

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 esto 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 evapotranspiración 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 $9,141.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{año}$ (= 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 $4,094,800 \text{ m}^3/\text{año}$ 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 $5,342.8 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$ (= 169.4 l/s).

La evapo-transpiración total anual de los cultivos se calcula en $3,755.5 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$ (= 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 Irigada (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:

$$\begin{aligned} \text{Promedio Anual de la Demanda de Agua} &= 0.61 \text{ l/s/ha} \times 430 \text{ familias} \\ &= 1,290 \text{ l/s} \end{aligned}$$

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.

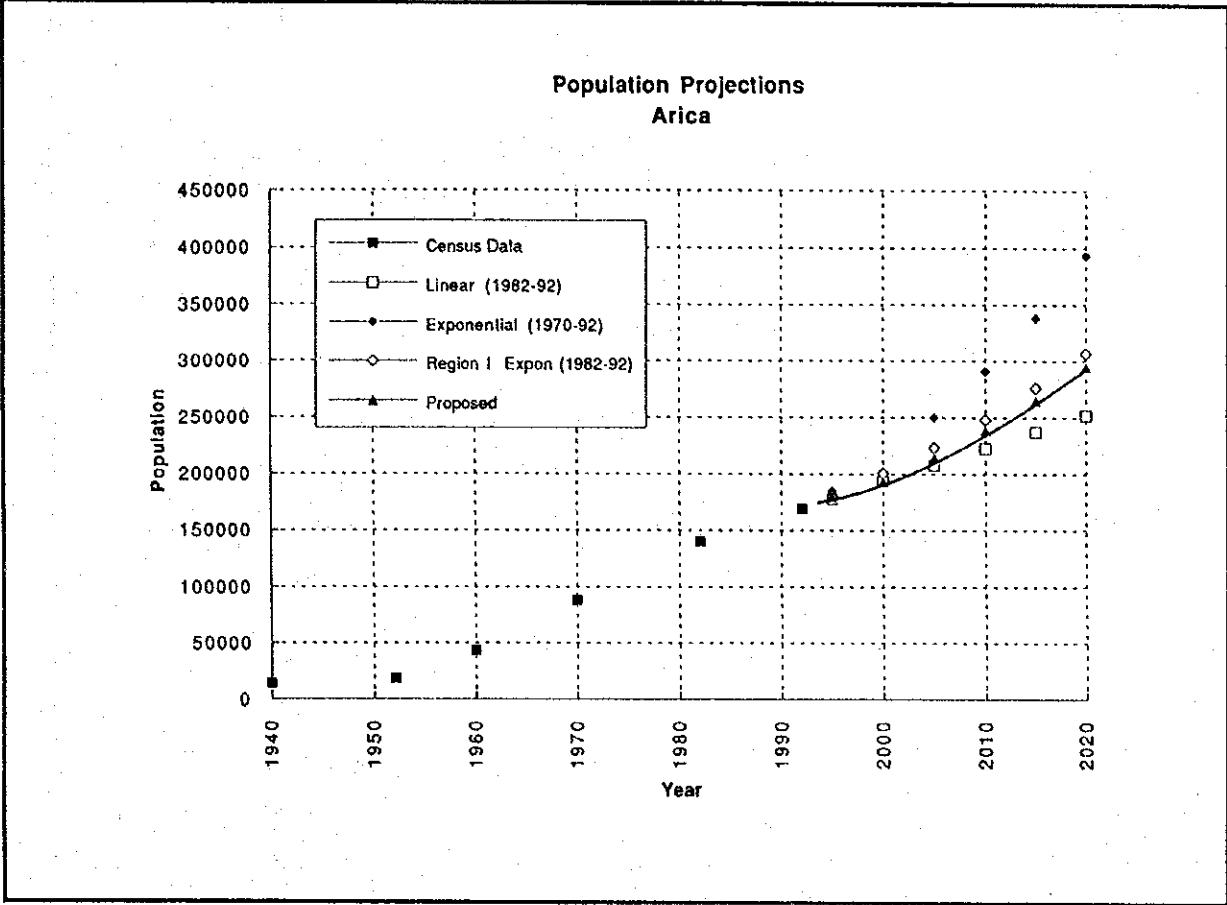


Fig. 3.2 Population Projections - Arica
< Proyección de la Población - Arica >

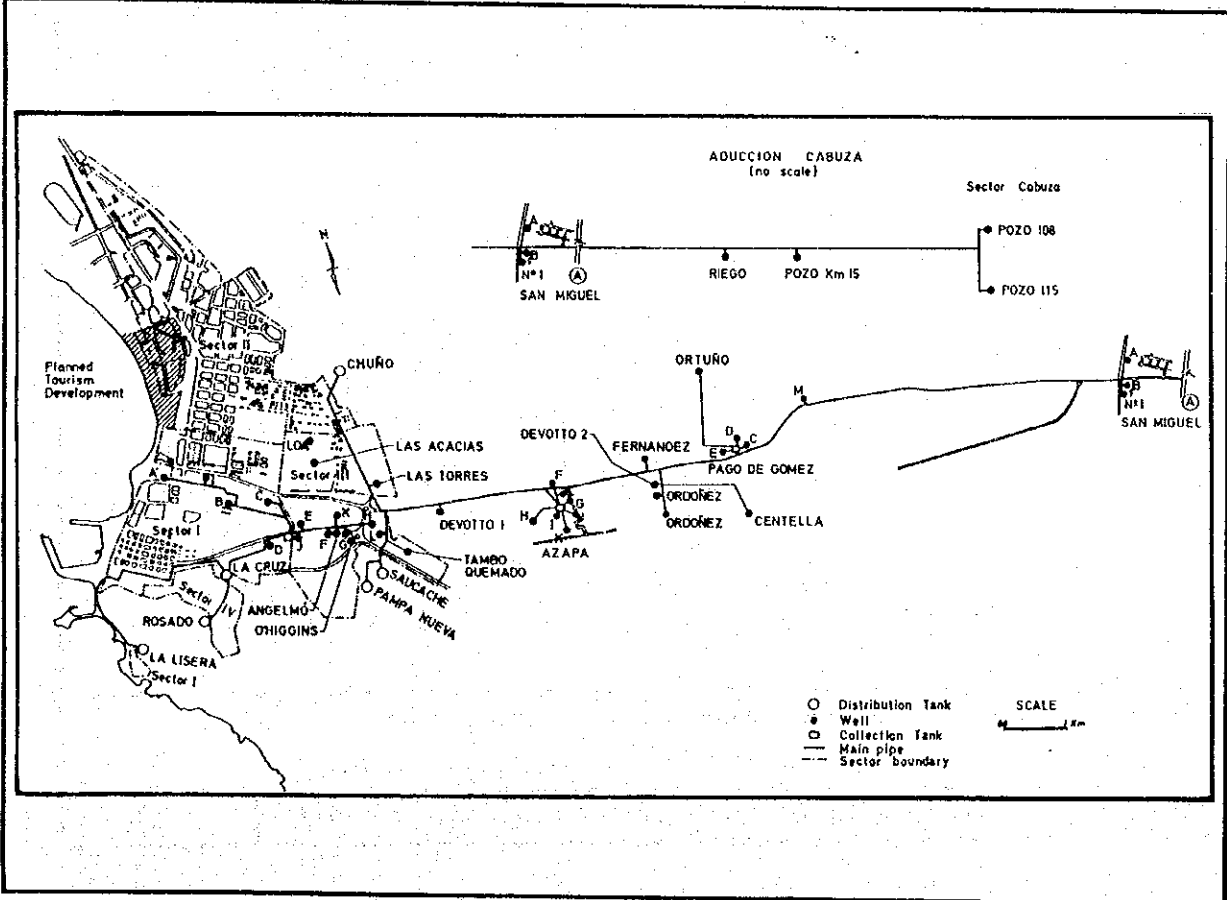


Fig. 3.1 Existing Municipal Water Supply System of Arica City
< Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Existente de Arica >

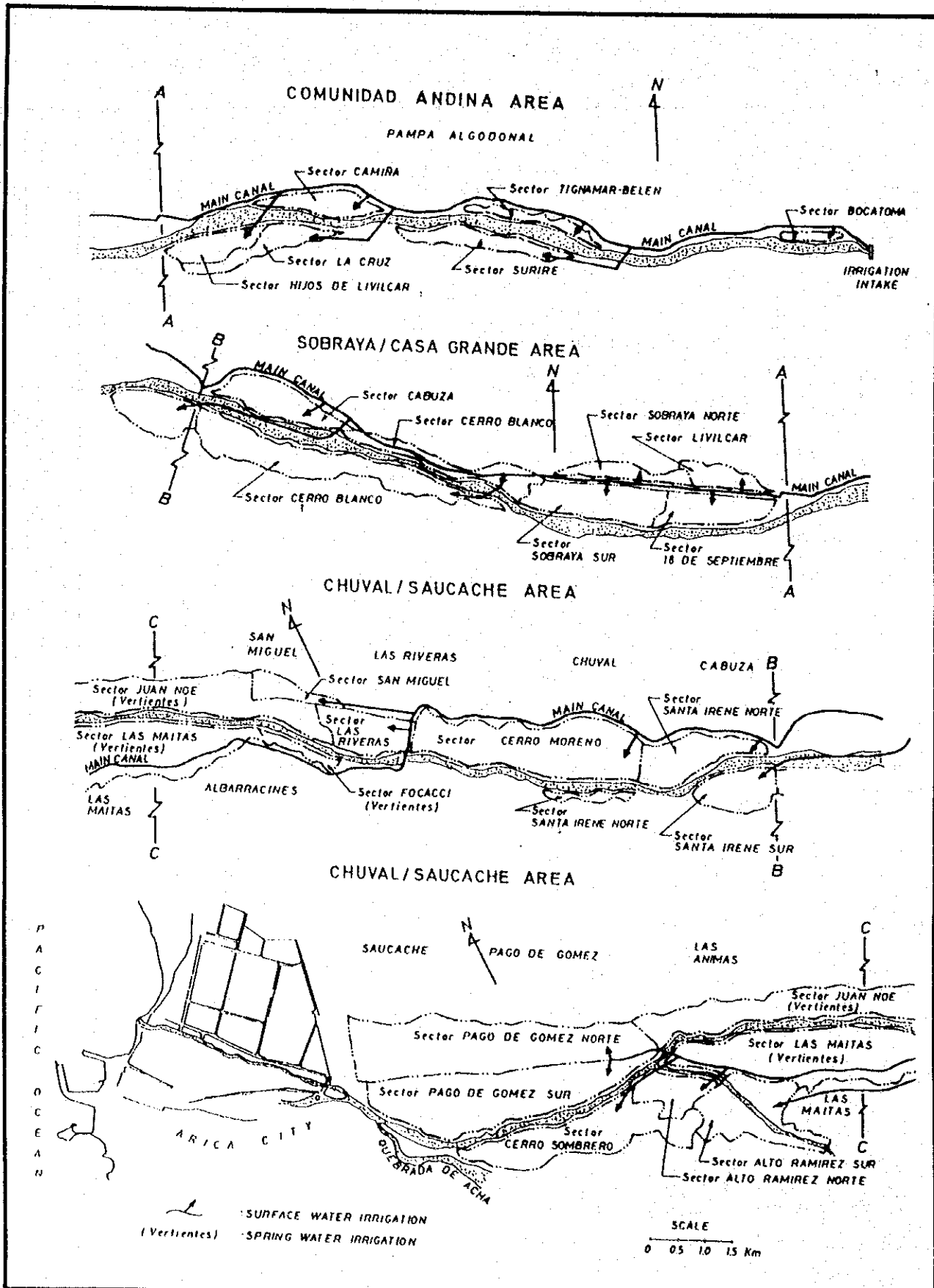


Fig. 3.3 Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Azapa Valley
 <Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Azapa

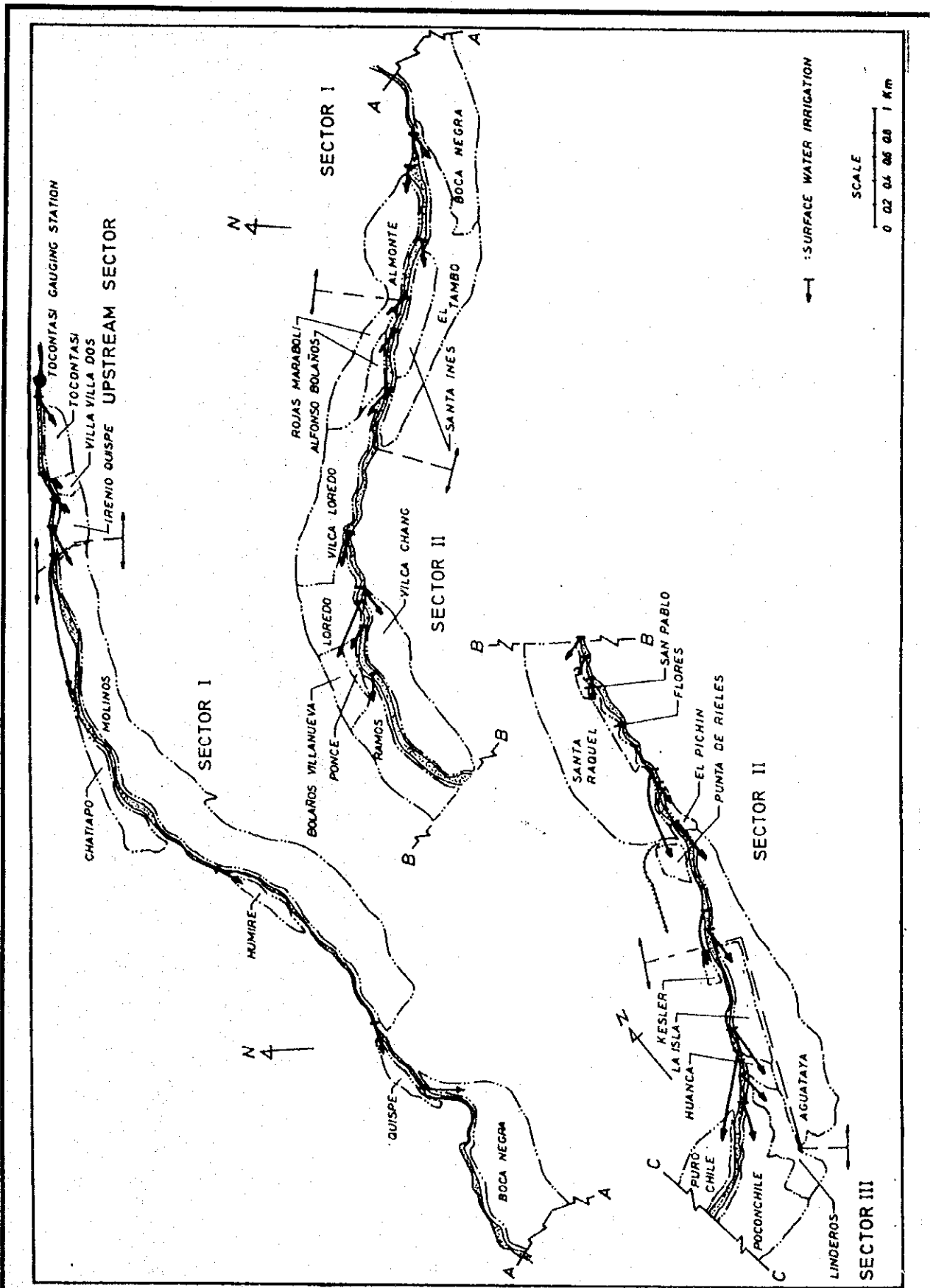


Fig. 3.4 (1) Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Lluta Valley
 <Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Lluta>

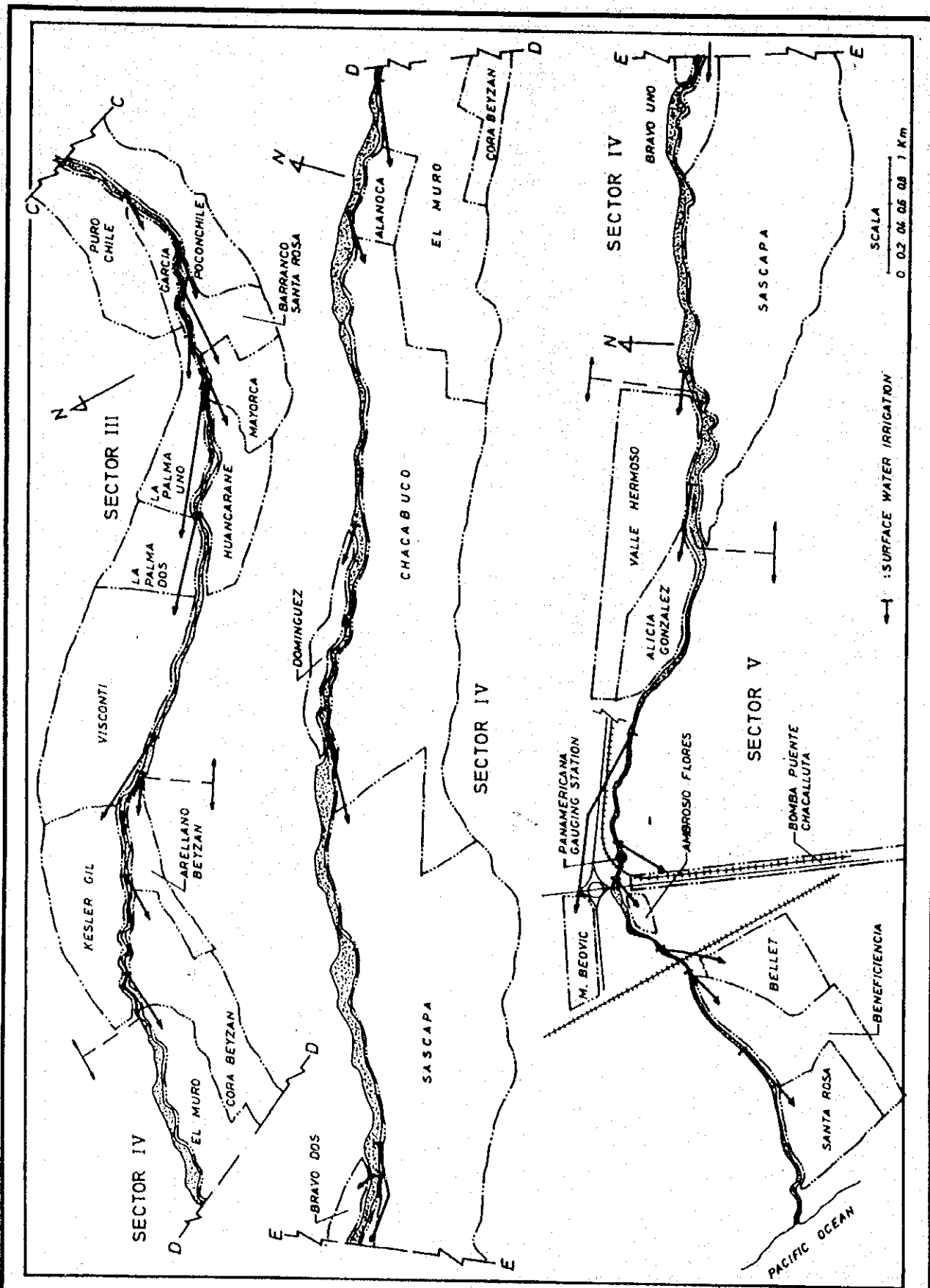


Fig. 3.4 (2) Location of Irrigation Sectors and Sub-sectors - Lluta Valley
 <Ubicación de Sectores y Sub-sectores de Riego - Valle de Lluta>

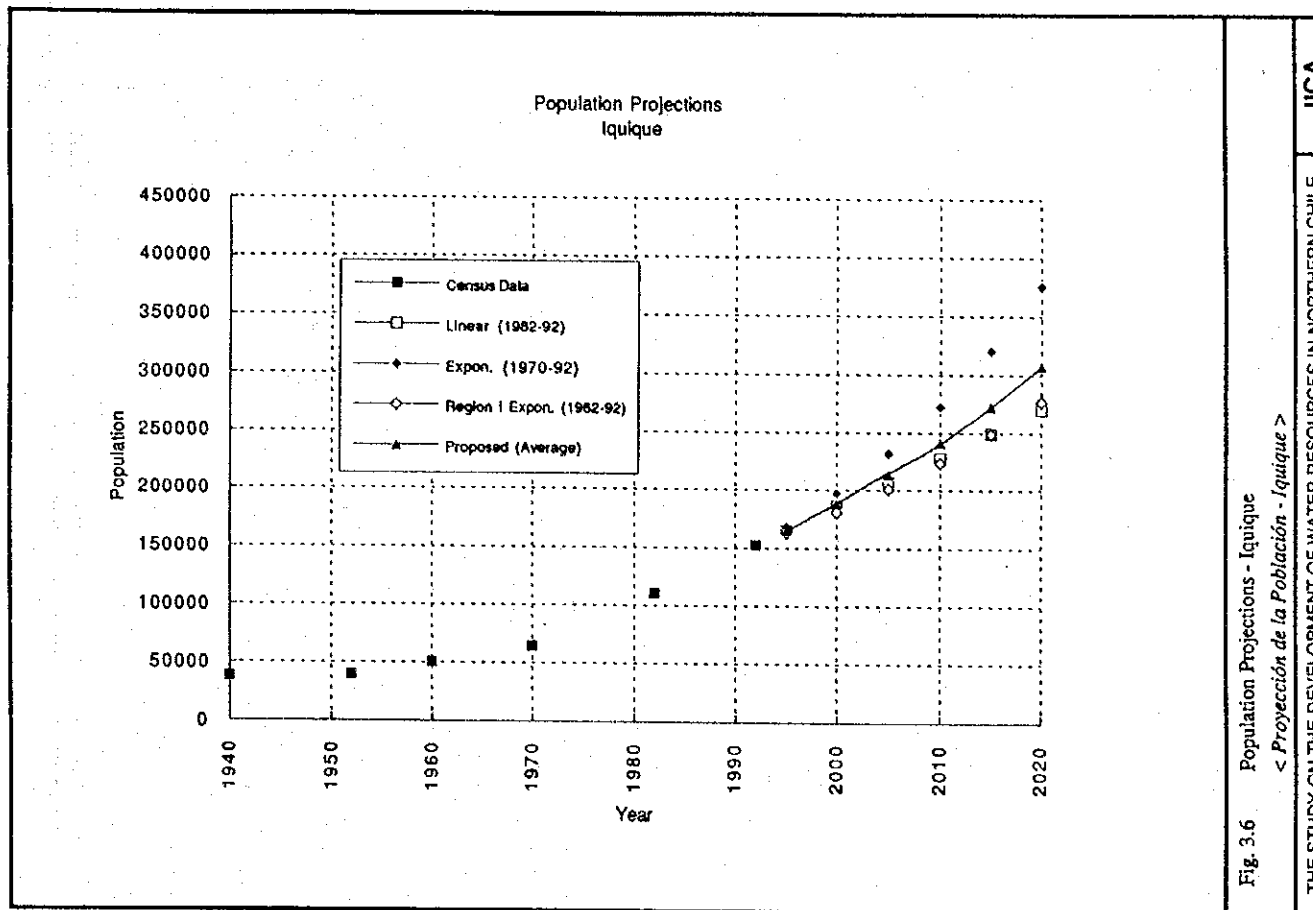


Fig. 3.6 Population Projections - Iquique

< Proyección de la Población - Iquique >

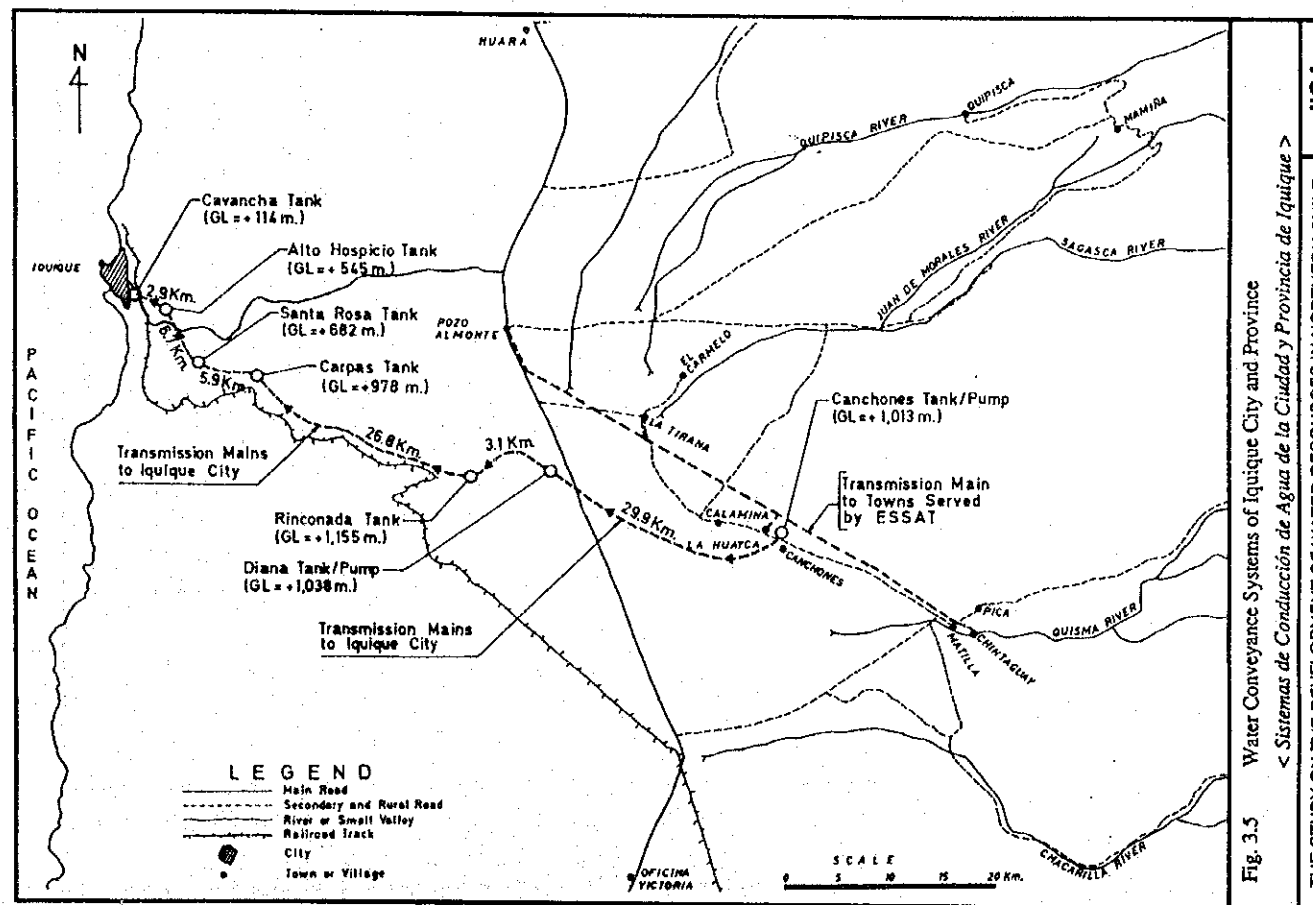
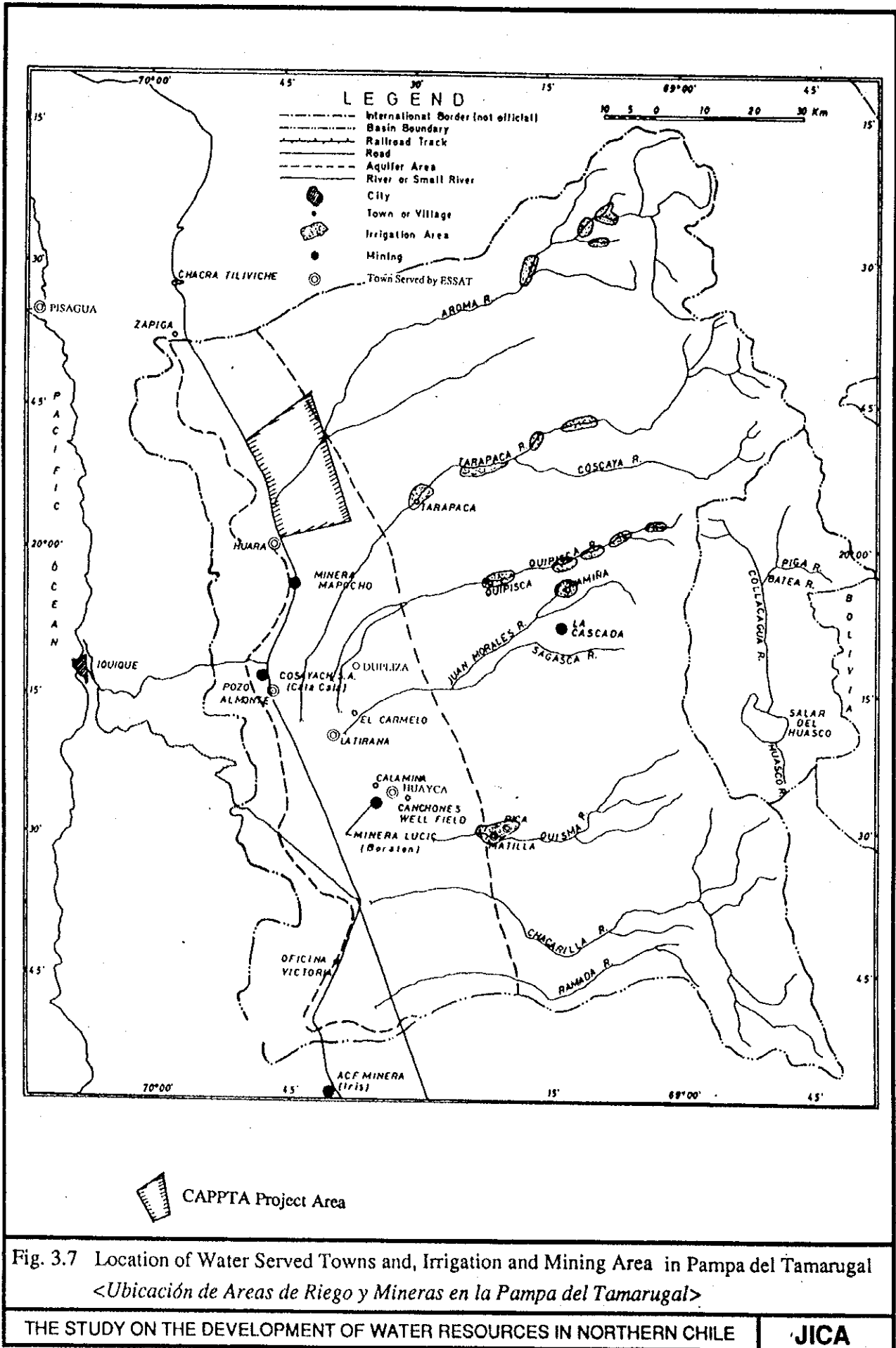


Fig. 3.5 Water Conveyance Systems of Iquique City and Province

< Sistemas de Conducción de Agua de la Ciudad y Provincia de Iquique >



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) Área 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 planteamientos:

- (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 km², de la cual, en diciembre de 1993, 2 km² correspondían a superficie de agua libre y los restantes 27 km² 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 (H₀, H₃), 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 HCO₃. El agua se clasifica como agua sodio-bicarbonada.

(2) Agua de la Laguna Huasco

La calidad del agua de la Laguna Huasco fue analizada en dos (2) puntos (H₂, H₄).

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 H₂ está menos contaminada que en el punto H₄ debido a los efectos de dilución del agua de vertiente.

Los iones dominantes del agua de la laguna son: Na, Cl, SO₄. 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 Cyclopoidea.

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.

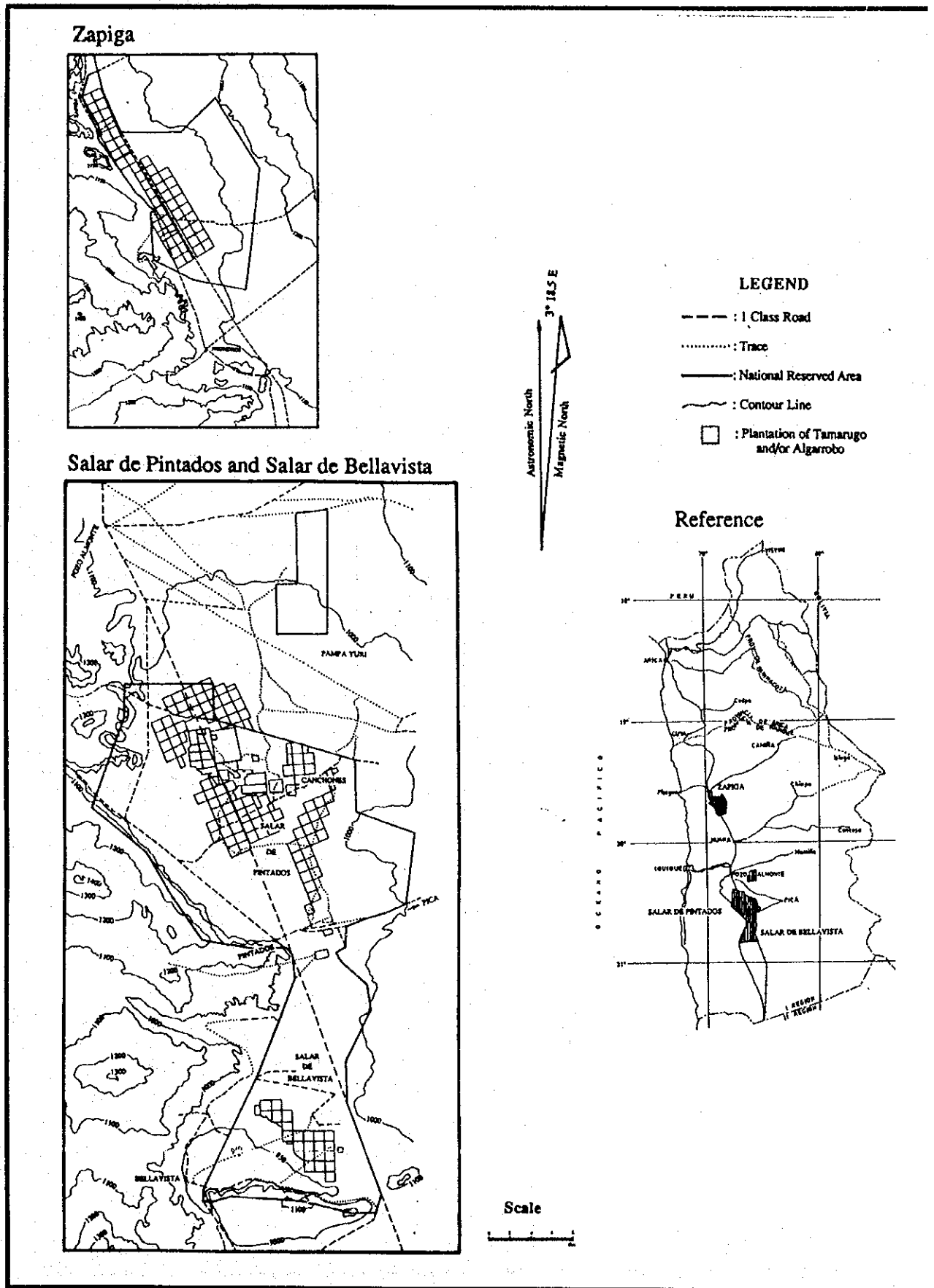


Fig. 4.1 National Reserved Area and Tamarugo Plantation
 < Area de Reserva Nacional y Plantación de Tamarugo >

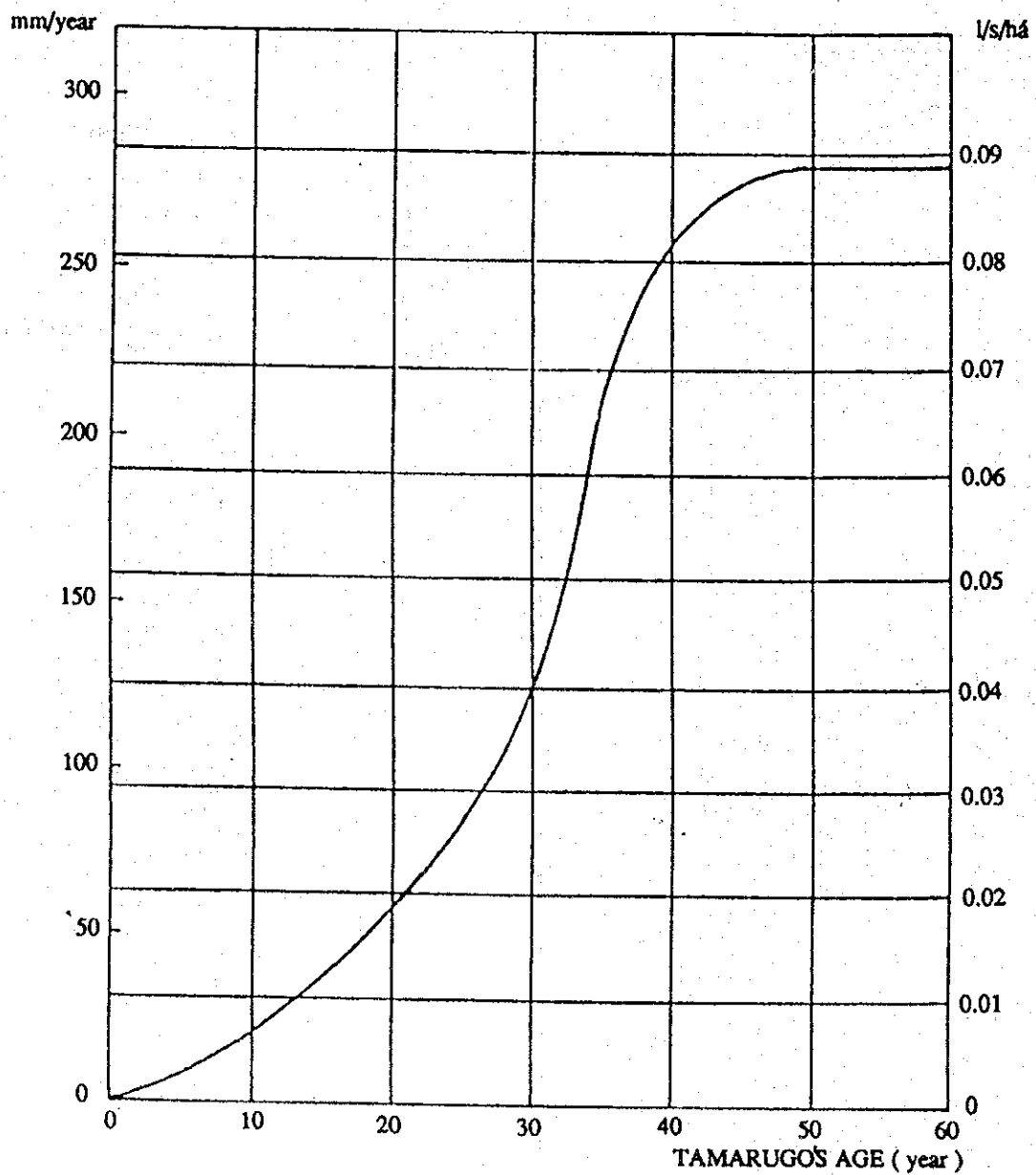


Fig. 4.2 Evapotranspiration by Tamarugo Plantations in Pampa del Tamarugal
 <Evapotranspiración de las Plantaciones de Tamarugo en Pampa del Tamarugal>

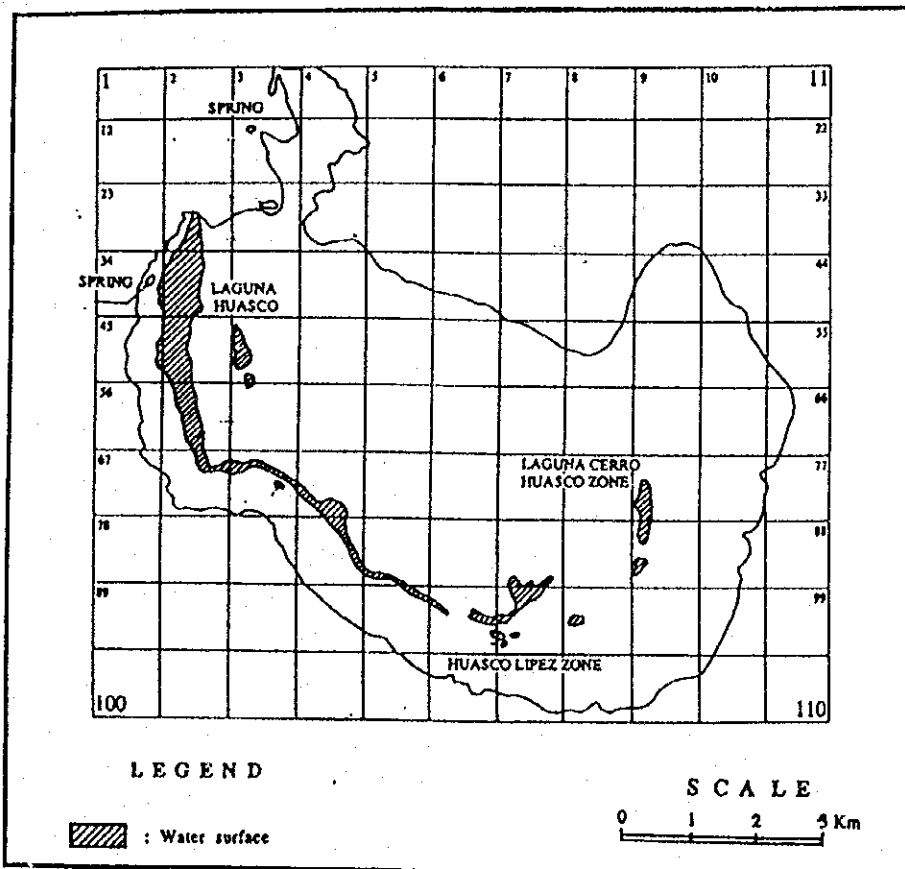
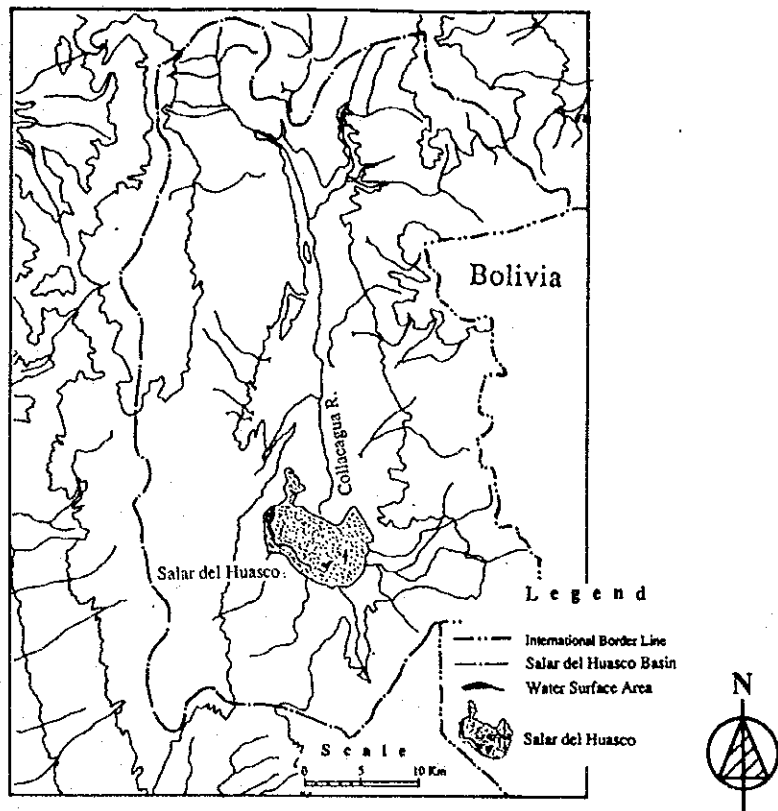


Fig. 4.3 Location of Salar del Huasco
 < Ubicación del Salar del Huasco >

**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 Afluyente 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 afluyente total al valle de Azapa.

No se detecta caudal de agua subterránea afluyente 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 Efluyente al Mar

Casi toda el agua afluyente 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 efluyente 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 $302 \times 10^6 \text{m}^3$. 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 \approx 30 años

Caso II : 32.4 años \approx 30 años

Caso III : 19.3 años \approx 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 $120.02 \times 0.75 = 90.0$ 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 SO₄.

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 Permissible (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 de Antofagasta 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 Permissible	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 Guancarane 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 : $2.558,15 \times 0.75 = 1.9186.61$)

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 coleccionar 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 coleccionado 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, RL : Recarga potencial del agua subterránea del valle del bajo Lluta
 QS : Excedente de agua de río en la Obra de Toma
 QT : Razón de flujo de río en Tocontasi/Chapisca (2,216 l/s)
 QU : 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)
 QE : Agua extraída (819 l/s)

La recarga promedio anual del agua subterránea es estimada en:

$$RL : (2,216 - 275 - 819) \times 0.41 = 460 \text{ l/s}$$

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 de irrigación. 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, SO₄, 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 afluyente 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 insignificanemente 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 m³/año y 69.5 millones m³/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 m³ o 3.7% de la reserva existente de 26,908 millones m³.

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 millones 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

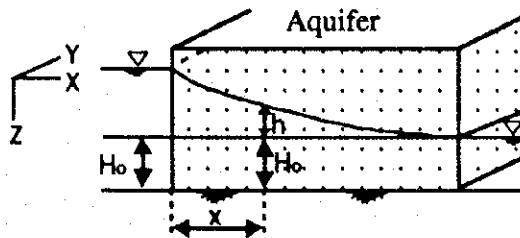
1) Construcción del Modelo de Simulación

(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 $V_z = 0$ como se muestra a continuación.



- S : Coeficiente de almacenaje
- V_x, V_y, V_z : 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:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ V_y &= -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ V_z &= -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} S \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K_x (H_0 + h) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K_y (H_0 + h) \frac{\partial h}{\partial y} \right\} + q \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(T_x(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y(h) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

Donde T_x, T_y : 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 excluido 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:

	<u>Q_3</u>	<u>Q_4</u>
Coefficiente de Permeabilidad (cm/seg)	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-4}
Coefficiente 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 evapotranspiración 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 el flujo 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, Capítulo 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>

Month	Ave. Flow Rate at Tocontasi	Water Right in Downstream	Actual Extraction	Surplus Flow Rate	(unit : l/s)
					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

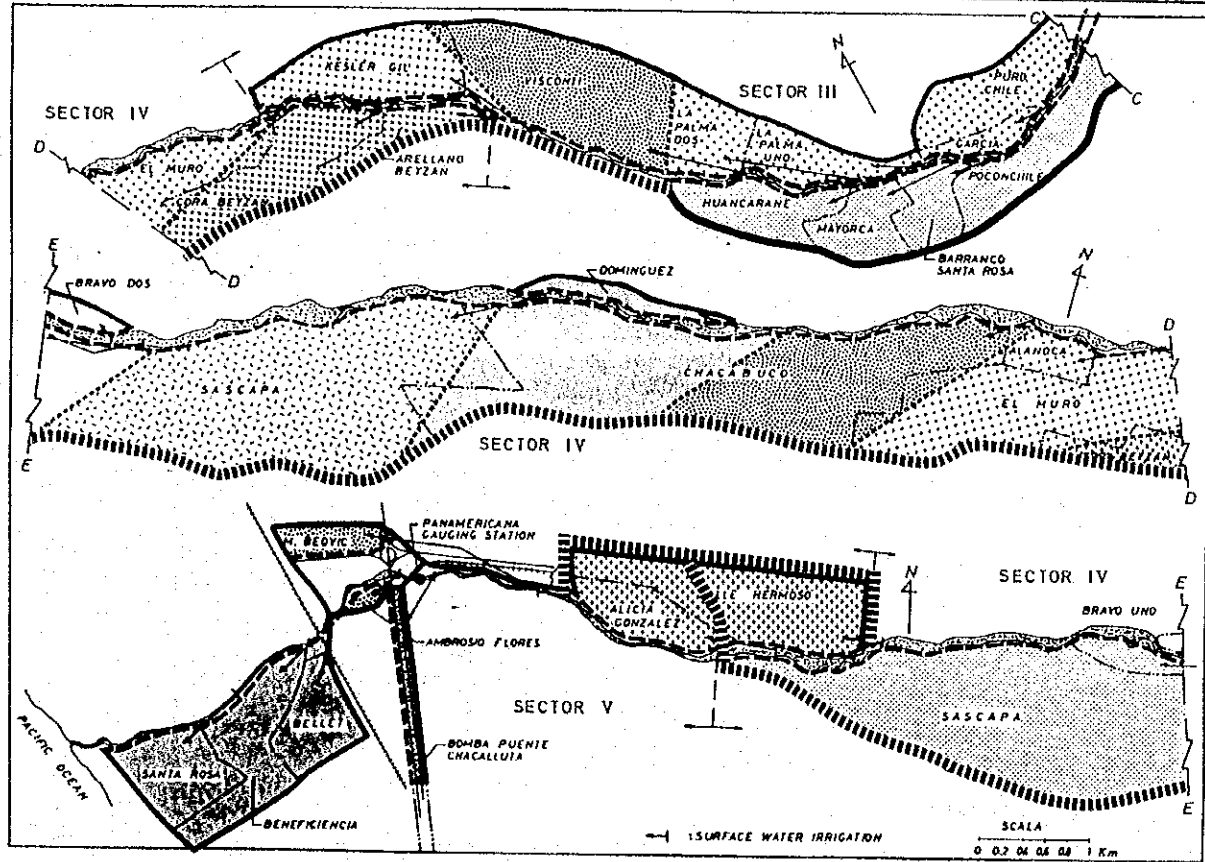
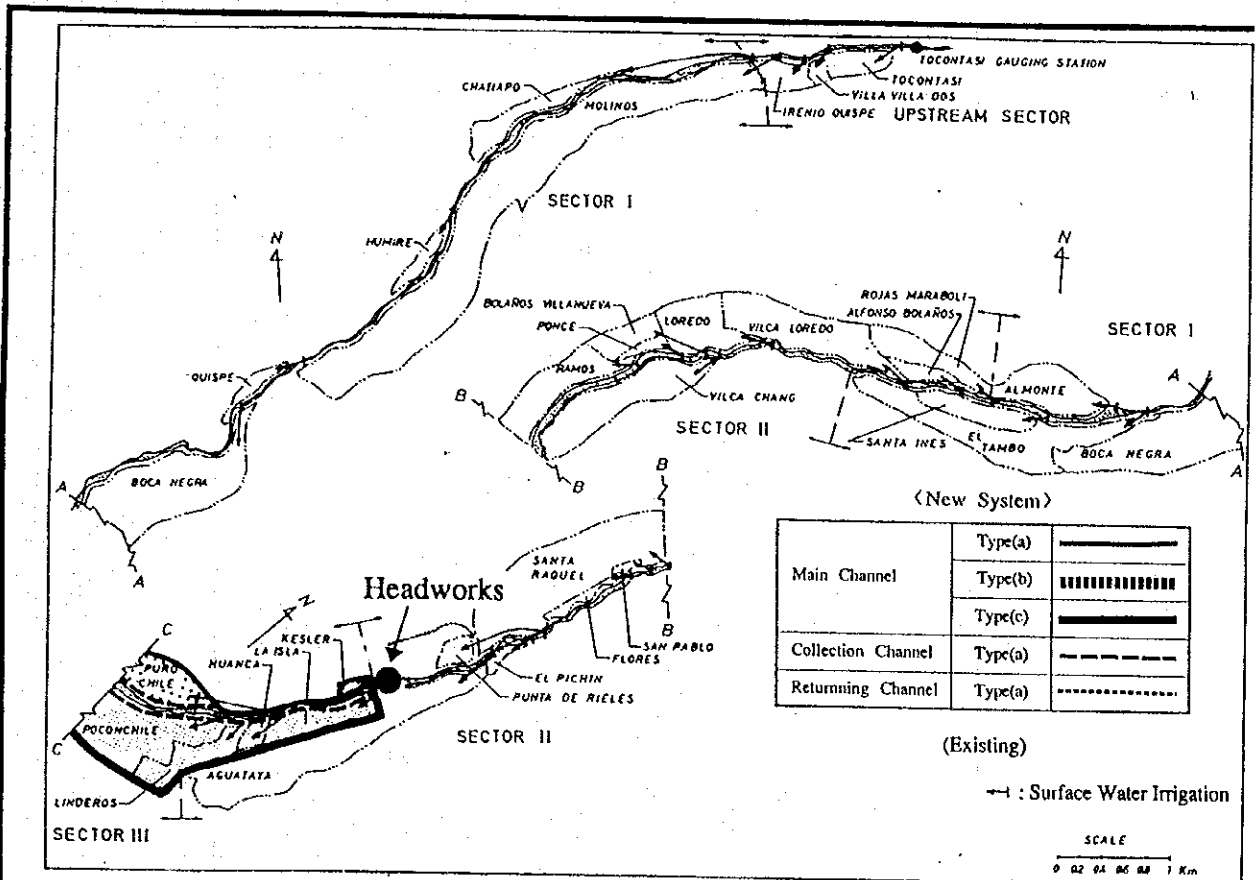


Fig. 5.1 Proposed New Irrigation System
 <Nuevo Sistema del Irrigación Propuesta>

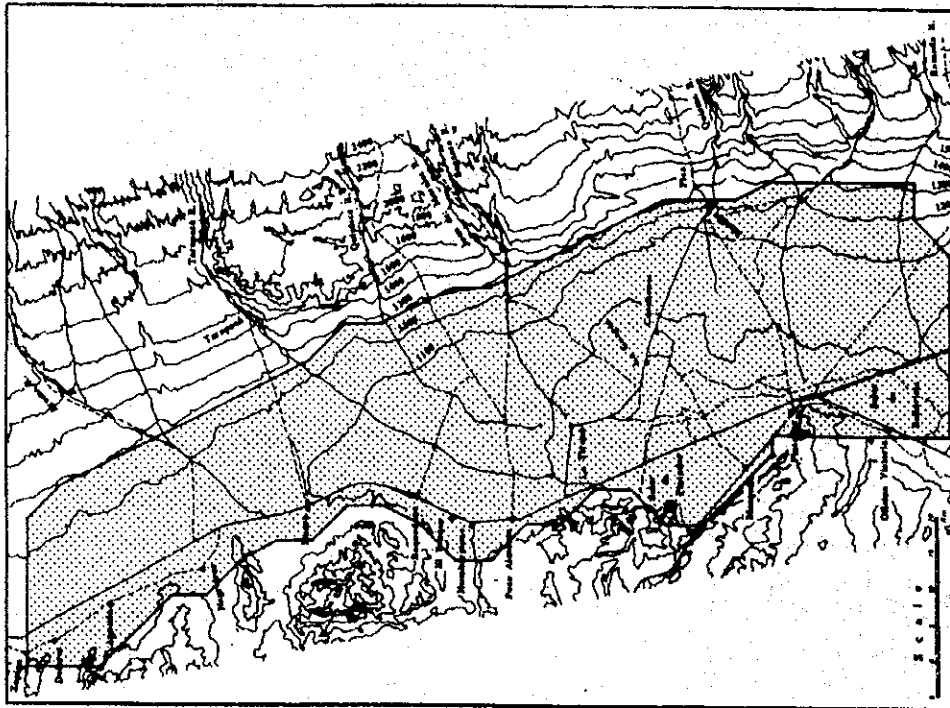


Fig. 5.2 Surface Area of Aquifer Model
 <Area Superficial del Modelo Acuífero>

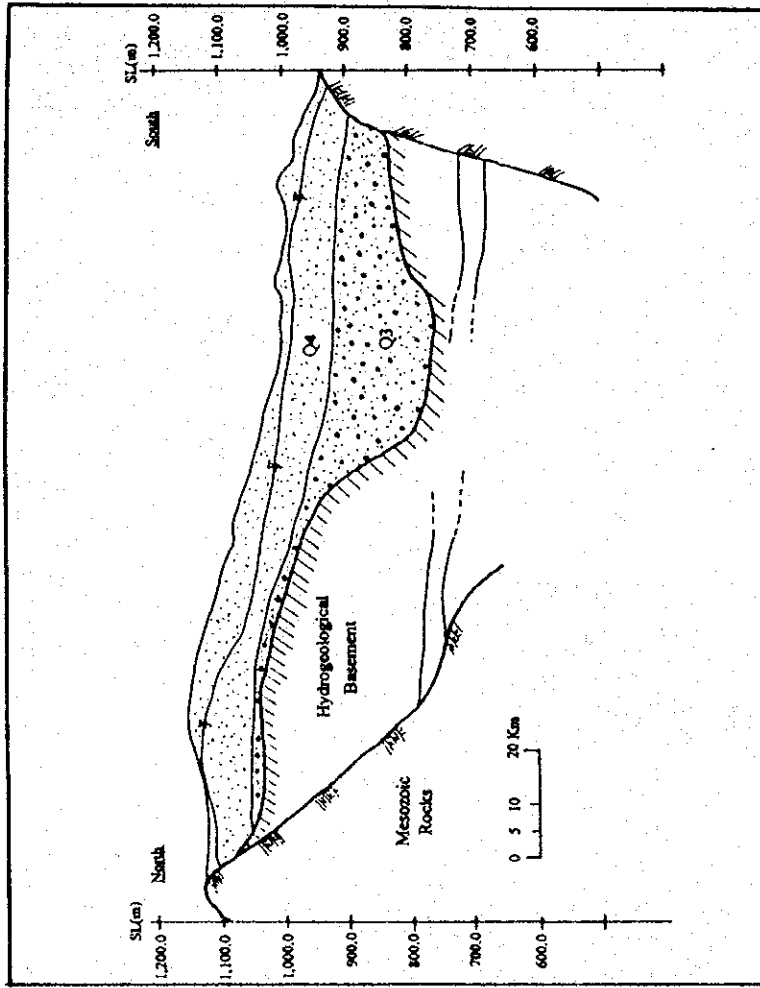


Fig. 5.3 Longitudinal Profile of Aquifer Model
 <Perfil Longitudinal del Modelo Acuífero>

Surface Area and Longitudinal Profile of Aquifer Model
 <Area Superficial y perfil Longitudinal del Modelo Acuífero>

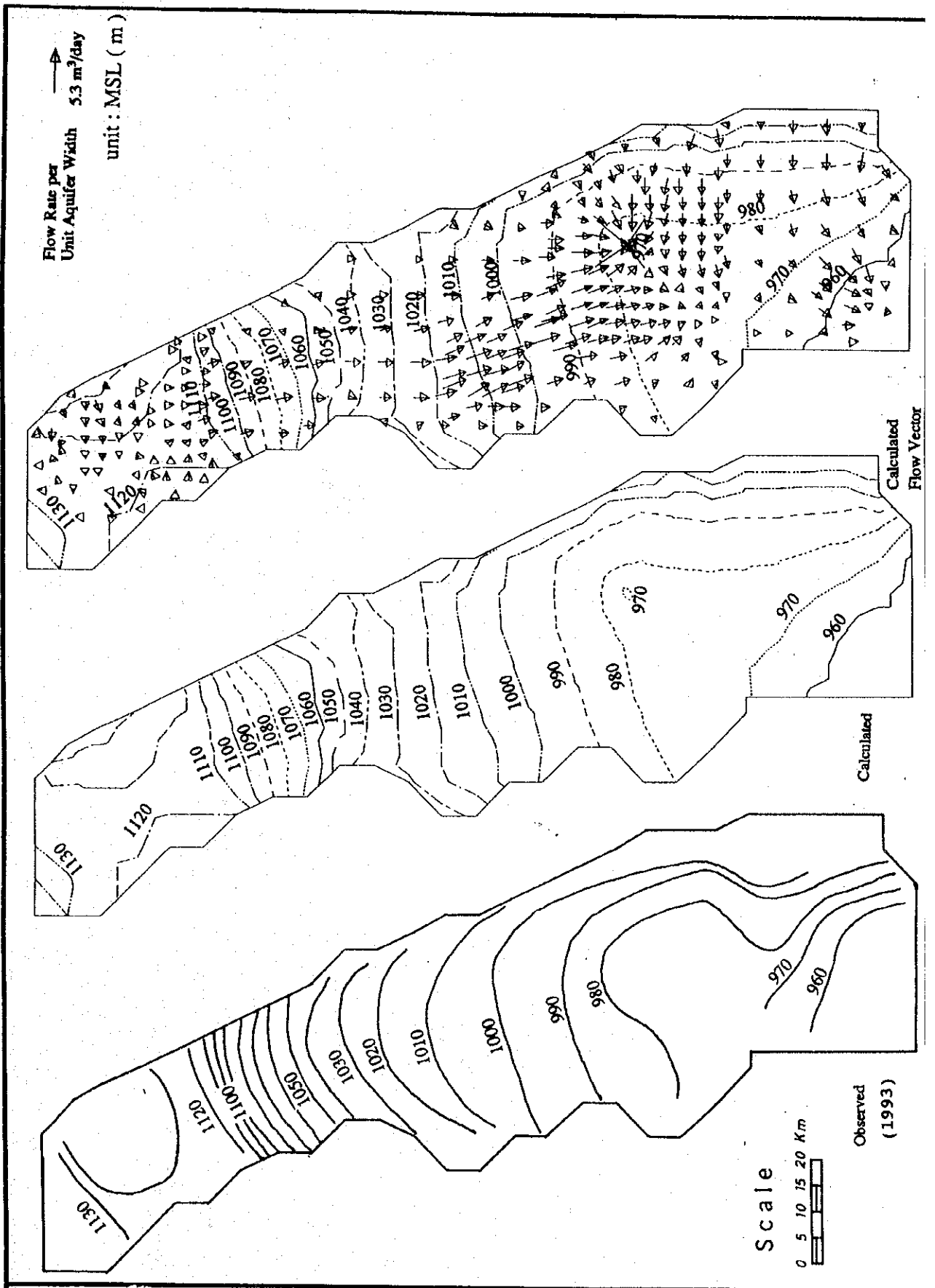


Fig. 5.4 Comparison Between Observed and Calculated Groundwater Level
 <Comparacion Entre Mueles Freaticos Observados y Calculados>

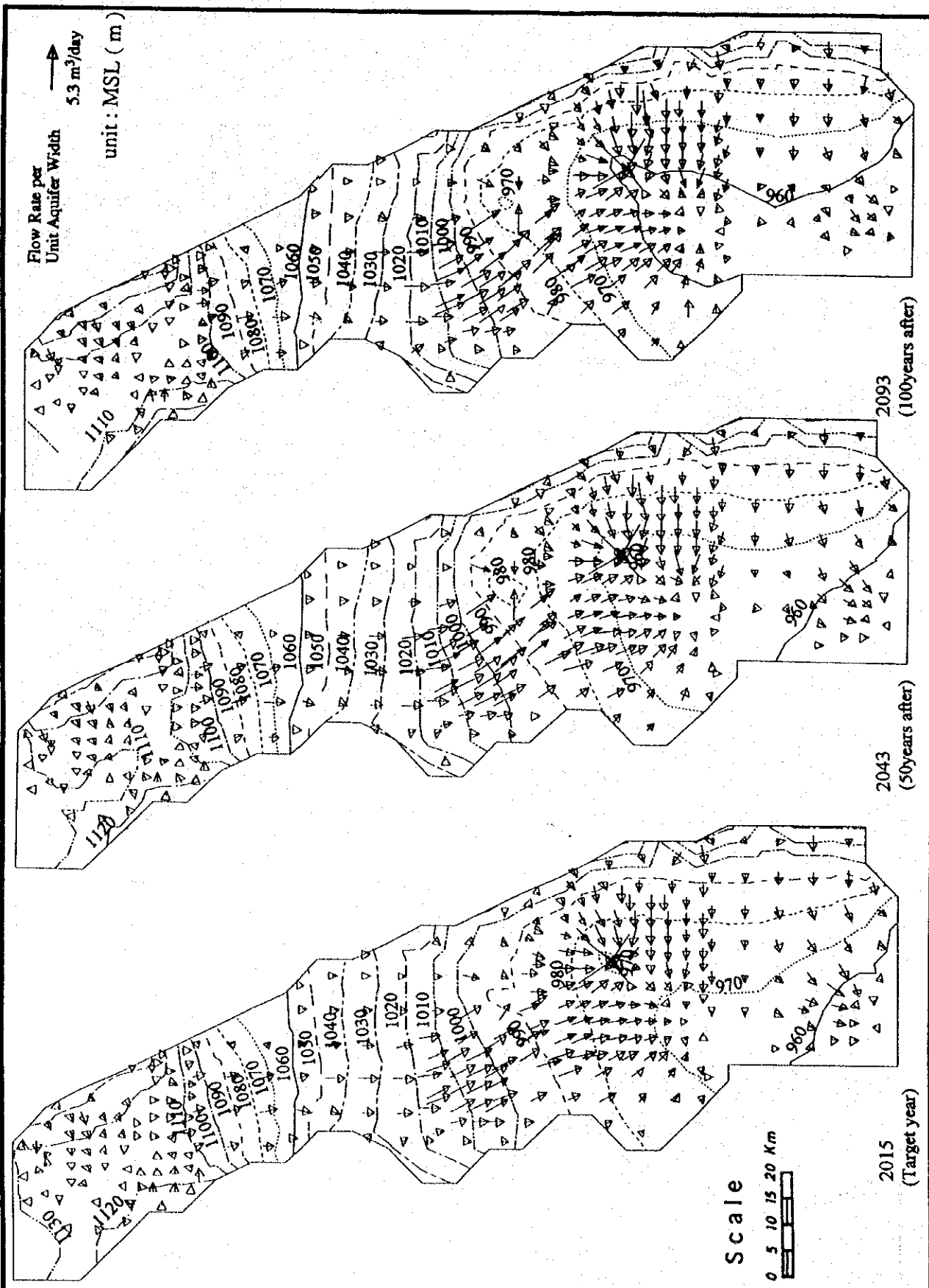


Fig. 5.5

Simulated Groundwater Level and Flow Rate in Future
 <Nivel Freatico Simulado y Razón de Flujo Futuro>

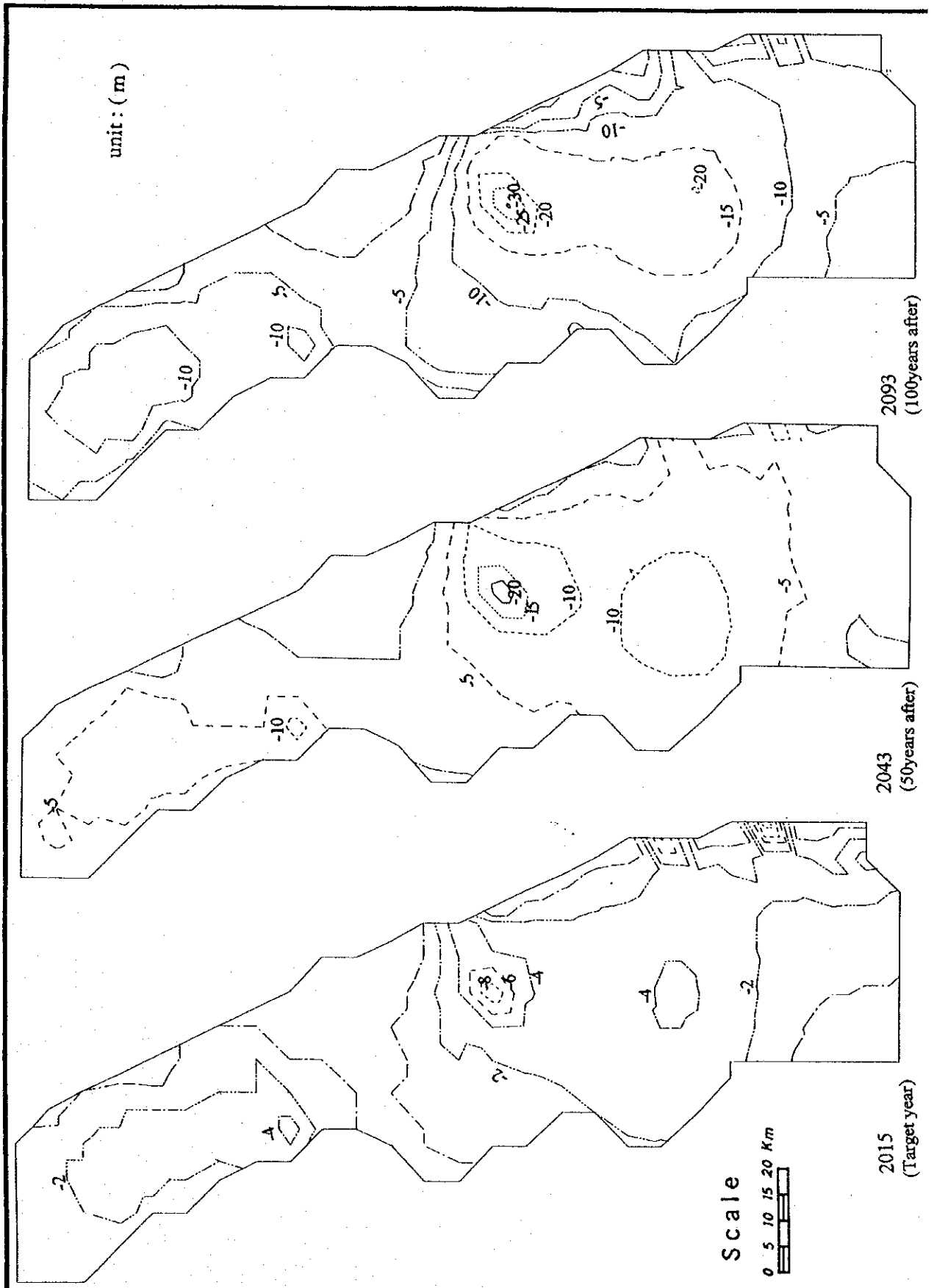


Fig. 5.6

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 $16,941 \times 10^3 \text{ m}^3$ ($=537 \text{ l/s}$) de agua potable, de los cuales $10,635 \times 10^3 \text{ m}^3$ se consumieron en uso residencial, comercial, industrial y otros. La pérdida estimada de agua fue de $6,306 \times 10^3$, correspondiente a 37.2% del volumen 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 características sobresalientes de los estanques son las siguientes:

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

El agua almacenada en los estanques de distribución es distribuida, 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 áreas 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 | (4) Planificación |
| (2) Ingeniería | (5) Sucursal Arica |
| (3) Administración y Finanzas | (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 volumen de agua consumida, medido en m³.

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 m³.

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 servicio 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 Área 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 Chuilona 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 coleccionar 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 m³ x 1 unidad x 1 lugar

105 m³ x 1 unidad x 1 lugar

180 m³ x 1 unidad x 1 lugar

270 m³ 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, SO₄, 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 Electrodialisis (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/cm².

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 contracorriente	:	150 m ³ x 2 unidades
Estanque de aguas residuales	:	210 m ³ x 2 unidades
Estanque de distribución	:	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 coleccionar el agua drenada para su reuso)
 - Canal de Retorno : 18.4 km
(para regresar el agua coleccionada 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 reemplazados 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, impuestos, derechos de aduana, y otros impuestos específicos son excluidos 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 incluidos 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 1-20m³/mes/conexión
(Clase de ingreso bajo)

Grupo 2: Consumo residencial entre 20-30m³/mes/conexión
(Clase de ingreso medio)

Grupo 3: Consumo residencial mayor a 30m³/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 ³ m 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 incremental 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 10⁶
 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 el mejoramiento 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 \$/m³ 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 10³ 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.