

#### 4.1.5 Hidrogeología

La República de Bolivia esta dividida en las siguientes cinco provincias hidrogeológicas (Figuras 4-1-7), que casi coinciden con las zonas fisiográficas.

1. La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino.
2. La Cordillera Andina - Vertiente Atlántica.
3. La Cuenca del Amazonas.
4. La Cuenca Pantanal Chaco Pampeano.
5. El Escudo Central.

##### 1) La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino.

Esta provincia existe entre "la Cordillera Occidental" y "La Cordillera Oriental", y coincide con el área del "Altiplano Andino" con una altura media de 3.800 m.

El clima de esta provincia se caracteriza por la baja precipitación y temperatura, y tanto la precipitación como la temperatura cambian gradualmente de alto al norte a bajo al Sur. La precipitación anual media es de 500 mm en la parte Norte y decrece gradualmente a unos pocos cientos de mm en la parte Sur. La temperatura media anual varia de 10°C en la parte Norte a 6°C en la parte Sur.

La vasta planicie de El Altiplano Andino no es una sola cuenca pero consiste de un número de cuencas sub divididas. La zona central de esta sub cuenca acompaña las condiciones surgentes.

La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino esta llena de sedimentos glaciales de las montañas alcedañas y de los depósitos de los lagos.

El sedimento se caracteriza por fina arcilla Cuaternaria o por componentes de lodo. Esto causa la permeabilidad del sedimento Cuaternario de ser bajo a medio.

El sedimento Cuaternario es de 150 m de espesor y se sabe que tiene comparativamente alta permeabilidad que baja hasta la profundidad de 80 m. Por eso el espesor de los sedimentos Cuaternarios alcanza a 300m en la parte central del Altiplano y la permeabilidad se presume que es menor.

Las Condiciones hidrogeologicas de "La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino" son las siguientes;

Transmisividad	: 100 - 620 m <sup>2</sup> /dia.
Capacidad Especifica	: 0,9 - 4,3 l/seg/m
Almacenaje	: 1x10 <sup>-3</sup> - 1x10 <sup>-5</sup> (semiconfinado a confinado)

El área desde Oruro a Caracollo, ubicado al pié de las montañas de la "Cordillera Oriental", se caracteriza por las siguientes condiciones:

Grosor del Cuaternario	: 120 m
------------------------	---------

Profundidad Disponible del Acuífero	: unidad 70 m desde la superficie (de acuerdo a estudios pasados)
Transmisividad	: 120 - 600 m <sup>2</sup> /día.
Capacidad específica	: 0,85 - 5,17 l/seg/m
Estratividad	: $2 \times 10^{-2}$ - $5 \times 10^{-3}$ (inconfinado a confinado).

La calidad (Salinidad) del agua subterránea es la siguiente:

-----

- Parte Norte de "El Altiplano Andino" (cerca al Lago Titicaca)	
Ubicaciones de altitud elevada	: 150 - 400 mg/l (buena)
Ubicaciones de altitud baja	: 750 mg/l (normal)

-----

- Parte Central "Altiplano Andino"

Sub-cuenca desde Oruro a Caracollo

Parte general	: (buena)
Parte afectada por los manantiales	: 7,000 mg/l CO <sub>2</sub> (3.000 mg/l)

A lo largo del "Río Desaguadero"

Parte Norte (Cerca de Eucaliptus)	: 1.764 mg/l
Parte Sur (Cerca del Lago Uru Uru)	: 8.015 mg/l

-----

Los manantiales y minerales que están asociados con el volcanismo moderno desde el Plioceno al Pleistoceno, se sabe que existen a lo largo de "La Cordillera Occidental". La influencia volcánica se ve en la existencia de agua y gas fuertemente mineralizado y agua con bicarbonato alcalino cuya temperatura alcanza entre 60°C y 80°C.

Numerosos manantiales existen en Oruro, Poopo, Challapata, Potosí y Uyuni a lo largo del lado este de "La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino" y al borde de "La Cordillera Oriental".

## 2) La Cordillera Andina - Vertiente Atlántica

Esta provincia coincide con las zonas de "La Cordillera Oriental" y "Las Serranías Sub-Andinas".

El clima de esta provincia está caracterizado por una variación de frío en las montañas altas a temperaturas con lluvias moderadas. La precipitación media anual es de 550 mm en Cochabamba y Sucre y 650 mm en Tarija. La temperatura media anual en los valles de Cochabamba y Tarija son de 18°C y en Chuquisaca 16°C.

La geología general se caracteriza por rocas fuertemente impermeables como la piedra pizarra, "limolitas" y piedra arenisca. Por lo tanto la roca base no es considerada importante como

un acuífero previo. Sin embargo, con las mejoras recientes en las capacidades de los equipos de perforación y técnicas de perforaciones, la importancia de la roca base como un acuífero está siendo reconocido en principio y los pozos profundos, que procuran el "agua de grietas" en las fisuras de la roca base, que comienzan a ser excavados.

"La Cordillera Oriental" esta acompañada por una sub-cuenca larga y angosta con depósitos aluviales gruesos. Esta estructura esta muy cercana a ser un estanque subterráneo y es satisfactoria como un acuífero. Esas estructuras se pueden observar en Cochabamba, Sucre y Tarija.

En el caso de Cochabamba, la estructura de estanque subterráneo esta ubicado entre Cochabamba y Sacaba, entre Punata y Cliza y en la sub-cuenca de Santibañez.

La sub-cuenca entre Cochabamba y Sacaba esta ubicada a una altitud de 2.530 m - 2.700 m y constituye una fosa tectónica llena hasta 200 m de espesor con sedimentos Cuaternarios.

Las condiciones hidrogeológicas de la sub-cuenca entre Cochabamba y Sacaba son las siguientes;

Transmisividad	: 30 - 165 m <sup>2</sup> /dia (normal) 300-1.000 m <sup>2</sup> /dia (alto, al centro del abanico)
Capacidad Especifica	: 0.3 - 5,0 l/seg/m.

La sub-cuenca entre Punata y Cliza esta ubicada a una altura de 2.800m. y las condiciones hidrogeológicas son las siguientes:

Transmisividad	: 2.500 - 3.000 m <sup>2</sup> /dia (lado superior del abanico) 100 - 300 m <sup>2</sup> /dia (al centro del abanico) 10 - 100 m <sup>2</sup> /dia (zona húmeda)
Capacidad Especifica	: 0.5 - 12.01 l/seg/m
Estratividad	: $3.0 \times 10^{-4}$ - $7.3 \times 10^{-3}$ (en Cliza)

En la sub-cuenca de Santibañez, el espesor de la cama cuaternaria se estima es de 60 m a 80 m. Los cuatro pozos existentes en esta provincia tienen la siguiente producción.

Producción	: 6,0 - 10,0 l/seg
------------	--------------------

La sub-cuenca de Tarija principalmente esta cubierta con depósitos aluviales recientes. El espesor de los depósitos esta estimado a 180 m.

Las propiedades de los acuíferos conocidos son los siguientes.

Transmisividad	: 20-300 m <sup>2</sup> /dia.
Capacidad Especifica	: 0,22 - 1,50 l/seg/m.

"La Cordillera Oriental" tiene numerosos manantiales con agua mineral y aguas termales asociados con las tectónicas de la región. El agua se caracteriza por un alto contenido de

bicarbonato de sodio y esta altamente contaminado por  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CO}_2$ .

"Las Serranías Sub-Andinas" tienen una estructura tectónica y estructuras de depósitos similares a las antes mencionadas "La Cordillera Oriental". Aunque el espesor de los sedimentos es de solo 30m a 50m, el desarrollo tiende a las "aguas de grietas" de las rocas bases ha comenzado a ser ejecutada recientemente. Es sabido que la calidad del agua subterránea se ajusta para beber.

Los siguientes puntos deben ser anotados.

Se sabe que hay áreas con altas concentraciones de fuentes subterráneas que pueden asociarse con petróleo y depósitos de gas en "Las Serranías Sub-Andinas". Esa agua subterránea se caracteriza como un agua sulfurosa y agua mineralizada salada con temperaturas de un rango bajo hasta un rango alto de  $80^\circ\text{C}$ .

### 3) La Cuenca Amazónica.

Este Departamento coincide con la "Llanura Beniense" la cual pertenece a "La Llanura Chaco Beniense".

Un aspecto remarcable de esta provincia es que muchas lagunas han punteado la vasta planicie en un patrón lineal. Esta distribución se debe a que la estructura en cuyo sótano continental se extiende una cama Cuaternaria delgada y extensa. Muchos ríos, por ejemplo, los tributarios al Río Amazonas como Río Mamoré, Río Grande, Río Beni y Río Madre de Dios, fluyen a lo largo de la cama Cuaternaria.

El Clima de esta provincia se caracteriza por tener precipitaciones pluviales muy altas, las cuales alcanzan a 5.000 mm/año en el Chapare y 2.000 mm/año en Cobija Riberalta y Rurrenabaque y altas temperaturas de  $24^\circ\text{C}$  en El Chapare y  $26^\circ\text{C}$  a  $28^\circ\text{C}$  en Rurrenabaque, Cobija y Riberalta.

Aunque existe información hidrogeológica sobre Santa Cruz, Warnes y Andres Ibañez, la información es algo insuficiente excepto por la de Trinidad y la parte norte de ésta Provincia.

Las condiciones hidrogeológicas en Santa Cruz son las siguientes:

Transmisividad	: 12 - 475 m <sup>2</sup> /día.
Capacidad Específica	: 0,10 - 2,00 l/seg/m.

Es verdad que el acuífero existe a una profundidad de 100 m a 120 m en Trinidad. Las Propiedades hidrogeológicas son las siguientes:

Capacidad Específica	: 4.40 l/seg/m
Producción	: 18.0 l/seg

#### 4) La Cuenca Pantanal Chaco Pampeano

Esta provincia coincide con la "Llanura Chaco" la cual pertenece a "La Llanura Chaco Beniense".

"La Cuenca del Amazona" y "La Cuenca Pantanal Chaco Pampeano" se observa una continuidad por la geología y la estructura geológica de estas dos que son similares. Sin embargo, es razonable dividir estas dos provincias basados en las condiciones geológicas de un mapa geológico. La exposición de una formación Paleozoica al norte de Tucabaca en el Departamento de Santa Cruz sirve como una hoyo de tributación y el área Sud de ésta explosión corresponden al inicio de la "Cuenca Pantanal Chaco Pampeano".

La precipitación media anual de esta provincia es de 500 mm a 700 mm y es menor que en "La Cuenca del Amazonas". La temperatura media anual esta entre 24°C y 29°C.

Con excepción de Villa Montes del Departamento de Tarija, la información sobre esta provincia es muy rara.

Las condiciones hidrogeológicas par Villa Montes es como sigue:

Transmisividad	: 120 m <sup>2</sup> /día
Capacidad Específica	: 0.8 l/seg/m.

Las condiciones hidrogeológicas para las otras áreas es esta provincia se informa como sigue:

- Para Cabezas: Departamento de Santa Cruz

Transmisividad	: 200 m <sup>2</sup> /día.
Capacidad Específica	: 1.1 l/seg/m.

- Para la frontera con la República del Paraguay

Capacidad específica	: 0,01 - 0,60 l/seg/m
----------------------	-----------------------

La profundidad varia entre 100 y 450 m. La calidad del agua varia con los valores de salinidad entre un rango de 320 ppm a 5.300 ppm.

#### 5) El Escudo Central.

A esta provincia fisiograficamente se la denomina lo mismo. En esta Provincia no hay acuíferos continuos. La circulación esta limitada a la zona fisurada, la zona fuertemente fracturada y la cuenca colectora/zona granítica laterítica. Las zonas granito lateríticas pueden estar acompañadas por aguas subterráneas aisladas.

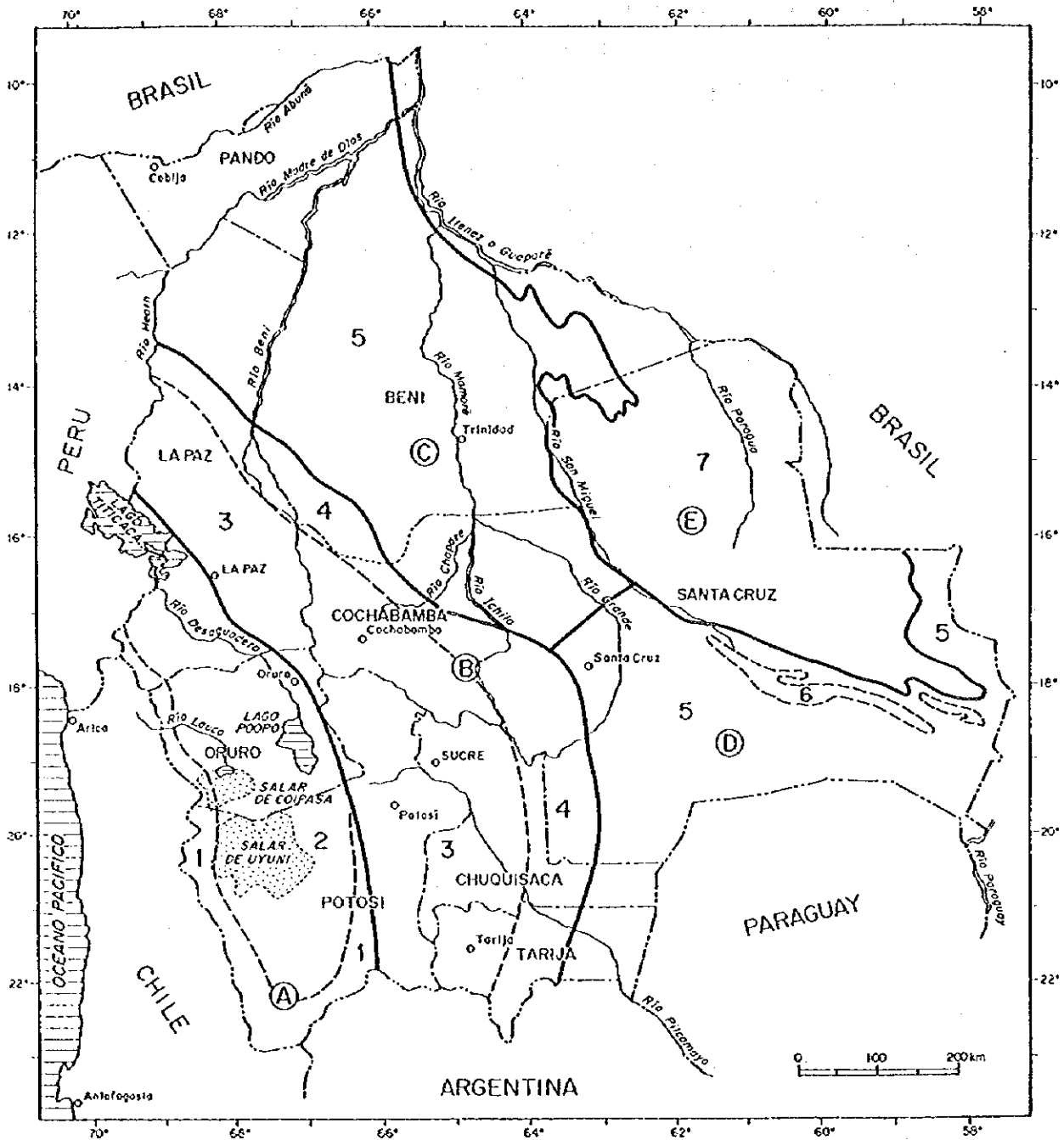
La precipitación media anual esta entre un rango de 1.000 a 1.400 mm y la temperatura media anual virtua entre 24°C a 26°C.

Las condiciones hidrogeológicas de esta provincia se informan de la siguiente forma:

- Para San Ignacio, San Miguel, Santa Ana: Depto. de Santa Cruz

Capacidad Especifica : 0,83 - 1,60 l/scg/m

Aunque generalmente la profundidad del acuífero se estima que están entre los 25 y 70 m, existen áreas donde producen (descarga de bombeo) de aproximadamente de 45 a 24 m<sup>3</sup>/hr que son probable de obtener de pozos de profundidades de 60 a 80 m.



REFERENCIAS

- |   |  |   |                                   |
|---|--|---|-----------------------------------|
| — | Limit of Hydrogeological Province          | Ⓒ | La Cuenca del Amazonas            |
| Ⓐ | La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino  | Ⓓ | La Cuenca Pantanal Chaco Pampeano |
| Ⓑ | La Cordillera Andina - Vertiente Atlántica | Ⓔ | El Escudo Central                 |

CORDILLERA DE LOS ANDES

- 1 La Cordillera Occidental (Complejo Volcánico)
- 2 El Altiplano Andino (Altiplano)
- 3 La Cordillera Oriental (Cadena Montañosa)
- 4 Las Seranías Sub-Andinas (Zona Sub-Andina)

LLANURA ORIENTAL

- 5 La Llanura Chaco-Beniense (Llanura Chaco-Beniense)
- 6 Las Seranías Chiquitanas (Sierras Chiquitanas)
- 7 El Escudo Central (Escudo Cristalino)

Figura 4-1-7 Zonas Hidrológicas de la República de Bolivia

## 4.2 Estudio de Campo

### 4.2.1 Prospecciones Geofísicas

#### 1) Área del Estudio de Geofísica

El área de estudio incluye cinco Departamentos de Chuquisaca, Sur de La Paz, Oruro, Santa Cruz y Tarija. Con una extensión total de más de 500.000 kilómetros cuadrados. El área de estudio está dividida por su topografía, meteorología y otras condiciones morfológicas en cuatro regiones, que son: Altiplano, Valle, Llanura y Chaco. En el estudio se implementaron Método Eléctrico (Sondeos Eléctricos Verticales) y el Método Electromagnético (Método Electromagnético Transitorio - TEM) para conocer la resistividad estructural del subsuelo y seleccionar los puntos de perforaciones de prueba. El Sondeo Eléctrico Vertical fue aplicado en el Altiplano, Valle, Llanura y parte del Chaco con electrodos Schulumberger y TEM en el Chaco (ver Figura 4-2-1, Tabla 4-2-1)

**Tabla 4-2-1 Trabajos de Prospecciones Geofísicas**

Zona	Pts. Prosp.	Departamento	Pts. Realizados	Prof. Medida	Método
Altiplano	100		100	100-200	VES
		Oruro	73		
		La Paz	27		
Valle	100		54	100-250	VES
		Santa Cruz	10		
		Tarija	34		
		Chuquisaca	10		
Llanura	50		50	100-250	VES
		Santa Cruz	50		
Chaco	100		101	100-500	TEM, VES
		Chuquisaca	101		

*Nota:* Pts. Prosp. = Puntos de prospección

Pts. Realizados = Puntos Realizados

Prof. Medida = Profundidad Medida

VES = Sondeo Eléctrico Vertical

TEM = Sondeo Electromagnético Transitorio

#### 2) Resultados de las Prospecciones Geofísicas

En las prospecciones geofísicas, aquí, un trabajo en "campo de resistividad del acuífero" se utiliza para un estrato con posibilidad de contener acuíferos por el análisis de esa estructura de la resistividad (ver Figura 4-2-2)





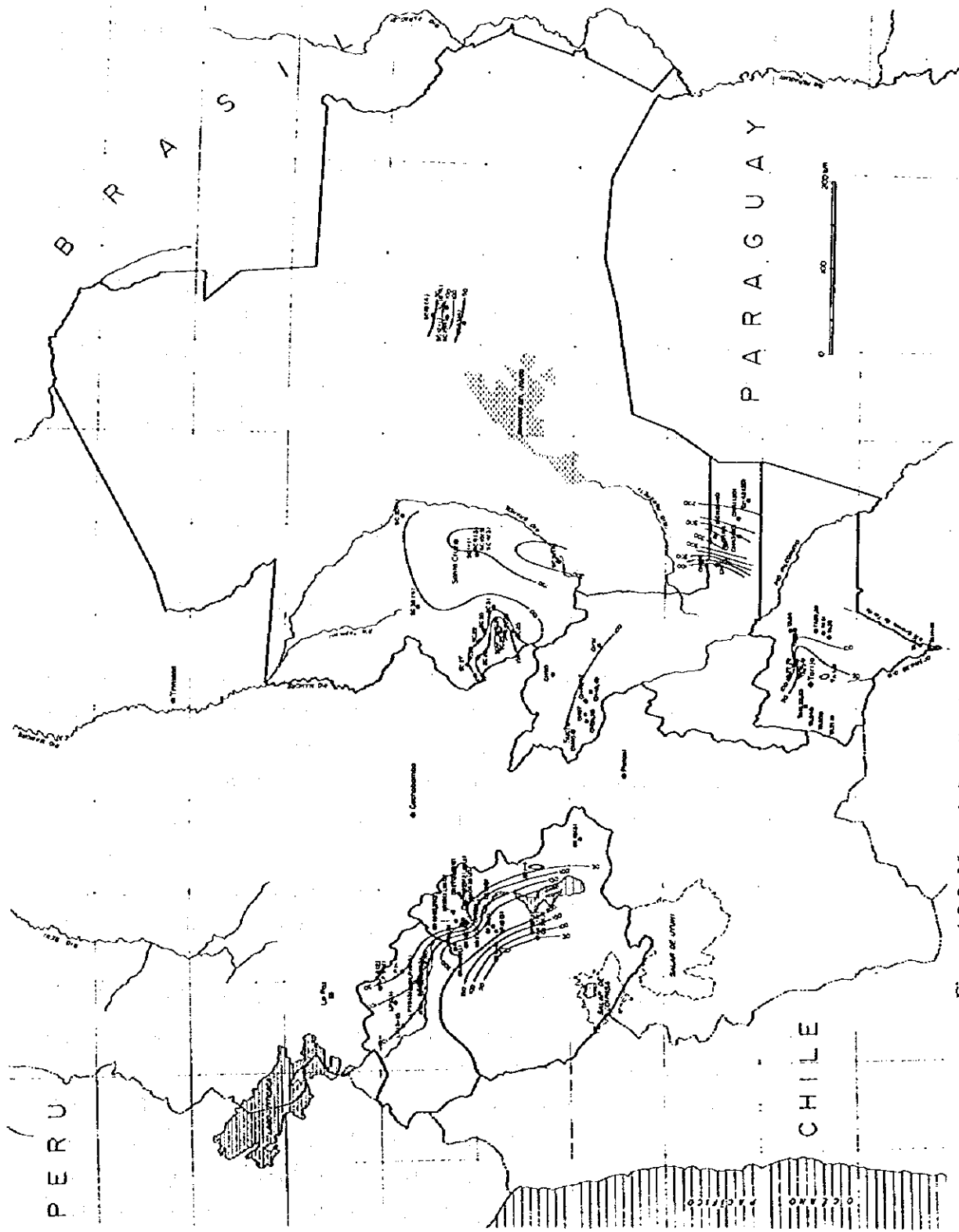


Figura 4-2-2 Mapa de Localización de Pozos Existentes (según la Base de Datos)

**Altiplano:** El depósitos de antiguos lagos esta muy extendido aqui y tiene depósitos lacustres gruesos. En esta zona donde la formación de depósitos lacustres es gruesa, un "campo de resistividad del acuífero" se encuentra en lo mas profundo. Generalmente las sedimentaciones lacustres contienen aguas salinas. Esto dificulta la aplicación de Sondeo Eléctrico Vertical en la zona del lago porque la baja resistividad de los depósitos lacustres. Pero se ha aclarado que las zonas costera y en el pie o alrededor de la montaña aflora del subsuelo queda un "campo de resistividad del acuífero". Cuando un "campo de resistividad del acuífero" queda en Patacamaya - La Paz, Cantu Santa Ana - Oruro, Rosapara - Oruro, etc., bajo la superdicie de 20-200m de profundidad. Infortunadamente en una zona de depósitos lacustres gruesos se encuentra Toledo - Oruro, un "campo de resistividad del acuífero" no se ha podido detectar antes de los 250m. Dentro de zona muy cerrada alrededor de una isla un "campo de resistividad del acuífero" esta aproximadamente a 10m de profundidad (Sillota Belen - Oruro, Wallechapi - Oruro, etc.). Pero existen aguas salinas bajo estos "campo de resistividad del acuífero". Tal como ir por la isla el espesor de un "campo de resistividad del acuífero" se reduce y contrariamente la superficies alta las aguas saladas sube (ver Figura 4-2-3).

En el altiplano, "capa de resistibilidad acuífera" el rango de resistibilidad es de 30-80 $\Omega$ .

**Valle:** La "capa de resistibilidad acuífera" de cada departamento reposa en la profundidad y cerradas según la geología y topografía.

En el departamento de Chuquisaca la "capa de resistibilidad acuífera" reposa a la profundidad de 60-100m y la tendencia de dirección Oeste a Este. En algunas localidades (Lavadero, Redención, Pampa) no son detectadas la "capa de resistibilidad acuífera".

En los valles de este departamento aparece en la superficie un amplio basamento Paleozoico y topográficamente la cumbre divide a la forma del valle entre el basamento Amazónico y el basamento del río de La Plata.

Meteorológicamente esta área es seca y la precipitación anual es mínima. Por esto la área no tiene condición buena para aguas subterráneas. Es importante registrar aguas subterráneas en las fisuras del basamento.

En el departamento de Santa Cruz, es un valle amplio Cuaternario y el centro de esto (Cochabamba) la "capa de resistibilidad acuífera" reposa sobre los 200m de la superficie y la tendencia son someras y profundas a sus alrededores.

En el departamento de Tarija la tendencia es profunda y la penetración de la "capa de resistibilidad acuífera" del Oeste (Iscaiyachi, 20m) a Este (100m). Al Oeste del departamento, aparece la "capa de resistibilidad acuífera" correspondiente a poros Cuaternaria superpuesta en el basamento. El lago antiguo fue rellenado con sedimentos lacustres y la "capa de resistibilidad acuífera" fue tendida en la superficie de 30-70m de profundidad. En la valle de Entre Ríos al Este del departamento la "capa de resistibilidad acuífera" estendida en la superficie de 50-100m con 25-35 $\Omega$ -m. La "capa de resistibilidad acuífera" son mas profundos en el Oeste y en la parte central.

Al norte de Entre Ríos (Saladito, Lajitas) la formación contiene sal y la "capa de resistibilidad acuífera" es detectada en la profundidad de 200m mínimo.

En los Valles la "capa de resistibilidad acuífera" tiene el rango de resistibilidad de 40-35 $\Omega$ -m pero, tiene la resistibilidad de 30-50 $\Omega$ -m en lacustrina depositada.

Llanura: Sabemos que la tendencia es somera, la profundidad de la "capa de resistibilidad acuífera" de Costa (San Carlos, 150m), para el Este (Okinawa 1, 70m). En Chiquitania, la tendencia es profunda la "capa de resistibilidad acuífera", de Candelaria (100m), para Norte y el Sur (Curva, 30m).

El rango de resistibilidad efectiva de "capa de resistibilidad acuífera" es de 40-60 $\Omega$ -m.

Chaco: En el Chaco, la tendencia tiende a profundidades menores el "capa de resistibilidad acuífera" hacia el Oeste (Campo León, 350m) y al Este (Simbolar, 250m).

El rango de resistividad efectiva del "capa de resistibilidad acuífera" es de 25-80 $\Omega$ -m.

La profundidad específica de "capa de resistibilidad acuífera" de cada área es mostrada a continuación:

	Profundidad "capa de resistibilidad acuífera"	Resistibilidad específica
Altiplano	10-250m	30-80 $\Omega$ -m
Valle	20-250m	40-60 $\Omega$ -m (30-50 $\Omega$ -m en capa lacustrina)
Llano	30-250m	40-60 $\Omega$ -m
Chaco	100-450m	25-80 $\Omega$ -m

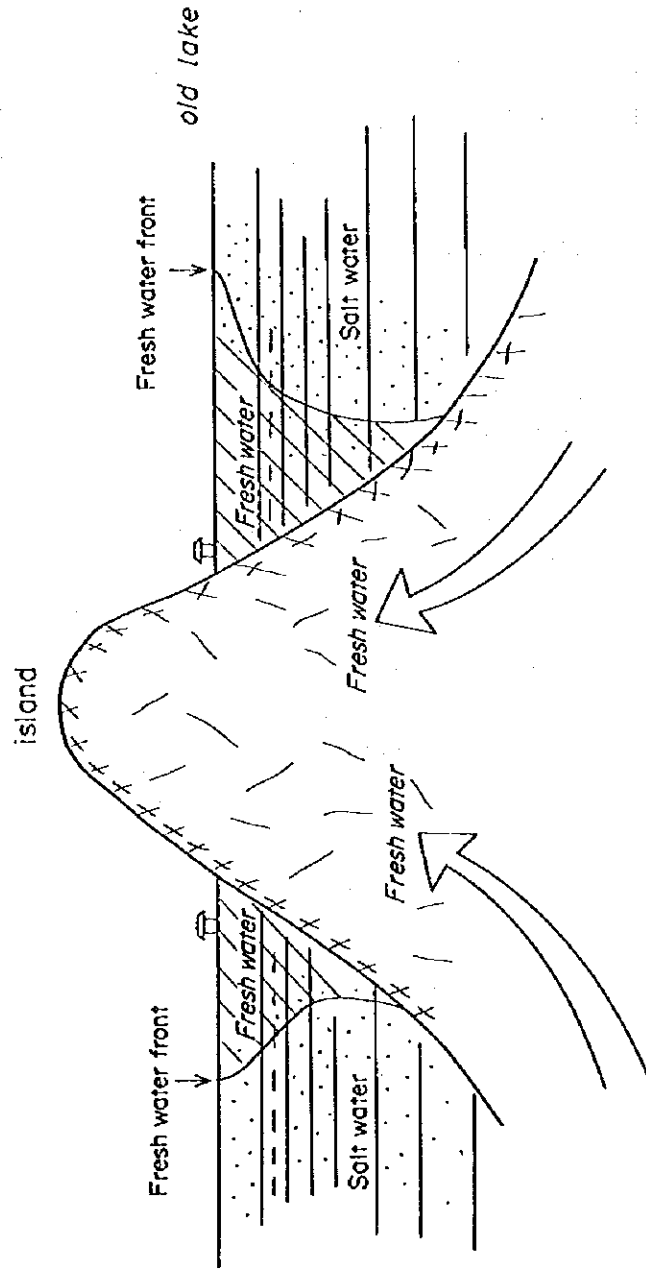


Figura 4-2-3 Esquema de la Relación entre Agua Dulce y Agua Salina alrededor del Antiguo Lago Altiplano

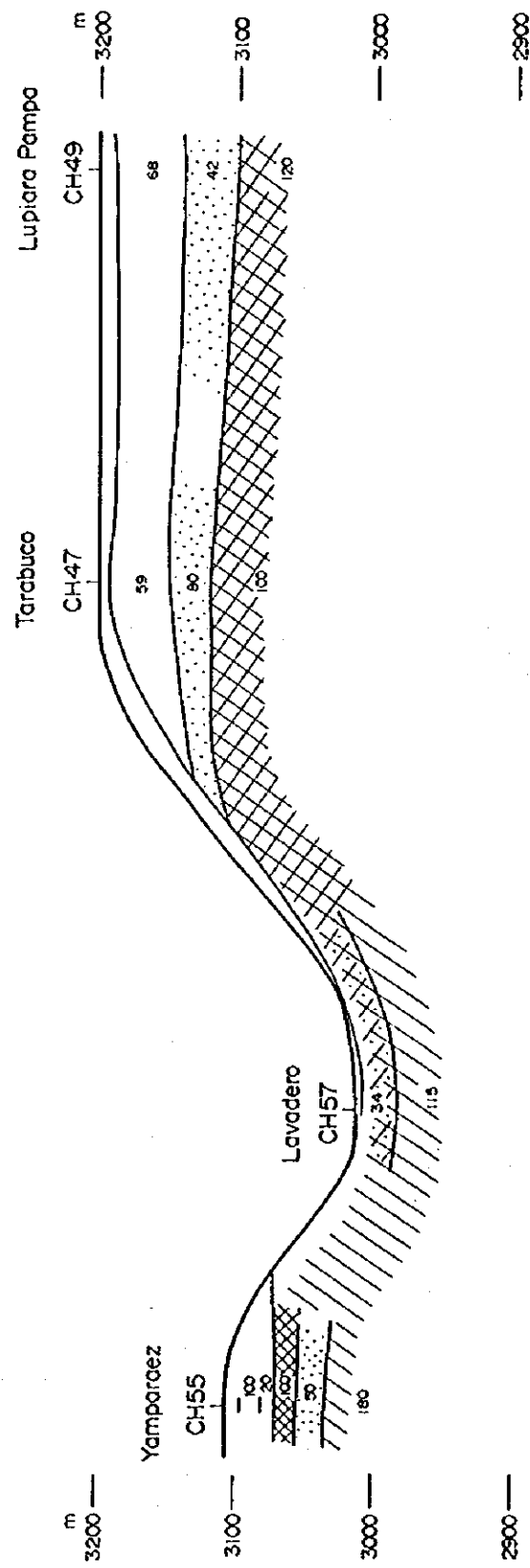


Figura 4-2-4 Perfil de Resistividad del Valle en Chuquisaca

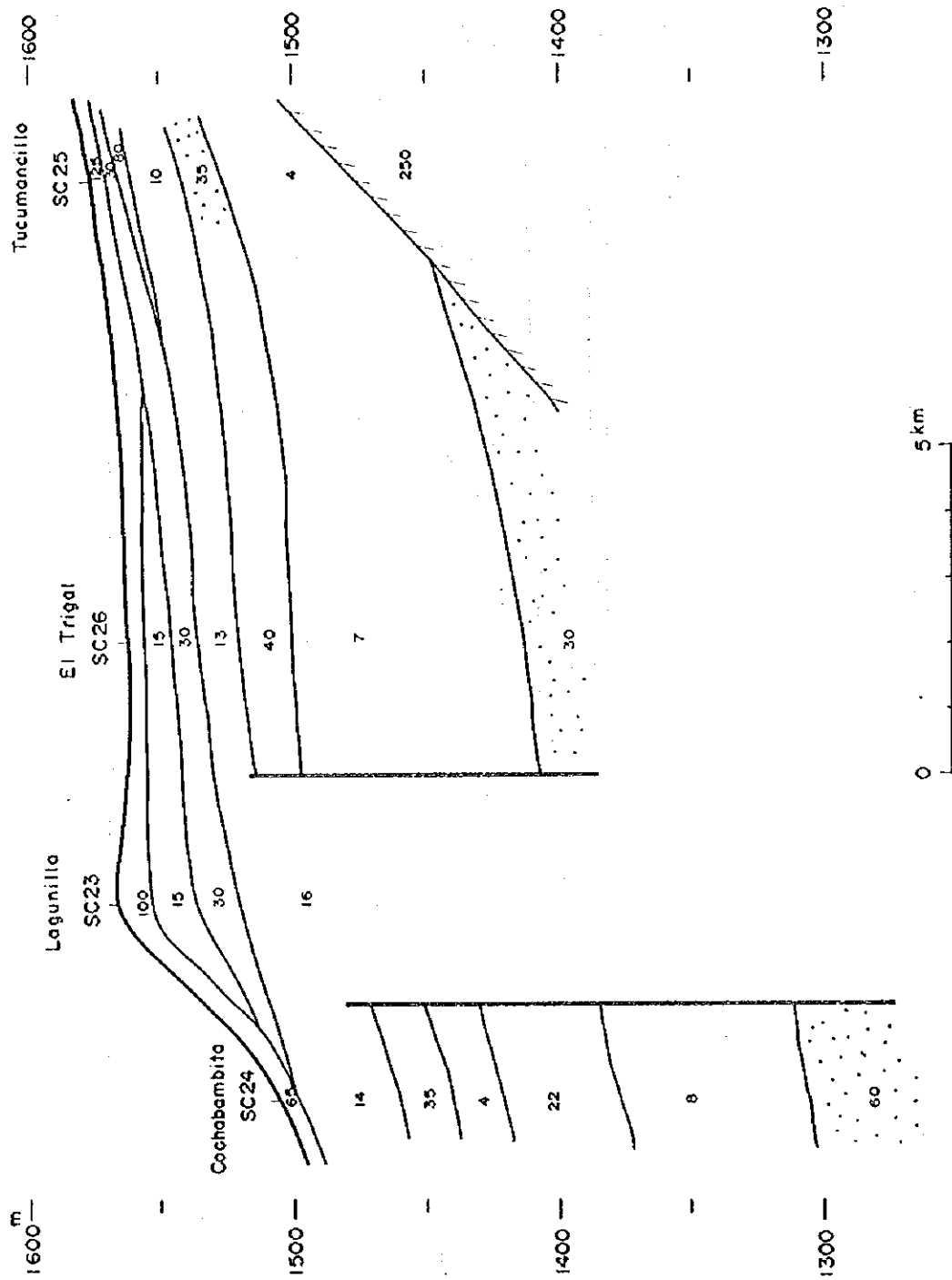


Figura 4-2-5 Perfil de Resistividad del Valle en Santa Cruz

Tabla 4-2-2 Datos de Estaciones Geofisicas

No.	Station No	Location	Depto	Eleva.	Latitude	Longitude	Depth of Aquifer	Res. Zone	Note
1	LP1	Patacamaya	LP	3795	17 19 09	67 54 18	27-70, 102-	35	AI behind Railway Station
2	LP2	Patacamaya	LP	3820	17 13 53	67 54 29	40-70	30	AI E side of the Community
3	LP3	Patacamaya	LP	3845	17 13 57	67 53 55			AI site of new watertank
4	LP4	Patacamaya	LP	3785	17 14 52	67 54 13	20-50, 150-	60	AI Cablebol's property
5	LP5	Patacamaya	LP	3790	17 14 38	67 54 00	35-65, 95-	60	AI 400m E of LP5
6	LP6	Patacamaya	LP	3800	17 13 40	67 55 24	70-110	30	AI near to the Wicuma River
7	LP7	Joco Pampa	LP	3810	17 13 16	67 55 17	16-150	85	AI Patacamaya
8	LP8(2)	Collana Tholar	LP	3980	16 58 59	68 05 01	160-	28	AI behind the Community
9	LP9(2)	Collana Tholar	LP	3940	17 00 57	68 03 59	10-40, 56-	22	AI W side of the Community
10	LP10	Topohoco	LP	4170	17 10 09	68 14 45	15-50	30	AI 1km W of the Community
11	LP11	Topohoco	LP	4160	17 09 57	68 14 44	120-	30	AI 300m N of LP10
12	LP12	Caqingora	LP	3870	17 14 47	68 29 33	35-70, 150-	80	AI behind the church
13	LP13	Caqingora	LP	3870	17 14 08	68 29 51	70-110		AI lake side
14	LP14	Caqingora	LP	3890	17 14 47	68 29 52			AI well side
15	LP15	Caqingora	LP	3930	17 14 44	68 29 28	10-45, 150-	55	AI north side of the church
16	LP16(2)	Umala	LP	3860	17 22 21	68 01 27	25-55, 100-	35	AI entrance of the Community
17	LP17(2)	Umala	LP	3870	17 22 03	68 01 19	36-55	33	AI behind the Community
18	LP18(3)	Canaviri	LP	3840	17 20 13	68 01 55	30-45, 100-	25	AI behind the Community
19	LP19(3)	Copani	LP	3860	17 19 52	68 03 31	20-40, 55-130	40	AI Center of the Community
20	OR1	Penas	OR	3810	18 41 09	66 46 00	100-	50	AI near to the cemetery
21	OR2	Ichu Kkollu	OR	3805	18 41 12	66 49 40	50-	40	AI Penas
22	OR3	Huacuyo	OR	3790	18 41 59	66 44 26	117-	47	AI Penas
23	OR4	Penas	OR	3865	18 38 33	66 44 50	30-	35	AI Qda Chilliuhani
24	OR5	Penas	OR	3880	18 38 44	66 44 49	30-105	38	AI cemetery
25	OR6	Penas	OR	3895	18 37 14	66 45 30			AI 1km N from Wila Jakke
26	OR7	Tutuni	OR	4005	18 34 51	66 44 15	8-50	80	AI Penas
27	OR8	Penas	OR	3915	18 35 45	66 45 09			AI near to Ecia. Quebrada
28	OR9	Pena Vinto	OR	3840	18 40 41	66 45 29	16-	24	AI Penas
29	OR10	Corque	OR	3730	18 20 35	67 40 42	40-	40	AI 500m N from Runway road
30	OR11	Hueria Mayu	OR	3745	18 20 03	67 40 47	25-200	45	AI Corque
31	OR12	Corque	OR	3745	18 19 27	67 40 46	40-	45	AI 1.5km N from H. Mayu
32	OR13	Collun Chulipa	OR	3750	18 18 48	67 40 49	10-	55	AI Corque
33	OR14	Corque	OR	3725	18 21 30	67 40 29	20-200	48	AI SW corner of the runway
34	OR15	Corque	OR	3730	18 20 21	67 40 26	75-170	80	AI 500m E of OR10
35	OR16	Corque	OR	3745	18 20 14	67 40 45	22-	75	AI between OR10 and OR11
36	OR17	Corque	OR	3740	18 19 48	67 40 46	25-	46	AI between OR11 and OR12
37	OR18	Corque	OR	3755	18 17 08	67 40 55	28-150	55	AI near to Choachilla Rvr



Tabla 4-2-2 Datos de Estaciones Geofísicas (continuación)

No.	Station No	Location	Depto	Eleva.	Latitude	Longitude	Depth of Aquifer	Res. Zone	Note
38	OR19	Corque	OR	3740	18 19 20	67 40 32	40-	AI	Qda Tankhami
39	OR20	Toledo	OR	3710	18 11 25	67 24 30		AI	South of Toledo/roadside
40	OR21	Toledo	OR	3710	18 11 30	67 25 00	(1-13)	AI	SW
41	OR22(3)	Toledo	OR	3705	18 13 30	67 27 08		AI	500m W of the bridge
42	OR23(2)	Sillota Belen	OR	3725	17 48 33	67 20 40	12-80	AI	behind Community
43	OR24(2)	Sillota Belen	OR	3715	17 48 14	67 20 54	8-60	AI	in front of Community
44	OR25(2)	Jancununo	OR	3760	17 46 01	67 14 19	15-80	AI	behind the school
45	OR26(2)	Jancununo	OR	3765	17 46 04	67 14 17	8-160	AI	in front of the school
46	OR27(2)	Cantu Sta. Ana	OR	3715	17 50 13	67 02 49	13-130	AI	in front of the school
47	OR28(2)	Cantu Sta. Ana	OR	3710	17 49 47	67 02 50	16-95	AI	200m N of OR26
48	OR29(2)	San Juan Pampa	OR	3730	17 52 16	67 04 19	12-40	AI	in front of the school
49	OR30(2)	San Juan Pampa	OR	3730	17 52 48	67 04 31	10-60, 150-	AI	700m S of OR29
50	OR31(3)	Sillota Witu	OR	3710	17 53 07	67 19 48	9-20	AI	school
51	OR32(3)	Wallchapi	OR	3740	17 51 35	67 21 00	7-45	AI	church
52	OR33(3)	Anacasi	OR	3745	17 50 59	67 23 08	4-55	AI	behind school
53	OR34(3)	Kochiraya	OR	3710	17 55 32	67 07 42		AI	behind Community
54	OR35(3)	Aeropuerto	OR	3710	17 58 12	67 04 44	20-75	AI	W side of Runway
55	OR36(2)	Rosa Pata	OR	3720	18 39 58	67 32 58	55-	AI	behind the school
56	OR37(2)	Rosa Pata	OR	3720	18 40 03	67 33 02	19-	AI	200m W of OR36
57	OR38(3)	Rosa Pata	OR	3720	18 40 13	67 32 49	18-50, 80-	AI	300m S of OR37
58	OR39(3)	Quimsa Chata	OR	3710	17 47 38	67 36 35		AI	behind the school
59	OR40	Nva. Ljalagua	OR	3710	17 47 57	67 39 27	(5-17)	AI	W side of the Ground
60	OR41	Nva. Ljalagua	OR	3710	17 47 44	67 39 15		AI	N side of the Community
61	OR42(3)	Nva. Ljalagua	OR	3710	17 47 58	67 39 19		AI	S side of the Community
62	OR43(3)	Galacoto Huari	OR	4105	19 06 47	66 26 59	7-32, 62-	AI	50m S of the guide plate
63	CH1-20	Campo Leon	CH	800	20 31 39	63 08 35	320-450	Ch	school
64	CH21-40	El Simbolar	CH	570	20 31 19	62 56 48	220-300	Ch	school
65	CH41(20)	El Paraiso	CH	620	20 45 54	62 53 41	200-	Ch	ranch
66	CH42(20)	Cuatro Vientos	CH	570	20 51 48	62 41 15	170-	Ch	crossroads
67	CH43(20)	Carandayli	CH	810	20 40 17	63 05 48	165-	Ch	farm field
68	CH44	El Salvador	CH	850	20 37 15	63 10 40	325-	Ch	pasture
69	CH52	Ipati de Ivo	CH	1220	20 32 32	63 24 32	100-	Ch	school
70	CH53	Ipati de Ivo	CH	1220	20 33 05	63 24 54	100-	Ch	crossroads
71	CH54	Cuahuyquui	CH	1030	20 24 46	63 24 36	16-	Ch	school
72	SC1	San Carlos	SC	560	17 58 39	63 19 00	150-225	LI	in front of the School
73	SC2	San Carlos	SC	580	17 58 33	63 18 33	150-200	LI	750m E from the school
74	SC3	San Carlos	SC	550	17 58 31	63 19 04	120-200	LI	500m W from the school
75	SC4(3)	San Carlos	SC	540	17 58 15	63 19 38	135-	LI	400m NW from the crossr.
76	SC5	San Juan	SC	565	17 58 40	63 19 25		LI	500m from Cemetery
77	SC6	San Juan	SC	555	17 58 53	63 19 18	150-	LI	north side of Community
78	SC7	San Juan	SC	560	17 59 14	63 19 10	140-	LI	near to the Church

Tabla 4-2-2 Datos de Estaciones Geofísicas (continuación)

No. Station No	Location	Depto	Eleva.	Latitude	Longitude	Depth of Aquifer	Res. Zone	Note
79	SC8	SC	565	17 59 24	63 19 03	100-	20	LI near to the creek
80	SC9(3)	SC	545	17 58 08	63 19 15	30-200	20	LI north creek
81	SC10(3)	SC	550	17 59 52	63 19 02	135-	20	LI San Juan
82	SC11	SC	555	17 58 33	63 19 02	140-	40	LI between SC1 and SC3
83	SC12	SC	290	17 39 05	60 41 58	130-	60	LI 150m from the school
84	SC13	SC	290	17 39 05	60 42 05	100-	50	LI roadside
85	SC14	SC	290	17 39 05	60 42 03	110-	35	LI school
86	SC15(4)	SC	290	17 39 15	60 41 41	120-	60	LI 800m from the school
87	SC16	SC	290	17 38 50	60 42 06	100-	65	LI roadside
88	SC17	SC	290	17 39 20	60 42 14	100-	60	LI roadside
89	SC18(4)	SC	310	17 38 05	60 35 46	100-	45	LI centre of the Community
90	SC19(3)	SC	350	17 27 11	60 40 44	5-23	23	LI in front of the school
91	SC20(4)	SC	285	17 12 52	62 53 55	70-	40	LI behind the Culture Cent.
92	SC21(4)	SC	640	18 53 53	63 23 39			LI side of the highway
93	SC22(4)	SC	330	17 24 27	63 53 16	50-	60	LI behind the square
94	SC23(4)	SC	280	17 49 30	60 46 05	20-40	44	LI roadside
95	CH45	CH	2800	19 01 25	65 15 17	20-45, 80-	40	Va park
96	CH46	CH	3230	19 09 09	64 53 54	60-	160	Va farm field
97	CH47	CH	3200	19 09 42	64 54 10	80-	100	Va farm field
98	CH48	CH	3210	19 15 33	64 46 59	60-80	50	Va behind the school
99	CH49	CH	3200	19 15 37	64 47 11	60-100	42	Va other side of the creek
100	CH50	CH	2490	18 49 29	64 36 41			Va under the watertank
101	CH51	CH	2140	19 18 22	64 17 42	100-	50	Va farm field
102	CH55	CH	3105	19 10 50	65 07 58	50-70	50	Va 500m W from the Station
103	CH56	CH	3105	19 10 52	65 07 48			Va 150m SE
104	CH57	CH	3010	19 10 41	65 02 58			Va 50m N from the well
105	SC22	SC	1415	18 01 52	64 14 58	18-80	38	Va 400m N from the well
106	SC23	SC	1565	18 16 07	64 09 29			Va Cemetery
107	SC24	SC	1505	18 14 25	64 10 07	200-	60	Va farm filled
108	SC25	SC	1580	18 22 20	64 08 54	35-50	35	Va farm field
109	SC26	SC	1560	18 18 23	64 09 00	120-	35	Va Plaza
110	SC27	SC	1730	17 55 02	64 31 07	35-	50	Va near to The Runway
111	SC28	SC	1485	18 02 45	64 25 59	30-50, 100-	50	Va near to the school
112	SC29	SC	1490	18 01 30	64 26 54	150-	30	Va peach yard
113	SC30	SC	1250	18 04 57	64 06 58	65-	55	Va 500m to the bridge
114	SC31	SC	1610	18 10 33	63 52 56	40-	25	Va The cemetery
115	TA1	TA	1690	21 42 05	64 37 17	80-130	40	Va in the Community
116	TA2	TA	1725	21 40 14	64 36 42			Va along the highway
117	TA3	TA	1750	21 39 45	64 37 28	65-130	40	Va on the roadside to S. I.
118	TA4	TA	1700	21 39 52	64 37 52	9-40	45	Va San Isidro
119	TA5	TA	1710	21 40 15	64 37 35	10-18	34	Va near to the cemetery

Tabla 4-2-2 Datos de Estaciones Geofísicas (continuación)

No. Station No.	Location	Eleva.	Latitude	Longitude	Depth of Aquifer	Res. Zone	Note
120	TA6	TA	1710	21 29 40	64 38 08	30-50	30 Va soccer ground
121	TA7	TA	1710	21 40 10	64 37 08		Va W of the old mine
122	TA8	TA	1730	21 40 00	64 36 55		Va entrance to an old mine
123	TA9	TA	1730	21 40 44	64 36 31	30-90	30 Va along the highway
124	TA10	TA	400	22 40 17	64 16 16	45-85	43 Va Col. Linares
125	TA11	TA	365	22 48 31	64 18 23	40-60, 110-	100 Va near to Campo Grande
126	TA12	TA	360	22 49 26	64 18 20	60-110, 200-	90 Va sugar cane field
127	TA13	TA	350	22 49 30	64 19 16	23-40	120 Va near to Bermejo River
128	TA14	TA	352	22 49 49	64 19 23	70-100, 180-	70 Va sugar cane field
129	TA15	TA	379	22 46 19	64 18 06	55-	130 Va Vda. Patrocina's house
130	TA16	TA	379	22 46 16	64 17 25	75-	130 Va near to the School
131	TA17	TA	378	22 46 40	64 19 08	45-	140 Va behind the runway, Berm.
132	TA18	TA	339	22 50 56	64 19 20	150-	80 Va Bermejo
133	TA19	TA	3440	21 26 30	64 57 59	7-45, 90-	30 Va Iscayachi
134	TA20	TA	3810	21 37 34	65 03 01	6-30	75 Va Iscayachi
135	TA21	TA	3710	21 43 02	65 05 13	50-90, 160-	80 Va Iscayachi
136	TA22	TA	3465	21 29 09	64 57 27	18-30	90 Va Iscayachi
137	TA23	TA	3460	21 29 59	64 57 21	18-30	27 Va Iscayachi
138	TA24	TA	3550	21 32 33	64 58 35	2-52	57 Va Iscayachi
139	TA25	TA	2300	21 25 52	64 27 48	20-85	30 Va school
140	TA26	TA	2350	21 24 58	64 26 57	35-	70 Va behind the school
141	TA27	TA	2430	21 23 17	64 26 39		Va farm filled
142	TA28	TA	2400	21 22 49	64 27 18		Va near to the school
143	TA29	TA	1230	21 35 21	64 08 57	20-45	25 Va pasture
144	TA30	TA	1250	21 34 16	64 08 36	8-40, 100-	27 Va school
145	TA31	TA	1210	21 39 00	64 09 10	8-20	32 Va pasture
146	TA32	TA	1130	21 40 55	64 12 24	20-38, 52-	35 Va pasture
147	TA33	TA	990	21 22 32	64 07 28		Va behind the school
148	TA34	TA	890	21 17 04	64 06 19		Va farm

LP : La Paz OR : Oruro CH : Chuquisaca SC : Santa Cruz TA : Tarija

LP8(2) : two points as LP8

Eleva. : elevation (m)

Depth of Aquifer : -depth of "aquifer-resistivity layer" - depth from the surface of the ground in meter (m)

AI : Altiplano Ch : Chaco LI : Llano Va : Valle

Res. : resistivity of possible aquifer ( $\Omega$ -m)

3) Los resultados del prospecto geofísico, pozo de prueba, perfilaje de pozo

Las 9 estaciones geofísicas fueron seleccionadas para pozo de estudio acorde con el procedimiento descrito en capítulo 2) y viene a continuación:

Area	Pozo No.	Geoph. No.	Ubicación
Altiplano	JC1	LP5	Patacamaya - La Paz
	JC2	OR10	Corque - Oruro
	JC3	OR3	Penas - Oruro (substituta OR5)
Valle	JC8	TA9	La Choza - Tarija
	JC9	TA30	Naranjos - Tarija (TA10-TA11)
Llanura	JC4	SC11	San Carlos - Santa Cruz
	JC5	SC14	Quitiquina - Santa Cruz
Chaco	JC6	CH5	Campo Leon - Chuquisaca
	JC7	CH26	El Simbolar - Chuquisaca

Los resultados del prospecto geofísico, pozo de prueba, perfilaje de pozo y otros relativos viene a continuación

JC-1: Estación geofísica LP5 en Patacamaya - La Paz (Figura 4-2-6~7)

Resultados Geofísico

Profundidad	Resistibilidad	
9-35 m	230 $\Omega$ -m	capa con alta resistibilidad y consistencia muchos restos de la montañas.
30-65m	60 $\Omega$ -m	capa arenosa - "capa de resistibilidad acuifera"
65-95m	4 $\Omega$ -m	capa turbia
95m~	30 $\Omega$ -m	capa arenosa - "capa de resistibilidad acuifera"
Poso de estudio:		apoyo de resultado geofísico
Perfilaje del pozo:		23-65m acuifero

JC-2: Estación geofísica OR10 en Corque - Oruro (Figura 4-2-8~9)

Resultados Geofísico

Profundidad	Resistibilidad	
9-40 m	26 $\Omega$ -m	capa turbia
40m~	40 $\Omega$ -m	capa arenosa - "capa de resistibilidad acuifera"
Poso de estudio:		apoyo de resultado geofísico
Perfilaje del pozo:		apoyo de resultado geofísico

JC-3: Estación geofísica OR3 en Huacuyo - Oruro (Figura 4-2-10-11)

Resultados Geofísico

Profundidad	Resistibilidad	
4-33 m	63 $\Omega$ -m	deposito de corriente mezclado con arena y arena, lodo.
33-117m	150 $\Omega$ -m	pedra arenosa consolidado / conglomerado
117m~	47 $\Omega$ -m	capa arenosa - "capa de resistibilidad acuífera"
Perfilaje del pozo:		29~60m

JC-4: Estación geofísica SC11 en San Carlos - Santa Cruz (Figura 4-2-12-14)

Resultados Geofísico

Profundidad	Resistibilidad	
65-140 m	7 $\Omega$ -m	capa turbia
140m~	40 $\Omega$ -m	capa arenosa - "capa de resistibilidad acuífera"
Poso de estudio:		apoyo de resultado geofísico
Perfilaje del pozo:		146~248m

JC-5: Estación geofísica SC14 en Quitiquiña - Santa Cruz (Figura 4-2-15-17)

Resultados Geofísico

Profundidad	Resistibilidad	
32-110 m	110 $\Omega$ -m	esquisto, pizarra, piedra arenosa con poca piedra
110m~	35 $\Omega$ -m	esquisto, pizarra, piedra arenosa con mucha piedra, "capa de resistibilidad acuífera"

Resultados de perfilaje de pozo

0-40 m		
40-110m		esquisto
110m~		mucha piedra
Poso de estudio:		no apoyo de resultado geofísico
Perfilaje del pozo:		117~182m

JC-6: Estación geofísica CH5 en Campo Leon - Chuquisaca (Figura 4-2-18-19)

Resultados Geofísico

Profundidad	Resistibilidad	
280-350 m	15 $\Omega$ -m	capa turbia
350m~	60 $\Omega$ -m	pedra arenosa - "capa de resistibilidad acuífera"

Resultados de perfilaje de pozo

0-300 m                      piedra arenosa  
300m~                      mucha piedra  
Poso de estudio:              apoyo de resultado geofisico  
Perfilaje del pozo:            306~361m

JC-7: Estación geofisica CH26 en El Simbolar - Chuquisaca (Figura 4-2-18~20)

Resultados Geofisico

Profundidad	Resistibilidad	
0-225 m	6 $\Omega$ -m	capa turbia
225m~	23 $\Omega$ -m	capa turbia y arenosa, "capa de resistibilidad acuífera"

Resultados de perfilaje de pozo

0-240 m                      piedra arenosa  
240m~                      capa turbia y arenosa  
Poso de estudio: 75~150m      capa arenosa  
Perfilaje del pozo:            99~159m

JC-8: Estación geofisica TA9 en La Choza - Tarija (Figura 4-2-21~23)

Resultados Geofisico

Profundidad	Resistibilidad	
0-31 m	12 $\Omega$ -m	capa turbia
31-90 m	30 $\Omega$ -m	capa arenosa, "capa de resistibilidad acuífera"
90-105 m	2 $\Omega$ -m	capa de arcilla turbia
105m~	120 $\Omega$ -m	basamento

Poso de estudio:              apoyo de resultado geofisico  
Perfilaje del pozo:            46~119m

JC-9: Estación geofisica TA30 en Naranjos - Tarija (Figura 4-2-24)

Resultados Geofisico

Profundidad	Resistibilidad	
8-40 m	31 $\Omega$ -m	capa arenosa, "capa de resistibilidad acuífera"
40-100 m	16 $\Omega$ -m	capa turbia
100m~	27 $\Omega$ -m	capa arenosa, "capa de resistibilidad acuífera"

Resultados de perfilaje de pozo

capa turbia,

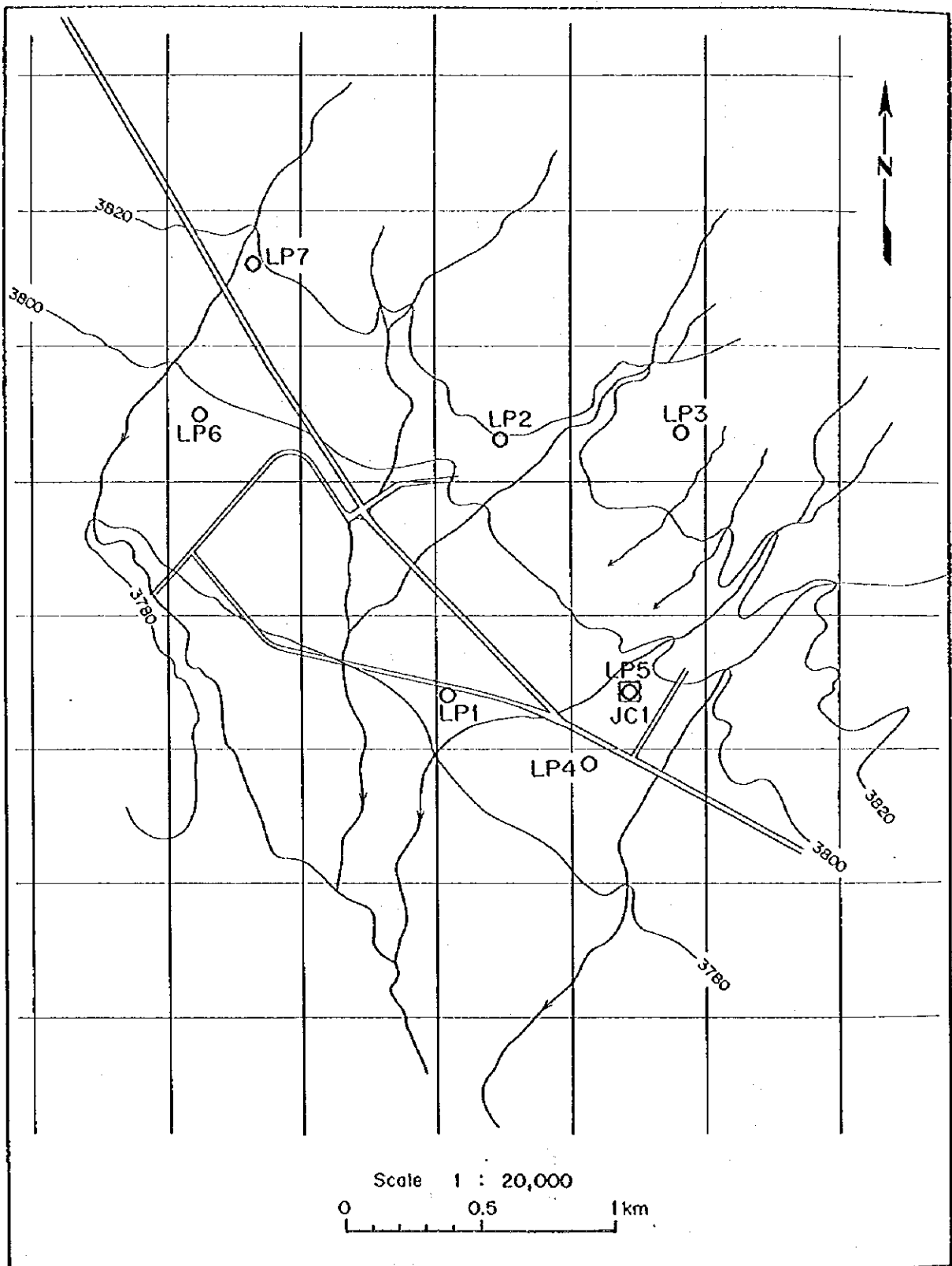


Figura 4-2-6 Ubicación de Puntos Geofísicos en Patacamaya, La Paz

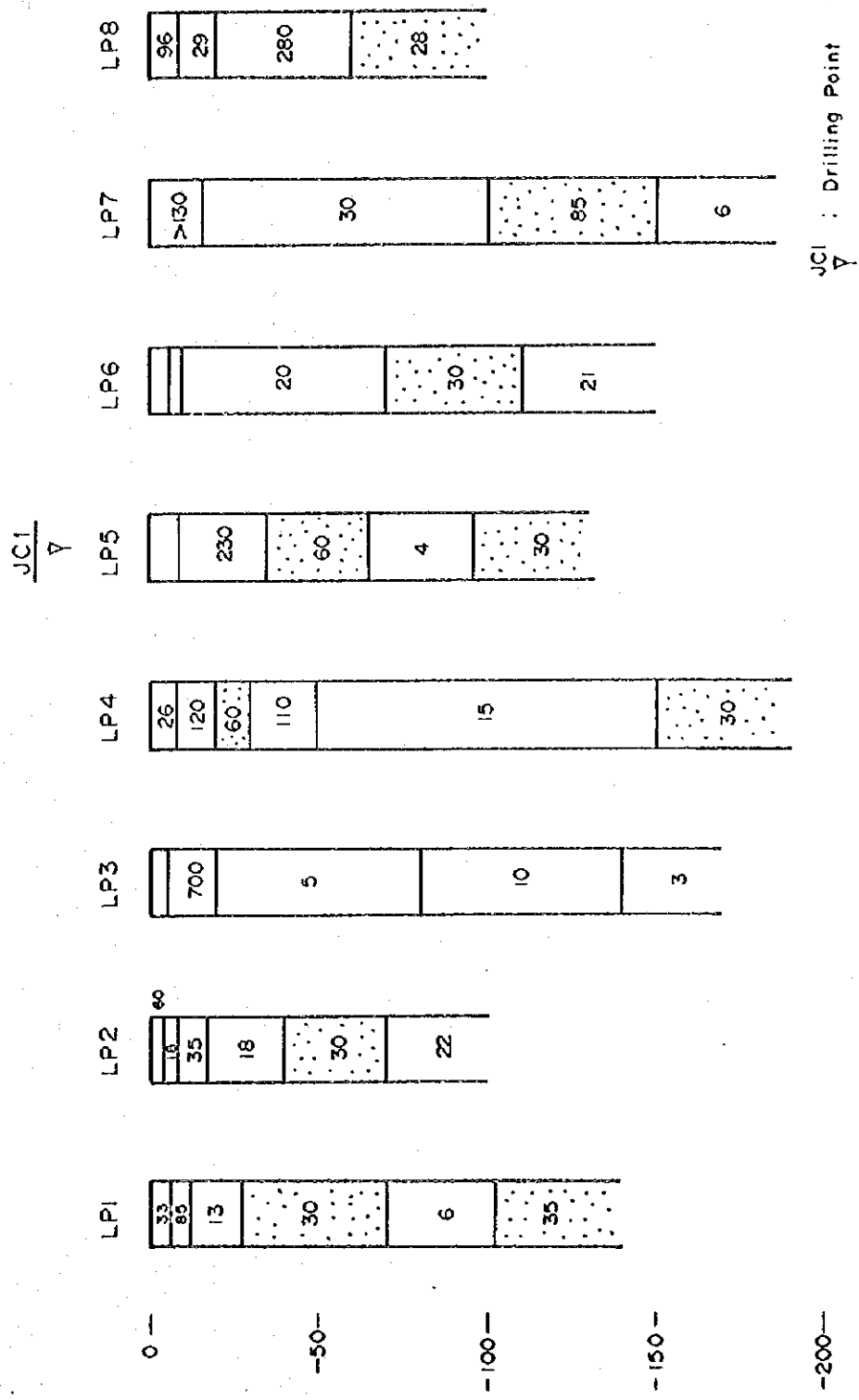


Figura 4-2-7 Perfil de Resistividad de Patacamay, La Paz





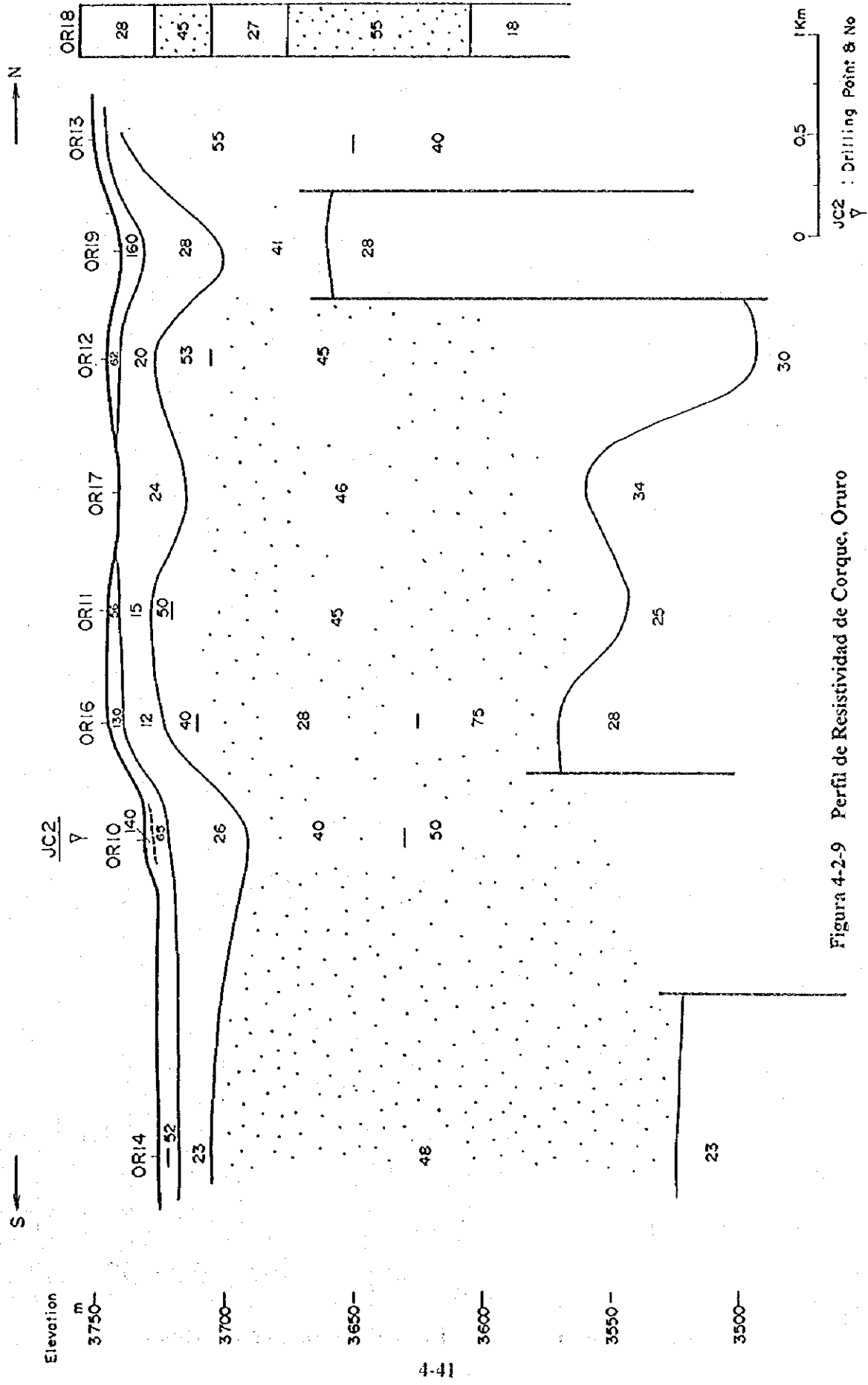


Figura 4-2-9 Perfil de Resistividad de Corque, Oruro



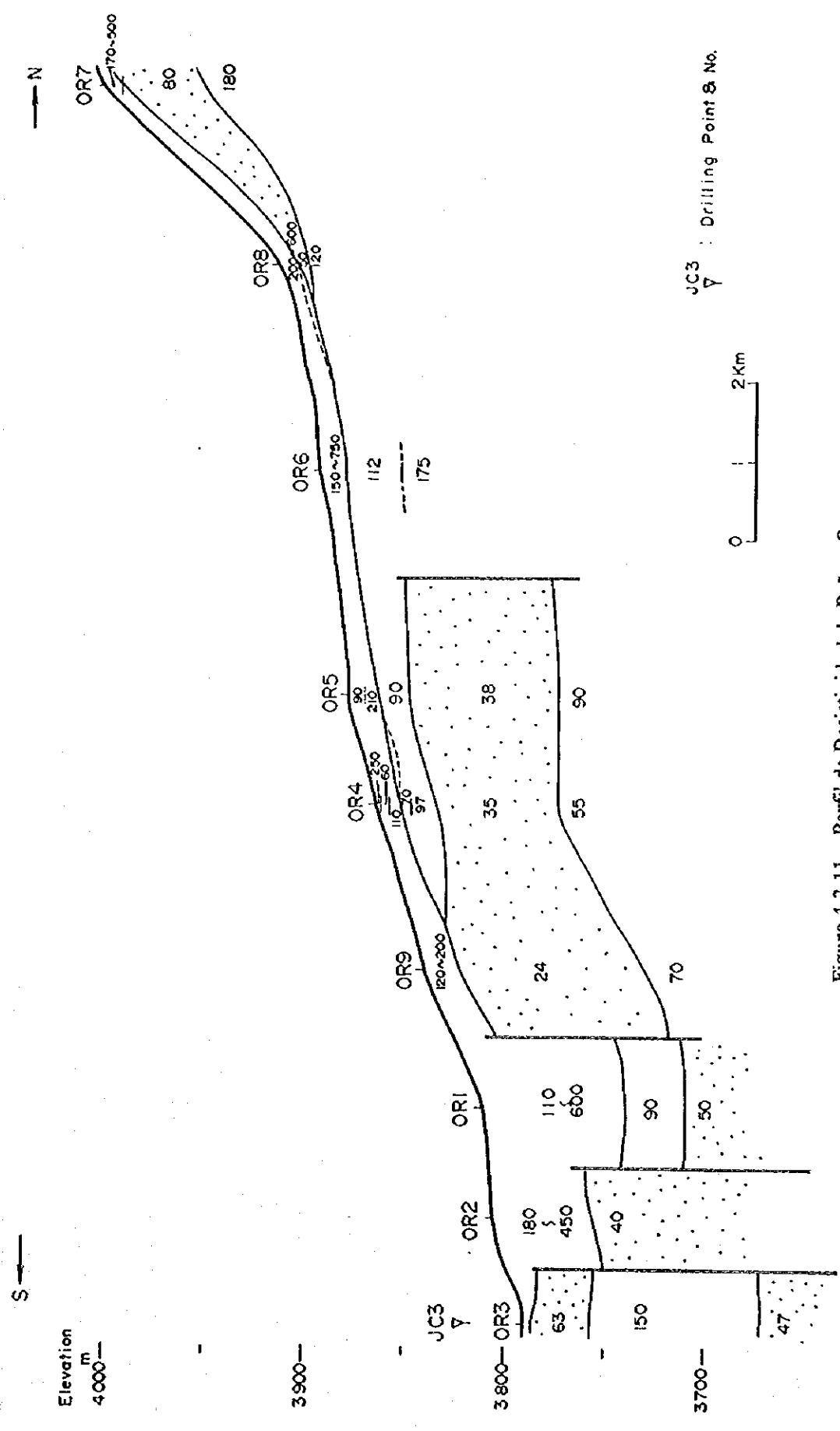


Figura 4-2-11 Perfil de Resistividad de Peñas, Oruro

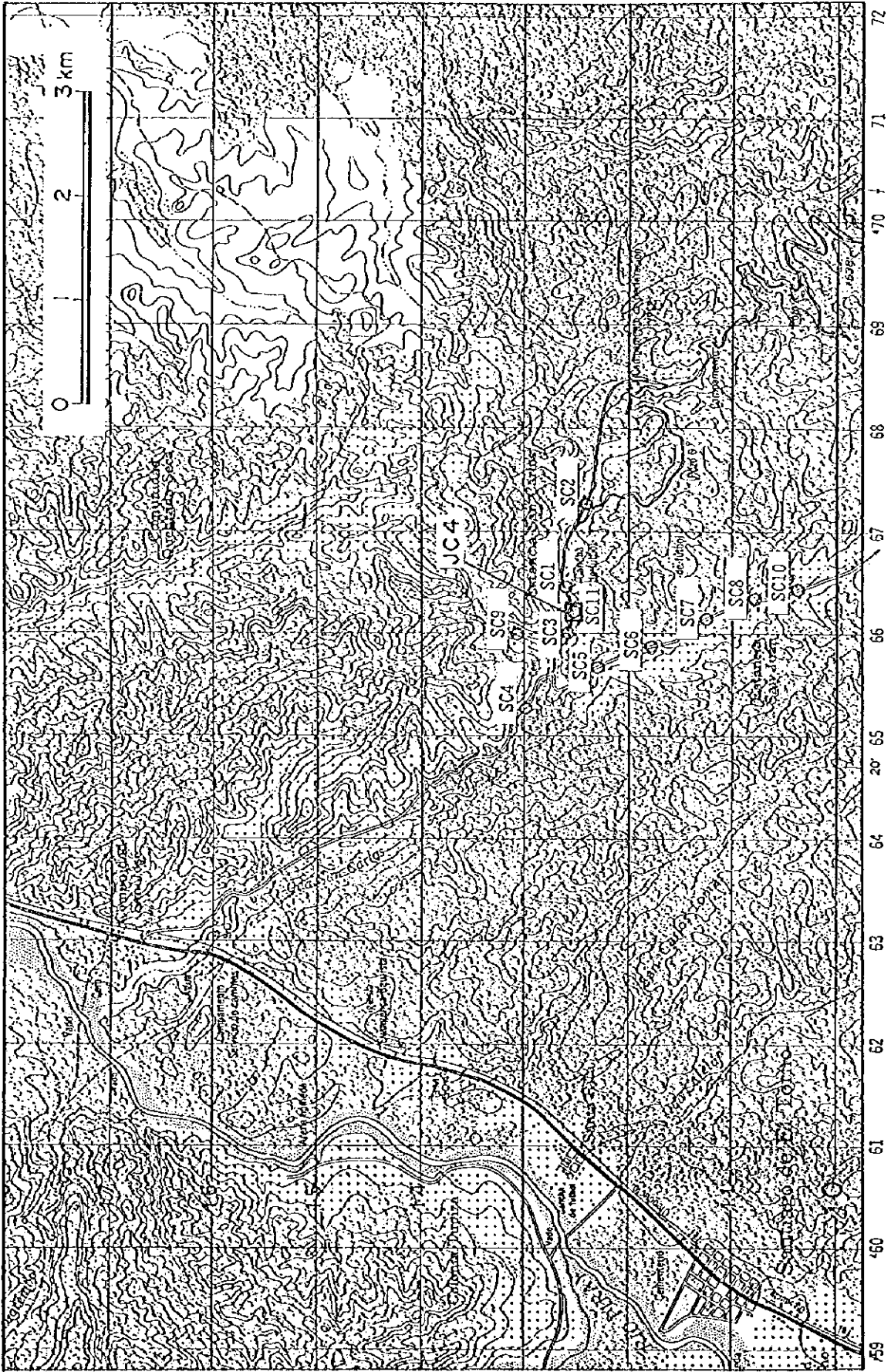


Figura 4-2-12 Ubicación de Puntos Geofísicos en San Carlos, Santa Cruz

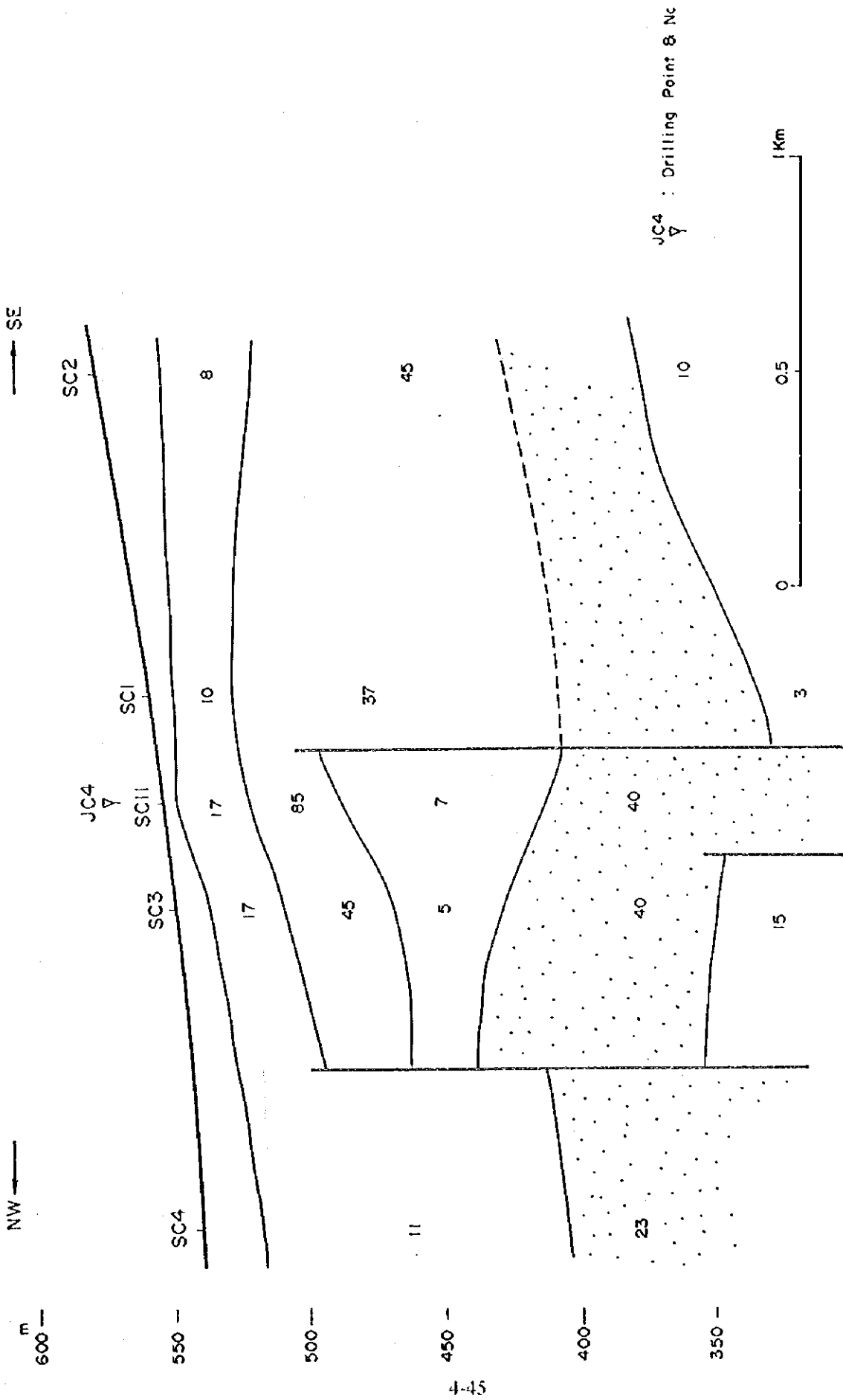


Figura 4-2-13 Perfil de Resistividad de San Carlos (1), Santa Cruz

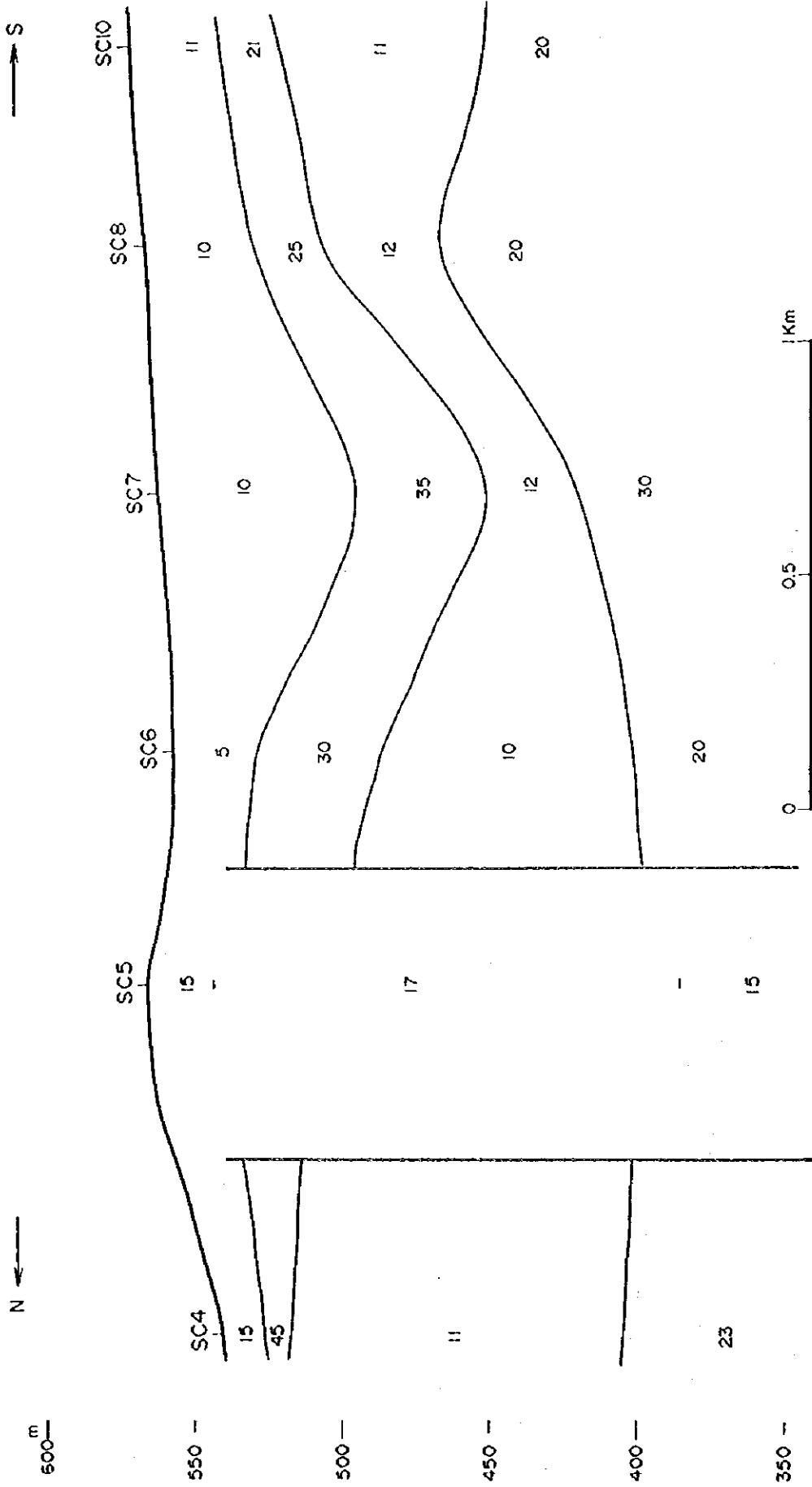


Figura 4-2-14 Perfil de Resistividad de San Carlos (2), Santa Cruz

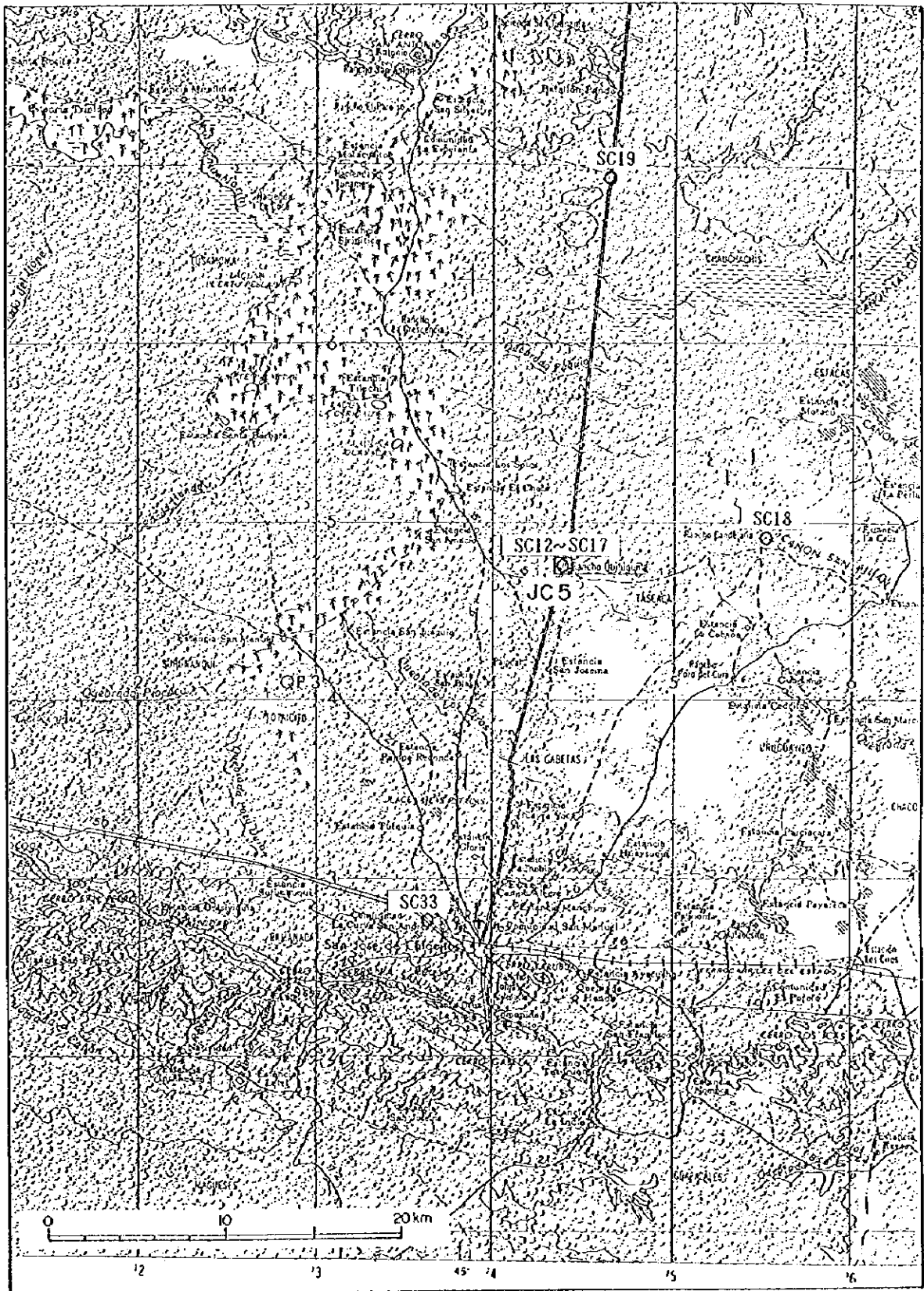


Figura 4-2-15 Ubicación de Puntos Geofísicos en Quitoquiña, Santa Cruz



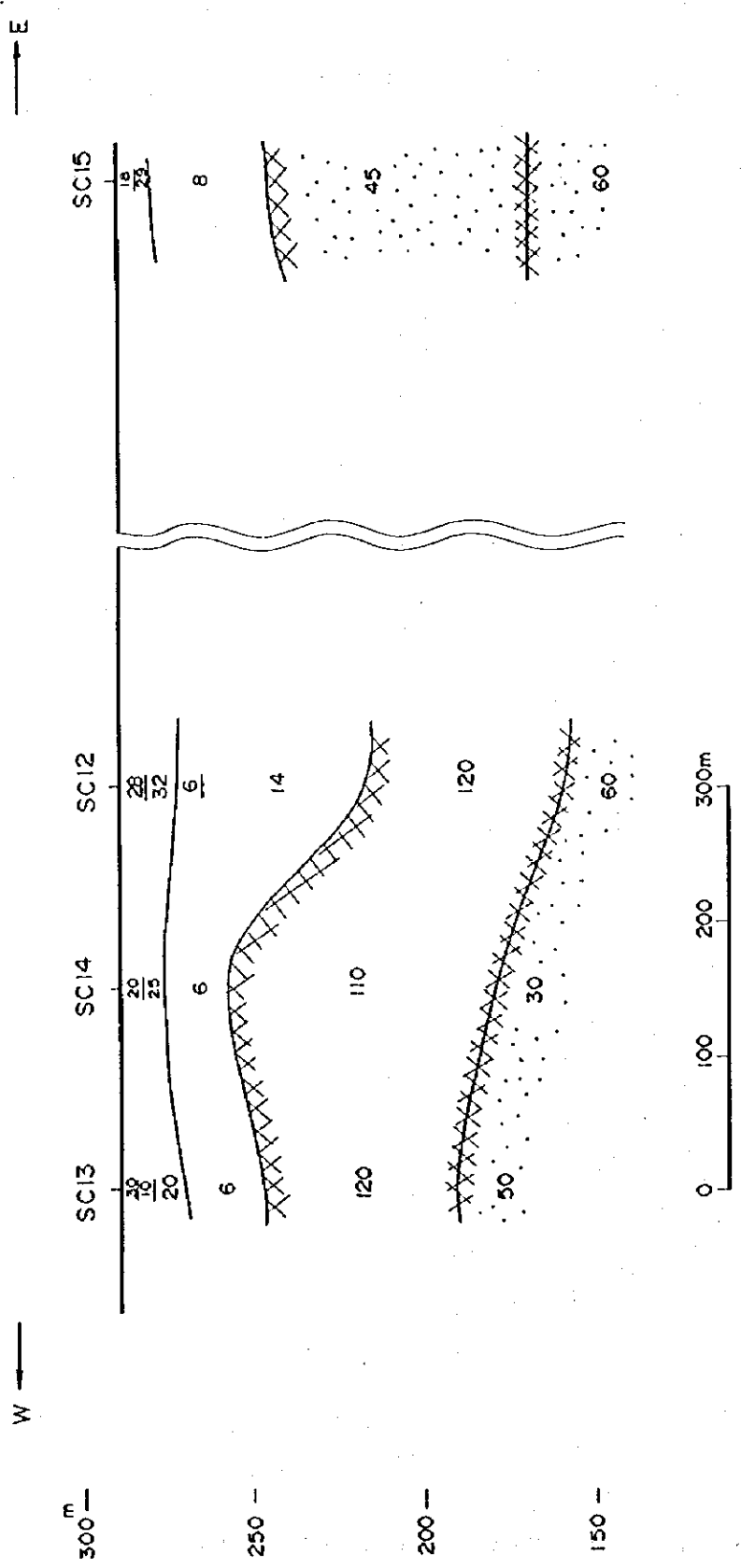


Figura 4-2-16 Perfil de Resistividad de Quituquina (1), Santa Cruz

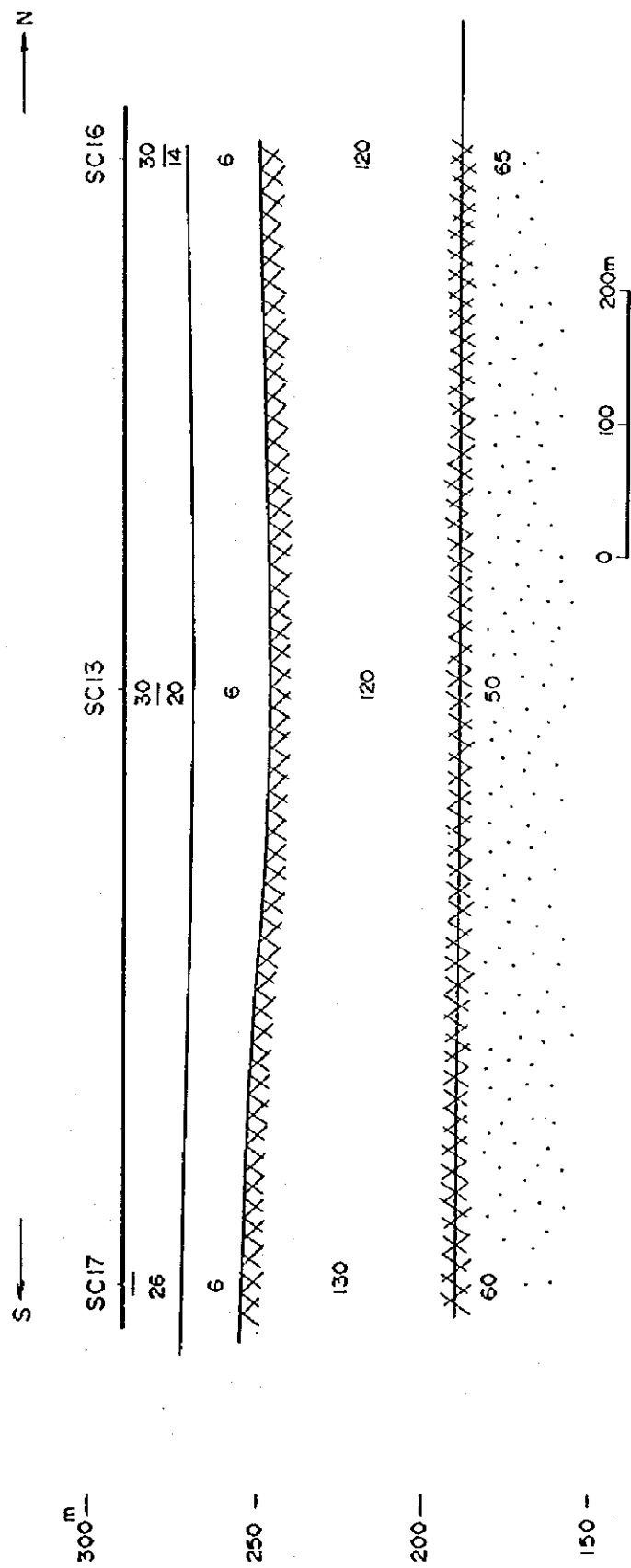
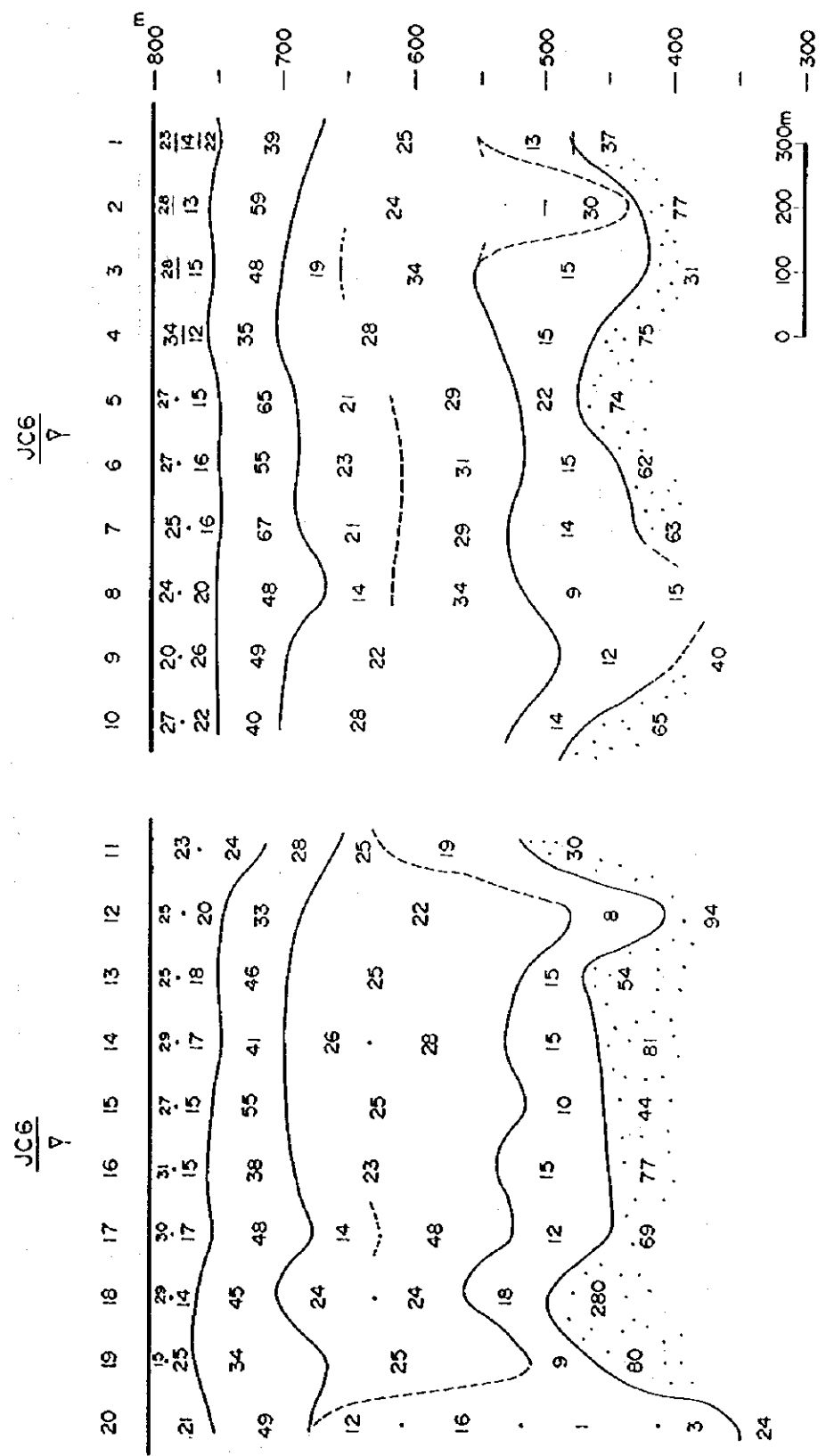


Figura 4-2-17 Perfil de Resistividad de Quituquiña (2), Santa Cruz



SE ←

→ NW



JC6  
▽  
Drilling Point & No.

Figura 4-2-19 Perfil de Resistividad de Campo León, Chuquisaca

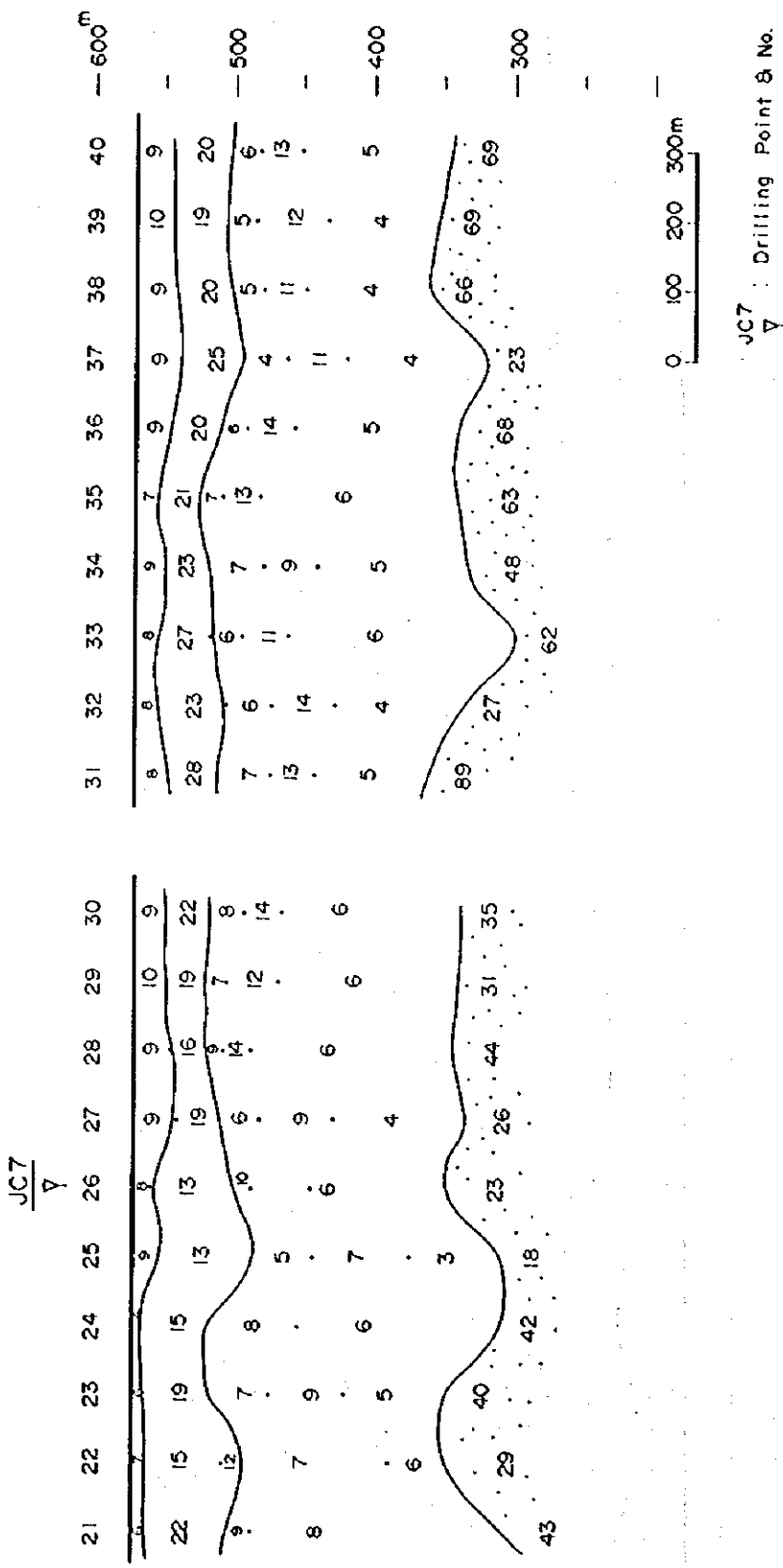


Figura 4-2-20 Perfil de Resistividad de Simbolar, Chuquisaca

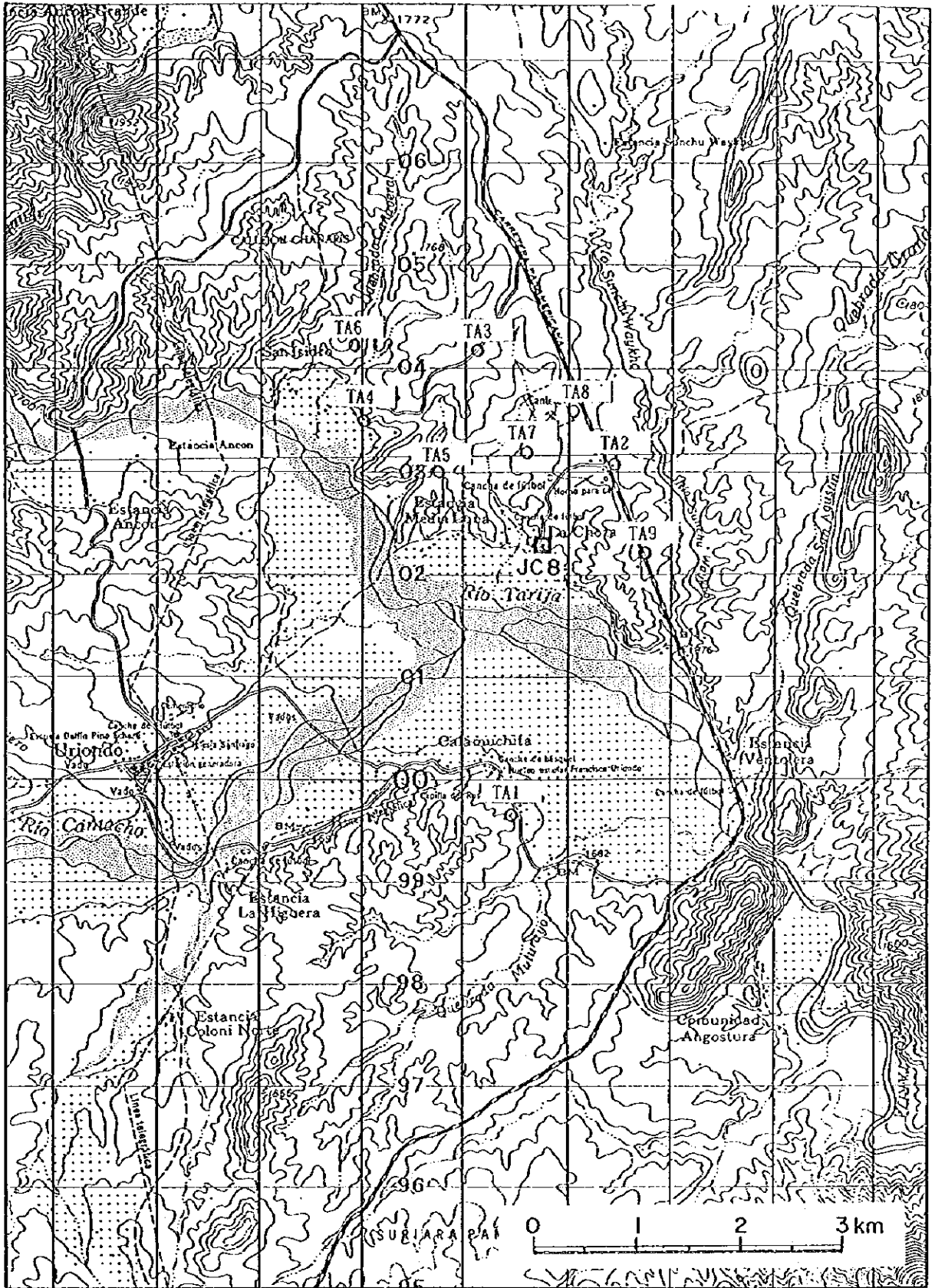


Figura 4-2-21 Ubicación de Puntos Geofísicos en San Isidro, Tarija

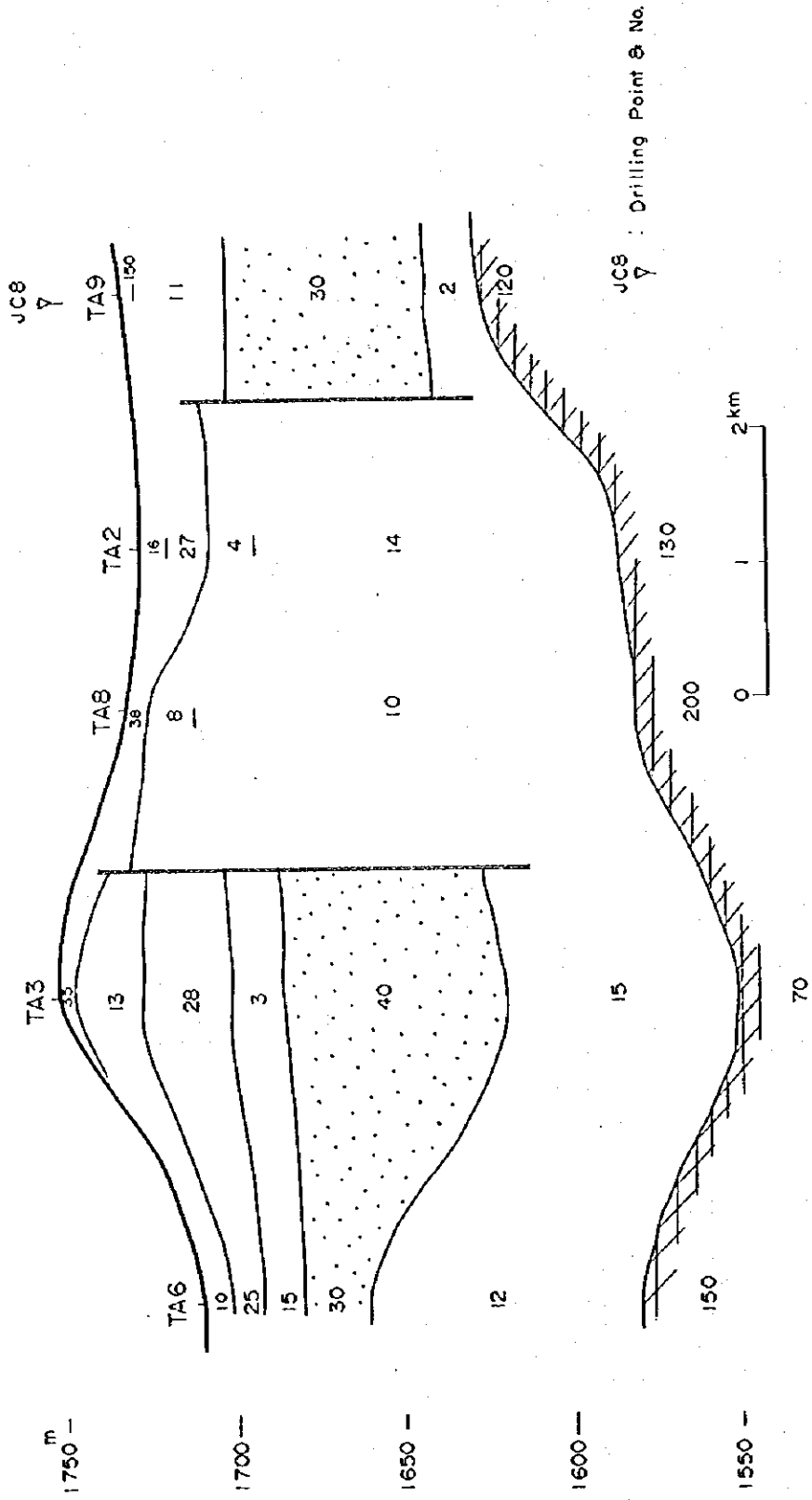


Figura 4-2-22 Perfil de Resistividad de La Choza (1), Tarija

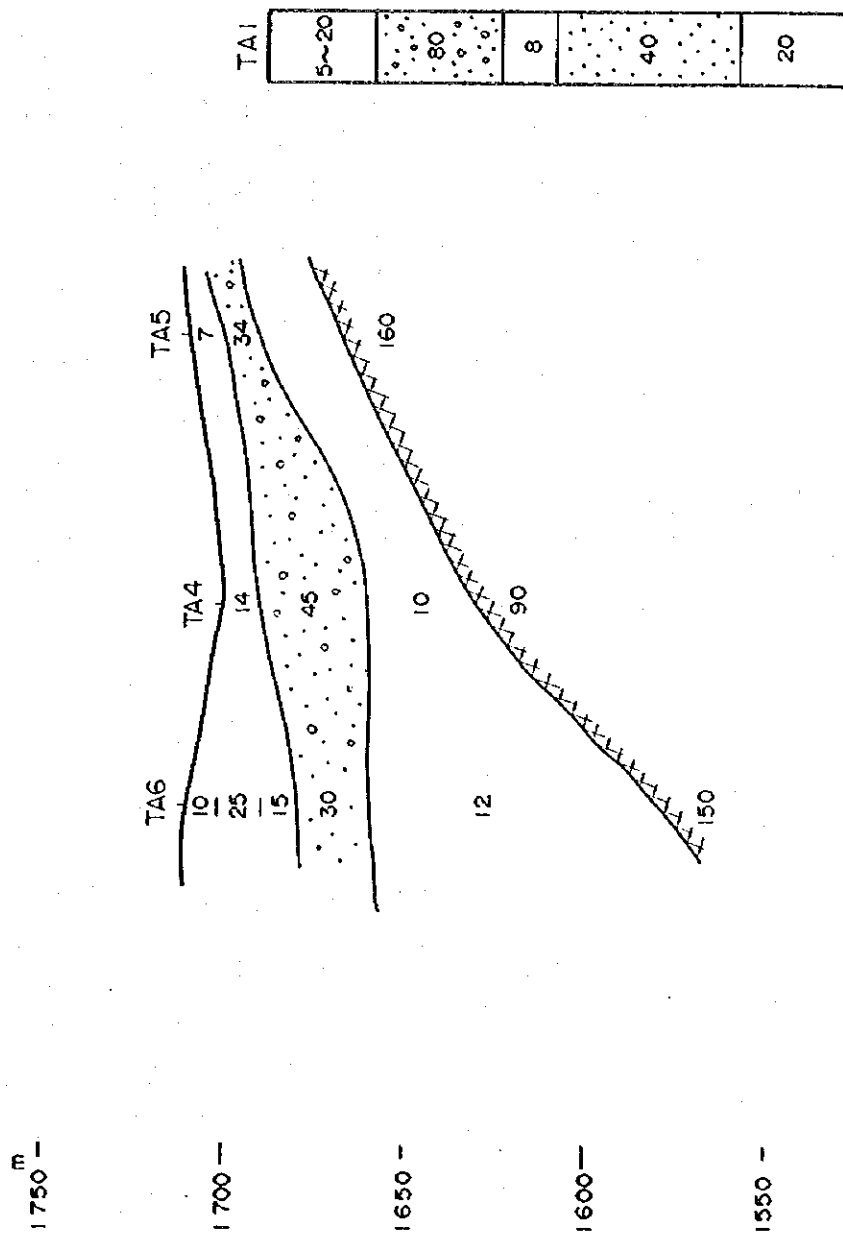


Figura 4-2-23 Perfil de Resistividad de La Choza (2), Tarija



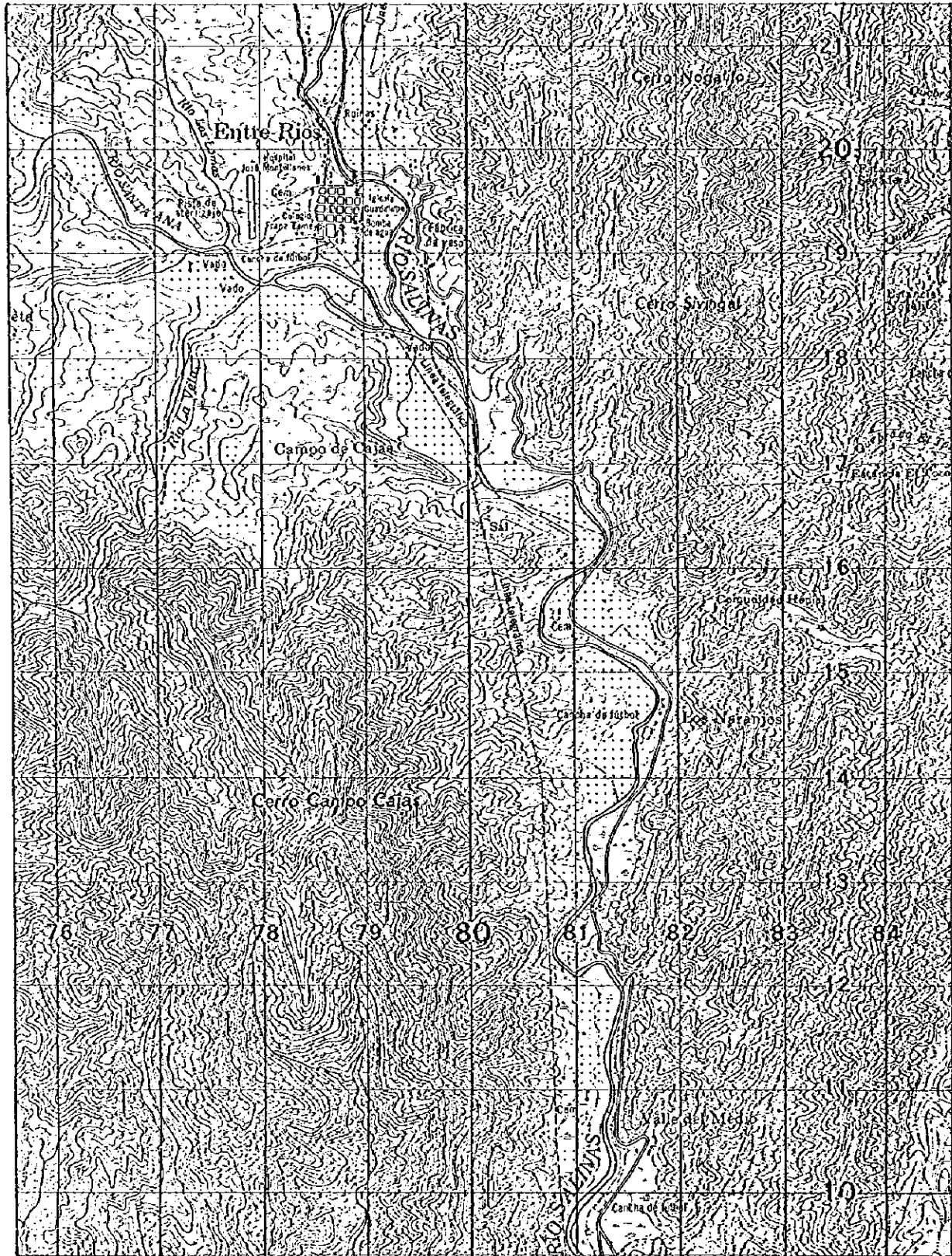


Figura 4-2-24 Ubicación de Puntos Geofísicos en Naranjos, Tarija

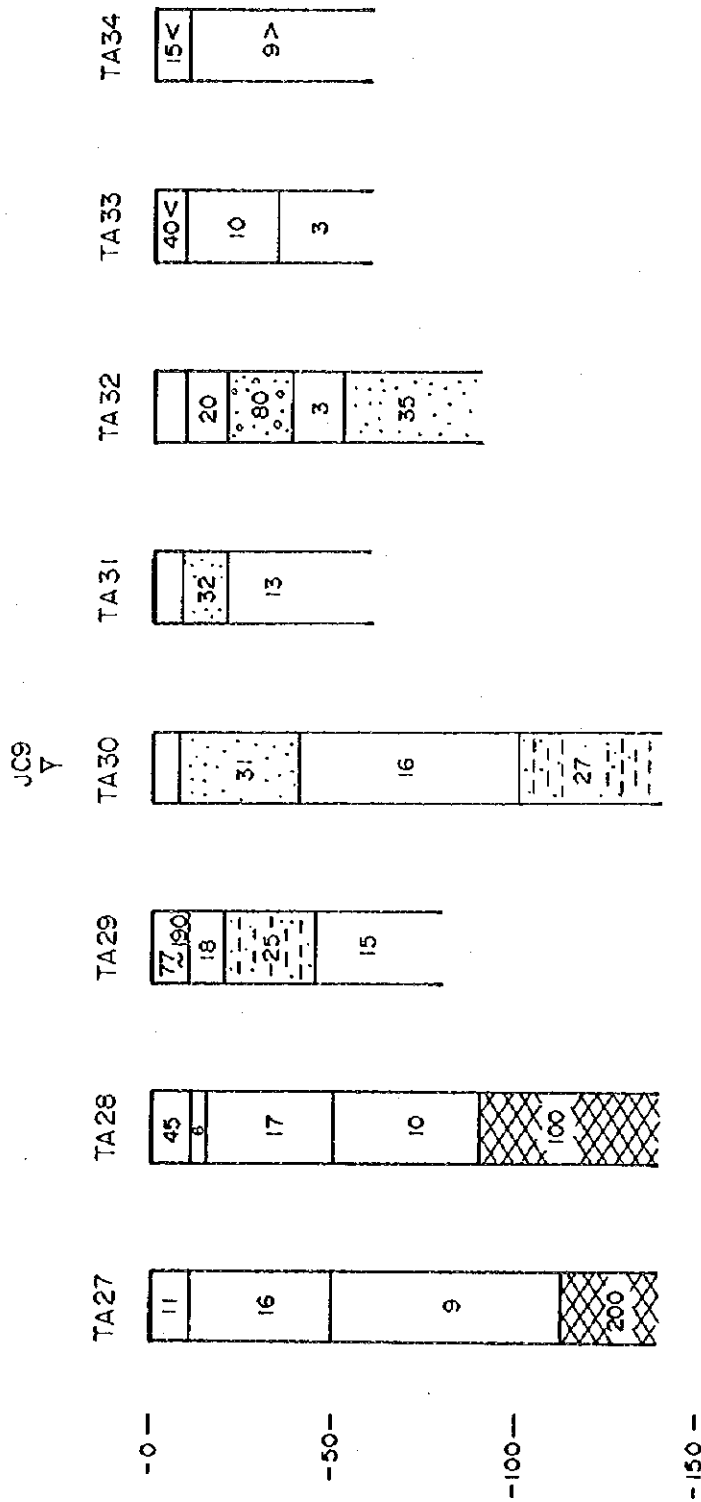


Figura 4-2-25 Perfil de Resistividad de Naranjos, Tarija

## 4.2.2. Las Perforaciones de Prueba

### 1) Resumen de la Encuesta

A fin de chequear la Estructura geológica y propiedades del agua subterránea en las Áreas del Estudio, se efectuaron perforaciones de prueba en las 9 ubicaciones mostradas en la Figura 4-2-25. La Tabla 4-2-3~4 muestra los puntos de campo y un resumen del trabajo de perforación. Estos estudios fueron llevadas adelante comisionando el trabajo a empresas locales de perforación. Después de las perforaciones de pozos piloto, se efectuaron registro eléctricos para determinar las posiciones de inserción de los filtros. El pozo principal fue perforado entonces, los filtros y la tubería fue introducida, y se desarrolló al pozo con material de grava entre las tuberías y las paredes del pozo hasta el borde superior. Posteriormente se procedió al lavado del pozo perforado, para proceder luego a las pruebas de bombeo, pruebas continuas de bombeo, y las pruebas de recuperación también fueron desempeñadas donde las constantes hidráulicas fueron calculadas.

Aunque en Campo Grande fue planificado inicialmente para perforación según JC-9, el punto de perforación fue movido a Naranjos porque se encontraron dificultades en la perforación debido a la abundancia de material rocoso. Por otra parte, aunque perforando a 150 m según lo programado para JC-8 y JC-9, la perforación fue interrumpida en 127 m en ambos lugares, la razón vino a ser que se encontró un espontáneo escurrimiento fuera del depósito de agua subterránea en el caso de JC-8 y el accidental desmoronamiento de las paredes de la boca del pozo en el caso de JC-9.

**Tabla 4-2-3 Ubicación de los Pozos de Investigación**

	N° Bloques	Departamento	Provincia	Bloque	Coordinación		Altitud (m)
					Latitud	Longitud	
JC-1	213003401	La Paz	Aroma	Patacamaya	17° 14' 38" S	67° 54' 00" W	3,800
JC-2	403000101	Oruro	Carangas	Corque	18° 20' 35" S	67° 40' 42" W	3,730
JC-3	406000701	Oruro	Poopo	Huacuyo (Peñas)	18° 41' 59" S	66° 44' 26" W	3,790
JC-4	701030130	Santa Cruz	Andres Ibañez	San Carlos	17° 58' 33" S	63° 19' 02" W	555
JC-5	705010104	Santa Cruz	Chiquitos	Quitiquiña	17° 39' 05" S	60° 42' 03" W	290
JC-6	110030309	Chuquisaca	Luis Calvo	Campo León	20° 31' 39" S	63° 08' 35" W	800
JC-7	110030307	Chuquisaca	Luis Calvo	Simbolar	20° 31' 19" S	62° 56' 48" W	570
JC-8	604010707	Tarija	Avilez	La Choza	21° 40' 45" S	64° 36' 59" W	1,685
JC-9	606011601	Tarija	Burnet O'Connor	Naranjos	21° 34' 16" S	64° 03' 36" W	1,250

Tabla 4-2-4 Resumen de las perforaciones de prueba

Punto No.	Departamento	Comunidad	Finalización de Perforación	Empresa Perforadora	Modelo del Equipo
J C - 1	Sur La Paz	Patacamaya	08.11.95 - 23.11.95	GEOBOL	TH-60 USA
J C - 2	Oruro	Corque	21.09.95 - 03.11.95	GEOBOL	R-36 USA
J C - 3	Oruro	Peñas	25.11.95 - 20.12.95	GEOBOL	TH-60 USA
J C - 4	Santa Cruz	San Carlos	23.08.95 - 01.10.95	HIDROSUR	LEE MOORE USA85
J C - 5	Santa Cruz	Quitiquiña	18.10.95 - 17.12.95	HIDROSUR	LEE MOORE USA85
J C - 6	Chuquisaca	Campo León	24.08.95 - 26.10.95	HIDROSUR	WILSON USA79
J C - 7	Chuquisaca	Simbolar	03.11.95 - 26.10.95	HIDROSUR	WILSON USA79
J C - 8	Tarija	La Choza	15.09.95 - 12.10.95	HIDROSUR	FAILING USA75
J C - 9	Tarija	Naranjos	12.12.95 - 04.02.96	HIDROSUR	FAILING USA75

Estas comunidades tienen una características como mencionamos a continuación:

Patacamaya es un pueblo ubicado en el borde oriental del Altiplano y está construido sobre un abanico comprimido de grava Cuaternaria proporcionado por la "Cordillera Oriental."

Corque es un pueblo situado entre las dos cadenas de montañas que se alza de la parte central de la sabana extensa del Altiplano. Las cadenas montañosas se extienden continuamente en dirección Norte-Sur y una formación arenosa plana es depositada entre las cadenas montañosas. El "estrato de agua" en el límite inferior de la formación arenosa y el "agua de grieta" del sistema Terciario abajo se anticipa como fuentes potenciales de aguas subterráneas en la capa de arena. Los datos pueden ser obtenidos para confirmar el desarrollo o no de la "agua de grieta" en la roca base sea posible en el área plana del Altiplano, donde las localizaciones someras de las aguas subterráneas es sumamente alta en salinidad.

Peñas esta ubicado sobre un lecho fluvial al pié de una montaña en el borde oriental del Altiplano. La roca base, formado del sistema Siluriano, existen debajo del terraplén fluvial el "estrato" de agua en el fondo del mismo y el "agua de grieta" del sistema Siluriano que puede ser anticipado como una fuentes potencial de aguas subterráneas. Si el desarrollo apunta a la "agua de grieta" de la roca base del Altiplano es posible confirmarlo aquí también.

La Choza está ubicado en una cuenca de la "Cordillera Oriental." Las áreas de similares topografía de la "Cordillera Oriental" son áreas donde el agua del lago fluyó fuera desde el fondo de un lago en eras pasadas. La geología superficial de La Chosa, se conforma de sedimentos de fondos de un lago antigua. La geología de grano-fino en localizaciones subterráneas someras no acompaña de acuíferos y la salinidad de las aguas subterráneas es alta. Sin embargo, la existencia de una capa de grava en el límite inferior de la base de los sedimentos de lago se puede anticipar una buena calidad de aguas subterráneas por la estructura geológica de las áreas vecinas y la capa de grava existente. La estructura de la roca base alrededor de La Chosa es favorable para la formación de una capa de grava en el límite inferior de los sedimentos del lago y es ventajoso en términos de comportamiento de flujos de aguas subterráneas para pozos.

Naranjos esta situado en las "Seranias Sub-Andinas", es un distrito que cambia ligeramente

hacia el sistema fluvial de Bermejo, desde los afluentes sistema del río Bermejo y el sistema del río Pilcomayo. Por las condiciones de estas áreas, la formación de una comunidad son restringidas debido a la topografía sumamente accidentada en las "Seranías Sub-Andinas," las comunidades no se asientan necesariamente donde se pueda obtener fácilmente el agua superficial o aguas subterráneas. Naranjos ha sido seleccionado como un distrito favorable para el desarrollo de la "agua de grieta" de la roca base en las "Seranías Sub-Andinas," donde existen restricciones por las asentamientos donde se han formado las comunidades.

San Carlos está ubicado en el borde occidental de la zona de los Llanos. La geología superficial consiste de grava-fina arenisca con arcilla Cuaternaria. En este distrito, no existen aguas subterráneas a profundidades menores a 130m. o si existen tienen ofensivos. Sin embargo en términos de estructura geológica, el área alrededor San Carlos, tiene la base del sistema Cuaternario acompañado de grava-gruesa de composición arenisca o gravas y es favorable en términos de recargas de aguas subterráneas y ventajosos para el desarrollo dirigido a la "agua de grieta" en la roca base. El "agua de estrato" en la base del sistema Cuaternario y la "agua de grieta" en la roca base del sistema Terciario se prevé como una fuente de aguas subterráneas potencial.

Quitiquiña está ubicado en el borde oriental de "Llanura del Chaco-Beniano" y entre "Escudo Central" y "Las Seranías Chiquitanas." Por la poca profundidad de las aguas subterráneas en esta área, los pozos excavados manualmente contienen elementos metálicos, el propósito de un pozo de investigación en la zona fué para verificar las condiciones de aguas subterráneas la roca base comprendido en el sistema Ordoviciano.

Campo León está ubicado en la parte occidental de la "Llanura del Chaco" llamado la "costa." Este es un distrito donde la profundidad del acuífero y el nivel estático de las aguas subterráneas son sumamente bajos (profundos). En la época seca, la agua para uso doméstico sólo se puede obtener de estanques de aguas llamadas "atajados" sin embargo estos se secan en pocos meses en la época seca.

Simbolar está ubicado el este de Campo Leon, en la parte occidental de "Llanura del Chaco" llamado el "llano." Aunque las condiciones domésticas aquí son similares a los de Campo Leon, la profundidad y el nivel estático de las aguas subterráneas son un poco menos profundos.

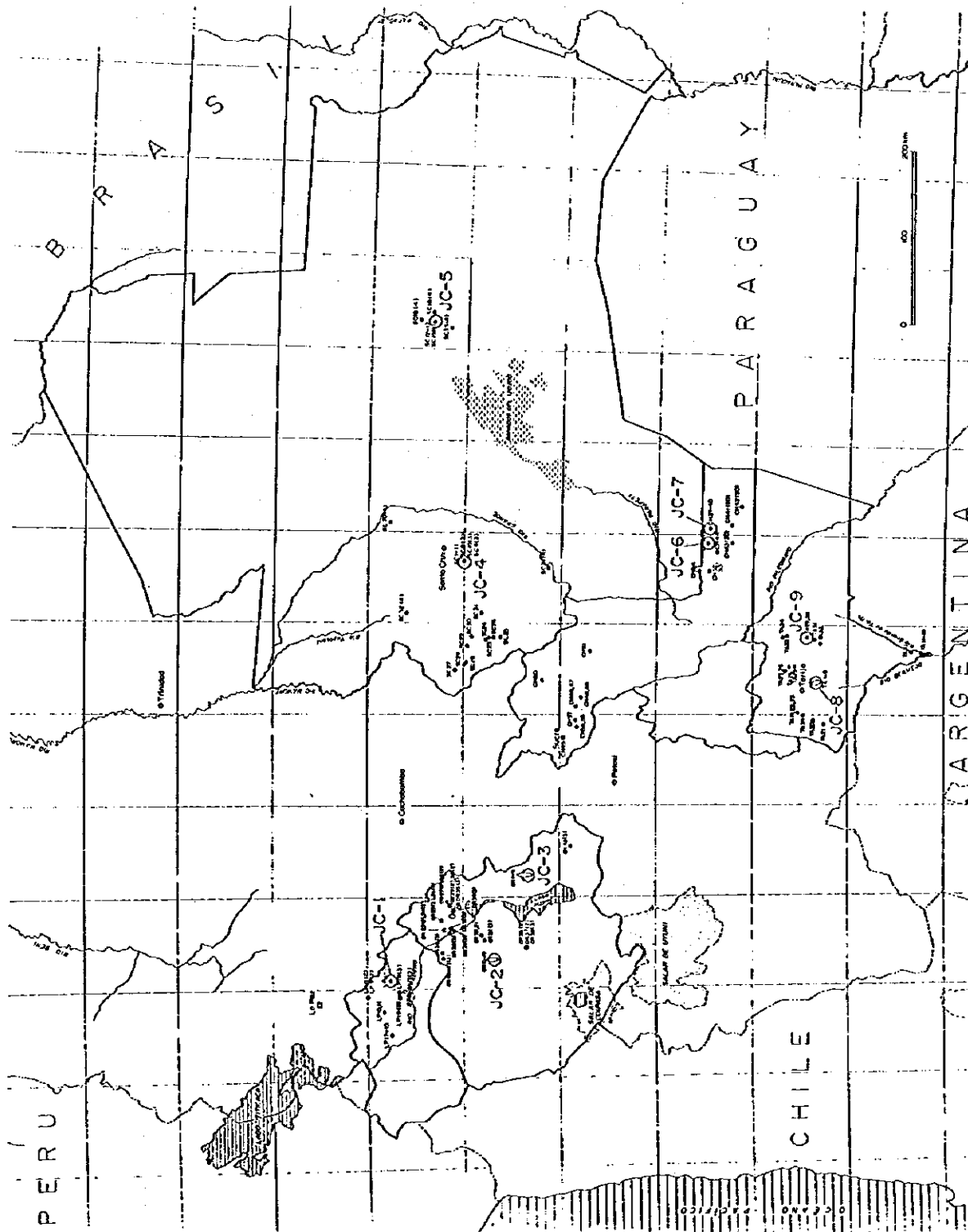


Figura 4-2-26 Ubicación de Pozos

## 2) Resultados del estudio

Los resultados de este estudio son mostrados en la Tabla 4-2-5.

Donde como el rendimiento por segundo obtenido fue 4,0 litros para JC-1, 2,0 litros para JC-2, 2,0 litros para JC-3, 10 litros para JC-4, 0,7 litros para JC-5, 2,25 litros para JC-6- y 7,55 litros para JC-8, no se obtuvo agua para JC-7 y JC-9. La geología en JC-5 era de roca consolidada y un acuífero satisfactorio no podría ser encontrado hasta la profundidad de perforación programada. Las constantes hidráulicas calculadas de los resultados de las pruebas de bombeo son mostrados en la Tabla 4-2-6.

Los estudios requirieron un término de 16 a 65 días desde la llegada de los equipos al sitio determinado para perforación, y el valor promedio de perforación por mes fue de 70 a 200 m. (promedio total: 123 m).

La geología y las profundidades de acuíferos los cuales fueron aclarados por los estudios de campo con perforaciones de prueba fueron altamente consistentes con los resultados de la prospección geofísica, así se logró demostrar la efectividad y eficacia de la prospección geofísica.

Tabla 4-2-5 Datos de Pozos de Investigación

Block No.	a: Diameter of Dril. (mm)	b: Depth of Dril. (mm)	c: Diam. of S/C (mm)	d: Depth of S/C (m)	Aquifer				k: Static W.L. (m)	l: Yield (m <sup>3</sup> /hr)	m: Dynamic W.L. (m)	n: Draw Down (m/hr)	o: Elect. Con. micro-ohm/cm
					Screen		j: Geology	p: % (e-D/b)					
					q: r (m)	r: s (m)							
JC-1 213003401	216.0	100.0	152.4	62.5	23.0 - 56.0	23.0 - 32.0	32.0	9.0%	13.4	14.4	27.2	13.8	
	-	-	-	-	-	36.0 - 42.0	42.0	6.0%	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	44.0 - 47.0	47.0	3.0%	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	50.0 - 56.0	56.0	6.0%	-	-	-	-	-
Total					33.0	24.0		24.0%					
JC-2 403000101	216.0	100.0	152.4	87.0	42.0 - 66.0	42.0 - 45.0	45.0	3.0%	6.5	7.2	26.1	19.6	
	-	-	-	-	-	57.0 - 66.0	66.0	9.0%	-	-	-	-	-
Total					24.0	12.0		12.0%					
JC-3 406000701	216.0	100.0	152.4	66.5	25.0 - 51.0	29.0 - 50.0	50.0	21.0%	7.2	7.2	29.0	21.8	
	-	-	-	-	-	54.0 - 60.0	60.0	6.0%	-	-	-	-	-
Total					26.0	27.0		27.0%					
JC-4 701030130	311.2	260.0	203.2	254.6	146.0 - 248.0	146.0 - 152.0	152.0	2.3%	57.5	36.0	93.0	35.5	65.5
	-	-	-	-	-	164.0 - 170.0	170.0	2.3%	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	191.0 - 197.0	197.0	2.3%	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	213.0 - 219.0	219.0	2.3%	-	-	-	-	-
Total					102.0	30.0		11.5%					



Tabla 4-2-5 Datos de Pozos de Investigación (continuación)

Block No.	a. Diameter of Dr. b. Depth of Dr. c. Dr. d. Diameter of S/C e. Depth of S/C		Aquifer				i. Static W.L. (m)	j. Yield (m <sup>3</sup> /hr)	k. Dynamic W.L. (m)	l. Draw (m)	m. Elect. Con. micro-s/cm		
	of Dr. (mm)	Dr. (mm)	S/C (mm)	S/C (mm)	f (m)	Screen h (m)						i <sup>1</sup> (%) (g/D/h)	j. Geology
JC-5 705010104	311.2	200.0	203.2	197.6	95.0 - 195.0	117.0 - 123.0	3.0%	sand/mud, limestone, sandstone,	32.5	122.5	90.0	5.320	
	-	-	-	-	-	132.0 - 135.0	1.5%		-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	142.0 - 145.0	1.5%	conglomerate,	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	149.0 - 155.0	3.0%	graywacke, dolomite,	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	162.0 - 165.0	1.5%	shale, mudstone	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	173.0 - 182.0	4.5%		-	-	-	-	
<b>Total</b>					100.0	30.0	15.0%						
JC-6 110030309	311.2	411.0	203.2	403.6	306.0 - 361.0	306.0 - 312.0	1.5%		190.0	282.9	92.9	719	
	-	-	-	-	-	319.0 - 328.0	2.2%		-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	338.0 - 344.0	1.5%	sand/mud, sandstone,	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	352.0 - 361.0	2.2%	conglomerate,	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	365.0 - 368.0	0.7%	mudstone	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	383.0 - 386.0	0.7%		-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	394.0 - 397.0	0.7%		-	-	-	-	
<b>Total</b>					55.0	39.0	9.5%						
JC-7 110030307	311.2	238.0	203.2	171.6	40.0 - 155.0	99.0 - 102.0	1.2%		139.0	-	-	-	
	-	-	-	-	-	112.0 - 121.0	3.5%		-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	125.0 - 128.0	1.2%	sand/mud, sandstone,	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	138.0 - 141.0	1.2%	conglomerate,	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	156.0 - 159.0	1.2%	mudstone	-	-	-	-	
<b>Total</b>					115.0	21.0	8.1%						

Tabla 4-2-5 Datos de Pozos de Investigación (continuación)

Block No.	Diameter of Dril. (mm)	Depth of Dril. (mm)	D.C. Diame. of S/C (mm)	S/C (mm)	S/C (m)	Aquifer				i:Yield (m <sup>3</sup> /hr)	m:Dynamic W.L. (m)	n:Draw (m)	o:Elect. Cont. micro-cm	
						e (m)	f (m)	Screen						j:Geology
								g (m)	h (m)					
JC-8 604010707	215.9	127.4	152.4	120.4	46.0 - 118.7	46.0 - 49.0	2.4%	2.4%	27.2	+6.0	-	-	500	
	-	-	-	-	-	51.0 - 54.0	2.4%	2.4%	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	75.0 - 84.0	7.1%	7.1%	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	91.0 - 100.0	7.1%	7.1%	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	112.7 - 118.7	4.7%	4.7%	-	-	-	-	-	
Total					72.7	30.0	23.6%	23.6%						
JC-9 606011601	311.2	127.0	152.4	127.0	91.0 - 121.0	91.0 - 121.0	23.6%	23.6%	-	-	-	-	-	
Total					30.0	60.0	23.6%	23.6%						

Tabla 4-2-6 Constantes Hidrogeológicas

Block No.	a: Diameter of Drib Depth of 1 of Dri. (mm)	b: Depth of Dri. (m)	k: Static (m)	l: Yield (m <sup>3</sup> /hr)	n: Draw (m/sec)	p: Specific Cap. (m <sup>3</sup> /day)	q: Transmissivity (<math>\lt; \triangleright</math>)	r: Hydraulic Cond. (<math>\lt; \triangleright</math>)	s: Storativity (<math>\lt; \triangleright</math>)
JC-1	216.0	100.0	13.4	14.4	13.8	1.04	0.463 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /sec	0.0193 x 10 <sup>-3</sup> m/sec	-
JC-2	216.0	100.0	6.5	7.2	19.6	0.37	0.521 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /sec	0.0434 x 10 <sup>-3</sup> m/sec	-
JC-3	216.0	100.0	7.2	7.2	21.8	0.33	0.069 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /sec	0.0026 x 10 <sup>-3</sup> m/sec	-
JC-4	311.2	260.0	57.5	36.0	35.5	1.02	0.613 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /sec	0.0204 x 10 <sup>-3</sup> m/sec	-
JC-5	311.2	200.0	32.5	2.5	90.0	0.03	0.002 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /sec	0.0001 x 10 <sup>-3</sup> m/sec	-
JC-6	311.2	411.0	190.0	8.1	92.9	0.09	0.104 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /sec	0.0027 x 10 <sup>-3</sup> m/sec	-
JC-7	311.2	258.0	139.0	-	-	-	-	-	-
JC-8	215.9	127.4	-6.0	27.2	-	-	-	-	-
JC-9	311.2	127.0	-	-	-	-	-	-	-

p: Specific Cap.  
r: Hydraulic Cond.

l: Specific Capacity  
n: Hydraulic Conductivity

### 3) Calidad del Agua Subterránea

Los resultados de prueba de calidad de agua para aguas subterráneas se obtuvieron en los pozos de prueba de los puntos de estudio que son mostrados en la Tabla 4-2-4. El agua subterránea en JC-5 era alto en turbiedad y en concentraciones de materias solubles y de esta forma era inapropiado como agua de consumo humano. Aunque el agua subterránea en JC-1 y JC-2 eran algo altos en la concentración de hierro, los ítems de calidad de agua satisficieron los patrones de calidad de agua aptos para el consumo de la República de Bolivia. La calidad de agua de agua subterránea de otros puntos de estudio también satisficieron los patrones de calidad de agua potable y eran bajos en turbidity y orgánicos contaminantes. También, la concentración de materia soluble no eran particularmente altas en la comparación para visual de pozos someros, con excepción de JC-5, donde la conductividad estaba entre rangos de 380-830  $\mu \Omega/\text{cm}$ , y la dureza total estaba entre rangos de 139-237 mg / l.

Tabla 4-2-7 Periodos de Trabajos de Perforación

Block No.	Department	Province	Block	a)Drill Method Method	b)Mobilization (days)	c)Drilling (days)	d)Logging (days)	e)Reaming (days)	ken/Casing (days)	g)Developing (days)	h)Pumping Test (days)	i)Site Restoration (days)	j)Demobilization (days)	k)Working Term.(days)	L)Machine C/M
JC-1	La Paz	Arma	Patacamaya	R	2	7	1	-	1	1	3	1	-	16	G1
JC-2	Otro	Carapaza	Corque	R	2	35	1	-	1	1	3	1	-	44	G2
JC-3	Otro	Poopo	Huacayo(Penas)	R	10	7	1	-	1	1	3	1	2	26	G2
JC-4	Santa Cruz	Andres Bello	San Carlos	R	9	40	1	5	2	4	3	1	-	65	H1
JC-5	Santa Cruz	Chiquitce	Quintana	R	6	39	1	5	1	4	2	1	2	61	H1
JC-6	Chuquisaca	Luis Calvo	Campo Leon	R	8	20	1	19	1	11	2	2	-	64	H2
JC-7	Chuquisaca	Luis Calvo	Simbolar	R	5	6	1	4	1	7	2	1	5	52	H2
JC-8	Tarifa	Avilés	La Chaya	R	8	12	1	10	1	-	-	1	15	48	H3
JC-9	Tarifa	Burnet O'Connor	Nanavice	R	10	20	1	14	1	1	2	1	5	55	H3

a)Drill Method  
G1/G2 = Rotary Method (R) or Percussion Method (P)  
H1/H2/H3 = "GEOBOL" or "HIDROSUR" & Machine No.

Tabla 4-2-8 Calidad de Aguas Subterráneas de los puntos de estudio de pozos de prueba

Item	J C-1 Paracamaya	J C-2 Corque	J C-3 Peñas	J C-4 San Carlos	J C-5 Quitiquña	J C-6 Campo León	J C-8 La Choza
Temperatura del Agua (°C)	16.00	-	13.00	27.7	24.9	30.3	20.5
pH	6.75	8.10	8.35	6.96	7.62	7.44	8.0
Color	-	-	-	3.0	98.0	12.0	5.0
Turbiedad	Claro	Cristalino	Claro	1.0	11.0	5.0	0.40
Dureza Total (mg/l-CaCO <sub>3</sub> )	138.4	236.17	119.18	363	217	137	271.4
Conductividad (μΩ/cm)	386.2	831.81	415.9	733	5,350	719	500
Materia soluble (mg/l)	-	-	-	513	3,745	503	-
Alcalinidad (mg/l-CaCO <sub>3</sub> )	113.30	177.54	121.47	425	722	160	376
Cantidad de Coliformes de Echerichia Coli (MNP / 100ml)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ca (mg/l)	32.4	63.44	30.75	105.0	43.4	46.0	-
Mg (mg/l)	13.93	18.85	10.26	21.5	26.4	5.3	-
K+Na (mg/l)	54.2	60.9	111.7	-	-	-	-
Fe (mg/l)	3.19	2.30	0.32	0.04	2.85	0.08	ND
Mn (mg/l)	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-
Cl (mg/l)	17.3	63.45	52.69	8.5	50.50	78.0	31.1
SO <sub>4</sub> (mg/l)	51.08	63.27	44.82	13.9	1,524.2	124.0	175.0
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	11.30	177.54	102.79	88.3	34.2	11.5	412.0
NO <sub>3</sub> (mg/l)	-	-	-	4.5	0.0	22.3	-
NO <sub>2</sub> (mg/l)	ND	-	ND	0.01	0.00	0.17	ND

### 4.3 Potencial de Desarrollo para Aguas Subterráneas

#### 4.3.1 Desarrollo de Aguas Subterráneas Pasados

##### 1) Distribución de las Condiciones de Pozos

Según el censo de población y vivienda de 1992, el 46.9% de todos los hogares en las Áreas de Estudio que no reciben el servicio de provisión de agua depende de pozos de agua. La población que usa pozos de agua es especialmente extensa en la parte de la región sur de La Paz, Oruro, y la parte norteña de Santa Cruz y es presumido que la mayoría de los pozos son someros, con pozos excavados manualmente.

El número de pozos determinado desde los datos de pozos en la Base de Datos de Aproveccionamiento de Agua BADAA, son tabulados en la Tabla 4-3-1. Aunque los datos son orientados hacia regiones de población altas pero relativamente reales nuevamente fueron desarrollados pozos de prueba, las siguientes tendencias fueron vistas.

- (1) Las regiones en que el desarrollo de aguas subterráneas han sido efectuadas activamente incluídas aquellas en las cercanías a la ciudad de Santa Cruz, en las cercanías de la ciudad de Tarija, en la región occidental de Santa Cruz, que forma el límite entre las Serranías Sub-Andinas y la Llanura Chaco-Beniana y se extiende en forma de una faja en dirección norte-sur, La región oriental del Altiplano etc.
- (2) Lo mas nuevo en pozos, la profundidad de pozos profundos.
- (3) En general, las profundidades de pozos son aproximadamente entre 50-100 m en el Altiplano y aproximadamente entre 100-300 m en la región occidental de Santa Cruz. Hay pozos que están entre 200 a 400 m de profundidad o más profundos en la región del Chaco.
- (4) Los caudales varían ampliamente desde 1.5 a 10 litros por segundo en el Altiplano. Los rendimientos son aproximadamente de 4 a 10 los litros por segundo en la región occidental de Santa Cruz y aproximadamente entre 1.5 a 3 litros por segundo en la región del Chaco.
- (5) Los niveles estáticos de agua están entre 20-25 m en el Altiplano, entre 20-50 m en la región occidental de Santa Cruz, y pueden estar entre 100 a 200 m o a mayor profundidad en la región del Chaco.

Tabla 4-3-1 Número de Pozos según Profundidad de pozo (extractado de la Base de Datos de Aproveccionamiento de Agua)

Profundidad (m)	0~10	11~29	30~49	50~99	100~199	≥200	Total
Chuquisaca	0	7	4	22	7	11	59
Sur de La Paz	17	3	6	3	0	0	29
Oruro	16	12	19	29	3	0	79
Tarija	22	7	2	24	37	0	92
Santa Cruz	2	33	81	277	153	11	557
Total	57	62	112	355	200	22	808

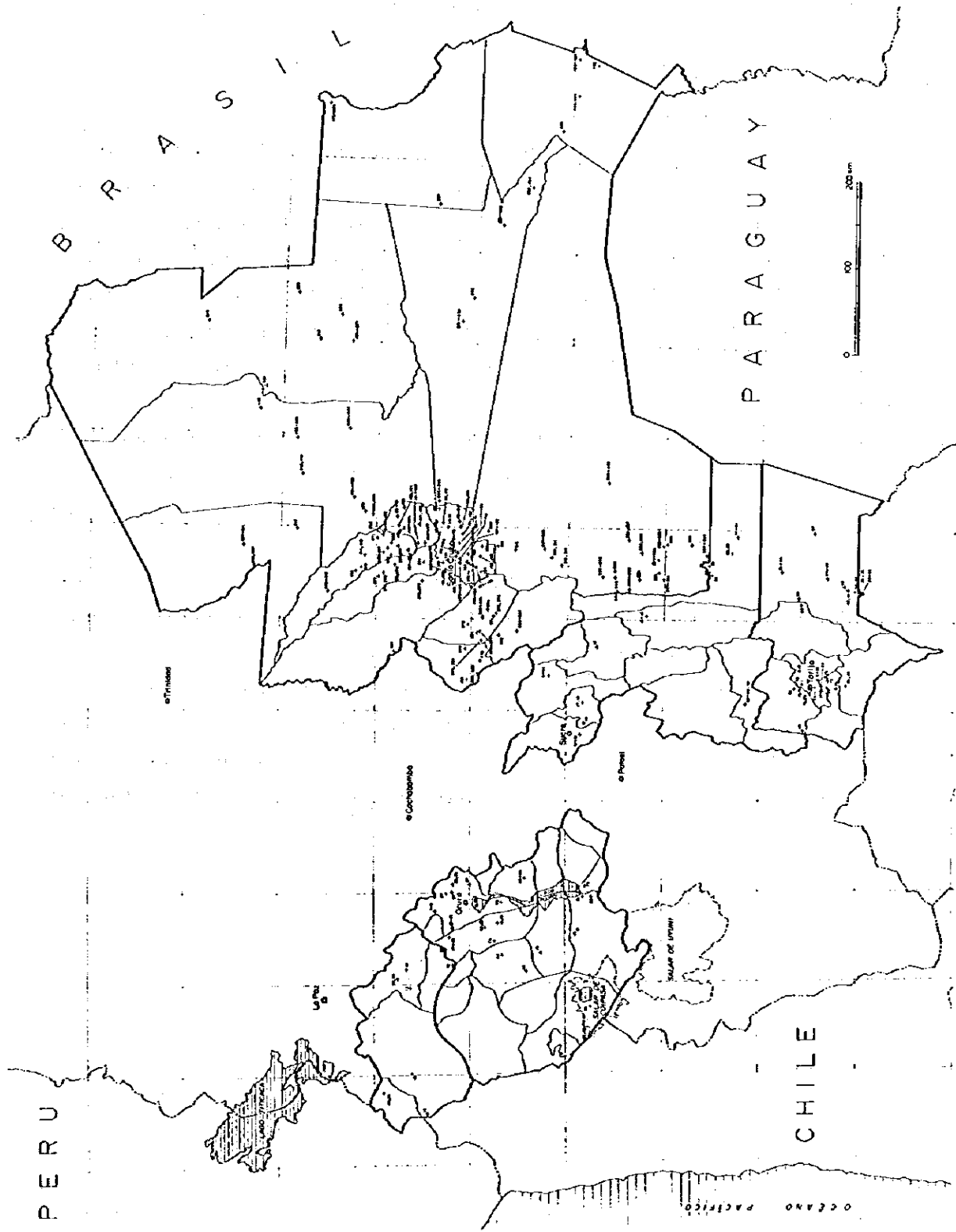


Figura 4-3-1 Mapa de Localización de Pozos Existentes (según la Base de Datos)



De la Figura 4-3-2 a la Figura 4-3-4 muestran las distribuciones de las profundidades de los pozos perforados, la producción de pozos (caudales), y niveles estáticos de agua con base en los datos de pozos de la Base de Datos de Aprovechamiento de Agua.

## 2) Condiciones de propiedad de equipos y máquinas de perforación

Entre las Áreas de Estudio, los dos Departamentos de Chuquisaca y Oruro respectivamente poseen equipo de perforación de pozos. Sin embargo, estos equipos son obsoletos, equipos modelo 1974 o '75 con baja capacidad y los trabajos de perforación son efectuados sólo en uno o dos sitios por año. Los otros tres Departamentos no poseen equipos de perforación y tienen que comisionar el desarrollo de aguas subterráneas a perforistas de pozos privados. Aunque varios perforistas de pozos privados existen en los Departamentos de La Paz y Santa Cruz, los más son pequeñas o medianas empresas que poseen sólo equipos obsoletos para perforaciones de pozos someros y son deficientes en la capacidad de administración. Hay sólo de 3 a 5 empresas de perforación de pozos quienes tienen la capacidad para perforar pozos profundos.

Además de lo mencionado arriba, la Corporación de Agua Potable y Alcantarillado de Cochabamba posee equipo de perforación de pozos Japonés relativamente nuevo y Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos YPFB posee equipamiento de prospección petrolera de gran escala.

Aunque las tuberías de acero y con un propósito general bombas de elevación, etc., pueden ser obtenidos domésticamente, los filtros inoxidables de acero, bombas de motor sumergidos, partes especiales necesarias, etc., deben ser importados.

Además que hay muchas personas quienes son experimentadas en trabajos de perforación de pozos y la tecnología de perforación en Bolivia ha alcanzado un nivel considerable, hay una escasez de información sobre aguas subterráneas, métodos de exploración y las nuevas técnicas de perforación de pozos y el número de ingenieros con conocimientos experimentados de hidrogeología es bajo.

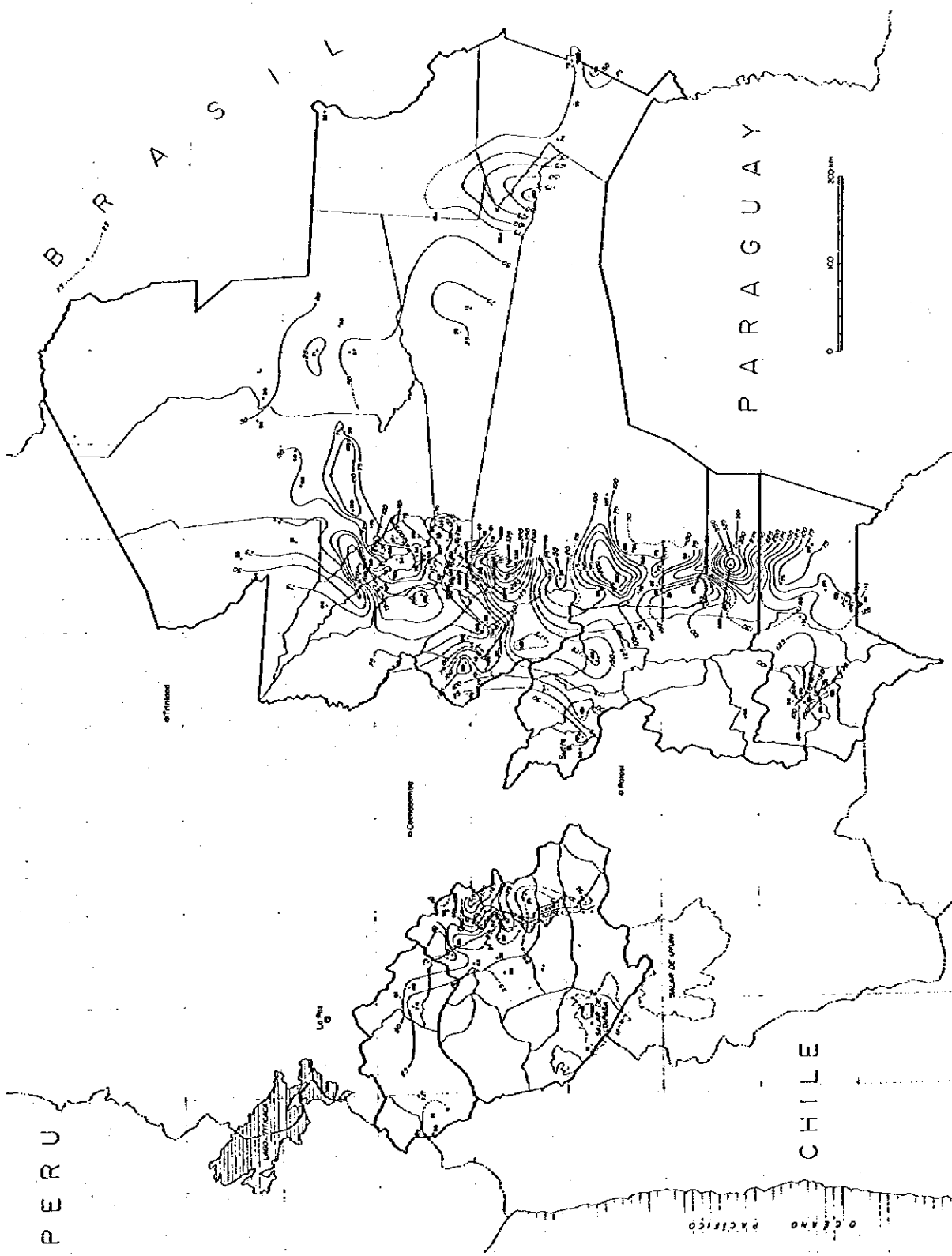


Figura 4-3-2 Distribución de Profundidades de Pozos

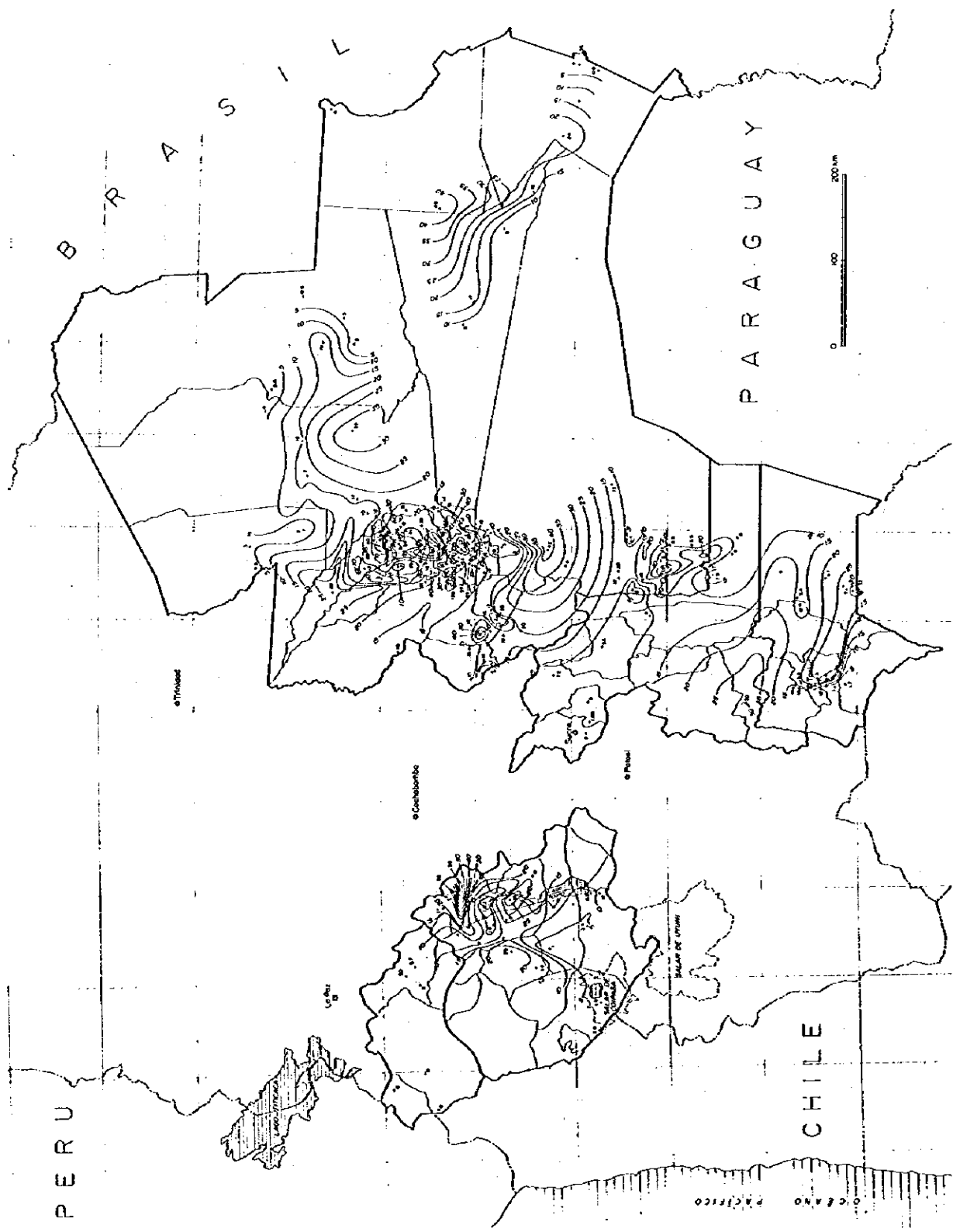


Figura 4-3-3 Distribución de Rendimientos de Pozos

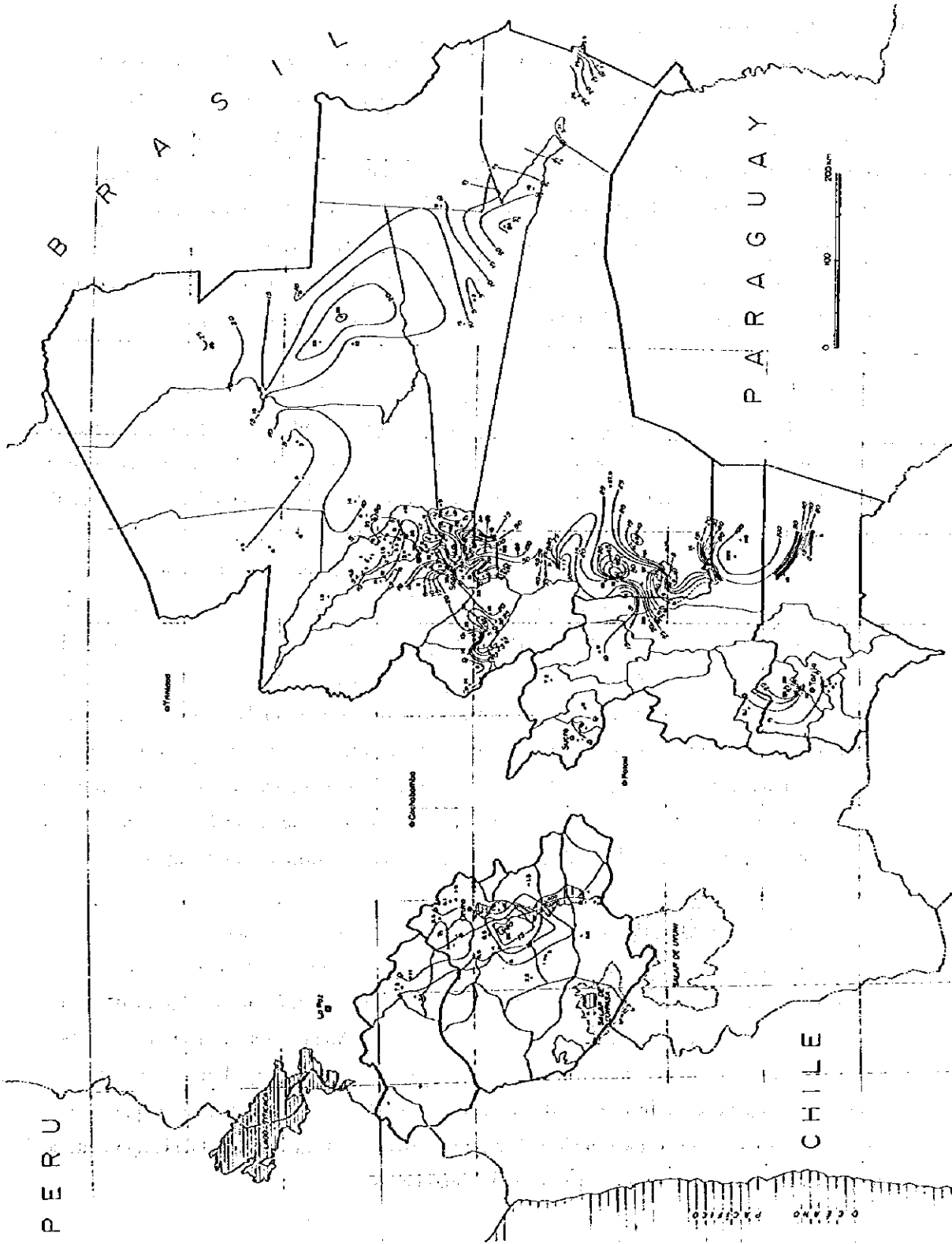


Figura 4-3-4 Distribución de Nivel Estático de Pozos

#### 4.3.2 Evaluación del Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas

##### 1) Características Hidrogeológicas

El mapa hidrogeológico de la Figura 4-3-5 y los mapas seccionales de la Figura 4-3-6 fueron preparados a fin de evaluar la potencialidad de desarrollo de aguas subterráneas en las áreas de estudio del Plan. Estos mapas están basados en mapas geológicos y topográficos y reflejan la distribución de pozos y los resultados de la prospección geofísica, estudios de pozos de prueba, etc. La geología, predicción de profundidad de acuíferos, los niveles de aguas subterráneas, los rendimientos, etc, son resumidos según el Departamento y Provincia en la Tabla 4-3-2.

Con respecto al general desarrollo potencial de aguas subterráneas, las áreas de estudio en el Plan pueden ser consideradas en términos de las siguientes cinco zonas hidrogeológicas.

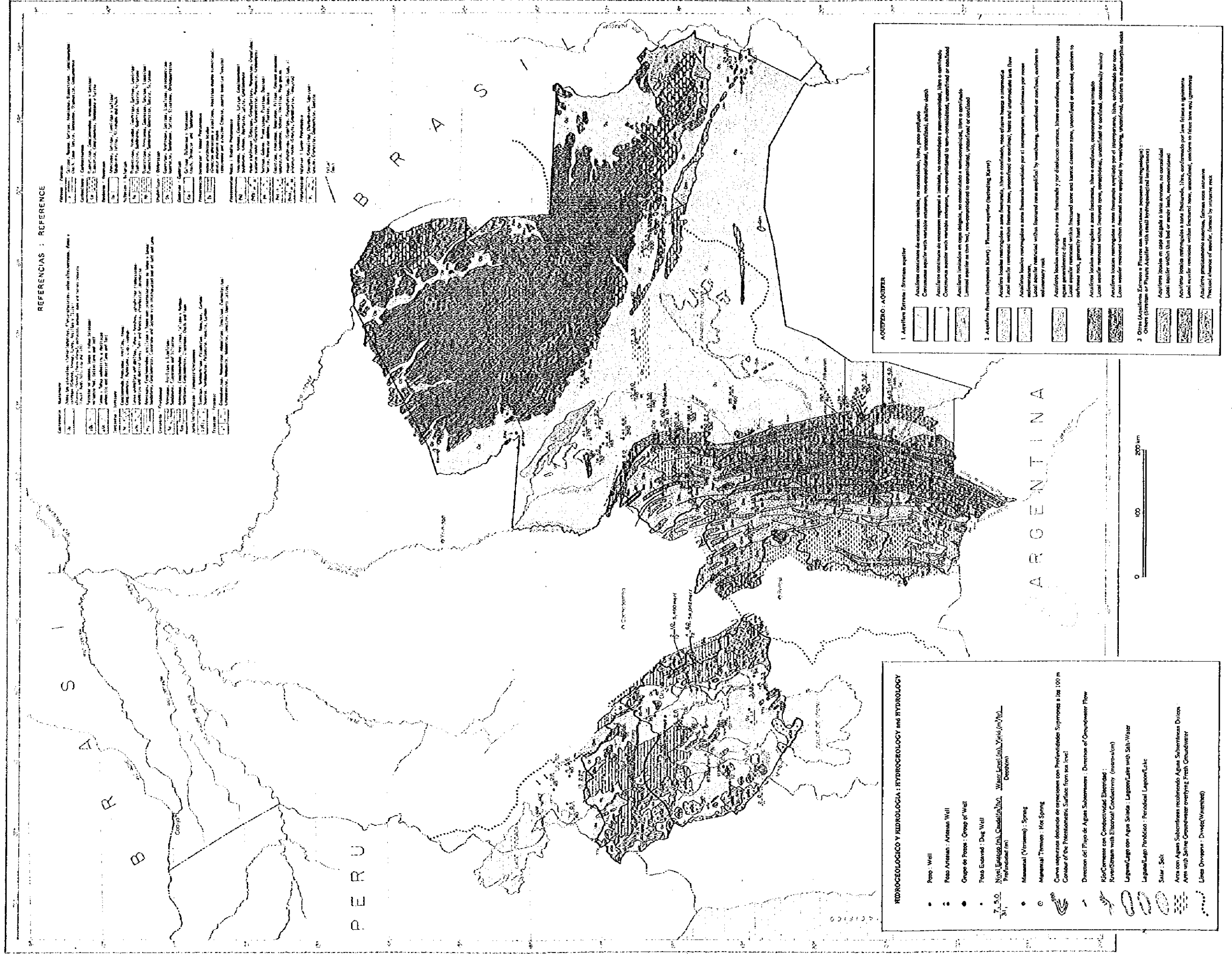
##### (1) La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino (Región sur de La Paz, Oruro)

Cuencas de aguas subterráneas, en los cuales existen acumulados depósitos Cuaternarios, han tenido formación en esta zona y la permeabilidad es relativamente buena. Aunque la precipitación es baja, la cantidad existente de aguas subterráneas es alta en relación a la zona de agua en su totalidad. Las áreas de estudio del Plan las cuales fueron localizadas en el Altiplano son de altitud baja y reciben la influencia de aguas subterráneas desde las partes montañosas y las regiones del norte. Esto esta considerado en general, la profundidad de pozos, la mayor cantidad de aguas subterráneas. Donde así como buena calidad de aguas subterráneas pueden ser obtenidos desde vertientes y de pozos relativamente someros en el pie de las montañas, es difícil obtener las ubicaciones de aguas subterráneas a excepción de localizaciones profundas en la parte central de esta zona. El agua subterránea se encuentra salinizada en parte de esta región y grietas de agua o fisuras de agua en capas profundas deben ser desarrolladas en tales áreas, Pasado el desarrollo de aguas subterráneas ha sido identificadas aguas subterráneas en ubicaciones relativamente someras y se considera que la Potencialidad de desarrollo para aguas subterráneas profundas es alta.

##### (2) Zona de Colina (Chuquisaca, Occidente de Tarija, Occidente de Santa Cruz)

Aunque estratos Paleozoicos forman la capa rocosa en la zona de colina, la erosión ha progresado apreciablemente y muchas partes de pequeños valles han sido formados. La precipitación es entre 500-700 mm en partes de la "Cordillera Andina" zona con altitudes de 2.000 m o más y 600 - 1.000 mm en el pie de la "Cordillera Andina" zona con altitudes por debajo de 2.000 m. Aunque el agua fluvial y vertientes han sido usada frecuentemente desde el pasado y el desarrollo de aguas subterráneas no ha sido efectuado frecuentemente, una cantidad importante de aguas subterráneas corrientes pueden ser anticipadas en las





REFERENCIAS : REFERENCE

Mapas	Referencias
Geología	Geología
Topografía	Topografía
Climatología	Climatología
...	...

**HIDROGEOLOGICO Y HIDROLOGIA: HYDROGEOLOGY and HYDROLOGY**

●	Pozo - Well
○	Pozo Artesiano - Artesian Well
●	Orque de Pozos - Group of Well
●	Pozo Escavado - Dug Well
○	Nivel Estático (m) - Caudal (m <sup>3</sup> /s) - Water Level (m) - Yield (m <sup>3</sup> /s)
○	Mameral (Verema) - Spring
○	Mameral Termpo - Hot Spring
○	Contorno de elevación de napas con Profundidades Superiores a los 100 m - Contour of the Piezometric Surface from sea level
○	Dirección del Flujo de Agua Subterránea - Direction of Groundwater Flow
○	Frente/Stream con Conductividad Eléctrica - (micro/cm)
○	Laguna/Lago con Agua Salada - Lagoon/Lake with Salt Water
○	Laguna/Lago Perdiendo - Periodical Lagoon/Lake
○	Salin - Salt
○	Área con Agua Subterránea recubriendo Agua Subterránea Dulce - Area with Saline Groundwater overlying Fresh Groundwater
○	Línea División - Divide (Waterbed)

**ACUÍFERO AQUEFERO**

□	Acuífero Artesiano - Artesian aquifer
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo poco profundo - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, shallow depth
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo profundo - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, deep
□	Acuífero con flujo de agua visible, consolidado, tipo poco profundo - Artesian aquifer with visible water flow, consolidated, shallow depth
□	Acuífero con flujo de agua visible, consolidado, tipo profundo - Artesian aquifer with visible water flow, consolidated, deep
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo poco profundo, confinado o confinado - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, shallow depth, confined or semi-confined
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo profundo, confinado o confinado - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, deep, confined or semi-confined
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo poco profundo, confinado o confinado, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, shallow depth, confined or semi-confined, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo profundo, confinado o confinado, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, deep, confined or semi-confined, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo poco profundo, confinado o confinado, con flujo de agua, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, shallow depth, confined or semi-confined, with water flow, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo profundo, confinado o confinado, con flujo de agua, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, deep, confined or semi-confined, with water flow, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo poco profundo, confinado o confinado, con flujo de agua, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, shallow depth, confined or semi-confined, with water flow, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo profundo, confinado o confinado, con flujo de agua, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, deep, confined or semi-confined, with water flow, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo poco profundo, confinado o confinado, con flujo de agua, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, shallow depth, confined or semi-confined, with water flow, with water flow
□	Acuífero con flujo de agua visible, no consolidado, tipo profundo, confinado o confinado, con flujo de agua, con flujo de agua - Artesian aquifer with visible water flow, unconsolidated, deep, confined or semi-confined, with water flow, with water flow

Figura 4-3-5 Mapa Hidrogeológico del Área de Estudio





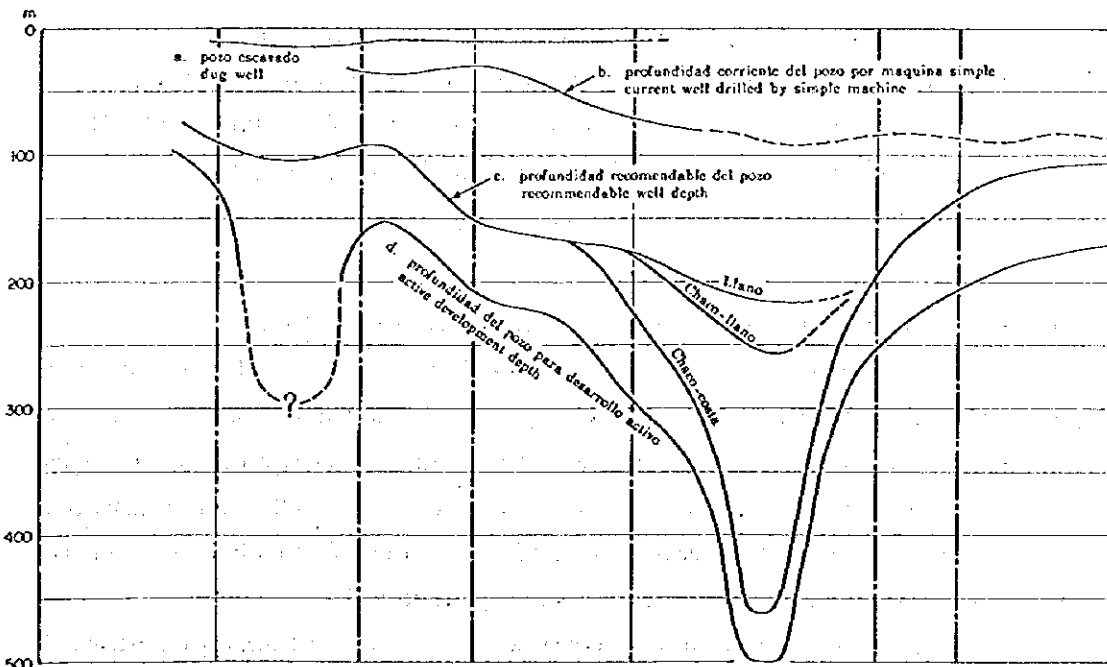
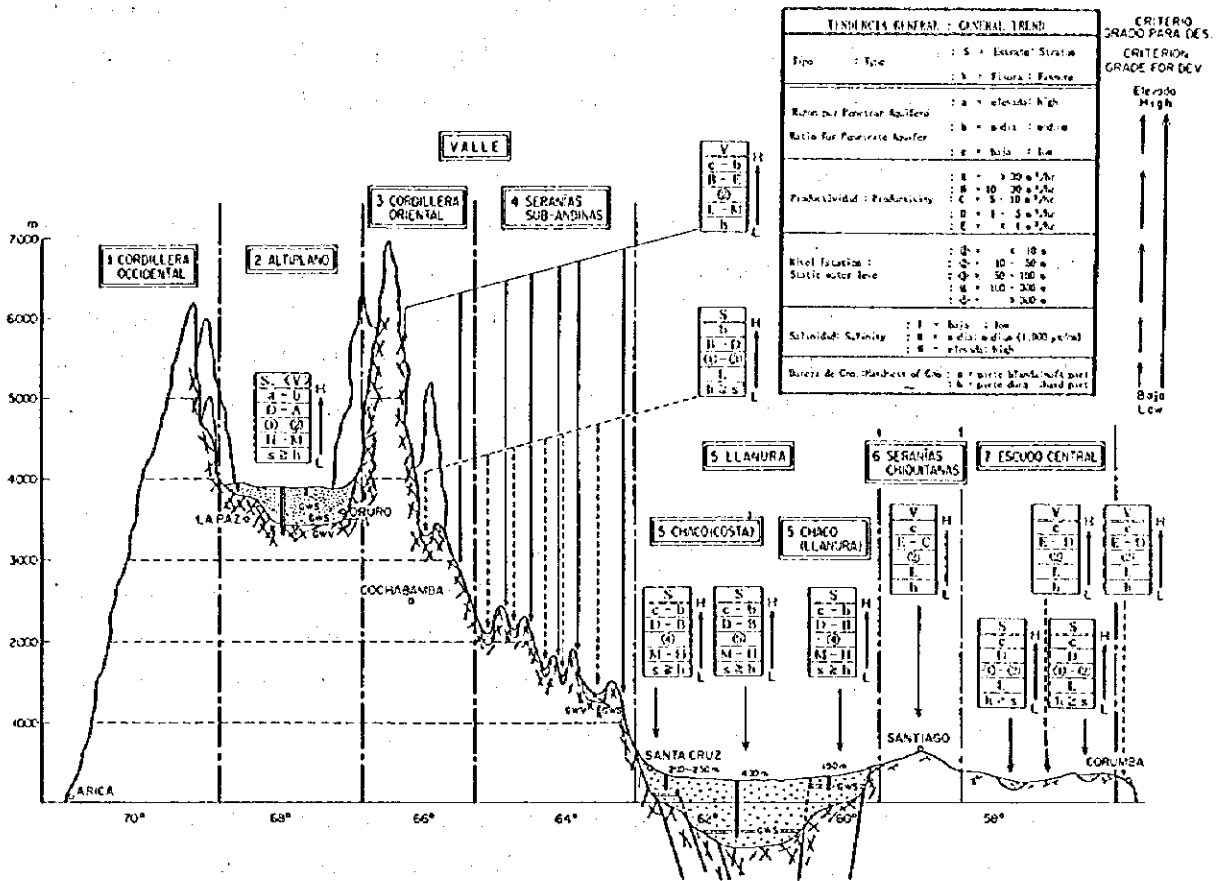


Figura 4-3-6 Perfil Hidrogeológico y Profundidad de Perforación Requerida Estimada para el Desarrollo de las Aguas Subterráneas en el Área de Estudio

partes de valle y la potencialidad para desarrollo de aguas subterráneas es alta. Sin embargo, hay comunidades hacia las cuales el acceso para el transporte es dificultoso y hay regiones donde la perforación de pozos es hecha difícilmente por la geología dura.

### (3) Cuenca del Río Amazonas (Central Santa Cruz)

La zona húmeda en la parte norte tiene una precipitación alta de 1.000-2.000 mm y las aguas subterráneas pueden ser obtenidas desde ubicaciones relativamente someras. La zona seca en la región sur tiene una precipitación baja de 500-1.000 mm y la profundidad de acuíferos es profunda. Además el área para sistema de agua es extensa y la potencialidad de desarrollo de aguas subterráneas es alta, puede haber aguas subterráneas contaminadas debido a inundaciones en la región del norte.

### (4) El Escudo Central (Nordeste de Santa Cruz)

Esta zona tiene una precipitación anual de 1.200-1.600 mm y pertenece a la cuenca del Río Itenez. Aunque la capa rocosa fue formada por estratos del Pre-Cámbrico, la erosión está bien progresada. La corriente de agua subterránea es apreciablemente alta y es considerado que la potencialidad para desarrollo de aguas subterráneas es alta.

### (5) Región del Chaco (Chuquisaca, Oriente de Tarija, región sur de Santa Cruz)

Aunque los estratos consisten en depósitos Cuaternarios y la permeabilidad es buena, porque la precipitación es baja, encontrándose sólo entre 500-700 mm, y porque esta zona está ubicada en la parte mojada de las cuencas del Amazonas y del de La Plata, la cantidad existentes de aguas subterráneas es baja. Sin embargo, realmente el agua superficial es difícil de obtener y las cantidades adecuadas de agua no pueden ser obtenidas con pozos someros, hay una gran necesidad de efectuar el desarrollo de aguas subterráneas profundas. La profundidad del acuífero está sobre los 400 m o más para la cuenca de aguas subterráneas en la parte central de la Provincia Luis Calvo de Chuquisaca. Perforaciones de pozos están siendo efectuadas con la cooperación internacional del gobierno de China en la Provincia Gran Chaco de Tarija.

## 2) Desarrollo de Aguas subterráneas y Estimaciones de Profundidades y Caudales

Las aguas subterráneas del Área de Estudio pueden ser clasificadas en los siguientes cinco tipos de (1) aguas subterráneas no confinadas que pueden ser colectadas usando pozos someros, (2) existencia de aguas subterráneas confinadas como estratos de agua profunda. (3) aguas subterráneas no confinadas en las partes permeables del estrato rocoso, (4) fisuras de agua en el estrato rocoso, y (5) aguas subterráneas no confinadas que existen como infiltración del flujo de ríos o como escurrimiento de aguas subterráneas en la parte del valle.

Entre los puntos mencionados arriba, (1) ha sido usado mas frecuentemente para sistemas de agua convencionales en el Altiplano y las llanuras de Beni y Santa Cruz. Sin embargo, el agua es inaprovechable como agua potable debido a la salinidad, turbiedad, etc. y frecuentemente se seca aguas arriba durante la temporada de sequía. En la región del Chaco, tales aguas subterráneas

pueden ser apenas anticipados en términos de Cantidad como pozo.

Aunque las aguas subterráneas de tipo (2) no han sido desarrolladas frecuentemente en el pasado, presenta la potencialidad más alta de desarrollo en términos de cantidad y calidad.

Aguas subterráneas del tipo (3) han sido usados en El Escudo Central desde el pasado y es alto en la potencialidad de desarrollo. Dependiendo de la región, tales aguas subterráneas puede ser captadas también desde la zona de colina.

Si bien las aguas subterráneas de tipo (4) presentan una potencialidad adecuada para el desarrollo, estas son difíciles para ubicar. Debería sin embargo, ser un objetivo real de desarrollo lo cual puede proveer buena calidad de agua en casos donde el estrato de agua está salinizado y donde se carecen de fuentes de agua, tal como en el Altiplano.

El Agua de tipo (5) son usadas como fuentes de Agua para los existentes instalaciones de provisión de aguas subterráneas de la región y que son captadas por pequeñas represas, tanques y los diques en las partes del valle. Además en las partes de la zona de colina donde no hay las instalaciones de provisión de agua, hay muchos residentes quienes captan agua que permanece en las partes inferiores de los valles y ríos secos. Hay muchas regiones donde la captación de agua puede ser hecho posible por la construcción de un pozo somero o galería de infiltración en ubicaciones con escurrimientos de aguas subterráneas, Sin embargo, las tales fuentes pueden secar superficialmente durante la temporada seca en el caso de regiones de pequeñas áreas de recolección de agua y agua contaminada y prevenciones contra el desastre deben ser tomadas en consideración en regiones de extensas áreas de recolección de agua.

El Plan actual es obtenido para el abastecimiento de agua doméstica a residentes regionales. Aguas subterráneas profundas, que son bajos en las variaciones de cantidad en las temporadas secas y lluviosas y tienen la buena calidad de agua, son utilizadas como las fuentes de agua abastecimiento de agua doméstica en las áreas de estudio del Plan y así son evaluadas debido a su alta potencialidad de desarrollo.

La figura 4-3-7 muestra la distribución de profundidad de acuíferos del aguas subterráneas a ser captada según el Plan, como estimado con base en los resultados de la investigación hidrogeológica, de la base de datos de pozos, etc. Las estimaciones de profundidades de acuíferos, rendimientos de caudal, y los niveles de aguas subterráneas son resumidos para cada Departamento y Provincia en la Tabla 4-3-2.

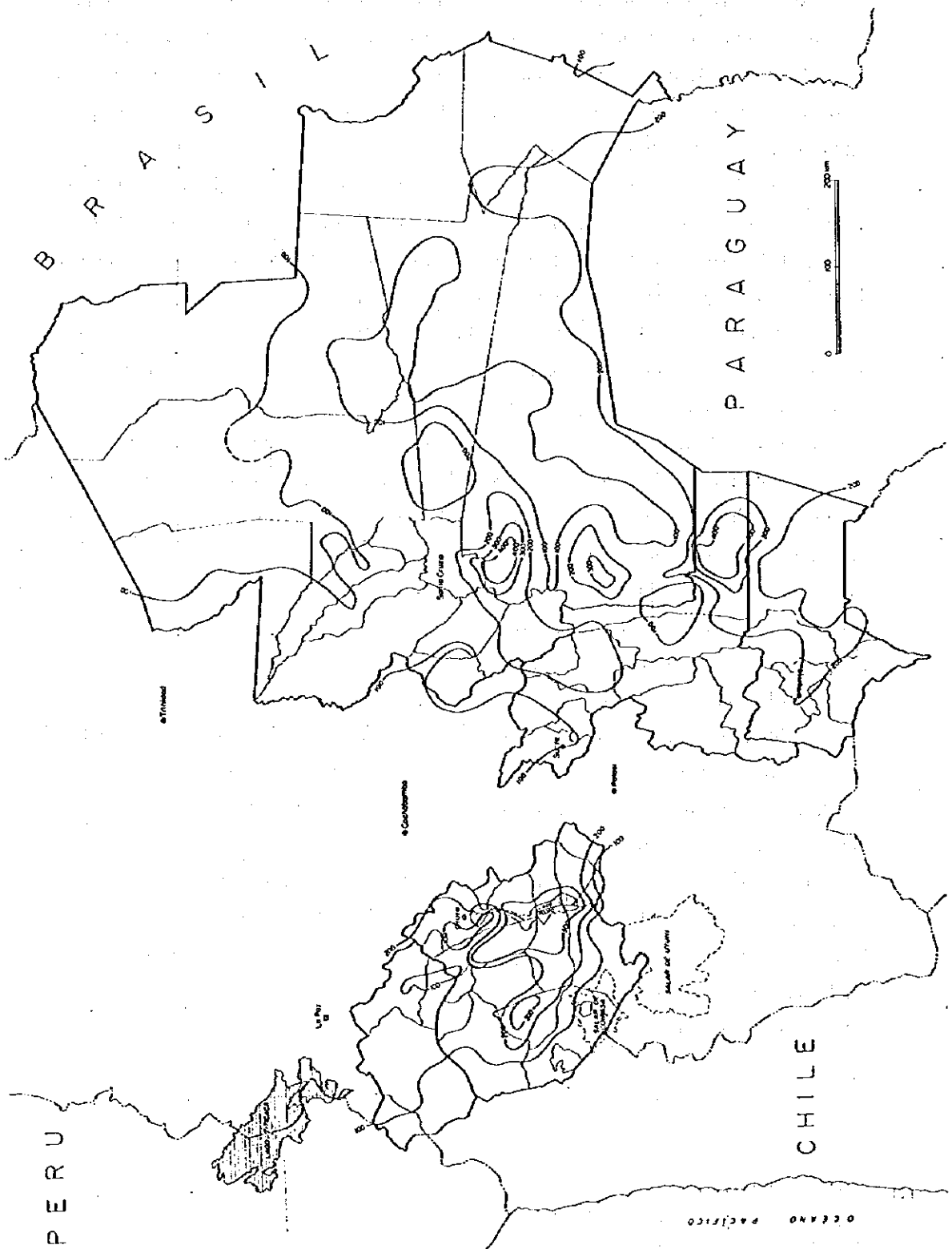


Figura 4-3-7 Profundidades Estimadas de Acuíferos en el Área de Estudio

Tabla 4-3-2 Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas por Departamento y Provincia (1/2)

Departamento	Provincia	Profundidad del Acuífero (m)	Nivel Estático del Agua (m)	Productividad (m <sup>3</sup> / hr)	Nivel Dinámico del Agua (m)	Capacidad Específica (m <sup>3</sup> /día/m)
1. Chuquisaca	01. Oropesa	50~200	5~24	5~10	50	~0.3
	02. Azurduy	100~200	5~100	10~20	50	~0.8
	03. Zudañez	50~200	5~20	5~10	30	~0.3
	04. Tomina	200~300	5~30	5~10	50	~0.3
	05. H. Siles	100~200	15~90	5~20	50	~0.8
	06. Yamparaez	100~200	5~30	3~10	50	~0.3
	07. Nor Cinti	100~200	5~60	15~30	30	~1.0
	08. B. Boeto	200~300	5~30	10~20	50	~0.8
	09. Sud Cinti	100~200	5~30	20~30	30	~1.0
	10. Luis Calvo	100~450	5~270	3~15	92.9	0.08~0.5
2. Sur de La Paz	03. Pacajes	50~200	5~150	3~15	50	~0.5
	13. Aroma	50~200	5~30	3~10	13.8	0.3~1.04
	18. G. Villarroel	50~200	5~20	5~15	30	~0.5
	19. G.J.M. Pando	50~200	5~100	5~10	50	~0.3
4. ORURO	01. Cercado	50~300	5~20	3~55	30	~0.8
	02. Challapata o Avaroa	200~350	5~100	10~20	30	~0.8
	03. Carangas	100~200	5~20	10~25	19.6	0.37~0.8
	04. Sajama	50~200	5~100	5~10	50	~0.3
	05. Litoral	200~350	5~100	10~15	50	~0.5
	06. Poopó	200~350	5~20	15~25	21.8	0.33~0.8
	07. P. Dalence	200~300	5~20	10~20	30	~0.8
	08. L. Cabrera	50~300	5~100	3~10	50	~0.3
	09. Atahuallpa	50~200	5~160	5~10	50	~0.3
	10. Saucari	100~350	5~50	3~20	50	~0.8
	11. Tomas Barrón	100~200	10~30	5~15	30	~0.5
	12. Sud Carangas	200~350	5~30	3~10	50	~0.3
	13. San Pedro de Totora	100~200	5~40	3~10	30	~0.3
	14. S. Pagador	100~300	5~20	10~15	30	~0.5
	15. Mejillones	50~100	5~100	3~10	50	~0.3
	16. Nor Carangas	100~200	5~20	15~20	30	~0.8

Tabla 4-3-2 Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas por Departamento y Provincia (2/2)

Departamento	Provincia	Profundidad del Acuífero (m)	Nivel Estático del Agua (m)	Productividad (m <sup>3</sup> / hr)	Nivel Dinámico del Agua (m)	Capacidad Específica (m <sup>3</sup> /día/m)
6. Tarija	01. Cercado	100~300	5~20	15~30	20	~1.0
	02. Arce	100~200	5~150	3~30	20	~1.0
	03. Gran Chaco	100~400	3~100	5~30	90	~1.0
	04. Aviles	100~200	5~20	5~25	30	~0.8
	05. Mendez	100~200	5~60	15~20	30	~0.8
	06. Burnet O'connor	100~300	5~150	15~30	50	~1.0
7. Santa Cruz	01. Andrés Ibañez	100~300	5~120	10~40	35.5	1.02~1.2
	02. Warnes	100~200	5~30	15~40	30	~1.2
	03. Velasco	50~100	10~50	3~20	50	~0.8
	04. Ichilo	100~200	5~50	10~25	30	~0.8
	05. Chiquitos	50~300	5~50	3~45	90	0.03~1.5
	06. Sarah	100~200	5~30	3~20	50	~0.8
	07. Cordillera	50~350	5~150	3~40	90	~1.2
	08. Valle Grande	100~300	5~70	15~30	50	~1.0
	09. Florida	100~300	5~70	10~40	50	~1.2
	10. O.Santiesteban	50~200	5~30	5~30	50	~1.0
	11. Ñuflo de Chaves	50~200	5~30	5~30	90	~1.0
	12. Ángel Sandoval	100~200	5~40	3~45	50	~1.5
	13. Manuel Caballero	100~200	5~60	15~30	50	~1.0
	14. German Busch	100~200	5~60	3~25	30	~0.8
	15. Guarayos	50~200	5~20	3~25	50	~0.8

#### 4.3.3 Condiciones para Desarrollo de Aguas subterráneas

Las condiciones técnicas y temas para promover el desarrollo de aguas subterráneas para Bolivia en el futuro, pueden ser resumidos como se indica a continuación:

##### 1) Adquisición de Equipos de Perforación

Debido a la cantidad baja de equipos de propiedad de agencias públicas, la perforación de pozos en Bolivia puede ser efectuado mediante la excavación de pozos manuales y comisionando el

trabajo que requiere de equipo de perforación a empresas privadas. Sin embargo, debido a que los pozos perforados por empresas privadas tienen un costo elevado y también debido a la obsolescencia y pobre desempeño del equipamiento de propiedad pública, el desarrollo de aguas subterráneas ha sido demorado.

Equipos de perforación capaces de realizar perforaciones profundas y con desempeño óptimo son necesarios a fin de promover el desarrollo de aguas subterráneas en el futuro. El equipo de perforación debe ser capaz para acomodarse para los diversos aspectos geológicos de las áreas de estudio y debe ser óptimo en términos de movilidad.

El desarrollo de aguas subterráneas en el área rural, se requiere la implementación programada bajo la responsabilidad de entidades públicas.

## 2) Mejoramiento de las Técnicas de Perforación de Pozos

Aunque la perforación de pozos ha sido principalmente efectuada por el sector privado, muchos de ellos son dependiente únicamente de la experiencia y hay muchas empresas que carecen de la pericia fundamental de técnicas de perforar y son bajas en la capacidad de administración. La Educación de ingenieros es también inadecuada y la actualización en nuevas tecnologías de perforación está demorada.

Se carece en la experiencia de perforación de pozos profundos en particular y en guía y capacitación de ingenieros sobre los métodos de operación de equipo de perforación, los métodos para formular planes de trabajos de perforación de pozos, conocimientos de reparación de equipos, las destrezas en el trabajo de administración, prospección, pruebas de bombeo, y métodos de prueba de calidad de agua, etc. son necesitados, a fin de adquirir estos conocimientos de perforación, es deseable efectuar el trabajo de cooperación con ingenieros de naciones avanzadas.

## 3) Transferencia de Técnicas de Prospección de Aguas Subterráneas

Los datos sobre estructuras hidrogeológicas y escurrimientos de aguas subterráneas en Bolivia no han sido acumuladas adecuadamente. A fin de mejorar las condiciones de éxito de la perforación de pozos, estudios preparatorios por investigación hidrogeológica, prospección geofísica, etc. deben ser efectuados en forma detallada y es importante para transmitir las técnicas de exploración de aguas subterráneas, siendo importante la formación de técnicos hidrogeólogos y técnicos en prospecciones subterráneas.

## 4) Transferencia de Medidas de Conservación de Aguas subterráneas

Las Aguas subterráneas son un recurso valioso y a fin de mantener la sustentabilidad de utilización de estas aguas subterráneas, los residentes deben ser alentados y educados para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y el derroche en el bombeo, y medidas tales que, como el equipamiento de sistemas para controlar los caudales, nivel de agua, y calidad de agua y la regulación de un inadecuado desarrollo de aguas subterráneas, debe ser tomada en cuenta

## 4.4 Calidad del Agua

### 4.4.1 Estándares de Calidad del Agua

#### 1) Estándares de Calidad del Agua Potable

Los estándares de calidad del agua efectiva en la actualidad fue publicado por el Ministerio de Urbanismo y Vivienda (MUV) en 1976.

Los estándares son mostrados en las Tablas 4-4-1 y 4-4-2. Mientras algunos estudios fueron conducidos para emendar los estándares, nuevos esfuerzos no fueron alentados por ahora. En la actualidad DINASBA realiza esfuerzos para establecer estándares de calidad de agua potable para áreas rurales como también el diseño de lineamientos para sistemas de calidad de agua.

#### 2) Estándares de Calidad del Agua para Receptores de Cuerpos de Agua.

Los otros estándares de la calidad del agua son los cuerpos de agua ambientales y los afluentes de agua residual. La regulación fue preparada en 1983 o 1984, pero no ha sido implementada hasta recientemente porque el Ministerio de Asuntos Urbanos (MAU) no tenía autoridad para establecer y empujar tal reglamento.

El reglamento sobre Descarga de Desechos Industriales dentro de los Cuerpos de Agua recién se hizo efectivo en 1990. El reglamento da tales valores específicos de calidad del agua como los límites máximos para los cuerpos de agua ambientales y de los efluentes industriales. La Tabla 4-4-3 muestra los primeros y la Tabla 4-4-4 los últimos.

En la Tabla 4-4-3, los cuerpos de agua ambientales están divididos en cuatro (4) clases de acuerdo al uso del agua como sigue:

- Clase Especial: El agua designada a la dotación de agua pública sin tratamiento o con simple desinfección.
- Clase A: El agua designada para agua pública después de la sedimentación, filtración y desinfección, para la preservación de flora y fauna, y de agua potable para animales.
- Clase B: Agua designada para la dotación pública después de tratamiento convencional, ej. coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, para la preservación de la flora y la fauna y como agua bebible para los animales.
- Clase C: El agua designada para la dotación de agua pública después de tratamiento especial, para riego, para navegación y para la generación eléctrica.
- Clase D: Aguas diseñadas para transportar y remover desechos.

Los valores máximos permisibles de calidad de agua de los efluentes de aguas residuales o mostrados en la Tabla 4-4-4 son aplicables no solo a las aguas residuales industriales pero



también a cualquier agua residual cuando esta causa polución.

El reglamento también estipula los detalles de las condiciones de descarga de agua residual, procedimientos para registrar las descargas, informes de la calidad del efluente, cualificación de los análisis de aguas residuales, penalidades y otros.

**Tabla 4-4-1 Estándares de Calidad de Agua Potable**

Para metros	Unidad	Estándares de Bolivia <sup>1)</sup>		Estándares para Agua Rural		Estándares Japoneses
		Valor máximo recomendad o	Valor máximo Aceptable	Valor Máximo Recomendable	Valor Máximo Aceptable	
Turbiedad	unidades	5	25	5.00	25.00	<2
Color	unidades	5	50	5.00	20.00	<5
Olor	-	0	No	nil	nil	NA
Sabor	-	0	No	nil	nil	NA
Temperatura	IC	-	<6.5			
pH	-	6.5-9.5	<9.2	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2	5.8 - 8.6
Indice de Saturación	-	10.5-1.0	+1 -2		-0.5-+0.5	
Solidos Totales (TS)	mg/l			500.00	1,500	
Solidos Totales Disueltos (STD)	mg/l	500	1,500			<500
Conductividad (EC)	lis/cm			500.00		<0.05
Alcalinidad	mg/l CaCO <sub>3</sub>	De acuerdo con p11				
" (011)	mg/l CaCO <sub>3</sub>			0.00	0.00	
" (CO <sub>3</sub> ) <sup>2)</sup>	mg/l CaCO <sub>3</sub>			0.00	120.00	
" (HCO <sub>3</sub> )	mg/l CaCO <sub>3</sub>			0.00	250.00	
Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	250	500	100.00	500.00	
Solidos Suspendidos Sedimentarios		0.0	0.2			
ABS			0.5			<0.5
As	mg/l	0.01	0.05	0.00	0.05	<0.05
Ba	mg/l		1.00	0.00	1.00	
Cd	mg/l		0.01	0.01	0.01	<0.01
Ca	mg/l	75	200	75.0	200.0	
CN	mg/l		0.05	0.00	0.05	ND
Cloroformo	mg/l		0.2			
Cloro Libre (Cl)	mg/l			0.00	1.00	
Cloro	mg/l	200	600	200.00	500.00	
Cu	mg/l	0.05	1.50	0.05	1.50	<1.0
Cr+6	mg/l	0.01	0.05	0.00	0.05	<0.05
F	mg/l	0.6	1.70	1.00	1.50	<0.8
Fe	mg/l	0.1	1.0	0.30	1.00	<0.3
Mg	mg/l	30	250	30.00	150.00	
Mn	mg/l	0.05	0.5	0.05	0.50	<0.3
Hg	mg/l		0.01	0.00	0.00	ND
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/l		45	0.00	45.00	<10
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	mg/l			0.00	0.05	<10
Fenol	mg/l	0.001	0.002		0.05	
Pb	mg/l		0.10	0.00	0.10	<0.1
Se	mg/l		0.01	0.00	0.01	
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	mg/l		400		400.00	
Zn	mg/l	200	15.00	5.00	15.00	<1.0
Cloroformo	IMNP/100ml	5.00		0.00	10	ND

Fuentes: 1) Normas de Diseño para Sistemas de Agua Potable, MUI'<1976

2) Normas de Diseño para Sistemas de Agua Potable en Poblaciones menores a 5000 habitantes, DINASBA, Diciembre 1994

Nota: NA=No Abnormal

ND=No Detectable

**Tabla 4-4-2 Estandares de Calidad de Agua en las Fuentes de Agua**

Categoría	Buenas fuentes de Agua Solo Desinfección	Fuentes de Agua Regulares Tratamiento Usual como filtración y desinfección	Fuentes de Agua Pobres Tratamiento Especifico y desinfección
<b>DBO (5 días)</b>			
Promedio Mensual (mg/l)	0.75-1.5	1.5-2.5	> 2.5
Máximo Diario	1.0-3.0	3.0-4.0	>4.0
<b>Coliforme (nmp/100ml)</b>			
Promedio Mensual	5.1-100	50-100	>5,000
Máximo Diario	> 100 en menos 5% muestras de	>5,000 en menos 20 % muestra	>20,000 en menos 20 % muestras
<b>DO (mg/l)</b>	4.0 (min)	4.0 (min)	> 4.0 (min)
<b>Indice de Saturación</b>	>75%	>60 %	---
<b>pH</b>	6.0 - 8.5	5.0-9.0	3.8 - 10.5
<b>Cloro (máx) (mg/l)</b>	<50	50-250	>250
<b>Componente Fenol (máx) (mg/l)</b>	nil	0.005	>0.005
<b>Color (unidad)</b>	0-20	20-150	>150
<b>Turbiedad (unidad)</b>	0-10	10-250	>250
<b>Cloro (mg/l)</b>	<1.5	1.5-3.0	>3.0

Fuente : Normas de Diseño para Sistemas de Agua Potable; MUV, 1976

Nota: 1) Todas las aguas superficiales necesitan tratamiento, por lo menos desinfección.

2) El valor limite en esta tabla indica las relaciones y el planificador debe usar este solo como lineamientos guía para cada caso.

Tabla 4-4-3 Estándars de Calidad del Agua Cuerpos de Agua Ambientales

PARAMETROS	CLASE ESPECIAL	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
<b>Parámetros Físicos-Biológicos</b>					
DBO (mg/l)	<2	<5	<10	<50	<300
DO	80% sat.	70 % sat.	60 % sat.	50 % sat.	2mg/l
Solidos Flotantes	Ausente	Ausente	Ausente.	Ninguno que pueda ser retenido sobre un colador de 2mm.	Ninguno que pueda ser retenido sobre un colador de 2 mm.
Solidos Suspendidos (mg/l)					
Grasas y Aceites (mg/l)	500	1,000	1,500	2,000	5,000
Coliforme Bacteria (MPN/100ml)	Ausentes	0.8	1	10	20
	<500	<5,000	<10,000	<20,000	
	<50 en 80 % de las muestras	<1,000 en 80 % de las muestras	<2,000 en 80 % de las muestras	<5,000 en 80 % de las muestras	100,000
PH					
Color (Unidad de Color)	6.5 - 9.0	6.0 - 9.5	5.5 - 9.5	5.0 - 10.0	4.5 - 10.0
	<20	<50	<100	<200	<1,000
<b>Parámetros Químicos (mg/l)</b>					
As	0.05	0.05	0.05	0.1	1
Ba	1	1	2	5	10
B	0.1	0.1	0.5	2	5
Cd	0.01	0.05	0.2	0.5	1
Cu	1	1.5	2		5
Cr <sup>+6</sup>	0.05	0.05	0.1	1	5
Hg	0.001	0.005	0.001	0.02	0.05
Pb	0.05	0.1	0.1	0.2	2
Se	0.01	0.01	0.05	0.1	0.5
Cianuro	0.05	0.05	0.1	0.2	1
Fenoles	0.001	0.002	0.005	0.01	0.1
Detergentes(ABS y LAS)	0.15	0.5	1	2	5
Nitrógeno Total NO <sub>3</sub>	45	50	60	80	100
Zn	5	10	15	20	50
Mn	0.5	1	2	5	10
Fe	0.5	1	2	5	10
Mg	100	200	300	400	500
Ca	200	300	400	500	700
F	0.6 - 1.7	0.6 - 1.7	2	3	5
Cloruros	500	500	700	1,000	5,000
Sulfatos	400	400	600	1,000	8,000
<b>Hermicidas (mg/l)</b>					
Aldrin	0.017	0.017			
Clordane	0.003	0.003			
D.D.T.	0.042	0.042			
Dieldin	0.017	0.017			
Endrin	0.001	0.001			
Heptacloruro	0.018	0.018			
Epoxiheptacloruro	0.018	0.018			
Lindane	0.056	0.056			
Metoxicloruro	0.035	0.035			
Fosfato Orgánico con Carbonatos	0.1	0.1			
Foxatene	0.005	0.005			
Hermicidas Totales	0.1	0.1			

Fuente: Reglamento sobre Lanzamiento de Desechos Industriales en Cuerpos de Agua, MUI, Febrero 1990

Nota: ABS=Sulfato benzeno Alkil  
LAS, Sulfato Alkilato Lineal  
NMP=Número más probable.

**Tabla 4-4-4 Valores Máximos Permisibles para Descarga de Agua residual Industrial a los Cuerpos de agua.**

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR MAXIMO
Temperatura	C	40
PH	-	4.5 - 10.0
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	mg/l	8000
Solidos Sedimentables	mg/l	1
BDO	mg/l	300
COD	mg/l	500
Solidos Flotantes	mg/l	Ninguno que puede ser retenido sobre un colador de 3mm
Grasa y aceites	mg/l	20
Coliforme Bacteria	MPN/100ml	100000
Color	unidad de color	1000
As	mg/l	1
Ba	mg/l	10
B	mg/l	5
Cd	mg/l	1
Cu	mg/l	5
Cr	mg/l	5
Hg	mg/l	0.05
Pb	mg/l	2
Se	mg/l	0.5
Cianuro	mg/l	1
Fenoles	mg/l	0.1
Detergentes (ABS y LAS)	mg/l	5
Nitrógeno Total No 3	mg/l	100
Zn	mg/l	50
Fe	mg/l	10
Mg	mg/l	500
Mn	mg/l	10
Ca	mg/l	700
Cloruros	mg/l	5000

Fuente: Reglamento sobre Lanzamiento de Desechos Industriales en Cuerpos de Agua. MUV, Febrero 1990.

Nota: ABS=Benceno Sulfato

LAS-Sulfonato Alkilato lineal

MPN=Número Más Probable

#### 4.4.2 Calidad del Agua en el Area de Estudio

##### 1) Condiciones de Calidad del Agua

Como el Area de Estudio esta ampliamente incluida en la parte árida del Altiplano a tierras bajas, agua doméstica es recogida de una variedad de fuentes de agua, ríos, vertientes, charcos, remansos, aguas subterráneas y agua meteórica, ordinariamente sin ningún tratamiento. Esta calidad del agua natural esta afectada por condiciones geológicas y el manejo poluyente de cada area.

##### (1) Poluentes Naturales

Porque no se encuentra bosques en Oruro, La Paz, en la parte Oeste de Chuquisaca, y Tarija es denominado como Sub Andino, la mayoría del agua superficial y pozos subterráneos superficiales tienen alta turbiedad facilmente.

El altiplano es un área cerrada cubierta con muchos minerales tales como un oxido metal pesado, sulfato y cloruro. El agua, por esto, incluye alto contenido de minerales y sales, en muchos casos.

##### (2) Efluente Doméstico y de Ganadería

La mayoría de los efluentes domésticos son descargados sin tratamiento en todo sobre el país y fluyen dentro de los ríos, lagunas y pozos profundos, resultando en la polución de agua. Los habitantes toman el agua despues de hervirla para prevenir enfermedades causadas por el agua. El ganado también es causa de polución en el área rural.

##### (3) Efluentes de la minería

En Oruro y en la parte Sur de La Paz existen muchas minas donde el agua residual parece contaminar la calidad del agua aledaña a gran escala, son depósitos de explotación de estaño, tungsteno, plata y otros metales ubicados en las Provincias Dalence y Poopo en la parte Este de Oruro.

##### (4) Salinidad

El Area de Estudio contiene amplias areas aridas y semi aridas teniendo bajas tasas de participación como el Altiplano y el Chaco. Mientras que los residentes recogen sus agua mayormente de pequeñas fuentes de agua tales como vertientes, manantiales, terraplenes de sedimentación y pozos someros, el agua de pozos frecuentemente es muy salada para ser usada. Basados en la encuesta para la base de Datos de Dotación de Agua un número considerable de bloques de dotación de agua tiene problemas de alto contenido de cloruro en el agua potable 53 % de los bloques de Oruro y 14 % de los bloques en Tarija. Debido a las pendientes de la planicie altiplanica se forman suavemente de Norte a Sur, la densidad se vuelve mayor al Sur.

## 2) Calidad del Agua Potable

El Equipo de Estudio ha llevado adelante mediciones del nivel del agua en los pozos existentes y pruebas para determinar la calidad del agua potable incluyendo el agua de grifo, de pozos, y la almacenada en tanques o baldes y el agua en su fuente. La encuesta ha conducido a la identificación de la profundidad de las aguas subterráneas y a determinar la calidad del agua la cual es usada actualmente por los residentes del área rural, y para promover la transferencia de tecnología a los contrapartes en el levantamiento de campo.

Para estas pruebas se ha utilizado el siguiente equipo:

- a. Medidor de Conductividad - STD Portatil, HACK 44600
- b. Medidor de PH Portatil, HACK 43800-00
- c. Goteador Digital, HACK 16900-01
- d. Analizador de la Calidad del Agua, HACK DR-2000
- e. Juego de Inspección de Agua Potable, KYORITU WAS-D2

De la Tablas 4-4-5 a la Tabla 4-4-9 muestran los resultados de las pruebas de calidad del agua y los puntos de muestra se reflejan desde la Figura 4-4-1 a la Figura 4-4-2.

Basados en los resultados, la condición actual de la calidad del agua potable se resume de la siguiente forma.

### (1) Chuquisaca

De acuerdo con el Censo de Bolivia de 1992, las condiciones de los servicios de dotación de agua por tubería es ley, contabilizando para 22 % de la población en el Departamento excepto para la ciudad capital. Aunque la Provincia árida Luis Calvo en el Chaco reclama agua potable recogida de pozos poluidos, pozos sucios o agua de lluvias, el agua de las montañas o vertientes mayormente es acarreada para uso doméstico en la Zona Sub Andina- Excluyendo unas pocas ciudades con un proceso de tratamiento, la contaminación orgánica es común por el bajo nivel de sanidad. Varias muestras de agua muestran poca conductividad elevada alcanzando 600-1,300 micro -s/cm.

### (2) Sur de La Paz

La saturación del agua potable se mantiene en 28 % en el área rural de La Paz. La fuente de agua más popular es el pozo somero, siguiendo el uso de vertiente. Muchas muestras muestran conductividad elevada sobre 500 micro - s/cm y el valor máximo es 3,300 micro - s/cm.

Signos de influencia con recursos minerales se encuentra en Umala, mostrando alta concentración de cobre. Excepto para Berenguela, Santiago de Collano y Patacamaya, el agua potable es poluida biológicamente por coliforme u otra bacteria.

### (3) Oruro

La saturación de la dotación de agua es de 37 % y la mayoría de las comunidades confían en el agua superficial acarreada por fuerza humana y pozos someros para asegurar el agua potable. La calidad del agua es afectada por la polución orgánica y alto contenido de sólidos disueltos. El agua subterránea de Toledo contiene mucha sal y alcanza una conductividad de 11,300 micro-s/cm. Alta concentración de cobre puede reflejar signos de polución minera.

### (4) Tarija

La saturación del agua potable es comparativamente alta contabilizando 48 % excepto para la ciudad capital. El agua potable se toma de varias fuentes, pero la más popular es de manantial y de vertientes. Sin embargo, el uso de agua subterránea y de charco abundan en la Provincia Gran Chaco donde el agua superficial es escasa. La calidad del agua es comparativamente buena, excepto por la polución biológica y el alto contenido de sales en la zona del Chaco.

### (5) Santa Cruz

Santa Cruz tiene la cobertura más alta de servicio de dotación de agua entre los cinco Departamentos, contabilizando 55 %. Aunque varias clases de fuentes de aguas seleccionadas dependen de las condiciones naturales, los pozos se usan por cerca al 70 % de las comunidades. Aunque la mayoría del agua de grifo está también poluida biológicamente y contiene alta turbiedad, la calidad del agua no se la considera como un problema serio porque la seguridad y provisión del monto de agua es más importante para la región. Sin embargo, algunos resultados de las pruebas de calidad de agua muestran los signos de alta polución por metales y la necesidad de controlar la calidad del agua.

## 3) Calidad del Agua Subterránea

Considerando que pocos análisis han conducido a identificar la calidad del agua subterránea en áreas rurales, las condiciones generales pueden describirse como sigue:

### (1) Altiplano

La calidad del Agua en el Altiplano se caracteriza por contener muchos sólidos disueltos y mostrando alto valor de dureza.

En el área Sur, los pozos someros son muy salados para tomar como en Toledo. Con el fin de explotar agua subterránea confiable y segura, se debe poner especial atención a la concentración de sales. Una opción es la caverna de agua entre la base de roca subterránea.

### (2) Chaco

La calidad del agua de los pozos existentes generalmente está poluida por actividades



humanas y del ganado alrededor de los pozos y contienen relativamente alta densidad de sólidos disueltos, la conductividad muestra alrededor de 700 micro-s/cm sobre el promedio existente de 100 a 1,300

(3) Otras áreas

Aunque muchos pozos existentes están también poluidos por sólidos orgánicos o partículas de tierra, la concentración de sólidos disueltos no se espera que sea alta.

#### 4.4.3 Condiciones Actuales de la Calidad de Agua Doméstica

##### 1) Exámenes de la Calidad de Agua

Con el fin de comprender la calidad del agua en las fuentes de agua para uso doméstico, por los residentes de los pueblos en las áreas meta para la perforación de pozos, los análisis de calidad de agua fueron conducidos sobre muestras recogidas de los pozos, vertientes, ríos, aguas almacenadas, etc. en la vecindad de tales comunidades.

Tabla 4-4-5 Clasificación del Análisis de la Calidad del Agua de acuerdo a la Fuente.

Fuente de Agua	Profundidad	Pozo Somero	Agua de Manantial (Ojo de Agua)	Agua de Río	Agua almacenada	Total
Comunidad Meta						
Departamento Santa Cruz San Carlos	2 (1)	-	1	1	-	4 (1)
Departamento de Chuquisaca Campo León Simbolar	- (1)	1	-	-	2	3 (1)
Departamento de Tarija La Choza Bermejo	3 (1)	3	-	1	-	7 (1)
Departamento de Oruro Corque Peñas	1	2 (1)	1	1	-	5 (1)
Departamento de La Paz Patacamaya	-	5 (1)	1 (1)	-	-	6 (2)
Total	6 (3)	11 (2)	3 (1)	3	2	25 (6)

Nota: ( ) Indica el número de grifos de agua.

## 2) Características de la Calidad del Agua de las Áreas Meta.

Las características de la calidad del agua de las fuentes de agua utilizadas deben ser descritas para cada área meta para la perforación de pozos.

### (1) San Carlos (Departamento de Santa Cruz)

#### [ Color- Turbiedad ]

Aunque el agua de grifo explotada de los pozos profundos y el agua de vertiente fueron sin color y claro, algunas de las aguas de río y agua de pozo fueron café o nubladas.

#### [ pH ]

Agua básicamente neutra o débil con pH de 7.5 - 8.5 fue detectada en la mayoría de los casos.

#### [ COD ]

Aunque el COD fue de 3-5 mg/l para las fuentes de agua usadas para agua potable alguna de las aguas de río tenía COD excediendo 20 mg/l.

#### [ Nitrogeno como Nitrato ]

Los valores de 0.2-0.4 mg/l fueron detectados generalmente excepto con algunos del agua de pozo.

#### [ Dureza Total ]

Altos niveles de dureza de 300-500 mg/l fue detectado en general y irrespectivamente de los tipos de fuentes de agua.

#### [ Cloruro (Cl-) ]

Relativamente baja concentración de 5-75 mg/l fueron detectados irrespectivamente del tipo de fuente de agua.

#### [ Cianuro Libre (CN), Cromo Hexavalente (Cr+6) ]

Estos no fueron detectados en ninguna de las fuentes de agua.

#### [ Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (zn) ]

Las concentraciones de hierro fueron de 0.1 - 0.4 mg/l, Cobre no fue detectado o detectado solo en concentraciones pequeñas. Zinc no fue detectado o detectado solo en concentraciones pequeñas en la mayoría de los casos excepto para algunos de los pozos profundos los cuales mostraron una concentración de 1.5 mg/l.

#### [ Bacteria general, Bacteria Coliforme ]

Los resultados del análisis muestran la existencia de montos significativos de bacteria general y coliforme en todas las fuentes de agua excepto en el agua de manantiales y agua de grifo sacada de los pozos profundos.

Por otro lado, estas bacterias ya sea que no fueron detectadas o solo detectadas en montos pequeños del agua de grifo y de manantiales.

De los resultados del análisis de arriba, se puede decir que todas las fuentes de agua, excepto las aguas de manantiales y de grifos sacadas de los pozos profundos, están altamente contaminadas con bacteria coliforme y general y no son aptas para uso doméstico. La razón principal para la calidad del agua de manantial sea relativamente buena es que el ambiente alrededor de la fuente de agua está conservado por bosques naturales y huertos, por otro lado, se ha contemplado que la contaminación detectada para alguno de los pozos profundos se debe a la falta de instalaciones para aguas residuales domésticas y para ganado en las comunidades cercanas a los pozos.

### **(2) Campo León, Simbolar (Departamento de Chuquisaca)**

En muchos casos, los ríos, los manantiales, y otras fuentes de agua de las comunidades se secan durante la época seca. El agua que se usa consiste de agua de lluvia almacenada de los techos y agua llevada por carros cisterna de los pozos distantes y almacenada en contenedores.

En general, el agua almacenada está altamente contaminada con bacteria coliforme y general, debido a un inadecuado método de almacenamiento y control sanitario de los contenedores. Aún se vio el crecimiento de fitoplankton en algunos casos. Por eso se puede decir que la calidad del agua almacenada no es apta para el uso doméstico.

### **(3) La Choza, Bermejo (Departamento de Tarija)**

#### **[Color -Turbiedad]**

En la Choza, el agua del río era café y el agua de pozo era un poco opaca. En Bermejo, se vio agua color café aún en el agua de pozos.

#### **[pH]**

En general, los valores naturales de pH de 7.5 - 7.9 fueron detectados con excepción de algunos de los pozos de agua.

#### **[COD]**

Aunque, la contaminación por hechos orgánicos, monto de COD de 17 mg/l o más, fueron vistos en algunos de los pozos someros en Bermejo, el COD estaba en un rango de 4-8 mg/l en la mayoría de los casos.

#### **[Dureza Total]**

Aunque se detectaron elevados niveles de dureza de 300 - 500 mg/l en los pozos someros, también se detectaron niveles bajos de dureza de 95-130 mg/l para los pozos profundos de agua.

#### **[Ion Cloruro (Cl-)]**

Excepto de algunos pozos de agua someros los cuales exhibían concentraciones de 120-310 mg/l, relativamente concentraciones bajas de 20-50 mg/l fueron detectadas en la mayoría de los casos.

#### **[Cianuro Libre (CN), Cromo Hexavalente (Cr +6)]**

No se detectó en ninguna de las fuentes de agua.

### **[Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn)]**

Aunque se encontraron pequeñas cantidades de zinc en los pozos profundos, acero, cobre, y zinc generalmente no fueron detectados o detectados solo en concentraciones extremadamente pequeñas.

### **[Bacteria General y Coliforme]**

Los resultados de los análisis muestran la existencia de montos significativos de bacterias general y coliforme en todas las fuentes excepto en los pozos de agua profundos. Los montos de bacteria general y coliforme en pozos de agua profundos fueron relativamente bajos.

Los resultados de los análisis de arriba muestran que el agua de los ríos y de los pozos someros están altamente contaminados con bacteria coliforme y general. En algunos casos también se observó contaminación de materia orgánica. Por eso se puede decir que tales fuentes de agua no son aptas para el uso doméstico de agua. Por otro lado, aunque la contaminación de microorganismos también se encontró en los pozos de agua profundos, los dos pozos examinados fueron pozos privados y mediante el crecimiento de bacteria general se vio que estos pozos no fueron usados constantemente.

#### **(4) Corque, Peñas como (Departamento de Oruro)**

Aunque el 80 % de la población de Corque está provista con dotación de agua de grifos, la dotación de agua de los grifos está limitada a 30 minutos al día durante la época seca. En términos de calidad del agua, el agua es algo opaca, exhibe un pH débilmente ácido de 7.0, está altamente contaminada con bacterias general y coliforme. Por esto se considera que las fuentes de agua no son aptas para el uso doméstico. La causa de esto es que las áreas alrededor de las fuentes de agua de vertientes son usadas como pastoreo y recibidas con contaminación proveniente del pastoreo del ganado.

Aunque las instalaciones de dotación de agua usando manantiales como fuente de agua son provistos en Peñas, estas no fueron usadas durante la época seca debido a la sequedad de las fuentes de agua.

Aunque la calidad del agua de los pozos someros y del agua de infiltración de los ríos son relativamente buenos como indica abajo, estos están altamente contaminados con bacterias coliforme y general y se debe decir que estas aguas no son aptas como fuentes de agua para uso doméstico.

- En términos de color y turbiedad, el agua es incolora y clara.
- El pH es 8.0- 8.4 y básicamente débil.
- La concentración del nitrógeno como nitrato es cerca de 1 mg/l.
- Fueron detectados elevados niveles de dureza de 350-400 mg/l

- Se detectaron concentraciones de Ion Cloruro de 70-80 mg/l.
- Cianuro y cromo hexavalente fue detectado.
- Aunque se detectaron pequeñas cantidades de acero y zinc, no se detectó cobre.
- Aunque los montos no fueron significativos, se detectó alguna contaminación de bacterias general y coliforme.

Para referencia, los resultados de los análisis para determinar la calidad de las aguas subterráneas y de ríos de los alrededores muestran que los niveles de dureza y de concentración de ion cloruro son extremadamente altas en el área plana (Altiplano) de Oruro. Esto se debe al agua subterránea encontrada en los lugares menos profundos que el nivel profundo. Por esta razón, agua de manantial de las faldas de las montañas o, como en el caso del Valle de Toledo, agua infiltrada con concentraciones de sal relativamente bajas se suan como fuentes de agua para uso doméstico.

(5) Patacamaya (Departamento de La Paz)

**[Color - Turbiedad]**

Con la excepción de algunos de los pozos de agua someros, el agua generalmente es incolora y clara.

**[pH]**

En general, los valores de pH encontrados son neutros, de 7.0 - 8.5

**[COD]**

El COD fue de cerca a 3 mg/l para la mayoría de los casos excepto for algunos de los pozos someros.

**[Nitrógeno como Nitrato]**

En general, se detectó concentraciones de 1-2 mg/l

**[Dureza Total]**

En general, se detectó niveles de dureza de 100 - 250 mg/l

**[Ion Cloruro (Cl-)]**

Se detectaron concentraciones relativamente bajas de 30 - 55 mg/l con la excepción de algunos de los pozos de agua someros.

**[Cianuro Libre (CN), Cromo Hexavalente (Cr<sup>+6</sup>)]**

Estos no fueron detectados en ninguna fuente de agua

**[Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn)]**

Aunque se encontraron pequeñas cantidades de hierro y zinc en general, no se encontró cobre.

**[Bacterias General y Coliforme]**

Aunque los montos no fueron significativos, se detectaron bacterias general y coliforme de todos los pozos someros con la excepción del agua de grifos provenientes de las vertientes.