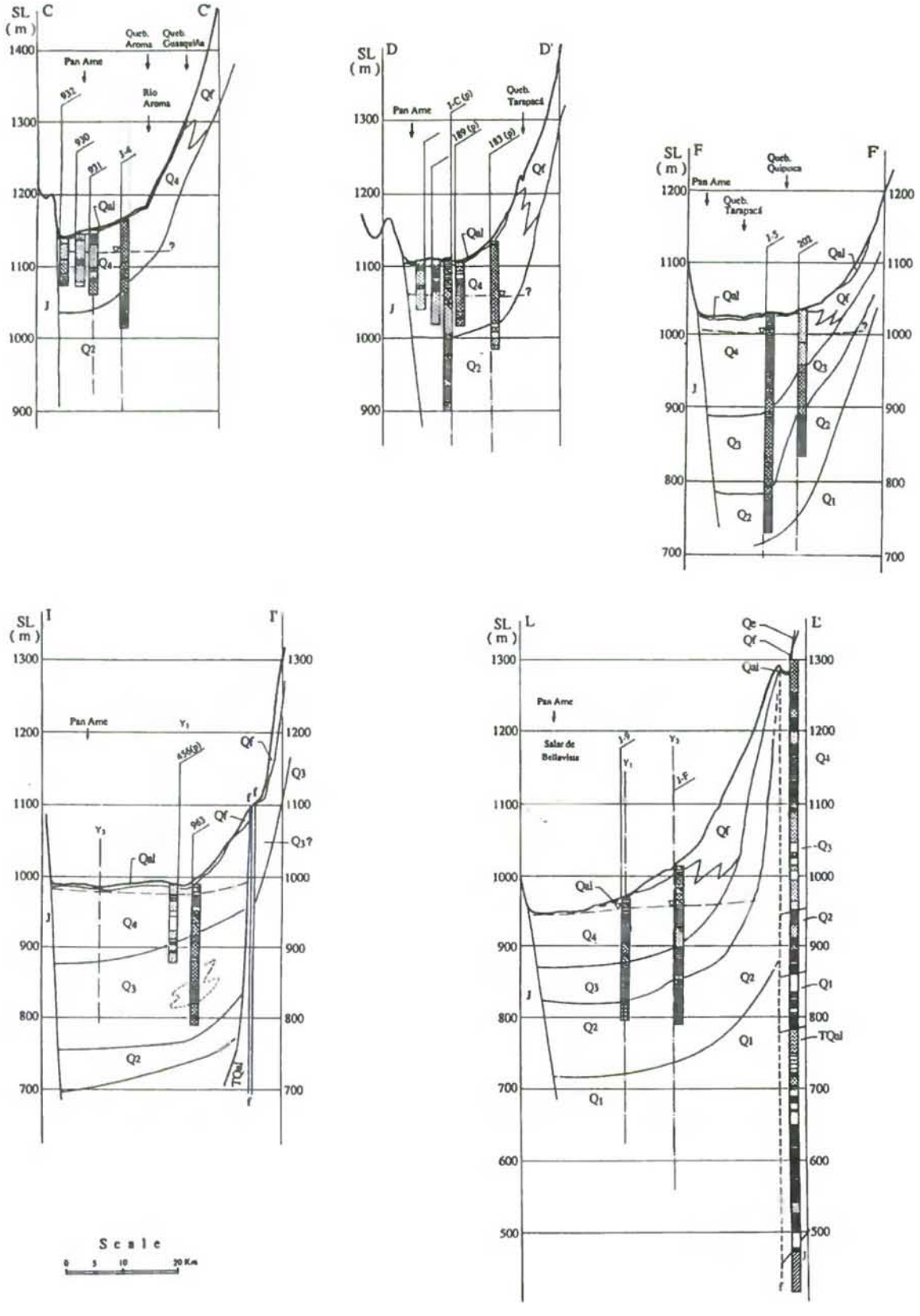


Fig. 2.20 Geological Cross Section (Pampa del Tamarugal)

<Seccion Geologica Transversal(Pampa del Tamarugal)>

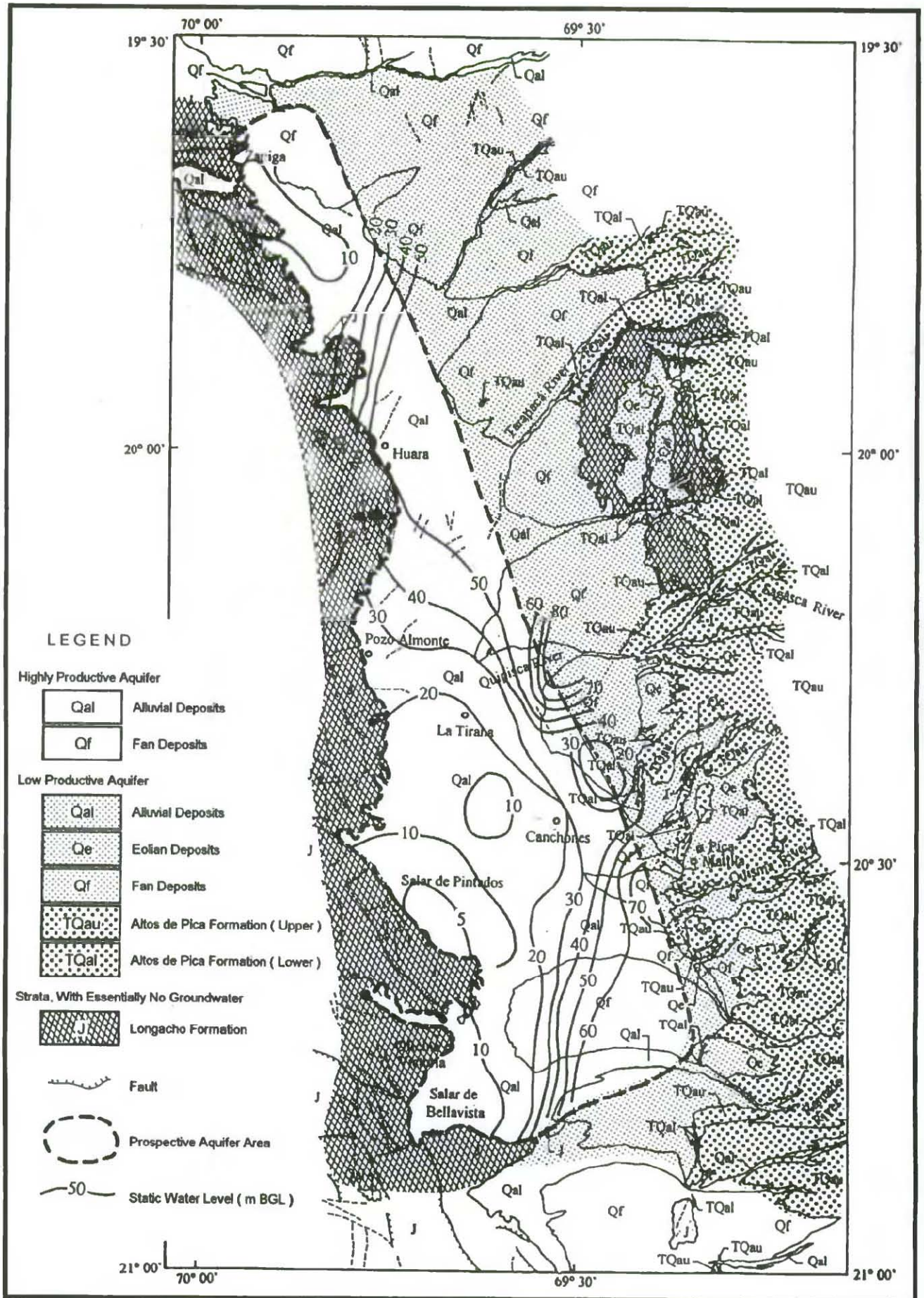


Fig. 2.21 Hydrogeological Map (Pampa del Tamarugal)

< Mapa Hidrogeológico (Pampa del Tamarugal) >

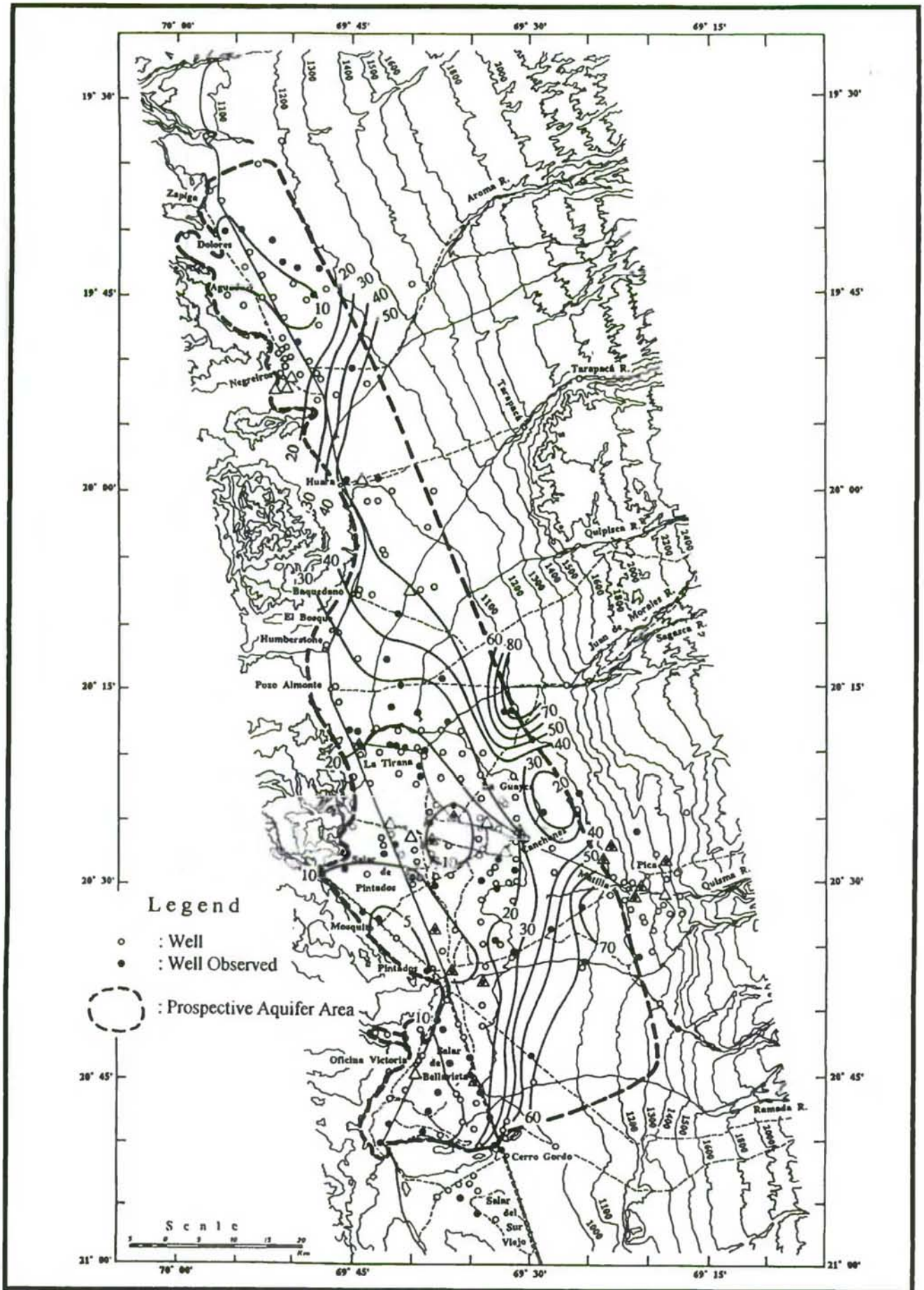


Fig. 2.22 Static Water Level (1993) : unit: m*BGL*

<Nivel Estático (1993) : unidad: mBGL>

Unit : m BGL

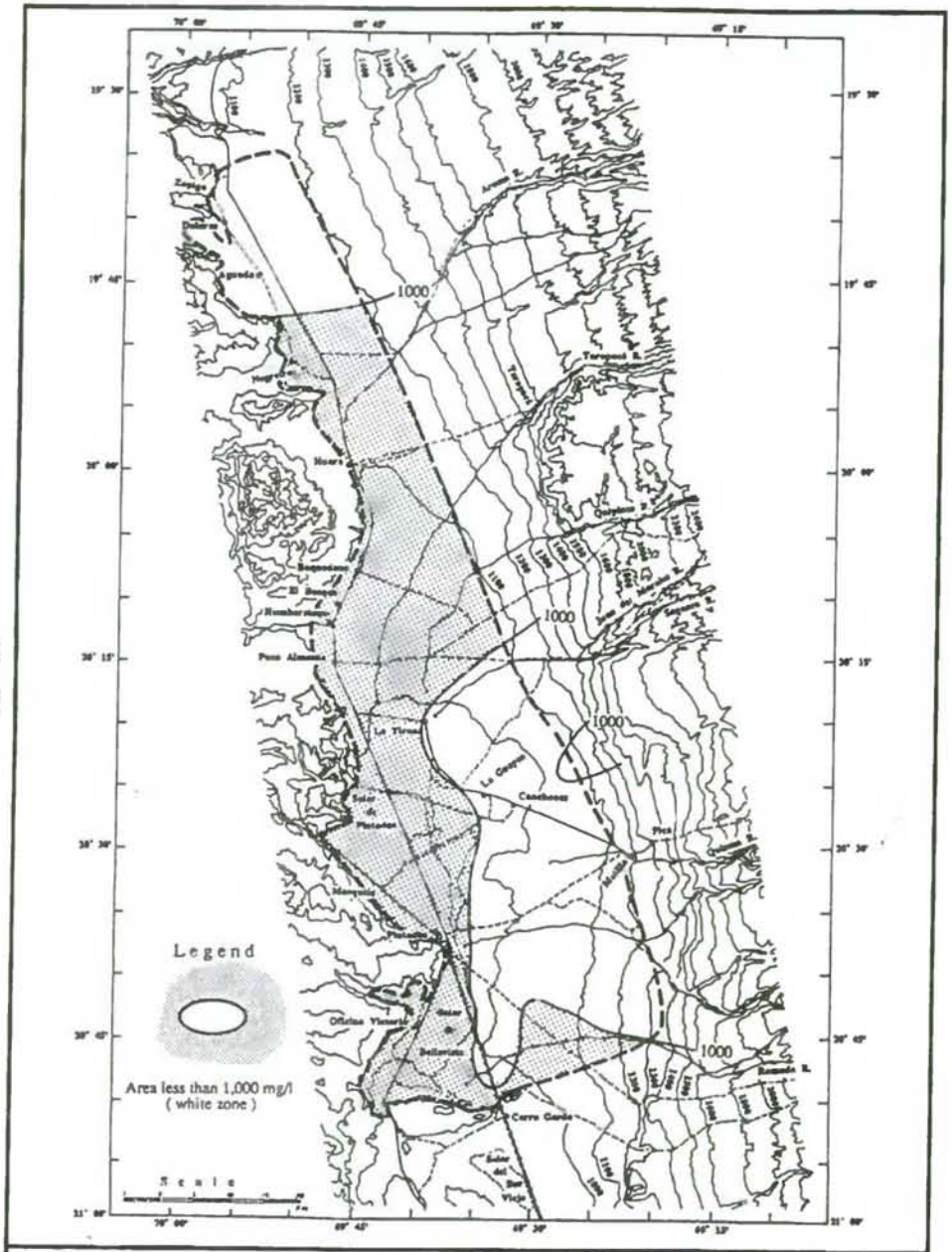


Fig. 2.23 (1) Distribution of TDS (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de TDS (Pampa del Tamarugal) >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

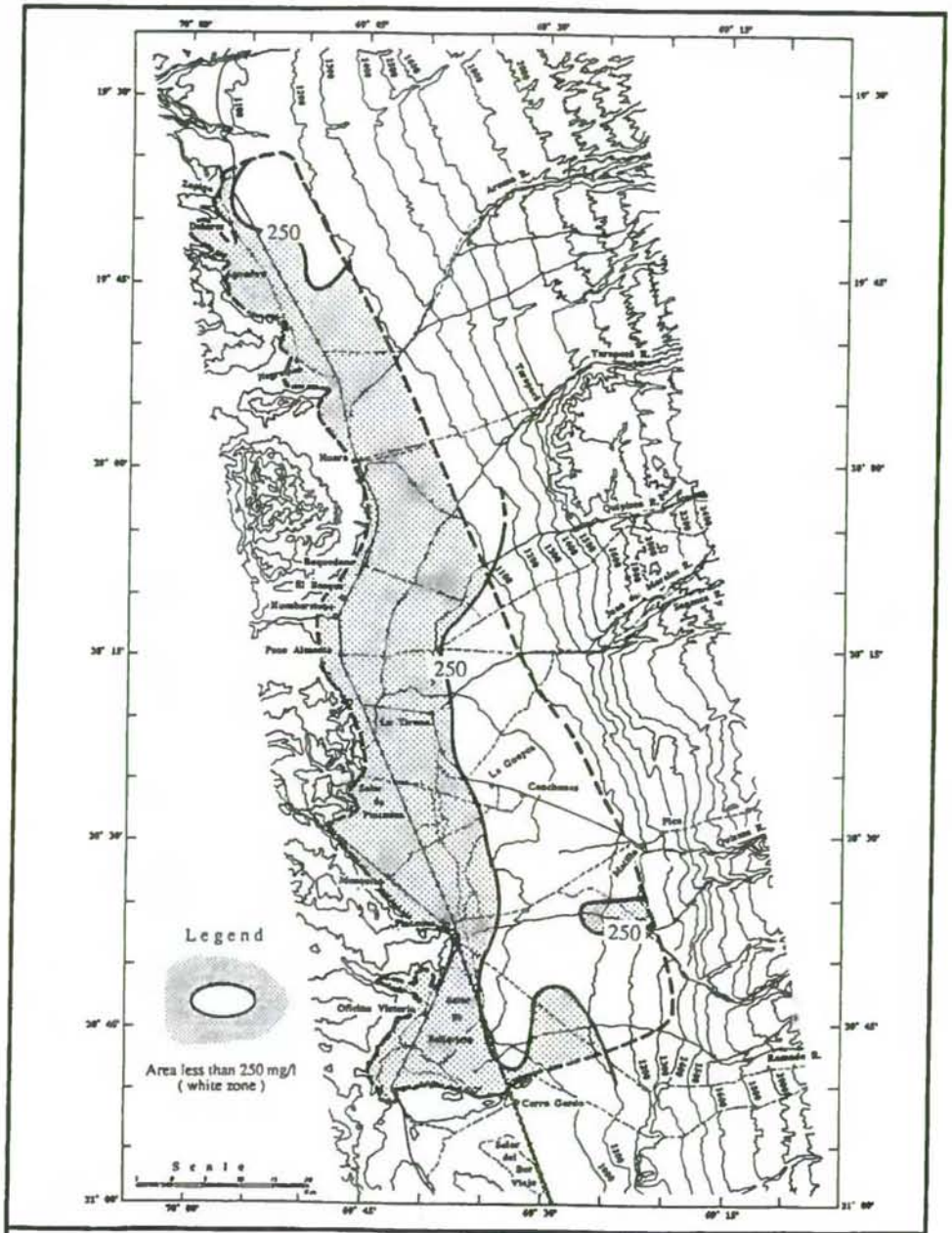


Fig. 2.23 (2) Distribution of Cl (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de Cl (Pampa del Tamarugal) >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

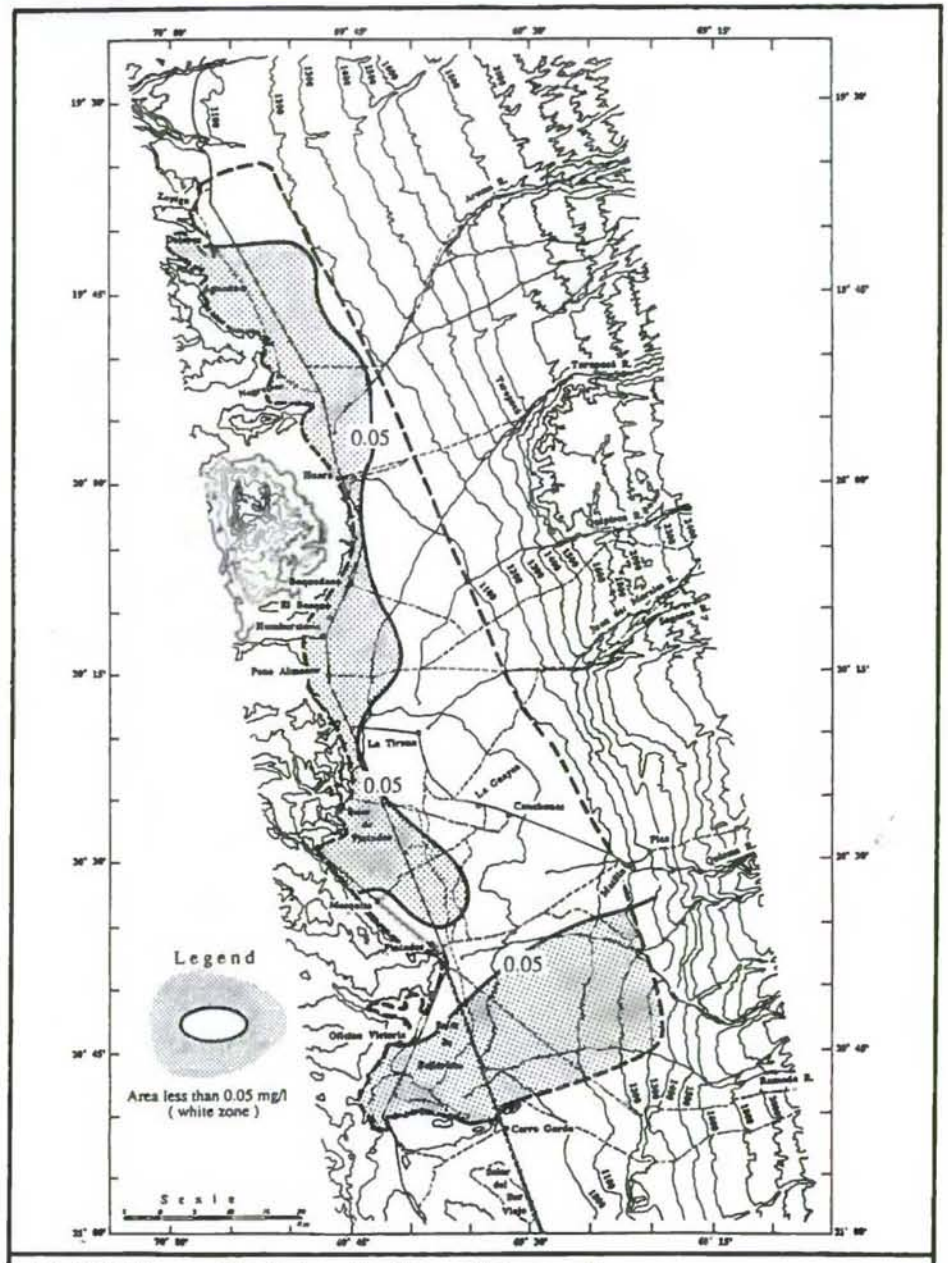


Fig. 2.23 (3) Distribution of As (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de As (Pampa del Tamarugal) >

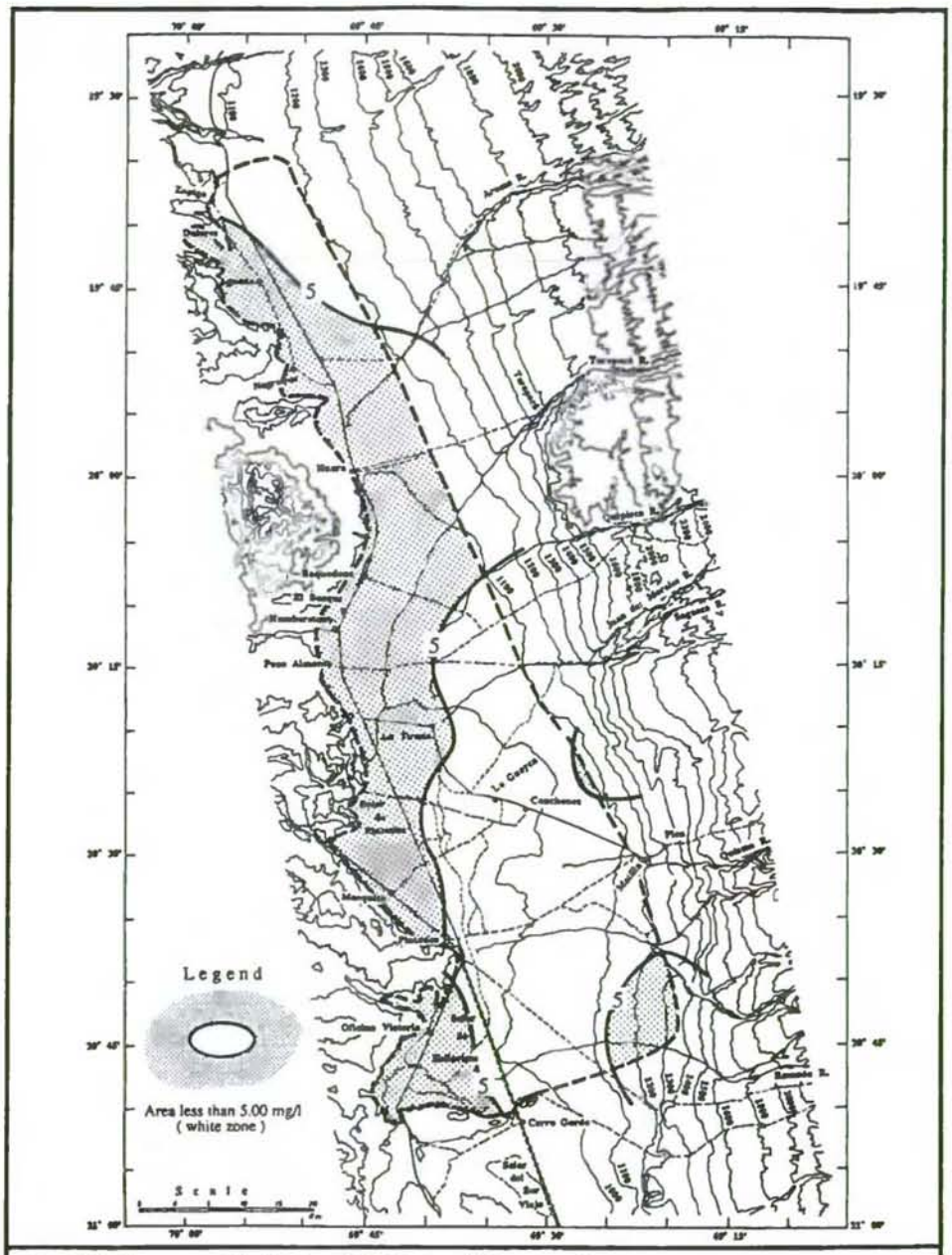


Fig. 2.23 (4) Distribution of B (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de B (Pampa del Tamarugal) >

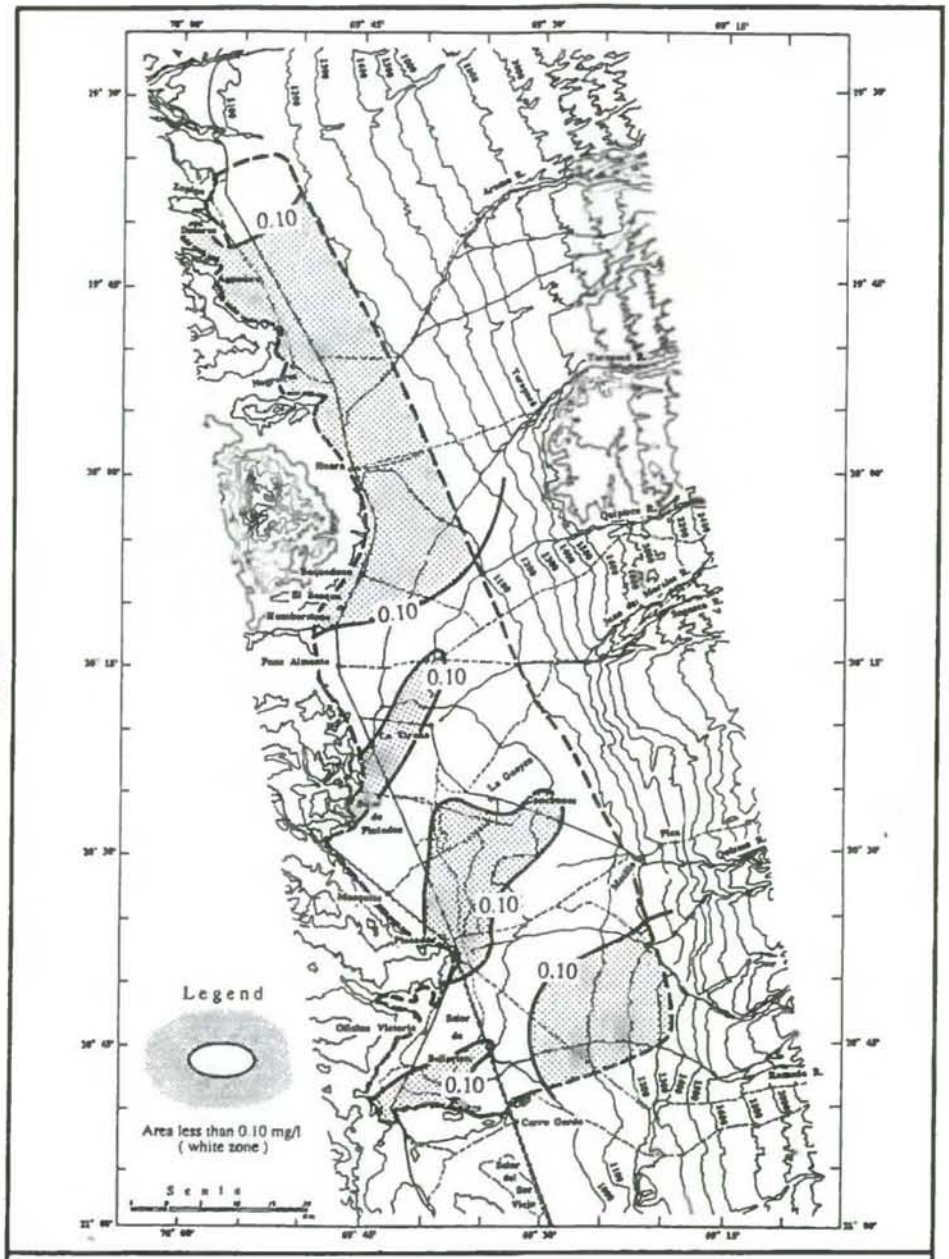


Fig. 2.23 (5) Distribution of Mn (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de Mn (Pampa del Tamarugal) >

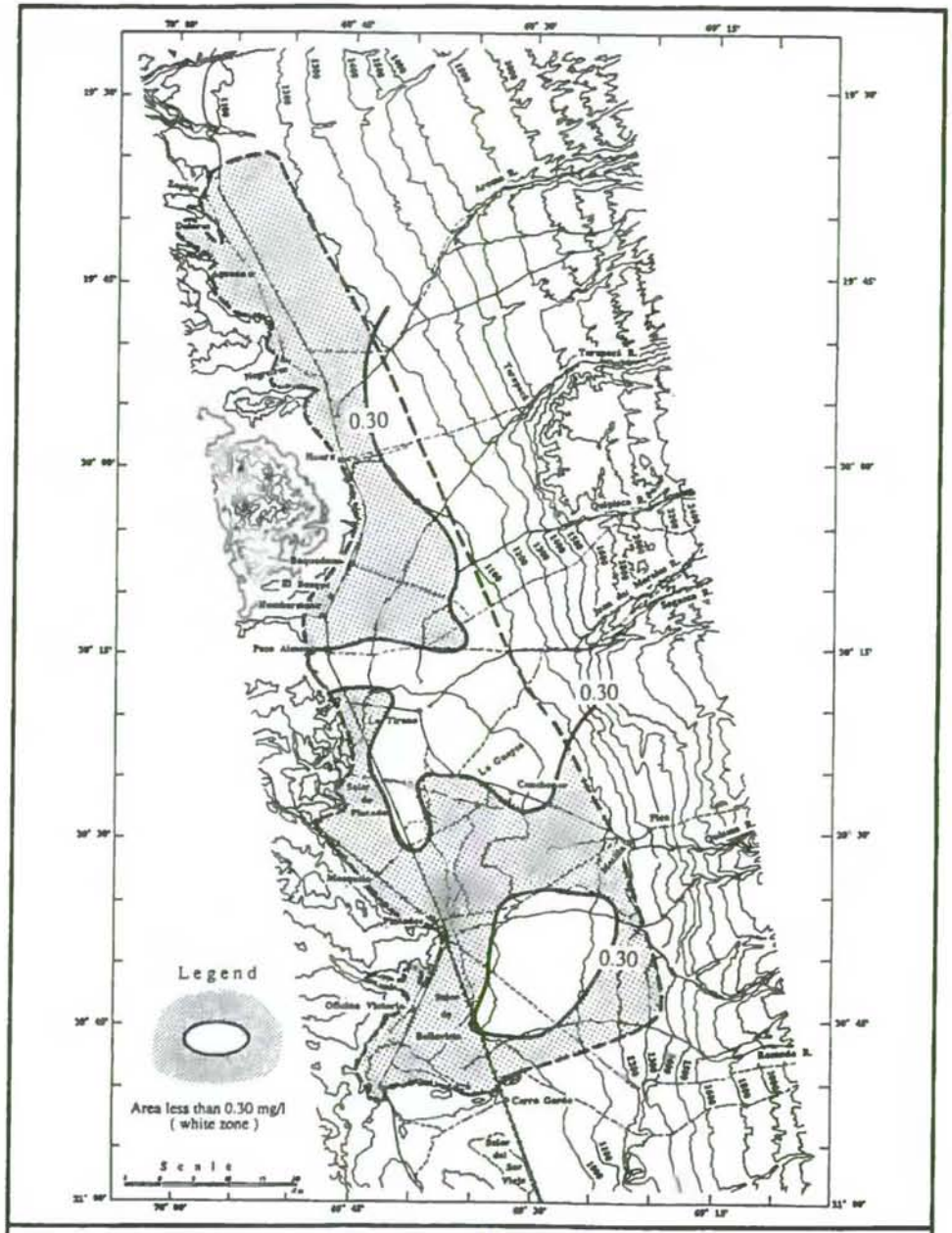


Fig. 2.23 (6) Distribution of Fe (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de Fe (Pampa del Tamarugal) >

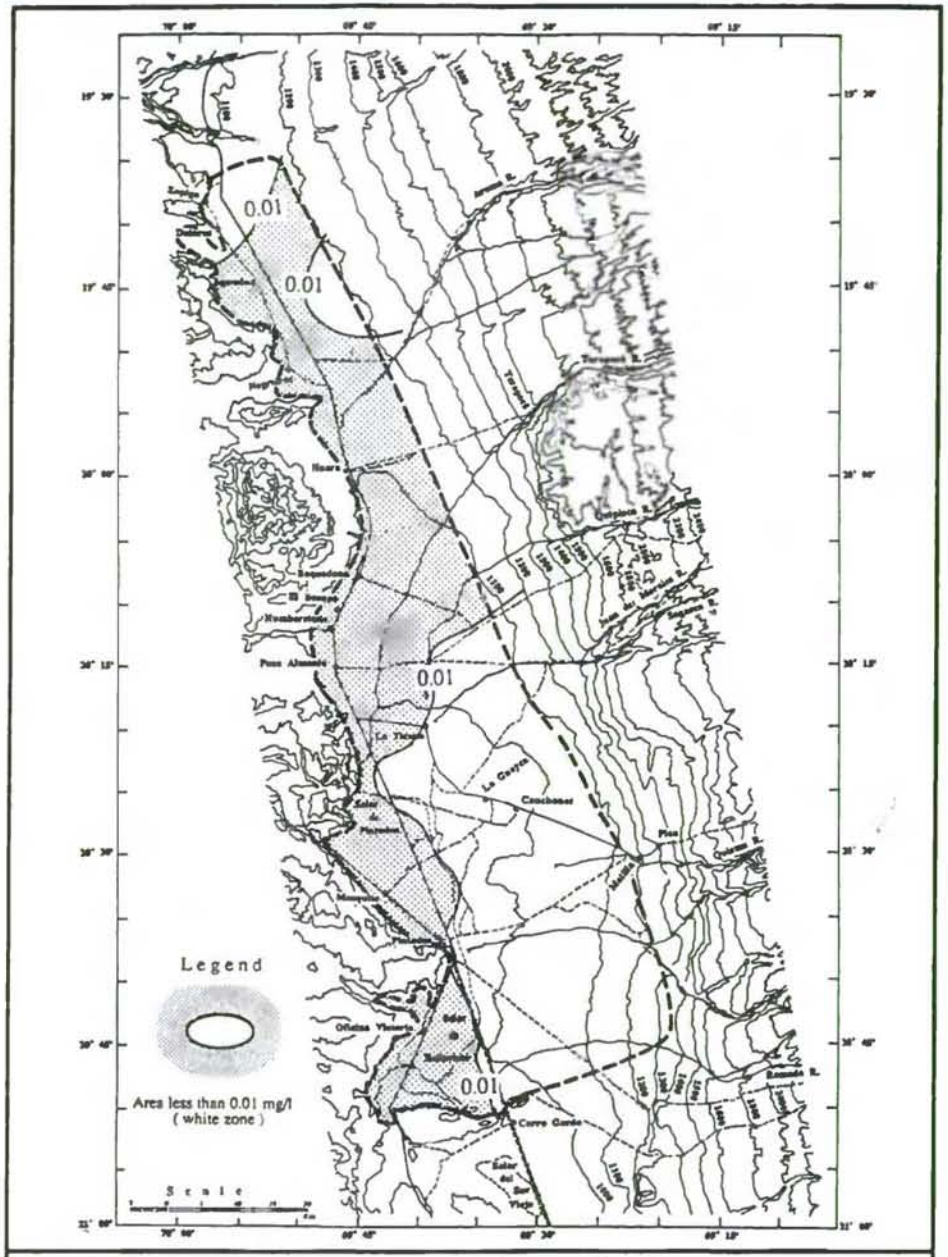


Fig. 2.23 (7) Distribution of Cd (Pampa del Tamarugal)

< Distribución de Cd (Pampa del Tamarugal) >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

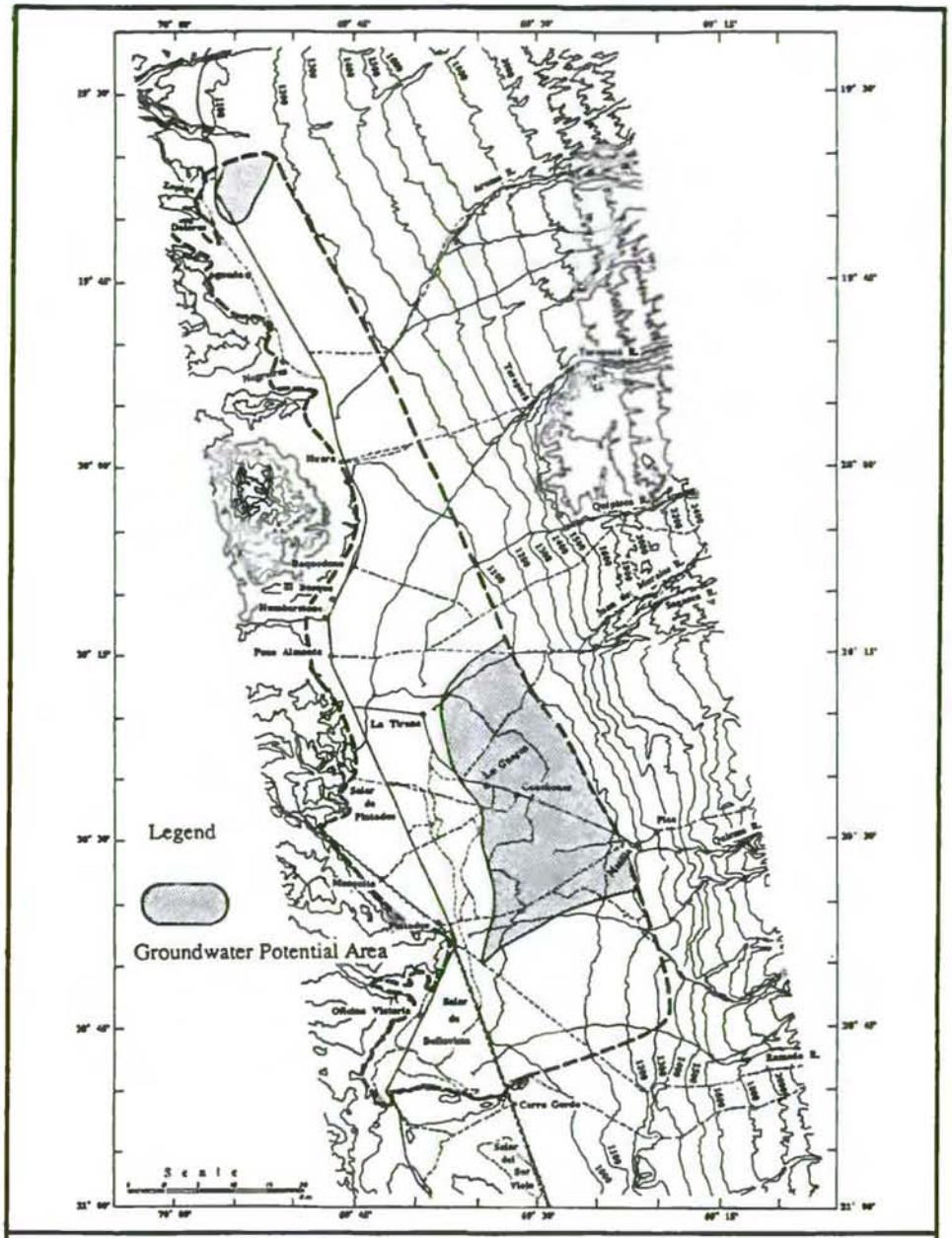


Fig.2.23 (8) Prospective Aquifer Area

<Área de Aculferos Probables>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

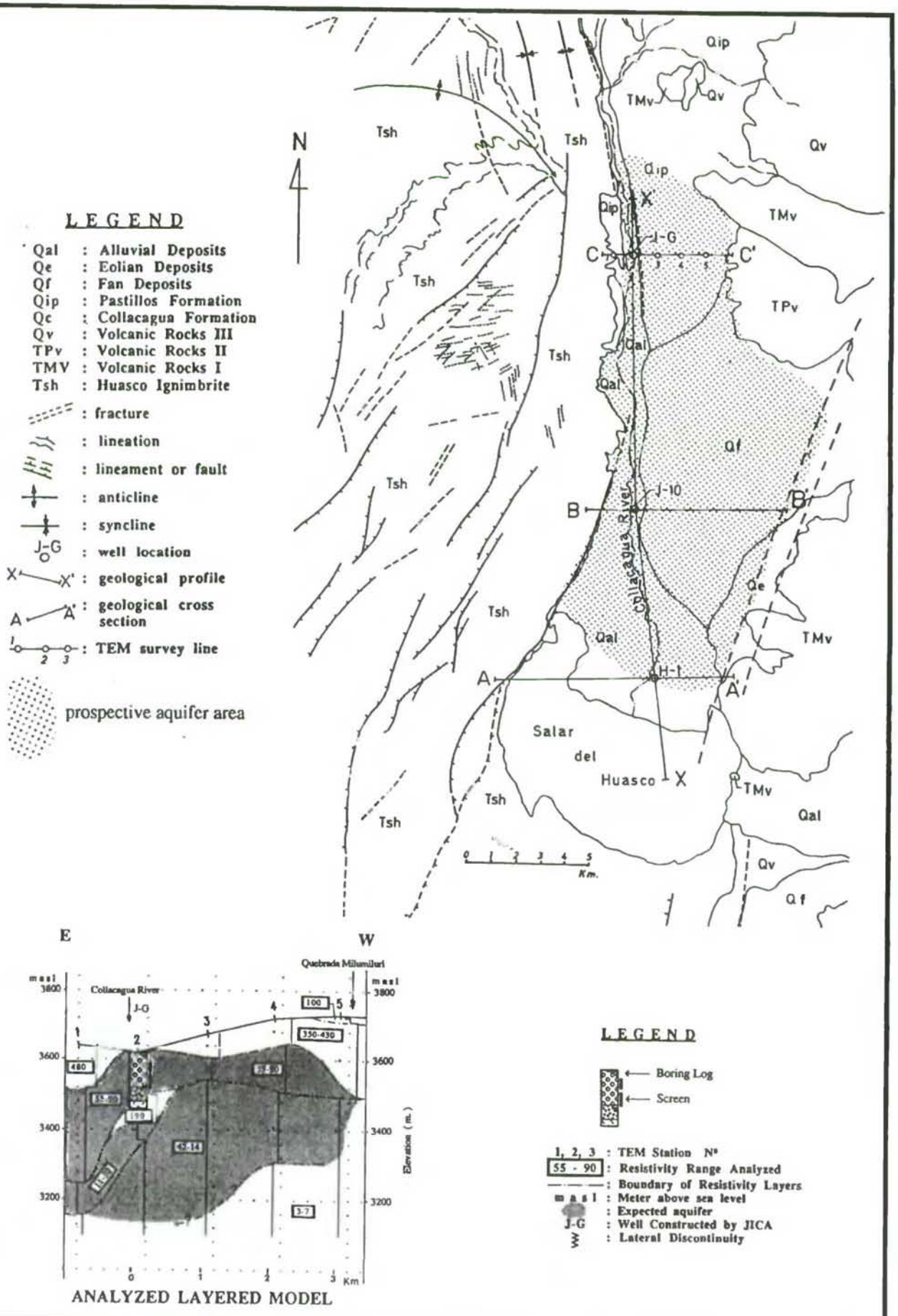


Fig. 2.24 Geological Map and Resistivity Profile of C-C' (Salar del Huasco)

<Mapa Geológico y Perfil de Resistividad del C-C' (Salar del Huasco)>

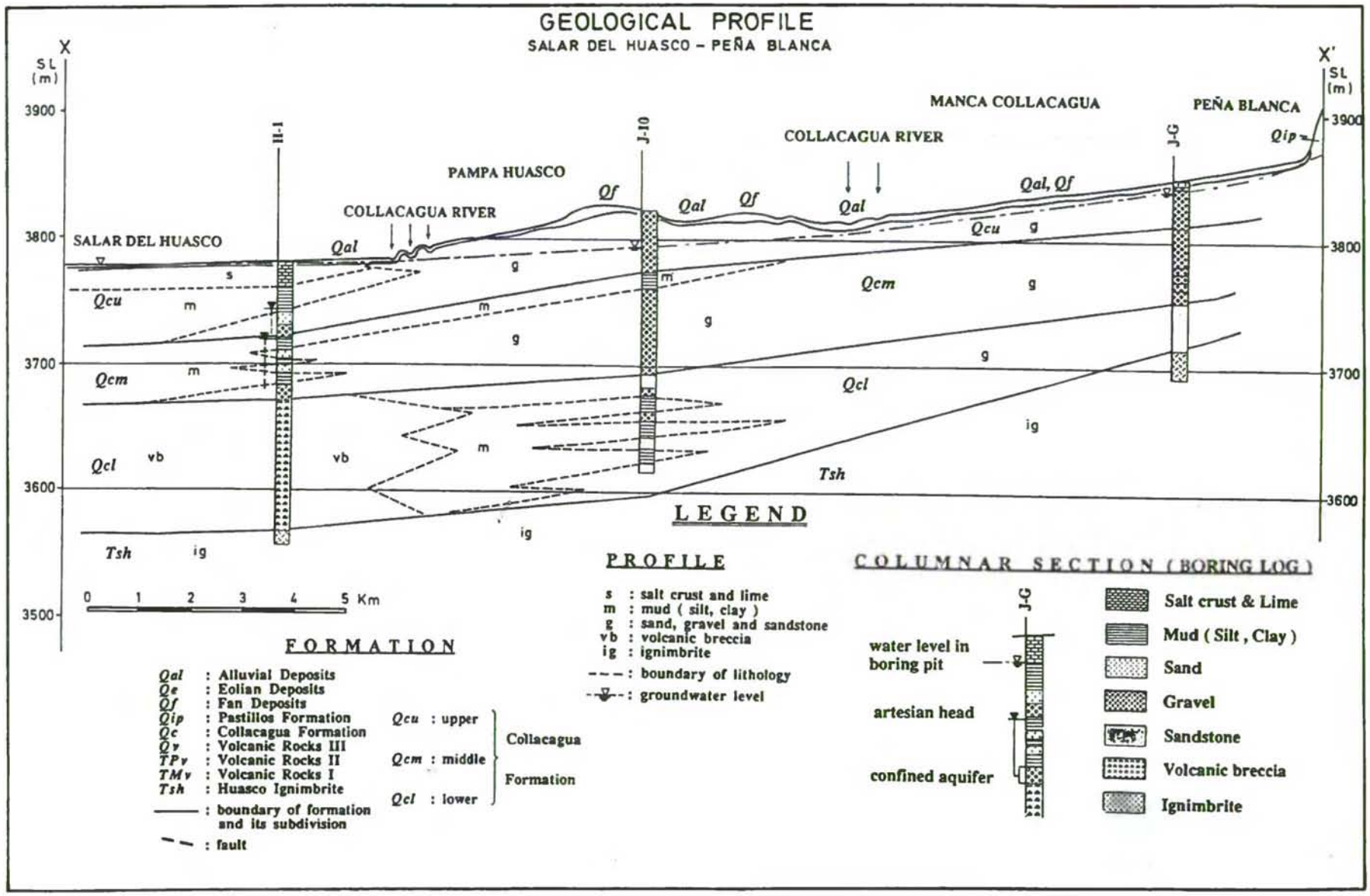


Fig. 2.25 Geological Profile (Salar del Huasco)
<*Perfil Geológico (Salar del Huasco)*>

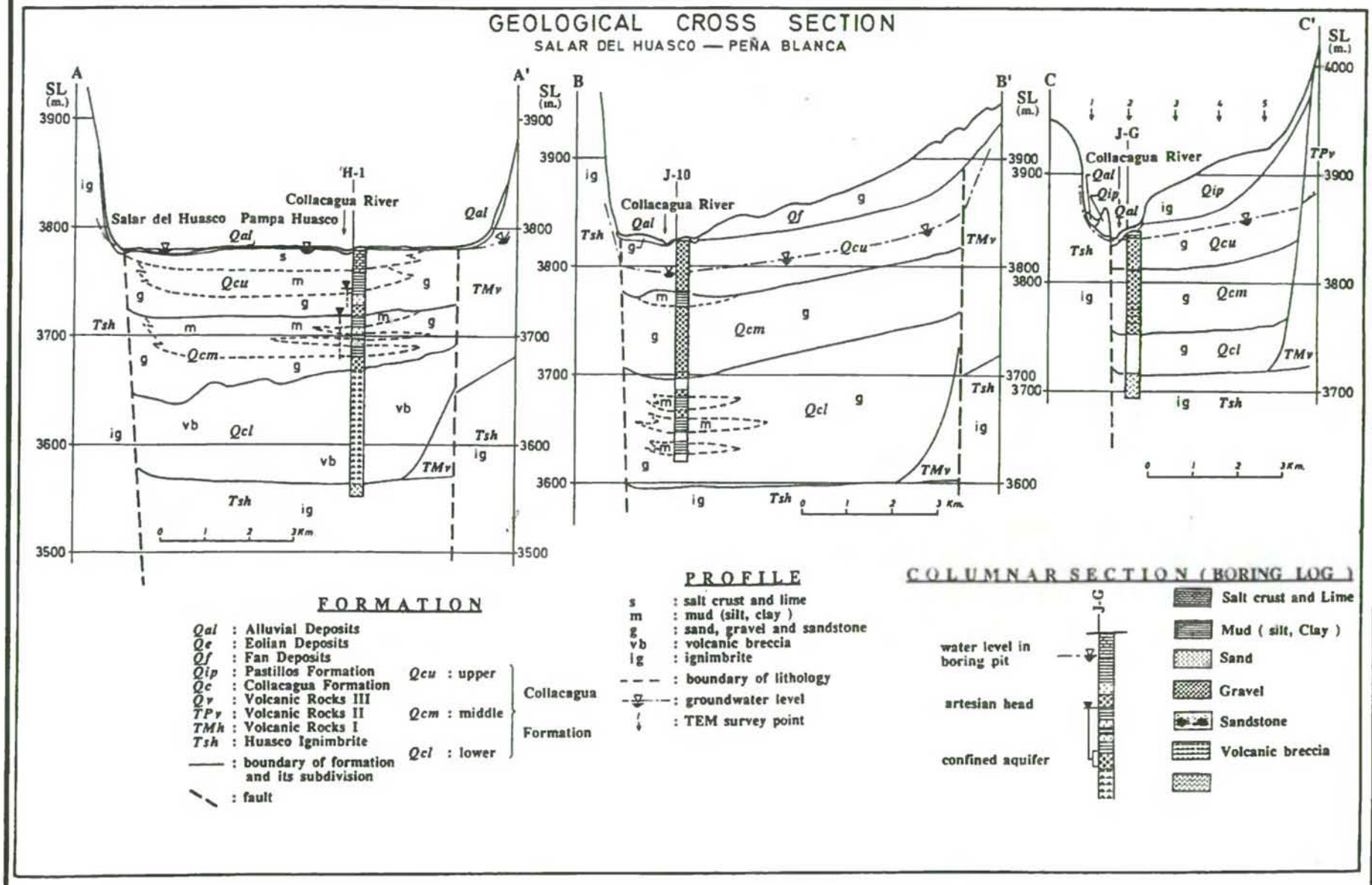


Fig. 2.26 Geological Cross Section (Salar del Huasco)
<*Seccion de Cruce Geológico (Salar del Huasco)*>

CAPITULO III USO DEL AGUA

Capítulo III USO DEL AGUA

3.1 Agua Potable de Arica

3.1.1 Servicio Existente de Abastecimiento de Agua

1) Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

La ciudad de Arica es abastecida de agua potable por ESSAT. El sistema de abastecimiento de agua potable existente cubre alrededor de 1,680 ha del área urbana de la ciudad de Arica, atendiendo a las necesidades de casi toda la población.

Las fuentes de abastecimiento de agua hasta 1992 consistían en 28 pozos ubicados en la ciudad y en el valle de Azapa. Su capacidad total era de 503 l/s. Sin embargo, a partir de entonces ESSAT desarrolló 11 pozos adicionales, hasta fines de 1993, en la ciudad de Arica y el valle de Azapa. Como resultado, se estima en 730 l/s la capacidad total existente de agua proporcionada por estas fuentes.

Un bosquejo del sistema existente de abastecimiento de agua potable es presentado en la Fig. 3.1.

ESSAT tiene cuatro (4) derechos, legalmente autorizados, de aprovechamiento de aguas con una cantidad total de 463 l/s para extracción de agua subterránea en el área de la ciudad y el valle de Azapa. Además, ESSAT arrienda derechos de agua a parceleros y no tiene derechos de aguas tradicionales.

2) Producción y Consumo de Agua Potable

En 1992 ESSAT produjo 16,941 x $10^3 m^3$ de agua potable, de los cuales 10,635 x $10^3 m^3$ fueron consumidos para uso residencial, comercial, industrial y otros. La pérdida estimada de agua, incluyendo filtraciones y uso de agua no facturado, fue de 6,306 x $10^3 m^3$ correspondientes al 37.2% del volumen de producción.

El consumo, en 1992, por categoría y la producción total estimada se resumen abajo.

1992			
	Cantidad (10^3m^3)	%	Per capita (l/c/d)
Producción	16,940.7		277
Consumo	10,635.2	100.0	174
Residencial	8,170.8	76.8	134
Comercial	1,087.3	10.2	
Industrial	919.3	8.6	
Otros	457.8	4.3	
Pérdidas	6,305.5	(37.2)*	

*Porcentaje de Producción

Se espera incrementar el total de la producción de 1994 a 23,021 x 10^3m^3/año (=730 l/s) gracias al Proyecto de Emergencia para Abastecimiento del Agua Potable de ESSAT, el cual fue concluido a fines de 1993.

3) Restricción del Abastecimiento de Agua Potable

El servicio de abastecimiento de agua potable en el año 1992-1993 estuvo limitado a 10.5-15.0 horas por día debido a la escasez de agua. Estas restricciones en el abastecimiento de agua disminuyeron después que se completó el proyecto de emergencia en el abastecimiento de agua potable. Hacia enero el abastecimiento normal era de 14.0-24.0 horas por día.

3.1.2 Futura Demanda de Agua

1) Población Proyectada

Los censos de población de la ciudad de Arica durante el período comprendido entre 1940-1992 son los siguientes:

Año	Población	Año	Población
1940	14,064	1970	87,795
1952	18,847	1982	139,628
1960	43,344	1992	169,212

Para la proyección de la población de Arica los siguientes 3 distintos escenarios fueron estudiados. Correspondientes a diferentes escenarios de crecimiento.

(1) Crecimiento Lineal (línea recta), basado en la información censal de 1982-1992.

(2) Crecimiento Exponencial basado en la información censal de 1970-1992.

(3) Crecimiento Exponencial basado en el índice de crecimiento de la Región I de 1982-1992.

El escenario (2) muestra el más alto crecimiento, mientras que el escenario (1) muestra el menor y el escenario (3) presenta un crecimiento intermedio. (Ver Fig. 3.2).

El crecimiento poblacional dependerá mucho del futuro desarrollo económico de la ciudad. Tanto el gobierno central como local están implementando políticas para la recuperación de la deprimida economía existente en la ciudad. Por lo tanto, la población futura de Arica es proyectada basada en escenarios de crecimiento lineal hasta el 2000 y crecimiento exponencial de la Región 1 después del 2000.

Los resultados se muestran abajo.

Año	Población
1995	178,087
2005	214,524
2015	265,375

2) Futuro Consumo de Agua

La demanda futura de agua municipal en la ciudad de Arica ha sido estimada basándose en los siguientes supuestos:

(1) El consumo total existente de agua per cápita, incluyendo el comercial, industrial y otros, se estima en 220 l/c/d si se proporciona un abastecimiento de agua irrestricto durante las 24 horas.

(2) El consumo futuro de agua per cápita aumentará a razón de un 0.3% por año a medida que el nivel de vida mejore.

(3) El proyecto de desarrollo turístico que está siendo planificado para el área Bajos del Chinchorro significará un consumo adicional de agua. Este consumo adicional de agua se asume será de 10 l/s en 1995 y aumentaría gradualmente en, aproximadamente, 40 l/s en el año 2015.

El consumo futuro de agua proyectado es resumido abajo.

Año	Población Abastecida	Consumo Per Cápita (l/c/d)	Consumo sin Turismo (l/s)	Concesión para Turismo (l/s)	Consumo Total (l/s)
1995	178,087	221.99	457.6	10	467.6
2005	214,524	228.74	567.9	20	587.9
2015	265,375	235.69	723.9	40	763.9

3) Producción Proyectada

La pérdida total de agua incluyendo filtraciones y agua no registrada es de, aproximadamente, un 40% en la actualidad. Se piensa que este porcentaje disminuirá, gradualmente, a un 30% hacia el año 2005 gracias al programa de control de filtraciones de ESSAT.

Las pérdidas futuras, en porcentajes de la producción total, y la producción proyectada se estiman de la siguiente forma:

Año	Consumo Total (l/s)	Pérdidas (%)	Producción Total (l/s)
1995	467.6	40	779.3
2005	587.9	30	839.9
2015	763.9	30	1,091.3

3.2 Riego y Otros Usos del Agua en el Valle de Azapa

3.2.1 Áreas de Riego Existentes

1) Sistema de Riego

El área de cultivo del valle de Azapa se ha incrementado considerablemente durante los años recientes, desde 2,053 ha en 1975 a 2,319 ha en 1984, a 2,522 ha en 1989 y a 3,213 ha en 1993.

Las 3,213 ha de cultivo existentes se dividen en 27 sectores de riego. De éstos, 12 sectores ubicados en los tramos superiores (Bocatoma - Cabuza) son regados por el agua superficial proveniente del Canal Azapa. Otros 10 sectores de riego, ubicados en los tramos inferiores (Cabuza - Saucache) son regados por agua superficial del Canal Azapa, complementada por agua subterránea. Los cinco (5) sectores de riego restantes, ubicados en los tramos inferiores (Cabuza - Saucache) son regados por agua de vertiente complementada por agua subterránea.

(1) Canal Azapa : El Canal Azapa comenzó a operar en 1962 cuando el Canal Lauca , construido para desviar parte de las aguas del río Lauca, fue terminado. El Canal Azapa recoge las aguas superficiales del río San José en Bocatoma y la distribuye a las parcelas del valle de Azapa a través de canales principales y secundarios, con una longitud total de 62.9 km.

(2) Manantiales : Originalmente existían 17 manantiales para uso de riego en los tramos inferiores del valle de Azapa. Sin embargo, la mayoría de éstas se han secado durante los años recientes. En 1993, solamente cinco (5) de estos manantiales se encontraban activos.

(3) Pozos de Aguas Subterráneas : En lo que respecta a 1993, las aguassubterráneas que se destinaban para riego se extraían de 122 pozos existentes en los tramos inferiores del valle de Azapa.

Para la localización de los sectores de riego, ver Fig. 3.3.

2) Áreas de Cultivo

En las tierras de cultivo se cosechan frutas (aceitunas, tomates, uvas, frutas tropicales), hortalizas (porotos verdes, verduras verdes, flores) y forraje (alfalfa). Estos cultivos son irrigados ya sea por el método convencional o el de riego por goteo. Las áreas de cultivo existentes en 1993, clasificadas por tipo de cultivo y por método de riego, son las siguientes:

Tipo de Cultivo	Riego Convencional (ha)	Riego por Goteo (ha)	Total
Fruta	1,166	528	1,694
Verduras	640	753	1,393
Forraje	126	--	126
Total	1,932	1,281	3,213

3) Modelo de Cultivo y Area Real Irrigada

Las áreas de cultivo indicadas arriba no son necesariamente cosechadas en el transcurso del año, dada la carencia de agua y las limitaciones del mercado. Los cultivos perennes, tales como aceitunas, uvas, frutas tropicales y alfalfa son cosechados durante todo el año. Sin embargo, los cultivos anuales de tomate, porotos verdes, verduras verdes y flores son cosechados dos veces al año en un área correspondiente al 30% del total de áreas de cultivo,

respectivamente, y una vez al año se cultivan en un área que equivale al 70%. El cultivo de las cosechas anuales indicadas arriba se concentra durante ocho (8) meses, de marzo a octubre, mientras que la cosecha durante los otros períodos del año es considerada insignificante.

Las áreas que de hecho son irrigadas mensualmente, clasificadas por tipo y por método de riego, son estimadas como sigue, asumiendo que las áreas irrigadas mensualmente están distribuidas uniformemente durante los ocho (8) meses.

Tipo de Cultivo	Riego Convenc.(ha)		Riego por Goteo (ha)		Total	
	Mar.-Oct.	Nov.-Feb.	Mar.-Oct.	Nov.-Feb.	Mar.-Oct.	Nov.-Feb.
Fruta	1,143	1,101	367	68	1,510	1,169
Verduras	416	-	490	-	906	-
Forraje	126	126	-	-	126	126
Total	1,685	1,227	857	68	2,542	1,295

3.2.2 Uso Existente del Agua de Riego

1) Demanda de Agua

El agua que demandan los cultivos se estima multiplicando su evapo-transpiración por la eficiencia y área de riego. En esta estimación se aplican la evapo-transpiración y eficiencia de riego supuestos en el estudio previo realizado, en 1989, por Araya, Cabrera/Asociados Ltda., Ingenieros Consultores.

La evapo-transpiración de los cultivos varía mensualmente de acuerdo a los cambios climáticos en el sitio de cultivo. Sin embargo, la eficiencia de riego es constante a lo largo del año. El promedio anual de la evapo-transpiración y la eficiencia de riego, por tipo de cultivo y por método de riego, son presentados abajo.

Tipo de Cultivo	Evapo-transpiración (mm/año)	Eficiencia de Riego (%)	
		Convencional	Goteo
Fruta	1,236.8	60	95
Verduras	1,154.7	45	75
Forraje	1,593.1	60	-

Para la evapo-transpiración mensual por tipo de cosecha, ver el Informe Complementario C, Tabla C.2.4.

La demanda anual existente de agua de riego de los cultivos se estima en 40,012 x $10^3 m^3$/año (=1,269 l/s), con el siguiente desglose:

(Unit : $10^3 m^3$/año)

Tipo de Cultivo	Riego Convencional	Riego por Goteo	Total
Fruta	23,173	3,049	26,222
Verduras	6,121	4,324	10,445
Forraje	3,345	-	3,345
Total	32,639	7,373	40,012 (=1,269 l/s)

Para la demanda mensual de agua de riego, ver el Informe Suplementario C, Tabla C.2.6.

2) Consumo Real de Agua

En realidad, el agua de riego no es consumida en su totalidad. Una porción es consumida por la evapo-transpiración de los cultivos y otra porción se infiltra a la napa. El agua infiltrada puede ser reutilizada después que recarga las aguas subterráneas.

El consumo de agua de riego por evapo-transpiración de los cultivos es considerado como el consumo real. El consumo anual real de agua de riego en el valle de Azapa es estimado en 24,810 x $10^3 m^3$/año (=787 l/s), con el siguiente desglose:

Tipo de Cultivo	Consumo Real de Agua ($10^3 m^3$/año)
Fruta	16,802
Verduras	5,999
Forraje	2,009
Total	24,810 (=787 l/s)

3) Derechos de Aguas

El agua de riego es extraída desde el río, manantiales y aguas subterráneas, basándose en los derechos de aguas legalmente autorizados o derechos tradicionales. Los derechos de aguas existentes para uso de riego en el valle de Azapa se resumen abajo.

Tipo	No. de Derechos de Aguas	Fuente de Agua	Cantidad
Legalmente Autorizado	22	M,G	1,038.05 l/s
Tradicional	11	R,G	454.77 l/s + 2,437.90 acc.

M: Manantial; S: Agua Subterránea, R: Río

acc. (acción): unidad de derecho de agua

3.2.3 Otros Usos Existentes del Agua

1) Uso Existente del Agua

El agua subterránea correspondiente a 1,694 $x10^3 m^3$/año (=53 l/s) es extraída desde 45 pozos para uso particular doméstico, uso industrial y otros múltiples usos en el valle de Azapa.

Una porción considerable del agua extraída se descarga en las tierras del valle de Azapa. Estas se infiltran a la napa recargando las aguas subterráneas para su reutilización. El consumo real anual de agua para otros usos se estima en 678 x $10^3 m^3$/año (=21 l/s), suponiendo que un 60% del agua extraída recarga las aguas subterráneas.

2) Derechos de Aguas

El agua para otros usos es, mayoritariamente, extraída sin derechos exceptuando la de uso industrial. Los derechos de aguas existentes son resumidos abajo.

Tipo	No. Derecho de Aguas	Fuente de Agua	Cantidad (l/s)
Legalmente Autorizado	5	S	106.1
Tradicional	4	S	42.0
Total	9		148.1

S: Aguas subterráneas

3.3 Agua de Riego en el Valle de Lluta

3.3.1 Area Irrigada Existente

1) Sistema de Irrigación Existente

El área total de tierras de cultivo en el Valle del bajo Lluta se estima en 4,032 ha. Esta área se ubica a lo largo de un tramo de 65 km entre Vilacollo y la desembocadura del río, y es abastecida por el sistema de irrigación del río Lluta. (Ver Fig. 2.1).

Sin embargo, sólo una parte de estas 4,032 ha se cultiva. El área cultivada se limita normalmente a 2,784.2 ha (69%), las restantes 1,248.2 ha (31.0%) están en permanente descanso debido a la carencia de agua de riego y a la escasa capacidad de drenaje del suelo.

Las 4,032 ha de tierras de cultivo a lo largo del río Lluta se dividen en 6 sectores de riego que, a su vez, se subdividen en 80 sub-sectores. Cada sub-sector de riego es abastecido de agua de río mediante su propia bocatoma independiente de irrigación y su red de canales. Los métodos de riego convencionales se usan para todas las áreas irrigadas.

La ubicación de los sectores y sub-sectores de riego arriba mencionados, además de las bocatomas de irrigación, se muestran en la Fig. 3.4.

2) Area Irrigada y Modelos de Cultivo

Debido a la contaminación del río con boro (B), los tipos de cultivo en el valle del Bajo Lluta se limitan a maíz, forraje (alfalfa) y cierto tipo de verduras.

El maíz es el cultivo predominante seguido por el forraje (alfalfa). El detalle por tipo de cultivos es el siguiente:

Cultivo	Area (ha)	% de Area Cultivada
Maíz	1,698.4	61.0
Alfalfa	683.9	24.6
Verduras	401.9	14.4
Total	2,784.2	100.0

El maíz es cosechado una o dos veces al año. La cosecha doble es común en el área aguas abajo de Poconchile. La primera cosecha se cultiva en el período comprendido entre marzo y junio, y la segunda cosecha entre

septiembre y diciembre. Sin embargo, normalmente, hay sólo una cosecha en el área aguas arriba de Poconchile durante el período de diciembre a marzo, debido a las limitaciones del clima y mercado. Las verduras y el forraje son cultivados durante todo el año.

Las áreas irrigadas mensualmente y por tipo de cultivo se resumen de la siguiente forma:

Meses	Maíz (ha)	Verduras (ha)	Forraje (ha)	Total (ha)
Enero-Febrero	371.3	401.9	683.9	1,457.1
Marzo	1,698.4	401.9	683.9	2,784.2
Abril-Junio	1,327.1	401.9	683.9	2,412.9
Julio-Agosto	--	401.9	683.9	1,085.8
Sept.-Nov.	1,327.1	401.9	683.9	2,412.9
Diciembre	1,698.4	401.9	683.9	2,784.2

3.3.2 Uso Existente del Agua

1) Demanda de Agua

El agua requerida por los cultivos se estima multiplicando su evapo-transpiración por su rendimiento y área de riego.

La evapo-transpiración y el eficiencia de riego de los cultivos en el valle del Bajo Lluta fueron estimados basándose en los estudios previos para el valle de Azapa y en conversaciones con el SAG, y son como sigue:

Cultivo	Evapo-transpiración (mm/año)	Eficiencia de Riego (%)
Maíz	1,385.6	40
Verduras	1,154.7	50
Forraje	1,593.1	60

Para la evapo-transpiración mensual por tipo de cultivo, ver el Informe Suplementario C, Sección 3.2.1.

El agua que demandan los cultivos anualmente se estima en 64,598 x $10^3 m^3$/año (=2,048 l/s) con el siguiente desglose:

Tipo de Cultivo	Demanda de Agua (10^3m^3/año)
Maíz	36,126
Verduras	10,313
Forraje	18,159
Total	64,598 (=2,048 l/s)

Para la demanda mensual de agua de riego, ver el Informe Suplementario C, Tabla C.3.3.

2) Consumo Real de Agua

Toda el agua requerida para riego es extraída del río Lluta. Sin embargo, el agua de riego no es completamente consumida por los cultivos. Una porción significativa se infiltra a la napa y regresa al río en los tramos inferiores de su curso. Esta agua que retorna queda disponible para su reutilización. La cantidad consumida de hecho por los cultivos (excluyendo las pérdidas debido a los rendimientos de riego) se estima basándose en la evapo-transpiración.

El consumo real anual de agua de riego en el valle bajo del Lluta (Vilacollo-desembocadura) se estima en 29,987 x 10^3m^3/año (=951 l/s), con el siguiente desglose por tipo de cultivo:

Tipo de Cultivo	Consumo Real de Agua (10^3m^3/año)
Maíz	14,451
Verduras	4,641
Forraje	10,895
Total	29,987 (=951 l/s)

Aparte del consumo real de agua de riego, indicado arriba, en los tramos aguas abajo de la estación Tocontasi/Chapisca se estima en 28,181 x 10^3m^3/año (=894 l/s).

3) Derechos de Aguas

La mayor parte del agua de riego en el valle bajo del Lluta se extrae basándose en los derechos de aguas legalmente autorizados o en los derechos por uso y costumbre. El número de los derechos de aguas y la cantidad, hasta 1992, son resumidos abajo. Casi todas las fuentes de agua son del río.

Tipo	No. de Derechos de Aguas	Fuente de Agua	Cantidad
Legalmente	81	R, S	284.75 l/s +
Autorizado			2,729.84 acc.
Tradicional	1	S	10.0 l/s

R: Ríos, S: Aguas subterráneas

3.4 Agua Potable de Iquique

3.4.1 Servicio Existente de Abastecimiento de Agua

1) Sistema de Abastecimiento de Agua

El agua potable de la ciudad de Iquique es suministrada por ESSAT. El sistema de agua potable existente cubre aproximadamente 2,162 ha de Iquique, abasteciendo a toda la población de la ciudad.

La fuente que abastece a la ciudad la constituyen las aguas subterráneas provenientes de Pampa del Tamarugal, las cuales son extraídas por doce (12) pozos ubicados en, o cerca, de Canchones, a aproximadamente 70 km al Este de Iquique. Existen además dos (2) pozos de emergencia y dos (2) pozos de observación.

Las aguas subterráneas extraídas son conducidas por las tuberías de aducción, a lo largo de 75.3 km, desde el estanque colector Canchones a los estanques de distribución instalados en los cerros al Este de la ciudad. Las tuberías de aducción cruzan la cordillera de la Costa en su ruta a la ciudad de Iquique.

La ruta seguida por las tuberías de aducción se muestra en la Fig. 3.5.

De un total de doce (12) pozos funcionando, ocho (8) de ellos tienen derechos de aguas legalmente autorizados con una cantidad total de 835 l/s de extracción permitida.

2) Producción y Consumo de Agua

En 1992, ESSAT produjo 17,241 x $10^3 m^3$ de agua municipal, de los cuales 10,822 x $10^3 m^3$ fueron consumidos por uso residencial, comercial, industrial y otros. La pérdida estimada de agua, incluyendo filtraciones y uso de agua no facturada, fue de 6,420 x $10^3 m^3$ correspondientes al 37.2% del volumen de producción.

La producción y consumo de agua, por uso y pérdida, en 1992 se resumen abajo.

	1992		
	Cantidad (10^3m^3)	%	Per Cápita (l/c/d)
Producción	17,241.2		313
Consumo	10,821.7	100.0	180
Residencial	8,523.8	78.8	142
Comercial	869.5	8.0	
Industrial	1,359.4	12.6	
Otro	68.9	0.6	
Pérdidas	6,419.5	(37.2)*	

*Porcentaje de Producción

3) Restricción del Abastecimiento de Agua

El servicio existente de abastecimiento de agua se encuentra disponible las 24 horas del día. En general, no existen limitaciones en el abastecimiento de agua salvo en algunas áreas donde se restringe.

3.4.2 Futura Demanda de Agua

1) Población Proyectada

Se dispone de la información proporcionada por los censos a partir del año 1940, de la siguiente forma:

Año	Población	Año	Población
1940	38,094	1970	64,435
1952	39,576	1982	110,534
1960	50,655	1992	152,529

La población futura de la ciudad de Iquique fue determinada promediando las poblaciones proyectadas por los siguientes tres (3) métodos, correspondientes a diferentes escenarios de crecimiento. (Ver Fig. 3.6).

(1) Crecimiento Linear (línea recta) basado en la información censal de 1982-92.
(2) Crecimiento Exponencial basado en la información censal de 1970-92.
(3) Crecimiento Exponencial basado en el índice de crecimiento regional de 1982-1992.

Los resultados se muestran abajo.

Año	Población
1995	165,236
2005	213,356
2015	272,605

2) Futuro Consumo de Agua

La demanda futura de agua potable para la ciudad de Iquique se estima basándose en los siguientes supuestos:

(1) El consumo de agua total per cápita que existe, incluyendo el comercial, industrial y otros, se estima en 220 l/c/d si se aplica un abastecimiento irrestricto las 24 horas del día.

(2) El futuro consumo de agua per capita aumentará a un ritmo del 0.3% por año a medida que el nivel de vida mejore.

Los futuros consumos de agua proyectados se resumen abajo.

Año	Población Abastecida	Consumo Per Capita (l/c/d)	Consumo Total (l/s)
1995	165,236	221.90	424.5
2005	213,356	228.74	564.8
2015	272,605	235.69	743.6

3) Producción Proyectada

La pérdida total, incluyendo filtraciones y agua no registrada, es de aproximadamente un 40% en la actualidad. Se espera que este porcentaje disminuya gradualmente a un 30% para el año 2005, gracias al programa de control de filtraciones de ESSAT.

Las futuras pérdidas, en porcentajes de la producción total, y la producción proyectada son estimadas de la siguiente forma:

Año	Consumo Total (l/s)	Pérdidas (%)	Producción Total (l/s)
1995	424.5	40	707.5
2005	564.8	30	806.9
2015	743.6	30	1,062.3

3.5 Uso del Agua en Pampa del Tamarugal

3.5.1 Uso Doméstico del Agua

1) Uso del Agua en los Poblados

(1) Servicio de Abastecimiento de Agua Existente

El agua de los siguientes siete (7) pueblos, localizados en tres (3) comunas diferentes, es suministrado por ESSAT.

Comuna		Pueblo
Huara	:	Huara, Pisagua
Pica	:	Pica, Matilla
Pozo Almonte	:	Pozo Almonte, Huayca, Tirana

La ubicación de los pueblos está dada en la Fig. 3.7.

Pica, Matilla, Huayca, La Tirana y Pozo Almonte son abastecidos de agua por los manantiales y aguas subterráneas de Chintaguay, cerca de Pica. El suministro de Huara proviene de un pozo perteneciente al ejército de Chile en Dupliza. Pisagua es abastecida por un pozo en Dolores. Ver Fig. 3.5 y Fig. 3.7.

(2) Producción y Consumo Existente de Agua

El consumo total de agua en los pueblos durante 1992 fue estimado en 962,509 m^3/año basándose en información proporcionada por ESSAT. Este consumo incluye una cantidad considerable de uso agrícola.

Más aún, el volumen correspondiente de producción en 1992 fue estimado basándose también en la información proporcionada por ESSAT.

El consumo total, la pérdida y la producción de agua en los poblados durante 1992 son resumidos abajo.

Consumo Total		Pérdida		Producción Total	
(m^3/año)	(l/s)	(m^3/año)	(l/s)	(m^3/año)	(l/s)
962,509	30.5	710,799	22.6	1,673,308	53.,1

La pérdida de agua es equivalente al 42.5% de la producción.

ESSAT posee dos (2) derechos de aguas de vertiente en Chintaguay con una cantidad total de 99 l/s. Además, posee un (1) derecho de aguas subterráneas en Dolores por 22.5 l/s.

(3) Producción y Demanda Futura de Agua

La futura producción y demanda de agua en los poblados se estiman basándose en los siguientes supuestos:

i) La población abastecida aumentará a un ritmo anual de crecimiento del 2.46%, que es el equivalente al promedio anual de la tasa de crecimiento durante los últimos 10 años (1982-1992).

ii) El consumo existente per capita se estima en 200 l/c/d, el cual aumentará gradualmente a un ritmo de 0.5% por año.

iii) El agua que ESSAT destina a uso agrícola tendrá una tasa de crecimiento del 0.5% por año.

iv) El porcentaje de pérdida del agua disminuirá desde un 40% o más, en la actualidad, a un 30% para el año 2005.

Los resultados se resumen abajo.

Año	Población Abastecida	Consumo Total (l/s)	Producción Total (l/s)
1995	7,070	32.1	53.6
2005	9,011	38.6	55.1
2015	11,485	47.0	67.1

2) Otros Usos del Agua

La población rural existente en el año 1992 ascendió a 5,170. La futura población rural en el año 2015 se estima será 7,657, equivalente a un 40% del total de la población.

Las demandas rurales de agua para uso doméstico en 1992 y en 2015 se estiman en 4.2 l/s y 7.1 /s respectivamente, asumiendo que la demanda existente per capita es de 70 l/c/d y que aumenta a un ritmo anual de 0.5%.

En la actualidad, de acuerdo a un estudio realizado, el ejército chileno está bombeando aproximadamente 60 l/s de aguas subterráneas en Dupliza, para uso propio. Se asume que ésto no cambiará en el futuro.

3) Consumo Real de Agua

La producción, existente y futura, de agua para uso doméstico en Pampa del Tamarugal se resume de la siguiente forma:

(Unit: l/s)

Producción	Pueblo	Rural	Militar	Total
Existente (1992)	53.1	4.2	60.0	117.3
Futura (2015)	67.1	7.1	60.0	134.2

Se estima que la porción de la producción de agua, para uso doméstico, que retornará a cuenca de Pampa del Tamarugal será del orden del 60%. El consumo real de agua será entonces de un orden del 40% de la producción de agua, equivalente a un promedio de alrededor de 47 l/s en 1992 y de 54 l/s en 2015.

3.5.2 Uso del Agua de Riego

1) Irrigación de los Valles

(1) Area Irrigada Existente

Además del área de Pica y Matilla, el riego de cultivos se practica dentro de la cuenca de Pampa del Tamarugal en los valles de los ríos Aroma, Tarapacá, Quipisca y Mamiña.

En estos valles un área de 275 ha es irrigada por agua de río y de vertiente. Los principales cultivos son maíz y alfalfa.

Para la ubicación de las áreas irrigadas, ver Fig. 3.7.

(2) Demanda de Agua y Derechos de Aguas Existentes

La demanda existente de agua fue estimada multiplicando la evapo-transpiración del cultivo por la eficiencia y área de riego. Los siguientes fueron usados en esta estimación:

Cultivo	Area (ha)	Evapo-transpiración (mm/año)	Eficiencia de Riego (%)
Maíz	137.5	1,385	40
Alfalfa	137.5	1,593	50

La demanda total de agua para riego de los valles se estima en 9,141.7 x $10^3 m^3$/año (= 290 l/s).

La evaporación anual total de los cultivos es considerada como el total del consumo real de agua de riego en los valles. Se estima que éste es de 4,094,800 m^3/año o 130 l/s.

Existen catorce (14) derechos de aguas legalmente autorizados con una cantidad total de 198.66 l/s para río, vertiente y aguas subterráneas. Además, se cuenta con dos (2) derechos de aguas por uso y costumbre de vertiente, con una cantidad total de 10.88 l/s.

(3) Futura Demanda de Agua

Los parceleros de los valles se espera migrarán en el futuro al área del proyecto CAPPTA (Ver Fig. 3.7). Por tanto, la demanda de agua de riego en los valles gradualmente disminuirá a cero en el futuro.

2) Irrigación en el Área de Pica y Matilla

(1) Cultivos y Área de Riego Existentes

Aproximadamente 305 ha de tierras cultivadas en el área de Pica y Matilla son irrigadas por aguas subterráneas y de vertiente. Los principales cultivos son frutas y verduras. El riego por goteo se usa considerablemente. Para localizar el área de irrigación, ver Fig. 3.7.

El área irrigada existente, por tipo de cultivo y por método de riego, es como sigue:

Cultivo / Método de Riego		Area (ha)
Frutas		
	Inundación	155
	Aspersión	130
Verduras		
	Goteo	20
Total		305

(2) Demanda de Agua y Derechos de Aguas Existentes

La demanda existente de agua fue estimada multiplicando la evapo-transpiración del cultivo por la eficiencia y área de riego.

La evapo-transpiración del cultivo por año y la eficiencia de riego se suponen de la siguiente forma:

Evapo-transpiración			Eficiencia de Riego	
Frutas	:	1,236.7 mm/año	Frutas por Inundación	: 60%
Verduras	:	1,154.7 mm/año	Frutas por Aspersión	: 80%
			Verduras por Goteo	: 90%

La demanda total de agua de riego estimada en el área de Pica y Matilla es de 5,342.8 x $10^3 m^3$/año (= 169.4 l/s).

La evapo-transpiración total anual de los cultivos se calcula en 3,755.5 x $10^3 m^3$/año (= 119 l/s). Este se considera como el consumo real total de agua de riego del área de Pica y Matilla.

Los derechos de aguas existentes, para uso en riego, en el área de Pica y Matilla son resumidos abajo.

Derechos de Aguas	No.Der. Aguas	Fuente de Agua	Cantidad (l/s)
Legalmente Autorizado	12	M, S	182.9*
Tradicional	2	S	2.3
Total	14		185.2

*: Incluye 4.2 l/s entre Matilla y La Tirana.

M: Manantial, S: Agua subterránea

(3) Demanda Futura de Agua

No existe un plan específico a largo plazo con respecto al desarrollo total de los cultivos en el área de Pica y Matilla. La irrigación futura en el área dependerá de la disponibilidad de agua adicional, de la comercialización de las cosechas y del costo de desarrollo.

Sumándose a los derechos de aguas existentes, 179.7 l/s de derechos de aguas han sido solicitados en el área de Pica y Matilla. Otros 205 l/s han sido solicitados en el área entre Matilla y La Tirana. Sin embargo,

estos derechos de aguas no fueron solicitados basándose en un programa concreto de desarrollo. Por lo que algunos de ellos son considerados especulativos.

Por tanto, en este informe, se asume que el área irrigada y la demanda de agua en el área de Pica y Matilla, incluyendo el área comprendida entre Matilla y La Tirana, se duplicará para el año 2015. Los resultados son resumidos abajo.

	Area Irrigada (ha.)	Producción Total (l/s)	Consumo Total Real (l/s)
Existente (1992)	305	169.4	119
Futura (2015)	610	338.8	238

3) Proyecto de Aguas de Riego CAPPTA

La Corporación Agrícola Proyecto Pampa del Tamarugal (CAPPTA) es una corporación privada formada con el propósito de promover los poblamientos productivos basados en la agricultura y la artesanía. El proyecto contempla reubicar familias venidas desde el altiplano y predominantemente Aymaras, en un área al Noreste de Huara principalmente. A la corporación le han sido otorgados los derechos de uso de 33,550 ha, y se piensa reubicar a alrededor de 430 familias en esta área.

Para la ubicación del área del proyecto CAPPTA, ver Fig. 3.7.

La futura demanda de agua de riego ha sido preliminarmente estimada por el proyecto CAPPTA basándose en un área de 5.0 ha por familia. La demanda de agua en el año 2015 se supone de la siguiente forma:

Promedio Anual de la Demanda de Agua = 0.61 l/s/ha x 430 familias
= 1,290 l/s

El consumo real de agua se estima en aproximadamente 839 l/s (= 2,150 ha x 0.39 l/s/ha) aplicando la misma unidad real de consumo que la aplicada en el área de Pica y Matilla.

Sin embargo, la escala de desarrollo del proyecto CAPPTA depende de la disponibilidad de agua para riego tanto en cantidad como en calidad. La estimación indicada arriba puede ser optimista, considerando que la calidad del agua en esta zona contiene un alto índice de boro.

De acuerdo a los análisis de calidad del agua llevados a cabo durante este estudio, los recursos de agua disponibles para el proyecto CAPPTA se limitan a las aguas subterráneas de las zonas periféricas al norte del proyecto CAPPTA.

En este informe, por tanto, las zonas de desarrollo agrícola del proyecto CAPPTA se supone corresponden al 20% de los estudios preliminares mencionados arriba. Por lo que la demanda promedio y el consumo real de agua se estiman como sigue:

Demanda Promedio de Agua : 430 ha x 0.61 l/p/ha = 258 l/s
Consumo Real de Agua : 430 ha x 0.39 l/p/ha = 168 l/s

4) Uso Total del Agua de Riego en Pampa del Tamarugal

La demanda total de agua existente y futura y el consumo real de agua en Pampa del Tamarugal se resumen abajo.

	Valle	Agua Pica y Matilla	Demanda CAPPTA	(l/s) Total	Valle Real	Agua Pica y Matilla	Consumo CAPPTA	(l/s) Total
Existente (1992)	290	169.4	–	459.4	130	119	–	249
Futura (2015)	–	338.8	258	596.8	–	238	168	406

3.5.3 Uso del Agua en Minería

1) Minas Existentes

Existen cuatro (4) compañías mineras principales operando dentro de la cuenca de Pampa del Tamarugal. Estas compañías y sus operaciones mineras son :

Compañía	Nombre de la Mina
Minera Mapocho	Mapocho
Minera La Cascada	La Cascada
Cosayach S.A.	Cala Cala
Minera Lucic	Boraton

Las últimas minas mencionadas (Boraton y Cala Cala) no estaban en funcionamiento en noviembre de 1993.

Además, la compañía minera A.C.F. se encuentra operando en la Minera Iris al sur de la cuenca de Pampa del Tamarugal, usando fuentes de aguas subterráneas dentro de la cuenca, cerca del límite sur.

Para la localización de estas operaciones mineras, ver Fig.3.7.

2) Demanda de Agua y Derechos de Aguas Existentes

La demanda existente de agua para la explotación minera, en la cuenca de Pampa del Tamarugal, fue calculada a partir de entrevistas en terreno a las compañías. Los resultados se resumen abajo.

Area de la Pampa	:	35.0 l/s incluyendo 5.0 l/s desviación hacia afuera
Valle Superior	:	34.2 l/s
Total	:	69.2 l/s

Los derechos de aguas existentes para uso en la minería son resumidos abajo.

Tipo	No. Derechos de Aguas	Fuente de Agua	Cantidad (l/s)
Legalmente Autorizado	16	S	187.0
Por uso y costumbre	2	M, R	37.0
Total	18		224.0

S: Agua Subterránea, M: Manantial, R: Río

3) Futura Demanda de Agua

Además de los derechos de aguas existentes, sesenta y siete (67) derechos de aguas con una cantidad total de 4,170.7 l/s han sido solicitados en la cuenca de Pampa del Tamarugal.

Sin embargo, solamente veinticuatro (24) de los sesenta y siete derechos, previamente mencionados, han sido solicitados después que la prueba de extracción de agua fue completada. Los cuarenta y tres derechos restantes han sido solicitados sin la prueba de extracción y, por tanto, son considerados especulativos.

Por consiguiente, en este informe, la cantidad de 1,262.3 l/s de agua requerida de las 24 solicitudes mencionadas, son asumidas como la demanda adicional futura de agua para uso en minería, sobre la base de la demanda máxima. El promedio de la demanda anual de agua se estima en 883.6 l/s,

asumiendo que el promedio de la demanda de agua corresponde al 70% de la demanda máxima. Esta demanda adicional futura de agua es distribuida en la zona de la Pampa y las áreas aguas arriba de los valles, como se muestra abajo.

	No. de Solicitudes	Agua (l/s) Solicitada	
		(Máximo)	(Promedio)
Pampa	23	1,252.3	876.6
Valle Superior	1	10.0	7.0
Total	24	1,262.3	883.6

4) Consumo Real de Agua

Una porción significativa del agua extraída para la explotación minera es devuelta a la napa para recargar las aguas subterráneas. En este informe, se asume que el consumo real de agua es de un 60% y la recarga de aguas subterráneas de un 40%.

El real consumo de agua existente y futuro, en los años 1992 y 2015, se estima como sigue:

(Unit: l/s)

	Existente (1992)	Futuro (2015)
Pampa	23.0	549.0
Valle Superior	20.5	24.7
Total	43.5	573.7

3.5.4 Uso Total del Agua

La demanda total de agua existente en Pampa del Tamarugal, en 1992, se estima en 1,192 l/s de los cuales el consumo real de agua es considerado de 887 l/s. La demanda total futura de agua aumentará a 2,746 l/s, en el año 2015, de los cuales el consumo real de agua se considera de 2,096 l/s.

Su desglose, por tipo de uso, se muestra en la Tabla 3.1.

Table 3.1 Total Existing and Future Water Demand and Real Consumption (Pampa del Tamarugal)
< Demanda Total de Agua Existente y Futura y Consumo Real en Pampa del Tamarugal >

	Existente (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
Agua Potable en Pampa	117	47	134	54
Agua de Riego				
Area del Valle	290	130	-	-
Pica / Matilla	169	119	339	238
Proyecto CAPPTA	-	-	258	168
Sub-Total	459	249	597	406
Agua de Minería				
Area del Valle	34	21	41	25
Area de la Pampa	35	23	912	549
Sub-Total	69	44	953	574
Total	1,192	887	2,746	2,096

Nota: La demanda de agua y el consumo real indicados arriba se basan en un promedio anual.

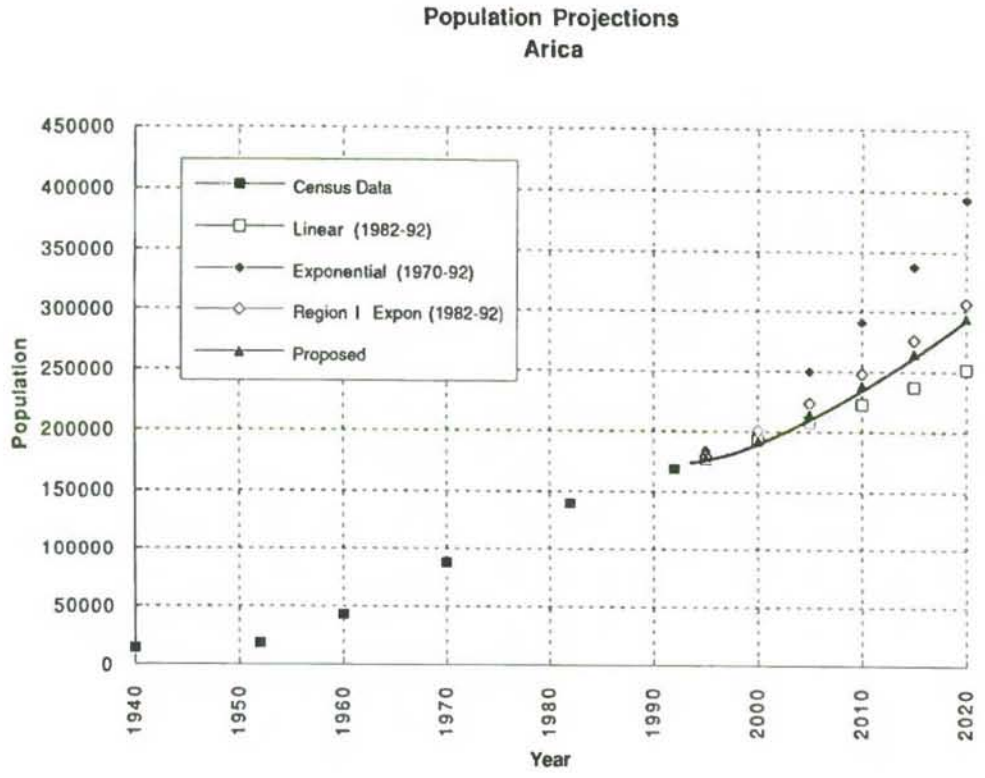


Fig. 3.2 Population Projections - Arica
< *Proyección de la Población - Arica* >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

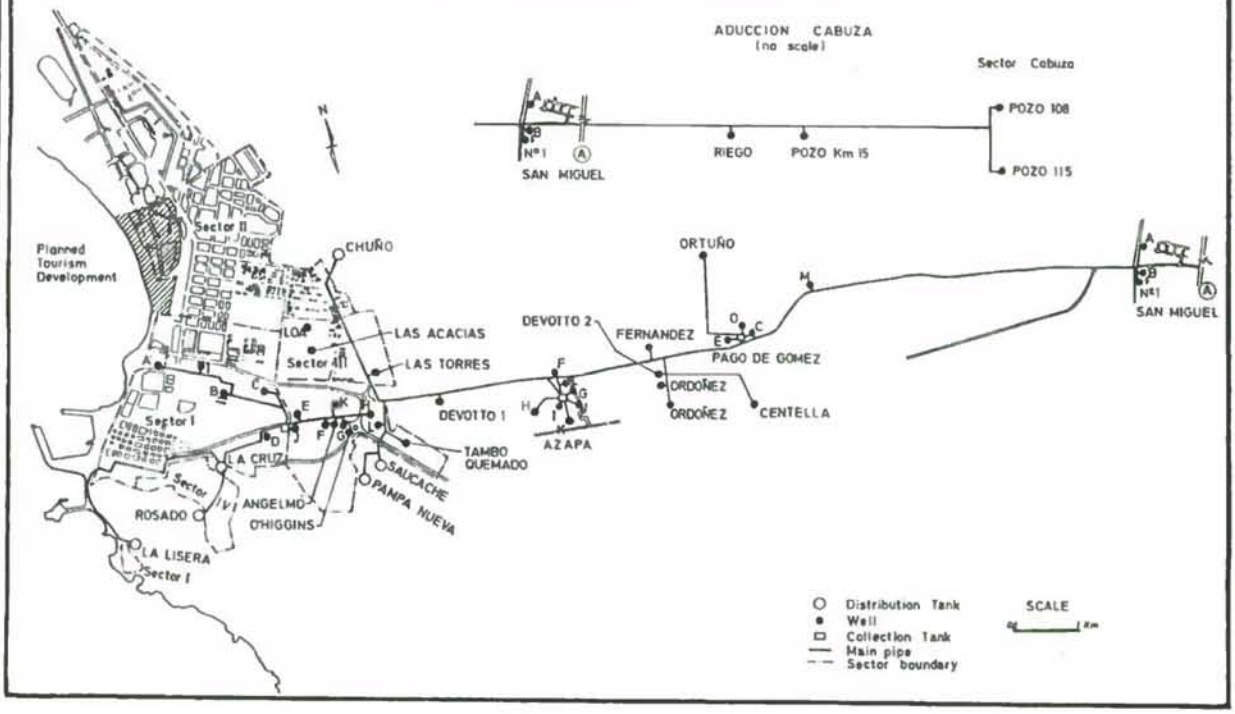


Fig. 3.1 Existing Municipal Water Supply System of Arica City
<*Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Existente de Arica*>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

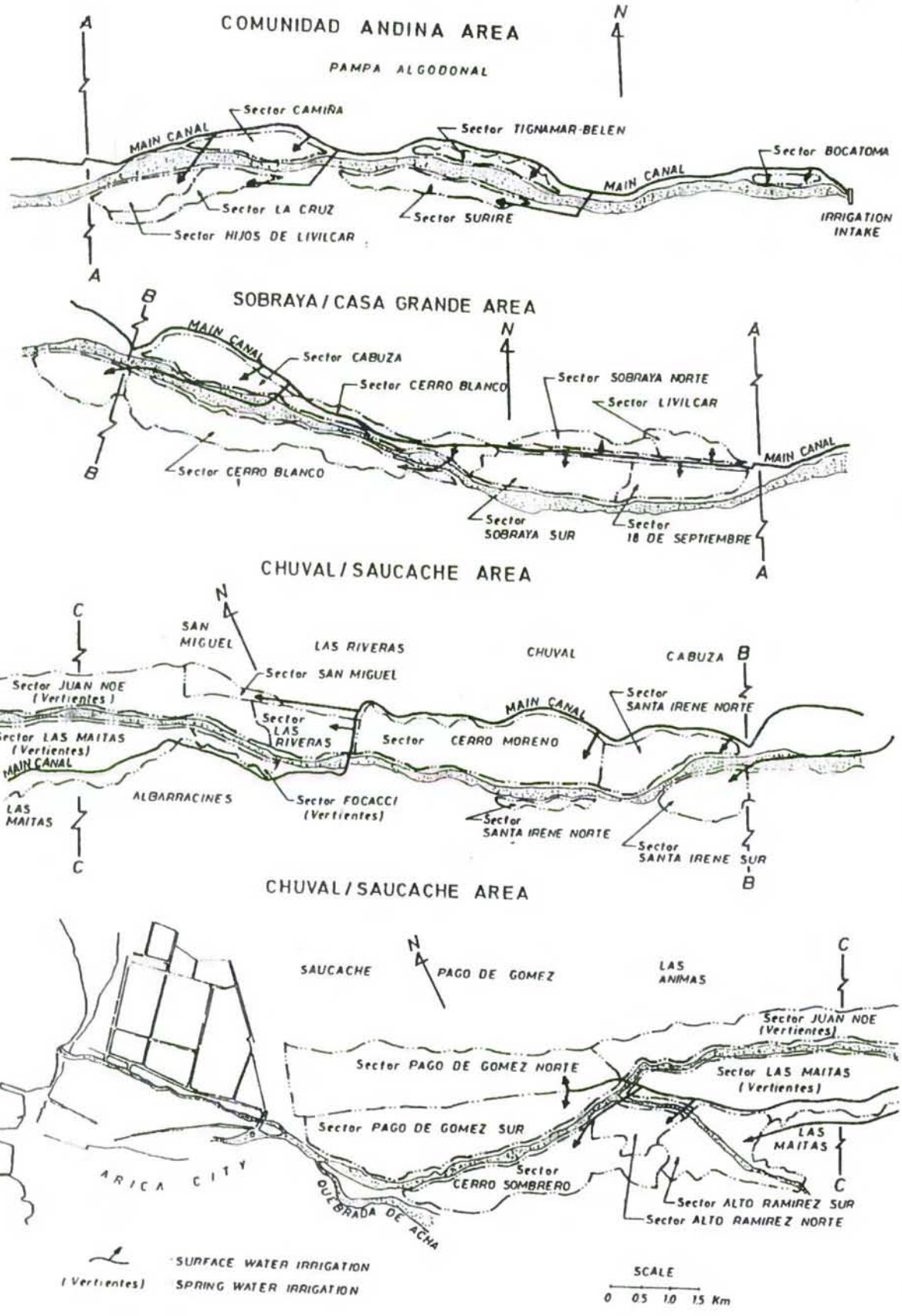


Fig. 3.3 Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Azapa Valley

<Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego -Valle de Azapa

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

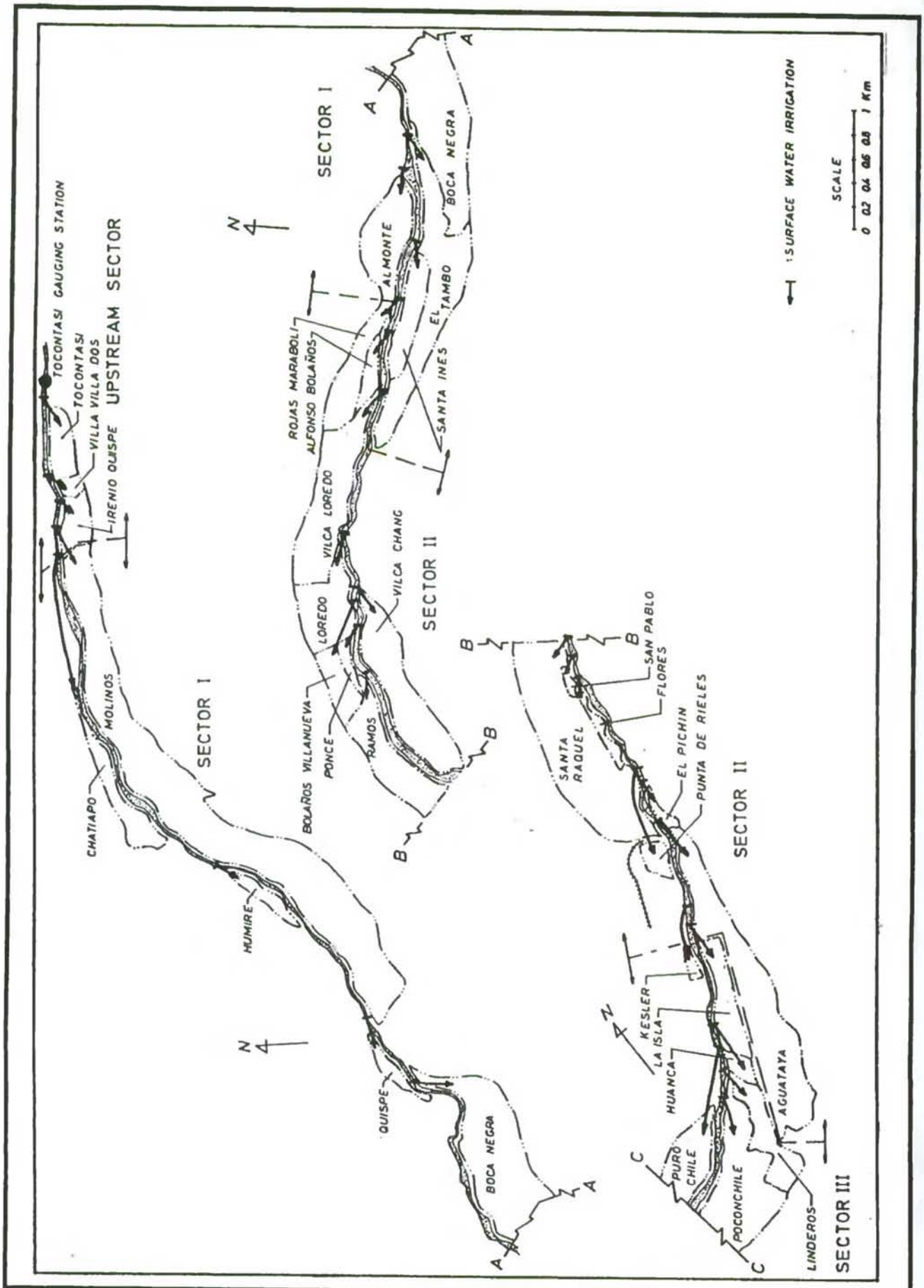


Fig. 3.4 (1) Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Lluta Valley

<Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Lluta>

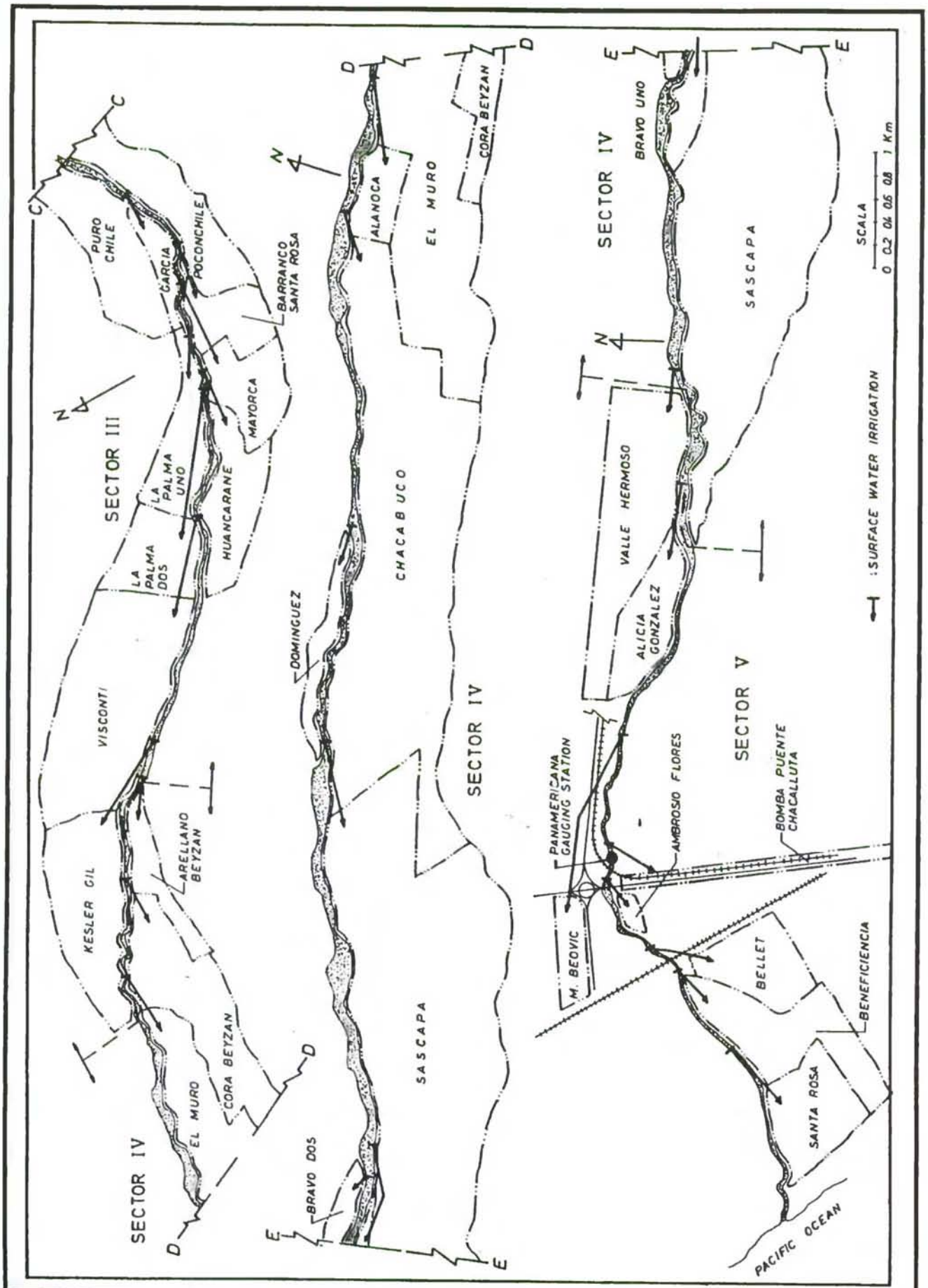


Fig. 3.4 (2) Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Lluta Valley

<Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Lluta>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

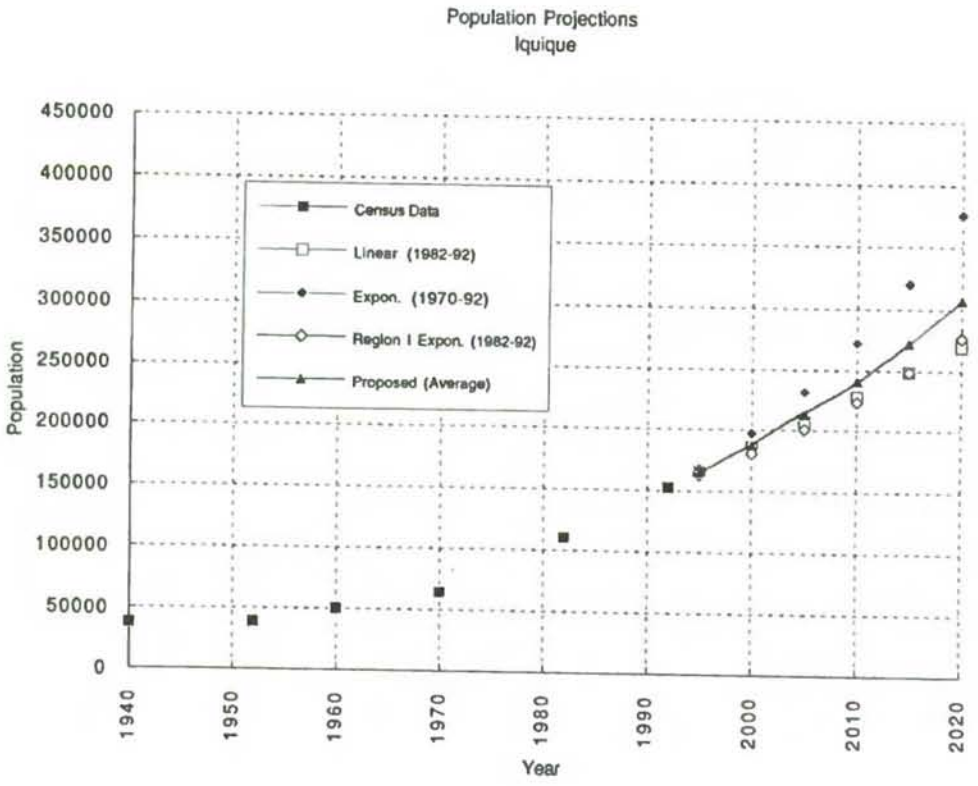


Fig. 3.6 Population Projections - Iquique
< *Proyección de la Población - Iquique* >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

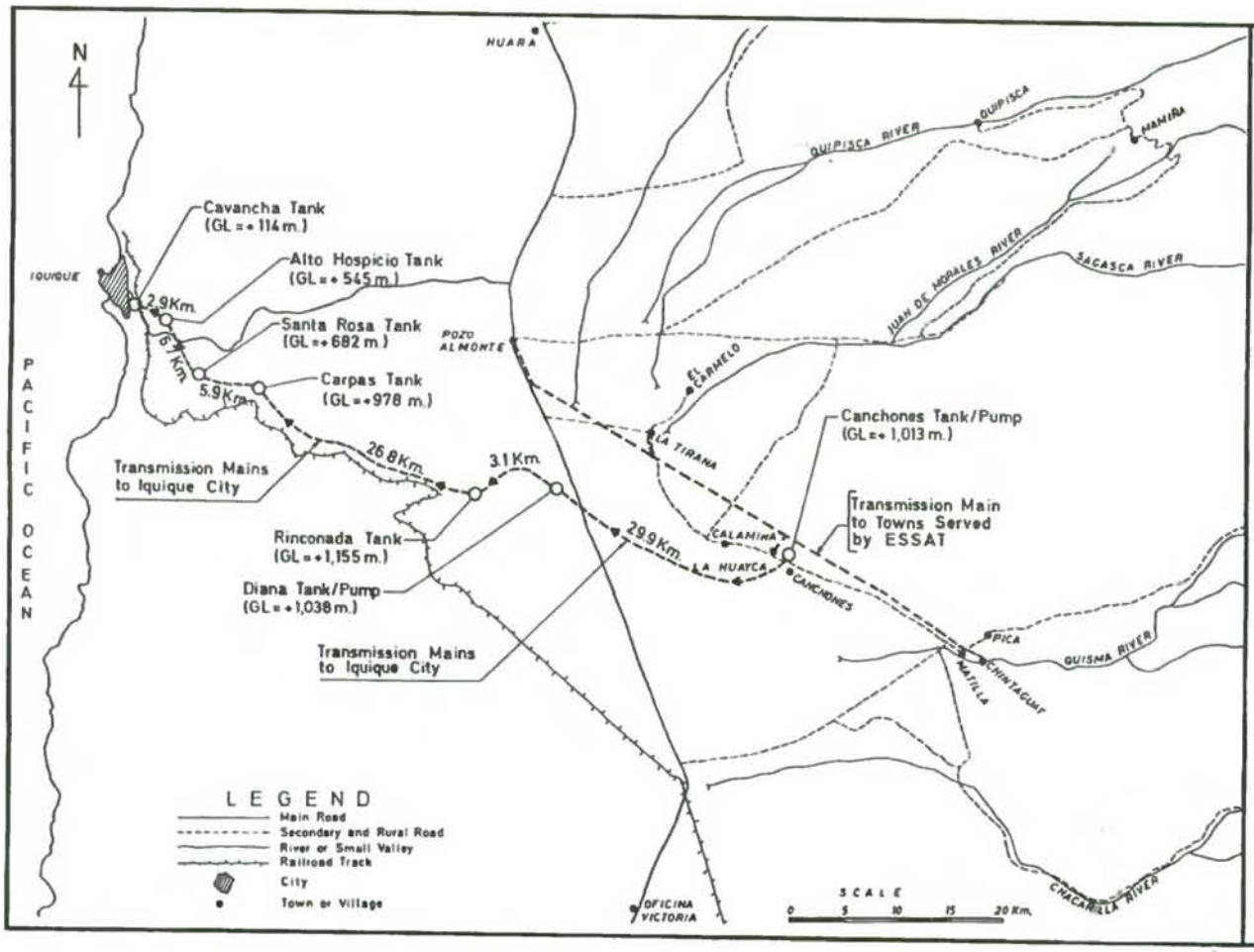


Fig. 3.5 Water Conveyance Systems of Iquique City and Province
< *Sistemas de Conducción de Agua de la Ciudad y Provincia de Iquique* >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

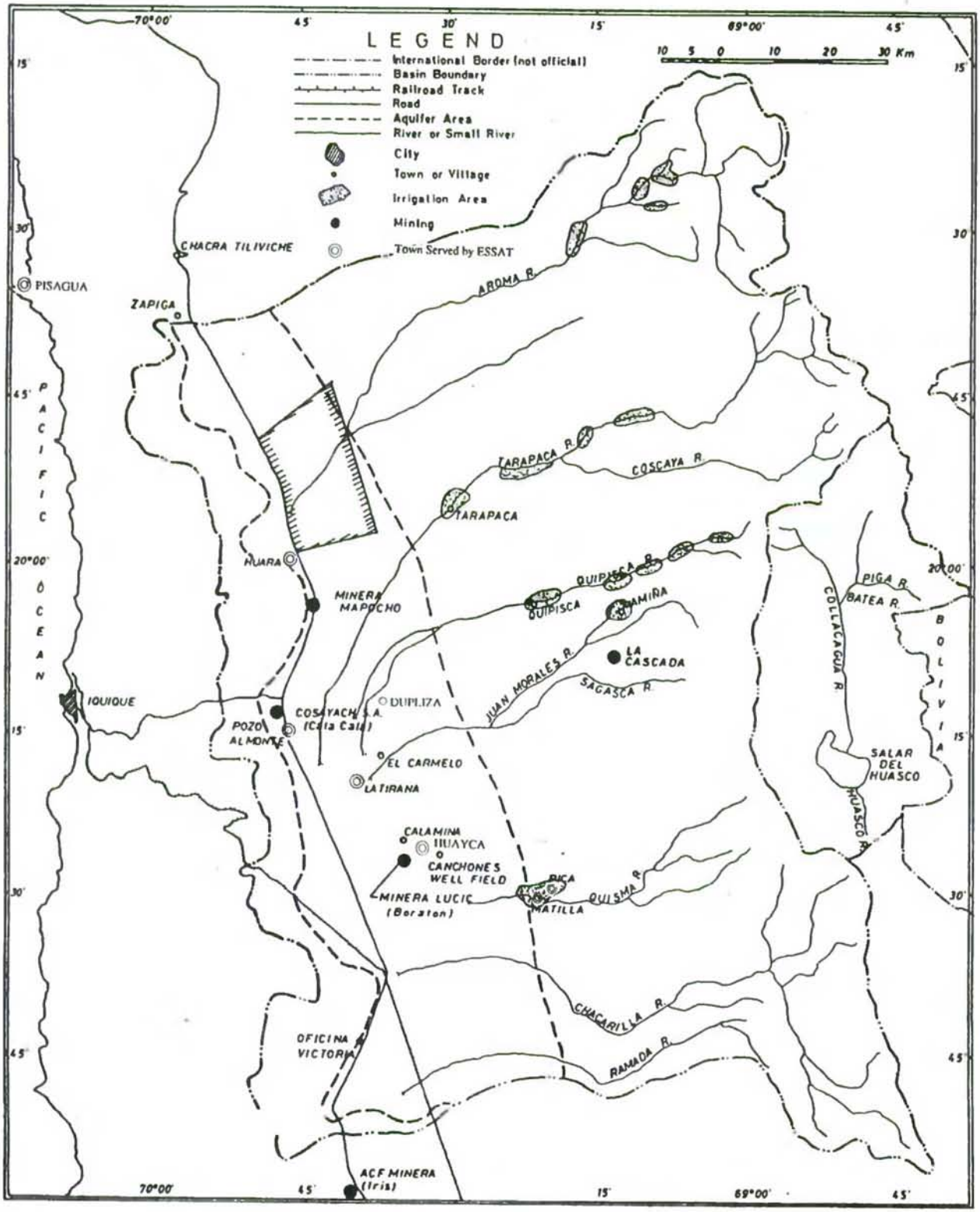


Fig. 3.7 Location of Water Served Towns and, Irrigation and Mining Area in Pampa del Tamarugal
<Ubicación de Areas de Riego y Mineras en la Pampa del Tamarugal>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

CAPITULO IV ASPECTOS AMBIENTALES

Capítulo IV ASPECTOS AMBIENTALES

4.1 Generalidades

Este proyecto tiene como propósito abastecer de agua potable a Arica e Iquique mediante el desarrollo del agua subterránea existente en las áreas que circundan las ciudades.

Los acuíferos potenciales de agua subterránea están ubicados en el valle de Azapa, el valle del Bajo Lluta, Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco. Sin embargo, el desarrollo del agua subterránea de estos acuíferos puede reducir el nivel del agua existente, causando efectos adversos sobre el medio ambiente natural y social de las áreas cercanas.

Mediante reconocimiento de terreno, los siguientes factores ambientales se reconocieron como los más expuestos por el desarrollo del agua subterránea:

a) Usos de agua existente en el valle de Azapa
b) Usos de agua existente en el valle del bajo Lluta
c) Usos del agua subterránea existente en la Pampa del Tamarugal
d) Plantas, especialmente tamarugos, en Pampa del Tamarugal
e) Ambientes ecológicos y sociales en el Salar del Huasco

Los otros factores ambientales se consideran menos importantes.

Los usos del agua existente en el valle de Azapa, el valle del Bajo Lluta y en Pampa del Tamarugal se estudiaron en los Capítulos II y III. Por lo tanto, en este Capítulo se discutirán los dos (2) principales factores ambientales restantes.

4.2 Bosque de Tamarugo en Pampa del Tamarugal

4.2.1 Bosque de Tamarugo

1) Area del Bosque de Tamarugo

Antiguamente el bosque natural de tamarugo abarcaba una extensa área de la Pampa del Tamarugal. Sin embargo, durante el último siglo prácticamente ha desaparecido debido a que se cortó para proveer de combustible a las minas de salitre.

Posteriormente, se inició la plantación de tamarugos con el propósito de obtener forraje y combustible, durante la década de 1930. El total del bosque de tamarugo existente alcanza las 20,704 ha. Por otra parte, desde

antes de 1930 ha crecido una extensa área de bosque de tamarugos. En 1981 el Instituto Forestal lo calculó en 3,241 ha.

El área existente de tamarugo por especies se resume como sigue:

Especie	Area (ha)
1.- Tamarugo Plantado	20,704
(1) Tamarugo	18,334
(2) Algarrobo	1,950
(3) Plantación Mezclada	420
2.- Tamarugo Natural	3,241
Total	23,945

El total de bosque de tamarugos anteriormente indicado está ubicado en el Area de Reserva Nacional de Zapiga y Salar de Pintados/Salar de Bellavista. Por otra parte, los bosques naturales se ubican principalmente en el Area de Reserva Nacional Pampa Yuri y sus terrenos circundantes.

Para obtener información del bosque de Tamarugo, ver la Fig. 4.1.

2) Area de Reserva Nacional

El Area de Reserva Nacional abarca 100.650 ha. distribuídas sobre tres (3) comunas: Zapiga, Salar de Pintados/Salar de Bellavista y Pampa Yuri, según se indica:

Area		Area (ha)
Zapiga	:	17,750
Salar de Pintados/Bellavista	:	77,675
Pampa Yuri	:	5,225
Total	:	100,650

Para obtener información de la ubicación del Area de Reserva Nacional, ver la Fig. 4.1.

3) Efectos Beneficiosos

Los bosques de Tamarugo producen los siguientes efectos beneficiosos:

(1) Crianza de Ganado : Pobladores pertenecientes a 57 familias se ganaban la vida criando 18,000 ovejas, en 1993

(2) Producción de Madera : Materiales de carbón y artesanía

(3) Uso Recreativo : Aproximadamente 7,000 personas visitaron el bosque como actividades recreativas en 1993.

(4) Posibilidad de Estudios : El bosque constituye un valioso campo experimental para el mejoramiento de los desiertos.

4.2.2 Características y Rasgos del Tamarugo

1) El árbol florece en noviembre, sus frutos caen entre febrero y marzo y sus hojas caen en invierno.

2) El árbol en general crece entre 8 - 18 m de altura.

3) El tamarugo de la Pampa del Tamarugal generalmente crece en áreas donde la profundidad del agua subterránea es de 5 - 12 m.

4) De acuerdo a los estudios previos,

(1) El tamarugo absorbe agua a través de las raíces y hojas. Durante el día las raíces absorben agua subterránea y las hojas evaporan el agua. En la noche las hojas absorben agua de la atmósfera junto con la absorción de agua subterránea de las raíces. El agua absorbida se almacena en las raíces. Esto significa que el consumo de agua del tamarugo es inferior al de otras plantas.

(2) El árbol forma una esterilla de raíces a una profundidad inferior a los 11.0 m desde donde descienden las raíces primarias para extraer el agua subterránea.

5) De acuerdo con información proveniente de CONAF, la perforación de pozos rompió raíces primarias de tamarugos en 1987 y 1993. La profundidad de las raíces primarias se calculó en 25 - 30 m en ambos años.

4.2.3 Consumo del Agua por Transpiración

1) Consumo del Agua Existente por Transpiración

La evapo-transpiración del tamarugo aumenta a medida que el árbol crece. En 1986, Grill, Vidaly y Grain calcularon la evapo-transpiración del

tamarugo en la Pampa del Tamarugal, de acuerdo con la edad del árbol, según lo indicado en la Fig. 4.2. En este cálculo, la densidad de plantaciones de los tamarugos se estimó en 50 árboles/ha.

La evapo-transpiración del tamarugo alcanza el valor máximo de aproximadamente 280 mm/año (= 0.089 l/s/ha), cuando el árbol alcanza los 50 años. Incluso este valor máximo es muy pequeño comparado con la evapo-transpiración promedio de las plantas agrícolas.

Por otro lado, en 1981 el Instituto Forestal calculó la distribución por edad de los tamarugos de la Pampa del Tamarugal, en las áreas del Salar de Pintados y Salar de Bellavista

La distribución por edad de los tamarugos en toda el área de la Pampa del Tamarugal hacia 1983 se calculó modificando la anterior distribución por edad de 1981. Los resultados se muestran a continuación:

Año	Edad	Area (ha)	Año	Edad	Area (ha)
1993	1	5	1970	24	1,435
1987	7	25	1969	25	3,415
1985	9	300	1968	26	1,809
1984	10	300	1967	27	1,505
1983	11	125	1966	28	899
1981	13	234	1960	34	12
1973	21	617	1947	47	108
1972	22	3,677	1934	60	3,255
1971	23	2,984	Antes de 1931	>63	3,241

El total del consumo de agua por transpiración de los tamarugos en toda la Pampa del Tamarugal en 1993 se calculó en 1,019 l/s utilizando la tabla anterior y la Fig. 4.2.

2) Consumo Futuro de Agua por Transpiración

El consumo futuro de agua por transpiración de los tamarugos en toda la Pampa del Tamarugal se calcula en base a los siguientes planteamientoss:

(1) En 1994 se plantarán adicionalmente 350 ha de árboles.

(2) Durante el período 1995 - 2015, se plantarán 50 ha adicionales cada año. Después del 2015, el área de tamarugos no se extenderá.

(3) La vida del tamarugo es de 75 años.

(4) Tan pronto muera, el tamarugo será replantado.

Las áreas de tamarugo en el futuro se calculan como sigue:

Año	Area Tamarugo (ha)
1993	23,945
2005	24,846
2015	25,346
2025	25,346

El consumo del agua por transpiración promedio anual en el futuro se estima según se indica:

Existente (1993)	:	1,019 l/s	≒ 1,000 l/s
Futuro (2015)	:	1,523 l/s	≒ 1,500 l/s
Futuros 50 años (1993 - 2042)	:	1,566 l/s	≒ 1,600 l/s
Futuros 100 años (1993 - 2092)	:	1,413 l/s	≒ 1,400 l/s

4.3 Medio Ambiente del Salar del Huasco

Las condiciones ambientales existentes en el Salar del Huasco fueron estudiadas durante el período noviembre y diciembre de 1993, y enero de 1994. Los principales factores ambientales se describen a continuación.

4.3.1 Topografía y Calidad del Agua

1) Topografía

El Salar del Huasco se ubica a una altura de aproximadamente 3,800 m. Abarca un área total de 29 km^2, de la cual, en diciembre de 1993, 2 km^2 correspondían a superficie de agua libre y los restantes 27 km^2 correspondían a pantanos.

La superficie de agua libre comprende tres (3) zonas: Laguna Huasco, Huasco Lipez y Laguna Cerro Huasco (ver Fig. 4.3). La profundidad del agua fue de 16 cm en el punto más profundo, dando un promedio de 4 cm.

2) Calidad del Agua

(1) Agua de Vertientes

En las áreas de la franja nor-occidental del Salar del Huasco se ubican dos (2) manantiales. Abastecen de agua dulce y limpia a la Laguna Huasco. Para obtener la ubicación de las vertientes (H_0, H_3), remitirse a la Fig. 4.3.

La calidad del agua se encuentra dentro de las normas de agua potable, a excepción de la turbiedad. Los iones dominantes son Na y HCO_3. El agua se clasifica como agua sódio-bicarbonada.

(2) Agua de la Laguna Huasco

La calidad del agua de la Laguna Huasco fue analizada en dos (2) puntos (H_2, H_4).

El agua está bastante contaminada con todos los elementos observados. Los principales elementos contaminantes son los siguientes:

Elementos	Punto H_2	Punto H_4
TSD (mg/l)	34,290 - 66,683	96,312 - 203,420
Cl (mg/l)	10,774 - 16,323	23,079 - 69,768
B (mg/l)	110 - 145	203 - 513
As (mg/l)	12 - 18	36 - 66

El agua en el punto H_2 está menos contaminada que en el punto H_4 debido a los efectos de dilución del agua de vertiente.

Los iones dominantes del agua de la laguna son: Na, Cl, SO_4. El agua se clasifica en agua cloro-sulfatada sódica o agua sulfa-clórica sódica.

4.3.2 Ecología

1) Peces, Anfibios y Moluscos

Se identifican dos (2) especies de peces, tres (3) especies de anfibios y tres (3) especies de moluscos en el agua dulce. Los peces y moluscos no son especies escasas.

2) Plancton

El plancton constituye uno de los alimentos principales de los flamencos. En el Salar se identifica fitoplancton de 24 especies y zooplancton de 7 especies.

La composición del fitoplancton en Salar del Huasco se caracteriza por el dominio de dos (2) especies de Bacillariophyceae: *Surirella* sp 1 y *Navicula* sp. 1. La composición del zooplancton está representada principalmente por dos (2) especies de Artropoda: Copepoda Calanoidea y Copepoda Ciclopoidea.

En Laguna Huasco se identifica una mayor concentración de fitoplancton / zooplancton y una mayor diversidad de especies. Se confirma una menor diversidad de especies en Laguna Cerro Huasco, diferente de las otras lagunas en los componentes biológicos.

3) Plantas

Se identificaron cuatro (4) especies de plantas acuáticas en el área de agua dulce.

4) Aves

Se identificaron 40 especies de aves en el Salar del Huasco o sus alrededores. Entre ellas, las siguientes siete (7) especies de ave fueron definidas por CONAF como especies en peligro o especies vulnerables que deben preservarse.

(1) Especies en peligro: Lesser Rhea

(2) Especies vulnerables: Punta tiramou, flamenco chileno, flamenco andino, flamenco de puna, ganso andino, tagua gigante.

4.3.3 Flamencos

1) Especies y Población

En Salar del Huasco se identifican tres (3) especies de flamenco. La población máxima por especie registrada durante el período de noviembre de 1993 a enero de 1994 es la siguiente:

Especie	Población
Flamenco Chileno	544
Flamenco Andino	1,267
Flamenco de Puna	1,533
Total	3,344

Estas especies han sido definidas por CONAF como especies vulnerables y además aprobadas por CITES (Convension on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) como especies en peligro.

2) Porcentaje de Población en el Norte de Chile

Entre 1985 y 1987, la Corporation National Forest de Estados Unidos estudió la población de flamencos en el norte de Chile. La máxima población registrada por especies durante el período de estudio se indica a continuación, comparada con la población de Salar del Huasco.

Especie	Norte de Chile	Salar del Huasco	Porcentaje(%)
Flamenco Chileno	15,464	544	3.5
Flamenco Andino	40,747	1,267	3.1
Flamenco de Puna	17,268	1,533	8.9
Total	73,479	3,344	4.6

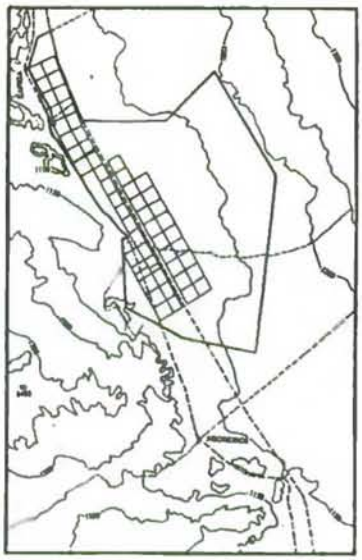
El porcentaje de la población del Salar del Huasco respecto a la población total del norte de Chile también se muestra en la tabla anterior.

El Flamenco de Puna constituye la especie más rara. De acuerdo a lo informado, la población total en el mundo en 1973 era de 15,000 especies. Todas viven en la Cordillera de los Andes.

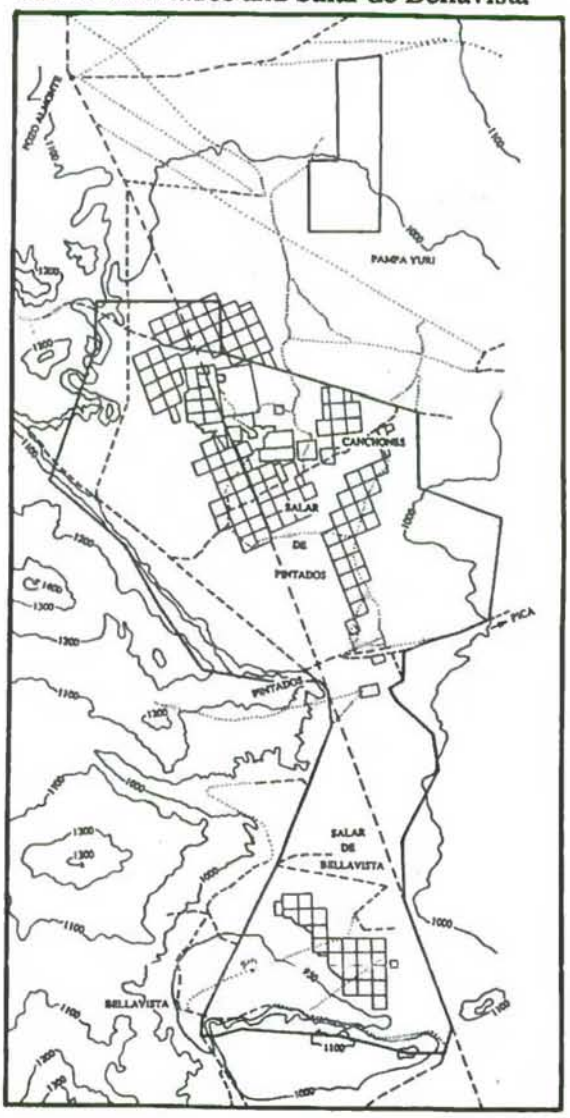
3) Anidamiento

Este estudio identificó polluelos, nidos y huevos de Flamencos de Puna. El Salar del Huasco proporciona una de las áreas de anidamiento a estas raras especies.

Zapiga



Salar de Pintados and Salar de Bellavista



LEGEND

- : 1 Class Road
- : Trace
- : National Reserved Area
- : Contour Line
- : Plantation of Tamarugo and/or Algarrobo

Reference

Scale

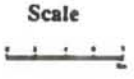


Fig. 4.1 National Reserved Area and Tamarugo Plantation

< Area de Reserva Nacional y Plantación de Tamarugo >

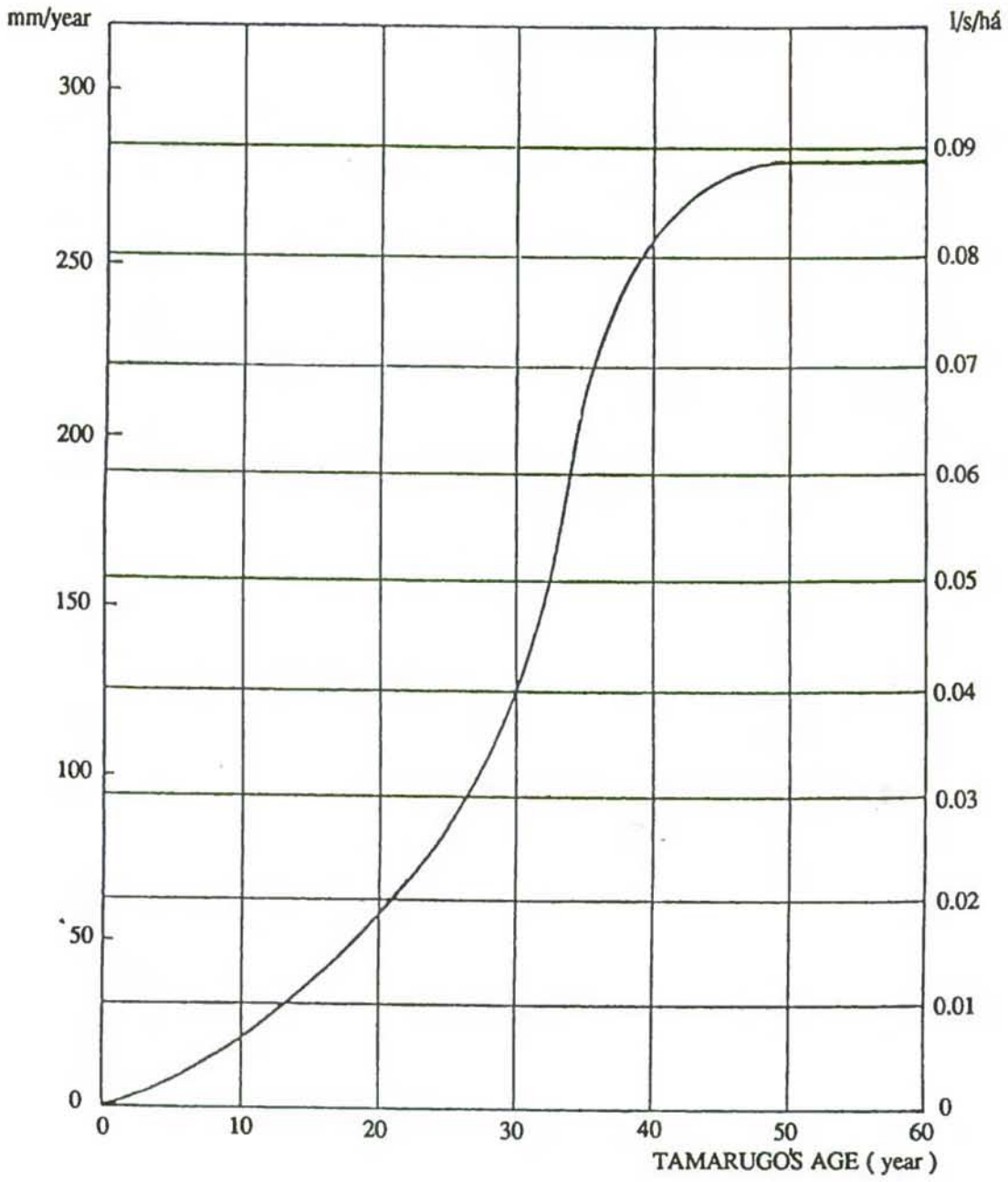
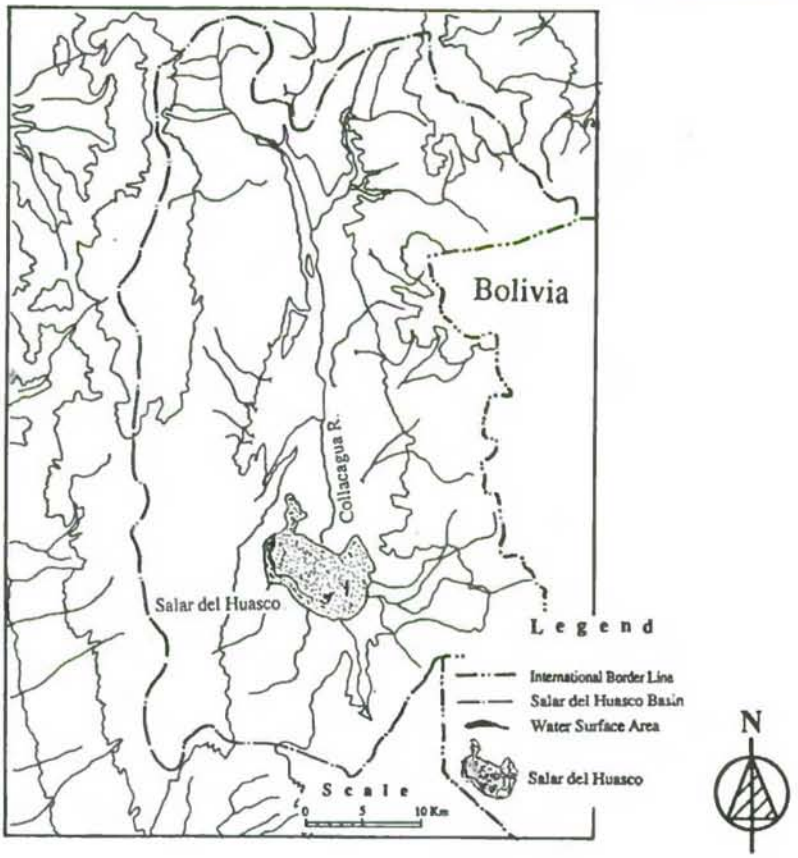


Fig. 4.2 Evapotranspiration by Tamarugo Plantations in Pampa del Tamarugal

<Evapotranspiración de las Plantaciones de Tamarugo en Pampa del Tamarugal>



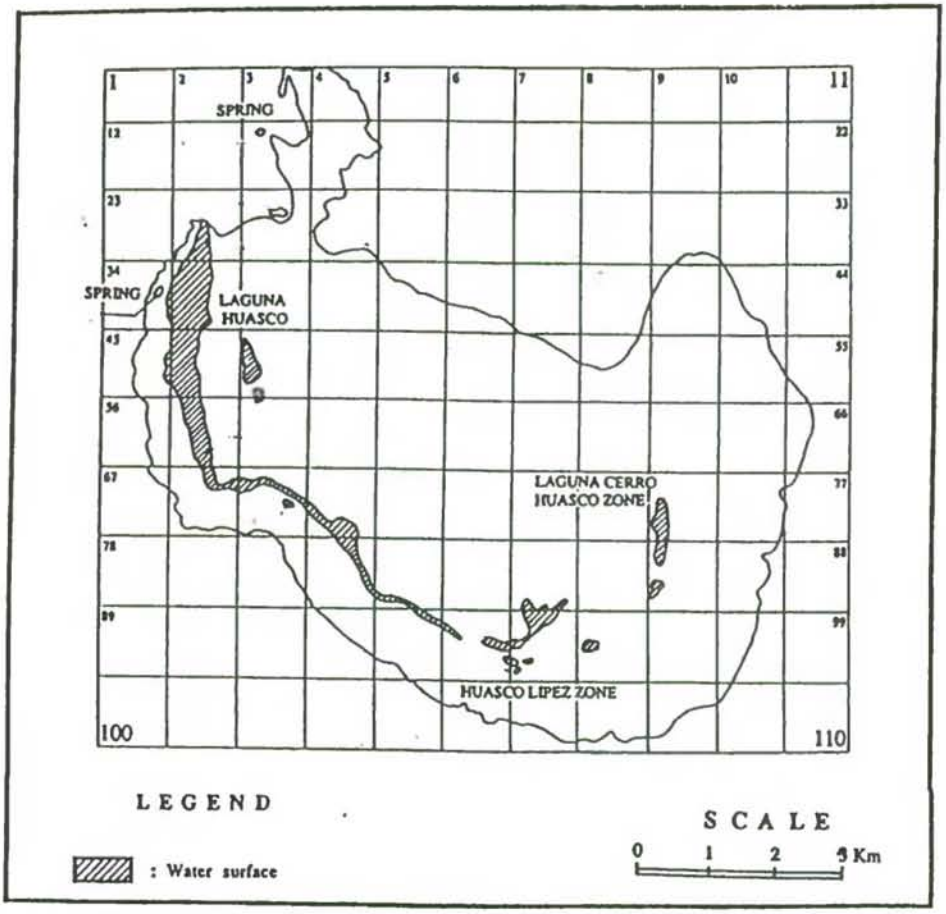


Fig. 4.3 Location of Salar del Huasco

< Ubicación del Salar del Huasco >

CAPITULO V ABASTECIMIENTO DE AGUA Y BALANCE DE LA DEMANDA

Capítulo V ABASTECIMIENTO DE AGUA Y BALANCE DE LA DEMANDA

5.1 Abastecimiento de Agua y Balance de la Demanda del Area de Arica

5.1.1 Potencial de Desarrollo del Agua Subterránea del Valle de Azapa

1) Balance del Agua Existente

(1) Caudal Afluente al Valle de Azapa

El flujo anual promedio del río San José se estima en 1,101 l/s en la estación Ausipar y Antes Bocatoma. Este se considera como el caudal afluente total al valle de Azapa.

No se detecta caudal de agua subterránea afluente al valle de Azapa, porque el lecho del río en la estación se compone de rocas de basamento impermeables. El agua subterránea de las áreas superiores de la montaña aparece en el río como agua superficial antes de alcanzar la estación.

(2) Caudal Efluente al Mar

Casi toda el agua afluente al valle de Azapa se consume en el área del valle y la ciudad o se infiltra al subsuelo para recargar las aguas subterráneas.

Sólo en enero y febrero algo de agua se vierte al mar, durante la gran crecida del río. El promedio anual del caudal efluente al mar se calcula en 149 l/s.

(3) Consumo de Agua

Los recursos hídricos en el área del valle de Azapa y área urbana son consumidos por: el sistema de agua potable de la ciudad de Arica (ESSAT), el riego en el valle de Azapa y otros usos que se les da en el mismo valle (uso doméstico, industrial y múltiples).

El uso del agua de ESSAT ha estado muy restringido debido a la carencia de fuentes de agua. Sin embargo, repentinamente, éste se incrementó hacia fines del año 1993 al completarse el Proyecto de Emergencia para el Abastecimiento de Agua. Este proyecto incrementó la capacidad de abastecimiento de agua de ESSAT desde

503 l/s a 730 l/s. Este incremento está siendo totalmente utilizado desde principios de 1994.

Por otra parte, la producción de agua de ESSAT en 1992 fue de 537 l/s, excediendo la capacidad de abastecimiento autorizada de 503 l/s.

Por tanto, los siguientes tres (3) casos de uso del agua son discutidos como el uso existente de agua de ESSAT, considerando que el mencionado Proyecto de Emergencia para el Abastecimiento de Agua es temporal.

Caso I : Producción real de agua en 1992 : 537 l/s
Caso II : Capacidad de abastecimiento de agua hasta fines de 1993: 503 l/s
Caso III: Capacidad de abastecimiento de agua desde principios de 1994 : 730 l/s.

Los promedios anuales existentes por consumo de agua de ESSAT, riego y otros propósitos se resumen abajo.

	Promedio Anual Demanda de Agua (l/s)	Promedio Demanda Anual Real Consumo de Agua (l/s)
ESSAT		
Caso I	537	470 1)
Caso II	503	440 1)
Caso III	730	639 1)
Riego	1,269	787 2)
Otros	53	21 3)

Nota: 1) 25% de la producción son pérdidas por filtraciones, de la cual la mitad (12.5%) recarga las aguas subterráneas.
2) Evapo-transpiración de los cultivos.
3) 60% del agua extraída retorna a la napa.

(4) Balance de Agua

El balance de agua existente en el valle de Azapa se calcula como sigue:

	Caso I	Caso II	Caso III
Caudal Afluente (l/s)	+1,101	+1,101	+1,101
Caudal Efluente (l/s)	-149	-149	-149
Consumo Real de Agua(l/s)	-1,278	-1,248	-1,447
Balance	-326	-296	-495

2) Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea

La reserva de agua subterránea existente en el valle de Azapa, incluyendo el área de la ciudad, se estima en 302 x $10^6 m^3$. Sin embargo, ésta se agotará pronto si los usos existentes del agua continúan. Lo que resta de vida a las aguas subterráneas se calcula de la siguiente forma:

Caso I : 29.4 años ≒ 30 años
Caso II : 32.4 años ≒ 30 años
Caso III : 19.3 años ≒ 20 años

Como se hace evidente, a partir de lo dicho previamente, un desarrollo futuro del agua subterránea en el valle de Azapa es difícil.

5.1.2 Potencial de Desarrollo del Agua Superficial del Río Lluta

1) Curso Inferior del Río Lluta

En la estación seca, el agua superficial de la parte baja del valle Lluta es consumida, casi en su totalidad, por el riego que demandan las tierras cultivadas que se extienden a lo largo del río. El caudal excedente que llega al mar en esta estación es insignificante.

La estación Panamericana es la estación fluviométrica que se ubica en los tramos más bajos del río Lluta. La descarga mínima en la estación ocurre durante la estación seca de Octubre a Diciembre. El caudal de descarga en época de estiaje, con la probabilidad de excedencia del 90% (probabilidad de diseño para agua potable), es el siguiente:

	Oct.	Nov.	Dic.
90% Excedencia (l/s)	49	69	72

Para las descargas mensuales en época de estiaje, ver Informe Suplementario A, Tabla A, 2.4.

No se espera un superávit de agua en la estación seca, considerando que los derechos de agua por costumbre de 120.02 acciones (cantidad máxima 120.02 x 0.75= 90.0 l/s) están concedidos para usos agrícolas aguas abajo de la estación Panamericana para 1993. Para obtener detalles de los derechos de agua, véase el Informe Suplementario C, Apéndice C.3.

Nota: Una acción tiene el derecho de tomar hasta 0.75 l/s de agua de río cuando ésta es abundante.

Más aún, el agua superficial de la zona baja del Lluta está muy contaminada principalmente por las cargas contaminantes provenientes de los ríos Azufre y Colpitas. Los principales parámetros de contaminación del agua son As, B, Fe, Cl y SO_4.

Los contenidos promedios de estas cargas contaminantes se muestran abajo, comparados con los límites permisibles para agua potable en Chile.

	As	B	Fe	Cl	SO_4
Calidad del Agua en Tocontasi (mg/l)	0.305	10.69	3.82	323	310
Calidad del Agua en Panamericana (mg/l)	0.124	16.84	2.37	704	751
Límite Permisible (mg/l)	0.05	5.0*	0.30	250	250

Nota:*: No existe estándar en Chile. En este informe, el contenido real de B en el agua potable deAntofagasta es asumido.

A partir de lo mencionado previamente, no se espera ningún desarrollo futuro del agua superficial en la zona del Bajo Lluta.

2) Tributarios Superiores

En la cuenca del curso superior del río Lluta, es posible encontrar agua comparativamente más limpia en los ríos Caracarani y Guancarane. Los contenidos de los principales parámetros de calidad del agua en ambos ríos se muestran abajo.

	As (mg/l)	B (mg/l)	Fe (mg/l)	TSD (mg/l)
Caracarani (en Humapalca)	0.120	3.23	1.17	1.328
Guancarane	0.018	0.23	0.31	94
Límite Permisible	0.050	5.0	0.30	1.000

Sin embargo, la cantidad de agua en ambos ríos no es mucha. La descarga mensual en época de estiaje, con una probabilidad de excedencia del 90%, de ambos ríos es la siguiente.

	Ene.~ Feb.	Oct.	Nov.	Dic.
Caracarani (Humapalca) (l/s)	211~258	182	140	142
Guancarane (l/s)	90~110	78	60	61
Total (l/s)	301~368	260	200	203

Para obtener detalles del 90% de descarga en época de estiaje mensual de Caracarari, véase el Informe Suplementario A, Tabla A, 2.4. El 90% de descargas en época de estiaje mensual de Guancarare son estimadas de las de Caracarari basadas en la razón de descarga de ambos ríos obtenida de la observación simultánea de descarga realizada en junio de 1993.

La demanda existente de agua y el balance de abastecimiento del río Lluta bajo es muy severa. La extracción de agua desde los tributarios superiores tendrá efectos negativos en los derechos de agua de río para usos agrícolas existentes en el Lluta.

La descarga mensual en época de estiaje con las probabilidades de excedencia del 80% (probabilidad de diseño para irrigación) en la estación Tocontasi y Chapisca, es estimada como sigue:

	Ene.~ Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
80% Excedencia (l/s)	1,302~1,830	1,168	1,089	1,091

Para detalles, ver Informe Suplementario A, Tabla A, 2.4.

Por otra parte, los siguientes derechos de agua de río están concedidos para usos agrícolas aguas abajo de la estación Tocontasi/Chapisca para 1993.

Derechos de agua legalmente autorizados : 284,50 l/s
Derechos tradicionales : 2,558.15 acciones (cantidad máxima : 2.558,15 x 0.75 = 1.9186.61)

Para detalles sobre derechos de agua, véase el Informe Suplementario C, Apéndice C.3.

De las discusiones anteriores, el desarrollo de aguas superficiales de los tributarios superiores es considerado difícil.

5.1.3 Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea del Valle del Bajo Lluta

1) Recarga Potencial de las Aguas Subterráneas

El agua subterránea del valle del Bajo Lluta es recargada por el agua superficial del río Lluta. El desarrollo del recurso agua subterránea en esta área deberá estar dentro del volumen de recarga del río Lluta, dado que la reserva existente de estas aguas no es grande.

La recarga existente de agua subterránea del río Lluta es pequeña, pues los acuíferos están saturados con agua. Sin embargo, el desarrollo del recurso agua subterránea disminuirá el nivel existente, lo que redundará en el aumento de la recarga de estas aguas en el futuro.

La capacidad de recarga de agua subterránea en el curso inferior del Lluta se estima refiriéndose a la recarga de agua subterránea en el valle de Azapa.

El agua subterránea del valle de Azapa es recargada por el excedente de agua de río en la Bocatoma de Azapa (agua de río que se desborda de la presa). La recarga toma lugar en la sección del río de 22 kilómetros de longitud, entre Cabuza y la boca del río. La razón de la recarga de agua subterránea con respecto al excedente de agua de río es estimada de la siguiente manera.

$$\gamma_A = \frac{Q_A - Q_C - Q_O}{Q_A - Q_C} = \frac{1{,}101 - 487 - 149}{1{,}101 - 487} = 0.757$$

En donde, γ_A : Razón de recarga de agua subterránea en el valle de Azapa

Q_A : Razón promedio de flujo en la Antes Bocatoma Ausipar (1,101 l/s)

Q_C : Razón promedio de extracción por el canal Azapa (487 l/s)

Q_O : Razón promedio de sobreflujo al mar (149 l/s)

Para información sobre las descargas anteriores, véase el Informe Suplementario A, Capítulo I.

Por otro lado, el agua subterránea del valle del bajo Lluta es recargada en la sección del río, de 17 km de longitud, entre Paconchile y Sascapa por el agua de río excedente. La razón de recarga del agua subterránea con respecto al excedente de agua de río es estimada de la siguiente forma, considerando que la porosidad efectiva de los acuíferos en el valle del bajo Lluta es 70% de la del valle de Azapa y que la longitud de la sección del río en el valle del Bajo Lluta es 5 km más corta que la del valle de Azapa.

$$\gamma_L = 0.757 \times 0.7 \times 17/22 = 0.41$$

El agua del río es extraída de 56 tomas para irrigación de tierras agrícolas en los extremos aguas abajo de Tocontasi/Chapisca. El monto total de los derechos de agua es de 284.50 l/s + 2,558.15 acción = 2,203.11 l/s.

De acuerdo al Código de Aguas de Chile, los propietarios de los derechos de agua arriba mencionados pueden utilizar el río del agua para otros propósitos que no sean irrigación, o desviar el agua hacia las afueras de la Cuenca del río Lluta. Por lo tanto, legalmente no puede ser negado que la cantidad total de derechos de agua pueda ser realmente consumida en el futuro.

En este caso, la recarga potencial del agua subterránea es estimada como sigue :

$$R_L = (Q_T - Q_R) \times 0.41 = (2{,}216.0 - 1{,}779.3) \times 0.41 = 179.0 \text{ l/s}$$

R_L: Recarga potencial de agua subterránea del valle del Bajo Lluta
Q_T: Tasa de flujo promedio en Tocontasi/Chapisca (2,216.0 l/s)
Q_R: Utilización del agua para irrigación promedio (consumo real) en los extremos aguas abajo de Tocontasi/Chapisca (1,779.3 l/s)

Para detalles ver Tabla 5.1.

Sin embargo, de hecho, el agua para irrigación extraída no es consumida completamente y un monto considerable es retornado al río. En la actualidad, el agua del río es utilizado repetidamente para irrigación cuando fluye desde Tocontasi hacia la boca del río. El consumo para irrigación actual (consumo real) en los extremos aguas abajo de Tocontasi/Chapisca) se estima en 894.0 l/s (ver Informe Suplementario C, Capítulo III). Entonces, la razón actual entre el consumo de agua real y los derechos de agua es de 40% (=894/2,203).

Basándose en estas situaciones actuales de los usos de agua, los derechos de agua con un monto considerablemente mayor que la descarga de excedencia han sido otorgados en el río Lluta tal como se muestra abajo.

Derechos de agua de irrigación (aguas abajo de Tocontasi) : 2,203 l/s

Tasa de flujo del agua del río : en Tocontasi	Promedio Anual	Epoca Seca (Abr.-Dic.)	Epoca Más Seca (Oct.-Dec.)
Tasa de excedencia 80%	1,444 l/s	1,342 l/s	1,116 l/s
Tasa de excedencia 90%	1,260 l/s	1,227 l/s	1,050 l/s

En caso que el uso reciclado actual del agua de río para irrigación es tomado en cuenta, el potencial de agua subterránea del valle del Bajo Lluta es estimado como sigue :

$$R_L = (Q_T - Q_R) \times 0.41 = (2{,}216 - 894) \times 0.41 = 542 \text{ l/s}$$

Por lo tanto, en este Informe, el Equipo de Estudio ha evaluado el potencial de recarga de agua subterránea en 542 l/s desde el punto de vista técnico apuntando hacia un uso racional y efectivo de los recursos de agua limitados.

2) Consideración al Uso de Agua Existente

El agua del río se considera que recarga el acuífero de agua subterránea principalmente en los sectores entre Poconchile y Sascapa.

Existen 31 tomas de agua de río para irrigar los sectores de irrigación III, IV y V en la sección aguas abajo de Poconchile (Sub-sector Kesler - Sub-sector Santa Rosa, véase Capítulo 3.3, Fig. 3.4). El agua de río es repetidamente usada en esta área. El exceso de agua de irrigación es drenado al río para su reuso aguas abajo.

En el valle del Bajo Lluta, el desarrollo de las aguas subterráneas disminuirá el nivel freático, resultando en una aceleración de la infiltración del agua de río en el subsuelo. Esto puede hacer difícil el mantener la extracción de agua de río actual para regadío.

Para enfrentar este problema, podría ser necesario integrar las tomas de irrigación antes mencionadas en una (1) obra de toma propuesta aguas arriba del Poconchile (sitio de toma en la sección más alta del sector de irrigación III : Kesler). Toda el agua de irrigación de los sectores III, IV y

V será extraída de esta obra de toma. La cantidad de extracción requerida se determina considerando el reuso el agua de irrigación, el cual es realizado en el sistema de irrigación existente. El agua extraída será distribuída a todos los sectores de irrigación mediante la construcción de los nuevos canales de irrigación. Además, los canales de colección para colectar el agua excedente (agua de drenaje) también serán construídos a lo largo de las márgenes de los ríos para hacer posible el reuso del agua de irrigación.

El nuevo sistema de irrigación propuesto, incluyendo las obras de toma, canales de irrigación, canales de colección y canales de retorno (canales para retornar el agua colectada a los canales de irrigación para su reuso), se muestra en la Fig. 5.1.

La recarga potencial del agua subterránea puede ser obtenida multiplicando el excedente del agua de río en la antes mencionada obra de toma por 0.41. El excedente promedio mensual de agua de río es estimado para los siguientes dos (2) casos.

(1) Caso 1

Este caso satisface todos los derechos de agua existentes incluyendo los legalmente autorizados y los de tradicionales.

La extracción de agua requerida de la obra de toma es calculada bajo las siguientes condiciones.

i) Cada sub-sector de irrigación extrae la cantidad de agua equivalente a su derecho de agua del canal de irrigación.

ii) El consumo real del agua de irrigación extraída es de 50%. El 50% restante es colectado por los canales de colección para su reuso.

Para detalles sobre los cálculos anteriores, véase el Informe Suplementario B-II, Tabla B-II, 3.4.1.

El potencial de recarga del agua subterránea es calculada mediante la siguiente ecuación.

$$R_L = Q_S \times 0.41 = (Q_T - Q_U - Q_E) \times 0.41$$

Donde, R_L : Recarga potencial del agua subterránea del valle del bajo Lluta

Q_S : Excedente de agua de río en la Obra de Toma

Q_T : Razón de flujo de río en Tocontasi/Chapisca (2,216 l/s)

Q_U : Consumo real de agua de irrigación entre Tocontasi y la Obra de Toma, asumida como 50% de la cantidad de derechos de agua existentes (275 l/s)

Q_E : Agua extraída (819 l/s)

La recarga promedio anual del agua subterránea es estimada en:

RL : (2,216 - 275 - 819) x 0.41 = 460 l/s

La recarga promedio mensual del agua subterránea se muestra en la Tabla 5.2.

(2) Caso 2

Este caso satisface toda la demanda real, la cual varía mensualmente.

La extracción de agua requerida de la obra de toma es calculada bajo las siguientes condiciones

i) Cada sub-sector de irrigación extrae la cantidad de agua equivalente a su demanda real de agua de irrigación del canal deirrigación. La demanda real de agua de irrigación es estimada basada en el patrón de cultivo existente, evapotranspiración de cultivos y eficiencia de irrigación (ver el Informe Suplementario C, Capítulo III).

ii) Del agua extraída, la cantidad de agua equivalente a la evapotranspiración es realmente consumida y el agua restante es colectada por los canales de colección para su reuso.

Para detalles de los cálculos anteriores véase el Informe Suplementario B-II, Tabla B-II, 3.4.2 y Tabla B-II 3.4.3

La recarga promedio anual del agua subterránea es estimada como se muestra a continuación, de la misma forma que en el Caso 1.

$$RL = (2{,}216 - 250 - 711) \times 0.41 = 515 \text{ l/s}$$

La recarga promedio mensual del agua subterránea se muestra en la Tabla 5.2.

3) Limitación del Número de Pozos a Desarrollar

El área de desarrollo potencial de aguas subterráneas del valle del bajo Lluta se extiende desde Rosario hasta Chuilona. La distancia entre estos dos lugares es de aproximadamente 14 km. El desarrollo de pozos deberá ser planeado de forma tal que los pozos propuestos no interfieran entre sí. La distancia entre los pozos deberá ser mayor a 500 m para evitar la mutua interferencia hidráulica. (Véase Informe Suplementario B-II, Capítulo III, 3.4.3).

El número probable de pozos a perforar se estima en veintiocho (28), de los cuales el 20% será para uso de emergencia y el 30% será usado para satisfacer la demanda diaria máxima de agua potable. En consecuencia, en promedio, dieciocho (18) pozos estarán disponibles para uso de agua potable.

De las consideraciones previas se concluye que, el promedio anual del potencial desarrollo del recurso agua subterránea se estima en 450 l/s, asumiendo que la capacidad de extracción de un pozo (1) es de 25 l/s.

4) Propuesta de Desarrollo de Aguas Subterráneas

El potencial de desarrollo del agua subterránea en el valle del bajo Lluta ha sido calculado, de las discusiones anteriores, en 450 l/s. Este potencial deberá ser desarrollado en su extensión máxima, para satisfacer la creciente demanda de agua de la ciudad de Arica. Por lo tanto, se propone el desarrollo promedio de las aguas subterráneas de 425 l/s en promedio, mediante la perforación de veintiseis (26) pozos, incluyendo nueve (9) pozos para emergencias y demanda máxima, considerando cierto margen.

5) Necesidad del Tratamiento de Aguas

Las aguas subterráneas poseen un alto contenido de TSD, Na, SO_4, Cl, B y Fe como se muestra abajo.

Elemento	TSD	Na	SO_4	Cl	B	Fe
Contenido (mg/l)	3,452	529	852	949	21.9	1.53
Límite Permisible (mg/l)	1,000	200	250	250	5.0	0.30

Se deberán aplicar sistemas especiales de tratamiento tales como Osmosis Inversa (OI) o Electrodiálisis (ED). En tales sistemas de tratamiento, aproximadamente, 25% del agua tratada será desperdiciada. En consecuencia, 319 l/s (= 425 x 0.75) serán realmente proporcionados a la ciudad de Arica.

5.1.4 Abastecimiento de Agua Potable y Balance de la Demanda en Arica

1) Demanda de Agua Potable en Arica

La demanda futura de agua potable en Arica, sobre la base de un promedio de producción, se estima como sigue:

Año	**Demanda (l/s)**
1995	779
2000	797
2005	840
2010	959
2015	1,091

2) Abastecimiento de Agua Potable en Arica

Para satisfacer la demanda de agua mencionada, se proponen los siguientes desarrollos del abastecimiento de agua.

(1) El Proyecto de Desarrollo de las Aguas Subterráneas del Bajo Lluta, con una capacidad de abastecimiento de 319 l/s, será completado hacia fines de 1998.

(2) El proyecto de emergencia para el abastecimiento de agua en el valle de Azapa, que se completó a fines de 1993, se considera temporal. Por tanto, la capacidad temporalmente incrementada por este proyecto, de 227 l/s (=730 - 503), expirará después de que se complete el Proyecto de Desarrollo de las Agua Subterráneas del Bajo Lluta.

(3) El Proyecto de Desarrollo de las Aguas Subterráneas del Bajo Lluta será capaz de satisfacer la demanda de agua de la ciudad de Arica sólo hasta el año 2003, junto con el sistema de abastecimiento de agua

existente del valle de Azapa. La insuficiencia de agua de la ciudad de Arica se estima en 137 l/s para el año 2010 y 269 l/s para el año 2015.

Por lo tanto, los recursos de agua en otras cuencas aparte de las de los ríos San José y Lluta deberán ser desarrolladas después del año 2003.

5.2 Abastecimiento de Agua y Balance de la Demanda del Área de Iquique

5.2.1 Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea en Pampa del Tamarugal

1) Balance del Agua Existente

El caudal afluente hacia los acuíferos de Pampa del Tamarugal consiste en aguas superficiales provenientes de los ríos naturales originados en la Cordillera de los Andes, y de aguas subterráneas provenientes del Salar del Huasco y otras cuencas vecinas.

La existencia de este caudal afluente de aguas subterráneas ha sido sugerida por los informes previos y es apoyado por este Estudio (ver Informe Suplementario B-III, Capítulo I, 1.2.3). Se considera que las aguas subterráneas penetran a través de las fisuras geológicas.

Por otra parte, el agua subterránea de Pampa del Tamarugal es consumida por el agua potable de Iquique y por el uso doméstico, de riego y minería dentro de las áreas de la Pampa. Más tarde es consumida por la evaporación y evapo-transpiración de los tamarugos y áreas del Salar. Nada de agua escurre fuera de la cuenca de Pampa del Tamarugal.

El balance de la cuenca de Pampa del Tamarugal está desproporcionado. El nivel del agua subterránea ha disminuido a una razón media de 7 cm/año durante el período reciente de 1985 a 1993. Este descenso es equivalente a la reducción de 514 l/s de la reserva de aguas subterráneas.

El balance de aguas existentes en los acuíferos de Pampa del Tamarugal es resumido abajo.

(1) Caudal Afluente Promedio

- Agua superficial de los ríos naturales : 976 l/s
- Agua subterránea del Salar del Huasco y otras cuencas vecinas : X l/s

(2) Consumo Promedio Real

La demanda total promedio existente en Pampa del Tamarugal durante 1992 es estimada en 1,192 l/s, de los cuales se asume que el consumo real de agua es de 887 l/s. El consumo real de agua se desglosa de la siguiente forma (véase Capítulo III, Tabla 3.1).

- Agua municipal de Iquique : 547 l/s
- Agua de uso doméstico en la Pampa : 47 l/s
- Agua de riego en el área de los valles : 130 l/s
- Agua de riego en Pampa : 119 l/s
- Agua de uso en minería en el área de los valles : 21 l/s
- Agua de uso en minería en Pampa : 23 l/s

(3) Promedio de Evaporación y Evapo-transpiración (E)

La evaporación y evapo-transpiración promedio, durante el período de 1985 a 1993, de los tamarugos y la áreas del Salar son las siguientes:

- Tamarugos : 904 l/s
- Areas del Salar : 145 l/s

(4) Reducción Promedio de la Reserva de Aguas Subterráneas (R)

La reducción promedio de la reserva de aguas subterráneas durante el periodo de 1985 a 1993 se estima en 514 l/s.

En la información previa, el consumo real de 151 l/s de agua en riego y minería en el área de los valles es considerado ya en las aguas superficiales de los ríos naturales. En consecuencia, esta cantidad no es contemplada en el cálculo del balance de agua existente.

Entonces, el caudal afluente de aguas subterráneas provenientes de las cuencas vecinas se estima como sigue:

$$R = I - C - E$$
$$-514 = (976 + X) - (547 + 47 + 119 + 23) - (904 + 145)$$
$$X = 289 \text{ l/s}$$

Para detalles, ver Informe Suplementario B, B-III, Capítulo IV.

2) Balance Futuro de Agua

La futura demanda total de agua en el año 2015 se proyecta será de 2,746 l/s de los cuales el consumo real de agua se estima en 2,096 l/s. El desglose por área de uso futuro del agua se muestra abajo, comparado con los usos existentes.

	Existente (1992)		Futura (2015)	
	Demanda (l/s)	Consumo Real (l/s)	Demanda (l/s)	Consumo Real (l/s)
Iquique	547	547	1,062	1,062
Area de los Valles	324	151	41	25
Area de la Pampa	321	189	1,643	1,009
Total	1,192	887	2,746	2,096

Para detalles ver Capítulo III, Tabla 3.1.

Más aún, la evapo-transpiración de los Tamarugos en el año 2015 se estima será de 1,523 l/s (ver Informe Suplementario E, Tabla E.2.3). La evapo-transpiración de las áreas del Salar es considerada insignificantemente pequeña debido al descenso del nivel de las aguas subterráneas.

El futuro balance hidrológico de los acuíferos de Pampa del Tamarugal en el año 2015 es calculado como sigue:

$$R = I - C - E + \alpha = -2.203 \text{ l/s}$$

donde
- R : Reducción de la reserva de aguas subterráneas
- I : Caudal afluente promedio : 1,265 l/s
- C : Consumo real de agua en Iquique y Pampa : 2,071 l/s
- E : Evaporación y evapo-transpiración en Pampa : 1,523 l/s
- α : Aumento de las aguas superficiales de los ríos naturales debido a la reducción del consumo real de agua en los valles de los ríos: 126 l/s (=151 - 25 l/s)

3) Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea

La reducción anual existente y futura de la reserva de aguas subterráneas en los años 1992 y 2015 se estima será de 16.2 millones m^3/año y 69.5 millones m^3/año, respectivamente. Por tanto, la reducción total de la reserva de aguas subterráneas durante 23 años hasta el año 2015, se estima en 986 millones m^3 o 3.7% de la reserva existente de 26,908 millones m^3.

El potencial de desarrollo del recurso agua subterránea de Pampa del Tamarugal es considerado suficientemente grande para satisfacer la demanda futura de agua. Su desarrollo es restringido por la calidad más que por la cantidad.

El acuífero de aguas subterráneas con una calidad adecuada de agua para uso doméstico se ubica al este de la línea que une La Tirana con Pintados (ver Capítulo II, Fig. 2.23 (8)).

Este acuífero de aguas subterráneas limpias (acuífero prometedor) tiene un volumen de almacenamiento de 10,700 millones de m^3. Por otro lado, la extracción de las aguas subterráneas (consumo real) para el suministro de agua para Iquique se estima en 17.3 millones de m^3/año para el año 1992 y 33.5 millones de m^3/año para el año 2015. Por lo tanto, la extracción total del suministro de agua para Iquique durante 23 años hasta el año 2015 resulta ser 584 milliones de m^3 ó 5.5% del almacenamiento de aguas subterráneas existente de 10,700 millones de m^3.

El acuífero prometedor arriba mencionado se considera lo suficientemente grande como para satisfacer la demanda de agua futura para la ciudad de Arica.

Para detalles, ver Capítulo II, 2.3.6.

5.2.2 Simulación de las Aguas Subterráneas

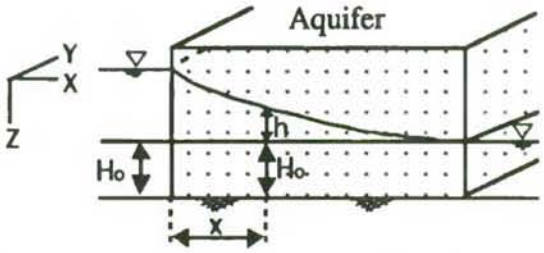
1) Construcción del Modelo de Simulación

(1) Programa de Computación

El programa de computación usado para la simulación de aguas subterráneas en este estudio es preparado basado en la siguiente ecuación dominante.

La ecuación dominante relativa a la infiltración manejada se basa en la hipótesis de Dupuit; la carga hidrostática es igual en la sección perpendicular del acuífero.

Usando la hipótesis de Dupuit, la fórmula de continuación relativa al flujo tridimensional (x, y, z) es de $Vz = 0$ como se muestra a continuación.



S : Coeficiente de almacenaje

Vx, Vy, Vz : Velocidad de flujo aparente en las direcciones x, y, z

q : Flujo de vertiente o descarga por unidad de tiempo

Reemplazando la fórmula de Darcy's de movimiento (ecuación 2) en la ecuación (1), resulta:

$$\left.\begin{aligned} Vx &= -Kx\frac{\partial h}{\partial x} \\ Vy &= -Ky\frac{\partial h}{\partial y} \\ Vz &= -Kz\frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned}\right\} \quad \text{..... (2)}$$

$$S\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left\{Kx(Ho+h)\frac{\partial h}{\partial x}\right\} + \frac{\partial}{\partial y}\left\{Ky(Ho+h)\frac{\partial h}{\partial y}\right\} + q$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}\left(Tx(h)\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(Ty(h)\frac{\partial h}{\partial y}\right) + q \text{ ..... (3)}$$

Donde Tx, Ty: Coeficientes de transmisibilidad en las direcciones x, y, siendo funciones de la carga hidrostática h.

Esta es la ecuación dominante relativa a la infiltración usando la hipótesis de Dupuit.

De la ecuación (3), después de la formulación de elemento finito usando el método de residuos ponderados, la solución es obtenida bajo las condiciones iniciales y ambientales adecuadas.

El programa de computación preparado por el método antes mencionado puede ser fácilmente aplicado no sólo a acuíferos formados por un solo estrato, sino también para acuíferos formados por estratos múltiples. Además, puede realizar análisis de agua subterránea cuasi-tridimensionales en forma adecuada.

(2) Modelación del Acuífero

i) Forma y Geología del Acuífero

Las formas del acuífero de Pampa del Tamarugal son simplificadas para construir el modelo de simulación. El área superficial del modelo del acuífero cubre toda el área de Pampa del Tamarugal como se muestra en la Fig. 5.2. Sin embargo, el acuífero en las áreas de Pica y Mantilla es excluído debido a que es hidráulicamente independiente del de Pampa del Tamarugal. El perfil longitudinal del modelo del acuífero se muestra en la Fig. 5.3.

El modelo del acuífero consiste en dos (2) sub-acuíferos: el acuífero inferior (Q_3) de facies conglomerádicas y el acuífero superior (Q_4) de facies arenosas. No existen estratos impermeables entre ellos.

ii) Constantes del Acuífero

Los acuíferos de Q_3 y Q_4 son considerados como libres. Los coeficientes de permeabilidad y almacenamiento se asumen como sigue:

	Q_3	Q_4
Coeficiente de Permeabilidad (cm/seg)	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-4}
Coeficiente de Almacenamiento	0.35	0.30

(3) Consumo Existente de Aguas Subterráneas

El consumo existente de agua subterránea del acuífero incluye los consumos de agua potable para Iquique, agua de uso doméstico en los pueblos locales, agua de riego, agua para la minería y la evapo-transpiración de los tamarugos en Pampa del Tamarugal excluyendo las áreas de Pica y Mantilla.

El total existente de extracción de agua subterránea para los usos municipal, doméstico, de riego y minería, del acuífero de Pampa del Tamarugal se estima en 642.2 l/s. Sin embargo, una parte del agua extraída es retornada a la napa para recarga del agua subterránea. El remanente es la porción realmente consumida. El consumo real total

existente se estima en 594.2 l/s. El desglose por categoría de uso se muestra abajo.

	Extracción (l/s)	Consumo Real (l/s)
Agua Municipal de Iquique	546.7	546.7
Uso Doméstico en los Poblados	60.5*	24.5*
Agua de Riego	0.0	0.0
Agua Uso Minero	35.0	23.0
Total	642.2	594.2

Nota: Esta tabla muestra sólo extracción y consumo real del acuífero de Pampa del Tamarugal
* : Extracción y consumo real para Dupliza y Pisagua.

La evapo-transpiración total de los tamarugos se estima en 1,019 l/s.

(4) Recarga Existente de Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas son recargadas por las aguas superficiales de siete (7) ríos originados en la Cordillera de los Andes, y por aguas subterráneas provenientes del Salar del Huasco y otras cuencas orientales vecinas.

La recarga total de aguas subterráneas por los ríos se estima en 976 l/s. Los consumos existentes de agua de riego y para minería en los valles está incluido ya en esta cantidad. Para el desglose por ríos, ver Capítulo II, 2.3.2.

El caudal afluente de aguas subterráneas de Salar del Huasco y otras cuencas vecinas recarga el agua subterránea del acuífero de Pampa del Tamarugal y el acuífero de Pica/Mantilla. La recarga total de agua subterránea proveniente del caudal afluente de la napa se estima en 298 l/s. Por otra parte, una parte del caudal afluente de la napa es usado para propósitos domésticos y de irrigación en las áreas de Pica/Mantilla como se muestra a continuación.

	Extracción (l/s)	Consumo Real (l/s)
Uso doméstico en Pica/Mantilla	33.0	13.2
Agua de Riego en Pica.Mantilla	169.4	119.0
Uso doméstico en Huayca/Tirana/Pozo Almonte/Huara*	19.6	7.9

* El agua para uso doméstico para Huayca/Tirana/Pozo Almonte/Huara es extraída del acuífero de Pica/Mantilla y consumida en Pampa del Tamarugal

Por lo tanto, la recarga real total del agua subterránea al acuífero de Pampa del Tamarugal por el caudal afluente de la napa es de 137.2 l/s (= 289 - 13.2 - 119.0 - 19.6). Aparte de esta recarga, el excedente de agua doméstica de 11.7 l/s (=19.6 - 7.9) es recargado al acuífero de Pampa del Tamarugal en los pueblos arriba mencionados.

(5) Modelo de Calibración

El nivel freático calculado coincide con el actual, como se muestra en la Fig. 5.4. El vector del caudal existente de aguas subterráneas también se muestra en esta figura.

2) Simulación del Nivel Freático Futuro

(1) Futuro Consumo de Aguas Subterráneas

La futura extracción total de aguas subterráneas para uso municipal, doméstico, de riego y minería del acuífero de Pampa del Tamarugal en el 2015 se estima en 2,293 l/s de los cuales el consumo real es estimado en 1,804 l/s. El desglose por categoría de uso del agua es el siguiente:

	Extracción (l/s)	Consumo Real (l/s)
Agua Municipal de Iquique	1,062.3	1,062.3
Uso Doméstico en los Poblados	60.6*	24.6*
Agua de Riego (CAPPTA)	258.1	168.0
Agua Uso Minero	911.6	549.0
Total	2,292.6	1,803.9

Nota: Esta tabla muestra sólo extracción y consumo real del acuífero de Pampa del Tamarugal

* : Extracción y consumo real para Dupliza y Pisagua.

La evapotranspiración futura total de los tamarugales en el 2015 es estimada en 1.480 l/s .

(2) Futura Recarga de Aguas Subterráneas

Se asume que el cultivo en los valles será desplazado completamente al área del proyecto CAPPTA hacia el año 2015. Esto producirá un aumento en las aguas superficiales. Por otra parte, se espera que se desarrolle a futuro una actividad minera adicional en estos valles, lo que reducirá las aguas superficiales.

El uso total para irrigación y minería en los valles de los ríos en el 2015 se muestran a continuación, comparados con aquellos de 1993.

	Extracción (l/s)			Consumo Real (l/s)		
	1993	2015	Diferencia	1993	2015	Diferencia
Irrigación	290	0	-290	130	0	-130
Minería	34.2	41.2	+7.0	20.5	24.7	+4.2

Por tanto, la recarga total de las aguas superficiales a las aguas subterráneas en el año 2015 se estima en 1,102 l/s (=976 + 130 - 4.2).

El consumo real total de agua en las áreas Pica/Matilla aumentará en el futuro, resultando en la disminución del caudal afluente de la napa al acuífero de Pampa del Tamarugal.

La extracción y consumo reales de agua para las áreas de Pica/Mantilla en el 2015 se muestran a continuación.

	Extracción (l/s)	Consumo Real (l/s)
Uso doméstico en Pica/Mantilla	41.7	16.7
Agua de Riego en Pica.Mantilla	338.8	238.0
Uso doméstico en Huayca/Tirana/Pozo Almonte/Huara*	24.8	9.9

* : El agua para uso doméstico para Huayca/Tirana/Pozo Almonte/Huara es extraída del acuífero de Pica/Mantilla y consumida en Pampa del Tamarugal

Por lo tanto, la recarga real total del agua subterránea del acuífero de Pampa del Tamarugal por el caudal afluente de la napa en el 2015 es de 9.5 l/s (= 289.0 - 16.7 - 238.0 - 24.8). Aparte de esta recarga, el

excedente del agua doméstica de 14.9 l/s (= 24.8 - 9.9) es recargado al acuífero de Pampa del Tamarugal en los poblados antes mencionados.

(3) Resultados de la Simulación

El nivel freático de los años 2015, 2043 (después de 50 años) y 2093 (después de 100 años) es simulado como aparece en la Fig.5.5, basándose en los siguientes supuestos:

- La demanda de agua aumentará linealmente hasta el año 2015 y, a partir de entonces, se mantendrá constante.

Tal como se puede ver de la figura arriba mencionada, el nivel freático continuará disminuyendo aún después del 2015.

La figura arriba mencionada también muestra elflujo de agua subterránea por unidad de ancho del acuífero (m^3/d) en cada localización en el futuro.

Los descensos del nivel freático en los años 2015, 2043 y 2093, medidos del nivel existente, se muestran en la Fig. 5.6. Los descensos futuros no son de gran magnitud. El descenso máximo se estima será de 10 m en el año 2015, 20 m en el 2043 y 30 m en 2093.

3) Proyección de la Calidad del Agua Subterránea

El acuífero más prometedor para el desarrollo del suministro de agua (acuífero de agua limpia) está localizado al este de la línea que conecta La Tirana con Pintados (ver Capítulo II, Fig. 2.23 (8)). En la actualidad (1992), éste tiene una capacidad de almacenamiento de 10,700 millones de m^3 de los cuales 584 millones de m^3 serán extraídos para el abastecimiento de agua para Iquique por 23 años hasta el año 2015.

Por otro lado, la calidad del agua subterránea en la áreas del alrededor del acuífero prometedor está contaminada en cierto grado y no es adecuado para ser usada como agua potable sin previo tratamiento.

Tal como se puede ver en la Fig. 5.5, el agua subterránea en Pampa del Tamarugal fluye principalmente en la dirección norte-sur. Alguna cantidad del agua subterránea contaminada entra al acuífero prometedor desde el norte. Sin embargo, la cantidad es pequeña. Se estima que ésta es solamente alrededor de 200 millones de m^3 para un período total de 23 años

hasta el año 2015, equivalente al 2.0% del volumen de almacenamiento del acuífero prometedor en el año 2015 (=200 / 10,700 - 584).

Tal como es evidente de la disusión líneas arriba, el deterioro de la calidad del agua subterránea del acuífero prometedor en el futuro es considerado como insignificante.

5.2.3 Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea en la Cuenca del Salar del Huasco

1) Balance de Agua Existente

Toda el agua superficial de la cuenca se infiltra para recarga de la napa subterránea. Sin embargo, una parte del agua subterránea es descargada a la cuenca de Pampa del Tamarugal a través de las fisuras geológicas. La porción remanente es consumida por la evaporación de las zonas del lago para mantener el balance hidrológico de la cuenca. No existe uso del agua en la cuenca.

En el presente, el balance hidrológico del acuífero es proporcionado. No se ha identificado una variación histórica significativa del nivel de aguas subterráneas. La descarga de agua subterránea a la Pampa del Tamarugal se estima de la siguiente forma:

$$D = I - E = 234 \text{ l/s}$$

donde, D : Descarga promedio de agua subterránea a la Pampa del Tamarugal
I : Promedio de agua superficial de la Cuenca : 809 l/s
E : Evaporación promedio de las zonas del lago : 575 l/s

Para detalles ver Informe Suplementario B-IV, Capítalo II, 2.7.

2) Potencial de Desarrollo del Recurso Agua Subterránea

La reserva existente de aguas subterráneas no es grande (465 millones m^3). En consecuencia, el potencial desarrollo sustentable del recurso agua subterránea se considera de 575 l/s, equivalente a la evaporación de las zonas del lago.

Este nivel de desarrollo del recurso las agua subterránea es suficiente para satisfacer el aumento de la demanda de agua potable en la ciudad de Iquique hacia el año 2015.

Sin embargo, cualquiera sea la magnitud de desarrollo del recurso agua subterránea, éste reducirá o secará las zonas del lago del Salar del Huasco para mantener el balance hidrológico de la cuenca. Esto podría causar daño al medio ambiente de las lagunas, afectando especialmente el habitat de los flamencos.

Para llegar a una conclusión final sobre el potencial de desarrollo de los recursos de agua de Salar del Huasco se consideran necesarios estudios detallados de impacto ambiental adicionales.

5.2.4 Abastecimiento de Agua Potable y Balance de la Demanda en Iquique

La futura demanda de agua potable de la ciudad de Iquique, basándose en una producción promedio, se estima como sigue:

Año	Demanda (l/s)
1995	708
2005	807
2015	1,062

Por otra parte, la capacidad de abastecimiento existente se estima en 523* l/s, sobre la base de un promedio de producción. Desarrollos adicionales del recurso agua subterránea de 284 l/s y 539 l/s, sobre una base de producción promedio, se requieren para los años 2005 y 2015, respectivamente, para satisfacer la futura demanda de agua potable.

Estos desarrollos adicionales del recurso agua subterránea son propuestos para Pampa del Tamarugal. El desarrollo de este recurso en Salar del Huasco se considera como la alternativa a ser aplicada en caso que el desarrollo de éste en Pampa del Tamarugal sea difícil.

* : 523 l/s se obtienen de la capacidad de abastecimiento existente, 680 l/s, sobre la base de producción máxima diaria, asumiendo el factor máximo como 1.30.

Tabla 5.1 Monthly Average Groundwater Recharge Potential (1)

<Potencialidad Medio Mensual de Recarga de Agua Subterránea>

(unit : l/s)

Month	Ave. Flow Rate at Tocontasi	Water Right in Downstream	Actual Extraction	Surplus Flow Rate	Potential Recharge
Jan.	2,887	2,203	2,203	684	280.4
Feb.	4,741	2,203	2,203	2,538	1,040.6
Mar.	4,222	2,203	2,203	2,019	827.8
Apr.	1,759	2,203	1,759	0	0
May	1,809	2,203	1,809	0	0
Jun.	1,802	2,203	1,802	0	0
Jul.	1,937	2,203	1,937	0	0
Aug.	1,746	2,203	1,746	0	0
Sep.	1,542	2,203	1,542	0	0
Oct.	1,332	2,203	1,332	0	0
Nov.	1,307	2,203	1,307	0	0
Dec.	1,508	2,203	1,508	0	0
Ave.	2,216	2,203	1,779.3	436.7	179.0

Tabla 5.2 Monthly Average Groundwater Recharge Potential (2)

<Potencialidad Medio Mensual de Recarga de Agua Subterránea>

(Case 1)

(unit : l/s)

Month	River Flow at Tocontasi	Upstream Consump.	River Flow at Headworks	Required Extraction	Actual Extraction	Surplus River Water	Groundwater Recharge
Jan.	2,887	275	2,612	819	819	1,793	735
Feb.	4,741	275	4,466	819	819	3,647	1,495
Mar.	4,222	275	3,947	819	819	3,128	1,282
Apr.	1,759	275	1,484	819	819	665	273
May	1,809	275	1,534	819	819	715	293
Jun.	1,802	275	1,527	819	819	708	290
Jul.	1,937	275	1,662	819	819	843	346
Aug.	1,746	275	1,471	819	819	652	267
Sep.	1,542	275	1,267	819	819	448	184
Oct.	1,332	275	1,057	819	819	238	98
Nov.	1,307	275	1,032	819	819	213	87
Dec.	1,508	275	1,233	819	819	414	170
Ave.	2,216	275	1,941	819	819	1,122	460

(Case 2)

(unit : l/s)

Month	River Flow at Tocontasi	Upstream Consump.	River Flow at Headworks	Required Extraction	Actual Extraction	Surplus River Water	Groundwater Recharge
Jan.	2,887	448	2,439	433	433	2,006	822
Feb.	4,741	446	4,295	431	431	3,864	1,584
Mar.	4,222	393	3,829	1,212	1,212	2,617	1,073
Apr.	1,759	193	1,566	878	878	688	282
May	1,809	150	1,660	709	709	951	390
Jun.	1,802	118	1,684	583	583	1,101	451
Jul.	1,937	114	1,823	156	156	1,667	683
Aug.	1,746	128	1,618	189	189	1,429	586
Sep.	1,542	164	1,378	859	859	519	213
Oct.	1,332	201	1,132	927	927	205	84
Nov.	1,307	236	1,071	1,056	1,056	15	6
Dec.	1,508	407	1,101	1,209	1,101	0	0
Ave.	2,216	250	1,966	720	711	1,255	515

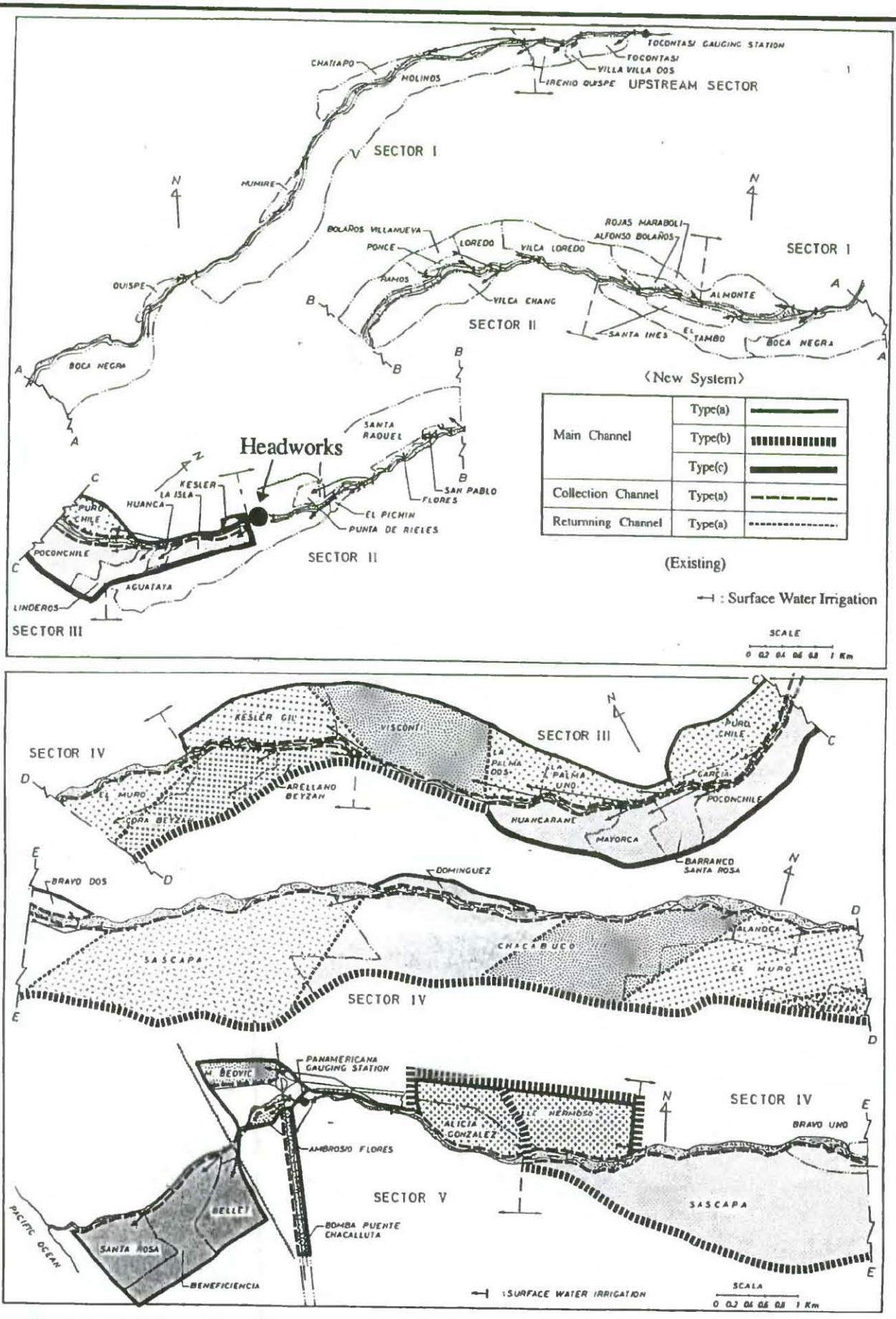


Fig. 5.1 Proposed New Irigation System

<Nuevo Sistema del Irrigación Prospuesta>

Surface Area and Longitudinal Profile of Aquifer Model

<Area Superficial y perfil Longitudinal del Modelo Acuífero>

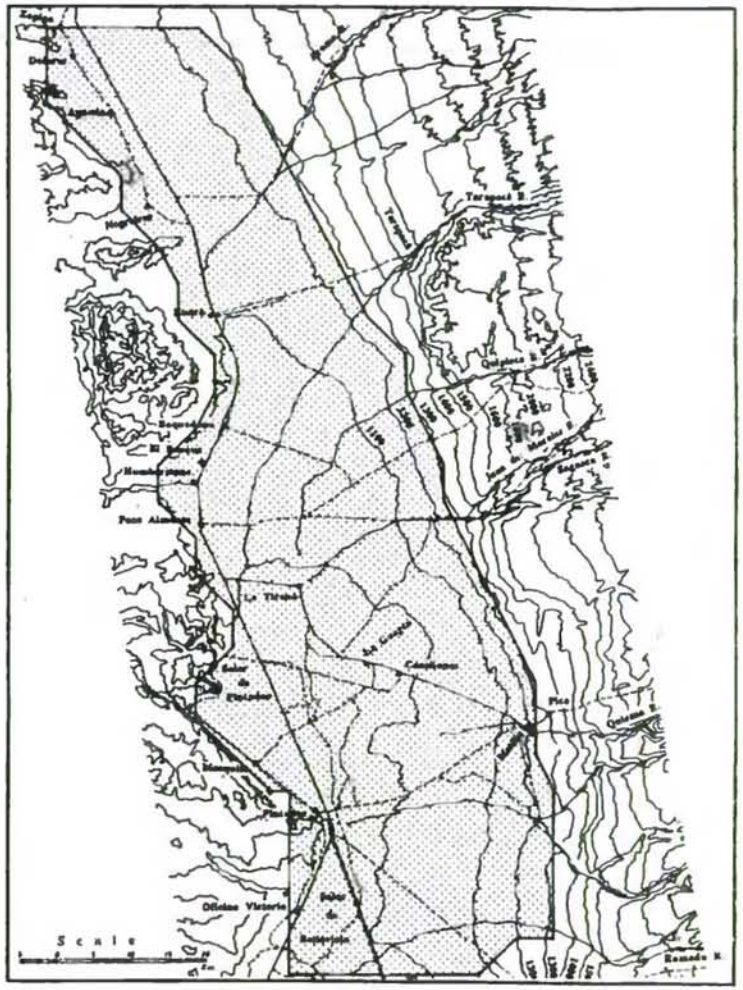


Fig. 5.2 Surface Area of Aquifer Model
<Area Superficial del Modelo Acuífero>

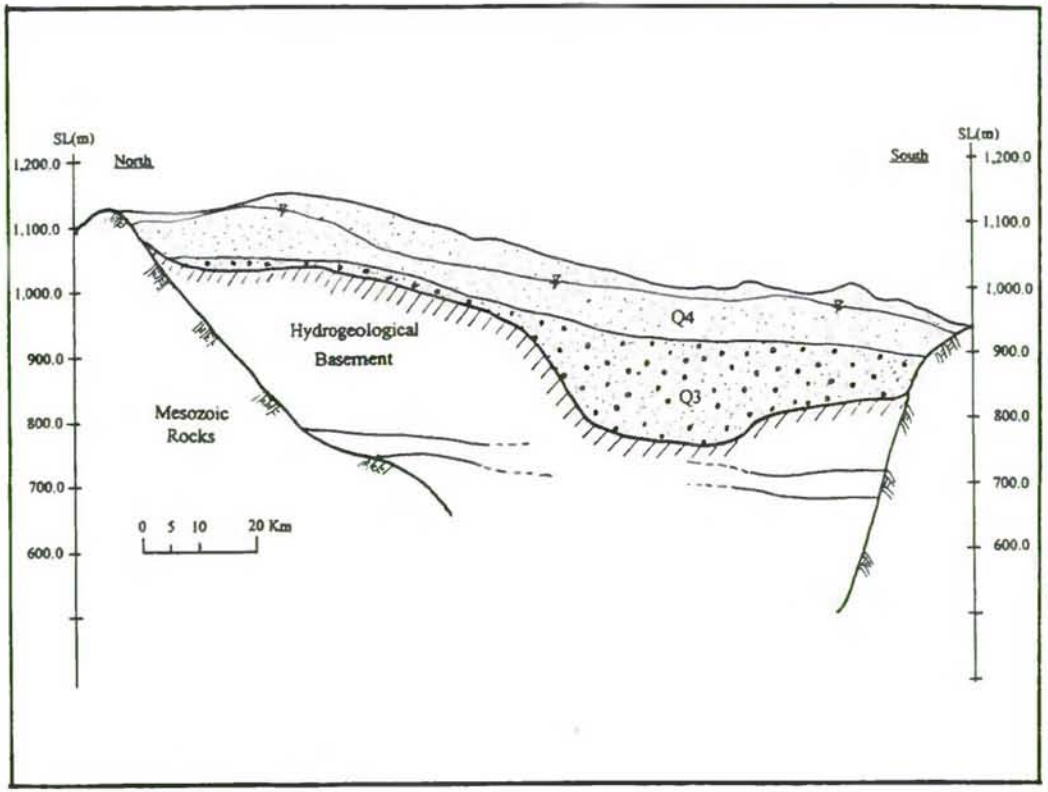


Fig. 5.3 Longitudinal Profile of Aquifer Model
<Perfil Longitudinal del Modelo Acuífero>

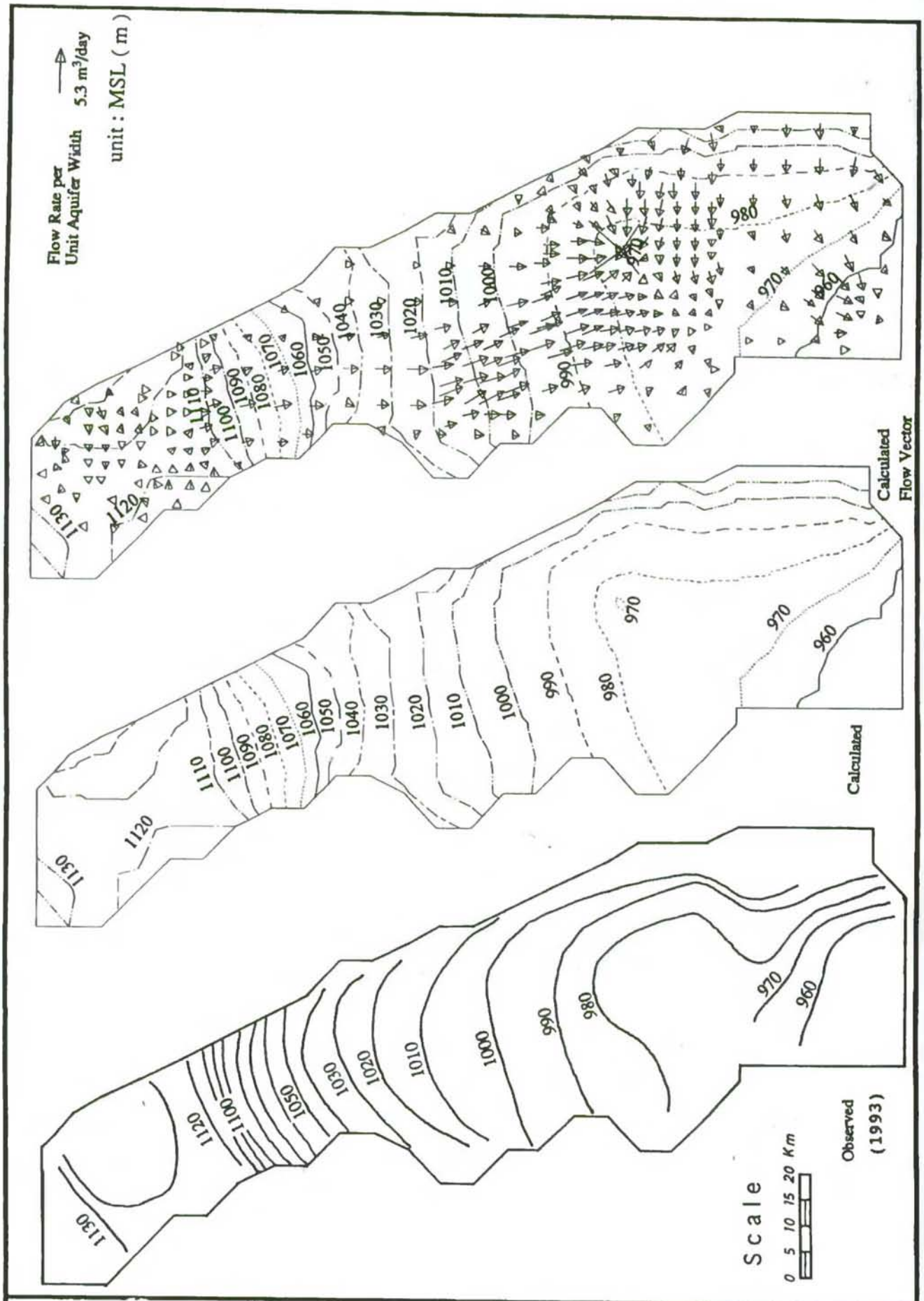


Fig. 5.4 Comparison Between Observed and Calculated Groundwater Level

<Comparacion Entre Mueles Freaticos Observados y Calculados>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

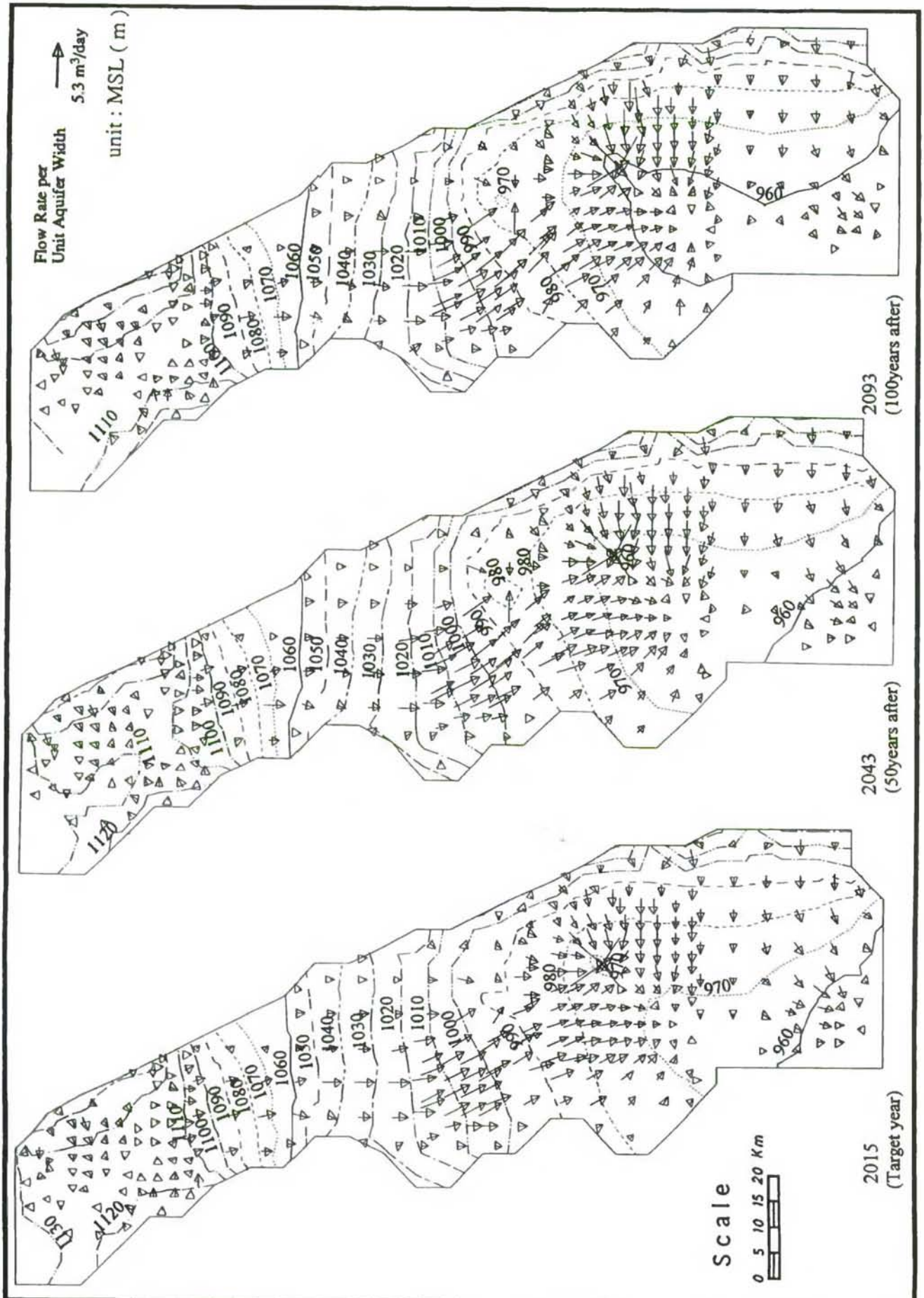


Fig. 5.5 Simulated Groundwater Level and Flow Rate in Future

<Nivel Freatico Simulado y Razón de Flujo Futuro>

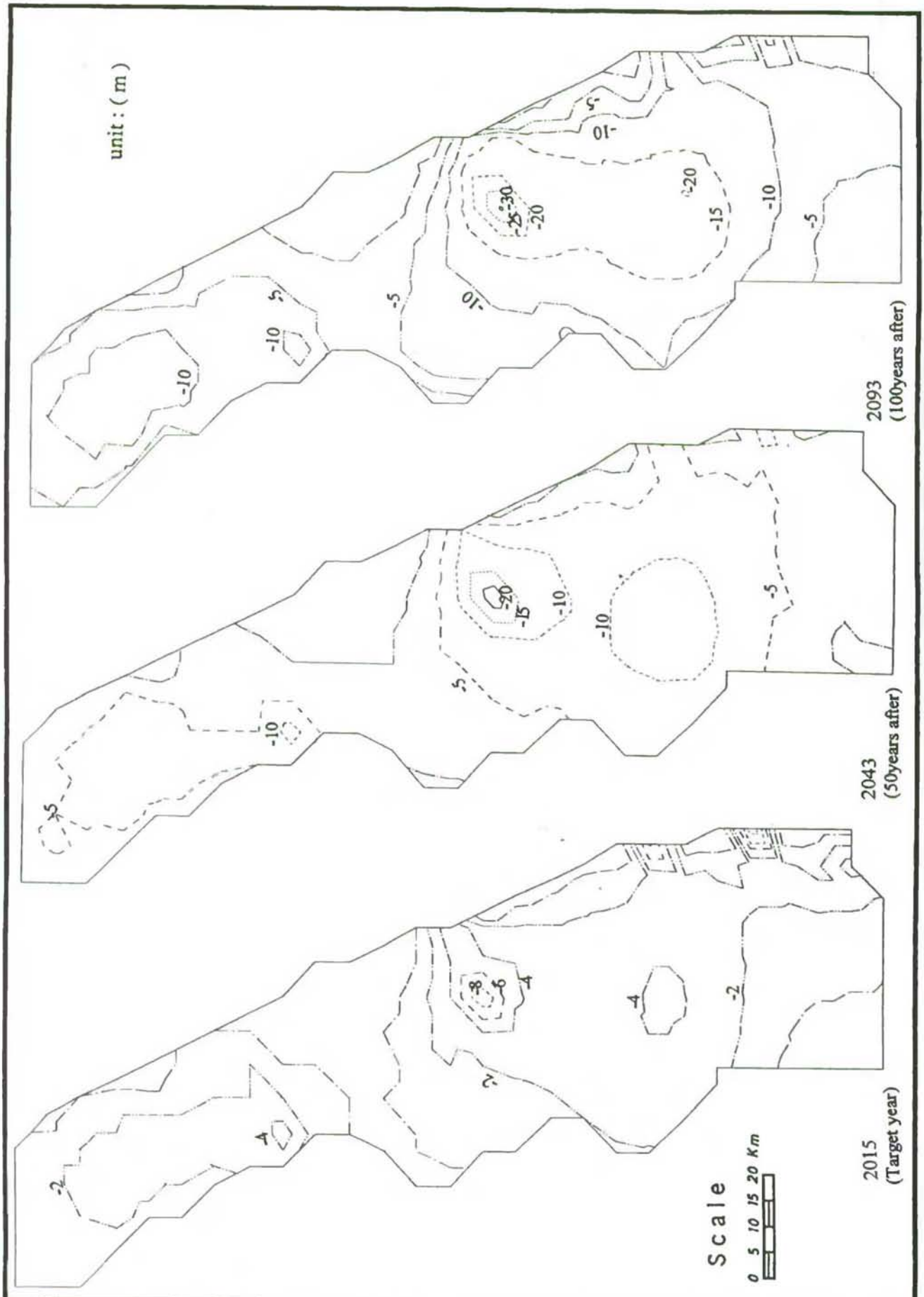


Fig. 5.6 Drawdown of Groundwater Level in Future (2015, 2043 & 2093)

<Mapa del Nivel Freatico en el Futuro (2015, 2043 & 2093)>

CAPITULO VI DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE ARICA

Capítulo VI DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE ARICA

6.1 Sistema Existente de Abastecimiento de Agua

6.1.1 Generalidades sobre el Sistema

El sistema de abastecimiento de agua potable de Arica es operado y mantenido por ESSAT.

La fuente de agua la constituye el agua subterránea de la cuenca del río San José. Esta se extrae de los pozos profundos ubicados en el valle de Azapa y el área urbana mediante bombas sumergibles instaladas en cada pozo.

El agua extraída de los pozos en principio es conducida a través de una cañería recolectora a un estanque colector ubicado cerca de la parte central de la batería de pozos. En el estanque colector, el agua es esterilizada con hipoclorito inyectado en la cañería de entrada o de salida del estanque. Luego, el agua clorada es conducida a los estanques de distribución ubicados en las áreas altas al este de la ciudad. Desde los estanques de distribución, el agua se suministra mediante gravedad a través de redes de distribución a los consumidores de la ciudad.

El sistema existente de abastecimiento de agua abarca aproximadamente 1,680 ha divididas en cuatro (4) sectores de servicio del área urbana de la ciudad.

Para obtener los datos del sistema existente de abastecimiento de agua, remitirse al Capítulo 3, Fig. 3.1.

En 1992, ESSAT produjo 16,941 x $10^3 m^3$ (=537 l/s) de agua potable, de los cuales 10,635 x $10^3 m^3$ se consumieron en uso residencial, comercial, industrial y otros. La pérdida estimada de agua fue de 6,306 x 10^3, correspondiente a 37.2% del volúmen de producción.

La producción indicada se obtuvo de 28 pozos profundos ubicados en el valle de Azapa y área urbana. Durante 1993, ESSAT desarrolló y puso en servicio 17 pozos adicionales, incrementando la cantidad total de producción a 730 l/s.

6.1.2 Infraestructura del Abastecimiento de Agua

1) Pozos Profundos y Bombas Impulsoras

En Febrero de 1994, los pozos profundos existentes en el sistema de abastecimiento de agua de ESSAT ascendían a 45. La profundidad de los pozos fluctúa aproximadamente entre 50 m a 110 m, siendo el diámetro del entubado de 250 - 340 mm y el gasto aproximadamente de 15 - 25 l/s. Todos los pozos se equiparon con bomba sumergible.

El agua subterránea extraída de los pozos profundos asciende a través de las bombas sumergibles a un estanque colector en principio, mediante tuberías de presión.

La energía para las bombas es abastecida por la empresa de electricidad.

2) Estanques Colectores

Existen tres (3) estanques colectores:

(1) Estación Pago de Gómez ubicada en el valle de Azapa
(2) Estación Azapa ubicada en el valle de Azapa
(3) Estación Estadio ubicada en el área urbana

Estos estanques son de acero u hormigón armado y situados ligeramente debajo del nivel del suelo.

El agua recolectada es conducida a los estanques de distribución a través de cañerías de conducción. El agua de las estaciones Pago de Gómez y Azapa es conducida mediante gravedad a los estanques de distribución Chuño y Saucache, y además al estanque de distribución Pampa Nueva. El agua de la Estación Estadio es elevada mediante bombas al estanque de distribución La Cruz.

Parte del agua del estanque La Cruz es transferida a los estanques de distribución Rosado La Lisera por bombeo.

3) Estanque de Distribución

En la actualidad (1994) existen seis (6) estanques de distribución. Todos son de acero u hormigón armado y están ligeramente bajo el nivel del suelo en las laderas sur u orientales de la ciudad.

Las caraterísticas sobresalientes de los estanques son las siguientes:

(1) Estanque Chuño (V = 5,000 m^3, HWL = 84.5 m: al Sector de Servicio II)
(2) Estanque Saucache (V = 2,500 m^3, HWL = 104.6 m: al Sector III)
(3) Estanque Pampa Nueva (V = 1,000 m^3, HWL = 129.11 m: a las áreas altas del Sector III)
(4) Estanque La Cruz (V = 2,500x2 = 5,000 m^3 HWL = 81.5 m: al Sector I)
(5) Estanque Rosado (V = 800 m^3, HWL = 109.5 m: al Sector IV)
(6) Estanque La Lisera (V = 200 m^3, HWL = 30.0 m: al área sur-costera del Sector I)

El agua almacenada en los estanques de distribución es distribuída, mediante gravedad en principio, a través de redes de distribución a los sectores de servicio de Arica.

4) Tubería de Transmisión

La mayor parte del agua subterránea extraída del valle de Azapa es transmitida por dos (2) tuberías de transmisión principales a los estanques de distribución situados en el área de la ciudad. Uno conecta Cabuza y Chuño y otro conecta Pago de Gomez y Saucache. Sus características saltantes son las siguientes.

Línea	Longitud (km)	Dia. (mm)	Material
Cabuza - Chuño	22.3	300 - 400	mayormente fibrocemento
Pago de Gomez - Saucache	8.3	250 - 400	fibrocemento

La Fig. 6.1 y 6.2 respectivamente muestran un esquema de las instalaciones y areas de servicio de abastecimiento de agua existente.

6.1.3 Problemas Existentes en el Abastecimiento de Agua

1) Capacidad de Abastecimiento

Hasta fines de 1993, el servicio de abastecimiento de agua estuvo limitado a 10.5 - 15.0 horas diarias en todos los sectores de servicio debido a la escasez del recurso. Esta restricción disminuyó gracias al proyecto de emergencia de abastecimiento de agua que fue completado a fines de 1993. Sin

embargo, este servicio aún está limitado a 14 - 15 horas al día en dos (2) sectores de servicio (II y III)

2) Fuentes de Agua

El agua subterránea de la cuenca del río San José se ha desarrollado en exceso para riego del valle de Azapa y abastecimiento de agua potable de Arica. No puede esperarse un desarrollo adicional en la cuenca. Por lo tanto, el agua para la demanda futura deberá obtenerse del valle del Lluta y de cuencas de otros ríos.

3) Calidad del Agua

La calidad del agua subterránea del valle de Azapa y área urbana está empeorando debido a su excesivo desarrollo. El TSD, en particular, está aumentando en los pozos del área urbana.

4) Pérdidas de Agua

La pérdida de agua existente alcanza alrededor del 40% de la producción total.

6.2 Aspectos Institucionales y Financieros Existentes

6.2.1 Organización de ESSAT

ESSAT constituye una sociedad anónima, cuyo 99% de acciones pertenece a CORFO. ESSAT proporciona servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado a las ciudades/pueblos de la I Región, que incluyen a Arica, Iquique, Pozo Almonte, Pica, Matilla, La Tirana, La Huayca, Huara y Pisagua.

La empresa tiene los siguientes cuatro (4) departamentos y dos (2) sucursales bajo el Directorio:

(1) Gerencia General
(2) Ingeniería
(3) Administración y Finanzas
(4) Planificación
(5) Sucursal Arica
(6) Sucursal Iquique

El personal de la empresa alcanza un total de 289 personas para fines de 1993, clasificadas según se indica:

Directorio	10
Personal Técnico	53
Otros Funcionarios	226

6.2.2 Tarifas

1) Número de Clientes

El número de clientes que ha recibido servicios de abastecimiento de agua en Arica durante los últimos años se indica a continuación, junto con su cobertura:

	No. de Clientes	Cobertura (%)
1991	34,770	99
1992	37,423	99
1993	38,821	99

2) Estructura Tarifaria

Las tarifas del agua son establecidas por el gobierno y están dirigidas a cubrir los costos por servicio de abastecimiento de agua. El gobierno establece la tarifa meta que debe alcanzarse en un período de cinco (5) años.

La tarifa existente en Arica actualmente (1994) es la siguiente:

(1) Cargo Fijo Mensual

El cargo fijo mensual varía de acuerdo al diámetro de la cañería de servicio.

Diámetro de Tubería (mm)	Cargo ($)	Diámetro de Tubería (mm)	Cargo ($)
13	231	50	5,005
15	334	75	11,678
19	667	100	20,019
25	1,335	125	30,028
32	2,002	150	45,042
38	3,003	200	80,075

(2) Cargo Mensual Variable

Incluye el cargo durante la temporada normal (abril - noviembre), el cargo durante la temporada alta (diciembre - marzo) y los cargos por exceso de consumo. Estos cargos dependen del volúmen de agua consumida, medido en m^3.

El cargo por consumo excesivo se aplica en la temporada alta al consumo que esté sobre el promedio de consumo durante la temporada normal. Este cargo se aplica al consumo sobre 30 m^3.

Los cargos variables mensuales de Arica se indican a continuación:

Categoría	Normal ($/m^3)	Rebaja ($/m^3)
Temporada Normal	140.02	108.68
Temporada Alta	140.02	108.68
Exceso de Consumo	363.74	363.74

3) Eficiencia en la Cobranza Tarifaria

La facturación se realiza a todos los clientes en forma mensual. Durante los últimos cuatro (4) años (1990 - 1993), un 96% de la tarifa facturada fue efectivamente cobrada como promedio en toda el área de servico de ESSAT.

6.3 Plan de Desarrollo a Corto Plazo

6.3.1 Capacidad de Desarrollo

Como se discutió en el Capítulo V, el agua subterránea del valle del Bajo Lluta es sólo uno de los recursos de agua potenciales que pueden ser desarrollados en el Area de Estudio para el abastecimiento de agua de la ciudad de Arica. Sin embargo, este desarrollo de agua subterránea puede satisfacer sólo la demanda de corto plazo, debido a que su potencial es limitado. Por lo tanto, las aguas subterráneas disponibles en el valle del Bajo Lluta serán explotadas al máximo posible.

La capacidad de desarrollo del abastecimiento de agua en la ciudad de Arica se estima de la siguiente manera.

(1) Capacidad diaria promedio de producción de agua cruda (l/s) : 425 l/s
(2) Capacidad diaria máxima de producción de agua cruda (l/s) : 552.5 l/s
(3) Capacidad diaria promedio de producción de agua tratada (l/s) : 319 l/s

(4) Capacidad diaria máxima de producción de agua tratada (l/s) : 414.4 l/s

Las estimaciones anteriores son calculadas bajo las siguientes asunciones.

(1) La razón de la demanda diaria máxima con respecto a la demanda diaria promedio es 1.30.
(2) El agua cruda es tratada mediante un proceso especial de desalinización y su eficiencia de tratamiento es de 75% (ver, Sección 6.3.2, (3))

La capacidad de producción de agua tratada antes mencionada (319 l/s) podrá satisfacer la demanda.de agua sólo hasta el 2003 en promedio, comparando las demandas de agua promedio de los años 2000 (244 l/s) y 2005 (337 l/s).

6.3.2 Instalaciones de Desarrollo de Abastecimiento de Agua Propuestas

1) Desarrollo del Recurso Agua

Los 553 l/s de agua subterránea sobre bases diarias máximas (425 l/s sobre bases diarias promedio) es desarrollada por 26 pozos incluyendo tres (3) pozos sustitutos. Los pozos están equipados con bombas sumergibles con una capacidad de descarga promedio de 25 l/s.

Las características de las instalaciones de toma propuestas se resumen a continuación.

i) Pozo Profundo : 26 pozos (12 pulg x 150 m profund x 8 pozos, 12 pulg x 120 m profund x 18 pozos)

ii) Bomba Sumergible : 26 bombas incluyendo tres (3) de sustitución (capacidad: 25 l/s cada una, electricidad totarequerida: 880 kw)

Los pozos están ubicados en una línea a lo largo del río Lluta entre Chuiliona y Rosario (ver Fig. 6.3).

2) Tubería de Transmisión Principal

Toda el agua de los pozos es transmitida por gravedad por una tubería de transmisión a la planta de tratamiento propuesta en Chuilona. La tubería recorre una distancia de 12.5 km a lo largo de la carretera Ruta 11 desde el pozo en la sección superior en Rosario (elevación : 347 m) a la planta de tratamiento (elevación : 131 m), cruzando el río Lluta en un (1) punto en la

ruta. La tubería propuesta está hecha de fibrocemento con un diámetro que varía de 150 mm a 500 mm.

Cuatro (4) estanques de concreto son propuestos en la ruta con el propósito de colectar el agua y controlar la presión.

Las características de la tubería de transmisión principal son.

i) Tubería de transmisión principal (fibrocemento)

150 - 250 mm x 1 x 2,500 m
300 - 400 mm x 1 x 4,500 m
450 - 500 mm x 1 x 5,500 m

ii) Estanque de colección/control de presión (Concreto Reforzado)

15 m^3 x 1 unidad x 1 lugar
105 m^3 x 1 unidad x 1 lugar
180 m^3 x 1 unidad x 1 lugar
270 m^3 x 1 unidad x 1 lugar

La ruta y el perfil longitudinal de la tubería de transmisión se muestran en las Figs. 6.3 y 6.4 respectivamente

3) Tratamiento de Agua

(1) Método de Tratamiento

El agua cruda contiene una alta concentración de TDS, Na, SO_4, Cl, Fe y B, excediendo el límite permisible para el agua potable. (Ver Capítulo V, 5.1.3). Para el tratamiento de esta agua salobre, los métodos de Osmosis Inversa (OI) o Electrodiálisis (ELD) son generalmente empleados.

En el método de OI, el agua cruda es forzada a pasar a través de una membrana contra la presión osmótica natural. Esto es logrado mediante la aplicación de contra-presión contra la presión osmótica. Sólo el agua desalinizada pasa a través de la membrana de OI.

El método de ELD está basado en el principio de intercambio de iones. Los cationes pasan selectivamente a través de membranas de cationes mientras que los aniones lo hacen por membranas de aniones. Cuando se aplica corriente directa a estas membranas, los iones en las cámaras

de disolución son transferidos a cámaras concentradas. Desalinizando de esta forma el agua cruda.

En general, el agua salobre puede ser tratada por los métodos de OI ó ELD hasta los límites permisibles para el agua potable con una eficiencia de recuperación de 70 - 80%. La eficiencia de recuperación se define como la razón del volumen de agua tratada con respecto al volumen de agua cruda.

Sin embargo, no hay experiencias en el tratamiento de agua salobre con un alto contenido de boro, como en el caso del agua subterránea del valle del Bajo Lluta , en abastecimiento de agua potable. Por lo tanto, el agua subterránea del valle del Bajo Lluta fue tratada experimentalmente en este Estudio. El experimento fue conducido mediante el uso de una planta de tratamiento OI de pequeña escala con la cooperación de ESSAT en Arica desde agosto a setiembre de 1994 los resultados se resumen a continuación

	TDS	Na	SO_4	Cl	Fe	B
Agua Cruda (mg/l)	3,438	565	1,018	929	0.12	22
Agua Tratada (mg/l)	43	8.7	2.5	14	0.02	4.5
Eficiencia de Tratamiento (%)	99	98	99	98	82	79
Límite Permisible (mg/l)	1,000	200	250	250	0.3	5.0

En la prueba anterior, la eficiencia de recuperación fue de 76.2% bajo una presión de bomba de 20 kg/cm^2.

Como es evidente en la tabla anterior, el método de OI es efectivo para el tratamiento de las aguas subterráneas del valle del Bajo Lluta. El boro es considerado como el elemento más crítico de la calidad del agua para el tratamiento.

Para detalles del experimento, ver el Informe Suplementario D, Apéndice 5.

(2) Planta de Tratamiento

La cantidad de agua de diseño sobre bases máximas diarias es determinada de la siguiente manera, asumiendo que la eficiencia de recuperación es de 75% y basada en el experimento arriba mencionado.

Agua Cruda	:	552.5 l/s (47,700 m^3/día)
Agua Tratada	:	414.4 l/s (35,800 m^3/día)
Pérdida de Agua	:	138.1 l/s (11,900 m^3/día)

La planta de tratamiento será construida en Chuilona en la margen derecha del río Lluta. El área de la planta incluye 3.8 ha de tierras con una elevación de 131 m. El agua tratada es distribuída a la parte norte de la ciudad de Arica desde los estanques de distribución adyacentes a la planta de tratamiento. El agua residual es directamente drenada al mar cerca de la boca del río Lluta por gravedad por medio de una tubería de concreto de 8,750 m de longitud.

Las características de la planta de tratamiento propuesta se resumen a continuación.

i) Estanques (Concreto reforzado)

Estanque receptor	:	1,000 m^3 x 2 unidades
Estanque acondicionador	:	400 m^3 x 2 unidades
Estanque de lavado por contracoriente	:	150 m^3 x 2 unidades
Estanque de aguas residuales	:	210 m^3 x 2 unidades
Estanque de ditribución	:	6,000 m^3 x 2 unidades

ii) Equipo de Tratamiento (Electricidad total requerida: 4,500 kw)

Filtro:	12 unidades
Osmosis Inversa:	12 unidades

iii) Tubería de drenaje de aguas residuales (concreto, 350 mm x 8,750 m)

El diagrama de flujo y la disposición de la planta de tratamiento se muestran en las Figs. 6.5 y 6.6 respectivamente.

4) Adquisición de Tierras y Obras de Compensación

(1) Adquisición de Tierras

El área requerida para la construcción de las instalaciones es la siguiente.

Instalaciones de toma	:	0.07 ha
Tubería de transmisión principal	:	2.5 ha
Planta de tratamiento	:	3.8 ha
Tubería de drenaje de aguas residuales	:	0.9 ha

Las instalaciones de toma y la tubería principal de transmisión son construídas en las tierras reservadas del gobierno ubicadas entre la Carretera Ruta 11 y el ferrocarril. La tubería de drenaje de aguas residuales es instalada debajo de los caminos. Por lo tanto, la construcción de las facilidades de toma, tubería de transmisión principal y la tubería de drenaje de aguas residuales no requiere de adquisición de tierras, aunque si puede requerir de su derecho de uso.

Sin embargo, un área de 3.8 ha de tierras privadas deberá ser adquirida para la planta de tratamiento. La tierra se encuentra disponible.

(2) Obras de Compesación (Reconstrucción del Sistema de Irrigación Existente)

Como se mencionó en el Capítulo V, 5.1.3, el desarrollo de agua subterránea propuesto disminuirá el nivel existente del agua subterránea, lo que resultará en la aceleración de la infiltración del agua de río en el subsuelo. Esto puede hacer difícil la extracción de agua de río aguas abajo de Poconchile en la temporada seca.

El sistema de irrigación existente para las secciones aguas abajo de Poconchile es reconstruído para enfrentar los problemas mencionados anteriormente y para proteger los derechos de agua existentes. Las obras de compensación propuestas incluyen las siguientes obras.

a) Obra de Toma una (1) en Kesler (aguas arriba de Poconchile)

b) Canal de Irrigación : 77.6 km
   - Canal Principal : 43.3 km
   - Canal de Colección : 15.9 km
     (para colectar el agua drenada para su reuso)
   - Canal de Retorno : 18.4 km
     (para regresar el agua colectada al canal principal)

6.3.3 Costo Estimado de la Inversión

El costo total de la inversión, que consiste en el costo directo de construcción, costo de adquisición de la tierra, costos de ingeniería, costos de administración y contingencias físicas 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. Los costos se descomponen de la siguiente manera.

		Moneda Extranjera (10^3 US $)	Moneda Local (10^3 Pesos $)	Total (10^3 Pesos $)
1)	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	3,860	633,281	2,312,464
	(5) Línea de Transmisión Eléctrica	0	158,000	158,000
2)	Costo de Adquisición de la Tierra	0	2,912,000	2,912,000
	(1) Adquisición de Tierras	0	12,000	12,000
	(2) Obras de Compensación	0	2,900,000	2,900,000
3)	Costos de Ingeniería {6% de 1)}	1,782	726,456	1,501,626
4)	Costos de Administración {3% de 1)}	0	750,813	750,813
5)	Contingencia Física {10% de 1)}	4,315	625,678	2,502,711
	Total	48,177	11,737,064	32,694,258

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

El costo de construcción directo y los costos de adquisición de tierras se descomponen con más detalle en la Tabla 6.1. Para mayores detalles, ver el Informe Complementario D, Tabla D-1, 3.5 y Apéndice 6.

6.3.4 Programa de implementación

1) Programa de Implementación

El proyecto de corto plazo propuesto será completado en tres (3) años, de 1996 a 1998. El diseño detallado y la adquisición de tierras serán completados en 1996. Los trabajos de construcción incluyendo las obras de

construcción directas y las obras de compensación comenzarán en 1997 y serán terminadas en 1998. El proyecto será puesto en servicio en 1999.

2) Programa de Desembolso

El programa de desembolso propuesto para los costos del proyecto se muestra en la Tabla 6.2.

6.3.5 Operación y Mantenimiento

1) Generalidades

El proyecto comenzará a funcionar en 1999 y alcanzará la etapa de operación plena en 2003. El abastecimiento de agua tratada aumentará gradualmente de 293 l/s en 1999 a 319 l/s en promedio diario en el 2003.

La operación y mantenimiento diarios del proyecto serán realizados por una nueva sección que será establecida en la Oficina Sucursal de ESSAT en Arica. La oficina de la nueva sección será provista en la planta de tratamiento del Lluta.

2) Costos de O&M

Los costos de O&M del proyecto están conformados por los costos anuales de operación y mantenimiento, que incluyen consumo eléctrico, consumo de químicos, costos de personal y reparaciones y costos de reemplazo.

La cantidad requerida anualmente para satisfacer los costos de O&M en la etapa de operación plena son estimados en 1,257,374 miles de pesos a precios de 1994, con la siguiente descomposición.

		(10^3 Pesos $ a precios de 1994)
(1)	Costo de Consumo Eléctrico	587,884
(2)	Costo de Consumo de Químicos	199,629
(3)	Costos de Personal	56,448
(4)	Costos de Reparación	413,413
	Costo Anual Total de O&M	1,257,374

Además, las bombas y otros equipos de las instalaciones de toma, y las unidades de OI y otros equipos de la planta de tratamiento serán periódicamente remplazados de acuerdo con sus períodos de vida. Estos períodos de vida y costos de reemplazo son estimados, a precios de 1994, de la siguiente manera.

	Período de vida (Años)	Costos de Reemplazo (10^3 Pesos $, precios de 1994)
(1) Instalaciones de Toma		
i) Bomba	15	2,510,458
ii) Otros Equipos	20	2,244,067
(2) Planta de Tratamiento		
i) Unidad de OI	10	7,400,120
ii) Otros Equipos	20	8,080,380

Para detalles, ver Informe Suplementario D, Tabla D-1, 3.6.

6.3.6 Evaluación Económica

1) Generalidades

La evaluación económica de este proyecto es hecha por medio del modelo de evaluación computarizado llamado SIMOP (Simulación de Obras Públicas) el cual fue desarrollado por MIDEPLAN (Ministerio de Planificación).

Este modelo identifica y cuantifica los beneficios económicos sociales del proyecto. El programa de computación clasifica a los consumidores en los siguientes cuatro (4) grupos basado en sus curvas de demanda estimadas a partir de los precios (tarifas), demandas de agua y elasticidades precio-consumo.

1) Clase de ingreso bajo residencial
2) Clase de ingreso medio residencial
3) Clase de ingreso alto residencial
4) Comercial, industrial y fiscal

2) Concepto de Beneficios y Costos

(1) Concepto de Beneficios

El beneficio debido a un aumento en el abastecimiento de agua puede ser percibido en el mayor deseo de los consumidores de pagar el precio del uso del agua (tarifa) cobrada para el proyecto. En términos económicos, el beneficio adicional debido al abastecimiento de agua adicional es representado por el valor marginal en uso de cada unidad

de agua producida por el proyecto. El valor marginal en uso es medido en las curvas de demanda de los consumidores.

La demanda de agua de los diferentes grupos de consumidores crece con el tiempo, debido a la incorporación de nuevos usuarios y al aumento del consumo de agua per-cápita. El deseo de pagar varía de acuerdo con los cambios en el consumo de agua per-cápita. En vista de estos hechos, es necesario considerar varios tipos diferentes de curvas de demanda para los grupos de consumidores. Estas curvas de demanda simulan el deseo de pagar basado en los patrones de consumo de agua y sus cambios a través del tiempo.

En este Estudio, los siguientes tres (3) tipos de curvas de demanda son aplicados a los grupos de consumidores.

Tipo I: Este tipo de curvas de demanda tienen una elasticidad precio constante en cada nivel de precios a través del tiempo. Este tipo es usado cuando el desplazamiento de las curvas de demanda a través del tiempo es causado por la incorporación de nuevos consumidores, siendo el consumo per-cápita de los consumidores antiguos mantenido constantes. Este tipo es generalmente aplicado para el grupo de consumo comercial, industrial y fiscal. La Fig. 6.7 (1) representa este tipo de demanda.

Tipo II: Este tipo de curvas de demanda mantienen la misma pendiente a lo largo del tiempo. sin embargo, la elasticidad precio varía en el tiempo. El desplazamiento de las curvas de demanda a través del tiempo es causado por el aumento del consumo per-cápita de agua. Este tipo de demanda asume que no se incorporan nuevos consumidores. Este tipo de demanda es generalmente aplicado para los grupos residenciales de altos y medios. La Fig 6.7 (2) representa este tipo de demanda.

Tipo III: Este tipo de curvas de demanda mantienen la misma elasticidad precio en el tiempo, sin importar las diferentes combinaciones de precio y cantidad que constituyen las curvas de demanda. Este tipo es caracterizado por el hecho de que un aumento en el precio provocará una mayor disminución del consumo de agua, en comparación con los tipos I y II. Este tipo es generalmente

aplicado para el grupo de de bajos ingresos. La Fig. 6.7 (3) representa este tipo de demanda.

Para detalles de los tipos de curvas de demanda, ver el Informe Suplementario F, Capítulo IV, 4.2.2.

(2) Concepto de Costos

Los costos sociales del proyecto (costos basados en precios sombra) son usados en la evaluación económica del proyecto. Los precios de mercado de la tasa de descuento, fuerza laboral y la moneda extranjera son convertidos a precios sociales de acuerdo con las normas del MIDEPLAN. Además, impuesos, derechos de aduana,y otros impuestos específicos son excluídos de los precios de mercado para obtener los costos sociales del proyecto.

2) Asunciones y Datos para la Evaluación Económica

(1) Inversión Incremental

La inversión incremental es la diferencia entre la inversión con proyecto y la inversión sin proyecto. Se asume como la inversión en el caso sin proyecto a los costos de inversión incluídos en el actual plan de desarrollo de ESSAT.

(2) Ajuste de los Precios de Mercado

Los precios de mercado de la fuerza laboral y la moneda extranjera son convertido a precios sociales mediante el uso de los siguientes factores de ajuste, basados en las normas del MIDEPLAN.

Fuerza laboral:	Calificada	:	sin ajuste
	No Calificada	:	0.66
	Semi-calificada	:	0.73
Moneda extranjera:			1.06

Además, la tasa de descuento social de 12% es empleada, también basada en las sugerencias del MIDEPLAN.

Los costos de la inversión incremental a precios de mercado son convertidos a precios sociales basados en los factores de ajuste

anteriores y las siguientes participaciones del componente importado y fuerza laboral en el proyecto.

Tipo de Obra	Componente Importado	Fuerza Laboral	
		No Calif.	Semi-calif.
Obras de Toma	32%	3.8%	2.6%
Transmisión	35%	2.6%	13.8%
Planta de Tratamiento	60%	3.6%	2.5%
Distribución	35%	2.6%	13.8%
Obras Eléctricas	61%	1.0%	15.0%

(3) Período de Evaluación: 36 años (1993-2028)

(4) Grupos de Consumidores y Características de la Demanda

Los consumidores son clasificados en los cuatro (4) grupos siguientes.

Grupo 1: Consumo residencial entre 1-20m^3/mes/conexión (Clase de ingreso bajo)

Grupo 2: Consumo residencial entre 20-30m^3/mes/conexión (Clase de ingreso medio)

Grupo 3: Consumo residencial mayor a 30m^3/mes/conexión (Clase de ingreso alto)

Grupo 4: Consumo comercial, industrial y fiscal

Las características de su demanda de agua son las siguientes.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Elasticidad precio	-0.52	-0.20	-0.25	-0.20
Tipo de curva de demanda	3	2	2	1
Tasa de crecimiento de la demanda anual (%)	3.89	3.89	7.40	7.78
Tarifa inicial ($/$m^3$)	114.00	114.00	129.03	129.03
Consumo de agua inicial. (10^3m^3/yr)	3,515	950	3,230	1,805

(5) Capacidad de Consumo de Agua

La capacidad anual total de consumo de agua (capacidad de abastecimiento de agua en los puntos de conexión) en el futuro son estimados para los casos con proyecto y sin proyecto. La capacidad de

consumo de agua en el caso sin proyecto se incrementará en alguna medida en el futuro debido al programa de reducción de pérdidas de agua. La capacidad de consumo de agua adicional en el caso con proyecto será producida por dicho proyecto.

Para detalles sobre la capacidad de consumo de agua estimada, ver el Informe Suplementario F, Capítulo IV, 4.6.1.

(6) Costos del Proyecto

Los costos del proyecto usados en la evaluación económica consisten en costos periódicos, costos no periódicos, y costos variables. Los costos periódicos cubren los costos de personal, y los costos de operación y reparaciones anuales. Los costos no periódicos son los costos de la inversión incrmental evaluada a precios sociales. Los costos variables incluyen electricidad y químicos para el tratamiento del agua y varían de acuerdo con el volumen producido.

Los costos anteriores se resumen a continuación.

Costos periódicos	:	469,861 Pesos $ x 10^3/año	
Costos no periódicos	:	año 1996	: 688,073 Pesos $ x 10^3
		año 1997	: 5,225,071 Pesos $ x 10^3
		año 1998	: 20,123,170 Pesos $ x 10^3
Costos variables	:	112/m^3 Pesos $	

3) Resultados de la Evaluación Económica

Los valores presentes de los beneficios y costos computados mediante SIMOP se muestran a continuación.

Valor Presente de los Beneficios (10^6 Pesos $)		Valor Presente de los Costos (10^6 Pesos $)	
Grupo 1	3,463	Periódicos	2,146
Grupo 2	991	No periódicos	15,229
Grupo 3	11,738	Variables	2,774
Grupo 4	2,382	Total	20,148
Total	18,574		

La rentabilidad económica es evaluada en términos de Valor Presente Neto (VPN), razón Beneficio Costo (B/C) y Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) de la manera siguiente.

VPN : Pesos $ - 1,574 x 10^6

B/C : 0.92

TIRE : 11.36 %

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

Sin embargo, este proyecto es considerado como factible en caso que beneficios intangibles tales como elmejoramiento de las condiciones sanitarias/higiénicas y de los standard de vida son tomados en cuenta.

4) Análisis de Sensibilidad

Para que el VPN sea positivo y la TIRE mayor a 12%, los costos de inversión deben de reducirse en 10.35% o la tasa de descuento social debe reducirse a 11.36% como se muestra a continuación.

Tasa de Disminución de Costos de Inversión (%)	VPN (10^6 Peso $)	TIRE (%)
-17.00	1,050	12.49
-14.00	525	12.25
-10.35	0	12.00
-7.00	-525	11.79
-3.00	-1,050	11.57

Tasa de Descuento Social	VPN (10^6 Peso $)
9.00	8,979
10.00	4,427
11.36	0
12.00	-1,576
13.00	-3,502

6.3.7 Evaluación Financiera

1) General

Un análisis financiero estándar es realizado para el proyecto. Los aspectos financieros son evaluados en términos de Valor Presente Neto (VPN) y de Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF). Además de los

índices anteriores, un informe financiero es preparado para realizar un análisis de ingresos.

2) Asunciones y Datos para la Evaluación Financiera

(1) Período de Evaluación: 33 años (1996-2028)

(2) Aumento de precios anual: 8%

(3) Tarifa de Agua: La tarifa de agua promedio es estimada en 154 Pesos $/m^3$ Para fines de 1994. La tarifa se incrementará a una tasa de 16% anual.

(4) Flujo de Caja: Ver Tabla 6.3

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

(6) Condiciones de Préstamo: El préstamo cubre todos los costos de inversión. Las condiciones del préstamo se muestran a continuación.

Tasa de Interés: 5%
Período de Repago: 25 años
Período de Gracia: 5 años

(7) Impuesto a la Renta: 25%

3) Resultados de la Evaluación Financiera

El Valor Presente Neto estimado es de \$7,199,009 x 10^3 pesos y el TIRF es de 13.06%. El proyecto es considerado rentable.

El informe financiero calculado se presenta en la Tabla 6.4. Como se ve en la Tabla 6.4, el proyecto es suficientemente rentable para cubrir los costos de operación y para repagar el préstamo dentro del período de evaluación.

4) Análisis de Sensibilidad

El proyecto es rentable aún si los costos de inversión aumentan en 20% o los ingresos decrecen en 5% como se muestra a continuación.

Tasa de Aumento de los Costos de Inversión (%)	VPN (10^6 Peso $)	TIRF (%)
40.00	-5,619	11.32
30.00	-2,414	11.69
22.46	0	12.00
20.00	790	12.10
15.00	2,392	12.63

Tasa de Disminución de Ingresos (%)	VPN (10^6 Peso $)	TIRF (%)
-20.00	-7,814	10.71
-15.00	-4,061	11.35
-9.59	0	12.00
-5.00	3,446	12.52
-3.00	4,947	12.74

6.3.8 Estudio del Impacto Ambiental

Este proyecto contribuirá grandemente al desarrollo económico de la ciudad de Arica y al mejoramiento de los niveles de vida de la población. Sin embargo, puede causar algunos impactos negativos en el medio ambiente del área del proyecto.

1) Etapa de Pre-construcción

Los pozos profundos son perforados en las tierras que se ubican entre la Carretera Nacional 11 y el ferrocarril que conecta Arica con La Paz. Todas estas tierras pertenecen al Estado y están disponibles. Por lo tanto, no se anticipan impactos negativos relativos a la adquisición de tierras.

La tubería de transmisión es también instalada en las tierras antes mencionadas. No se anticipan impactos negativos relativos a la adquisición de tierras.

La planta de tratamiento del Lluta requiere la adquisición de 3.8 ha de tierra en el área de Chuilona. No se anticipan impactos negativos relativos a la adquisición de tierras debido a que las tierras están disponibles y no hay reasentamientos involucrados.

La tubería de agua residual es situada bajo la carretera existente. No se requiere de adquisición de tierras.

En las áreas del proyecto no hay lugares históricos valuables ni flora o fauna.

2) Etapa de Construcción

(1) Vibración, ruido y polvo

La construcción de las instalaciones propuestas puede originar vibración, ruido y polvo. Los impactos se juzgan como de poca importancia debido a que la vibración, ruido y polvo anticipados son pequeños y la áreas del proyecto están escasamente habitadas.

(2) Perturbación del Tráfico

La tubería de transmisión cruza la Carretera Ruta 11 en un (1) lugar. La tubería de aguas residuales cruza la Carretera Ruta 11 y la Carretera Panamericana en un (1) lugar respectivamente.

La perturbación del tráfico debido a los trabajos de las tuberías es considerada pequeña debido al bajo volumen de tráfico en ambas carreteras.

(3) Reducción del Nivel Freático

Ninguna tubería es instalada bajo el nivel freático. La perforación de pozos generalmente no causa impactos en el nivel freático. Por lo tanto, la reducción del nivel freático debido a los trabajos de construcción del proyecto no son anticipados.

3) Etapa de Operación

(1) Reducción del Nivel Freático

El proyecto planea extraer el agua subterránea dentro de los límites de su recarga potencial. Por lo tanto, el nivel freático existente será mantenido sobre bases promedio a largo plazo, aunque puede fluctuar estacional o anualmente.

Actualmente existen dos (2) pozos profundos y diez (10) pozos de poca profundidad en operación en el valle del Bajo Lluta. Sin embargo, están ubicados a más de 4,000 m del área propuesta para los pozos. Por otra parte, el radio de influencia del bombeo de agua subterránea propuesto es estimado en menos de 200 m.

Por lo tanto, no se anticipa ningún impacto adverso en lo pozos existentes.

Sin embargo, la reducción del nivel freático en la temporada seca acelerará la recarga de las aguas subterráneas con agua de río. Esto puede causar algunos impactos negativos en la extracción de agua del río en las tomas de irrigación existentes en la sección aguas abajo de Poconchile.

Para enfrentar este problema el proyecto incluye la construcción de un nuevo sistema de irrigación, el cual integra las tomas de irrigación existentes en una (1) obra de toma propuesta aguas arriba de Poconchile.

2) Intrusión de Agua del Mar

La producción de pozos propuesta está dentro del límite del potencial de recarga de las aguas subterráneas. Por lo tanto, no se considera que haya intrusión de agua de mar en los acuíferos del valle del bajo Lluta.

3) Descarga de Aguas Residuales

Un máximo diario de agua cruda de 553 l/s son tratados mediante el proceso de OI de los cuales 138 l/s o 25% son directamente descargados al mar a través de una tubería de drenaje en la boca del río Lluta. La calidad esperada del agua residual es la siguiente.

TDS	:	13,000 mg/l
Cl	:	3,800 mg/l
B	:	70 mg/l

Se considera que el agua residual no causará efectos adversos significativos en el medio ambiente marino en vista de que el agua de mar contiene 30,000 mg/l de TDS y 20,000 mg/l de CL, y que el agua residual es de diluída inmediatamente después de entrar al mar.

Table 6.1 Break-down of Direct Construction and Land Acquisition Cost

<Costo de Construcción Directo y de Adquisición de la Tierra>

(at 1994 price)

Work Item	Quantity	Cost (10^3 Peso : $)
Direct Construction Cost		25,027,108
1) Intake Works		4,811,728
(1) Deep Well	26 Wells	1,523,538
(2) Pump	26 submergible pumps	1,044,098
(3) Electric Facilities/Equipment		2,244,092
2) Transmission Facilities		757,702
(1) Pipeline	ø150-500 mm, 12,500 m	604,621
(2) Valve	11 valves	38,106
(3) Crossing Works		72,000
(4) Break-pressure Tank	4 tanks	42,975
3) Treatment Plant		16,987,214
(1) Civil Works		958,364
(2) Building Works		536,350
(3) Mechanical Equipment	12 RO units	11,384,800
(4) Electrical Equipment		4,067,700
(5) Others		40,000
4) Distribution Network		2,312,464
(1) Distribution Main Pipe	ø700 mm, 7,000 m	1,865,759
(2) Distribution Network	12,800 m	446,705
5) Electric Works		158,000
(1) Electric Transmission Line	23 kVA, 20 km	158,000
Land Acquisition Cost		2,912,000
1) Land Acquisition		12,000
(1) Land Acquisition	3.8 ha	12,000
2) Compensation Works		2,900,000
(1) Irrigation Headworks	1 place	240,947
(2) Irrigation Channel	77 km	2,659,053

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 6.2 Disbursement Schedule of Investment Cost (Arica)

<Programa de Desembolso de los Costos de Inversión (Arica)>

[Unit : Thousands US$ or Thousand Pesos]

Work Item	1996			1997			1998			TOTAL		
	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	Sub Total (1000 x Peso)	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	Sub Total (1000 x Peso)	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	Sub Total (1000 x Peso)	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	TOTAL (1000 x Peso)
1 Direct Construction	0	0	0	6,242	2,595,156	5,310,330	35,839	4,126,962	19,716,778	42,080	6,722,117	25,027,108
1) Intake Works	0	0	0	3,577	850,003	2,405,864	3,577	850,003	2,405,864	7,153	1,700,006	4,811,728
2) Transmission Facilities	0	0	0	735	59,129	378,851	735	59,129	378,851	1,470	118,258	757,702
3) Treatment Plant	0	0	0	0	1,369,383	1,369,383	29,597	2,743,189	15,617,831	29,597	4,112,572	16,987,214
4) Distribution Network	0	0	0	1,930	316,640	1,156,232	1,930	316,640	1,156,232	3,860	633,281	2,312,464
5) Electric Transmission Line	0	0	0	0	0	0	0	158,000	158,000	0	158,000	158,000
2 Land Acquisition Cost	0	12,000	12,000	0	1,450,000	1,450,000	0	1,450,000	1,450,000	0	2,912,000	2,912,000
1) Land Acquisition	0	12,000	12,000	0	0	0	0	0	0	0	12,000	12,000
2) Compensation Works	0	0	0	0	1,450,000	1,450,000	0	1,450,000	1,450,000	0	2,900,000	2,900,000
3 Engineering Cost	890	363,228	750,378	446	181,614	375,624	446	181,614	375,624	1,782	726,456	1,501,626
4 Administration Cost	0	250,271	250,271	0	250,271	250,271	0	250,271	250,271	0	750,813	750,813
5 Physical Contingency	0	0	0	2,158	312,839	1,251,356	2,158	312,839	1,251,356	4,315	625,678	2,502,711
TOTAL	890	625,499	1,012,649	8,845	4,789,879	8,637,581	38,442	6,321,686	23,044,029	48,177	11,737,064	32,694,258

Note: Cost: as of March 1994, excluding Value Added Tax (IVA)
Exchange Rate: US$1.00 = Chilean Peso $435.00 = Japanese Yen ¥110.00

Table F. 6.3 Cash Flow Analysis
<Analisis de Flujo de Caja (Arica)>
(Unit : Pesos)

Year	Investment	O & M Cost (*)	Total Cost	Revenue	Cash Flow
1996	1,181,661,551		1,181,661,551		-1,181,661,551
1997	10,880,589,950		10,880,589,950		-10,880,589,950
1998	31,350,850,600		31,350,850,600		-31,350,850,600
1999		1,746,506,022	1,746,506,022	2,082,922,022	336,416,000
2000		1,899,306,810	1,899,306,810	2,454,053,437	554,746,626
2001		2,087,037,027	2,087,037,027	2,896,114,364	809,077,337
2002		2,292,393,272	2,292,393,272	3,407,257,961	1,114,864,689
2003		2,513,496,566	2,513,496,566	4,007,826,981	1,494,330,415
2004		2,714,576,291	2,714,576,291	4,713,352,284	1,998,775,993
2005		2,931,742,395	2,931,742,395	5,542,045,313	2,610,302,918
2006		3,166,281,786	3,166,281,786	6,428,772,563	3,262,490,777
2007		3,419,584,329	3,419,584,329	7,457,376,173	4,037,791,844
2008		3,693,151,075	3,693,151,075	8,650,556,360	4,957,405,285
2009		27,463,035,267	27,463,035,267	10,034,645,378	-17,428,389,889
2010		4,307,691,414	4,307,691,414	11,640,188,638	7,332,497,224
2011		4,652,306,727	4,652,306,727	13,502,618,820	8,850,312,093
2012		5,024,491,266	5,024,491,266	15,663,037,832	10,638,546,566
2013		5,426,450,567	5,426,450,567	18,169,123,885	12,742,673,318
2014		17,561,703,762	17,561,703,762	21,076,183,706	3,514,479,945
2015		6,329,411,941	6,329,411,941	24,448,373,099	18,118,961,158
2016		6,835,764,896	6,835,764,896	28,360,112,795	21,524,347,899
2017		7,382,626,088	7,382,626,088	32,897,730,843	25,515,104,754
2018		7,973,236,175	7,973,236,175	38,161,367,777	30,188,131,602
2019		129,997,352,532	129,997,352,532	44,267,186,622	-85,730,165,911
2020		9,299,982,675	9,299,982,675	51,349,936,481	42,049,953,806
2021		10,043,981,289	10,043,981,289	59,565,926,318	49,521,945,029
2022		10,847,499,792	10,847,499,792	69,096,474,529	58,248,974,737
2023		11,715,299,775	11,715,299,775	80,151,910,454	68,436,610,679
2024		12,652,523,757	12,652,523,757	92,976,216,126	80,323,692,369
2025		13,664,725,658	13,664,725,658	107,852,410,706	94,187,685,049
2026		14,757,903,710	14,757,903,710	125,108,796,419	110,350,892,709
2027		15,938,536,007	15,938,536,007	145,126,203,847	129,187,667,840
2028		17,213,618,888	17,213,618,888	168,346,396,462	151,132,777,574
				NPV	7,199,009,275
				FIRR	13.06%

Table 6.4 Financial Statement (Arica)
<Estado Financiero (Arica)>

(Unit : Pesos)

Year	O&M (*)	Interest Payment	Capital Repayment	Total Expenditure	Gross Revenue	Net Revenue Before Depreciation	Depreciation	Net Revenue After Depreciation	Tax	Net Revenue After Tax	Accumulated Net Revenue
1996											
1997		59,083,078		59,083,078		-59,083,078		-59,083,078		-59,083,078	-59,083,078
1998		603,112,575		603,112,575		-603,112,575		-603,112,575		-603,112,575	-662,195,653
1999	1,746,506,022	2,170,655,105		3,917,161,127	2,082,922,022	-1,834,239,105	1,720,806,215	-3,555,045,320		-3,555,045,320	-4,217,240,972
2000	1,899,306,810	2,170,655,105		4,069,961,915	2,454,053,437	-1,615,908,479	1,720,806,215	-3,336,714,694		-3,336,714,694	-7,553,955,666
2001	2,087,037,027	2,170,655,105	2,170,655,105	6,428,347,237	2,896,114,364	-3,532,232,873	1,720,806,215	-5,253,039,088		-5,253,039,088	-12,806,994,754
2002	2,292,393,272	2,062,122,350	2,170,655,105	6,525,170,727	3,407,257,961	-3,117,912,766	1,720,806,215	-4,838,718,981		-4,838,718,981	-17,645,713,735
2003	2,513,496,566	1,953,589,595	2,170,655,105	6,637,741,265	4,007,826,981	-2,629,914,284	1,720,806,215	-4,350,720,499		-4,350,720,499	-21,996,434,234
2004	2,714,576,291	1,845,056,839	2,170,655,105	6,730,288,235	4,713,352,284	-2,016,935,952	1,720,806,215	-3,737,742,167		-3,737,742,167	-25,734,176,401
2005	2,931,742,395	1,736,524,084	2,170,655,105	6,838,921,584	5,542,045,313	-1,296,876,271	1,720,806,215	-3,017,682,486		-3,017,682,486	-28,751,858,887
2006	3,166,281,786	1,627,991,329	2,170,655,105	6,964,928,220	6,428,772,563	-536,155,657	1,720,806,215	-2,256,961,872		-2,256,961,872	-31,008,820,759
2007	3,419,584,329	1,519,458,574	2,170,655,105	7,109,698,007	7,457,376,173	347,678,165	1,720,806,215	-1,373,128,050		-1,373,128,050	-32,381,948,809
2008	3,693,151,075	1,410,925,818	2,170,655,105	7,274,731,999	8,650,556,360	1,375,824,362	1,720,806,215	-344,981,853		-344,981,853	-32,726,930,662
2009	3,988,603,161	1,302,393,063	2,170,655,105	7,461,651,329	10,034,645,378	2,572,994,049	1,720,806,215	852,187,834	213,046,958	639,140,875	-32,087,789,787
2010	4,307,691,414	1,193,860,308	2,170,655,105	7,672,206,827	11,640,188,638	3,967,981,811	1,720,806,215	2,247,175,596	561,793,899	1,685,381,697	-30,402,408,090
2011	4,652,306,727	1,085,327,553	2,170,655,105	7,908,289,385	13,502,618,820	5,594,329,436	1,720,806,215	3,873,523,221	968,380,805	2,905,142,415	-27,497,265,675
2012	5,024,491,266	976,794,797	2,170,655,105	8,171,941,168	15,663,037,832	7,491,096,664	1,720,806,215	5,770,290,449	1,442,572,612	4,327,717,837	-23,169,547,838
2013	5,426,450,567	868,262,042	2,170,655,105	8,465,367,714	18,169,123,885	9,703,756,171	1,720,806,215	7,982,949,956	1,995,737,489	5,987,212,467	-17,182,335,371
2014	5,860,566,612	759,729,287	2,170,655,105	8,790,951,004	21,076,183,706	12,285,232,702	1,720,806,215	10,564,426,487	2,641,106,622	7,923,319,866	-9,259,015,505
2015	6,329,411,941	651,196,532	2,170,655,105	9,151,263,578	24,448,373,099	15,297,109,522	1,720,806,215	13,576,303,307	3,394,075,827	10,182,227,480	923,211,975
2016	6,835,764,896	542,663,776	2,170,655,105	9,549,083,778	28,360,112,795	18,811,029,018	1,720,806,215	17,090,222,803	4,272,555,701	12,817,667,102	13,740,879,077
2017	7,382,626,088	434,131,021	2,170,655,105	9,987,412,214	32,897,730,843	22,910,318,628	1,720,806,215	21,189,512,413	5,297,378,103	15,892,134,310	29,633,013,387
2018	7,973,236,175	325,598,266	2,170,655,105	10,469,489,546	38,161,367,777	27,691,878,231	1,720,806,215	25,971,072,016	6,492,768,004	19,478,304,012	49,111,317,399
2019	8,611,095,069	217,065,511	2,170,655,105	10,998,815,685	44,267,186,622	33,268,370,937	1,720,806,215	31,547,564,722	7,886,891,181	23,660,673,542	72,771,990,941
2020	9,299,982,675	108,532,755	2,170,655,105	11,579,170,535	51,349,936,481	39,770,765,946	1,720,806,215	38,049,959,731	9,512,489,933	28,537,469,798	101,309,460,739
2021	10,043,981,289			10,043,981,289	59,565,926,318	49,521,945,029	1,720,806,215	47,801,138,814	11,950,284,704	35,850,854,111	137,160,314,850
2022	10,847,499,792			10,847,499,792	69,096,474,529	58,248,974,737	1,720,806,215	56,528,168,522	14,132,042,131	42,396,126,392	179,556,441,242
2023	11,715,299,775			11,715,299,775	80,151,910,454	68,436,610,679	1,720,806,215	66,715,804,464	16,678,951,116	50,036,853,348	229,593,294,589
2024	12,652,523,757			12,652,523,757	92,976,216,126	80,323,692,369	1,720,806,215	78,602,886,154	19,650,721,539	58,952,164,616	288,545,459,205
2025	13,664,725,658			13,664,725,658	107,852,410,706	94,187,685,049	1,720,806,215	92,466,878,834	23,116,719,708	69,350,159,125	357,895,618,330
2026	14,757,903,710			14,757,903,710	125,108,796,419	110,350,892,709	1,720,806,215	108,630,086,494	27,157,521,624	81,472,564,871	439,368,183,201
2027	15,938,536,007			15,938,536,007	145,126,203,847	129,187,667,840	1,720,806,215	127,466,861,625	31,866,715,406	95,600,146,218	534,968,329,420
2028	17,213,618,888			17,213,618,888	168,346,396,462	151,132,777,574	1,720,806,215	149,411,971,359	37,352,992,840	112,058,978,520	647,027,307,939

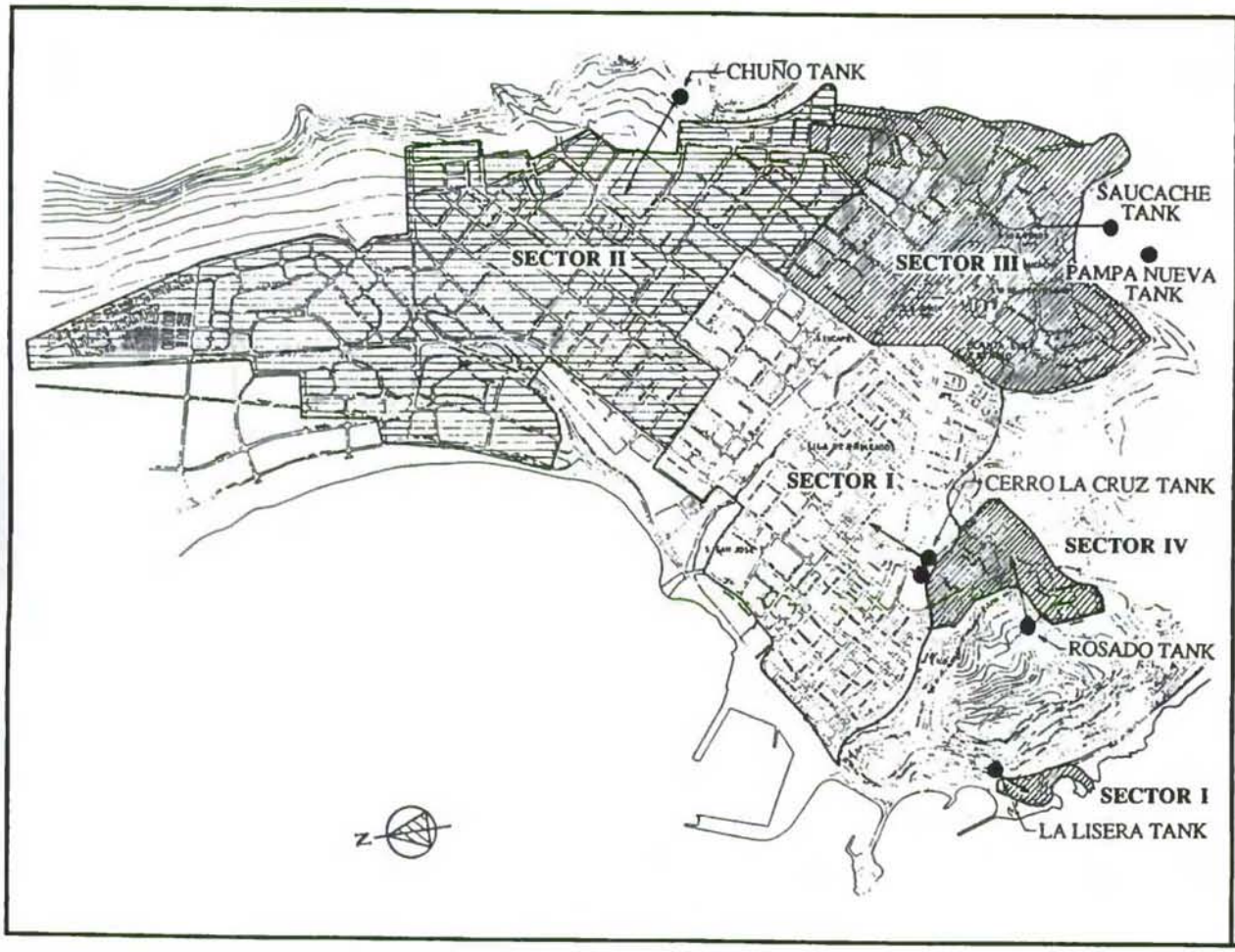


Fig. 6.2 Water Supply Service Area - Arica
< *Area del Servicio de Abastecimiento de Agua - Arica* >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

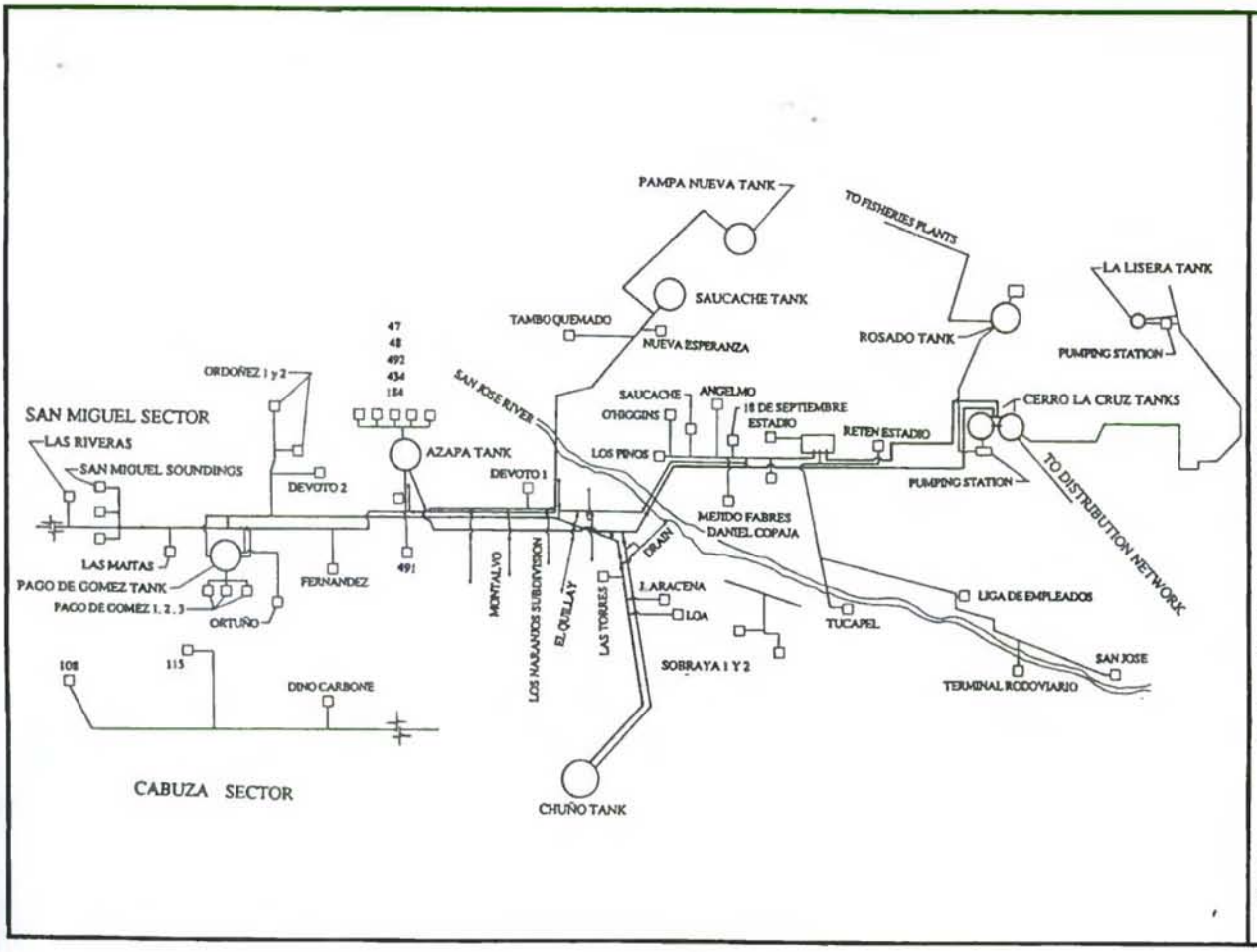


Fig. 6.1 Outline of the Water Supply Facilities Facilities for Arica
<*Bosquejo del Facilidad de Abastecimiento de Agua para Arica*>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

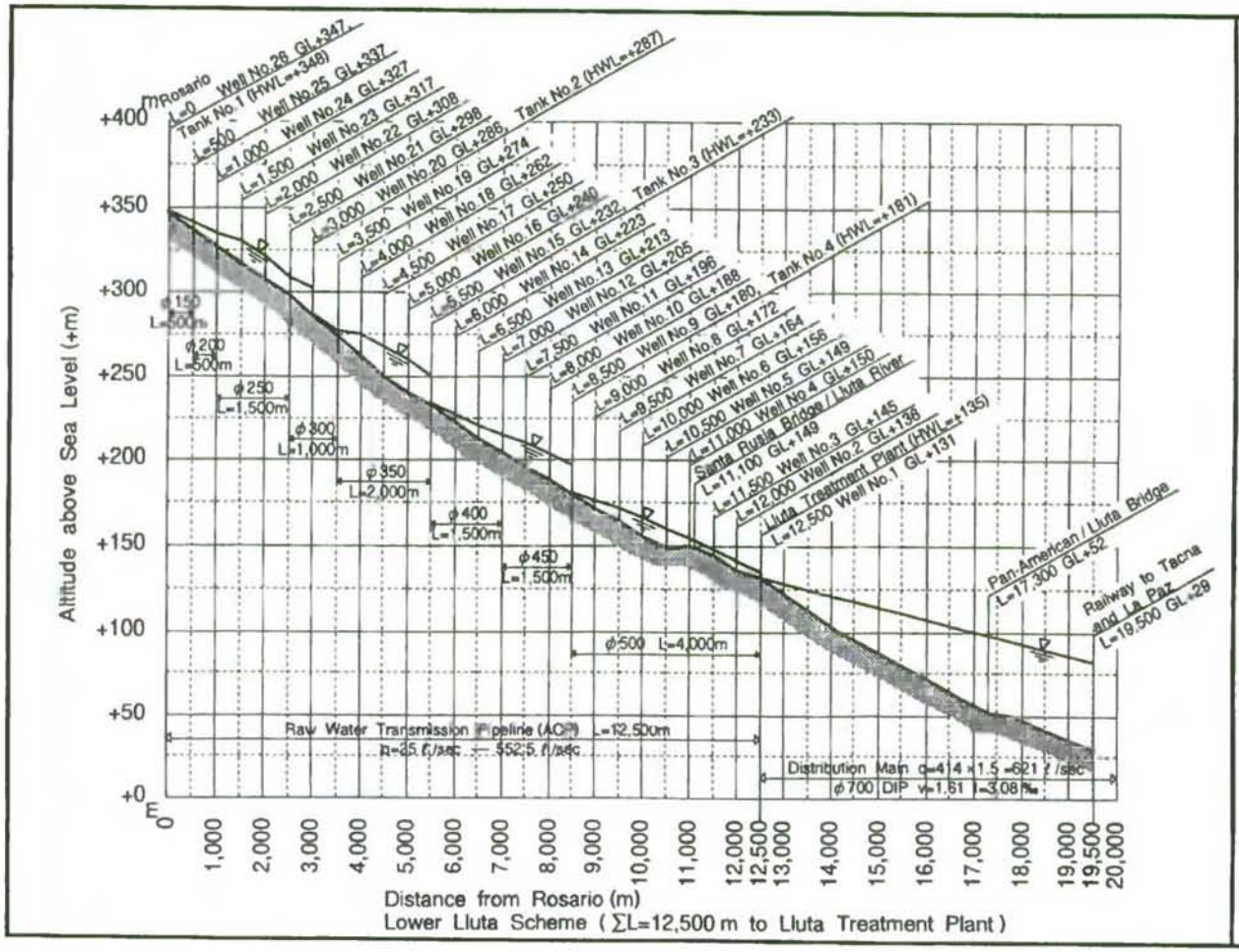


Fig. 6.4 Longitudinal Profile of Transmission Pipeline for Lower Lluta Scheme to Arica Water Supply

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

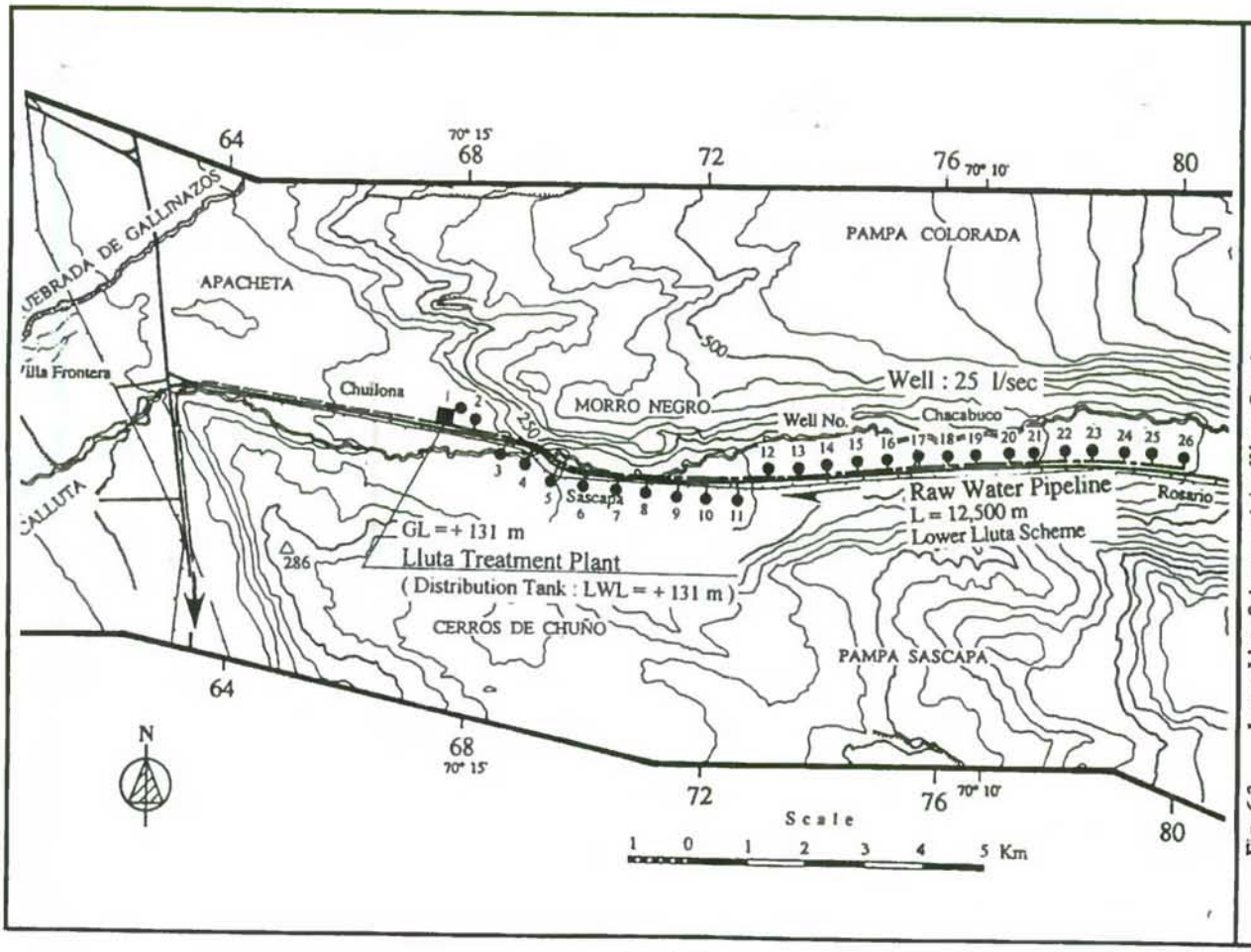


Fig. 6.3 Lower Lluta Scheme to Arica Water Supply
< *Esquema Lluta Bajo a Suministro de Agua de Arica* >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

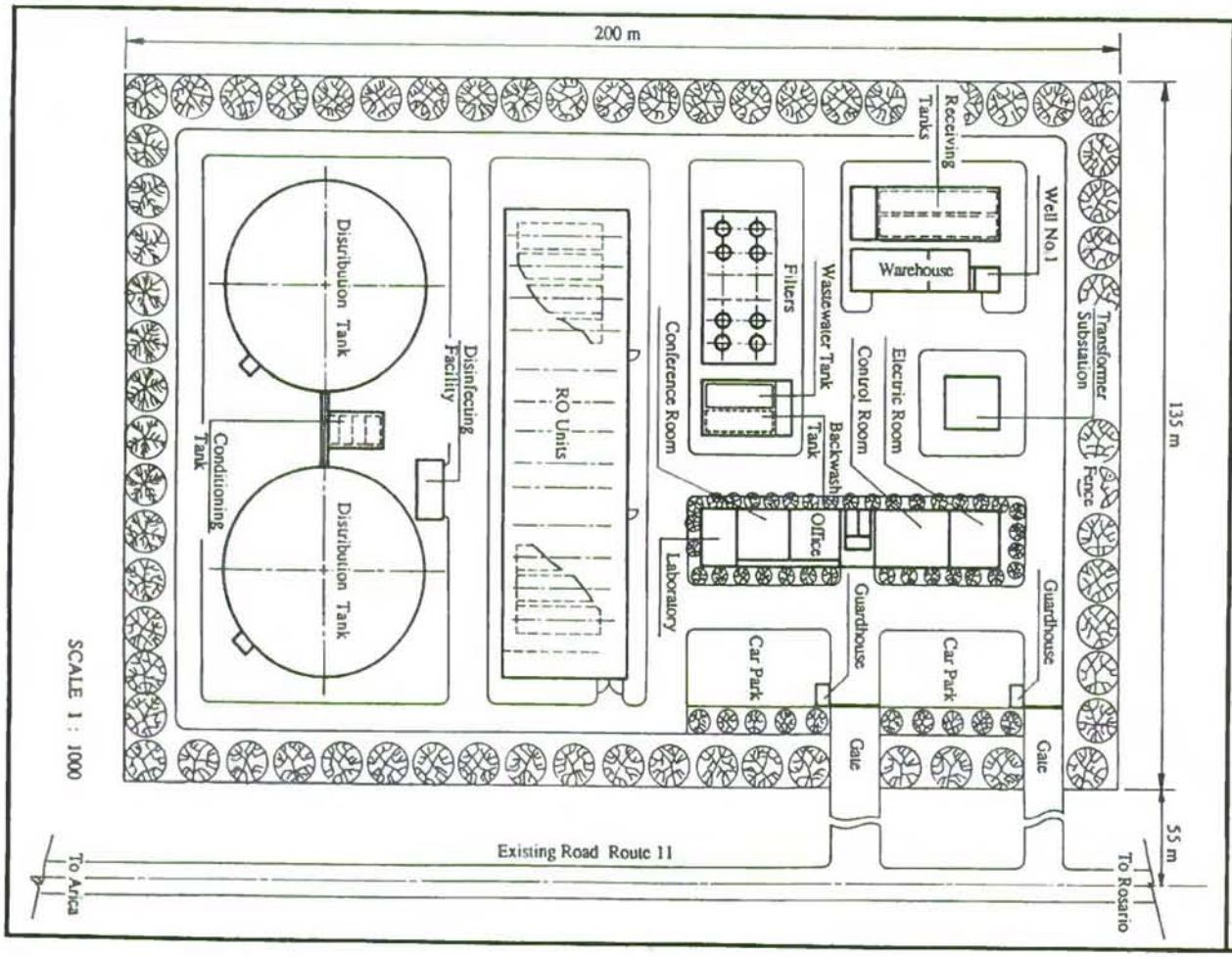


Fig. 6.6 Layout of Lluta Treatment Plant
< *Plano de Planta Tratamiento del Lluta* >

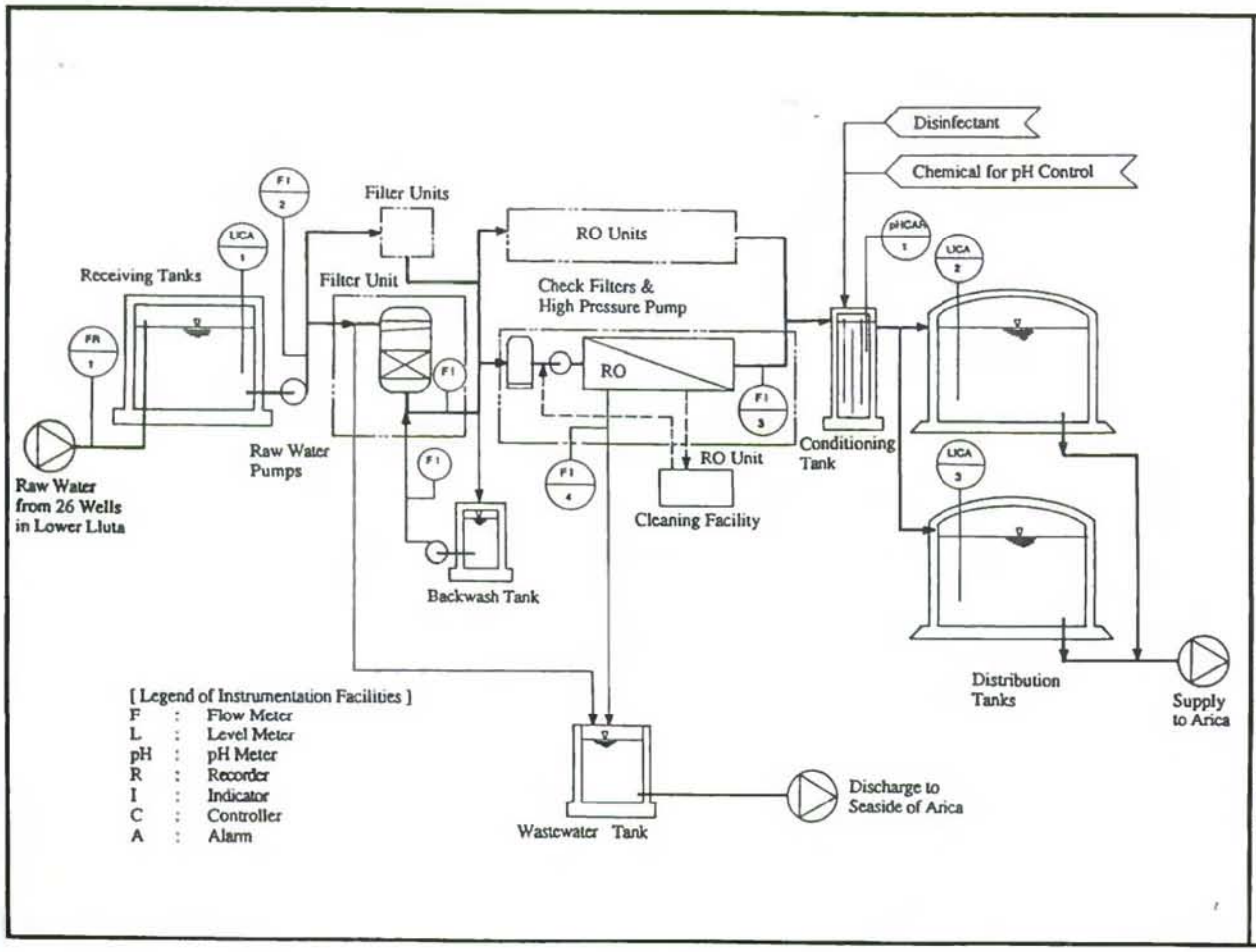
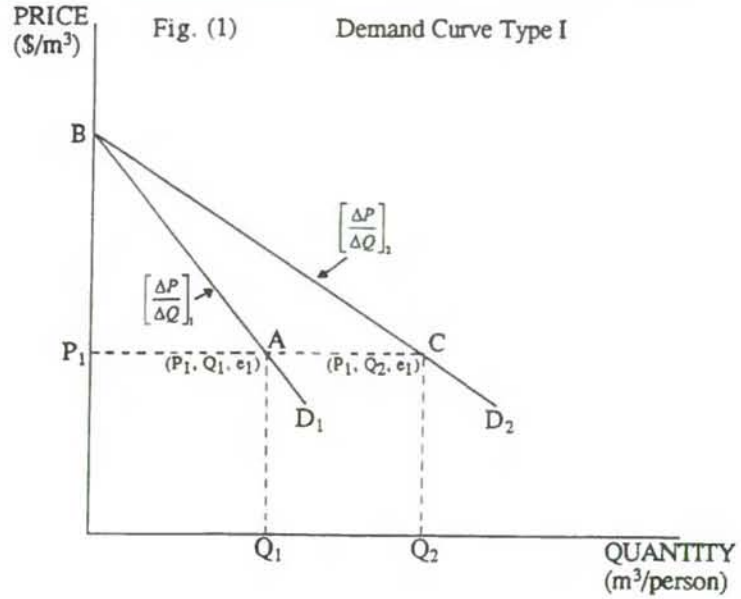
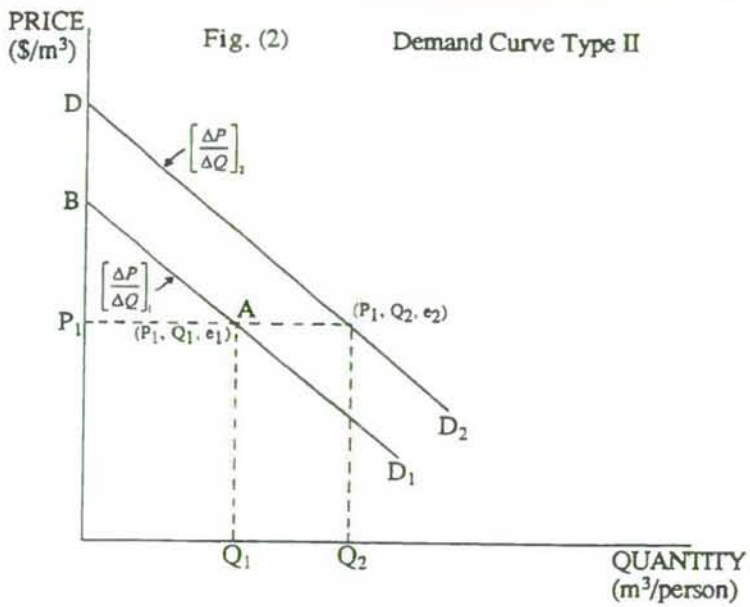


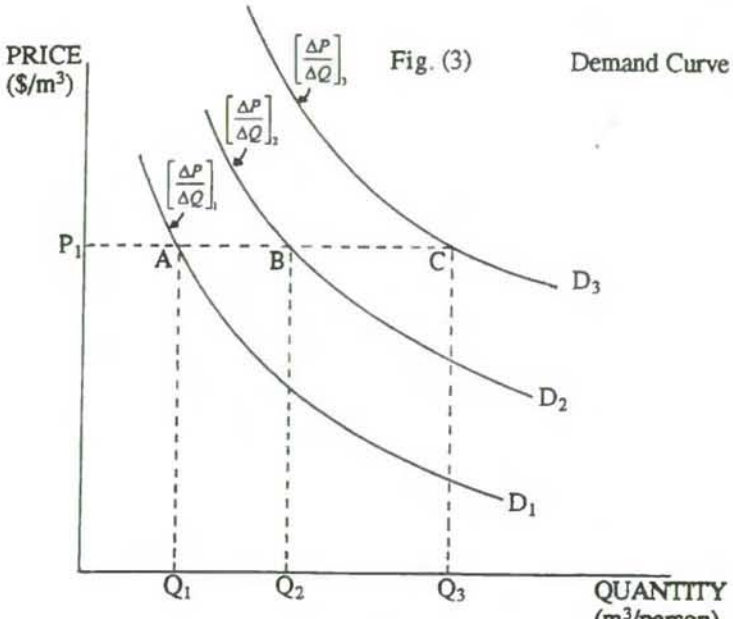
Fig. 6.5 Flow Diagram of Lluta Treatment Plant
< *Diagrama Flujo de Planta Tratamiento del Lluta* >

Fig. 6.7 Explanation Chart of Demand Curve Type

<Gráfica de Curva de Demanda>







Legend

D_1	:	Demand curve at time 1
e_1	:	Price elasticity at time 1
1,2,3	:	Time1,time2,time3 respectively

CAPITULO VII DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN IQUIQUE

Capítulo VII DESARROLLO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN IQUIQUE

7.1 Sistema de Abastecimiento de Agua Existente

7.1.1 Generalidades del Sistema

El sistema de abastecimiento de agua potable existente es operado y mantenido por ESSAT.

La fuente es el agua subterránea de la Pampa del Tamarugal. El agua subterránea se extrae desde los pozos profundos de la batería de pozos Canchones, ubicada a aproximadamente 70 km al este de Iquique, mediante bombas sumergibles instaladas en cada pozo.

El agua extraída de los pozos es, primero, conducida mediante una cañería recolectora a un estanque colector ubicado cerca del lugar central del campo de pozos de Canchones.

Entonces, el agua es bombeada en la estación de bombeo Canchones (cota 1,013 m.s.n.m.) hasta el estanque Rinconada (cota 1,155 m). En el recorrido al estanque Rinconada, el agua es impulsada de una vez al estanque Diana (cota 1,038 m). Desde el estanque Rinconada, el agua es conducida por gravedad al estanque de distribución Cavancha (cota 144 m) ubicado en los cerros al Este de la ciudad.

Entre Rinconada y Cavancha existen tres (3) plantas de almacenamiento con fines de almacenamiento y corte de presión. Estos son el estanque Carpas (cota 978 m), el estanque Santa Rosa (cota 682 m) y el estanque Alto Hospicio (cota 545 m).

En el estanque de distribución de Cavancha, el agua es esterilizada con hipoclorito. El agua clorada es distribuida por gravedad a los consumidores.

Para el mencionado sistema de abastecimiento de agua, ver Capítulo III, Fig.3.5.

En 1992, ESSAT produjo 17,241 x 10^3 m^3 (= 547 l/s) de agua municipal de los cuales 10,822 x $10^3 m^3$ fueron consumidos por uso residencial, comercial, industrial y otros. La pérdida estimada de agua fue de 6,420 x $10^3 m^3$, correspondiente al 37.2% del volumen de producción.

7.1.2 Instalaciones del Sistema de Abastecimiento de Agua

1) Pozo Profundo y Bomba Colectora

Existen doce (12) pozos de producción y dos (2) pozos de emergencia. Los pozos tienen una profundidad de 96 - 120 m y una capacidad de producción de 50-83 l/s

cada uno. Todos los pozos están equipados con bombas sumergibles las que tienen una capacidad de descarga de 60-120 l/s y una altura de carga de 55 - 140 m.

Las aguas subterráneas extraídas son elevadas por bombas sumergibles hasta un estanque colector mediante cañerías colectoras de presión.

2) Estanque Colector

Existen dos (2) estanques colectores hechos de acero en la estación Canchones. Sus principales características son las siguientes:

Nivel del Suelo	:	Cota 1,013 m
Capacidad	:	1,000 m^3 x 2 = 2,000 m^3
Nivel Alto de Agua	:	HWL. 1,018.15 m

3) Bombas de Refuerzo y de Conducción

La tubería de conducción cruza sobre la Cordillera de la Costa, a una altitud de 1.155 m en Rinconada. Las bombas de refuerzo y conductoras están instaladas entre Canchones y Rinconada para rebajar la diferencia de 142 m del nivel del terreno.

Seis (6) bombas de conducción están instaladas en la estación Canchones para elevar el agua al estanque Diana, ubicado entre Canchones y Rinconada. La energía eléctrica requerida para ello es de 1,250 kw.

Cuatro (4) bombas de refuerzo están instaladas en el estanque Diana para el impulso posterior a Rinconada. La energía eléctrica total requerida es de 1,500 kw.

4) Estanque de Conducción

Existen cinco (5) estanques de conducción entre el estanque colector de Canchones y el estanque de distribución Cavancha. Ellos son Diana, Rinconada, Carpas, Santa Rosa y Alto Hospicio. La principal función que éstos cumplen es cortar la alta presión así como almacenar el agua.

Estos estanques están hechos de acero u hormigón armado y se encuentran ligeramente bajo el nivel del suelo. Su capacidad total de almacenamiento es de 37,700 m^3.

5) Estanque Distribuidor

Existen tres (3) estanques de distribución principales en los cerros al Este de la ciudad. Ellos son Cavancha, Norte y Las Dunas. El estanque de distribución

Cavancha tiene una capacidad de 27,000 m^3 o 90% de la capacidad total (30,000 m^3) de los tres estanques distribuidores.

El agua para el estanque Norte es desviada desde el estanque Cavancha y el agua para el estanque Las Dunas es desviada desde las cañerías conductoras.

El agua es distribuida por gravedad a los consumidores desde los estanques mencionados.

6) Cañerías de Conducción

La longitud de las cañerías de conducción entre Canchones y Cavancha es de 75.3 km. Dos (2) tuberías, una antigua y otra nueva, están instaladas en forma paralela la mayor parte de la ruta.

La tubería vieja (ø 600 mm, de acero) fue instalada en 1960. La nueva tubería (ø 800 mm, de fierro dúctil) fue construida durante 1981-82.

La capacidad de la tubería es de alrededor de 700 l/s, con un desglose de 220 l/s para la tubería antigua y 480 l/s para la nueva.

El energía eléctrica requerida para el funcionamiento de las instalaciones es proporcionada, en su totalidad, por la compañía eléctrica.

Un bosquejo de las instalaciones de abastecimiento de agua y área de servicios existente se muestran en la Fig. 7.1. y 7.2 respectivamente. El perfil longitudinal de las cañerías de conducción existentes se muestra en la Fig. 7.3.

7.1.3 Problemas Existentes en el Abastecimiento de Agua

1) Calidad del Agua

Las aguas subterráneas en Canchones contienen una concentración más alta de Mn y As que la recomendada para agua potable. Los límites dados por las normas chilenas para Mn y As son de 0.1 mg/l y de 0.05 mg/l, respectivamente.

La concentración de Mn en el estanque colector Canchones es de alrededor 0.5 mg/l como promedio. Sin embargo, este contenido de Mn decrece a menos de 0.05 mg/l en el estanque de distribución Cavancha. Esto se debe a que el Mn es oxidado por aireación natural en los estanques existentes en el recorrido, y el óxido de manganeso es depositado al fondo de los estanques o se adhiere a la superficie interior de las cañerías.

Más aún, las aguas subterráneas contienen 0.03-0.08 mg/l de As en Canchones. Sin embargo, este contenido disminuye a 0.03-0.04 en Cavancha. Esto puede ser debido a que el As es atrapado por el óxido de manganeso.

Los efectos de purificación natural mencionados arriba no son confiables. En consecuencia, se considera necesario un tratamiento artificial de Mn y As.

2) Fuente de Agua

Las aguas subterráneas en el área de Canchones han sido totalmente aprovechadas. El desarrollo de nuevas fuentes de agua es necesario para satisfacer la futura demanda de agua en Iquique.

3) Costo de la Energía

Se necesita una gran carga de energía eléctrica para que operen las bombas, incluyendo las de toma, las de transmisión y las elevadoras de presión. La energía total requerida es de 3,300 kw. El cargo por energía eléctrica es aproximadamente 50% del costo total de mantenimiento y operación.

4) Pérdida de Agua

La pérdida existente de agua es tanta que casi llega al 40% del volumen de producción total.

7.2 Aspectos Institucionales y Financieros Existentes

7.2.1 Organización de ESSAT

Ver, Capítulo VI, 6.2.1.

7.2.2 Tarifa

1) Número de Clientes

El número de clientes que en los años recientes recibió los servicios del sistema de abastecimiento de agua, en la ciudad de Iquique, se muestra abajo así como su cobertura.

	Iquique	
	No. de Clientes	Cobertura (%)
1991	30,175	98
1992	33,332	98
1993	35,126	98

2) Estructura Tarifaria

Las tarifas del agua son fijadas por el gobierno, con el propósito de cubrir los costos de los servicios de abastecimiento de agua. El gobierno fija la tarifa-meta que debe ser alcanzada en un período de cinco (5) años.

La tarifa de agua existente en la ciudad de Iquique, hasta Febrero de 1994, es la siguiente:

(1) Cargo Mensual Fijo

El cargo mensual fijo varía de acuerdo al diámetro de la cañería de servicio.

ø Cañería (mm)	Cargo ($)	ø Cañería (mm)	Cargo ($)
13	209	50	5,062
15	337	75	11,812
19	675	100	20,249
25	1,350	125	30,373
32	2,025	150	45,560
38	3,037	200	80,995

(2) Cargo Mensual Variable

El cargo mensual variable incluye el cargo durante la temporada baja (abril-noviembre), el cargo durante la temporada alta (diciembre-marzo) y el cargo por sobreconsumo. Estos cargos dependen del volumen medido en m^3 de agua consumida.

El cargo por sobreconsumo se aplica en temporada alta al consumo que sobrepasa el consumo promedio en temporada baja. Este cargo se aplica al consumo superior a los 30 m^3.

Los cargos mensuales variables de la ciudad de Iquique se muestran abajo.

Categoría	Normal ($/$m^3$)	Descuento ($/$m^3$)
Temporada Baja	233.44	130.90
Temporada Alta	230.82	130.20
Sobreconsumo	564.20	564.20

3) Eficiencia de Recolección Tarifaria

Ver Capítulo VI, 6.2.2.

7.3 Plan de Desarrollo a Largo Plazo

7.3.1 Capacidad de Desarrollo

Las demandas futuras de producción en Iquique, sobre la base de un promedio diario, se estiman en 807 l/s para el año 2005 y 1,062 l/s para el año 2015. Aquellas sobre la base de un máximo diario son calculadas en 1,049 l/s para el año 2005 y en 1,381 l/s para el año 2015, asumiendo la razón entre la demanda alta y la demanda promedio como 1.30.

Por otra parte, la capacidad existente en 1994 se estima en 680 l/s. Por tanto, la capacidad de producción adicional de 369 l/s y 701 l/s deberá ser desarrollada para los años 2005 y 2015 respectivamente.

Más aún, la capacidad adicional de captación de agua cruda que se requiere para los años 2005 y 2015 se estima en 388 l/s y 738 l/s respectivamente, asumiendo que la pérdida de agua en el proceso de tratamiento es el 5% de la producción como se muestra abajo.

	1995	2005	2015
Demanda Promedio de Producción Diaria (l/s)	708	807	1,062
Demanda Máxima de Producción Diaria (l/s)	920	1,049	1,381
Capacidad de Producción Existente (l/s)	680	680	680
Capacidad Adicional de Producción (l/s)	240	369	701
Capacidad Adicional de Captación de Agua	252	388	738

7.3.2 Alternativas de Desarrollo

1) General

Después de intensivas investigaciones en terreno y análisis, las siguientes tres (3) fuentes potenciales de agua fueron identificadas como adecuadas para el desarrollo del recurso agua potable en la ciudad de Iquique.

(1) Aguas Subterráneas en La Tirana (Pampa del Tamarugal-Norte)
(2) Aguas Subterráneas en Pintados (Pampa del Tamarugal-Sur)
(3) Aguas Subterráneas en Salar del Huasco

Más aún, para la conducción del agua tratada para la ciudad de Iquique desde La Tirana y Pintados, dos (2) rutas de cañerías de aducción fueron identificadas respectivamente.

Por tanto, las siguientes cinco (5) alternativas son discutidas en este informe.

Alternativa (1) : Fuente de Agua La Tirana (Ruta de Conducción No.1)

Alternativa (2) : Fuente de Agua La Tirana (Ruta de Conducción No.2)
Alternativa (3) : Fuente de Agua Pintados (Ruta de Conducción No.1)
Alternativa (4) : Fuente de Agua Pintados (Ruta de Conducción No.2)
Alternativa (5) : Fuente de Agua Salar del Huasco

Para la ubicación de las fuentes de agua y ruta de las cañerías de aducción, ver Figura 7.4.

En el diseño de las alternativas previas, las siguientes condiciones son aplicadas.

(1) Capacidad del diseño para Captación : 738 l/s
(2) Capacidad del diseño para Conducción : 701 l/s
(3) Tratamiento del Agua:

La calidad de las aguas subterráneas en La Tirana y Pintados es adecuada para uso doméstico sin ningún tratamiento especial.

Por otra parte, las aguas subterráneas en el Salar del Huasco contienen una alta concentración de Mn y Fe, como se muestra abajo.

	Mn	Fe
Calidad del Agua (mg/l)	0.61-1.40	4.3-18.0
Límite Permisible (mg/l)	0.10	0.30

Estas concentraciones de Mn y Fe deberán ser tratadas adecuadamente.

(4) Distancia de las cañerías de aducción diseñadas: abarca desde el lugar en que se encuentran las fuentes de agua al estanque de distribución de Cavancha.

(5) La infraestructura existente no es utilizada debido a que están cargadas completamente.

2) Alternativa (1)

La batería de pozos se ubica en el área de La Tirana, 20 km al Norte de Canchones y 60 km al este de la ciudad de Iquique.

El recurso agua subterránea es desarrollado por dieciseis (16) pozos profundos, incluyendo dos (2) pozos para reserva, con una capacidad promedio de 55 l/s. La profundidad de los pozos es de 200 m. El agua es conducida al estanque colector propuesto en la batería de pozos, para lo cual se requiere una altura total de bombeo de 76-81 m.

La longitud total de la cañería de aducción es de alrededor 68 km. La mayor parte de la tubería corre a lo largo de las carreteras existentes. El agua cruda es bombeada desde el estanque colector a otro estanque ubicado en el punto más alto de la ruta de conducción. Desde aquí el agua es transferida al estanque de distribución de Cavancha vía el estanque de Alto Hospicio por gravedad. Además, tres (3) estanques corta-presión adicionales son propuestos entre el estanque ubicado en la cota mayor y el estanque de Alto Hospicio.

Las principales características de la cañería de aducción son las siguientes:

	Estanque Colector		Estanque Más Alto		Estanque Alto Hosp.		Estanque Cavancha
Cota del Terreno (m)	1.025		1.100		545		114
Distancia (m)	0		40,400		64,600		67,600
Distancia (m)	I ←	700x2	→ I ←	(400-500)x2	→ I ←	700x2	→ I

El número de estaciones de bombeo y el consumo total estimado de energía eléctrica son los siguientes:

Bomba de Pozo	:	16 bombas
Bomba Conductora	:	1 estación
Bomba de Refuerzo	:	-
Consumo Total de Energía	:	2,261 kw

3) Alternativa (2)

El desarrollo de la fuente de agua es igual al de la Alternativa (1).

La cañería de aducción, con una longitud aproximada de 67 km, corre a lo largo de la ruta de la cañería antigua. El agua cruda es bombeada desde el estanque colector a un estanque ubicado en el punto más alto de la tubería. En este caso, es necesario elevar la presión sobre la ruta. Después del punto más alto, el agua es transmitida por gravedad al estanque de distribución de Cavancha vía el estnque de Alto Hospicio. Más de cinco (5) estanques corta-presión son provistos entre el estanque a mayor altura y el estanque Alto Hospicio.

Las características principales de la cañería aductora son las siguientes:

	Estanque Colector		Estanque Más Alto		Estanque Alto Hosp.		Estanque Cavancha
Cota del Terreno (m)	1,025		1,205		545		114
Distancia (m)	0		21,400		63,600		66,500
Distancia (m)	I ←	700x2	→ I ←	(400-600)x2	→ I ←	700x2	→ I

El número de estaciones de bombeo y el consumo total estimado de energía eléctrica son los siguientes:

Bomba de Pozo	:	16 bombas
Bomba Conductora	:	1 estación
Bomba de Refuerzo	:	1 estación
Consumo Total de Energía	:	3,301 kw

4) Alternativa (3)

La batería de pozos está ubicada en el área de Pintados, 20 km al sur de Canchones y a 80 km al sureste de la ciudad de Iquique.

Las aguas subterráneas son extraídas desde dieciseis (16) pozos, incluyendo dos (2) pozos de emergencia, con una capacidad promedio de 55 l/s. La profundidad de los pozos es de 200 m. El agua es recolectada por el estanque colector instalado en el campo de pozos. La altura total de bombeo es de 61 m.

La tubería de transmisión sigue la ruta de la carretera por cierta distancia y, desde aquí, toma la ruta de la tubería existente. La distancia total es de aproximadamente 87 km. El agua cruda es bombeada desde el estanque colector al estanque ubicado en el sitio del estanque existente en Rinconada, el punto más alto de la cañería colectora. La presión del agua es aumentada por las bombas de refuerzo existentes en el sitio de la estación de bombeo Diana. Después de pasar por el sitio del estanque Rinconada, el agua escurre hacia abajo por gravedad, al estanque de distribución Cavancha a través del estanque Alto Hospicio. Existen dos (2) nuevos estanques corta-presión entre Rinconada y Alto Hospicio.

Las características principales de la cañería conductora son las siguientes:

	Estanque Colector		Estanque Más Alto		Estanque Alto Hosp.		Estanque Cavancha
Cota del Terreno (m)	995		1,155		545		114
Distancia (m)	0		44,150		84,600		87,400
Distancia (m)	I ←	700x2	→ I ←	(400-500)x2	→ I ←	700x2	→ I

El número de plantas elevadoras y el consumo total estimado de energía eléctrica son los siguientes:

Bomba de Pozo	:	16 bombas
Bomba Conductora	:	1 estación
Bomba de Refuerzo	:	1 estación
Consumo Total de Energía	:	2,998 kw

5) Alternativa (4)

El desarrollo de la fuente de agua es el mismo que en la Alternativa (3).

La cañería de conducción sigue el camino y la vía férrea existentes. El agua cruda es bombeada desde el estanque colector al estanque ubicado en el punto más alto de la ruta. Una estación de refuerzo es propuesta en la cota mayor de la ruta al estanque. El agua fluye hacia abajo por gravedad, desde el estanque ubicado a mayor altura hasta el estanque de distribución de Cavancha a través del estanque de Alto Hospicio.

	Estanque Colector		Estanque Más Alto		Estanque Alto Hosp.		Estanque Cavancha
Cota del Terreno (m)	995		1,050		545		114
Distancia (m)	0		54,900		81,300		84,300
Distancia (m)	I ←	700x2	→ I ←	(400-600)x2	→ I ←	700x2	→ I

El número de estaciones de bombeo y el consumo total estimado de energía eléctrica son los siguientes:

Bomba de Pozo	:	16 bombas
Bomba Conductora	:	1 estación
Bomba de Refuerzo	:	1 estación
Consumo Total de Energía	:	2,058 kw

6) Alternativa (5)

La batería de pozos está ubicada en el área de Pampa Huasco, extendiéndose desde el límite norte de las zonas del lago del Huasco hasta Peñablanca. Se encuentra distante, aproximadamente, 160 km al Este de la ciudad de Iquique.

Las aguas subterráneas son extraídas desde veintidos (22) pozos profundos, incluyendo 3 pozos de emergencia, con una capacidad promedio de 40 l/s. Cada pozo es de 150 o 200 m de profundidad. El agua cruda es llevada a la planta de tratamiento propuesta en la batería de pozos. Esta planta tratará el Mn y Fe.

La ruta de conducción entre la planta de tratamiento y el estanque de distribución de Cavancha es de una longitud aproximada de 161 km. Esta tubería sigue el camino existente hasta Canchones y, desde aquí, sigue la tubería ya existente.

El agua tratada es bombeada desde la planta de tratamiento al estanque ubicado en la cota de terreno más alta (límite de la hoya hidrográfica entre las cuencas del

Salar del Huasco y Pampa del Tamarugal). Dos (2) estaciones de bombas de refuerzo son provistas para aumentar la presión del agua en la cañería de aducción camino a la ubicación más alta. El agua es transferida por gravedad, desde el estanque en la cota mayor al estanque de distribución de Cavancha vía el estanque de Alto Hospicio mediante el estanque propuesto en Rinconada. La cañería de aducción está provista de quince (15) estanques corta-presión, entre el estanque ubicado en la cota mayor y el estanque Rinconada, y dos (2) estanques corta-presión entre los estanques Rinconada y Alto Hospicio.

Las principales características de la cañería aductora son las siguientes:

	Planta de Tratamiento		Estanque Más Alto		Estanque Rinconada		Estanque Alto Hospicio		Estanque Cavancha
Cota del Terreno(m)	3,800		4,200		1,155		545		114
Distancia (m)	0		22,900		117,450		157,700		160,700
ø de Cañería (mm)	←	700x2	→ ←	(400~700)x2	→ ←	(400~500)x2	→ ←	700x2	→

El número de estaciones de bombeo y el requerimiento total estimado de energía eléctrica son los siguientes:

Bomba de Pozo	:	22 bombas
Bomba Conductora	:	1 estación
Bomba de Refuerzo	:	2 estaciones
Consumo Total de Energía	:	5,253 kw

7) Evaluación Comparativa

Los costos de construcción, incluyendo aquellos para los campos de pozos, las bombas de transmisión/aumentadoras de presión, tuberías de transmisión, estanques de colección/de control de presión/de distribución y la planta de tratamiento fueron estimados para las cinco (5) alternativas anteriores.

Estas alternativas son comparadas en la siguiente tabla, en la cual los consumos totales de energía eléctrica, las longitudes totales de conducción y los tratamientos de agua requeridos por las cinco (5) alternativas, también son comparados.

	Alt. (1)	Alt. (2)	Alt. (3)	Alt. (4)	Alt. (5)
Costo Const. (millón pesos:M$)	36,821	37,024	46,101	48,077	89,984
Consumo de Energía (kw)	2,261	3,301	2,998	2,058	5,253
Longitud de Conducción (km)	67.6	66.5	87.4	84.3	160.7
Tratamiento de Agua Requerido	-	-	-	-	Mn, Fe

Para detalles del costo de construcción estimado y el consumo de energía eléctrica, ver Tabla 7.1.

Como es evidente en la tabla previa, la Alternativa (1) es la más recomendable.

7.3.3 Plan de Desarrollo de Largo Plazo Propuesto

1) Consideración sobre la Implementación de Etapas

El plan de desarrollo de largo plazo recomendado (Alternativa 1) incluye varias unidades de instalaciones de toma, bombas de transmisión/aumentadoras de presión, estanques y una tubería de transmisión. Entre estas obras, las instalaciones de toma, las bombas y los estanques pueden ser economicamente implementados en etapas, de acuerdo con el aumento de la demanda de agua.

Sin embargo, dos (2) métodos de construcción, por etapas y en un tiempo, se deben comparar para lograr una realización económica de la línea de transmisión propuesta. En muchos casos, el método de construcción de un tiempo es más económico que el método por etapas en términos de costos de inversión totales simples, pero requiere una inversión inicial mayor.

Por lo tanto, los costos totales de inversión de los dos métodos de construcción son comparados en términos de costo a valor presente de la siguiente manera.

(1) Tubería Alternativa

Las siguientes dos (2) alternativas son consideradas para la tubería de transmisión de 64.6 km entre el área de pozos de Tirana y Alto Hospicio.

Alternativa (A): Construcción a un tiempo
Alternativa (B): Construcción en dos etapas

La longitud y diámetro de la tubería propuesta se resume a continuación.

Alternativa (A)	Alternativa (B)
900 mm x 1 x 40,400 m	(1era. Etapa)
700 mm x 1 x 11,650 m	700 mm x 1 x 40,400 m
600 mm x 1 x 12,550 m	500 mm x 1 x 11,650 m
	400 mm x 1 x 12,550 m
	(2da. Etapa)
	700 mm x 1 x 40,400 m
	500 mm x 1 x 11,650 m
	400 mm x 1 x 12,550 m

(2) Condiciones del Cálculo del Costo a Valor Presente

Construcción en un tiempo	
Inversión:	1997 y 1998, 50% en cada año
Construcción en dos etapas	
Inversión 1era Etapa:	1997 y 1998, 50% en cada año
Inversión 2da Etapa:	2004 y 2005, 50% en cada año
Tasa de descuento:	12% anual
Costos anuales de O&M:	Considerados

(3) Evaluación Comparativa

Los costos a valor presente de ambas alternativas se muestran a continuación, comparados con los costos de inversión simples.

	Alternativa (A)	Alternativa (B)
Costo Total Simple (milliones de Pesos : M$)*	21,022	28,053
Costo a Valor Presente (milliones de Pesos : M$)	17,211	16,689

* : excluye costos de O&M

No existe mucha diferencia entre los costos a valor presente de ambas alternativas. Sin embargo, la Alternativa B es más recomendable en vista de las restricciones financieras existentes.

Para detalles, ver Informe Suplementario D, Apéndice 3.

2) Instalaciones de Desarrollo de Abastecimiento de Agua Propuestas

(1) Generalidades

El agua subterránea es extraída del acuífero de la parte este de Tirana. El agua es extraída por 16 pozos profundos, incluyendo dos (2) pozos de sustitución, y es colectada en el estanque colector propuesto en el campo de pozos.

Los 701 l/s diarios máximos (539 l/s diario promedio) son transferidos por la tubería de transmisión de 67.6 km de longitud, desde el estanque colector al estanque de distribución de Cavacha via el estanque Alto Hospicio. La mayor parte de la tubería corre a lo largo de la carretera existente.

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

La ruta y el perfil longitudinal de la tubería de transmisión se muestran en las Fig. 7.5 y 7.6 respectivamente.

(2) Características de las Instalaciones Propuestas

Las características de la instalaciones propuestas se resumen a continuación.

i) Instalaciones de Toma

Pozo Profundo: 16 pozos (profundidad: 200 m, diámetro 12 pulg.)

Bomba sumergible: 16 bombas incluyendo dos (2) de sustitución (cada una con 55 l/s de capacidad, total de energía eléctrica requerida: 1,170 kw)

Tubería de Colección (Fibrocemento) Ø250 - 800 mm, 9,750 m

ii) Bomba de Transmisión: 420 kw x 5 unidades

iii) Tubería de Transmisión (Hierro Dúctil)

700 mm x 2 x 40,400 m
500 mm x 2 x 11,650 m
400 mm x 2 x 15,550 m

iv) Estanque (Concreto Reforzado)

Estanque de Colección:	2 unidades x 1 lugar (campo de pozos) (1,250 m^3 x 2 x 1)
Estanque de Transmisión:	2 unidades x 2 lugares (Santa Laura, Alto Hospicio) (1,250 m^3 x 2 x 2)
Estanque de Control de Presión:	2 unidades x 3 lugares (La Isla, El Toro 1, El Toro 2) (250 m^3 x 2 x 3)
Estanque de Distribución:	4 unidades x 1 lugar (Cavancha) (7,500 m^3 x 4 x 1)

3) Adquisición de Tierras Requerida

El área requerida para la construcción de las instalaciones es la siguiente.

Campo de pozos		
incluyendo carretera de acceso	:	260 ha
Tubería de Transmisión	:	13.5 ha
Estanque	:	1.0 ha

La tubería de transmisión está ubicada bajo las rocas, por lo que no es necesaria la adquisición de tierras. Sin embargo, el campo de pozos y los estanques requiren de la adquisición de 261 ha de tierra, la mayor parte de la cual pertenece al estado. La tierra no está siendo explotada en la actualidad.

4) Costo de Inversión Estimado

El costo de inversión total, que consiste en costo directos de construcción, costo de adquisición de tierras, costos de ingeniería, costos de administración y contingencia física totaliza 46,091 millones de pesos a precios de 1994. La descomposición de los costos se muestra a continuación.

		(10^3 Peso:$)
(1)	Costos Directos de Construcción	38,512,014
	i) Obras de Toma	4,075,846
	ii) Instalaciones de Transmisión	32,327,643
	(i) Bombas de Transmisión	1,873,190
	(ii) Tubería de Tansmisión	29,081,203
	(iii) Estanques	1,373,250
	iii) Redes de Distribución	1,950,525
	iv) Línea de Transmisión Eléctrica	158,000
(2)	Costo de Adquisición de la Tierra	262,000
(3)	Costo de Ingeniería {6% de (1)}	2,310,721
(4)	Costos de Administración {3% de (1)}	1,155,360
(5)	Contingencia Física {10% de (1)}	3,851,201
	Total	46,091,296

Nota: Costos para marzo de 1994, excluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA)
Tipo de Cambio: US$ 1.00 = Pesos chilenos 435.00
Yenes japoneses 110.00

Para detalles del costo de construcción directo, ver Informe Suplementario D, Datos Técnicos, Tabla DC-1.

7.4 Plan de Desarrollo de la Primera Etapa

7.4.1 Generalidades

El plan de desarrollo de largo plazo propuesto en la sección 7.3 será implementado en dos (2) etapas. El plan de desarrollo de la primera etapa tiene como año objetivo al 2005, mientras que el plan de desarrollo de la segunda etapa tiene como año objetivo al 2015.

El plan de la primera etapa desarrollará una capacidad de producción de 369 l/s diarios máximos (284 l/s diarios promedio) para satisfacer la demanda para el año 2005 (Ver, 7.3.1)

7.4.2 Instalaciones de desarrollo de Abastecimiento de Agua

1) Instalaciones de Toma

Pozo Profundo: 8 pozos (profundidad: 200 m, diámetro 12 pulg.)

Bomba sumergible: 8 bombas incluyendo una (1) de sustitución (cada una con 55l/s de capacidad, total de energía eléctrica requerida: 1,170 kw)

Tubería de Colección (Fibrocemento) Ø250 - 800 mm, 5,750 m

2) Bomba de Transmisión: 420 kw x 3 unidades

3) Tubería de Transmisión (Hierro Dúctil)

700 mm x 1 x 40,400 m
500 mm x 1 x 11,650 m
400 mm x 1 x 15,550 m

4) Estanque (Concreto Reforzado)

Estanque de Colección:	1 unidad x 1 lugar (campo de pozos) ($1{,}250\ m^3$ x 1 x 1)
Estanque de Transmisión:	1 unidad x 2 lugares (Santa Laura, Alto Hospicio) ($1{,}250\ m^3$ x 1 x 2)
Estanque de Control de Presión:	1 unidad x 3 lugares (La Isla, El Toro 1, El Toro 2) ($250\ m^3$ x 1 x 3)
Estanque de Distribución:	2 unidades x 1 lugar (Cavancha) ($7{,}500\ m^3$ x 2 x 1)

La ruta y el perfil longitudinal de la tubería de transmisión se muestran en las Figs. 7.5 y 7.6 respectivamente. La distribución del campo de pozos y la estación de la bomba de transmisión se muestran en las Figs. 7.7 y 7.8 respectivamente.

7.4.3 Adquisición de Tierra

El área necesaria para el plan de desarrollo de largo plazo será adquirida en la primera etapa. Las tierras requeridas se muestran a continuación.

Campo de pozos incluyendo carretera de acceso	:	260 ha
Tubería de Transmisión	:	13.5 ha
Estanque	:	1.0 ha

La tubería de transmisión está ubicada bajo las rocas, por lo que no es necesaria la adquisición de tierras. Sin embargo, el campo de pozos y los estanques requiren de la adquisición de 261 ha de tierra, la mayor parte de la cual pertenece al estado. La tierra no está actualmento ocupada.

7.4.4 Costo de Inversión Estimado

El costo de inversión total, que consiste en costo directos de construcción, costo de adquisición de tierras, costos de ingeniería, costos de administración y contingencia física totaliza 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. La descomposición de los costos se muestra a continuación.

		Moneda Extranjera (10^3 US$)	Moneda Local (10^3 Peso:$)	Total (10^3 Peso:$)
(1)	Costos Directos de Construcción	36,032	4,422,575	20,096,326
	i) Obras de Toma	2,532	1,193,663	2,295,144
	ii) Instalaciones de Transmisión	33,499	2,305,366	16,877,636
	(i) Bombas de Transmisión	3,126	151,091	1,510,912
	(ii) Tubería de Tansmisión	30,373	1,468,050	14,680,499
	(iii) Estanques	0	686,225	686,225
	iii) Redes de Distribución	0	765,546	765,546
	iv) Línea de Transmisión Eléctrica	0	158,000	158,000
(2)	Costo de Adquisición de la Tierra	0	262,000	262,000
(3)	Costo de Ingeniería {6% de (1)}	1,528	541,100	1,205,780
(4)	Costos de Administración {3% de (1)}	0	602,890	602,890
(5)	Contingencia Física {10% de (1)}	3,465	502,408	2,009,633
	Total	41,024	6,330,973	24,176,629

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

El costo directo de construcción y los costos de adquisición de tierras se descompones más detalladamente como se muestra en la Tabla 7.2. Para más detalles, ver Informe Suplementario D, Tabla D-II, 4.2.

7.4.5 Programa de Implementación

1) Programa de Implementación

La primera etapa del proyecto propuesto será completada en tres (3) años, de 1996 a 1998 el diseño detallado y la adquisición de tierras serán completadas en 1996. los trabajos de construcción comenzarán en 1997 y serán completados en 1998. Será puesto en operación en 1999.

2) Programa de Desembolso

El programa de desembolso propuesto para los costos del proyecto se muestra en la Tabla 7.3.

7.4.6 Operación y Mantenimiento

1) Generalidades

El proyecto comenzará a funcionar en 1999 y alcanzará la etapa de operación plena en 2003. El abastecimiento de agua tratada aumentará gradualmente de 222 l/s en 1999 a 284 l/s en 2003 sobre bases de promedios diarios.

La operación y mantenimiento diarios del proyecto serán realizados por la Oficina Sucursal de ESSAT de Iquique. Para este propósito, el personal de la Sucursal de Iquique será reforzado.

2) Costos de O&M

Los costos de O&M del proyecto están conformados por los costos anuales de operación y mantenimiento, que incluyen consumo eléctrico, consumo de químicos, costos de personal y reparaciones y costos de reemplazo.

La cantidad requerida anualmente para satisfacer los costos de O&M en la etapa de operación plena son estimados en 613,910 miles de pesos a precios de 1994, con la siguiente descomposición.

		(10^3 Pesos $ a precios de 1994)
(1)	Costo de Consumo Eléctrico	240,683
(2)	Costo de Consumo de Químicos	5,996
(3)	Costos de Personal	11,520
(4)	Costos de Reparación	355,711
	Costo Anual Total de O&M	613,910

Además, las bombas y otros equipos de las instalaciones de toma y transmisión serán periódicamente remplazados de acuerdo con sus períodos de vida. Estos períodos de vida y costos de reemplazo son estimados, a precios de 1994, de la siguiente manera.

		Período de vida (Años)	Costos de Reemplazo (10^3 Pesos $, precios de 1994)
(1)	Instalaciones de Toma		
	i) Bomba	15	1,207,522
	ii) Otros Equipos	20	484,488
(2)	Planta de Tratamiento		
	i) Unidad de OI	10	344,085
	ii) Otros Equipos	20	1,166,827

Para detalles, ver Informe Suplementario D, Tabla D-II, 4.3.

7.4.7 Evaluación Económica

1) Generalidades

La evaluación económica de este proyecto es hecha por medio del mismo modelo de evaluación computarizado llamado SIMOP usado para el proyecto de la ciudad de Arica.

2) Asunciones y Datos para la Evaluación Económica

(1) Inversión Incremental

Estimada de la misma manera que para la ciudad de Arica.

(2) Ajuste de los Precios de Mercado

Los mismos factores de ajuste y las mismas participaciones del componente importado y fuerza laboral usadas para la ciudad de Arica son aplicadas.

Fuerza laboral:	Calificada	:	sin ajuste
	No Calificada	:	0.66
	Semi-calificada	:	0.73
Moneda extranjera		:	1.06
Tasa de Descuento Social		:	12% (Basado en recomendación de MIDEPLAN)

Participaciones del componente importado y fuerza laboral : como a continuación

Tipo de Obra	Componente Importado	Fuerza Laboral	
		No Calif.	Semi-calif.
Obras de Toma	32%	3.8%	2.6%
Transmisión	35%	2.6%	13.8%
Planta de Tratamiento	60%	3.6%	2.5%
Distribución	35%	2.6%	13.8%
Obras Eléctricas	61%	1.0%	15.0%

(3) Período de Evaluación: 36 años (1993-2028)

(4) Grupos de Consumidores y Características de la Demanda

Los consumidores son clasificados en los cuatro (4) grupos siguientes.

Grupo 1: Consumo residencial entre 1-20m^3/mes/conexión (Clase de ingreso bajo)

Grupo 2: Consumo residencial entre 20-30m^3/mes/conexión (Clase de ingreso medio)

Grupo 3: Consumo residencial mayor a 30m^3/mes/conexión (Clase de ingreso alto)

Grupo 4: Consumo comercial, industrial y fiscal

Las características de su demanda de agua son las siguientes.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Elasticidad precio	-0.52	-0.20	-0.25	-0.20
Tipo de curva de demanda	3	2	2	1
Tasa de crecimiento de la demanda anual (%)	4.68	4.68	8.89	9.36
Tarifa inicial ($/$m^3$)	172.01	172.01	220.42	220.42
Consumo de agua inicial. (10^3m^3/yr)	4,781	1,421	4,393	2,325

(5) Capacidad de Consumo de Agua

La capacidad anual total de consumo de agua en el futuro son estimados para los casos con proyecto y sin proyecto de la misma forma que para Arica. Para detalles sobre la capacidad de consumo de agua estimada, ver el Informe Suplementario F, Capítulo IV, 4.6.2.

(6) Costos del Proyecto

Los costos del proyecto usados en la evaluación económica consisten en costos periódicos, costos no periódicos,y costos variables. Los costos son estimados de la misma manera que para la ciudad de Arica. Los costos anteriores se resumen a continuación.

Costos periódicos : 367,231 Pesos $ x 10^3/año

Costos no periódicos : año 1996 : 552,511 Pesos $ x 10^3

año 1997 : 9,026,071 Pesos $ x 10^3

año 1998 : 9,320,702 Pesos $ x 10^3

Costos variables : 40.32/m^3 Pesos $

3) Resultados de la Evaluación Económica

Los valores presentes de los beneficios y costos computados mediante SIMOP se muestran a continuación.

Valor Presente de los Beneficios (10^6 Peso $)		Valor Presente de los Costos (10^6 Peso $)	
Grupo 1	3,912	Periódicos	1,679
Grupo 2	1,565	No periódicos	11,418
Grupo 3	11,671	Variables	1,041
Grupo 4	3,720	Total	14,138
Total	20,868		

La rentabilidad económica es evaluada en términos de Valor Presente Neto (VPN), razón Beneficio Costo (B/C) y Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) de la manera siguiente.

VPN : Pesos $ 6,730 x 10^6

B/C : 1.48

TIRE : 17.33 %

El proyecto es considerado rentable debido a que el VPN es positivo y la TIRE es mayor al 12% solicitado por las normas del MIDEPLAN.

4) Análisis de Sensibilidad

El proyecto es rentable aún si los costos de inversión aumentan en 58.94% o los ingresos decrecen en 23.22% como se muestra a continuación.

Tasa de Aumento de los Costos de Inversión (%)	VPN (10^6 Peso $)	TIRE (%)
-59.00	13,460	31.99
0	6,730	17.33
58.94	0	12.00
118.00	-6,730	9.00
177.00	-13,460	6.97

Tasa de Descuento Social (%)	VPN (10^6 Peso $)
21.00	2,585
22.00	1,259
23.22	0
24.00	-634
25.00	-1,299

7.4.8 Evaluación Financiera

1) General

La evaluación financiera de este proyecto es hecha en la misma manera que la del proyecto de la ciudad de Arica. La rentabilidad del proyecto es indicada por el

Valor Presente Neto (VPN) y de Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF). Además de los índices anteriores, un informe financiero es preparado para realizar un análisis de ingresos.

2) Asunciones y Datos para la Evaluación Financiera

(1) Período de Evaluación: 33 años (1996-2028)

(2) Aumento de precios anual: 8%

(3) Tarifa de Agua: La tarifa de agua promedio es estimada en 278 Pesos $/m^3$ para fines de 1994. La tarifa se incrementará a una tasa de 12% anual.

(4) Flujo de Caja: Ver Tabla 7.4

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

(6) Condiciones de Préstamo: El préstamo cubre todos los costos de inversión. Las condiciones del préstamo se muestran a continuación.

Tasa de Interés:	5%
Período de Repago:	25 años
Período de Gracia:	5 años

(7) Impuesto a la Renta: 25%

3) Resultados de la Evaluación Financiera

El Valor Presente Neto estimado es en \$11,455,887 x 10^3 y el TIRF es de 14.86%. El proyecto es considerado rentable.

El informe financiero calculado se presenta en la Tabla 7.5. Como se ve en la Tabla 7.5, el proyecto es suficientemente rentable para cubrir los costos de operación y para repagar el préstamo dentro del período de evaluación.

4) Análisis de Sensibilidad

El proyecto es rentable aún si los costos de inversión aumentan en 47.93% o si los ingresos disminuyen en 24.17% tal como se muestra abajo.

Tasa de Aumento de los Costos de Inversión (%)	VPN (10^6 Peso $)	TIRF (%)
60.00	-2,885	11.47
50.00	-495	11.91
47.93	0	12.00
40.00	1,865	12.39
30.00	4,285	12.90

Tasa de Disminación de los Ingresos (%)	VPN (10^6 Peso $)	TIRF (%)
-30.00	-2,764	11.20
-25.00	-394	11.89
-24.17	0	12.00
-20.00	1,976	12.54
-15.00	4,346	13.16

7.4.9 Estudio del Impacto Ambiental

Este proyecto contribuirá grandemente al desarrollo económico de la ciudad de Iquique y al mejoramiento de los niveles de vida de la población. Sin embargo, puede causar algunos impactos negativos en el medio ambiente del área del proyecto.

Los efectos negativos anticipados en las etapas de pre-construcción, construcción y operación son evaluados de la siguiente manera.

1) Etapa de Pre-construcción

La tubería de transmisión se sitúa debajo de las carreteras (banqueta de la carretera). Por lo tanto, no es necesaria la aduisición de tierras. Sin embargo, la construcción del campo de pozos y estanques requiere de la adquisición de 261 ha.

No se anticipan impactos negativos relativos a la adquisición de tierras debido a que las tierras están disponibles y la mayoría pertenecen al estado.

En las áreas del proyecto no hay lugares históricos valuables ni flora o fauna.

2) Etapa de Construcción

(1) Vibración, ruido y polvo

La construcción de las instalaciones propuestas puede originar vibración, ruido y polvo. Los impactos se juzgan como de poca importancia debido a que los trabajos son realizados en áreas desiertas excepto por las áreas pobladas de Pozo Almonte y Alto Hospicio.

La tubería de transmisión pasa a través de las áreas pobladas de Pozo Almonte y Alto Hospicio. Sin embargo, las áreas y la población afectadas son pequeñas y la vibración, ruido y polvo pueden ser fácilmente minimizadas mediante una apropiada administración de la construcción.

(2) Perturbación del Tráfico

La tubería de transmisión es instalada bajo las banquetas de las carreteras, incluyendo la Panamericana, y la Carretera Ruta y cruza el ferrocarril en un (1) lugar.

La perturbación del tráfico debido a la instalación de las tuberías es considerada como no significante debido a que la densidad del tráfico de las carreteras y el ferrocarril.

(3) Reducción del Nivel Freático

Ninguna tubería es instalada bajo el nivel freático. La perforación de pozos generalmente no causa impactos en el nivel freático. Por lo tanto, la reducción del nivel freático debido a los trabajos de construcción del proyecto no son anticipados.

3) Etapa de Operación

Los principales impactos ambientales en la etapa de operación son aquellos relacionados con los pozos existentes y los tamarugos debido a la reducción del nivel freático.

El nivel freático existente será reducido en el futuro por varios desarrollos de agua, tales como el agua municipal de la ciudad de Arica, agua doméstica de poblados locales, agua de irrigación y para minería. La redución total debido al proyecto y a otros desarrollos después de 100 años es estimado 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 existente de tamarugos

(1) Impacto en los Pozos Existentes

Actualmente, 12 pozos independientes y dos (2) campos de pozos (administrados por ESSAT) están extrayendo el agua subterránea del acuífero de Pampa del Tamarugal. Entre ellos, seis (6) pozos independientes, con una cantidad de extracción de menos de 0.3 l/s, con una

profundidad de menos de 15 m. El resto de los pozos son suficientemente profundos.

Los seis (6) pozos independientes anteriores serán profundizados y reconstruídos en el futuro.

(2) Impacto en los Tamarugos

Los tamarugos están ampliamente distirbuídos en el Area Nacional de Reserva de aproximadamente 100,000 ha en el área del acuífero. Se considera generalmente que las raíces de los tamarugos alcanzan una profundidad de 25 - 30 m, en algunos casos 50 m, para absorber el agua subterránea.

Por lo tanto, no se anticipan impactos adversos significativos en los tamarugales.

Tabla 7.1 Estimated Construction Cost and Power Consumption
<Costo de Construcción Estimado y Consumo de Energia>

	Alt. (1)	Alt. (2)	Alt. (3)	Alt. (4)	Alt. (5)
Construction Cost (Million Peso : M$)					
Well-Field Cost (well/pump/electricity/pipeline)	4,336	4,336	4,142	4,142	5,548
Transmission/Booster Pump Cost (pump/electricity/house)	2,031	3,620	3,621	3,092	6,429
Transmission Pipeline Cost (pipeline/pressure relief valve)	29,081	27,534	36,891	39,367	63,468
Tank Cost (collection/break-pressure/distribution)	1,373	1,534	1,447	1,476	2,179
Treatment Plant Cost (for Mn/Fe)	-	-	-	-	12,360
Total Construction Cost	36,821	37,024	46,101	48,077	89,984
Power Consumption (kw)					
Transmission/Booster Pumps	1,280	2,320	2,260	1,320	4,540
Intake Pumps	981	981	738	738	713
Total Power Consumption	2,261	3,301	2,998	2,058	5,253

Note : - Cost as of March, 1994
- Cost without Value Added Tax (IVA)
- Foreign exchange rate as of March, 1994
  US$1.00 = Chile Peso : $435.0 = Japanese Yen : ¥110.0
- Construction cost includes M$1,822 for the section between Alto Hospicio and Cavancha.

Tabla 7.2 Break-down of Direct Construction and Land Acquisition Cost
<Costo de Construcción Directo y de Adquisición de la Tierra>

(at 1994 price)

Work Item	Quantity	Cost (10^3 Peso : $)
Direct Construction Cost		20,096,326
1) Intake Works		2,295,144
(1) Deep Well	8 wells, ø12 x 200 m each	582,632
(2) Pump (Submergible)	8 pumps	925,470
(3) Electric Facilities/Equipment		183,908
(4) Collection Pipeline	ø250 ~ 800 mm, 5,750 m	285,009
(5) Valve	7 valves	55,972
(6) Roads		144,051
(7) Miscellaneous Works		118,102
2) Transmission Facilities		16,877,636
(1) Transmission Pump	420 KW x 3 units	1,510,912
(2) Transmission Pipeline		14,680,499
i) La Tirana~Alto Hospicio	ø400 ~ 700 mm, 64,600 m	14,248,039
ii) Alto Hospicio~Cavancha	ø400 mm, 3,000 m	432,460
(3) Tank		686,225
i) Collection/Transmission/ Pressure Break	1,250 m^3 x 3, 250M^3 x 3	207,725
ii) Distribution	7,500 m^3 x 2	478,500
3) Distribution Network		765,546
4) Electric Works	23 KV, 20 km	158,000
Land Acquisition Cost		262,000
1) Well-field	260 ha	260,000
2) Tank	1.0 ha	12,000

Note: Cost: as of March 1994, excluding Value Added Tax (IVA)
Exchange Rate: US$1.00 = Chilean Peso $435.00
= Japanese Yen ¥110.00

Table 7.3 Disbursement Schedule of Investment Cost (Iquique Stage I)
<Programa de Desembolso de los Costos de Inversión (Iquique Etapa I)>

No	Work Item	1996			1997			1998			TOTAL		
		Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	Sub Total (1000 x Peso)	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	Sub Total (1000 x Peso)	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	Sub Total (1000 x Peso)	Foreign Currency (1000 x US$)	Local Currency (1000 x Peso)	TOTAL (1000 x Peso)
1	Direct Construction	0	0	0	18,016	2,132,288	9,969,163	18,016	2,290,288	10,127,163	36,032	4,422,575	20,096,326
1)	Intake Works	0	0	0	1,266	596,832	1,147,572	1,266	596,832	1,147,572	2,532	1,193,663	2,295,144
2)	Transmission Facilities	0	0	0	16,750	1,152,683	8,438,818	16,750	1,152,683	8,438,818	33,499	2,305,366	16,877,636
3)	Distribution Network	0	0	0	0	382,773	382,773	0	382,773	382,773	0	765,546	765,546
4)	Electric Transmission Line	0	0	0	0	0	0	0	158,000	158,000	0	158,000	158,000
2	Land Acquisition Cost	0	262,000	262,000	0	0	0	0	0	0	0	262,000	262,000
3	Engineering Cost	764	270,550	602,890	382	135,275	301,445	382	135,275	301,445	1,528	541,100	1,205,780
4	Administration Cost	0	200,963	200,963	0	200,963	200,963	0	200,963	200,963	0	602,890	602,890
5	Physical Contingency	0	0	0	1,732	251,204	1,004,816	1,732	251,204	1,004,817	3,465	502,408	2,009,633
	TOTAL	764	733,513	1,065,853	20,130	2,719,730	11,476,387	20,130	2,877,730	11,634,388	41,024	6,330,973	24,176,629

Note: Cost: as of March 1994, excluding Value Added Tax (IVA)
Exchange Rate: US$1.00= Chilean Peso $435.00= Japanese Yen ¥110.00

Tabla 7.4 Cash Flow Analysis (Iquique Stage I)
< Analisis de Flujo de Caja (Iquique Etapa I) >

(Unit : Peso)

Year	Investment	O & M Cost	Total Cost	Benefits	Cash Flow
1996	1,243,210,986		1,243,210,986		-1,243,210,986
1997	14,456,942,987		14,456,942,987		-14,456,942,987
1998	15,828,455,682		15,828,455,682		-15,828,455,682
1999		822,723,477	822,723,477	2,095,943,391	1,273,219,915
2000		902,192,259	902,192,259	2,473,951,210	1,571,758,951
2001		989,262,930	989,262,930	2,909,759,834	1,920,496,904
2002		1,084,816,412	1,084,816,412	3,411,511,545	2,326,695,133
2003		1,183,936,597	1,183,936,597	3,945,867,297	2,761,930,700
2004		1,304,922,974	1,304,922,974	4,675,886,358	3,370,963,384
2005		1,431,417,858	1,431,417,858	5,493,917,753	4,062,499,895
2006		1,545,931,287	1,545,931,287	6,098,248,706	4,552,317,419
2007		1,669,605,790	1,669,605,790	6,769,056,063	5,099,450,273
2008		1,803,174,253	1,803,174,253	7,513,652,230	5,710,477,977
2009		1,947,428,193	1,947,428,193	8,340,153,976	6,392,725,782
2010		2,103,222,449	2,103,222,449	9,257,570,913	7,154,348,464
2011		2,271,480,245	2,271,480,245	10,275,903,713	8,004,423,469
2012		2,453,198,664	2,453,198,664	11,406,253,122	8,953,054,457
2013		2,649,454,558	2,649,454,558	12,660,940,965	10,011,486,408
2014		8,489,619,214	8,489,619,214	14,053,644,471	5,564,025,257
2015		3,090,323,494	3,090,323,494	15,599,545,363	12,509,221,869
2016		3,337,549,373	3,337,549,373	17,315,495,353	13,977,945,980
2017		3,604,553,323	3,604,553,323	19,220,199,842	15,615,646,519
2018		3,892,917,589	3,892,917,589	21,334,421,825	17,441,504,236
2019		17,869,798,814	17,869,798,814	23,681,208,225	5,811,409,412
2020		4,540,699,520	4,540,699,520	26,286,141,130	21,745,441,610
2021		4,903,955,481	4,903,955,481	29,177,616,655	24,273,661,173
2022		5,296,271,920	5,296,271,920	32,387,154,487	27,090,882,567
2023		5,719,973,673	5,719,973,673	35,949,741,480	30,229,767,807
2024		6,177,571,567	6,177,571,567	39,904,213,043	33,726,641,476
2025		6,671,777,293	6,671,777,293	44,293,676,478	37,621,899,185
2026		7,205,519,476	7,205,519,476	49,165,980,890	41,960,461,414
2027		7,781,961,034	7,781,961,034	54,574,238,788	46,792,277,754
2028		8,404,517,917	8,404,517,917	60,577,405,055	52,172,887,138
				NPV	11,455,886,611
				FIRR	14.86%

Table 7.5 Financial Statement (Iquique Stage I)

<Estado Financiero (Iquique Etapa I)>

(Unit : Peso)

Year	O&M (*)	Interest	Capital	Total Expenditur	Gross Revenue	Net Revenue Before Depreciation	Depreciation	Net Revenue After Depreciation	Tax	Net Revenue After Tax	Accumulated Net Revenue
1996											
1997		62,160,549		62,160,549		-62,160,549		-62,160,549		-62,160,549	-62160549
1998		785,007,699		785,007,699		-785,007,699		-785,007,699		-785,007,699	-847168248
1999	822,723,477	1,576,430,483		2,399,153,960	2,095,943,391	-303,210,568	227,090,129	-530,300,697		-530,300,697	-1377468945
2000	902,192,259	1,576,430,483		2,478,622,742	2,473,951,210	-4,671,532	227,090,129	-231,761,661		-231,761,661	-1609230606
2001	989,262,930	1,576,430,483	1,576,430,483	4,142,123,896	2,909,759,834	-1,232,364,062	227,090,129	-1,459,454,191		-1,459,454,191	-3068684797
2002	1,084,816,412	1,497,608,959	1,576,430,483	4,158,855,854	3,411,511,545	-747,344,309	227,090,129	-974,434,438		-974,434,438	-4043119235
2003	1,183,936,597	1,418,787,434	1,576,430,483	4,179,154,515	3,945,867,297	-233,287,218	227,090,129	-460,377,347		-460,377,347	-4503496582
2004	1,304,922,974	1,339,965,910	1,576,430,483	4,221,319,367	4,675,886,358	454,566,990	227,090,129	227,476,861	56,869,215	170,607,646	-4332888935
2005	1,431,417,858	1,261,144,386	1,576,430,483	4,268,992,728	5,493,917,753	1,224,925,025	227,090,129	997,834,896	249,458,724	748,376,172	-3584512763
2006	1,545,931,287	1,182,322,862	1,576,430,483	4,304,684,632	6,098,248,706	1,793,564,074	227,090,129	1,566,473,945	391,618,486	1,174,855,459	-2409657305
2007	1,669,605,790	1,103,501,338	1,576,430,483	4,349,537,611	6,769,056,063	2,419,518,452	227,090,129	2,192,428,324	548,107,081	1,644,321,243	-765336062
2008	1,803,174,253	1,024,679,814	1,576,430,483	4,404,284,550	7,513,652,230	3,109,367,680	227,090,129	2,882,277,551	720,569,388	2,161,708,164	1396372102
2009	1,947,428,193	945,858,290	1,576,430,483	4,469,716,966	8,340,153,976	3,870,437,010	227,090,129	3,643,346,881	910,836,720	2,732,510,160	4128882262
2010	2,103,222,449	867,036,765	1,576,430,483	4,546,689,697	9,257,570,913	4,710,881,216	227,090,129	4,483,791,087	1,120,947,772	3,362,843,315	7491725577
2011	2,271,480,245	788,215,241	1,576,430,483	4,636,125,969	10,275,903,713	5,639,777,744	227,090,129	5,412,687,615	1,353,171,904	4,059,515,711	11551241289
2012	2,453,198,664	709,393,717	1,576,430,483	4,739,022,865	11,406,253,122	6,667,230,257	227,090,129	6,440,140,128	1,610,035,032	4,830,105,096	16381346385
2013	2,649,454,558	630,572,193	1,576,430,483	4,856,457,234	12,660,940,965	7,804,483,732	227,090,129	7,577,393,603	1,894,348,401	5,683,045,202	22064391587
2014	2,861,410,922	551,750,669	1,576,430,483	4,989,592,074	14,053,644,471	9,064,052,397	227,090,129	8,836,962,268	2,209,240,567	6,627,721,701	28692113288
2015	3,090,323,494	472,929,145	1,576,430,483	5,139,683,122	15,599,545,363	10,459,862,242	227,090,129	10,232,772,113	2,558,193,028	7,674,579,085	36366692373
2016	3,337,549,373	394,107,621	1,576,430,483	5,308,087,477	17,315,495,353	12,007,407,876	227,090,129	11,780,317,747	2,945,079,437	8,835,238,310	45201930683
2017	3,604,553,323	315,286,096	1,576,430,483	5,496,269,903	19,220,199,842	13,723,929,939	227,090,129	13,496,839,810	3,374,209,953	10,122,629,858	55324560541
2018	3,892,917,589	236,464,572	1,576,430,483	5,705,812,644	21,334,421,825	15,628,609,180	227,090,129	15,401,519,051	3,850,379,763	11,551,139,289	66875699830
2019	4,204,350,996	157,643,048	1,576,430,483	5,938,424,527	23,681,208,225	17,742,783,698	227,090,129	17,515,693,569	4,378,923,392	13,136,770,177	80012470006
2020	4,540,699,520	78,821,524	1,576,430,483	6,195,951,527	26,286,141,130	20,090,189,604	227,090,129	19,863,099,475	4,965,774,869	14,897,324,606	94909794612
2021	4,903,955,481			4,903,955,481	29,177,616,655	24,273,661,173	227,090,129	24,046,571,044	6,011,642,761	18,034,928,283	1.12945E+11
2022	5,296,271,920			5,296,271,920	32,387,154,487	27,090,882,567	227,090,129	26,863,792,438	6,715,948,109	20,147,844,328	1.33093E+11
2023	5,719,973,673			5,719,973,673	35,949,741,480	30,229,767,807	227,090,129	30,002,677,678	7,500,669,419	22,502,008,258	1.55595E+11
2024	6,177,571,567			6,177,571,567	39,904,213,043	33,726,641,476	227,090,129	33,499,551,347	8,374,887,837	25,124,663,510	1.80719E+11
2025	6,671,777,293			6,671,777,293	44,293,676,478	37,621,899,185	227,090,129	37,394,809,056	9,348,702,264	28,046,106,792	2.08765E+11
2026	7,205,519,476			7,205,519,476	49,165,980,890	41,960,461,414	227,090,129	41,733,371,285	10,433,342,821	31,300,028,464	2.40065E+11
2027	7,781,961,034			7,781,961,034	54,574,238,788	46,792,277,754	227,090,129	46,565,187,625	11,641,296,906	34,923,890,719	2.74989E+11
2028	8,404,517,917			8,404,517,917	60,577,405,055	52,172,887,138	227,090,129	51,945,797,009	12,986,449,252	38,959,347,757	3.13949E+11

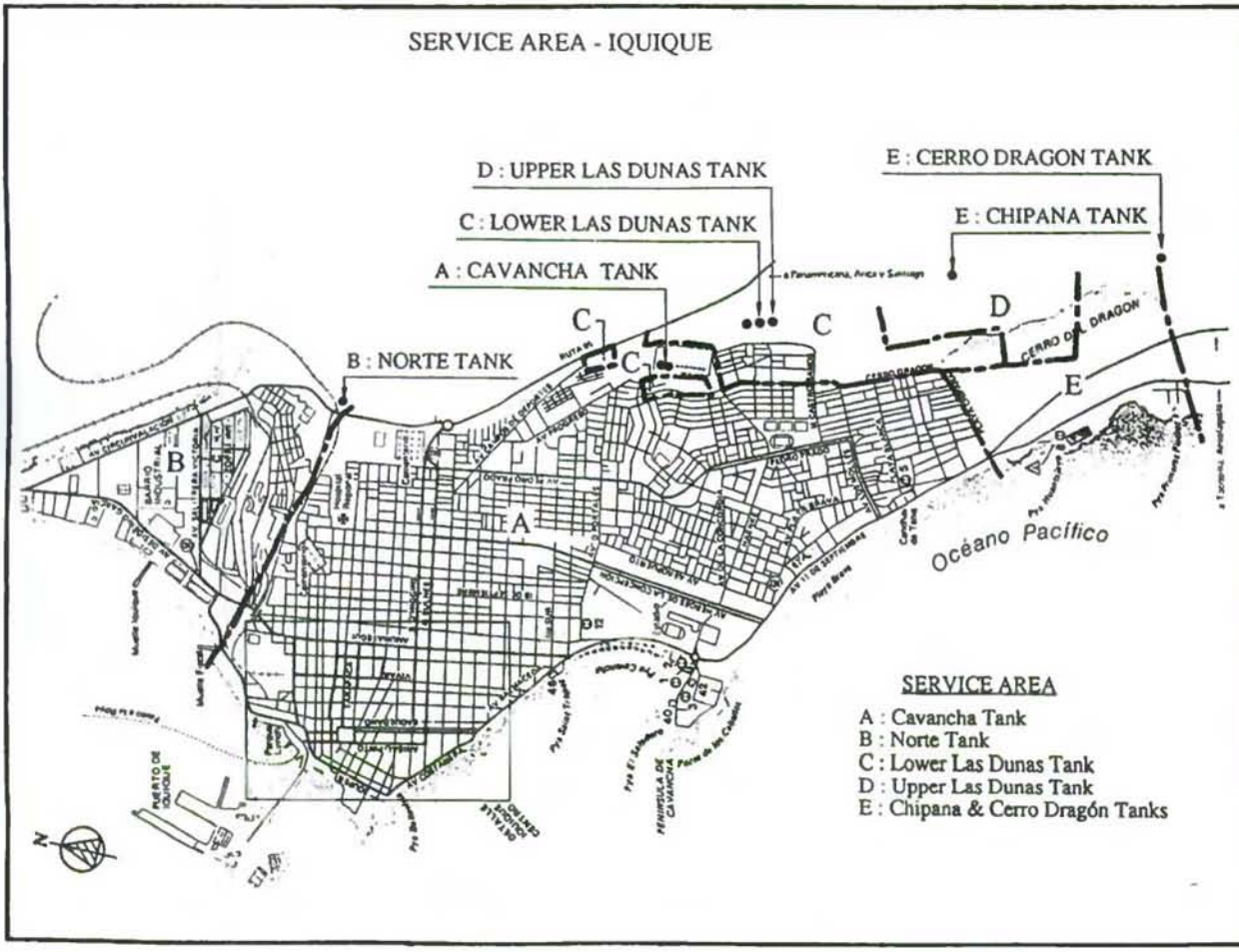


Fig. 7.2 Water Supply Services Area - Iquique
<Area del Servicio de Abastecimiento de Agua - Iquique>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

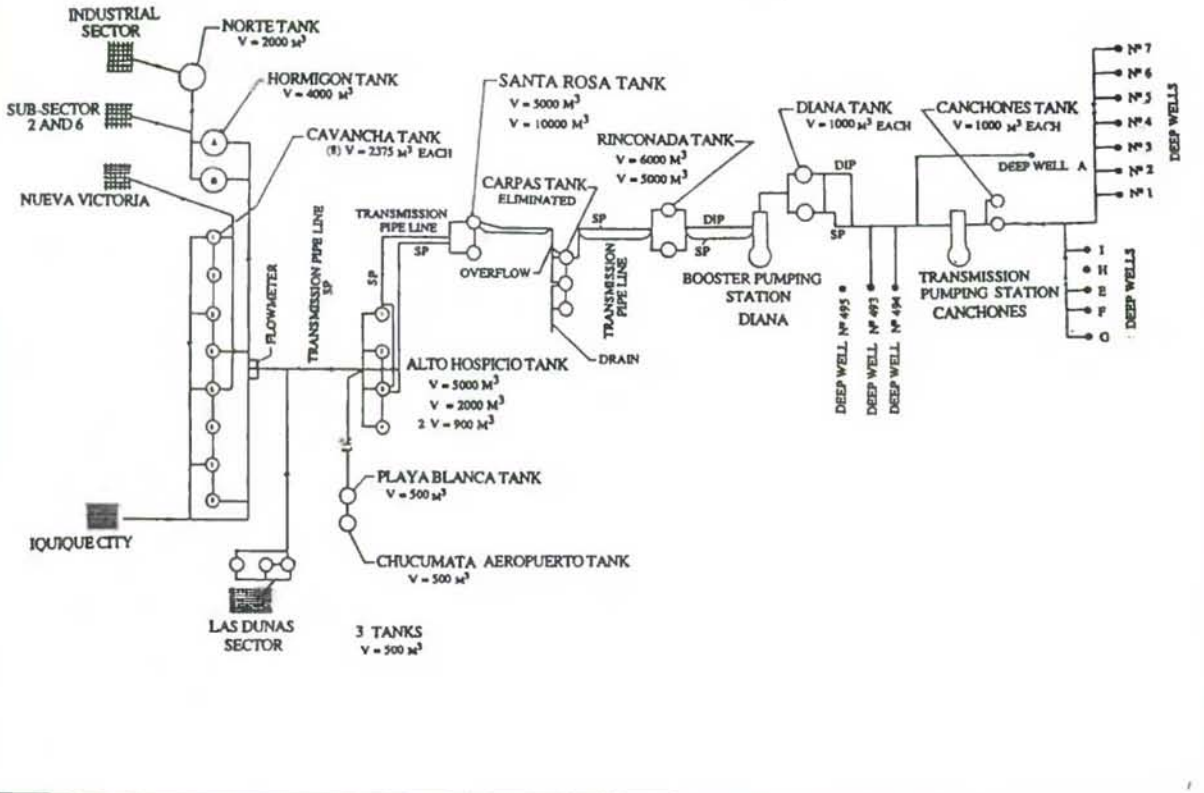


Fig. 7.1 Outline of Water Supply Facilities for Iquique
<Basquejo del Facilidad de Abastecimiento de Agua para Iquique>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

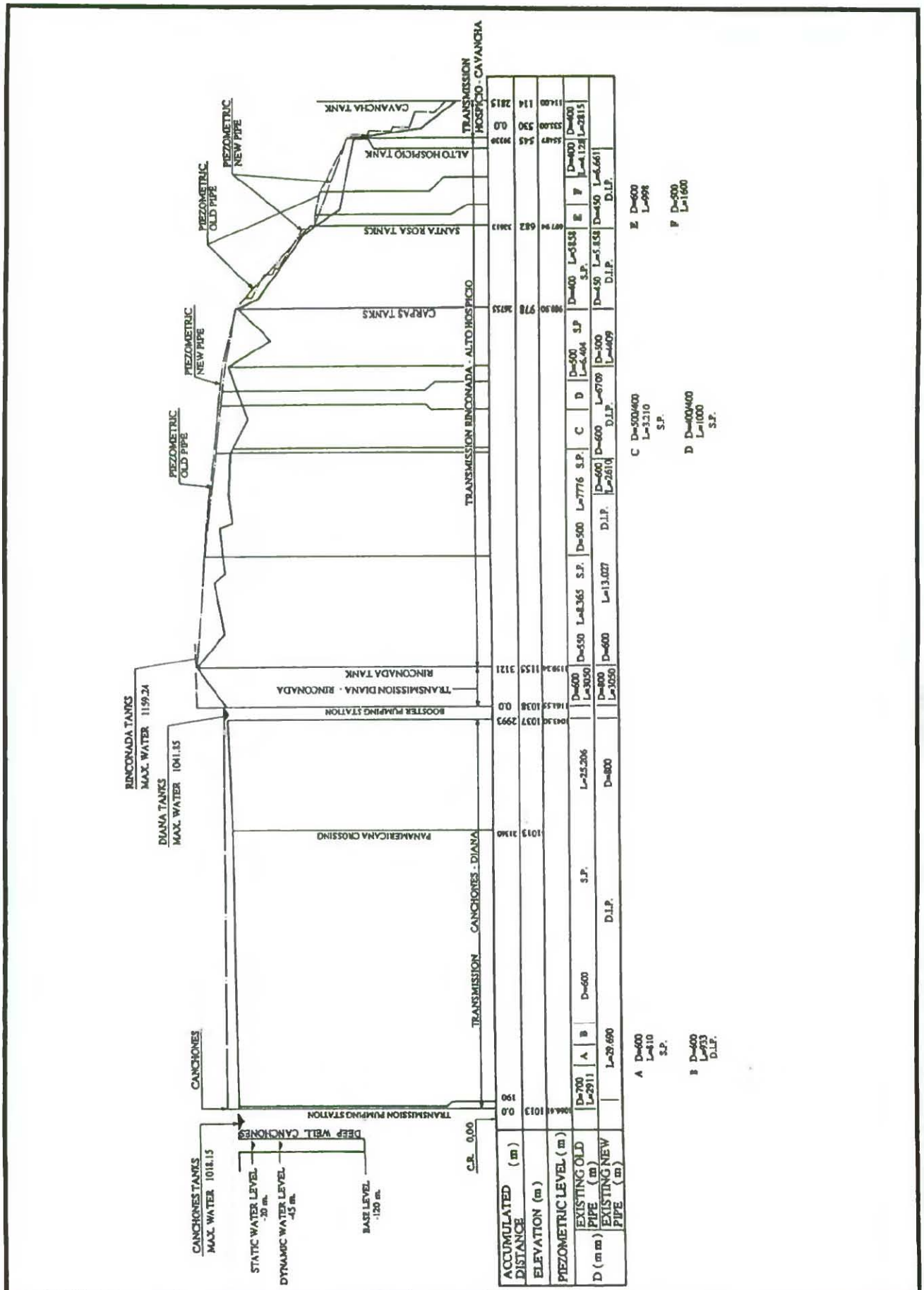


Fig. 7.3 Longitudal Profile of Transmission Pipeline (Canchones-Cavancha-Iquique)

<Perfil Longitudinal de las cannerias de Transmisión (Canchones-Cavancha-Iquique)>

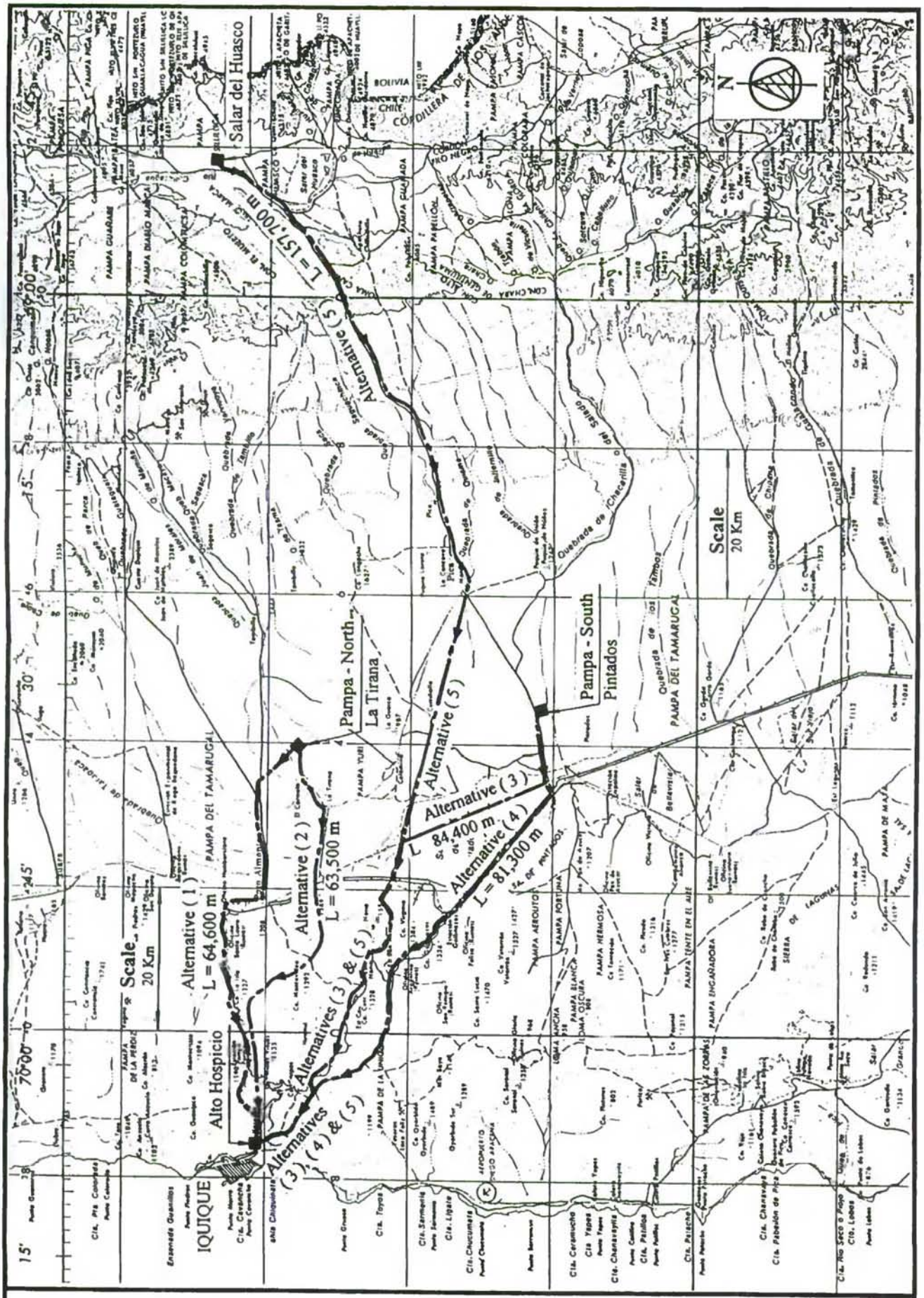


Fig. 7.4 Pipelines Alternatives (1) - (5) for Iquique Water Supply (from Water Resources to alto Hospicio)

<Tuberías Alternativas (1) - (5) para el Abastecimiento de Agua para Iquiqe (desde las Fuentes hasta alto Hospicio)>

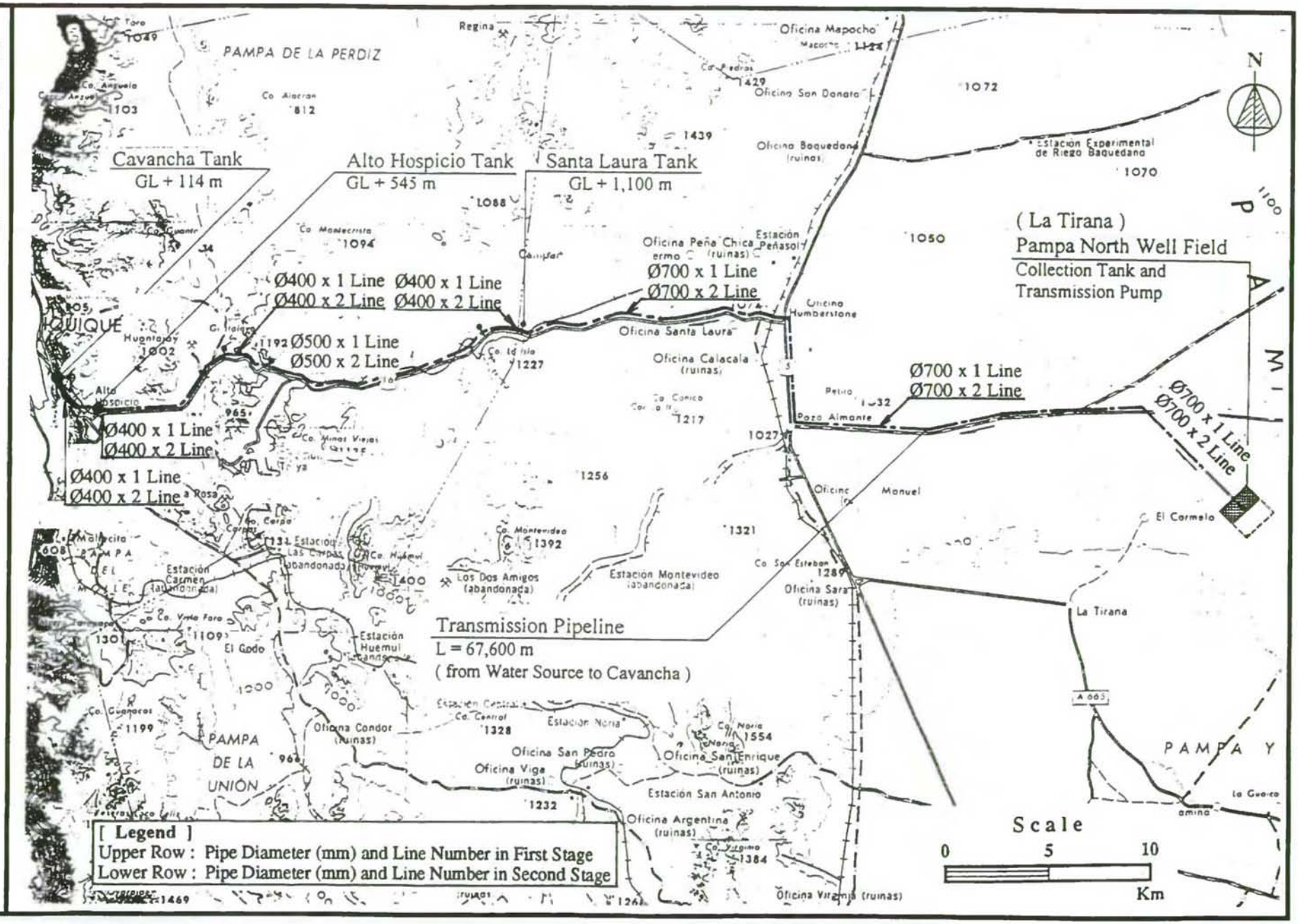


Fig. 7.5 Proposed Transmission Pipeline

<*Cañería de Conducción Prospuesta*>

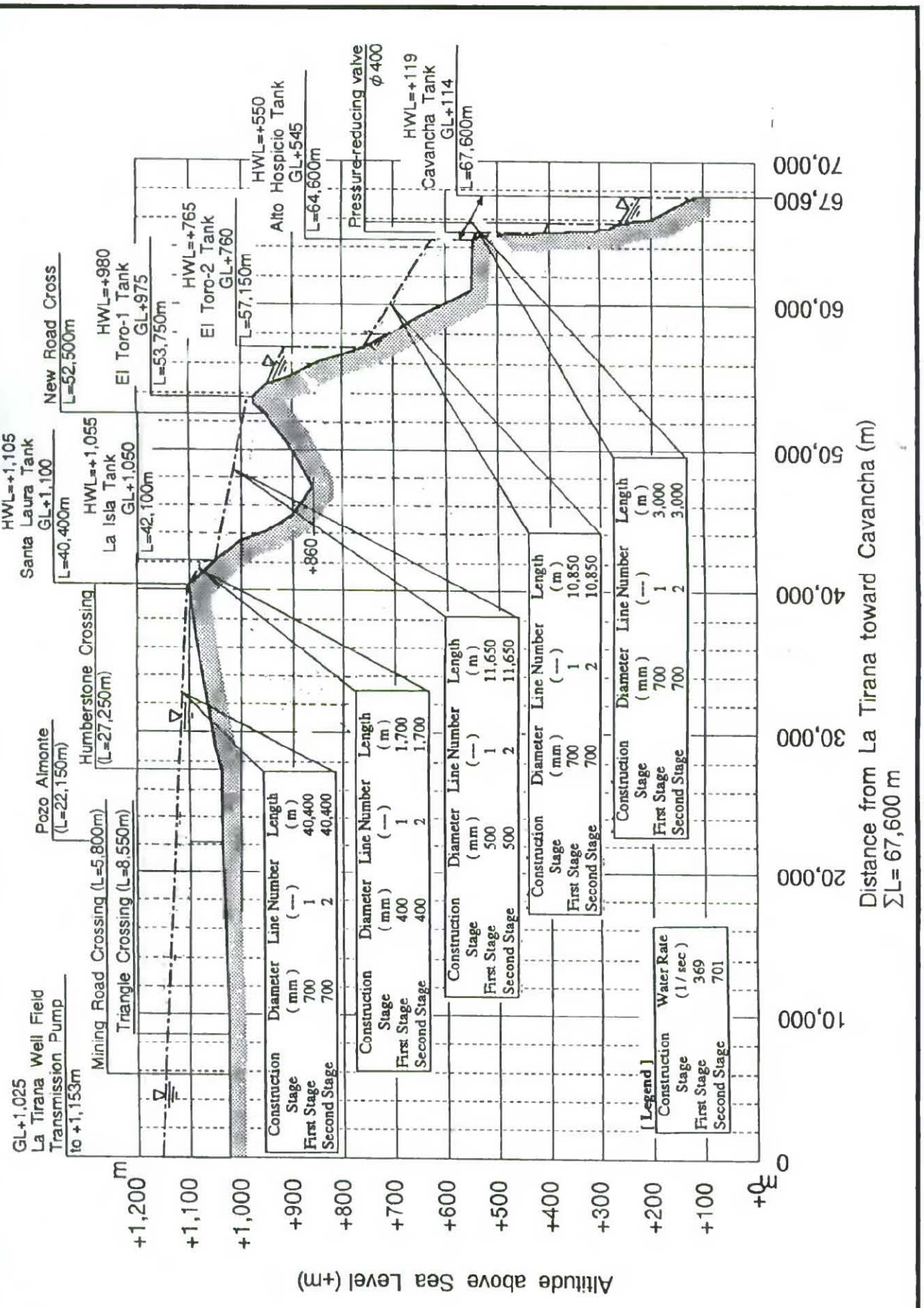
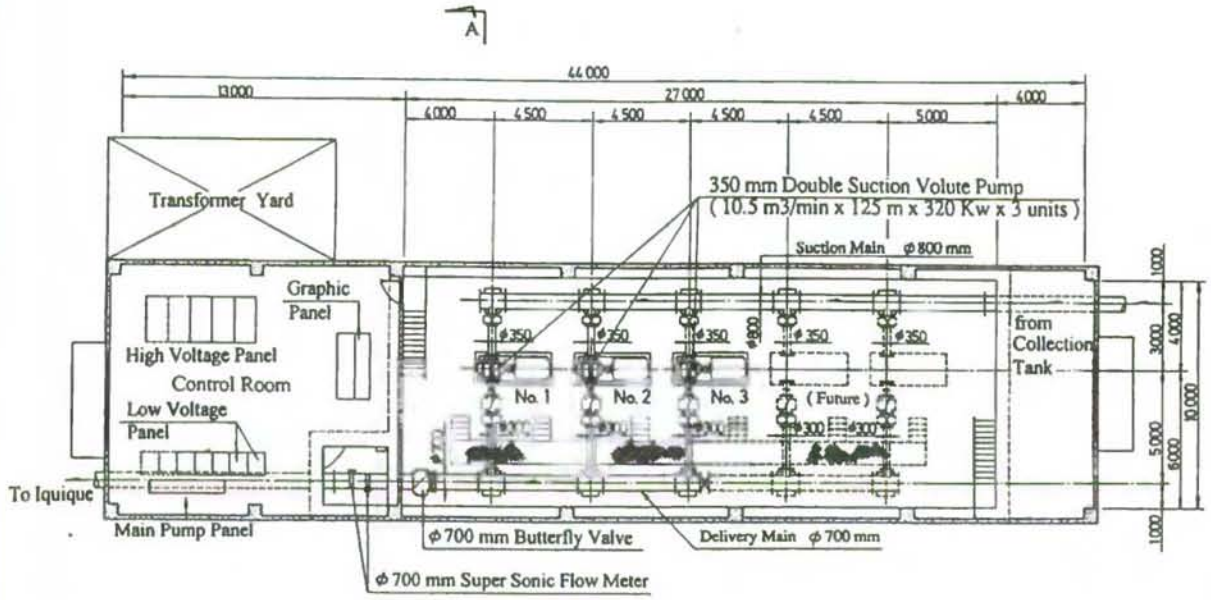


Fig. 7.6 Longitudinal Profile of Proposed Transmission

<Perfil Longitudinal dela Conducción Prospuesta>



Transmission Pump Station - Plan

Fig. 7.8 Transmission Pump Station in La Tirana Well Field - Plan
<*Planta Elevadora de Conducción Prospuesta en al Baeria de Pozos en La Tirana - Planta*>

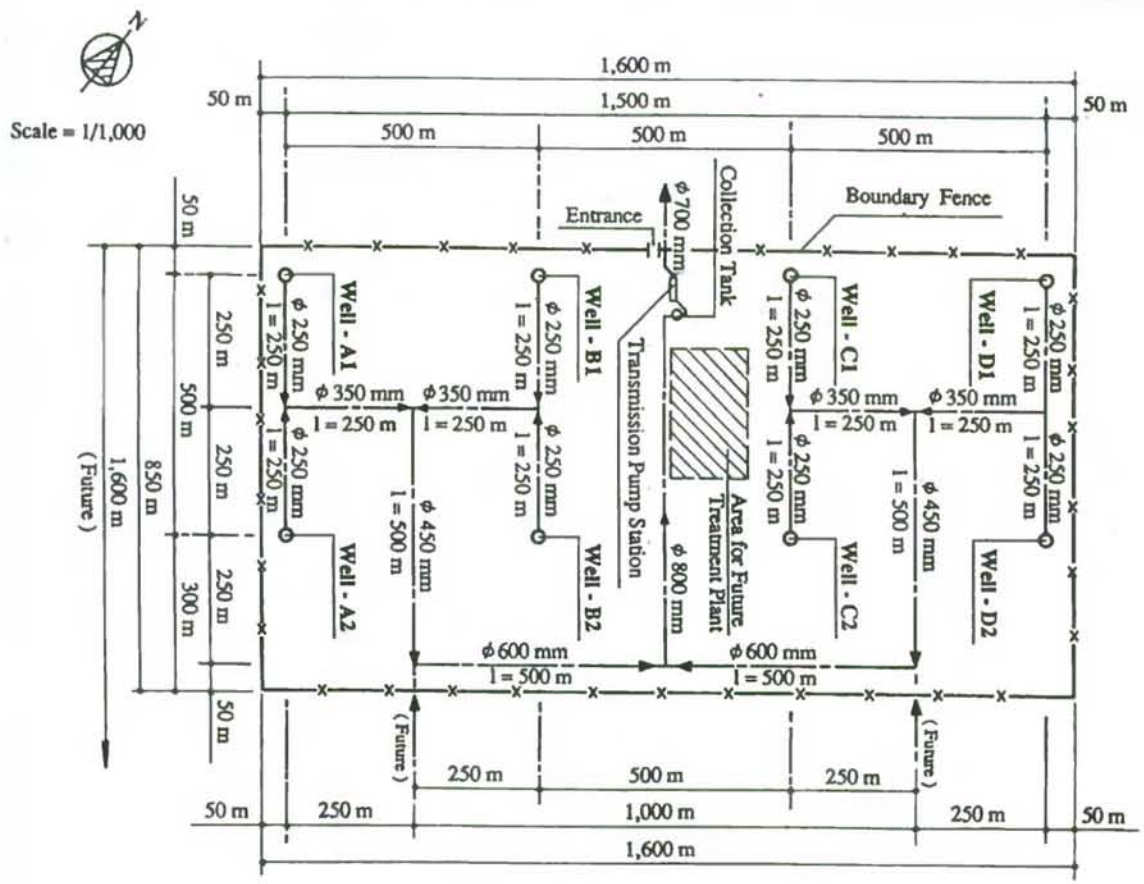


Fig. 7.7 Layout of La Tirana Well Field (1st Stage)
<*Distribución de la Bateria de Pozos de La Tirana (1ª Etapa)*>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE | JICA

CAPITULO VIII RECOMENDACIONES

Capítulo VIII RECOMENDACIONES

1) Estudios Posteriores para el Desarrollo de los Recursos de Agua para la Ciudad de Arica

Se espera que el Desarrollo del Abastecimiento de Agua en el Bajo Lluta satisfaga la demanda de agua de la ciudad de Arica sólo hasta el año 2003. Proyectos tales omo se muestran abajo deberían de ser estudiados para satisfacer la demanda de agua después del año 2003.

(1) Manejo de cuencas de los ríos Lluta y San José
(2) Desarrollo de aguas subterráneas de la cuenca del río en Altiplano
(3) Desarrollo del Agua superficial del río Lluta mediante una presa/reservorio
(4) Desarrollo de aguas subterráneas en el área de La Concordia
(5) Reciclage de aguas residuales en la ciudad de Arica
(6) Desalinización del agua de mar
(7) Reducción de la pérdida de agua en la ciudad de Arica

2) Conservación de la Aguas Subterráneas en el Valle de Azapa

Los recursos de aguas subterráneas del valle de Azapa serán agotados en un período de 20 años si el uso de agua existente continúa. Las siguientes acciones deberán ser tomadas para prolongar la vida de las aguas subterráneas.

(1) Los derechos de agua de ESSAT, otorgados temporalmente por el Proyecto de Abastecimiento de Agua de Emergencia, deberán ser revocados inmediatemente después de que se haya encontrado una solución final para el suministro de agua a la ciudad de Arica.
(2) La pérdida de agua existente en las redes de distribución de la ciudad de Arica es de aproximadamente 40%. Esta pérdida deberá ser reducida a 30% para el año 2005 como se asumió en la proyección de la demanda de agua futura en este Estudio.
(3) El uso de agua para agricultura deberá ser estrictamente controlado. Una expansión adicional de las tierras agrícolas no es recomendable y el consumo total de irrigación (consumo real) en el futuro no deberá exceder el nivel existente.
(4) Una parte del agua del río se desborda al mar en época de inundaciones. La construcción de presas de recarga de aguas subterráneas en las secciones media y aguas arriba podrán retardar el agua de inundación por un corto período y

luego liberarla lentamente para aumentar la recarga de agua subterránea en el valle de Azapa.

3) Tratamiento del Agua Cruda Exitente en Canchones

La calidad del agua subterránea en el campo de pozos de Canchones de Pampa del Tamarugal (fuente de agua existente de la ciudad de Arica) no cumple las normas del agua potable en términos de Mn y As. Los contenidos de estos elementos son afortunadamente disminuídos a un nivel inferior alcanzando los estándares requeridos antes de alcanzar a los consumidores debido a los efectos de la purificación natural en los tanques y tuberías de transmisión.

Sin embargo, los efectos de la purificación natural no son confiables. Por lo tanto, se debe aplicar un tratamiento de agua artificial en el futuro.

5) Re-confirmación de la Calidad de Agua del Campo de Pozos Propuesto en La Tirana

La calidad del agua subterránea del campo de pozos propuesto en La Tirana fue estimada de la de las áreas vecinas en este Estudio. La calidad del agua de esos pozos existentes es adecuada para ser utilizada como agua potable sin tratamiento. El pozo de agua limpia más cercana al campo de pozos propuesta está cerca del pueblo de La Tirana aproximadamente 10 km al sureste del campo de pozos propuesto. Por lo tanto, agua subterránea limpia que no requiere de tratamiento es explotable dentro o cerca del campo de pozos propuesto.

Sin embrago, antes de determinar la localización detallada del campo de pozos, se recomienda reconfirmar la calidad del agua del campo de pozos propuesta por medio de la perforación de un pozo de prueba.

6) Monitoreo del Agua Subterrána

El sitema de monitoreo de aguas subterráneas existente en el valle de Azapa, valle del Bajo Lluta, y Pampa del Tamarugal deberá de ser fortalecido.

REFERENCES

1. "CALIDAD DE AGUA PRIMERA REGION",
   Armando Vásquez Cañete.
   Laboratorio Hidrológico - Dpto. Hidrología D.G.A - M.O.P 1978

2. "ANALISIS CRITICO DE LA RED FLUVIOMETRICA NACIONAL - PROCESAMIENTO ESTADISTICA DE CALIDA DE AGUAS I Y II REGION." BF Ingenieros Civiles - Dpto. Hidrología D.G.A. M.O.P. 1984 AGOSTO - ANEXO

3. "ANALISIS CRITICO DE LA RED DE MEDICION DE NIVELES DE AGUAS SUBTERRANEA", Alamos y Peralta - Ing. Consultores Ltda. Dpto. Hidrología - D.G.A. M.O.P. 1987 - Diciembre Informe Final

4. "ESTUDIO DEL VALLE DEL RIO LLUTA"
   Hans Niemeyer F. - Ingeniero Civil
   Dirección de Riego - Junta de Adelanto de Arica - M.O.P. 1968

5. "MODELO DE SIMULACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DEL VALLE DE AZAPA"
   Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. - Ing. Consultores - con Asesoría de Ipla Ltda. - Dpto. Hidrología D.G.A. M.O.P. 1989 Enero. (Texto principal, Manuel de uso y 12 planos)

6. "INVESTIGACION DE EVENTOS HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS - PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24, 48 Y 72 HORAS"
   BF Ingenieros Civiles - Dpto. Hidrología - D.G.A. M.O.P. 1989 Febrero - Tomo 1 de 2

7. "RECURSOS DE AGUA Y SU APROVECHAMIENTO EN EL VALLE DE AZAPA"
   Gerardo Díaz - Agustín Hojas - Jorge Orellana
   Dpto. de Recursos Hidraúlicos - D.G.A. M.O.P. 1972 Diciembre Anexos, Texto principal.

8. "ESTUDIO DE HIDROLOGIA ISOTOPICA - AREA SALAR DE LLAMARA - DESIERTO DE ATACAMA - CHILE", Informe final, Proyecto Investigación OIEA 301-F3-CHI-3715/65 - D.G.A. - MOP. Comisión Chilena de Energía nuclear/Gesellschaft Für Strahlen - Und Umweltforschung, München - RFA 1987 Septiembre.

9. "ESTUDIO DE LAS PRECIPITACIONES DE LA REGION DE TARAPACA"
   ICC - Conic Ingenieros Consultores D.G.A. - M.O.P. 1982 - Mayo

10. "EVALUACION DE LA EVAPORACION DESDE SALARES UTILIZANDO TRAZADORES NATURALES AMBIENTALES"
    Alejandro Grilli Dorna-Fernández D.G.A. M.O.P.
    Sociedad Chilena de Ingeniería Hidraúlica - VIII Congreso Nacional 1987.

11. "HIDROLOGIA ISOTOPICA EN ZONA PICA-ESMERALDA - PROVINCIA DE IQUIQUE", Torres, Martinez y Cia. Ltda. - Ingenieros Consultores.

12. "RECURSOS HIDRICOS EN LAS PROVINCIAS DE ARICA Y PARINACOTA" - (Charla) Alejandro Grilli Dorna-Fernández - D.G.A. 1989-Agosto.

13. "RESEÑA SOBRE LAS EXPLORACIONES PETROLIFERAS DE LA ENAP EN LA ZONA NORTE", Años 1956 A 1962 - Carlos Mordojovich K. - 1965 Junio.

14. "CATASTRO DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS" - Dpto. Hidrología D.G.A. - M.O.P. - 1980 - Junio.

15. "ANTECEDENTES POBLACION Y VIVIENDA ARICA - IQUIQUE"
Dpto. de Estadísticas Demográficas y Sociales - 1993 - Abril.

16. "ANALISIS CRITICO DE LA RED FLUVIOMETRICA NACIONAL I REGION"
IRH - Ingeniería y Recursos Hidraúlicos - Dpto. Hidrología D.G.A. - M.O.P. 1983 Septiembre.

17. "MAPA HIDROGEOLOGICO DE CHILE - ESCALA 1:2.500.000 D.G.A. M.O.P. - 1986 - Diciembre.

18. "ESTUDIOS DEL ORIGEN Y PROCESO SALINIZACION DE LAS AGUAS DEL RIO SAN JOSE - I REGION - CHILE" documento de Sintesis Nº 1/92 Humberto Peña - Alberto Pollastri - Carlos Salazar - Rodrigo Gutiérrez D.G.A. - M.O.P. 1991 - Noviembre.

19. "EVAPORACION DESDE SALARES : METODOLOGIA PARA EVALUAR LOS RECURSOS HIDRICOS RENOVABLES - APLICACION EN LAS REGIONES I Y II"
Dpto. de Hidrología - D.G.A. - M.O.P. (Publicación Interna SDEH 86/4 - 1986.)

20. "SITUACION DE RECURSOS HIDRICOS I REGION - FEBRERO, 1992"
Servicio Agrícola y Ganadero - Dirección de Riego - D.G.A. Dpto. Hidrología - D.G.A. - M.O.P. 1992 - Marzo.

21. "OPERACION DEL MODELO DE SIMULACION DE RECURSOS HIDRICOS DEL VALLE DE AZAPA" - ANALISIS DE SITUACION HIDROLOGICAS EXTREMAS Y SU IMPACTO EN LOS RECURSOS SUBTERRANEOS" - Felix Pérez S. - Dpto. Hidrología - D.G.A. - M.O.P. - 1990 - Abril.

22. "ACTUALIZACION DE LA ESTADISTICA METEOROLOGICA - TEMPERATURAS DIARIAS" - BF Ingenieros Civiles - Dpto. Hidrología - D.G.A. M.O.P. 1991 - Febrero.

23. "CONVENIO DE ESTUDIOS HIDROLOGICOS"
Tte. Nestor Vera - Roberto Castillo - Regimiento Ing. Azapa - D.G.A. - U.T.A.

24. "ESTADISTICAS DE PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES ESTACIONES D.G.A. - PERIODO COMPLETO" - 1993 - Mayo (sin encuadernar)

25. "ESTRATIGRAFIAS DE POZOS Nº D.G.A.-256, D.G.A.-258, D.G.A.-292, D.G.A.-315, D.G.A.-320.(Pedido por Sr. Murata, faltaría pozo D.G.A.-323)

26. "ANALISIS DE CALIDAD QUIMICA".
(Texto encuadernado sin título)

27. INFORME GEOLOGICO POZO SOLEDAD No1
ENAP - Marzo 1987.

28. Plano con Ubicación de líneas sísmicas digitales zona norte #1.

29. Plano con ubicación de líneas sísmicas digitales zona norte #2.

30. Análisis Agua Sondaje ENAP Pampa Tamarugal Iquique.

31. MAP 1 : DIAGRAM OF GRAVITY BASES.
CHILE HUNT OIL COMPANY. 1989

32. MAP 2 : BASE MAP WITH LOCATION OF GRAVITY STATIONS.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY. 1989

33. MAP 3 : BASE MAP WITH BOUGUER VALUES.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

34. MAP 3 : BASE MAP WITH BOUGUER VALUES - C.I. : 10 MGALS.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

35. MAP 4 : REGIONAL GRAVITY CONTOUR MAP.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

36. MAP 5 : BASEMAP WITH RESIDUAL VALUES.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

37. MAP 5 : BASE MAP WITH RESIDUAL VALUES - C.I. : 10 MGALS.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

38. MAP 6 : BASE MAP WITH ELEVATION VALUES.
ESCALA : 1 : 100,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

39. MAP 7 : BASE MAP WITH LOCATION OF GRAVITY STATIONS.
ESCALA : 1 : 250,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

40. MAP 8 : BASE MAP WITH BOUGUER VALUES.
ESCALA : 1 : 250,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

41. MAP 9 : REGIONAL GRAVITY CONTOUR MAP.
ESCALA 1 : 250,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

42. MAP 10 : BASE MAP WITH RESIDUAL VALUES.
ESCALA : 1 : 250,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

43. MAP 11 : BASE MAP WITH ELEVATION VALUES.
ESCALA : 1 : 250,000
CHILE HUNT OIL COMPANY 1989

44. ESQUEMA GEOLOGICO DE LA PROVINCIA DE ARICA.
AUTOR : MARINO P., MARIO. 1976
622.12/116

45. GEOLOGY, GEOMORPHOLOGY, AND PETROLEUM POSSIBILITIES OF THE EL GODO AREA, IQUIQUE, CHILE. 1988
AUTOR : CECIONI, G. Y OTROS.
622.12/413

46. RECOFILACION DE LA INFORMACION GRAVIMETRICA ENTRE LOS PARALELOS.
20 Y 26 E INTERPRETACION DE ANOMALIAS RELEVANTES.
AUTOR : JARA I., CARLOS. 1985
622.1523/078

47. GRAVIMETRIA - PROSPECTO ALTIPLANO DE ARICA. INFORME DE INTERPRETACION.
AUTOR : GIAVELLI I., ALDO. 1989
622.1523/106-C

48. ALTIPLANO DE IQUIQUE PROJECT - GRAVITY SURVEY.
AUTOR : CHILE HUNT OIL COMPANY 1992
622.1523/124-C

49. "BIOLOGIA Y COMPORTAMIENTO DE LOS FLAMENCOS DEL SALAR DE SURIRE"
Rosalindo palma Becerra - CONAF - Dirección Regional I Región, Ministerio de Agricultura, 1987.

50. "CONSERVACION DE LOS FLAMENCOS EN EL NORTE DE CHILE"
Mario Parada Meyer - CONAF - Chile - New York Zoological Society, U.S.A. Septiembre, 1987.

51. "DIATOMEAS Y CYANOFITAS DE LAS LAGUNAS DEL SALAS DE SURIRE"
Gana, E. Marinkovic. M.S. Melgarejo, J. Parada - Seminario de Título. Prof. Guía : Jorge Cruz B. - Universidad Arturo Prat - Dpto. de Eduación y Humanidades - 1991.

52. "HABITOS ALIMENTARIOS DE PHOENICOPTERUS CHILENSIS (Molina 1782), PHOENICOPARRUS ANDINUS (PHILIPPI 1854), Y PHOENICOPARRUS JAMESI (SCLATER 1886) EN LAGUNAS CHILCAYA VIEJO, ROSADA Y RIO BLANCO DEL MOVIMIENTO NATURAL SALAR DE SURIRE (18º 50' Lat. Sur y 69º30' Long. Oeste)"
P. Gallardo, E. Rodriguez - Seminario de Titulo - Prof. Guia : Walter Sielfeld K. - Prof. Colab. : Liliana Herrera - Universidad Arturo Prat - Dpto. de Educación y Humanidades - 1992.

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS
3 5617 00003 3373