

2.2.6 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

(1) Generalidades

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

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

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

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

(2) Acuífero Poco Profundo

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

(3) Acuífero Profundo

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

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

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

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

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

2) Características Hidrogeológicas de los Acuíferos

(1) Acuífero Poco Profundo

Este acuífero poco profundo es del tipo no-confinado.

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

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

(2) Acuífero Profundo

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

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

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

Los anteriores supuestos están apoyados por los siguientes hechos:

- i) La gradiente de agua subterránea del acuífero profundo es mayor que la del lecho del río de los tramos aguas abajo de Chacabuco.
- ii) El contenido de NO_3 del acuífero poco profundo es muy alto comparado con el del acuífero profundo y el agua superficial, de acuerdo con lo indicado a continuación:

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

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

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

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

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

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

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

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

- (i) El rendimiento específico promedio de los pozos JICA ubicados entre Panamericana y Chacabuco es 0.76 l/s/m, indicando una producción media.
- (ii) El rendimiento específico del área de Rosario es reducido.
- (iii) El rendimiento específico del área Villa Frontera (aguas abajo de Panamericana) es de 2.64 l/s/m como promedio. Indica una alta productividad

3) Almacenamiento Estimado de Agua Subterránea.

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

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

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

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

La Fig. 2.7 muestra la ubicación de las secciones.

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

2.2.7 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

1) Extracción Existente de Agua Subterránea

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

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

2) Nivel del Agua Subterránea

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

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

3) Calidad del Agua Subterránea

(1) Principales Elementos Contaminantes del Agua

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

La calidad del agua excede el límite permisible para uso potable en cuanto a elementos que influyen sobre ella. Tales elementos son: TSD, Na, SO₄, Cl, B y Fe.

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

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

Elemento	Agua Subterránea		Agua Superficial	Límite Permissible
	Poco Profunda	Profunda	Tocontasi/Chapisca	
TSD	3,522	3,452	1,051	1,000
Na	503	529	198.9	200
SO ₄	919	852	310	250
Cl	1,110	949	323	250
B	18.94	21.87	10.69	
Fe	0.51	1.53	3.817	0.30
As	0.033	0.029	0.305	0.050

(2) Composición de los Iones Mayores

Los iones principales tales, como: Mg, Ca, Na, SO₄, Cl, HCO₃ y CO₃ presentes en la calidad del agua de los ocho (8) pozos poco profundos y cinco (5) pozos profundos fueron trazados en un diagrama tri-lineal, según se indica en la Fig. 2.13.

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

2.3 Cuenca de Pampa del Tamarugal

2.3.1 Características Generales de la Cuenca

La cuenca de la Pampa del Tamarugal está constituida por la Cordillera de los Andes, Pampa del Tamarugal y Cordillera de la Costa. Abarca un área hidrológicamente cerrada de 18,005 km², que limita al este con la Cordillera de los Andes, al oeste con la Cordillera de la Costa, al norte con la cuenca hidrográfica de Quebrada Aroma y al sur con Cerro Gordo. La cota de terreno de la cuenca fluctúa entre los 1,000 m en Pampa del Tamarugal y los 4,000 - 5,000 m en la Cordillera de Los Andes.

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

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

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

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

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

2.3.2 Agua Superficial

1) Caudal Superficial

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

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

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

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

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

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

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

donde,

R: Precipitaciones promedio anuales de la cuenca hidrográfica

f: Coeficiente de escorrentía

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

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

Los resultados se resumen a continuación:

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

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

2) Calidad del Agua Superficial

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

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

- (1) El río Aroma está muy contaminado con As, B y Cl.
- (2) El río Tarapacá está relativamente limpio, excepto por el B.
- (3) El río Quipisca está contaminado con Mn y Al.
- (4) El río Sagasca está muy contaminado por las actividades mineras. Posee una gran concentración de As, Cd, F, Pb, SO₄, Zn, Al, Cu, Fe y Mn.

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

	(Unidad = mg/l)				
	Aroma	Tarapacá	Quipisca	Sagasca	Límite Permissible
As	1,764			0.176	0.05
Cd				0.050	0.005
F				5.10	1.50
Pb				2.00	0.05
Cl	1,472				250
SO ₄				4.035	400
Zn				16.00	5.00
Al			2.5	190.00	0.20
Cu				35.80	1.00
Fe				956.0	0.30
Mn			0.48	727.0	0.10
B	22.87	6.60			

2.3.3 Hidrogeología de Pampa del Tamarugal

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3.4 Estudio Geológico

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

1) Estudios Electromagnéticos (TEM)

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

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

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

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

La segunda capa se considera como probable acuífero.

2) Pruebas de Sondaje

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

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

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

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

2.3.5 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

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

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

Los acuíferos se ubican en la formación Altos de Pica. Esta comprende las unidades Q1, Q2, Q3 y Q4. Los acuíferos aparecen en las unidades Q3 y Q4. Debajo de estas unidades se extienden gruesas capas arcillosas impermeables de la unidad Q2.

La unidad Q4 que consiste en arena y grava con barro se distribuye sobre toda el área de acuíferos. Por otro lado, la unidad Q3 que consiste en arena y grava se limita al área desde Huara hasta el Salar de Bellavista. No se identifican capas impermeables entre las unidades Q3 y Q4.

El área de acuíferos está circundada por los siguientes límites:

Al norte: Cuenca hidrográfica del río Aroma

Al sur : Cerro Gordo

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

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

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

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

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

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

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

* Nivel Bajo la Superficie de Terreno

2) Características Hidrogeológicas de los Acuífero

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Los resultados se resumen a continuación:

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

3) Almacenamiento Estimado de Agua Subterránea

El almacenamiento total de agua subterránea de los acuiferos en la Pampa del Tamarugal se estima en 26,900 millones de m³, con el siguiente detalle por zona:

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

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

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

2.3.6 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

1) Extracción del Agua Subterránea Existente

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

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

* Incluye el uso en asentamientos militares.

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

2) Nivel del Agua Subterránea Existente

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

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

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

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

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

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

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

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

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

No se perciben cambios estacionales en el nivel del agua.

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

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

(3) Calidad del Agua

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

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

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

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

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

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

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

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

2.4 Salar del Huasco

2.4.1 Características Generales de la Cuenca

La cuenca abarca un área de drenaje cerrada de 1,712 km². El agua es recolectada por el río Collacagua que se origina en la Cordillera de los Andes con una altura de 4,000 m a 5,000 m. Las precipitaciones de la cuenca varían de acuerdo a su altura. Las precipitaciones promedio anuales fluctúan entre los 100 mm en el área de la laguna del Huasco y los 250 mm en las áreas superiores de la cordillera. Toda el agua superficial se infiltra bajo el suelo recargando el agua subterránea del Salar del Huasco. No fluye agua desde la cuenca al exterior.

El Salar del Huasco está ubicado a una altura de aproximadamente 3,800 m. Abarca un área total de 29 km², de la cual el área del agua superficial, en Diciembre de 1993, era de 2 km². Los 27 km² restantes corresponden a áreas pantanosas. La profundidad del agua del Salar (laguna) es inferior a 20 cm.

No existe uso de agua en la cuenca.

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

2.4.2 Agua Superficial

1) Escorrentía Superficial

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

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

2) Calidad del Agua Superficial

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

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

2.4.3 Hidrogeología del Salar del Huasco

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

1) Depósitos Recientes

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

2) Formación Pastillos

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

La permeabilidad de la formación es baja.

3) Rocas Volcánicas

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

4) Formación Collacagua

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

5) Ignimbrita Huasco

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

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

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

2.4.4 Estudio Geológico

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

1) Estudios Electromagnéticos (TEM)

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

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

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

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

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

2) Pruebas de Sondaje

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

Los resultados de las pruebas de sondaje se resumen en la Tabla 2.8. Esta tabla muestra la profundidad perforada, dimensiones de la tubería de entubado y colado, además de las características geológicas de los acuíferos identificados y el registro de resistividad en el pozo, comparado con los del estudio TEM. Para obtener las columnas estratigráficas de los (2) pozos indicados, remitirse a la Fig. 2.25 y Fig. 2.26.

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

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

2.4.5 Acuíferos

1) Configuración de Acuíferos

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

Los acuíferos que existen en la formación Collacagua se extienden desde la franja sur del Salar hacia el norte hasta aproximadamente 6 km al norte de Peña Blanca. Están rodeados de rocas volcánicas cuaternarias a terciarias al norte y al sur, y por fallas al este y al oeste. La distancia en dirección norte-sur es 30 km. El ancho en dirección este-oeste disminuye hacia el norte. El área total es de aproximadamente 190 km².

Sin embargo, el acuífero en el área del Salar no puede desarrollarse debido a problemas ambientales y de calidad del agua. Por lo tanto, los acuíferos, sin considerar los del área del Salar, se consideran comprometidos. La longitud es de 20 km y el ancho es de 4.5 a 7.0 km. De este modo, el área de acuíferos prospectados alcanza a 126 km². Para obtener la ubicación de los acuíferos prospectados, remitirse a la Fig. 2.24.

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

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

2) Características Hidrogeológicas de los Acuíferos

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

Las constantes promedio de los acuíferos se calculan como sigue:

Gasto Específico : 0.99 l/sec/m Transmisibilidad : 174 m³/día/m
Permeabilidad : 2.60 x 10⁻³ cm/seg

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

3) Almacenamiento Estimado del Agua Subterránea

El almacenamiento total de agua subterránea en los acuíferos prospectados se estima en 465 millones de m³. En este cálculo, la porosidad efectiva de los acuíferos se supuso en 30% como promedio. Este almacenamiento excluye los acuíferos del área del Salar.

2.4.6 Nivel y Calidad del Agua Subterránea

1) Nivel de Agua Subterránea Existente

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

2) Calidad del Agua Subterránea

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

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

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

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

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

Tabla 2.1 Surface Water Quality (Lluta Valley)
<Calidad de Agua Superficial (Valle de Lluta)>

River	Location	As (mg/l)	B (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	pH
Caracarani	Huamapalca	0.120	3.23	1.17	165	285	7.80
Azufre	Huamapalca	1.246	19.05	61.94	1,377	2,111	2.11
Caracarani	Alcerreca	0.140	5.81	4.79	219	305	5.72
Colpitas	Alcerreca	0.465	21.55	1.41	545	223	7.53
Lluta	Alcerreca	0.209	9.85	4.83	309	284	6.28
Lluta	Tocontasi	0.305	10.69	3.82	323	310	6.89
Lluta	Poconchile	0.173	11.17	----	411	373	7.05
Lluta	Panamericana	0.124	16.84	2.37	704	751	7.43
Permissible Limit		0.05		0.30	250	250	6.0-8.5

Tabla 2.2 Surface Water Quality (Upstream Tributaries) (Observed in June, 1993)
<Calidad de Agua Tributarios (Curso Superior) (Observado en Jun 1993)>

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

Note: <1 Others: Teleschuno, Guancarane and Chuquiananta
 <2 Others: Aroma and Socoroma
 <3 B (%) : Percentage to Lluta (at Chapisca)
 Average : Weighted average of all tributaries

Tabla 2.3 Result of Boring Test (Lower Lluta Valley)
< Resultado de Perforación (Curso Bajo del Valle de Lluta) >

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

Tabla 2.4 Result of Pumping Test (Lower Lluta Valley)
< Resultado de Prueba de Bombeo (Curso Bajo del Valle de Lluta) >

Well No.	Pumping Data (from Constant Test)				Aquifer Constants			Well Capacity		
	Static Water Level (m)	Pumping Rate (l/s)	Dynamic Water Level (m)	Drawdown (m)	Specific Yield	Transmissibility (m ³ /d/m)	Storage Coefficient	Permeability (cm/sec)	Critical Discharge (l/s)	Safe Yield (l/s)
J-A	9.82	15.30	74.51	64.69	0.24	22.72	8.54E-04	6.25E-04	15.30	7.50
J-B	34.56	18.90	65.19	30.63	0.62	310.44	4.72E-04	4.98E-03	20.30	13.00
J-1	21.69	4.40	24.75	3.06	1.44	368.06	6.62E-06	7.01E-03	4.40	2.25
J-2	35.02	4.92	41.78	6.76	0.73	149.69	6.60E-06	1.93E-03	3.85	2.25

Tabla 2.5 (1) Result of Boring Test (Pampa del Tamarugal) < Resultado de Prueba de Sondaje (Pampa del Tamarugal) > Sheet No.1

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

Tabla 2.5 (2) Result of Boring Test (Pampa del Tamarugal) < Resultado de Prueba de Sondaje (Pampa del Tamarugal) > Sheet No.2

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

Tabla 2.6 Result of Pumping Test (Pampa del Tamarugal)
< Resultado de Prueba de Bombeo (Pampa del Tamarugal) >

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

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

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m ² /d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Zapiga-Dolores-Negreiros Area)					
170	4.0	0.31			J
172	5.0	0.47			J
168	9.0	0.62			J
171	7.0	0.82			J
173	7.0	0.92			J
174	7.5	0.99			J
928	6.0	1.79	520	4.15E-02	C
925		1.21	164	1.89E-02	C
923	3.0	0.70	398	5.12E-02	C
922	3.0	0.89	135	1.30E-02	C
921	3.0	1.10	258	2.99E-02	C
941	1.0	0.24	53	3.06E-03	J
930	8.0	0.60	110	4.55E-03	J
927		0.15	23	1.73E-03	C
933	5.5	2.20	173	9.02E-03	J
Average		0.87	204	0.0192	

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m ² /d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Huara Area)					
190-6			1440		C
946	2.2	4.1	39	1.56E-04	J
949		4.0	935	3.37E-02	C
951	18.0	2.9	284	2.33E-02	J
Average		3.7	675	0.0191	

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m ² /d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Pica-Matilla Area)					
117-5	6.0	0.08			J
232-k	7.5	0.38			J
253-6	1.1	0.14			J
263-1	42.0	1.89			J
272-4	2.0	0.04			J
389-5	8.0	0.16	6	8.43E-05	J
390-9	1.0	0.04	312	1.39E-02	J
391 or 392			155		C
394-1	1.5	0.06			J
401-8			49		C
403-4	5.0	0.43			J
Average		0.36	130	6.99E-03	

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m ³ /d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Pozo Almonte-Canchones-Pintados Area)					
129-9	36.0	5.14			J
130-2		1.66	47		C
131-0	60.0	3.82			J
132-9	30.0	2.61			J
136-1	3.8	0.40	9	8.51E-04	J
200-7	6.0	0.12			J
202-3	64.0	10.67			J
206-6	25.0	2.08			J
207-4	3.5	0.81	1094	1.06E-01	J
221-k	40.0	6.78			J
222-8	70.0	4.43	450		C
226-0	47.0	2.72			J
229-5	4.0	0.21			J
232-5	24.0	2.00			J
234-1			4280		C
240-6	20.0	3.33			J
357-7	120.0	5.36			J
366-6	120.0	4.72			J
415-8	9.3	3.10			J
421-2	5.5	2.75			J
423-9	70.0	1.37	920		C
955		4.46	915	2.52E-02	C
Average		3.26	1102	0.044	

BNA NO.	Discharge Rate (l/s)	Specific Yield (l/sec/m)	Transmissibility (m ² /d/m)	Permeability (cm/sec)	Remarks
(Oficina Victoria-Bellavista Area)					
432-b	25.0	1.51			J
445-k	26.0		420	1.39E-02	J
985		3.04	220		C
986		0.32	81		C
987		0.32	157		C
Average		1.30	219.5	0.014	

(TOTAL PAMPA AREA: except Pica-Matilla Area)					
Average		2.27	547	0.024	

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

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

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

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

Well No.	Pumping Data (by Constant Test)			Aquifer Constants			Well Capacity		
	Static Water Level (m)	Pumping Rate (l/s)	Dynamic Water Level (m)	Drawdown (m)	Specific Yield (l/s/m)	Transmissibility (m ³ /d/m)	Permeability (cm/sec)	Critical Discharge (l/s)	Safe Yield (l/s)
J-G	5.86	25.00	39.76	33.90	0.74	156.39	2.74E-03	25.00	6.70
J-10	26.56	5.00	30.64	4.08	1.23	191.38	2.46E-03	5.00	1.75

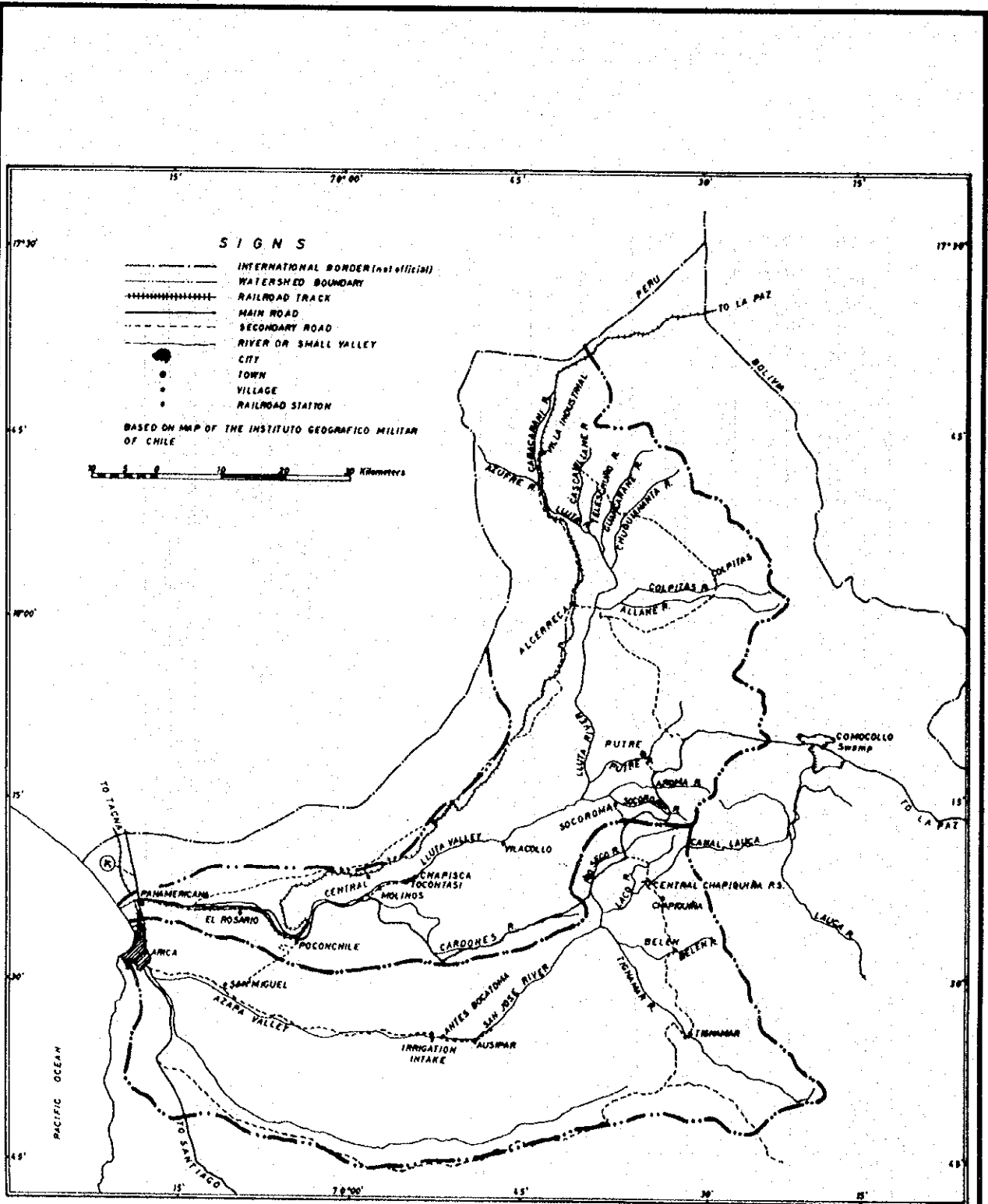


Fig. 2.1 River System of San José and Lluta River Basin
 < Sistema Fluvial de las Cuencas de los Ríos San José y Lluta >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE

JICA

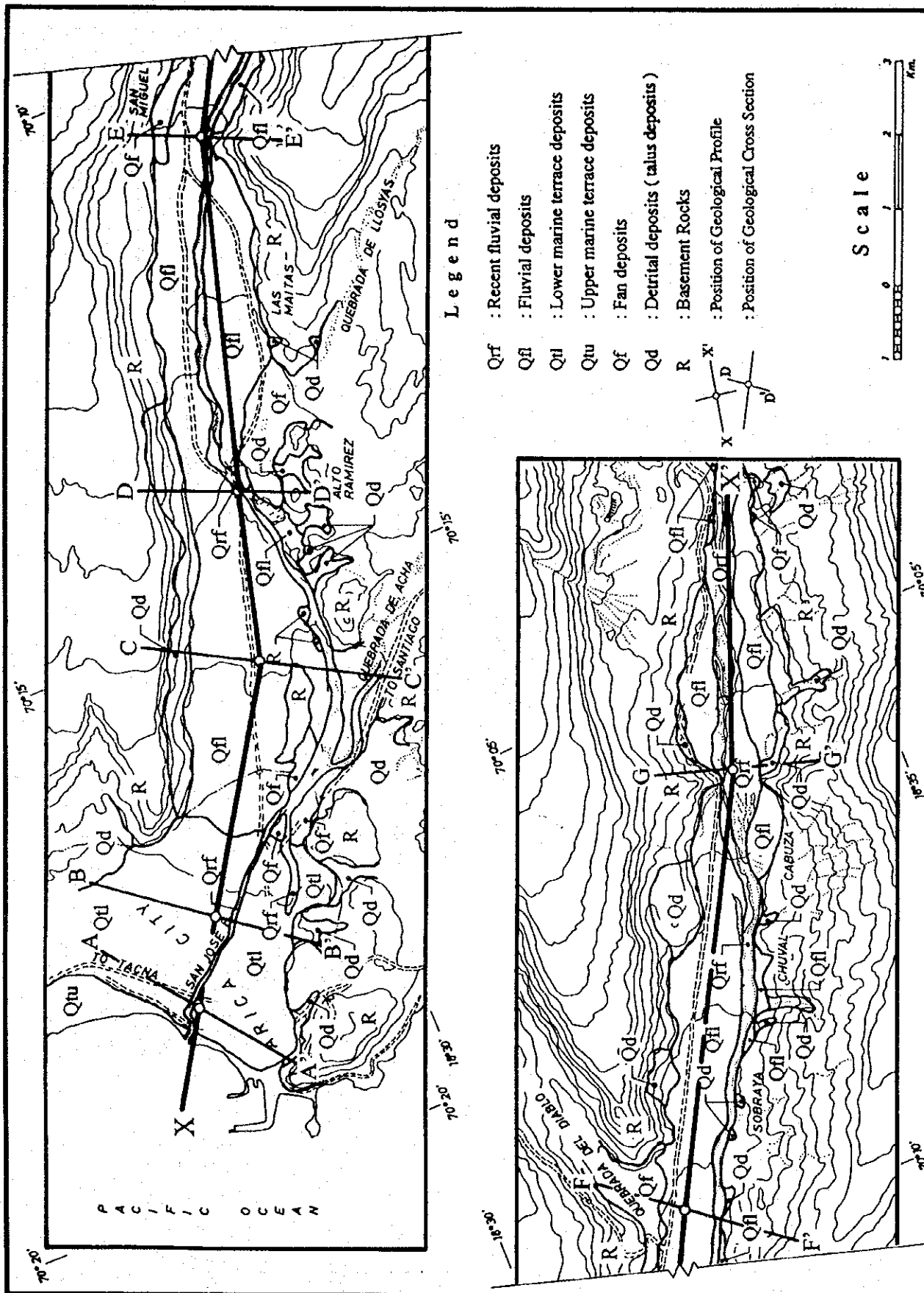


Fig. 2.2 Geological Map (Azapa Valley)
 < Mapa Geológica (Valle de Azapa) >

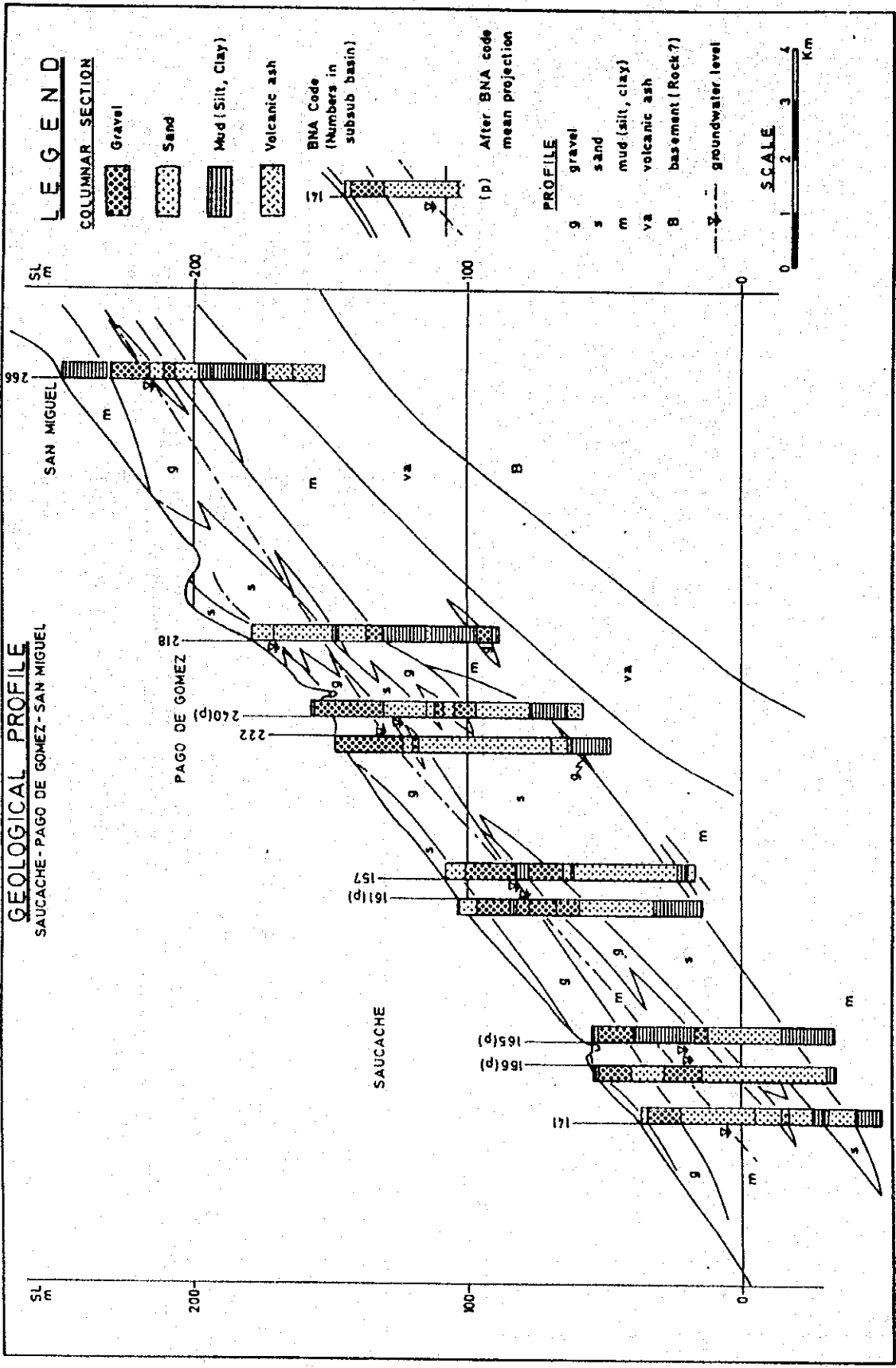


Fig. 2.3 Geological Profile (Azapa Valley)
< Perfil Geológico (Valle de Azapa) >

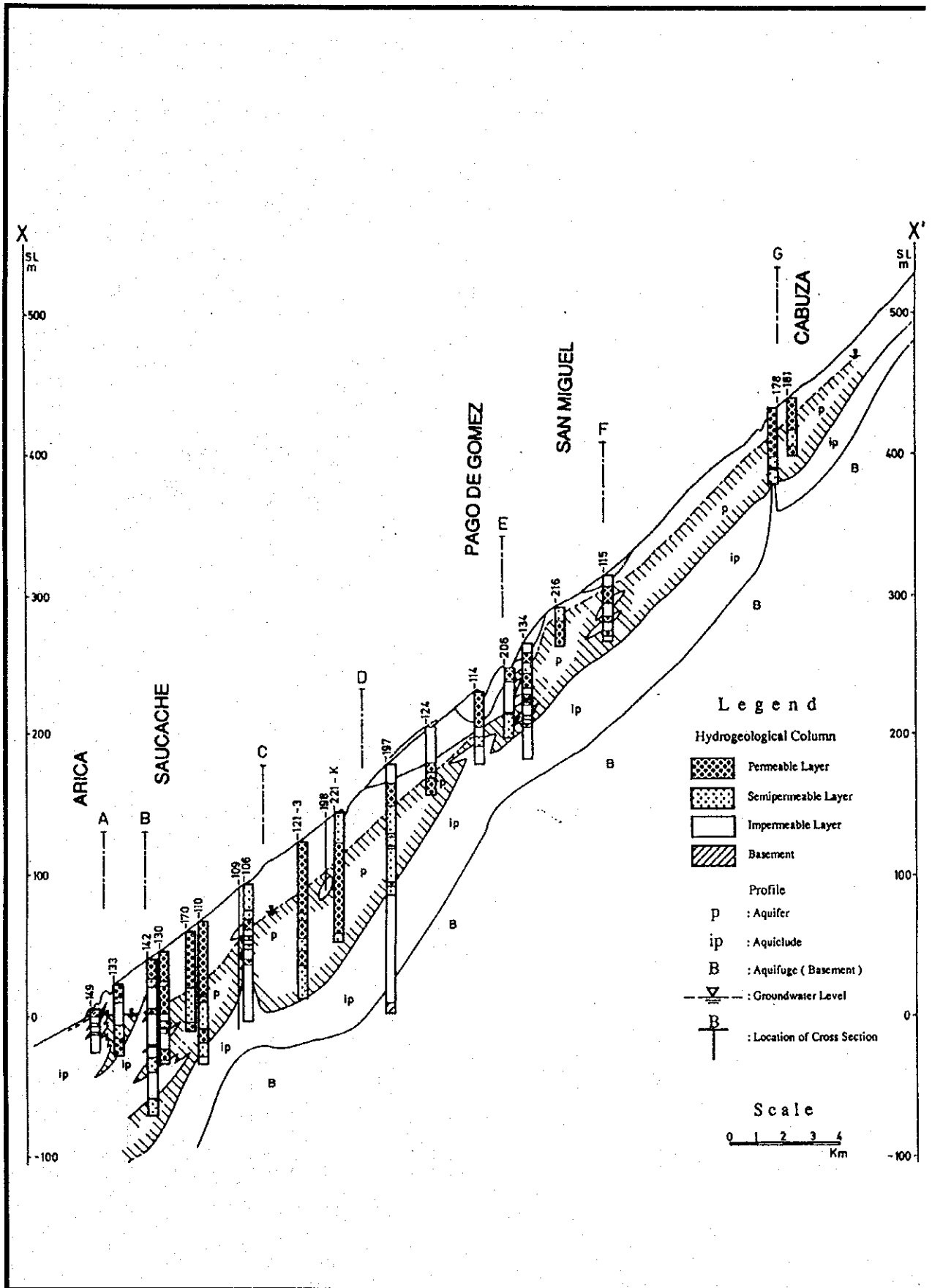
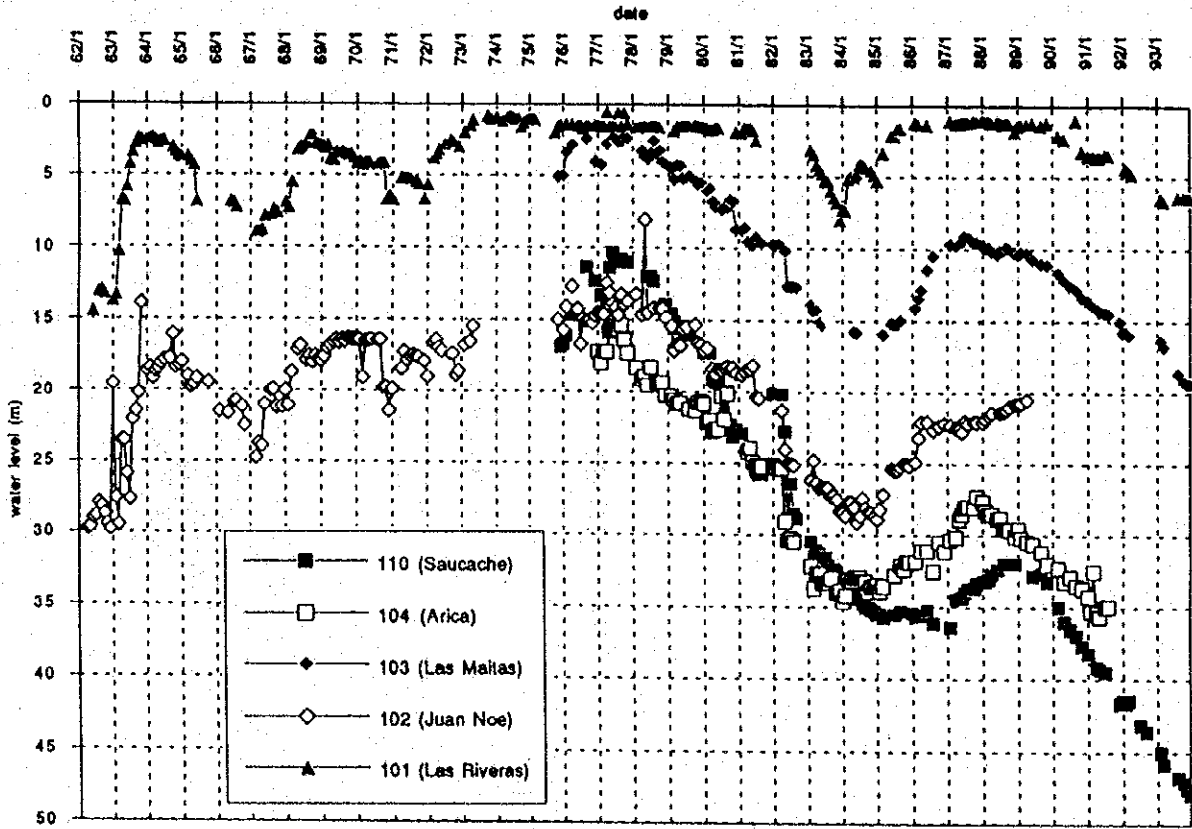


Fig. 2.4 Hydrogeological Profile (X - X')
 < Perfil Hidrogeológico (X - X') >

HISTORICAL VARIATION OF STATIC WATER LEVEL (AZAPA VALLEY)



Surface Flow Rate observed by DGA at Saucache in San Jose River Basin during Flood Period

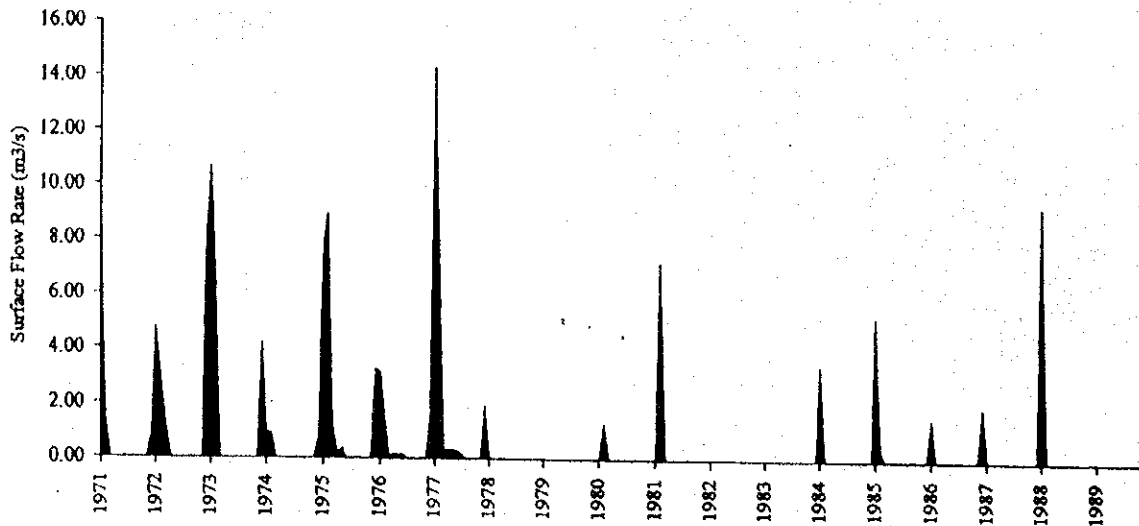


Fig. 2.5 Relation between Groundwater Level and Flood (Azapa Valley)
 < Relación entre el Nivel Estático y Avenida (Valle de Azapa) >

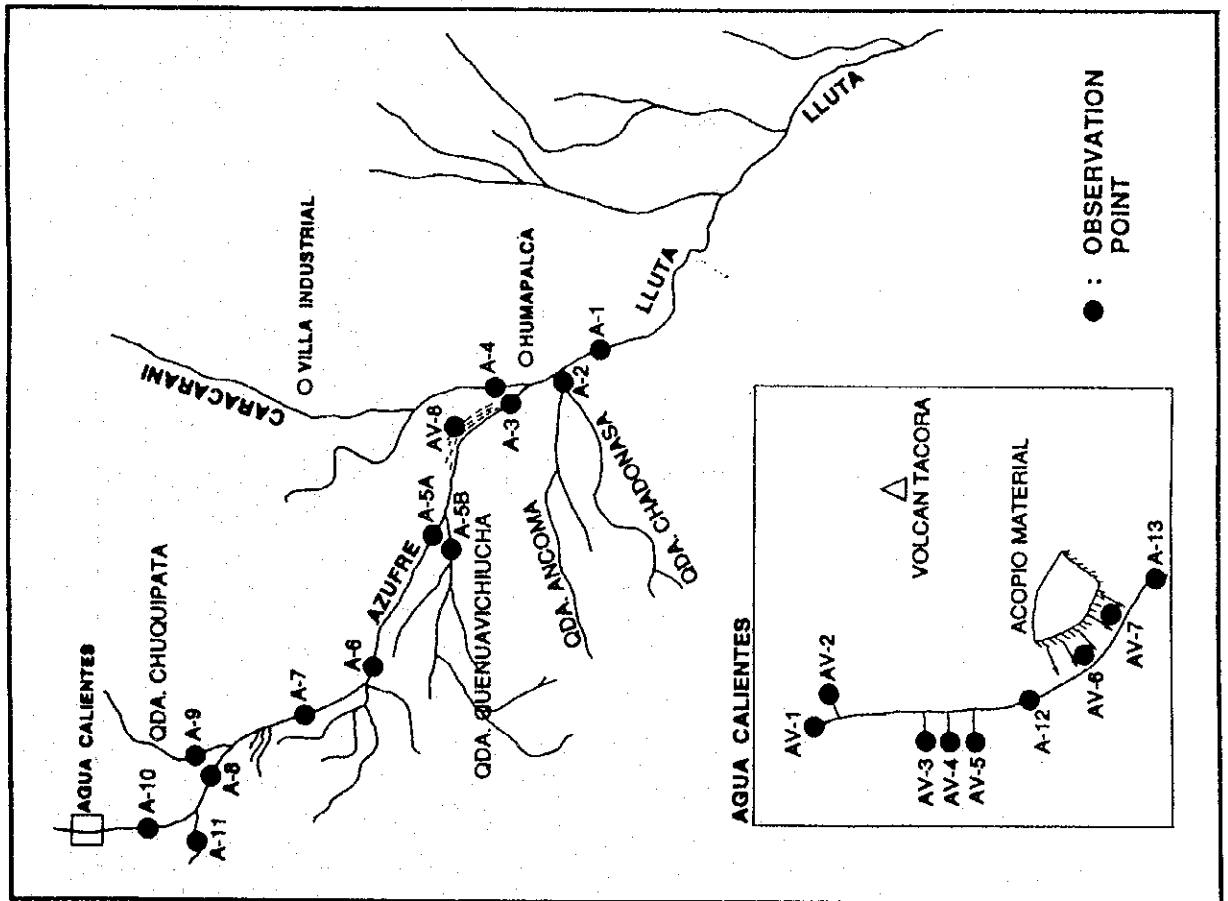
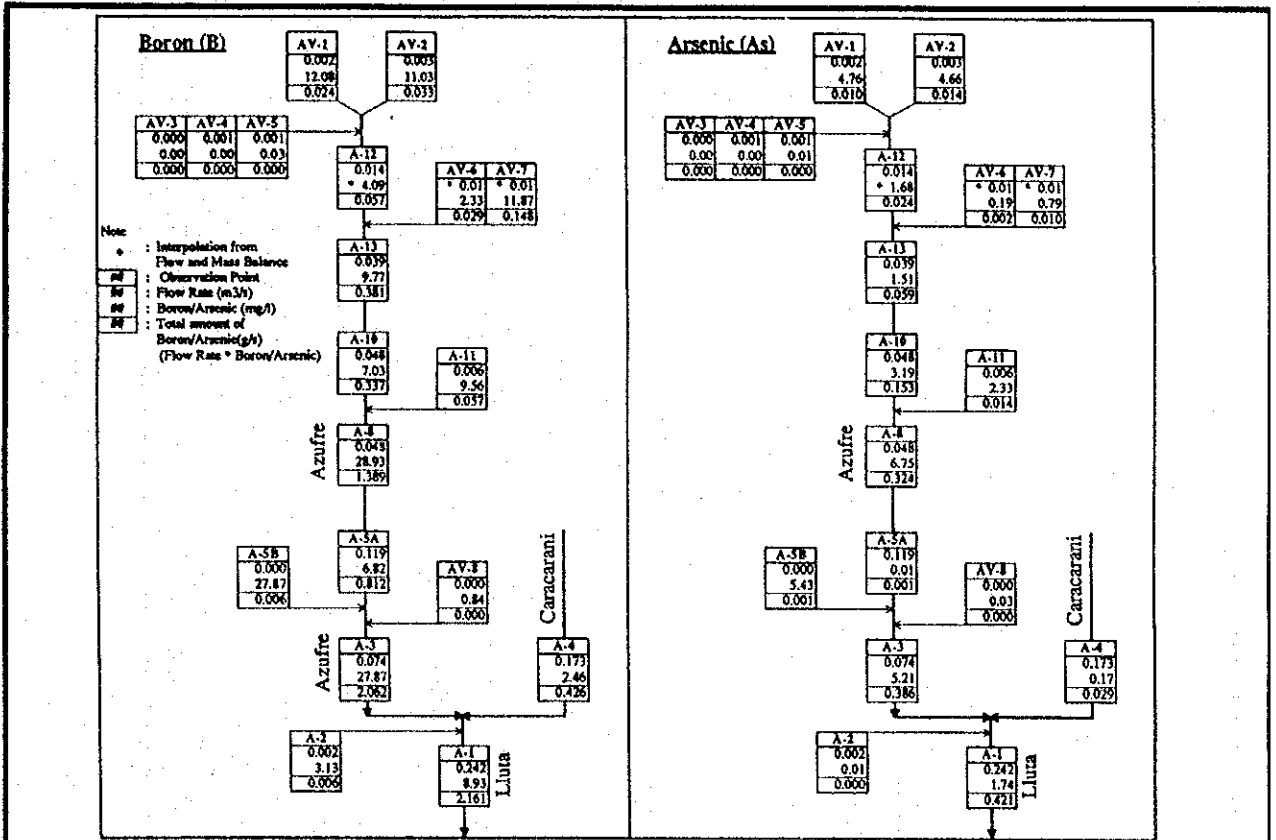


Fig. 2.6 (1) Observed Water Quality in Azufre River
 <Calidad de Agua Observada en Rio Azufre>

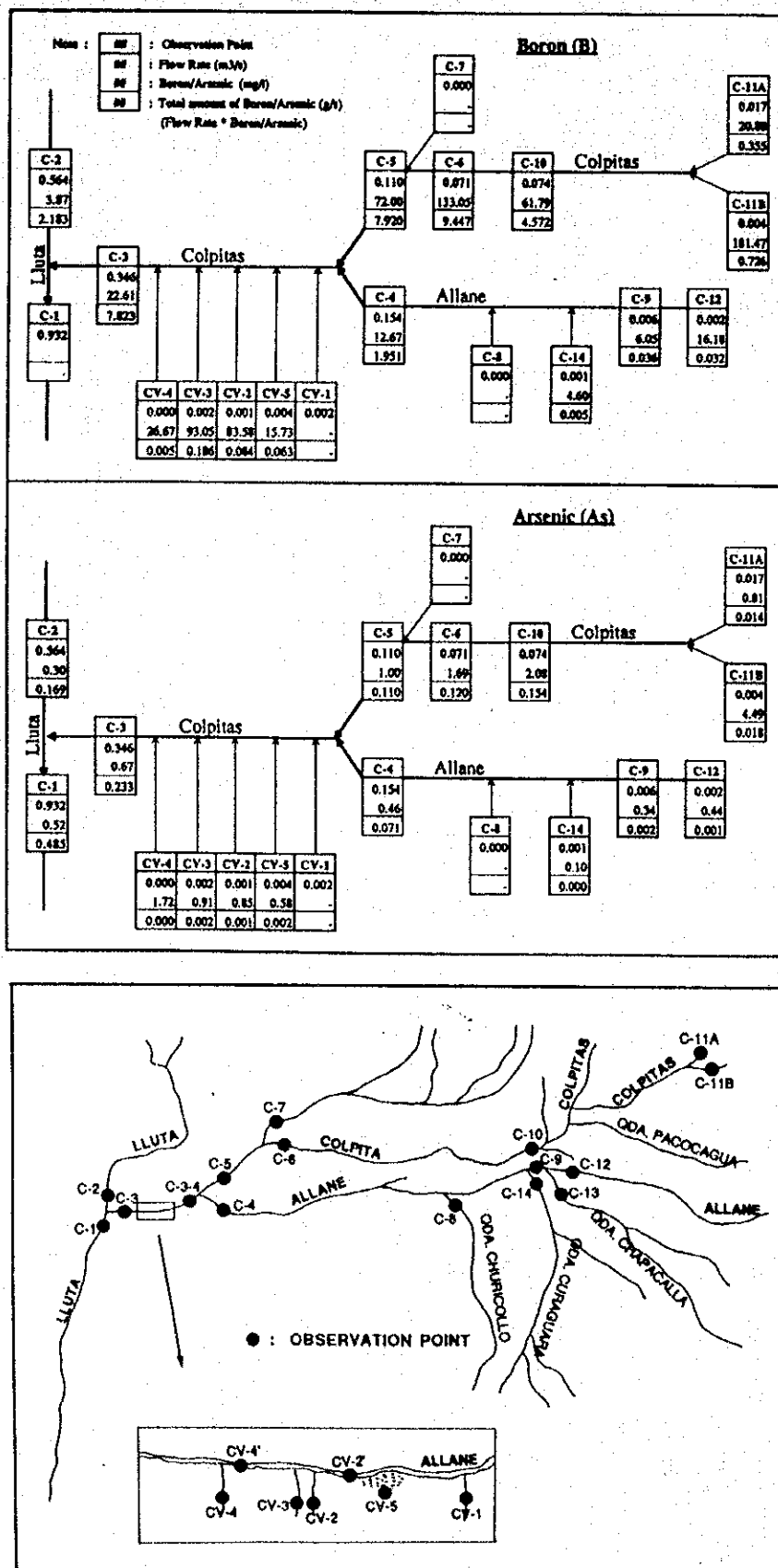


Fig. 2.6 (2) Observed Water Quality in Colpitas River
 <Calidad de Agua Observad en Río Colpitas>

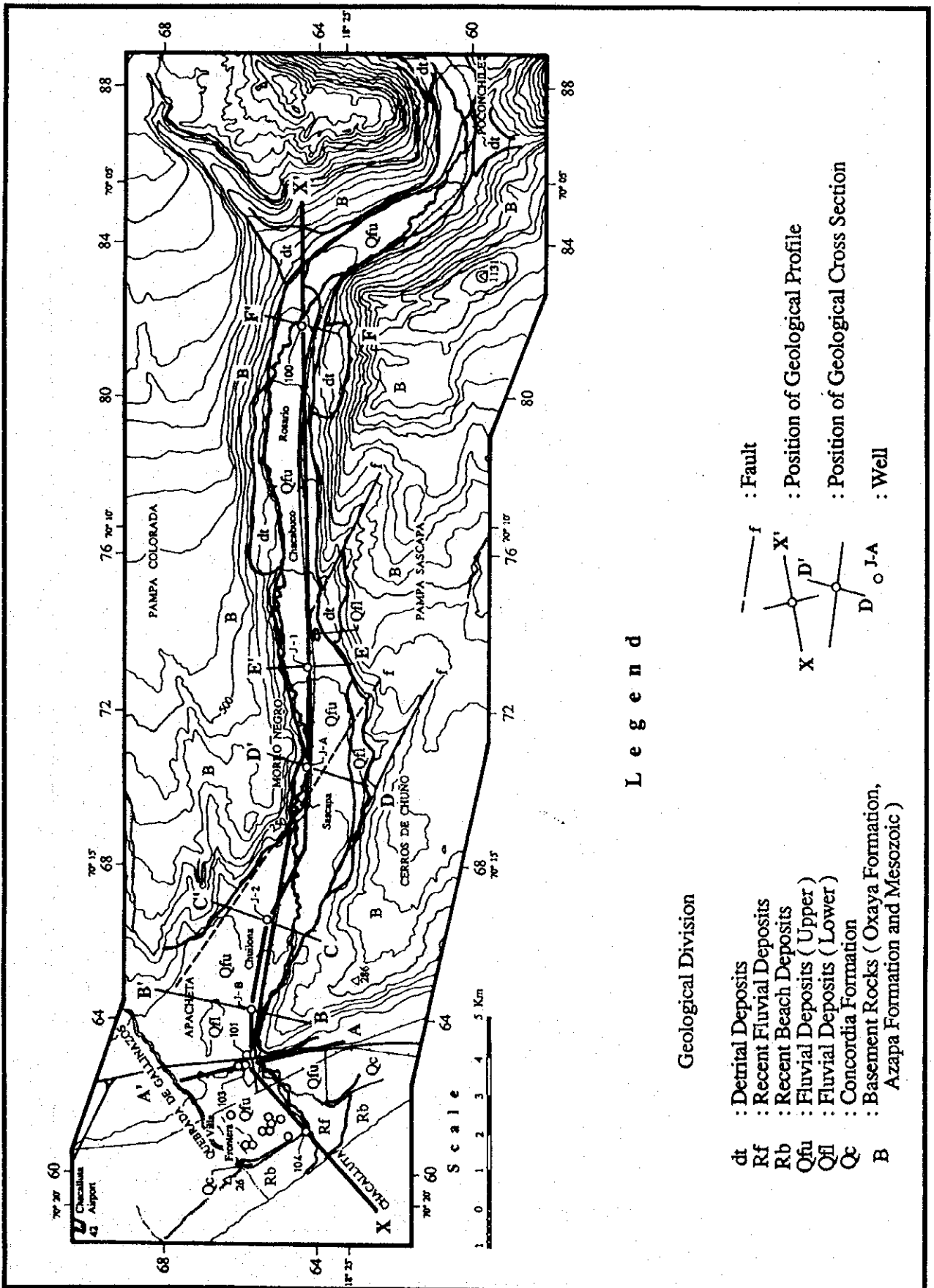


Fig. 2.7 Geological Map (Lower Lluta Valley)
 < Mapa Geológica (Curso Bajo del Valle de Lluta) >

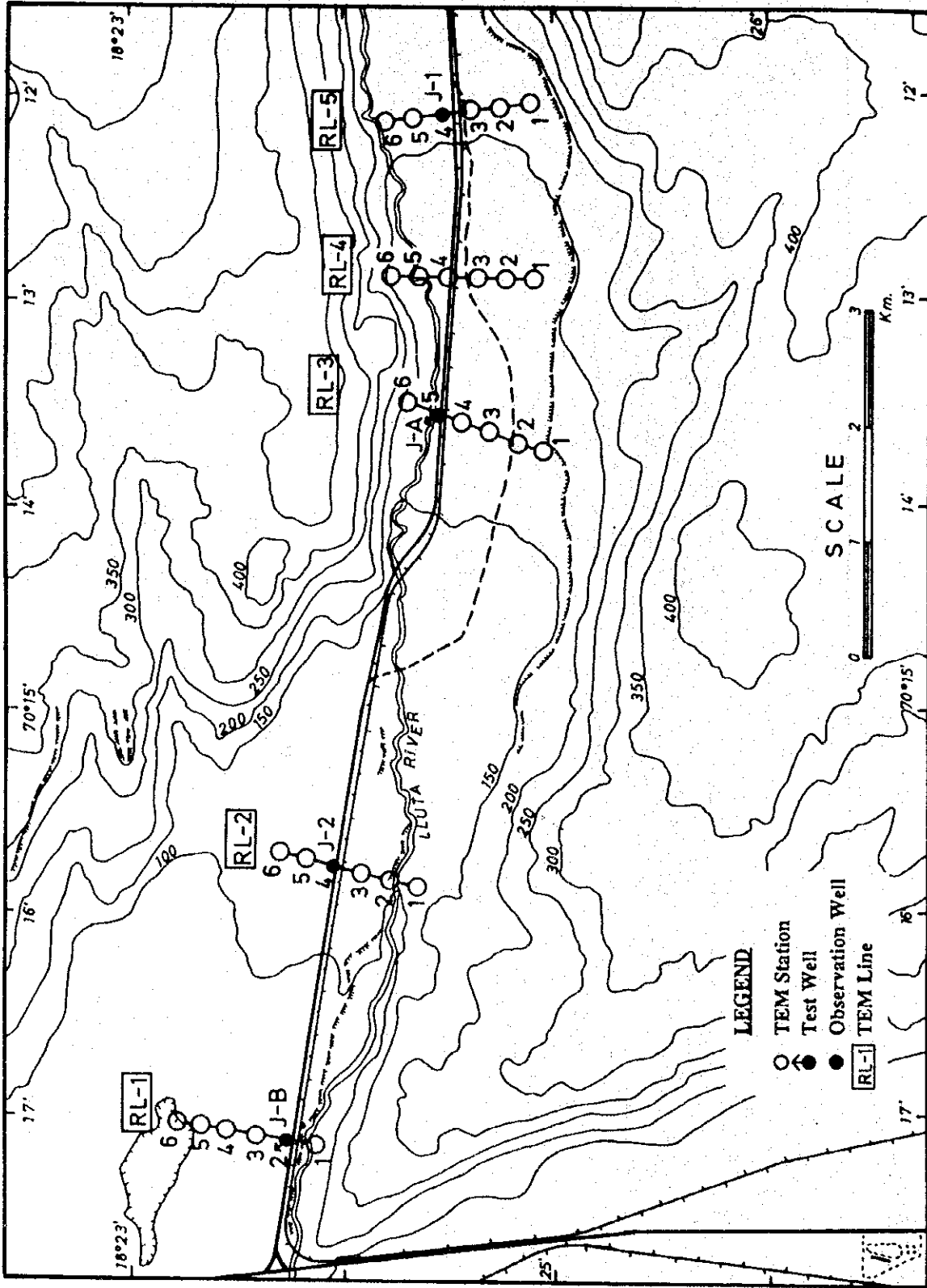


Fig. 2.8 Location of TEM Station and Test/Observation Wells (Lower Lluta Valley)
 <Ubicación de las Estaciones TEM y Pozos de Pruebay Observación (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

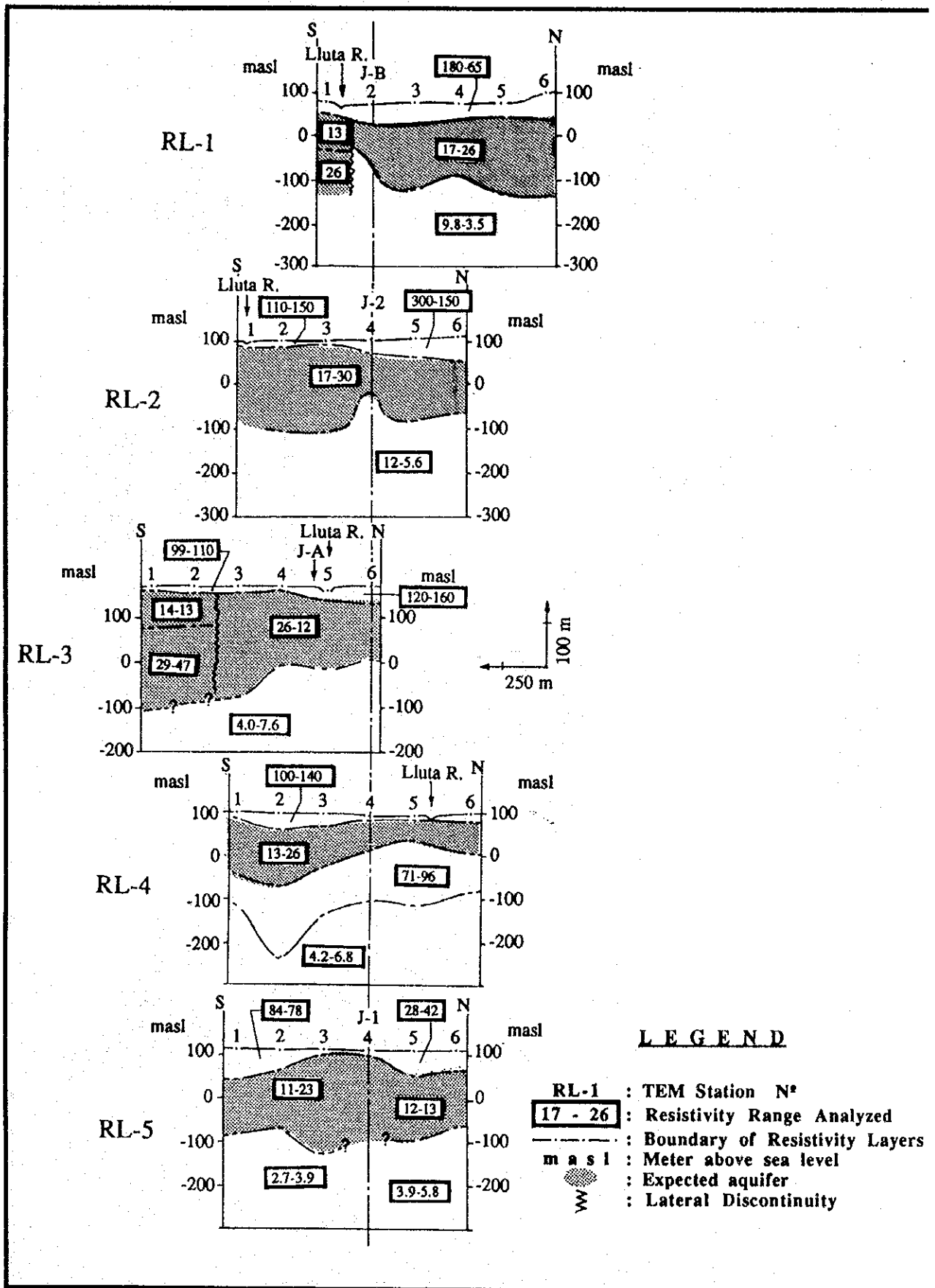


Fig. 2.9 Geoelectric Profiles (Lower Lluta Valley)
<Perfiles Geoelectricos (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

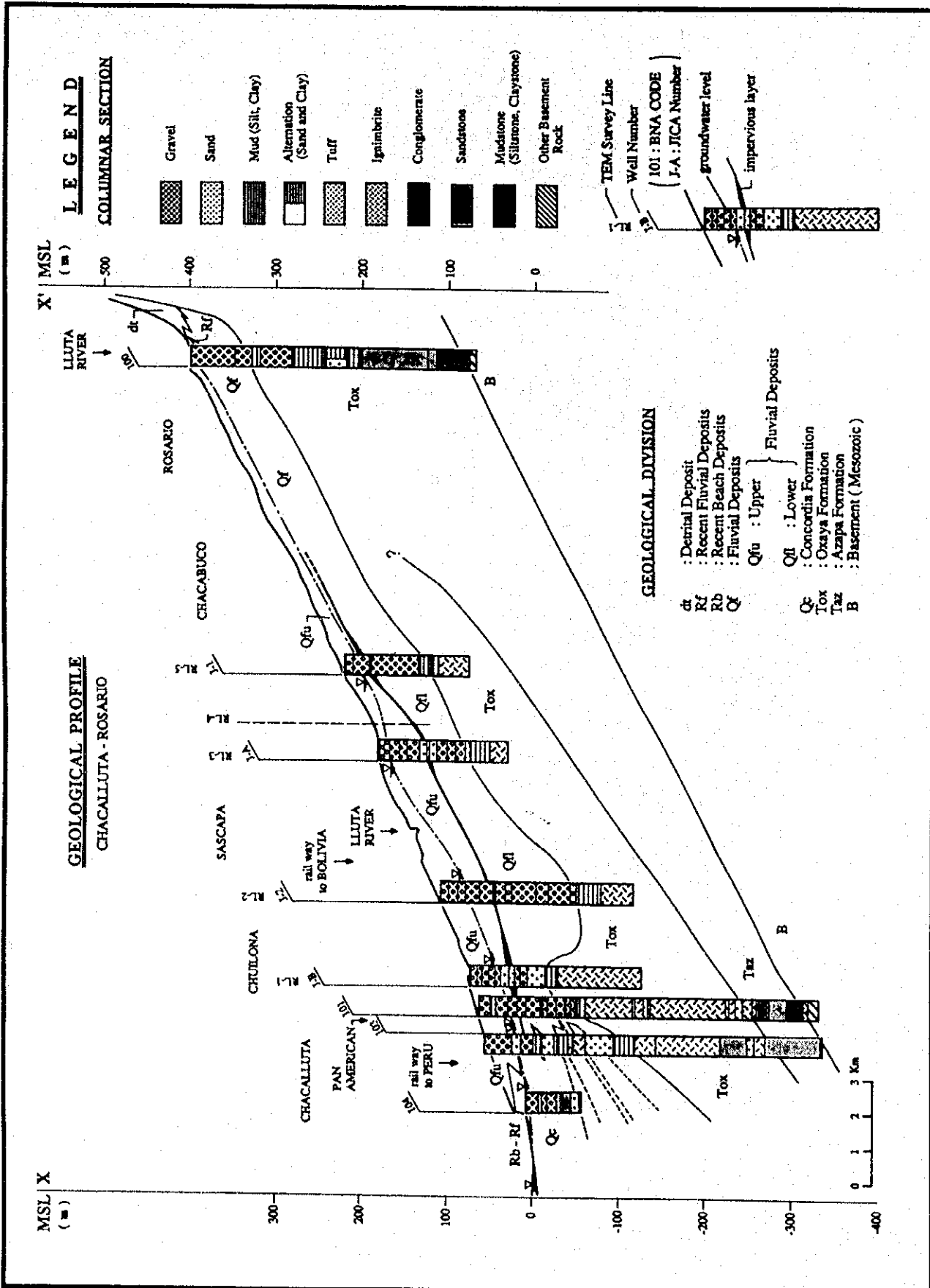


Fig. 2.10 Geological Profile (X-X') (Lower Lluta Valley)
< Perfil Geológico (X-X') (Curso Bajo del Valle de Lluta) >

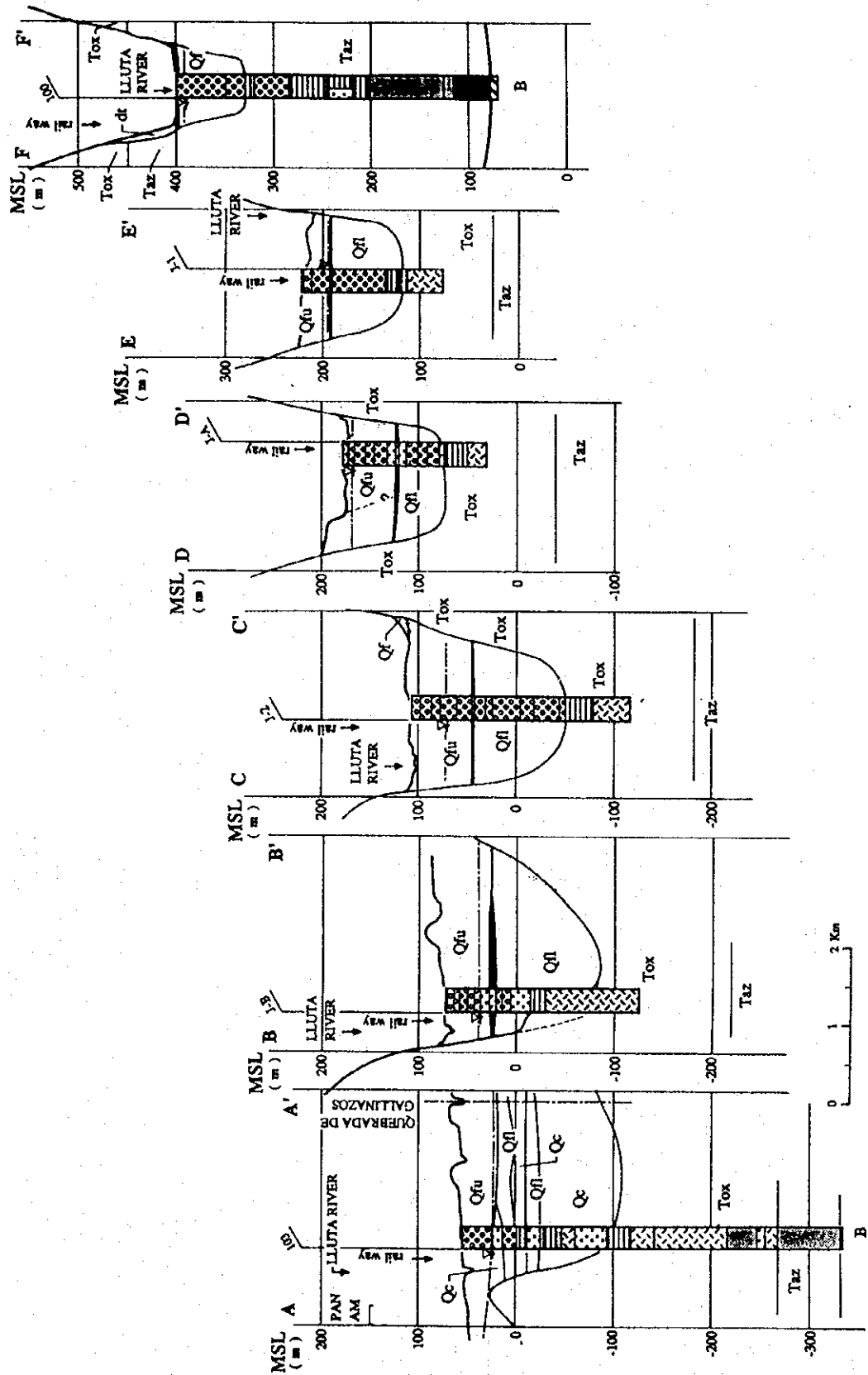


Fig. 2.11

Geological Cross Sections (Lower Lluta Valley)

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

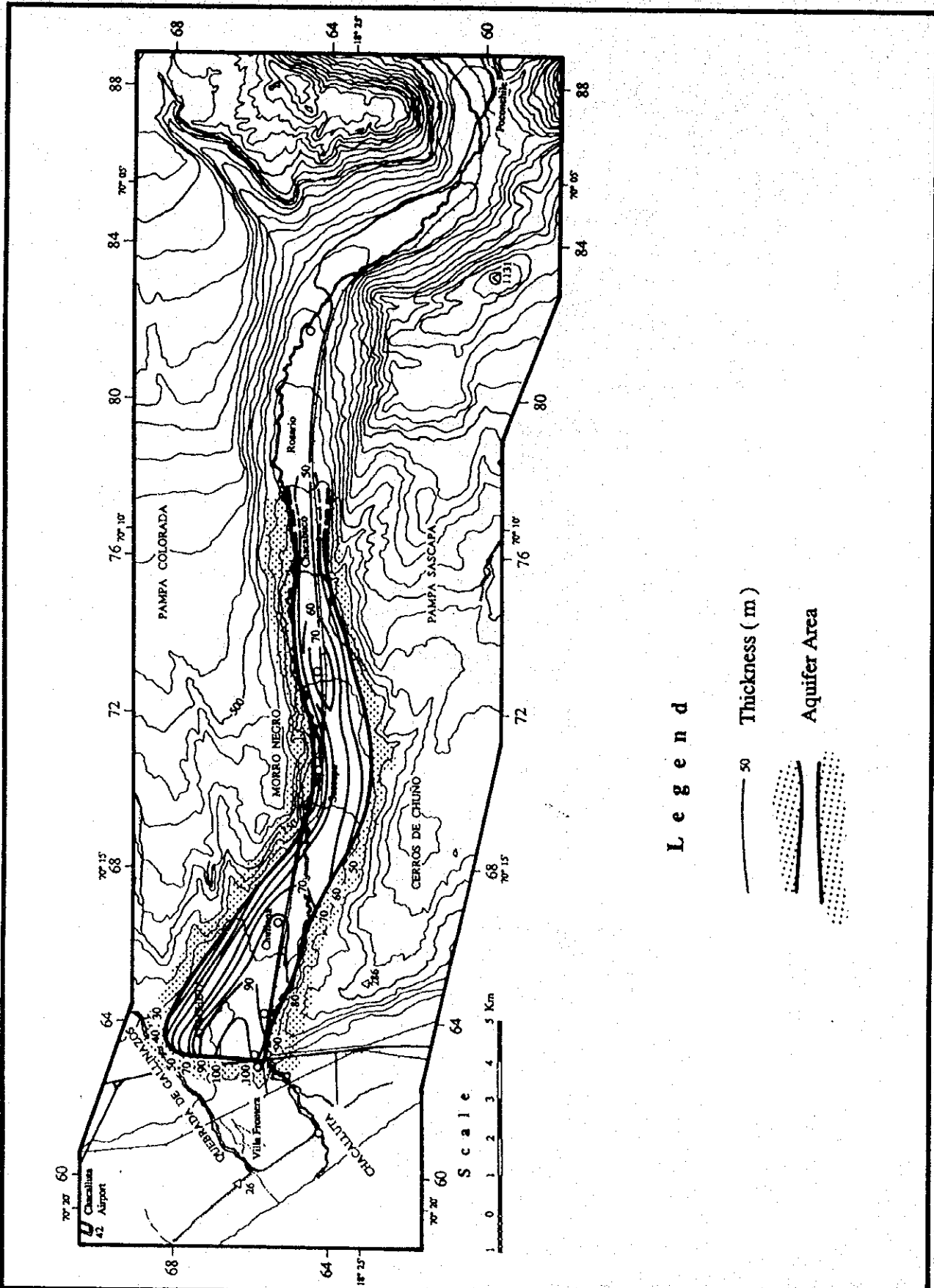


Fig. 2.12 Isopach Map of Deep Aquifer (Lower Lluta Valley)
 <Mapa Isopaca de Acuífero Profundo (Curso Bajo del Valle de Lluta)>

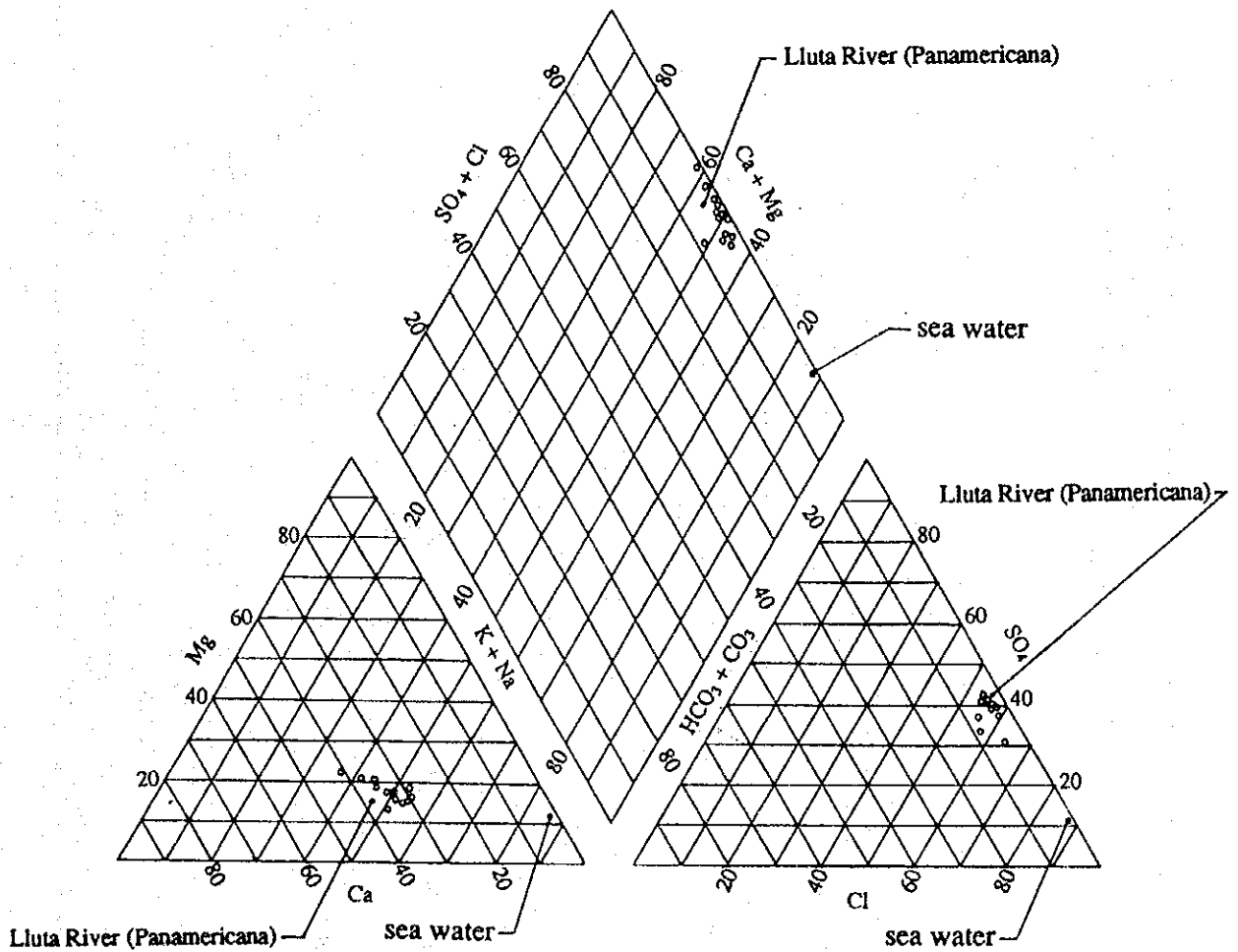


Fig. 2.13 Tri-linear Diagram of Major Ions (Lower Lluta Valley)

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

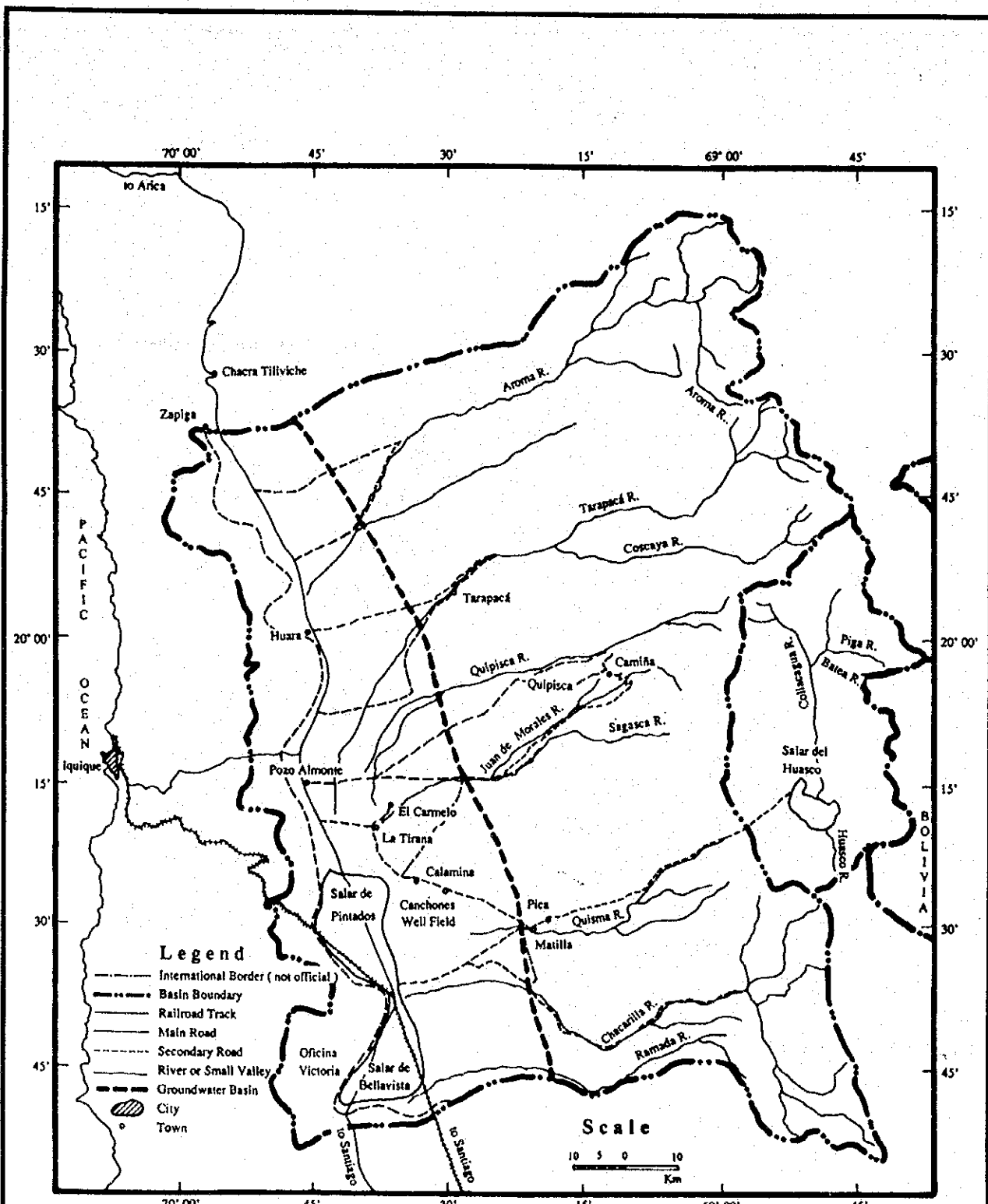


Fig. 2.14 Basin Map of Pampa del Tamarugal and Salar del Huasco
 <Plano de Cuencas Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco>

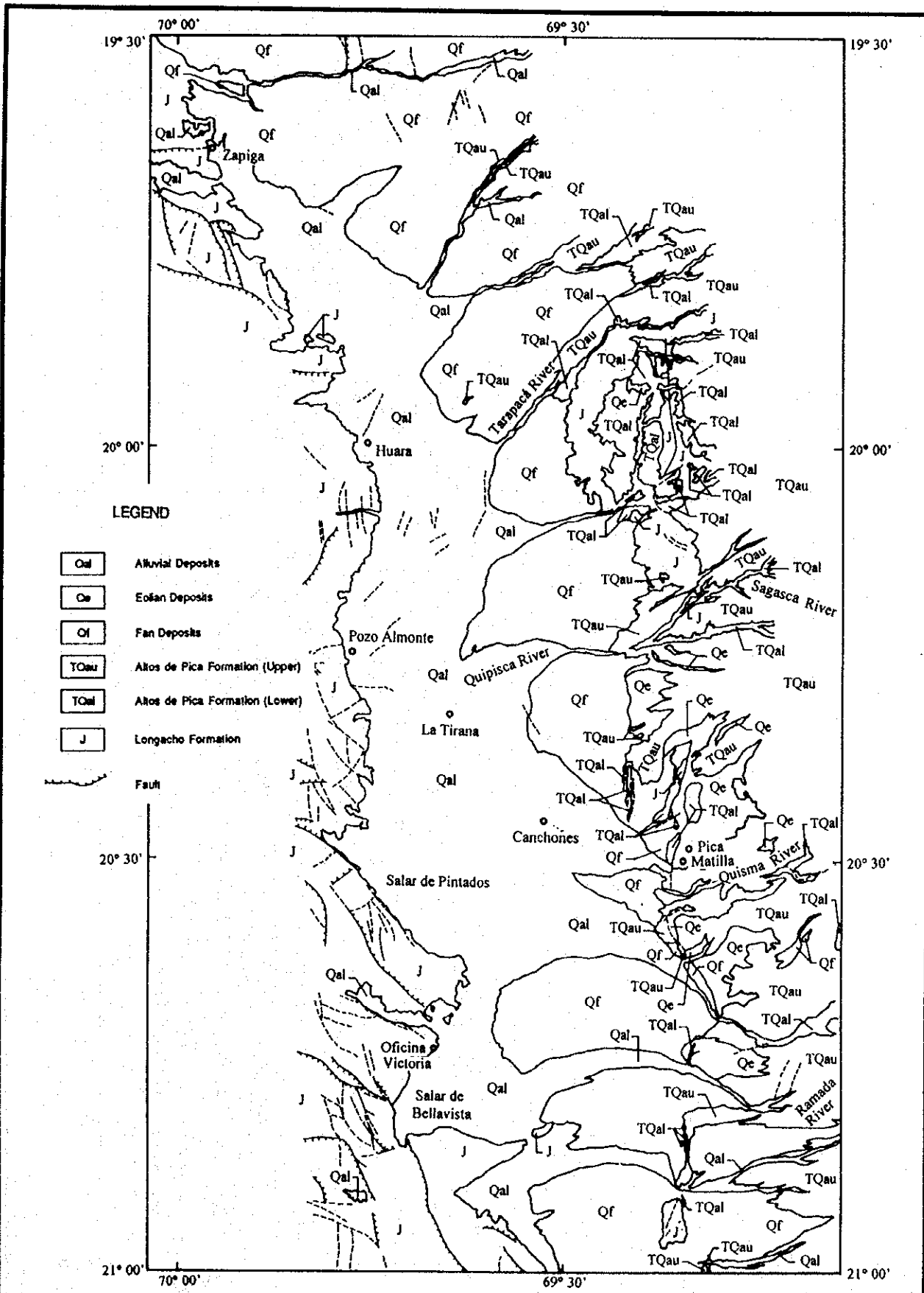


Fig. 2.15 Geological Map (Pampa del Tamarugal)
 < Mapa Geológica (Pampa del Tamarugal) >

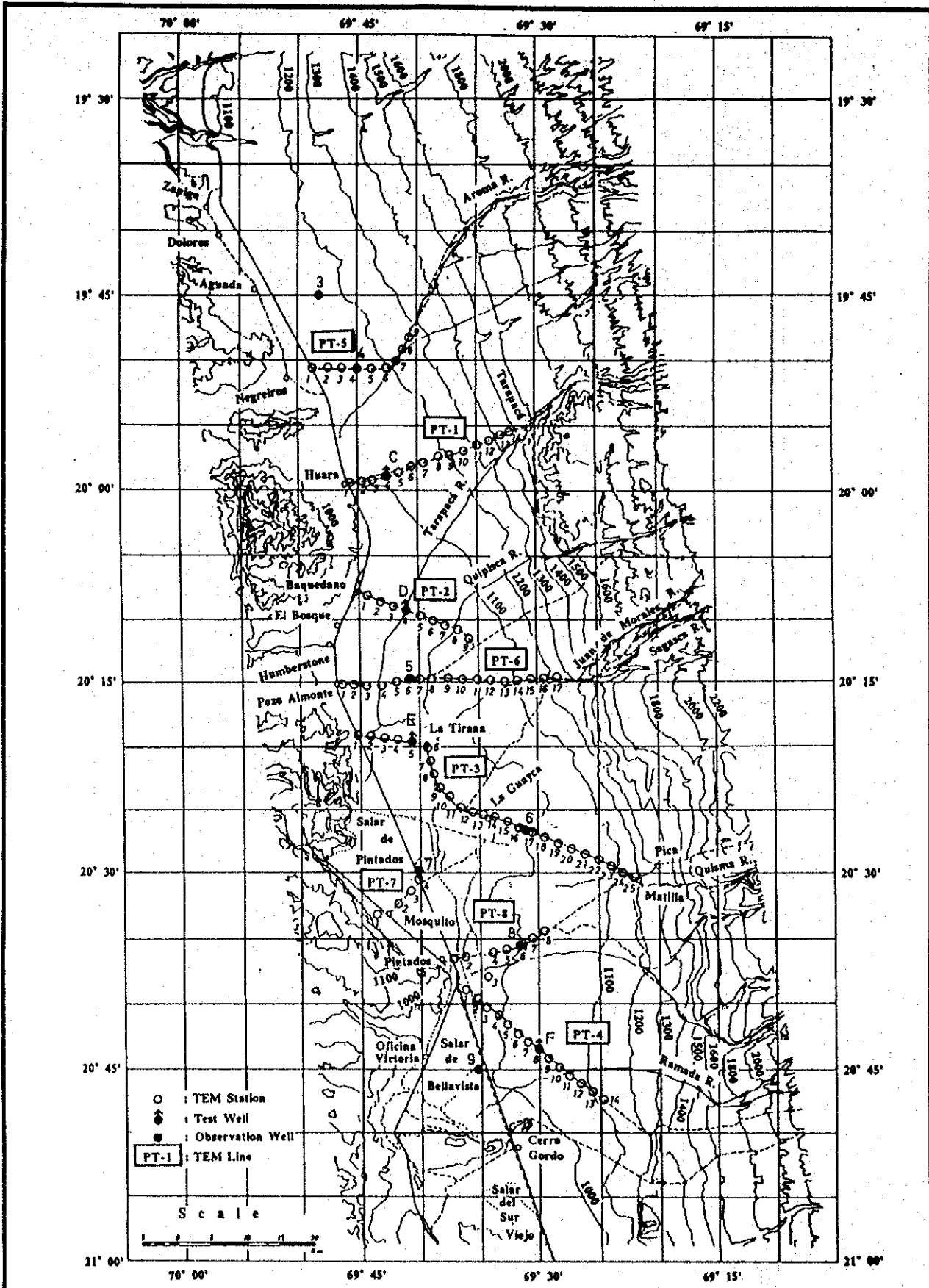


Fig. 2.16 Location of TEM Station and Test/Observation Well (Pampa del Tamarugal)
 <Ubicación de las Estaciones TEM y Pozos de Prueba y Observación (Pampa del Tamarugal)>

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE

JICA

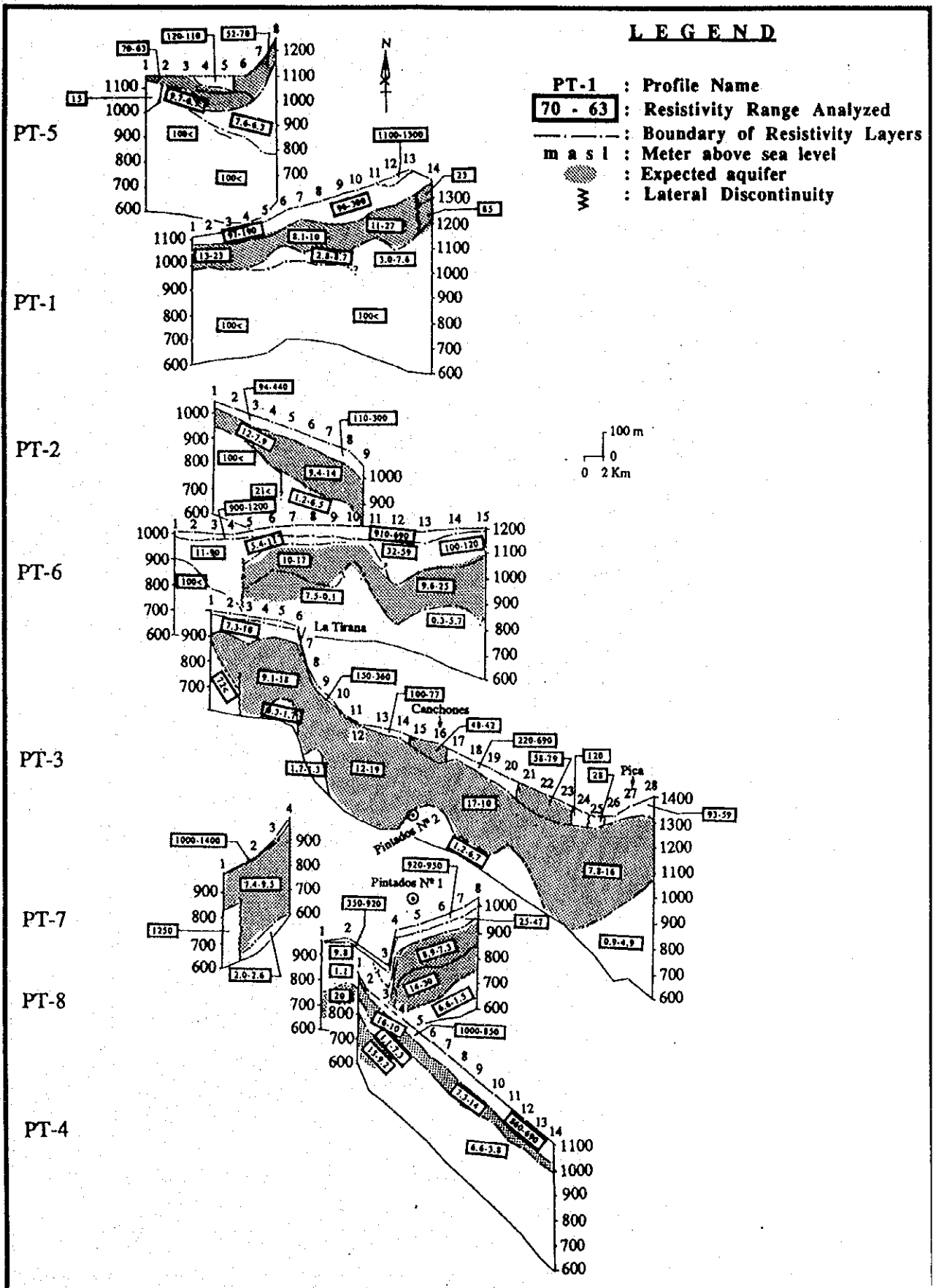


Fig. 2.17 Geoelectric Profile (Pampa del Tamarugal)
<Perfiles Geoeléctricos (Pampa del Tamarugal)>

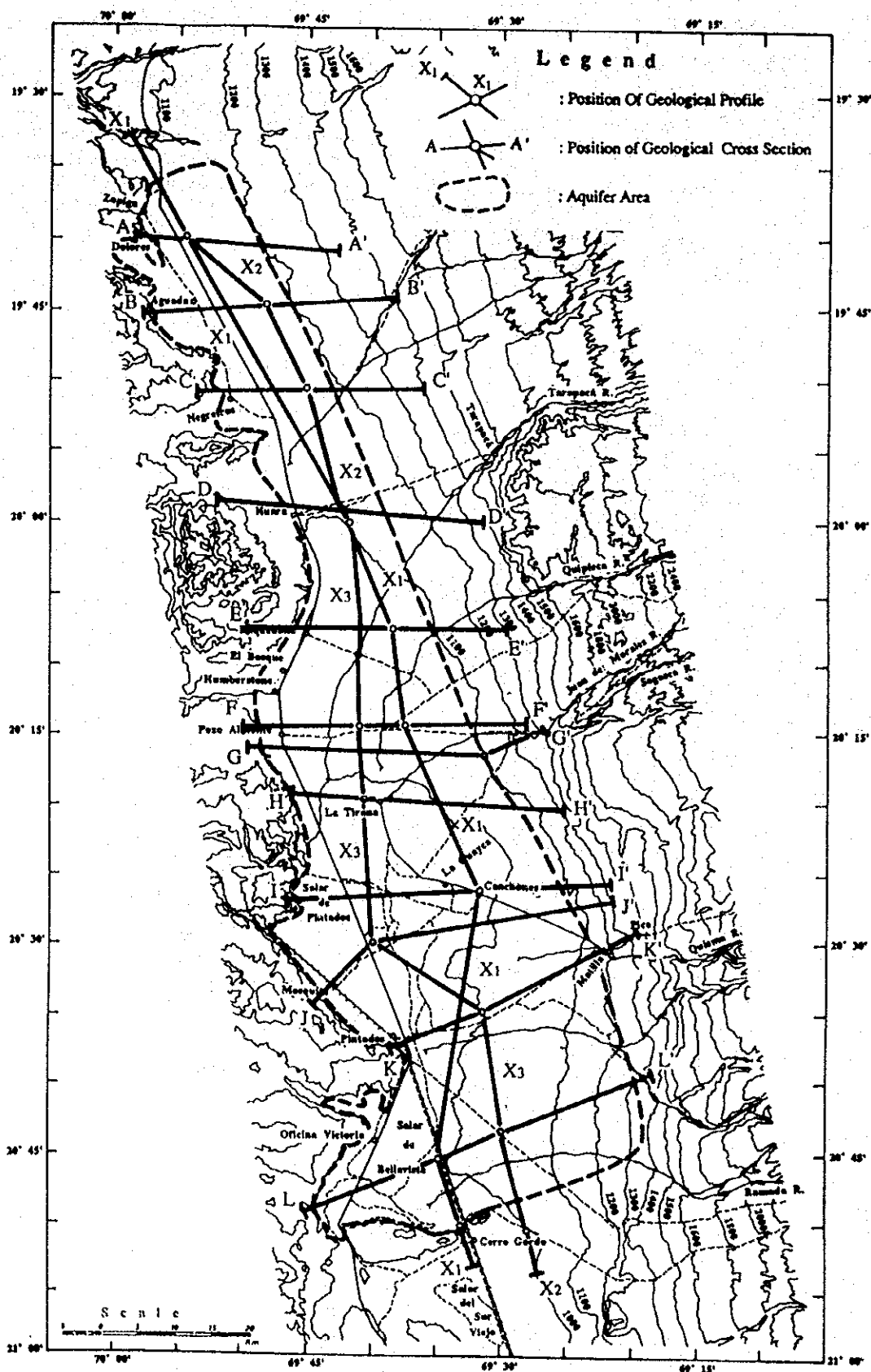


Fig. 2.18 Location of Geological Profile and Cross Section (Pampa del Tamarugal)
 < Ubicación Perfil Geológico y Sección Geológica Transversal (Pampa del Tamarugal) >

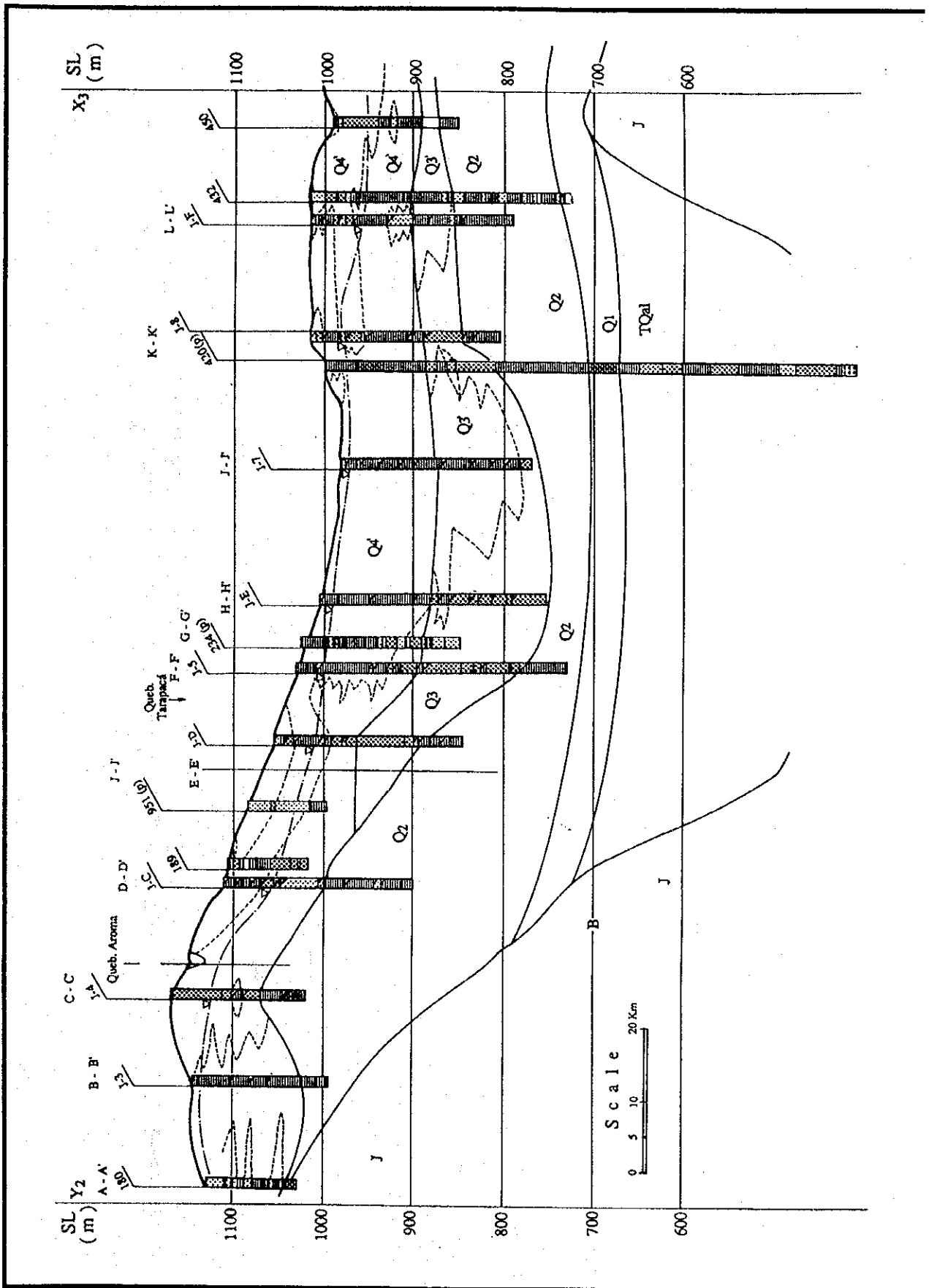


Fig. 2.19

Geological Profile (Pampa del Tamarugal)

< Perfil Geológico (Pampa del Tamarugal) >

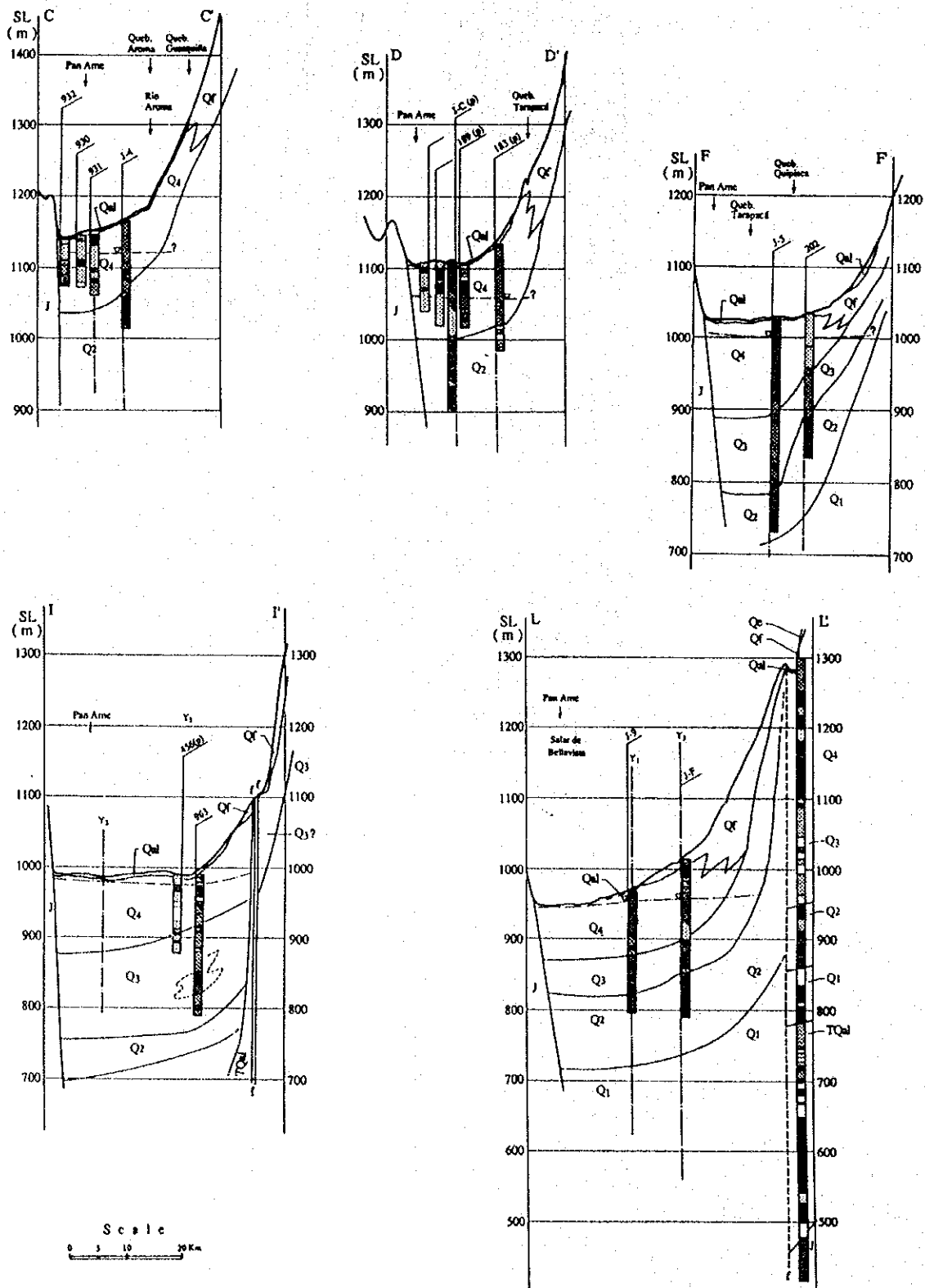


Fig. 2.20 Geological Cross Section (Pampa del Tamarugal)
 <Seccion Geologica Transversal(Pampa del Tamarugal)>

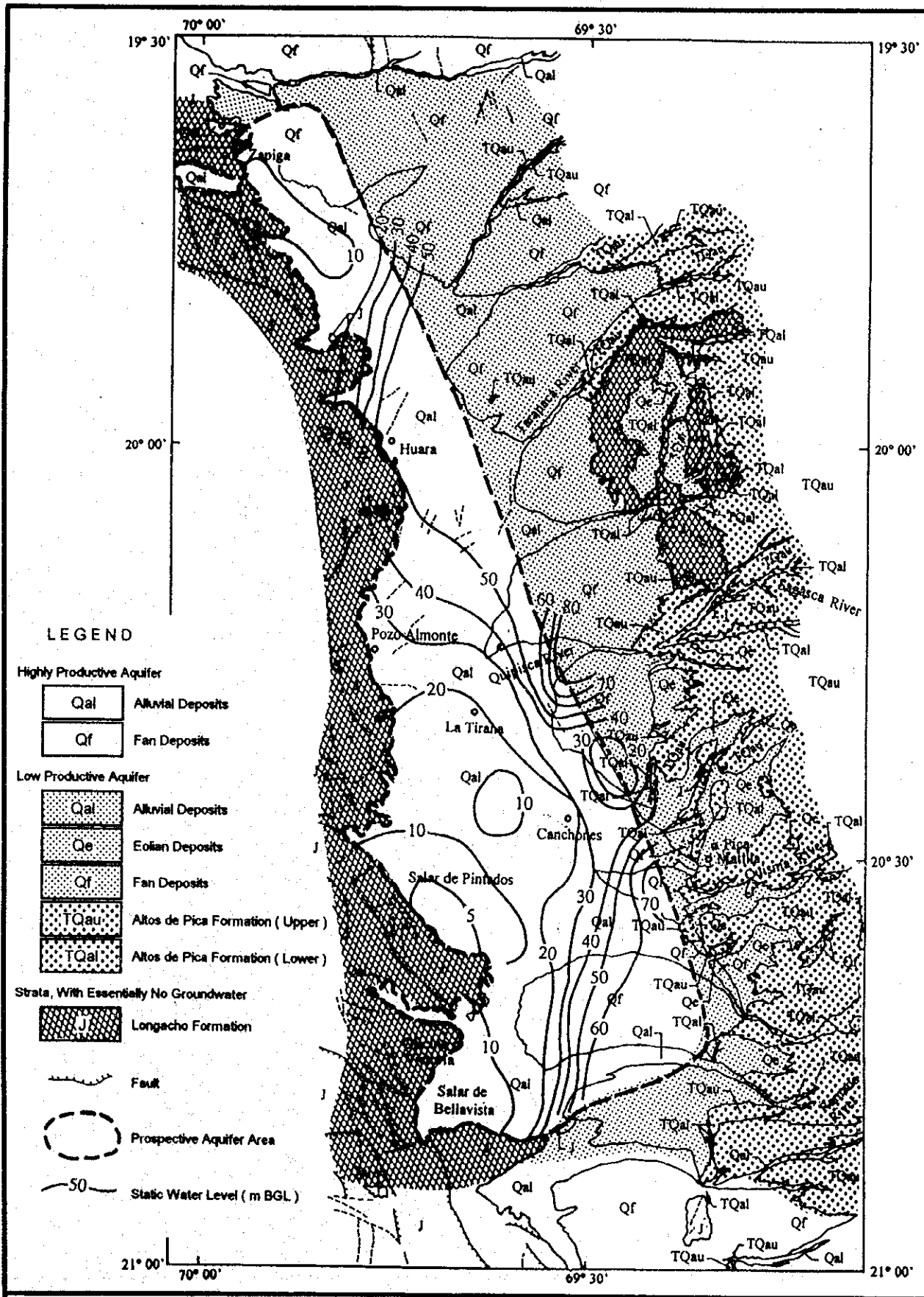


Fig. 2.21 Hydrogeological Map (Pampa del Tamarugal)
 < Mapa Hidrogeológica (Pampa del Tamarugal) >

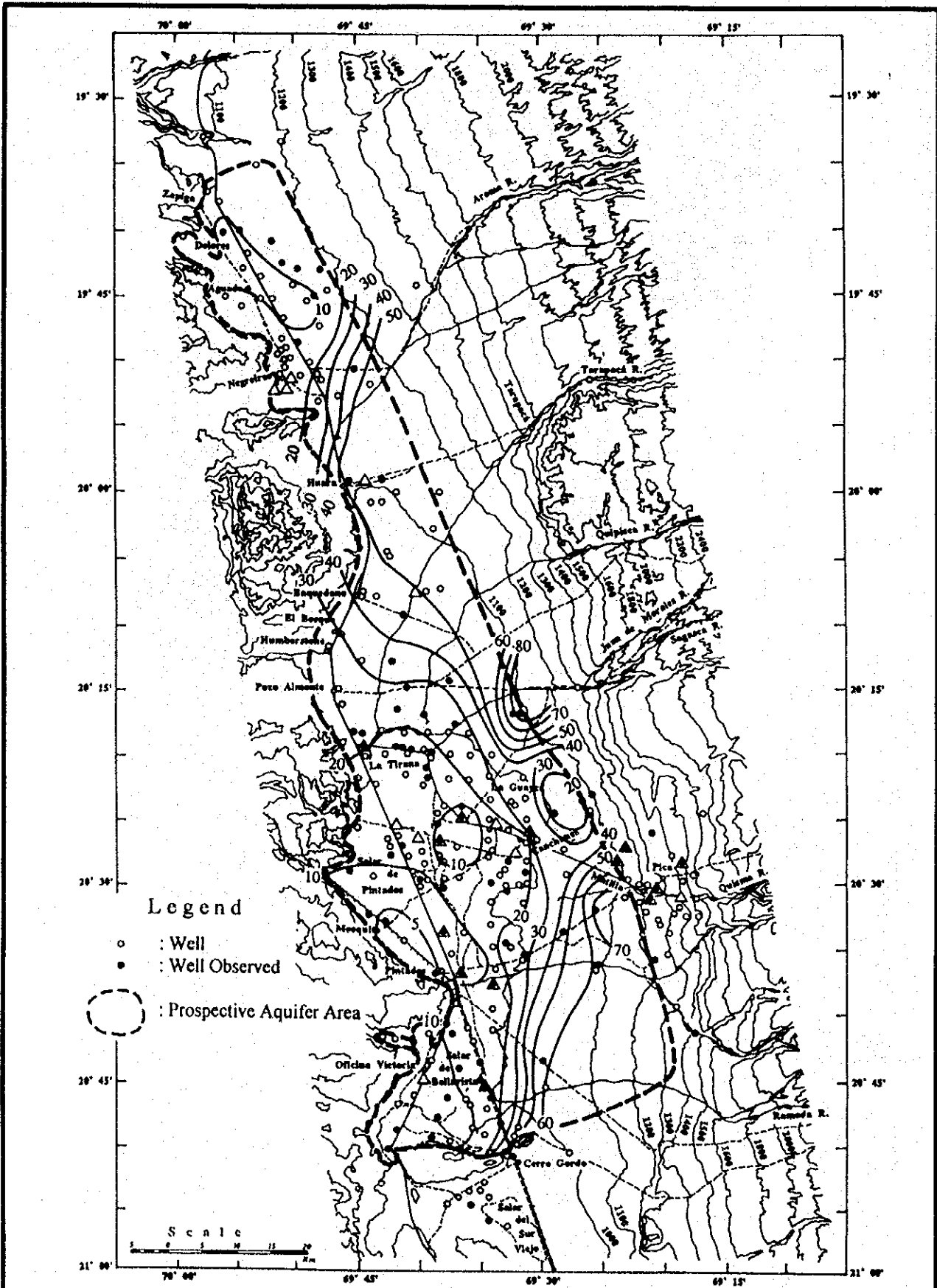


Fig. 2.22 Static Water Level (1993) : unit: mBGL
 <Nivel Estático (1993) : unidad: mBGL>

Unit : m BGL

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE

JICA

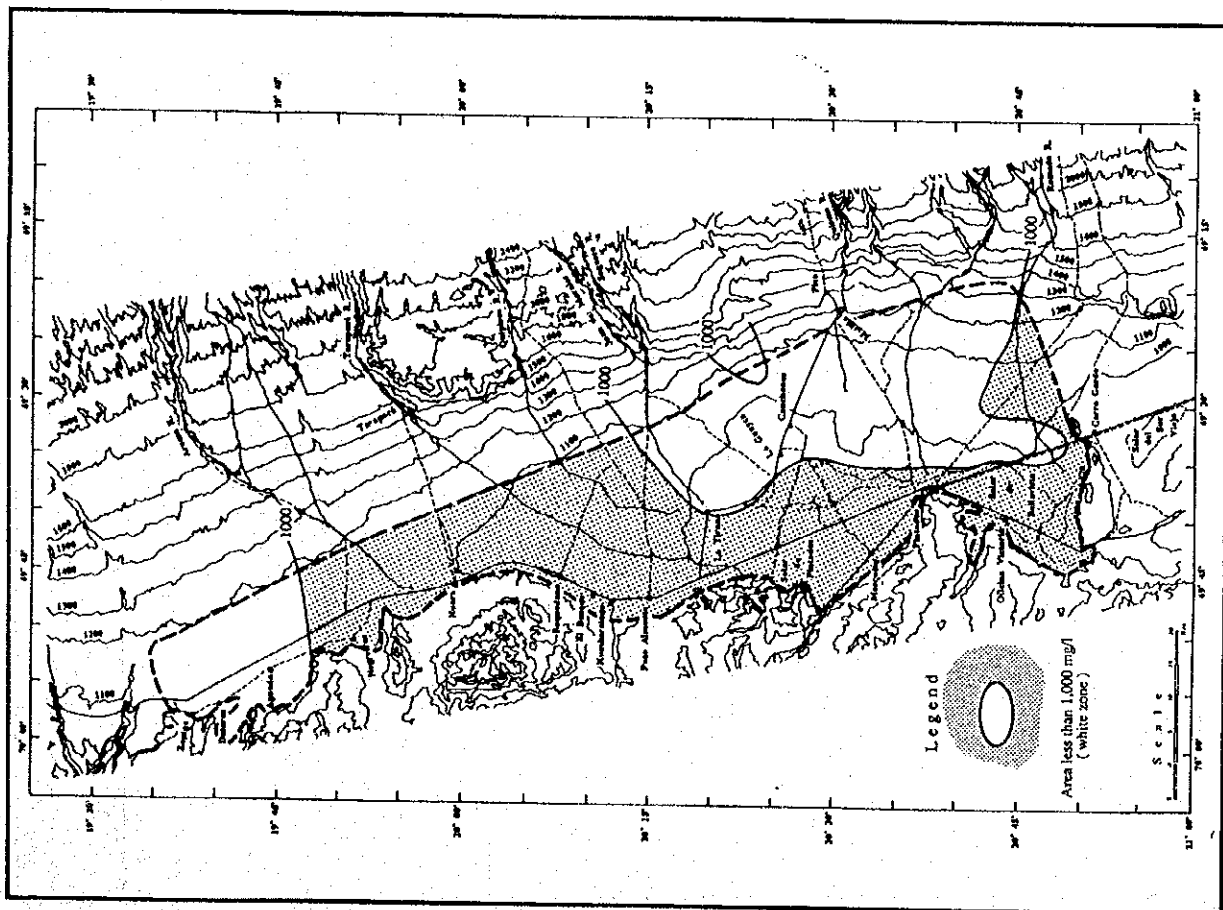


Fig. 2.23 (1) Distribution of TDS (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de TDS (Pampa del Tamarugal) >

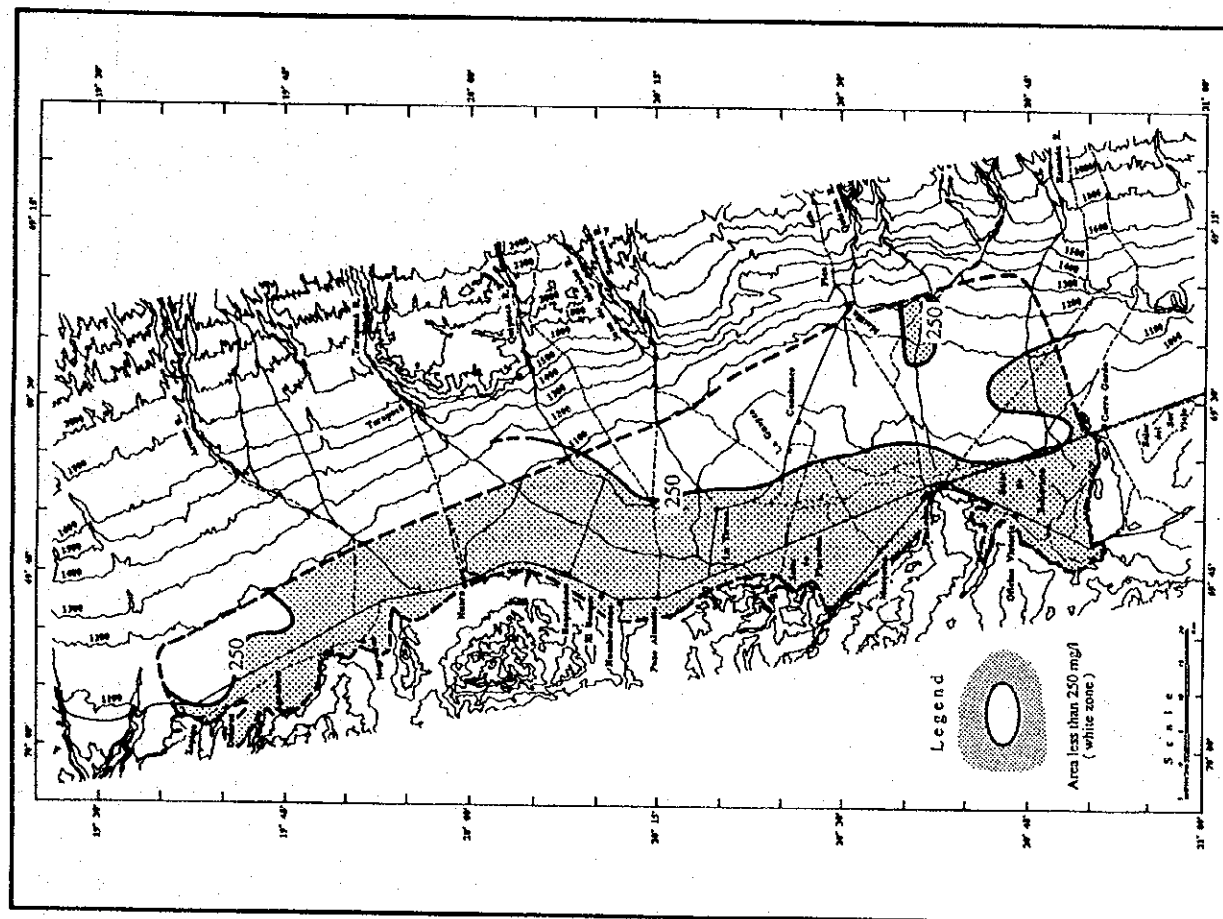


Fig. 2.23 (2) Distribution of Cl (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de Cl (Pampa del Tamarugal) >

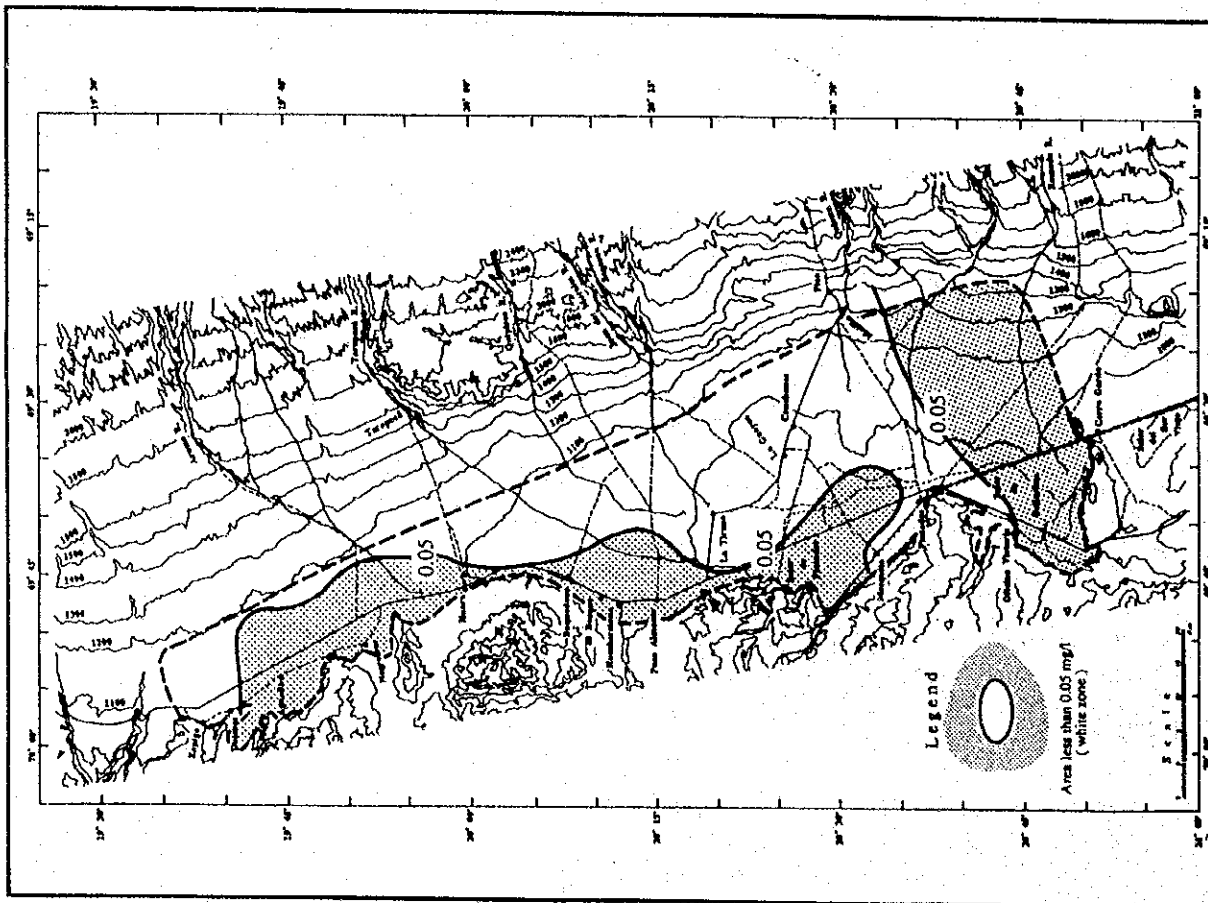


Fig. 2.23 (3) Distribution of As (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de As (Pampa del Tamarugal) >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE

JICA

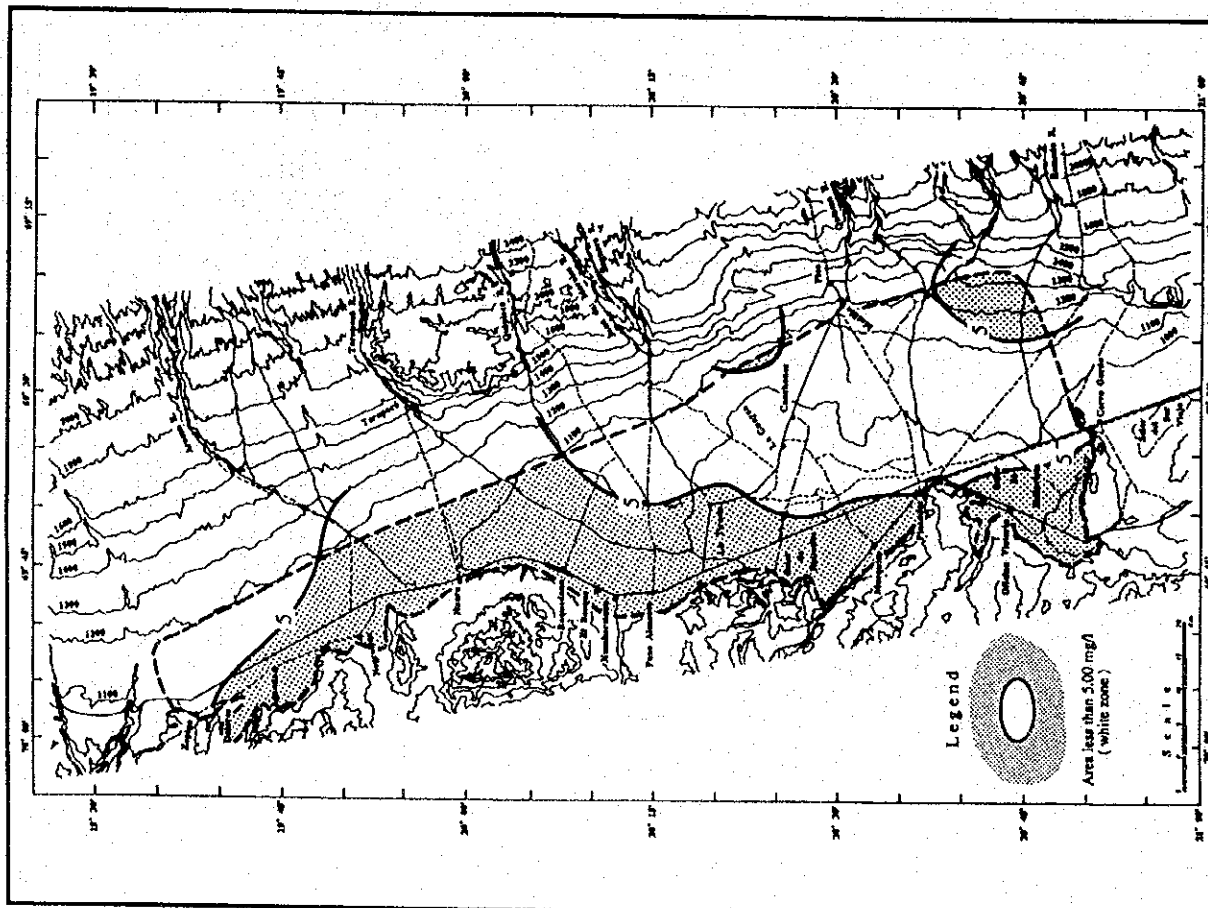


Fig. 2.23 (4) Distribution of B (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de B (Pampa del Tamarugal) >

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE

JICA

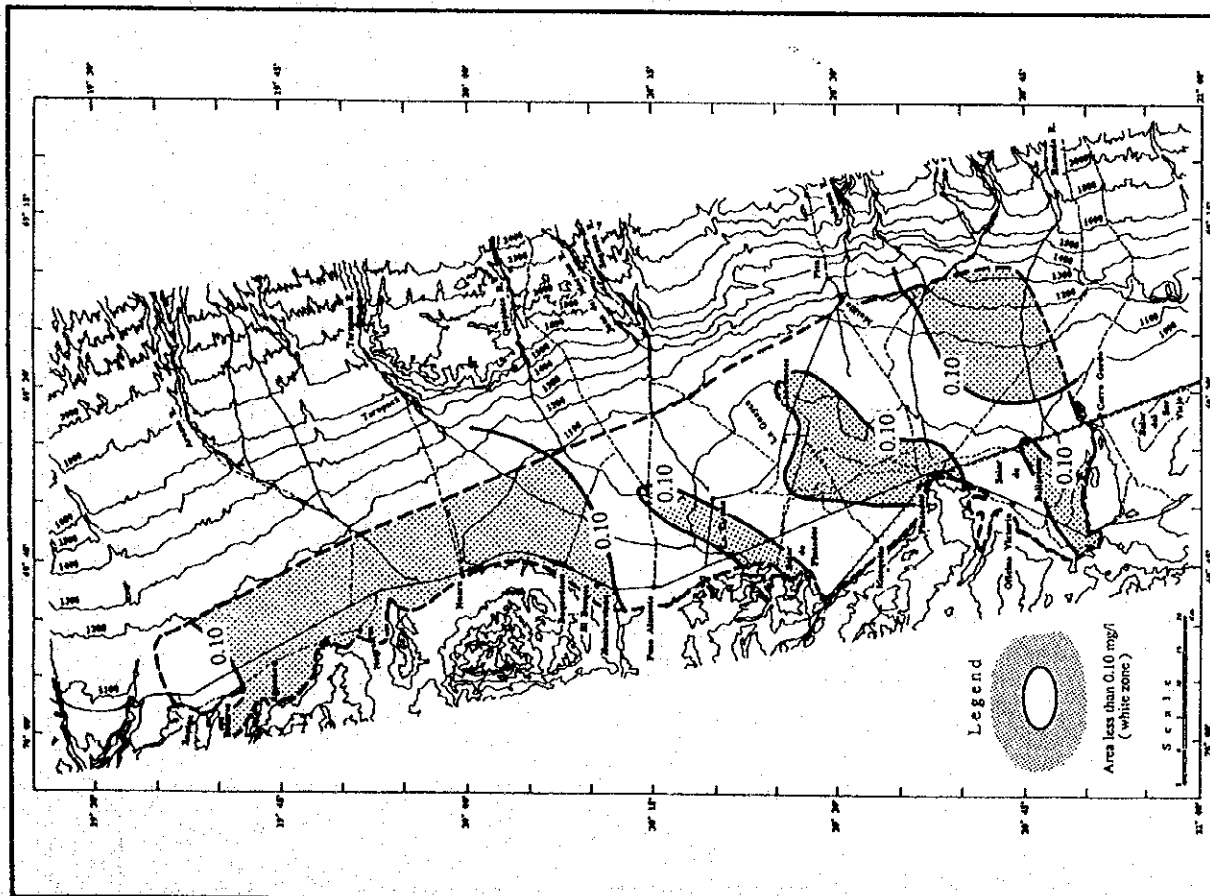


Fig. 2.23 (5) Distribution of Mn (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de Mn (Pampa del Tamarugal) >

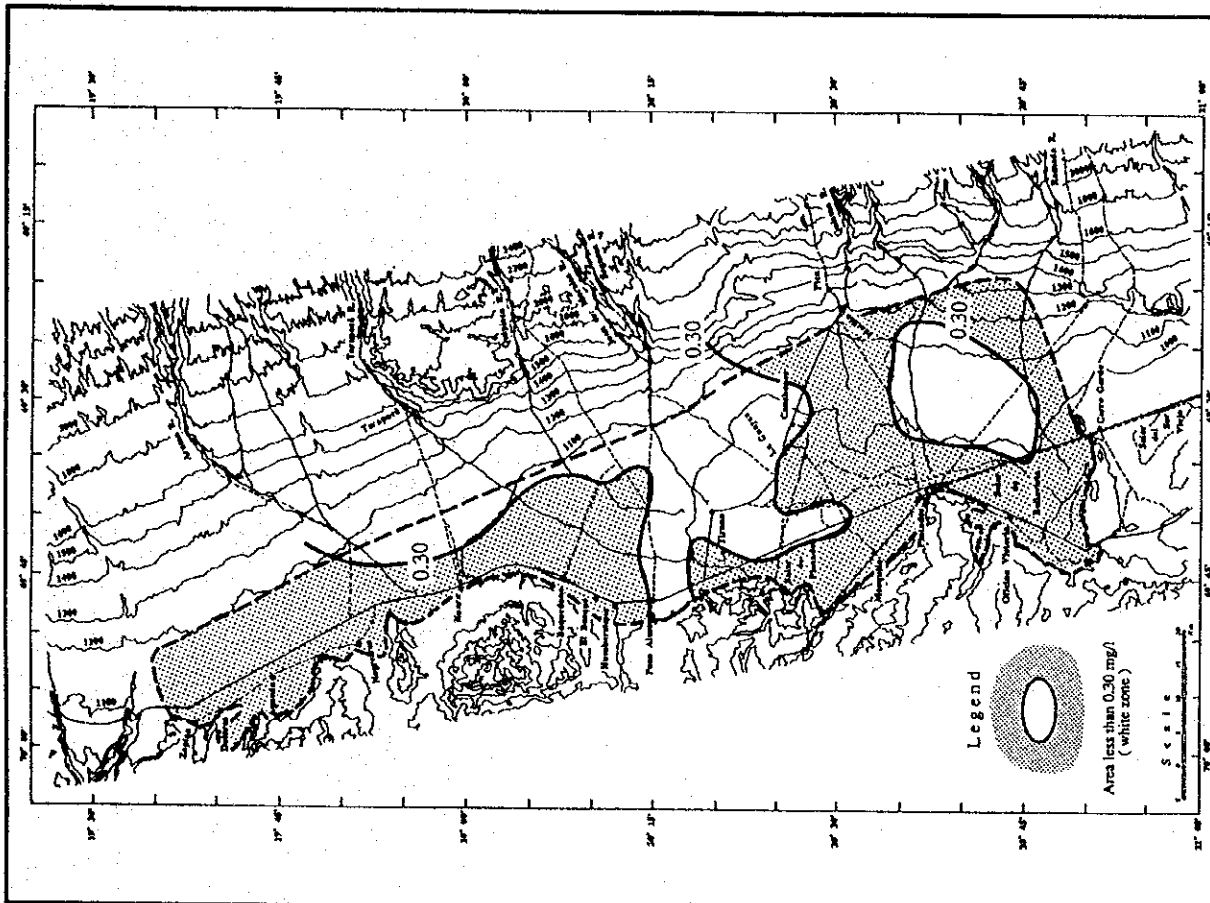


Fig. 2.23 (6) Distribution of Fe (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de Fe (Pampa del Tamarugal) >

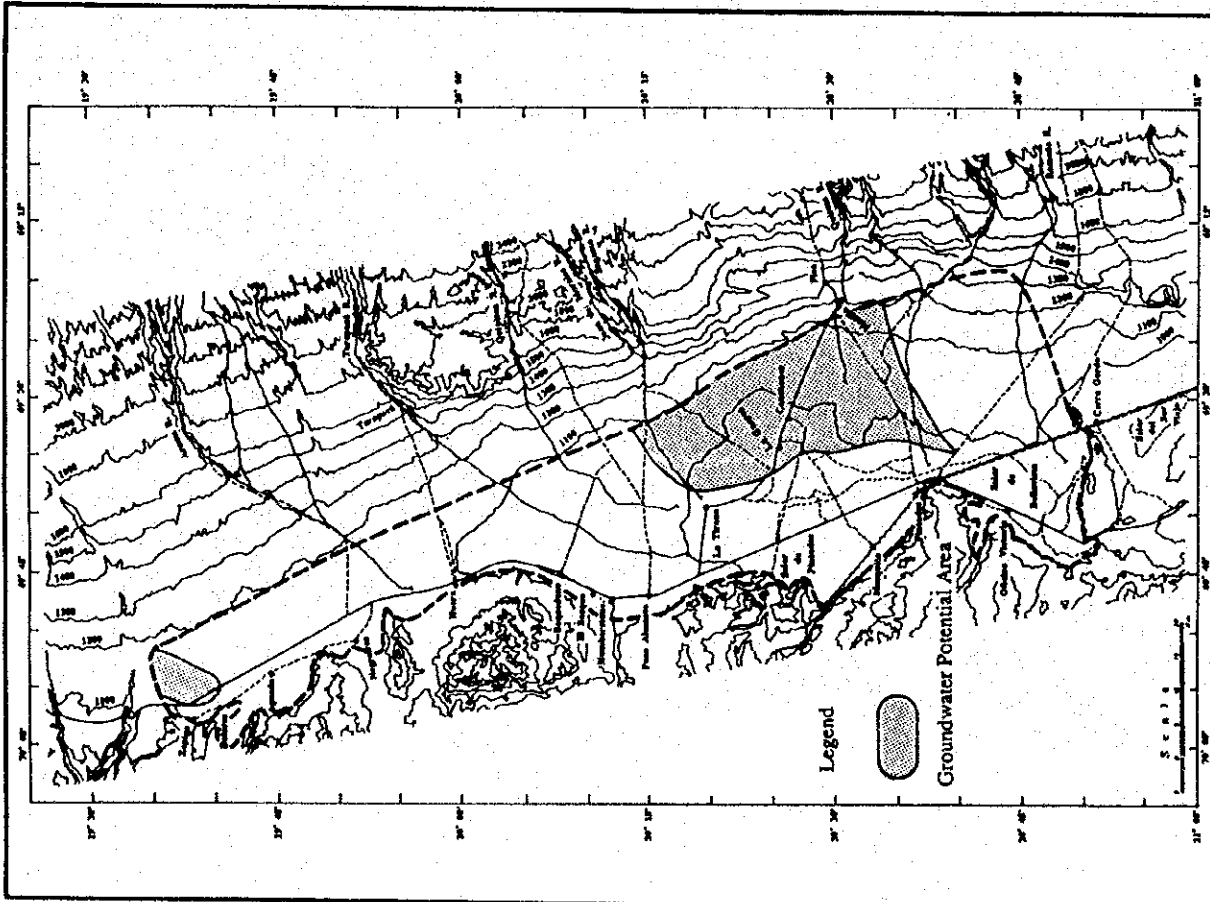


Fig. 2.23 (8) Prospective Aquifer Area
 <Área de Acuíferos Probables>

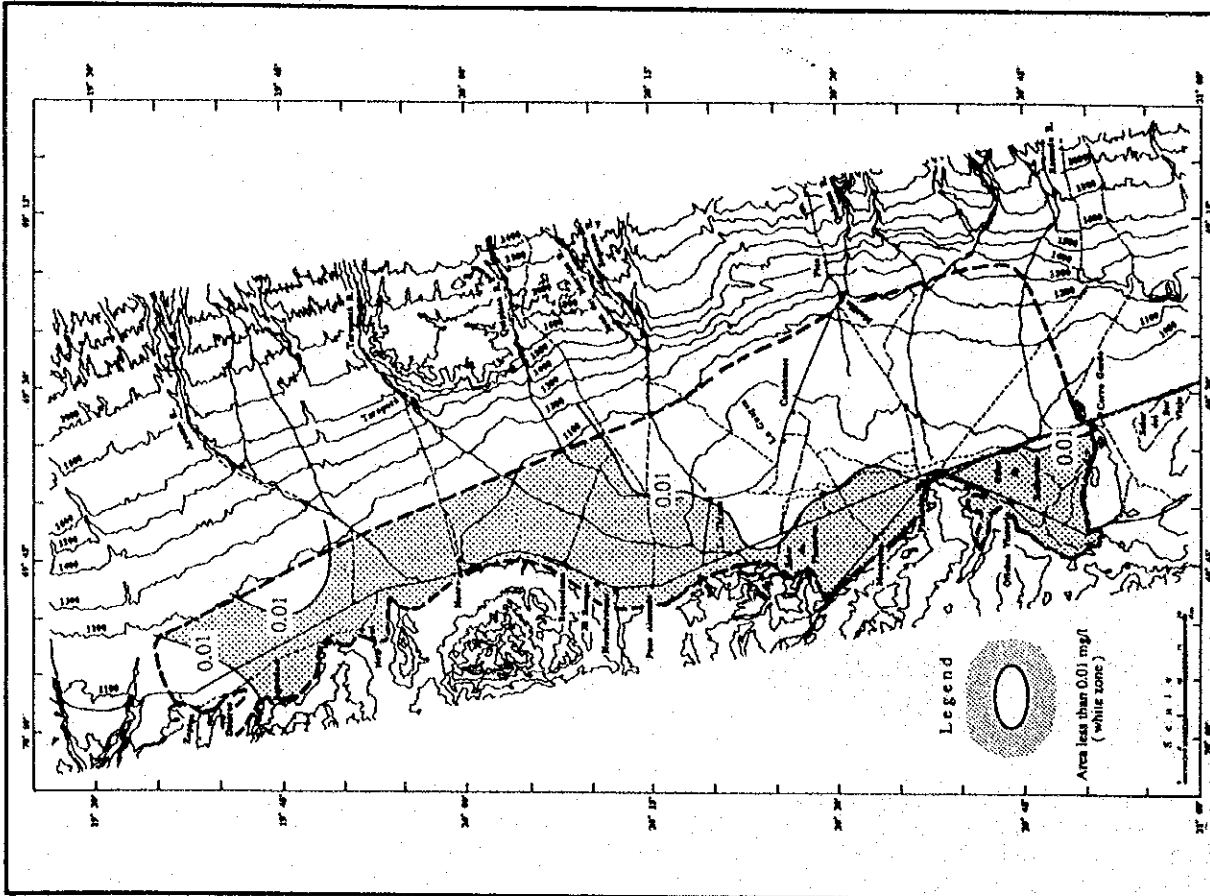


Fig. 2.23 (7) Distribution of Cd (Pampa del Tamarugal)
 < Distribución de Cd (Pampa del Tamarugal) >

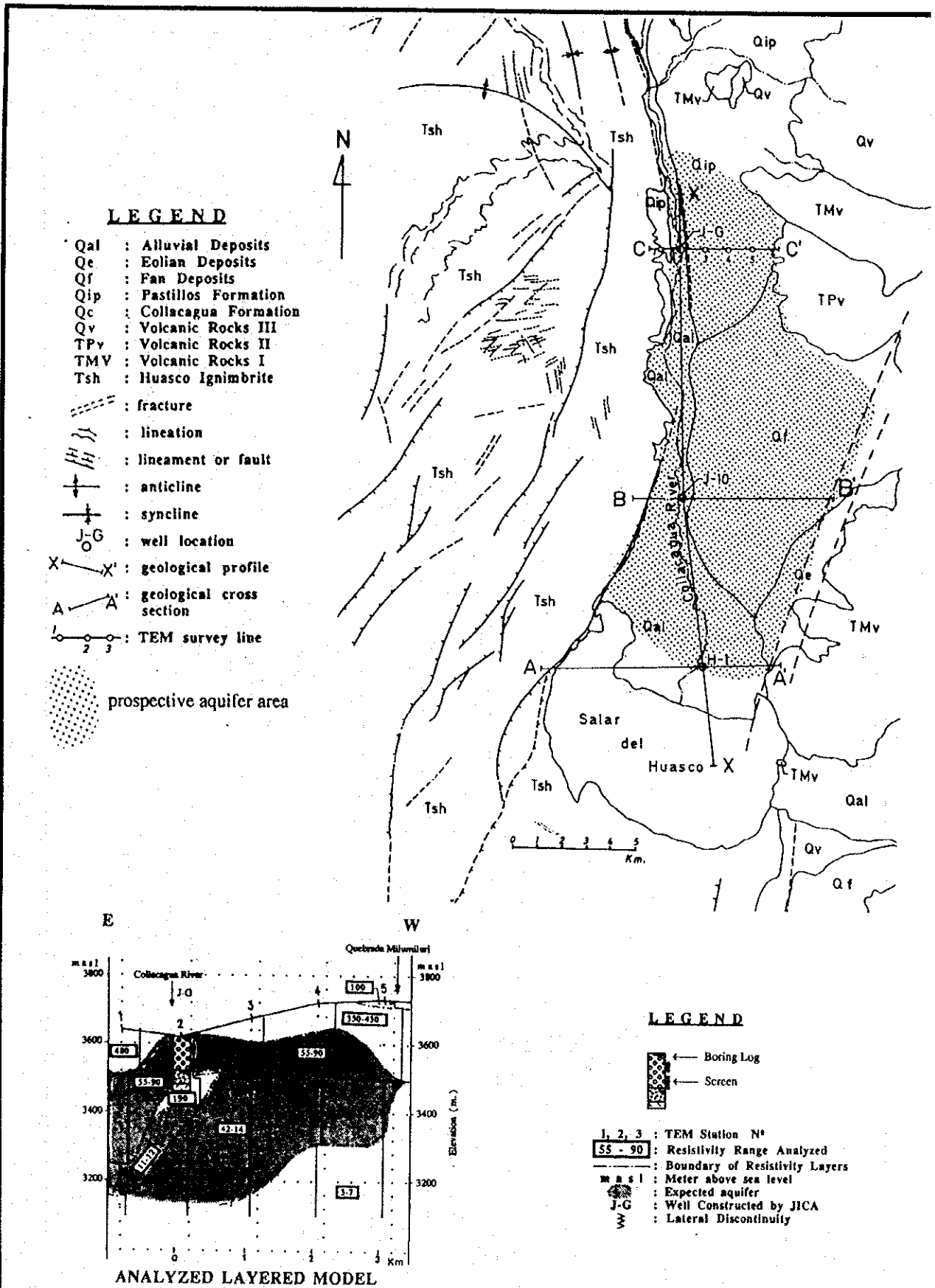


Fig. 2.24 Geological Map and Resistivity Profile of C-C' (Salar del Huasco)
<Mapa Geológico y Perfil de Resistividad del C-C' (Salar del Huasco)>

GEOLOGICAL PROFILE
SALAR DEL HUASCO - PEÑA BLANCA

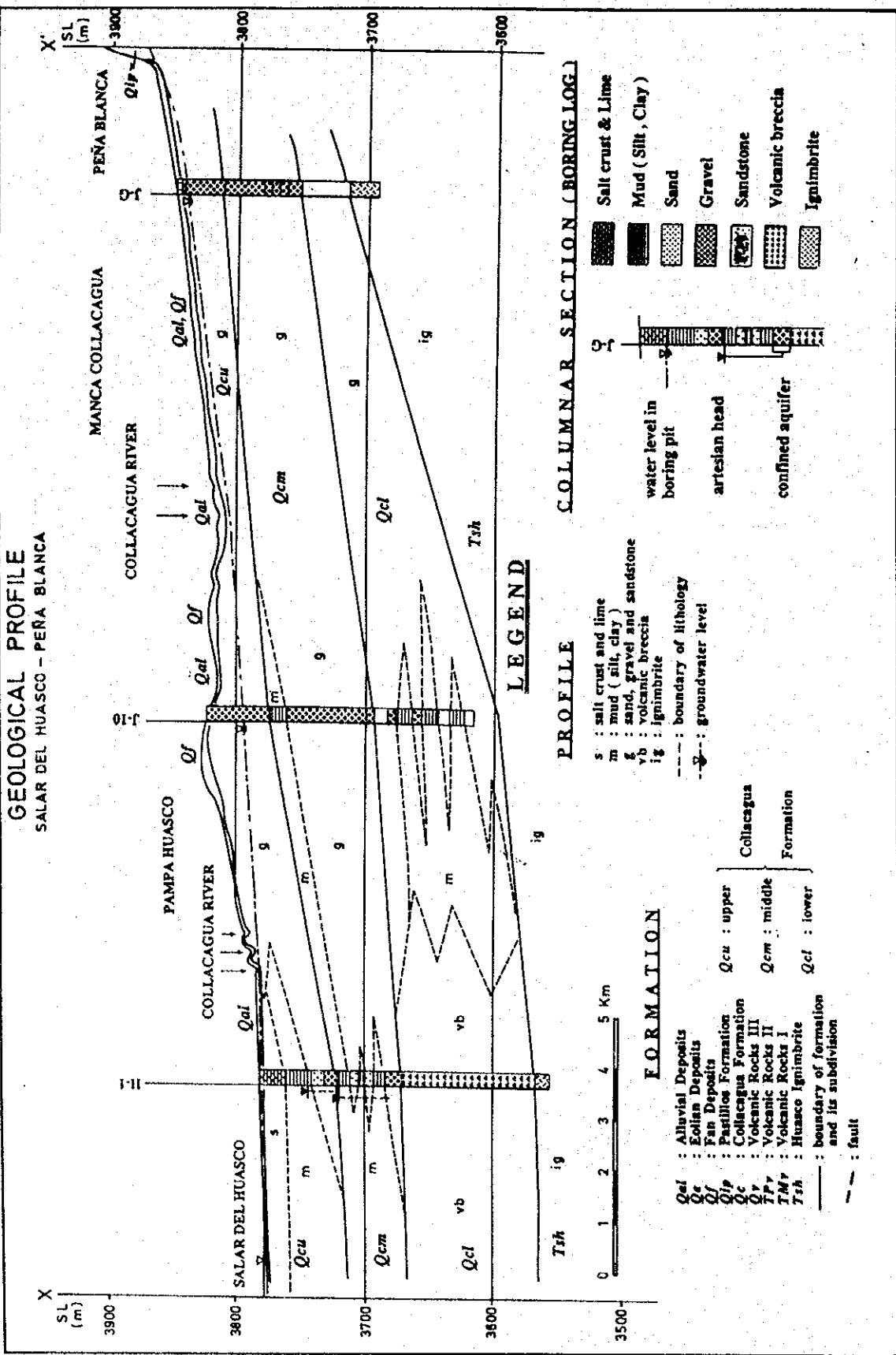


Fig. 2.25 Geological Profile (Salar del Huasco)
 <Perfil Geológico (Salar del Huasco)>

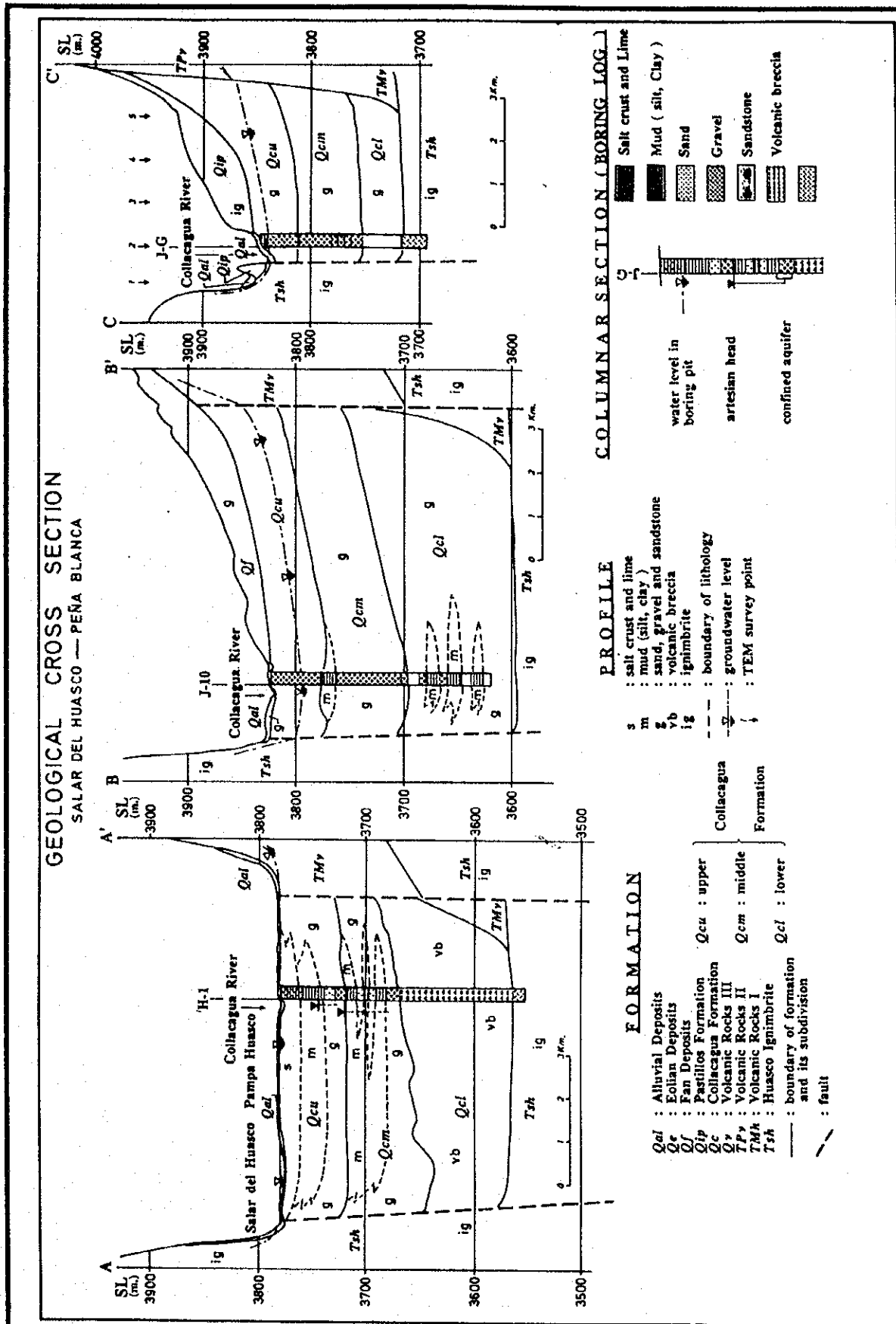


Fig. 2.26 Geological Cross Section (Salar del Huasco)
<Sección de Cruce Geológica (Salar del Huasco)>

CAPITULO III USO DEL AGUA

Capítulo III USO DEL AGUA

3.1 Agua Potable de Arica

3.1.1 Servicio Existente de Abastecimiento de Agua

1) Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

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

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

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

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

2) Producción y Consumo de Agua Potable

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

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

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

*Porcentaje de Producción

Se espera incrementar el total de la producción de 1994 a 23,021 x 10³m³/año (=730 l/s) gracias al Proyecto de Emergencia para Abastecimiento del Agua Potable de ESSAT, el cual fue concluido a fines de 1993.

3) Restricción del Abastecimiento de Agua Potable

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

3.1.2 Futura Demanda de Agua

1) Población Proyectada

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

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

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

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

- (2) Crecimiento Exponencial basado en la información censal de 1970-1992.
- (3) Crecimiento Exponencial basado en el índice de crecimiento de la Región I de 1982-1992.

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

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

Los resultados se muestran abajo.

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

2) Futuro Consumo de Agua

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

- (1) El consumo total existente de agua per cápita, incluyendo el comercial, industrial y otros, se estima en 220 l/c/d si se proporciona un abastecimiento de agua irrestricto durante las 24 horas.
- (2) El consumo futuro de agua per cápita aumentará a razón de un 0.3% por año a medida que el nivel de vida mejore.
- (3) El proyecto de desarrollo turístico que está siendo planificado para el área Bajos del Chinchorro significará un consumo adicional de agua. Este consumo adicional de agua se asume será de 10 l/s en 1995 y aumentaría gradualmente en, aproximadamente, 40 l/s en el año 2015.

El consumo futuro de agua proyectado es resumido abajo.

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

3) Producción Proyectada

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

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

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

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

3.2.1 Áreas de Riego Existentes

1) Sistema de Riego

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

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

- (1) Canal Azapa : El Canal Azapa comenzó a operar en 1962 cuando el Canal Lauca , construido para desviar parte de las aguas del río Lauca, fue terminado. El Canal Azapa recoge las aguas superficiales del río San José en Bocatoma y la distribuye a las parcelas del valle de Azapa a través de canales principales y secundarios, con una longitud total de 62.9 km.
- (2) Manantiales : Originalmente existían 17 manantiales para uso de riego en los tramos inferiores del valle de Azapa. Sin embargo, la mayoría de éstas se han secado durante los años recientes. En 1993, solamente cinco (5) de estos manantiales se encontraban activos.
- (3) Pozos de Aguas Subterráneas : En lo que respecta a 1993, las aguassubterráneas que se destinaban para riego se extraían de 122 pozos existentes en los tramos inferiores del valle de Azapa.

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

2) Áreas de Cultivo

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

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

3) Modelo de Cultivo y Area Real Irrigada

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

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

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

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

3.2.2 Uso Existente del Agua de Riego

1) Demanda de Agua

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

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

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

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

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

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

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

2) Consumo Real de Agua

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

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

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

3) Derechos de Aguas

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

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

M: Manantial; S: Agua Subterránea, R: Río
acc. (acción): unidad de derecho de agua

3.2.3 Otros Usos Existentes del Agua

1) Uso Existente del Agua

El agua subterránea correspondiente a $1,694 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$ (=53 l/s) es extraída desde 45 pozos para uso particular doméstico, uso industrial y otros múltiples usos en el valle de Azapa.

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

2) Derechos de Aguas

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

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

S: Aguas subterráneas

3.3 Agua de Riego en el Valle de Lluta

3.3.1 Area Irrigada Existente

1) Sistema de Irrigación Existente

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

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

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

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

2) Area Irrigada y Modelos de Cultivo

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

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

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

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

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

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

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

3.3.2 Uso Existente del Agua

1) Demanda de Agua

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

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

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

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

El agua que demandan los cultivos anualmente se estima en $64,598 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$ ($\approx 2,048 \text{ l/s}$) con el siguiente desglose:

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

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

2) Consumo Real de Agua

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

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

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

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

3) Derechos de Aguas

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

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

R: Ríos, S: Aguas subterráneas

3.4 Agua Potable de Iquique

3.4.1 Servicio Existente de Abastecimiento de Agua

1) Sistema de Abastecimiento de Agua

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

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

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

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

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

2) Producción y Consumo de Agua

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

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

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

*Porcentaje de Producción

3) Restricción del Abastecimiento de Agua

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

3.4.2 Futura Demanda de Agua

1) Población Proyectada

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

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

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

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

Los resultados se muestran abajo.

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

2) Futuro Consumo de Agua

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

- (1) El consumo de agua total per cápita que existe, incluyendo el comercial, industrial y otros, se estima en 220 l/c/d si se aplica un abastecimiento irrestricto las 24 horas del día.
- (2) El futuro consumo de agua per capita aumentará a un ritmo del 0.3% por año a medida que el nivel de vida mejore.

Los futuros consumos de agua proyectados se resumen abajo.

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

3) Producción Proyectada

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

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

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

3.5 Uso del Agua en Pampa del Tamarugal

3.5.1 Uso Doméstico del Agua

1) Uso del Agua en los Poblados

(1) Servicio de Abastecimiento de Agua Existente

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

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

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

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

(2) Producción y Consumo Existente de Agua

El consumo total de agua en los pueblos durante 1992 fue estimado en 962,509 m³/año basándose en información proporcionada por ESSAT. Este consumo incluye una cantidad considerable de uso agrícola.

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

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

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

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

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

(3) Producción y Demanda Futura de Agua

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

- i) La población abastecida aumentará a un ritmo anual de crecimiento del 2.46%, que es el equivalente al promedio anual de la tasa de crecimiento durante los últimos 10 años (1982-1992).
- ii) El consumo existente per capita se estima en 200 l/c/d, el cual aumentará gradualmente a un ritmo de 0.5% por año.
- iii) El agua que ESSAT destina a uso agrícola tendrá una tasa de crecimiento del 0.5% por año.
- iv) El porcentaje de pérdida del agua disminuirá desde un 40% o más, en la actualidad, a un 30% para el año 2005.

Los resultados se resumen abajo.

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

2) Otros Usos del Agua

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

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