

REPUBLICA DE BOLIVIA

**REPORTE FINAL
PARA EL
ESTUDIO DEL PROYECTO DE DESARROLLO
DE
AGUAS SUBTERRANEAS
EN EL
DISTRITO DE EL ALTO DE LA PAZ
(TRADUCCION)**

ENERO, 1988

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

開二

~~87-130~~

87-130

JICA LIBRARY



1065189[1]

REPUBLICA DE BOLIVIA

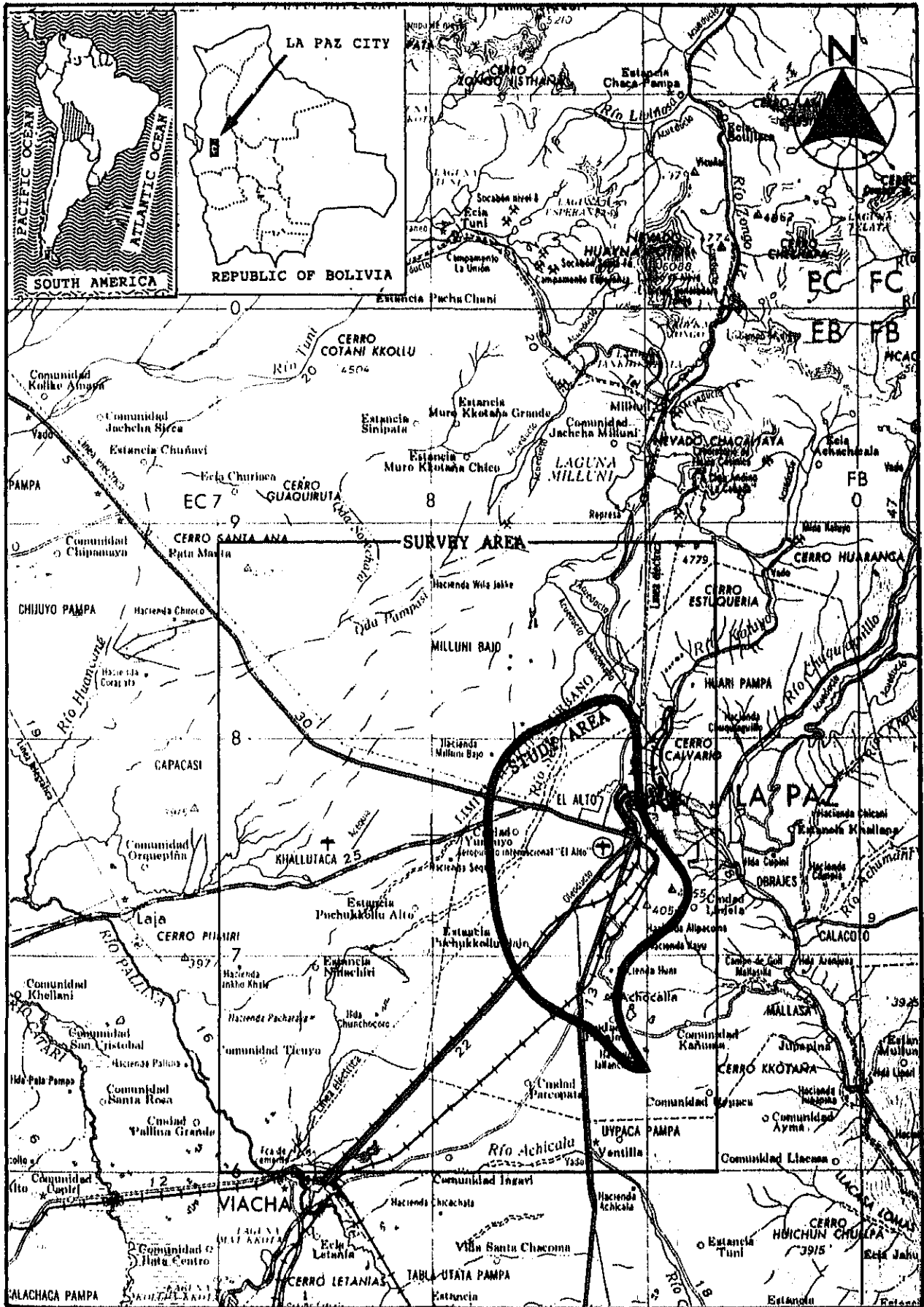
**REPORTE FINAL
PARA EL
ESTUDIO DEL PROYECTO DE DESARROLLO
DE
AGUAS SUBTERRANEAS
EN EL
DISTRITO DE EL ALTO DE LA PAZ
(TRADUCCION)**

ENERO, 1988

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

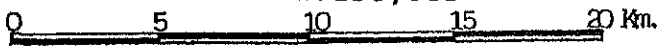
国際協力事業団		
受入 月日	'88. 5. 6	702
登録 No.	17536	61.8
		SDS

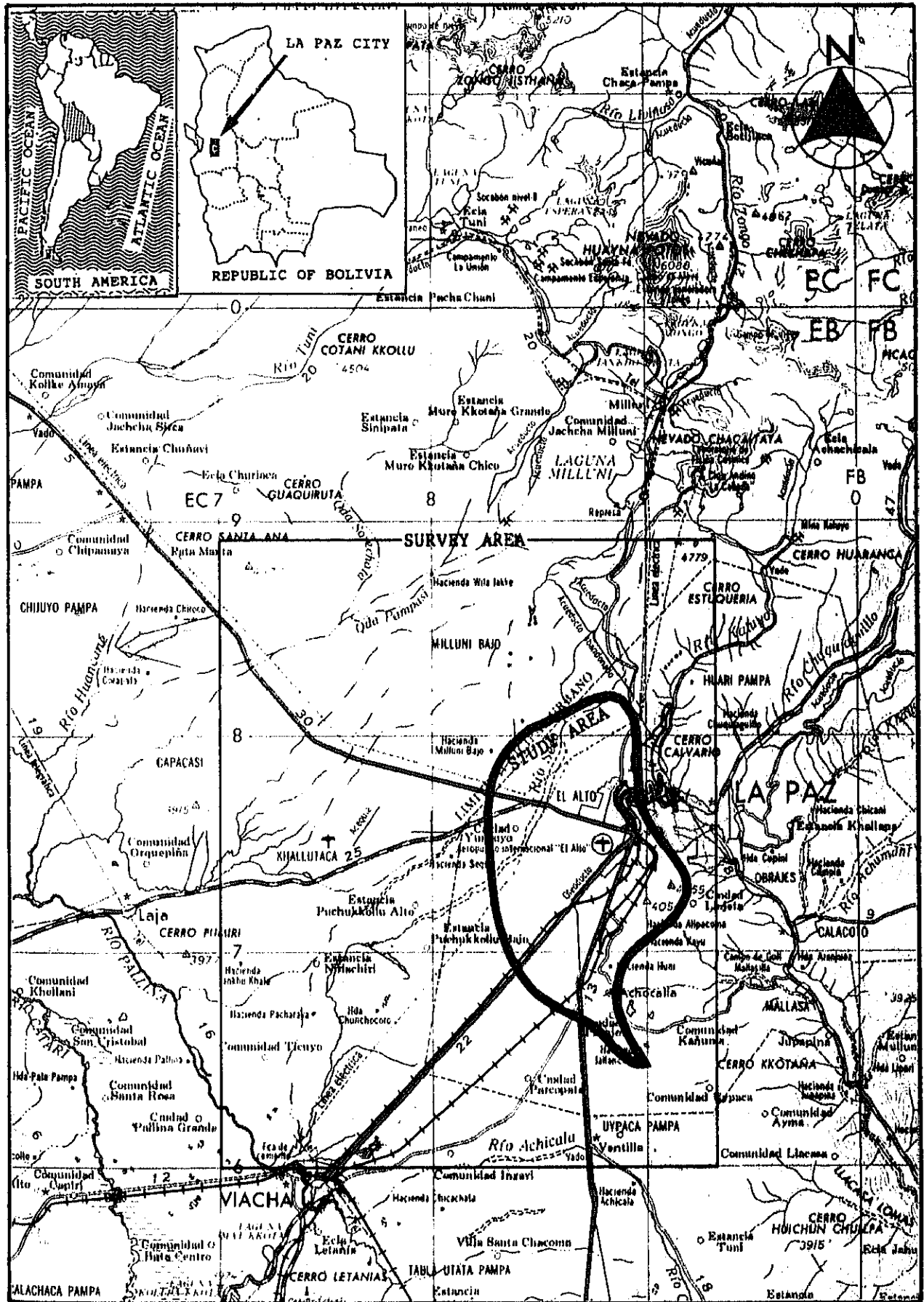
フィルム作成



LOCATION MAP

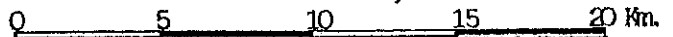
SCALE 1 : 250,000

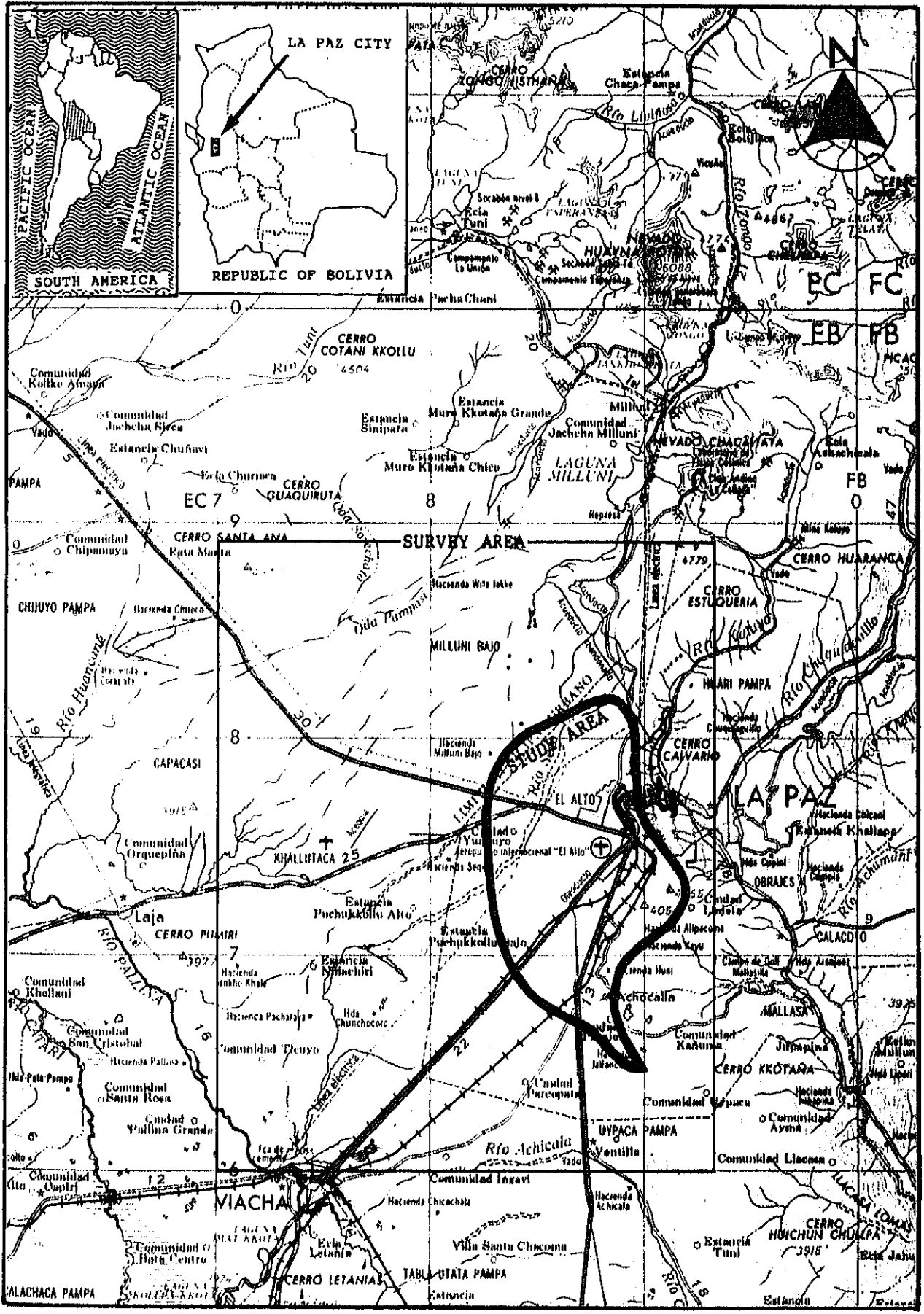




LOCATION MAP

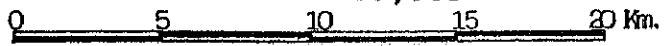
SCALE 1:250,000





LOCATION MAP

SCALE 1:250,000



CONTENIDO

1. Flujo de estudio -----	1
1.1. Estudio preliminar -----	1
1.2. Estudio final -----	3
2. Area del estudio -----	3
2.1. Topografía y geología -----	4
2.2. Meteorología e hidrología -----	5
2.3. Sistemas de abastecimiento de agua -----	6
2.4. Sistemas utilizables en las aguas subterráneas existentes -----	9
3. Resultados del estudio -----	10
3.1. Topografía, geología e hidrología -----	10
3.1.1 Examen topográfico y geológico -----	10
3.1.2. Prospecciones geofísicas -----	14
3.1.3. Pruebas de bombeo -----	18
3.2. Meteorología e hidrología -----	29
3.2.1. Parámetros meteorológicos -----	29
3.2.2. Observaciones de nivel de aguas subterráneas -----	30
3.2.3. Observaciones de aguas superficiales -----	36
3.3. Inventario de pozos -----	39
3.4. Estudio de calidad de agua -----	44
3.4.1. Propósito y métodos del estudio de calidad -----	44
3.4.2. Resultado de los estudios de calidad -----	48
3.5. Balance de agua -----	65
3.5.1. Métodos de análisis -----	65
3.5.2. Estudios de campo -----	66

4. Plan óptimo de bombeo -----	73
4.1. Investigación de la cantidad desarrollable -----	73
4.1.1. Fuentes de investigación -----	73
4.1.2. Condiciones de investigación -----	74
4.2. Plan óptimo de bombeo -----	75
4.2.1 Condiciones naturales (recursos de agua) -----	75
4.2.2 Condiciones sociales (Cantidad planificada de suministro) --	81
4.2.3. Predicción del flujo de aguas subterráneas -----	88
5. Planificación del proyecto -----	101
5.1. Bosquejo del plan -----	101
5.1.1. Planificación de suministro de agua para la población -----	101
5.1.2. Planificación de cantidad de suministro de agua -----	101
5.1.3. Borrador del plan de facilidades -----	102
5.1.4. Plan de obras -----	103
5.2. Costos del proyecto -----	105
5.3. Evaluación del proyecto -----	105
5.3.1. Evaluación social del proyecto -----	105
5.3.2. Evaluación técnica y económica del proyecto -----	107
5.3.3. Impacto en el medio ambiente -----	109

1. Flujo del estudio

1.1. Estudio preliminar

En respuesta al requerimiento del Gobierno de la República de Bolivia, con fecha 23 de Junio de 1986, se decidió realizar el estudio de "DESARROLLO DE AGUAS SUBTERRANEAS", para suministrar agua potable al Distrito de El Alto de La Paz en la ciudad de La Paz, antecediendo a los estudios finales, se hicieron investigaciones de campo y la recopilación de datos, que fueron posteriormente discutidos y firmados, para el propósito de trabajo.

La Misión de estudio fue dirigida por el Sr. Hiroshi Matsutani de la Segunda División de Estudios de Desarrollo del Departamento de Cooperación de Desarrollo Social, de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), que fue enviada a Bolivia desde el 29 de Setiembre hasta el 16 de Octubre de 1986. Basándose en los resultados del estudio de campo, se firmaron acuerdos con el Servicio Autónomo Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SAMAPA), el acuerdo ha sido suscrito entre ambas partes, de manera que, en fecha 10 de Octubre, en el despacho del Vice-Ministro en el Ministerio de Planeamiento y Coordinación se realizó el intercambio de Minutas entre los representantes de la Misión de JICA y de SAMAPA.

Los puntos más importantes en las conversaciones realizadas para el programa de trabajo fueron los siguientes:

1) Area planificada

El área planificada abarcará cerca de 71.5 km², en la zona del distrito de El Alto de La Paz, excluyendo la parte del aeropuerto. El área estudiada abarcaría cerca de 700 km², alrededor del área planificada.

- 2) Participación del Servicio Geológico de Bolivia en los estudios
- 3) Prospección geofísica

Para los exámenes Geológicos, serán realizadas prospecciones geofísicas y este método será por prospección eléctrica.

- 4) Los estudios del máximo nivel de agua en los pozos de observación para el nivel del agua subterránea, podrían ser hechos por el lado Boliviano bajo la dirección del lado Japonés.
- 5) Vehículos requeridos para el estudio de campo

Se requieren vehículos de doble tracción para el buen desarrollo del trabajo. SAMAPA no posee vehículos suficientes. Tomando en cuenta las condiciones de operación, estos deberían ser suministrados por el lado Japonés.

- 6) Requerimientos a futuro

En respuesta a los requerimientos del lado Boliviano sobre la implementación después de realizado el estudio final, el lado Japonés sugiere que, si el lado Boliviano requiere la implementación por parte del Japón, habría la posibilidad de considerarlo.

- 7) Facilidades de fuentes de energía para la obtención de aguas subterráneas

Se estudia también las facilidades de obtención de fuentes de energía para el uso de las aguas subterráneas, mediante motores de combustión interna o energía eólica.

- 8) Comienzo del estudio

La fecha para empezar los estudios será tan pronto sea posible en 1987.

1.2. Estudio final

El estudio final se realizará en época de lluvia, en 60 días entre el 31 de Enero y el 31 Marzo de 1987 y durante la época de sequía en 40 días entre el 1 de Julio y el 8 de Agosto de 1987.

El equipo implementado por el lado Boliviano en este estudio es SAMAPA. La organización de SAMAPA se muestra en el Apéndice 2. El principal de este organismo es el Alcalde; pero la responsabilidad del proyecto es del Gerente General. El Departamento de Ingeniería consta de 8 Ingenieros Senior, especializados en hidráulica, saneamiento, electricidad e Ingeniería mecánica y además, 20 Ingenieros distribuidos en los diferentes Departamentos. Hay aproximadamente 400 trabajadores contratados para trabajos de construcción. Se cuenta también con dos Químicos en el Laboratorio Central y un Químico en cada Planta de Purificación.

En este estudio, la Gerencia Técnica y el Dpto de Planificación son los responsables de la contraparte. La contraparte, para los estudios de Geología, Aguas Subterráneas y Prospección Eléctrica, estará formada por SAMAPA y GEOBOL. La organización de GEOBOL se muestra en el Apéndice 3. De tal manera que, los exámenes de medición de altura máxima de nivel de agua en los pozos existentes y la altura de terreno en los puntos de prospección eléctrica serán realizados por SAMAPA.

2. Area del estudio

El área planificada es el distrito de El Alto, situado en la plataforma oeste de la ciudad de La Paz. En esta área se encuentra el Aeropuerto Internacional de El Alto de La Paz. En sus alrededores existen viviendas desarrolladas en 1970, más allá existen construcciones recientes que se

van extendiendo constantemente. El área planificada es de cerca de 70 km², exceptuando el Aeropuerto. La evaluación de los recursos de aguas subterráneas por realizar en el estudio final están programadas en las áreas de estudio.

El área de estudio es de cerca de 660 km², extendiéndose al Oeste del área planificada donde la mayor parte pertenece topográficamente a la plataforma. Esta área fue escogida a fin de tomar muestras geológicas, aguas subterráneas y otras condiciones naturales para el correspondiente examen general. En el área planificada para el estudio, hay viviendas esparcidas, la mayor parte no está utilizada y sólo una pequeña parte son campos de cultivo. Sin embargo, la pobre irrigación y suelo gravoso hacen que la producción agrícola sea baja. Especialmente en la estación seca, las aguas superficiales se infiltran al sub-suelo casi en su totalidad, por lo tanto, no pueden ser utilizadas para irrigación. Así, la parte del área del estudio, la cual ha sido desarrollada en gran proporción, es solamente la parte sur cerca a Viacha.

2.1. Topografía y geología

El área en estudio corresponde a la parte periférica del Altiplano, presenta una topografía con una leve inclinación, la altura es de 3,900 m a 4,200 m sobre el nivel del mar. Esta área es dividida en 3 partes, por el acantilado al lado este del área planeada y la carretera extendida de El Alto hacia el Oeste : 1) Área del Valle, 2) Pie de la montaña con una leve inclinación en el área montañosa, 3) Plano aluvial (Plataforma plana).

En cuanto a la Geología del área examinada, la base consiste en estratos de formación Catavi del período Siluriano Paleozoico distribuidos de estratos terciarios de Formación La Paz, depósitos cuaternarios de

glaciales de Río y estratos de depósitos glaciares etc. La Formación Catavi muestra una estructura Geológica en la parte Norte y Nor-Oeste hacia la dirección Sur y Sur-Este sin exponerse al área de la ciudad de La Paz. De estos caracteres distintivos se estima que los estratos se extienden a profundidades de 500 o 600 m o más en el distrito de El Alto. Los estratos en la ciudad de La Paz consisten en fina arena rocosa y limo rocoso en su mayoría, muestra estructuras geológicas casi horizontales. Los estratos cuaternarios consisten principalmente en capas de cascajo y en parte capas de arena y greda. Los glaciales de río formados por estratos no seccionados expuestos a las superficies cortadas por las construcciones de carreteras, están comparativamente consolidados, pero los depósitos glaciales y de estratos aluviales ya casi han desaparecido.

2.2. Meteorología e hidrología

La plataforma norte incluyendo el Distrito de El Alto, pertenece al sistema de ríos que fluyen al Lago Titicaca. En este sistema de ríos, los ríos Khullu Cachi, Sehuenca, Huancase, Seco, etc. fluyen de las montañas del norte hacia el Sur-Oeste. Cerca de la combinación de estos ríos en la parte baja de la corriente con el Río Castari, cuya afluencia va al Lago Titicaca. Estas son las condiciones hidrológicas que caracterizan esta plataforma :

- Los sistemas de agua de las montañas del Norte hacia el Sud-Oeste.

Los ríos son alimentados con aguas de los glaciales de las montañas, agua de deshielo que fluye todo el año y aguas de lluvia. Sin embargo, en las superficies planas, las aguas de lluvia se infiltran bajo tierra, formando pantanos secos.

- Sistemas de agua hacia el Nor-Oeste

Los cauces de los ríos están dirigidos por estructuras geológicas de estratos Terciarios o estratos Paleozoicos.

La cantidad de agua de lluvia y de evaporación son observados por SAMAPA en los reservorios de Milluni, Tuni, Condoriri, etc.

La precipitación en la plataforma es generalmente alta en la parte Norte y decrece hacia el sur (más de 700 mm/año en áreas montañosas del Norte y cerca de 500 mm/año en la parte Sur). La cantidad de evaporación es de 100 a 1300 mm/mes.

2.3. Sistemas de abastecimiento de agua

Actualmente, el suministro de agua en el Distrito de El Alto de La Paz está implementado por SAMAPA. El sistema de suministro de agua de la ciudad de La Paz, está dividido en tres y el agua es obtenida de las Represas en las cuales abundan aguas superficiales. Estos tres sistemas son: El Alto, Achachicala y Pampahasi, donde también están situadas las plantas de purificación de agua, como mostramos en el cuadro siguiente.

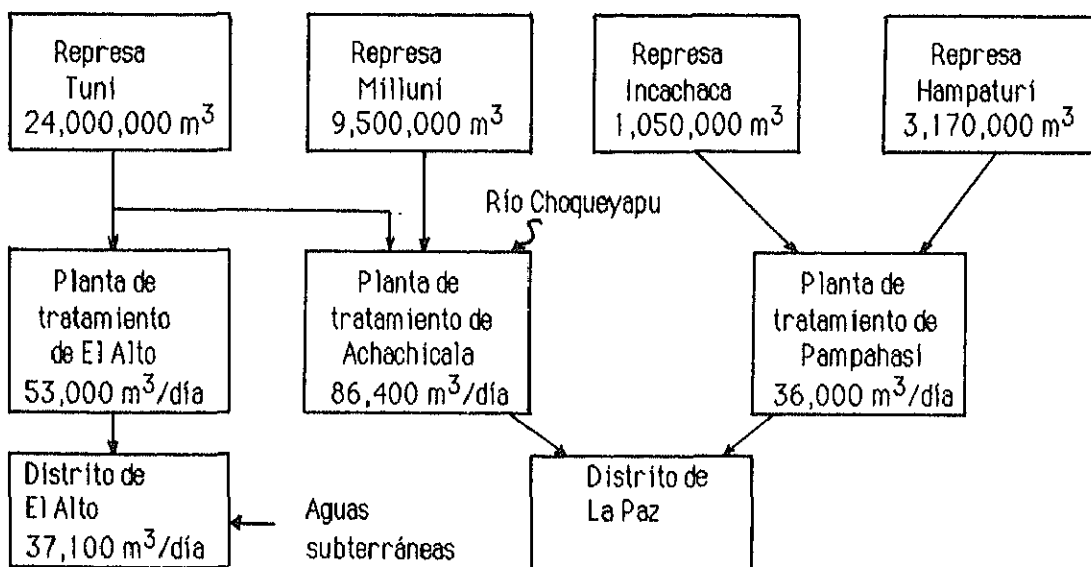


Fig. 1 Sistema de suministro de agua

De estos sistemas el que tiene relación con el área examinada es el sistema de El Alto. Los otros sistemas pertenecen a la ciudad de La Paz. En los lugares en el área de El Alto, donde no hay suministro de agua de las Plantas de purificación, el agua para beber es obtenida de los manantiales y pozos excavados individualmente, también se utilizan camiones de suministro de agua.

El distrito de La Paz, recibe agua de la Planta de Purificación de Achachícala 1 y de la Planta de Purificación de Pampahasi y a esto se suma la ramificación de la Planta de El Alto. Sin embargo, hay tiempo limitado para el suministro de agua por no ser suficiente, existiendo lugares que carecen de este elemento.

El agua cruda del reservorio de almacenamiento de Milluni es afectada por los relaves mineros, siendo de mala calidad, requiere para su purificación fuerza eléctrica y muchos reactivos químicos. Estos costos afectan financieramente a SAMAPA que no tiene capacidad de invertir dinero en nuevas fuentes de agua. Además, el flujo de agua de los ríos hacia los 4 reservorios de almacenamiento, han sido ya utilizados a máxima capacidad. En las presentes condiciones, cualquier intento de construir nuevos reservorios de almacenamiento de agua para incrementar la capacidad de almacenamiento o incrementar fuentes de agua representarían un gran costo y de acuerdo a la situación económica actual de Bolivia no podría realizarse. De tal manera, en el Distrito de El Alto el desarrollo de las aguas subterráneas es la única medida que puede resolver el problema de la escasez de agua causada por el rápido crecimiento de la población.

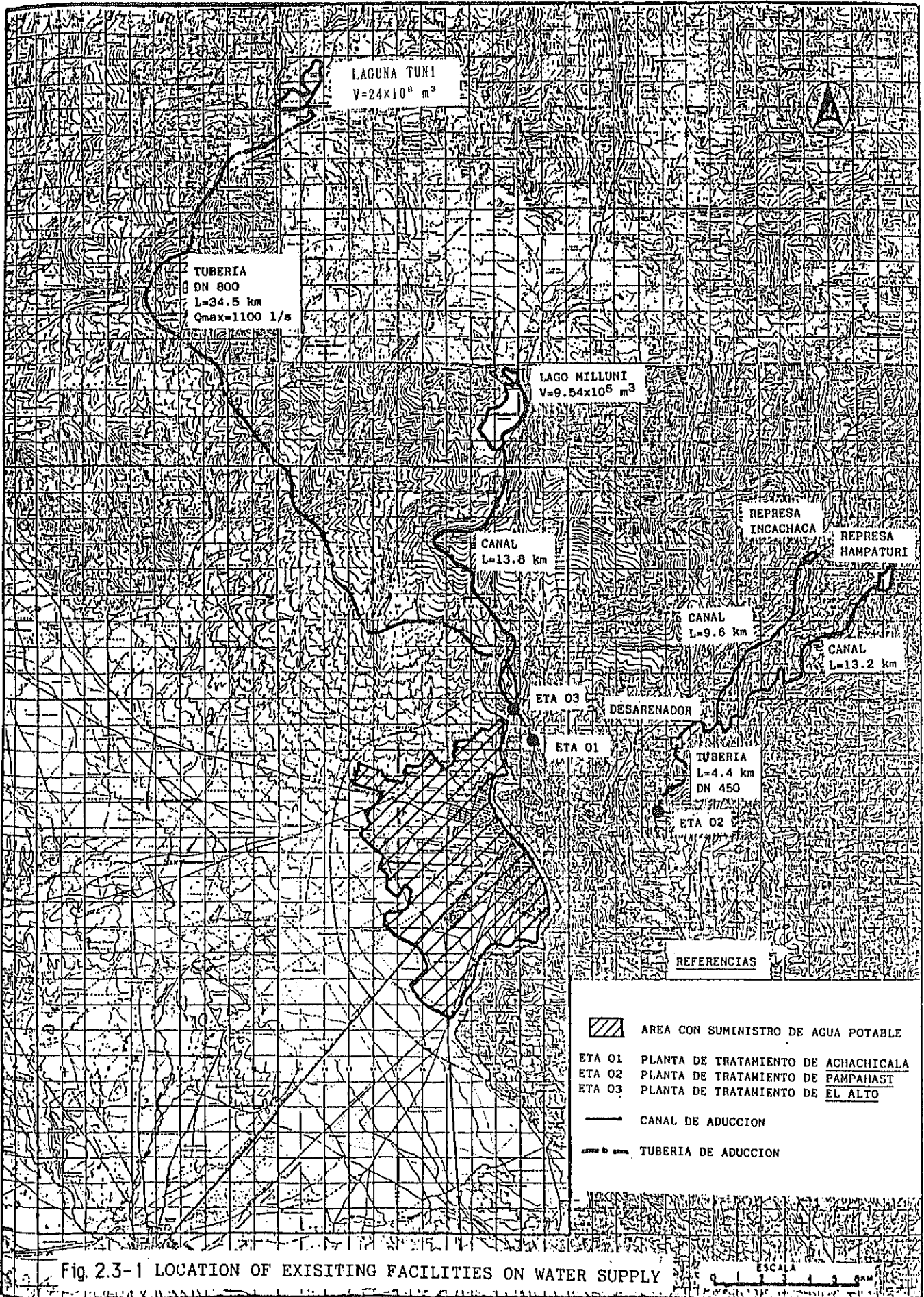


Fig. 2.3-1 LOCATION OF EXISITING FACILITIES ON WATER SUPPLY

2.4. Sistemas utilizables de las Aguas Subterráneas existentes

Observando los exámenes de Aguas Subterráneas existentes en la plataforma norte y en Oruro, con la cooperación del PDNU, Plan de desarrollo de las Naciones Unidas. En 1973, se publicó "Los recursos de agua del Altiplano Norte y del Area de Oruro". Este reporte describe la Topografía y geología, calidad del agua, y el potencial de las aguas subterráneas del distrito de El Alto de La Paz. De las conclusiones de ese reporte esta área tiene una alta factibilidad para el desarrollo del agua subterránea.

Considerando los resultados mencionados arriba, GEOBOL construyó alrededor de 40 pozos profundos en el área de El Alto, sin embargo, GEOBOL, todavía no tiene una capacidad técnica adecuada para el desarrollo del agua subterránea por ejemplo, muchas veces tuvieron la experiencia de que después de equipar los pozos, la cantidad de agua producida era menor que la cantidad de agua esperada, esto hizo que los pozos , tuvieran una vida corta para ser finalmente abandonados. Aún así, no podemos juzgar que GEOBOL, no pueda efectuar los planes de desarrollo de agua subterránea basados en su experiencia.

Por estas razones es muy importante conseguir la transferencia de tecnología en el desarrollo de agua subterránea a Bolivia, a través de este estudio.

3. Resultados del estudio

3.1. Topografía, geología e hidrología

3.1.1. Examen topográfico y geológico

Los exámenes topográficos y geológicos fueron hechos mediante investigaciones en la superficie de tierra con referencia de mapas topográficos existentes (1/50,000) y mapas geológicos (La Paz) (1/100,000, Instituto de Investigación Geológica de Bolivia, 1967) en especial en la zona del acantilado que demarca el lado Este del área del estudio. En el mapa geológico (Fig.3.1.1-1 y Fig.3.1.1-2).

El área examinada es una plataforma plana de aproximadamente 4,000 m de altura y la Ciudad de La Paz se desarrolla en el valle del Río Choqueyapu. Observando el tipo de geología, la base consiste en Silúrico Paleozoico y estratos Devonianos cubiertos con una capa distribuida de neógeno cenozoico terciario y Plioceno de la formación La Paz. La formación La Paz es expuesta en la zona del valle alrededor de la Ciudad de La Paz, generalmente compuestas de arena fina rica en Acuiclusas. En la formación La Paz están distribuidos los depósitos glaciales, los depósitos por deshielo bajan hacia períodos glaciales de Pleistoceno Cuaternario. De ellos los lechos de cascajo dentro de los depósitos glaciales del estrato no. seccionado en los niveles más bajos forman acuíferos. Las estructuras geológicas en el área examinada son como se muestran en el mapa geológico del Distrito de El Alto.

Este mapa es un poco diferente al mapa geológico de la ciudad de La Paz, que ya fue publicado. Este ha sido preparado con la cooperación del Ingeniero Alfredo Soría de GEOBOL, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Estudio de datos existentes

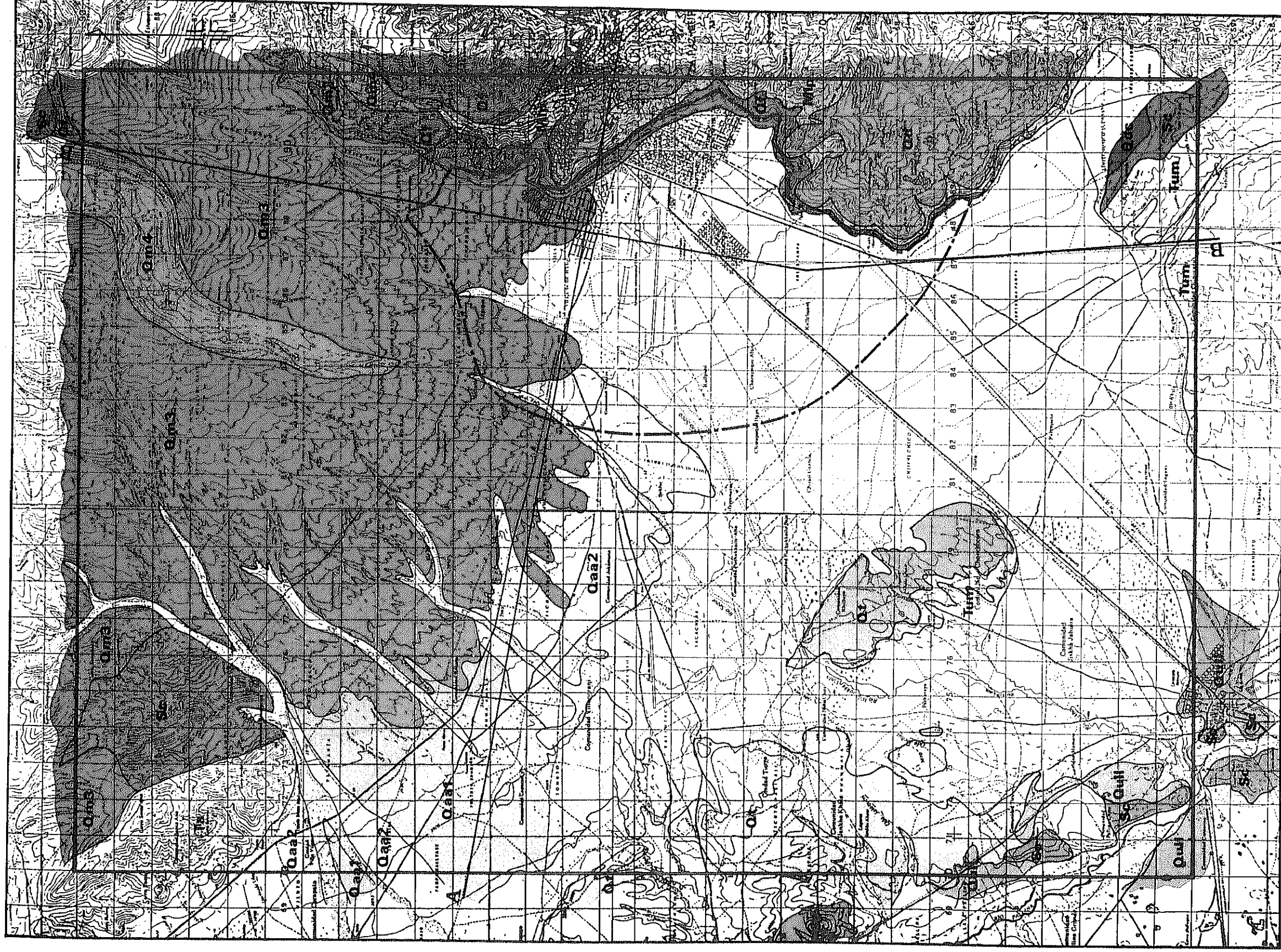
Con los datos existentes fueron estudiados: distribución geológica, calidad de las rocas, estructuras geológicas del área a examinar.

- Lectura de fotos aéreas

Fotos aéreas tomadas en 1983, fueron observadas estereoscópicamente para obtener secciones topográficas, áreas colapsadas, alineamientos, etc. del área examinada.

- Examen de geología superficial

Los principales afloramientos en el área examinada, la calidad y formaciones de estructura consistente y profunda, presencia o ausencia de áreas seccionales, etc. fueron examinados al preparar el mapa de rutas. Las principales afloraciones fueron reconfirmadas mediante la fotografía.



REFERENCIAS

- | | |
|-------------|--|
| Qa | Depósitos aluviales |
| Qd | Deslizamientos de terreno |
| Qt | Detritos y canchales terrazas |
| Qaa2 | Abanicos aluviales modernos (2) |
| Qaa1 | Abanicos aluviales antiguos (1) |
| Qm4 | Morrenas de la IV glaciación |
| Qm3 | Morrenas de la III glaciación |
| Qf | Glacial y fluvio-glacial no diferenciado |
| Quil | Formación Ulloma (Terrazas del antiguo lago Bolivian, interrelaciones de arenillas, arenas, focalmente gravas y turva) |

- | | |
|------------|---|
| Tum | Formación Umla (Arcillas arcillosas y arenitas cremas con intercalaciones de tobas) |
| Mlp | Formación La Paz (Conglomerados y areniscas rojas) |
| Ta | Formación Catavi (Alternancia de areniscas cuaríticas [utitas]) |
| Sc | |
- TERCIARIO
SILURIO

SIGNOS CONVENCIONALES GEOLOGICOS
A—A' Perfil geológico transversal

Fig. 3.1.1-1 GEOLOGICAL MAP

REFERENCIAS

- | | | |
|-------------|------|--|
| QUATERNARIO | Qa | Depósitos aluviales |
| | Qd | Deslizamientos de terreno |
| | Qaa2 | Abanicos aluviales modernos(2) |
| | Qaa1 | Abanicos aluviales antiguos(1) |
| | Qm4 | Morrenas de la glaciación |
| | Qm3 | Morrenas de la glaciación |
| | Qf | Glaciar y fluvio-glaciar no diferenciado |
| TERCIARIO | Tum | Formación Umala |
| | Mlp | Formación La Paz |
| SILURIO | Sc | Formación Catavi |

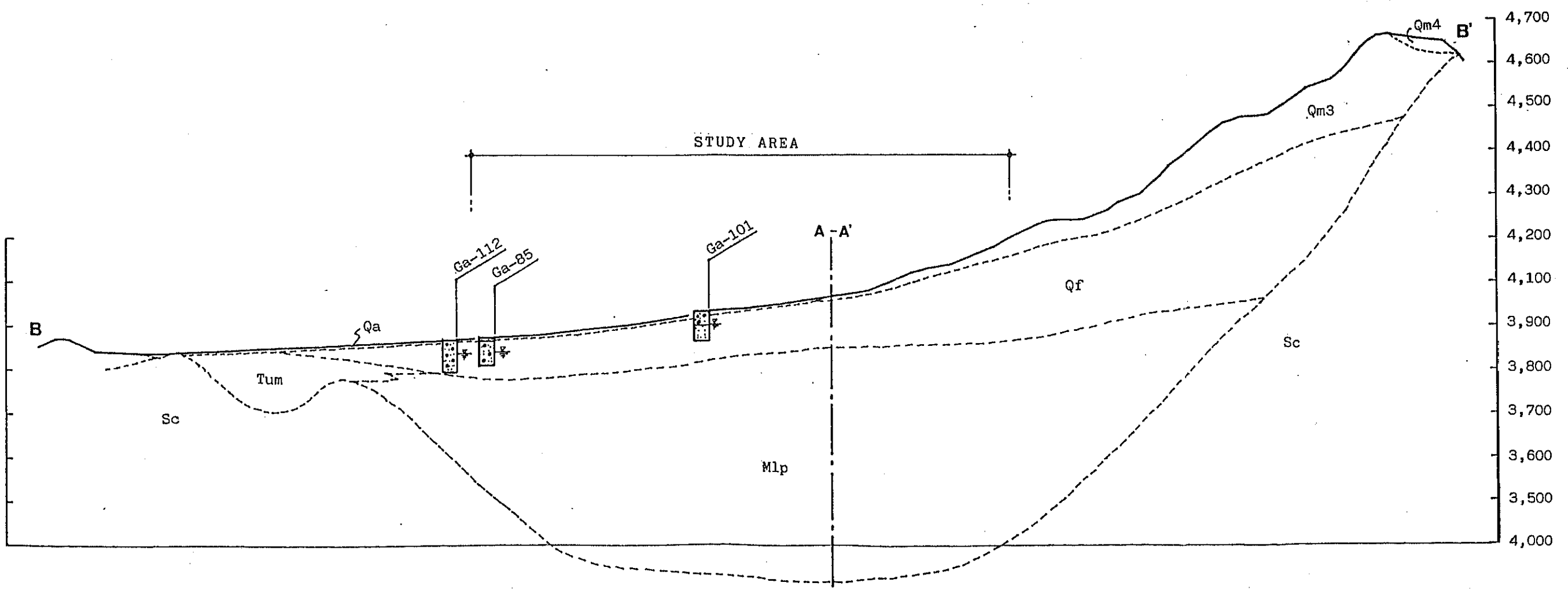
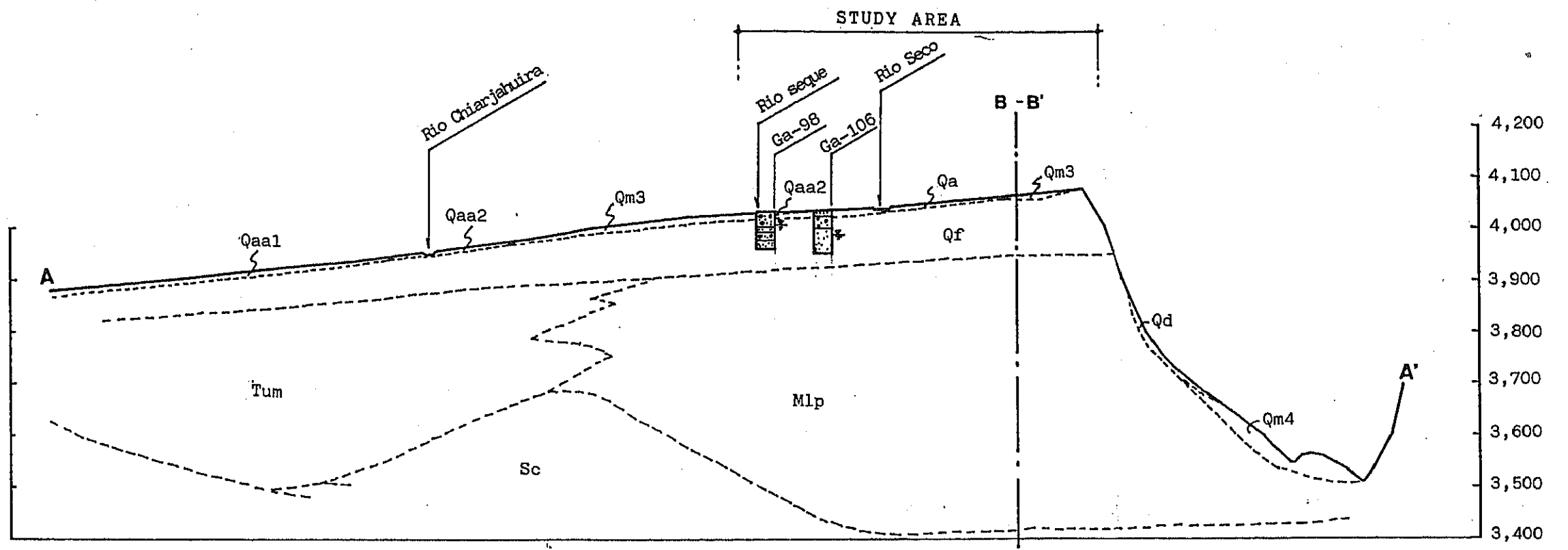


Fig. 3.1.1-2 GEOLOGICAL PROFILE

(scale H=1:100,000 V=1:10,000)

3.1.2. Prospecciones geofísicas

En el área de 470 km² de Este a Oeste 17 kms y de Norte a Sur 28 kms del área planificada, la prospección eléctrica fue hecha en 64 puntos.

El prospector eléctrico de baja frecuencia de tipo de ondas cuadradas tiene un alcance hasta una profundidad de 200 mg, preparado por el lado Japonés. La prueba fue desarrollada mediante los métodos de Schlumberger; método de 4 electrodos.

Corriente alterna de electrodos :

2, 4, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 120, 150, 200, 300, 400 m

Potencial alterno de electrodos

1, 3, 10, 25 m :

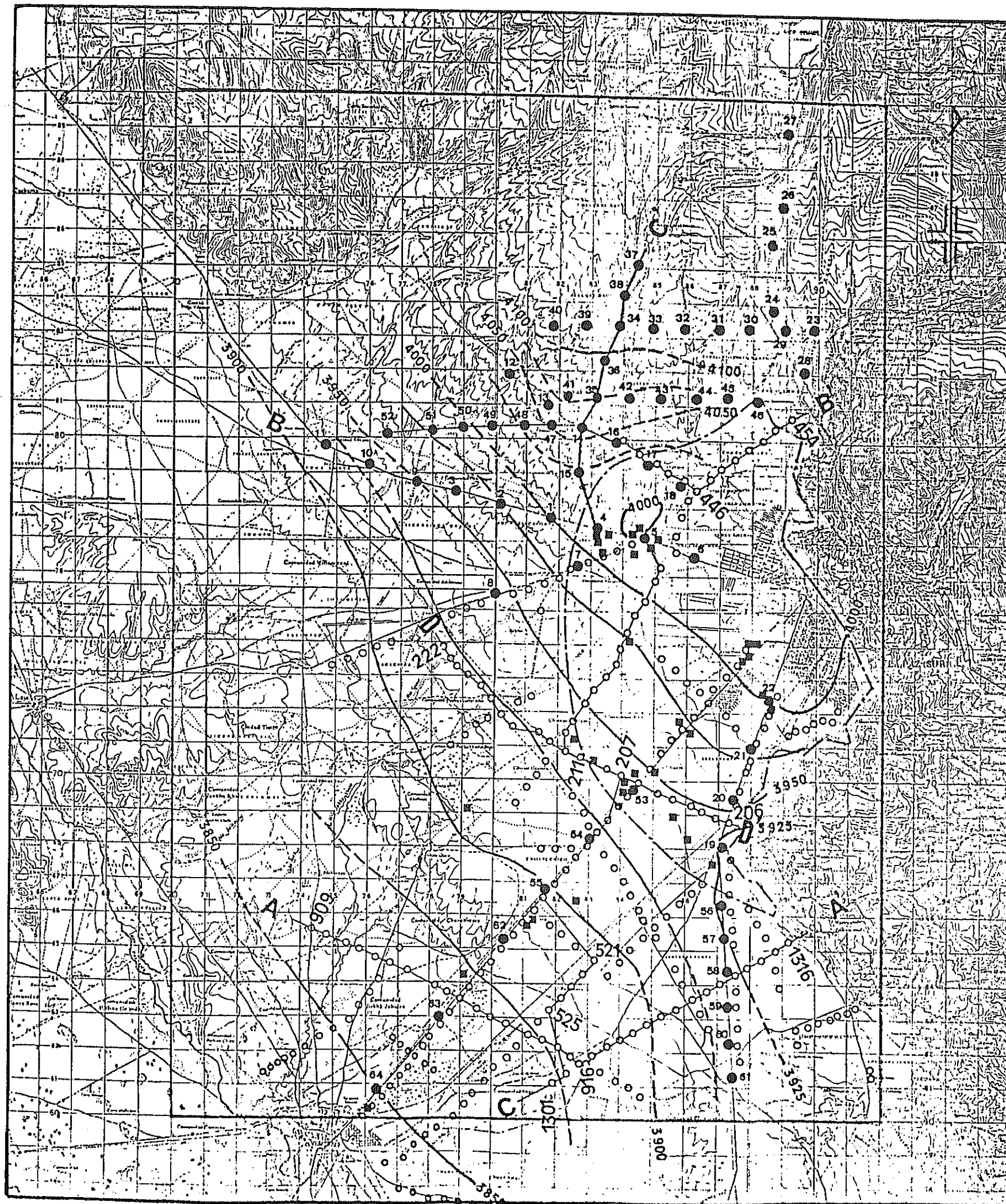
Después del ingreso de la Misión al país de Bolivia, se realizaron conversaciones con Ingenieros de GEOBOL, donde se examinaron los datos proporcionados. Asimismo se pudo encontrar un reporte detallado preparado en 1977, en un trabajo conjunto de GEOBOL y BRGM, para lo cual realizaron la prospección eléctrica en la parte sur del Distrito de El Alto.

En la parte sur del distrito de El Alto, habían pocos pozos existentes y desde 1977 no se ha realizado un gran desarrollo. Los resultados en las investigaciones de campo indican que hubieron algunos pequeños cambios en el nivel de aguas subterráneas según datos proporcionados.

Asimismo, el nivel de aguas subterráneas se inclina hacia todo el área de El Alto, pero no está al alcance del uso. Bajo esta circunstancia se discutió con Ingenieros de GEOBOL, sobre los puntos de estudio, los cuales son reconocidos en los reportes iniciales que fueron revisados. Como resultado se decidió estudiar la parte Norte con prioridad. Observando la parte sur, se decidió hacer algunas mediciones en puntos seleccionados a

modo de conocer los cambios o diferencias de los resultados del estudio hecho en 1977. Los puntos de estudio por prospección eléctrica es como muestran las Fig. 3.1.2-1.

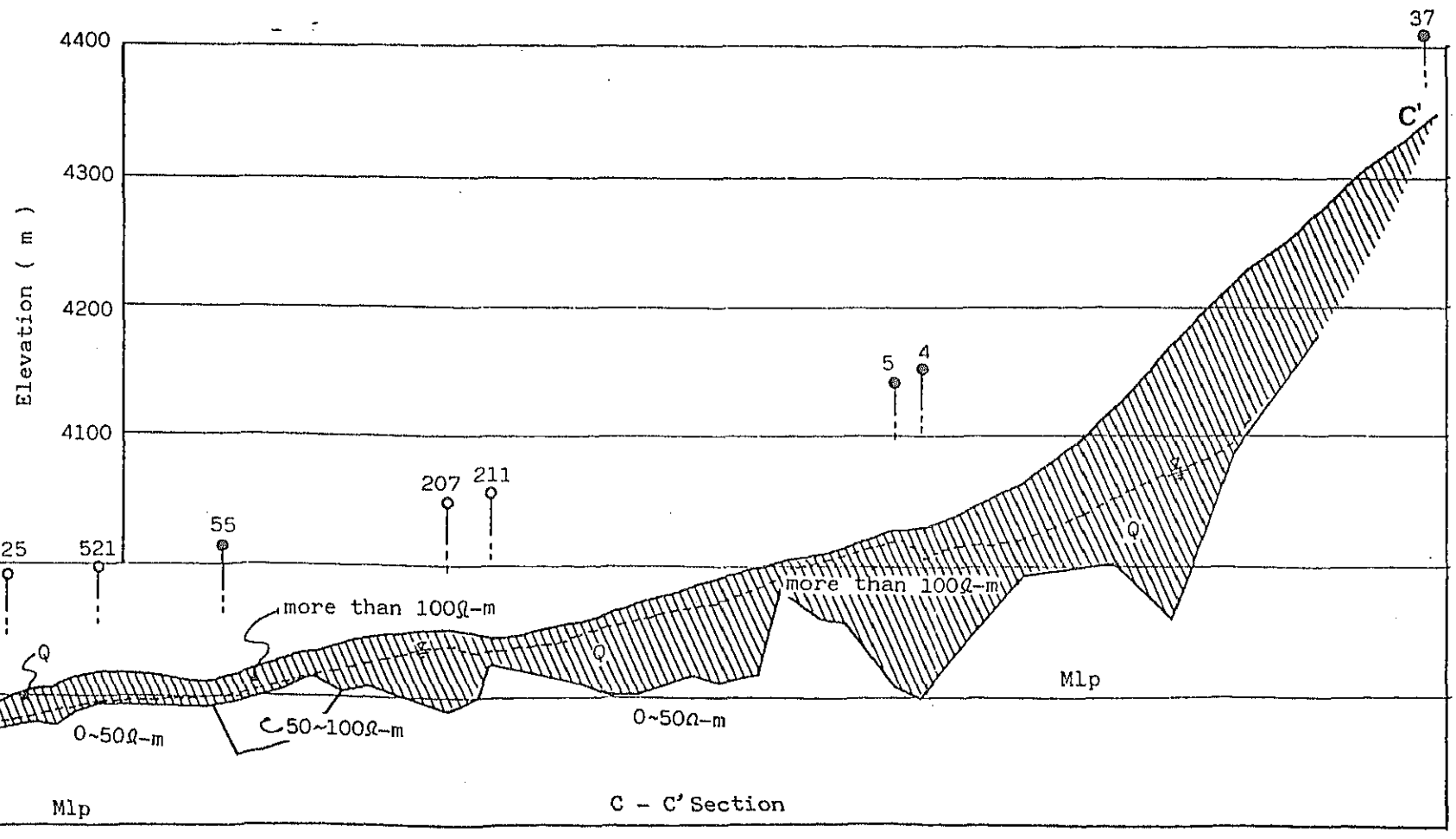
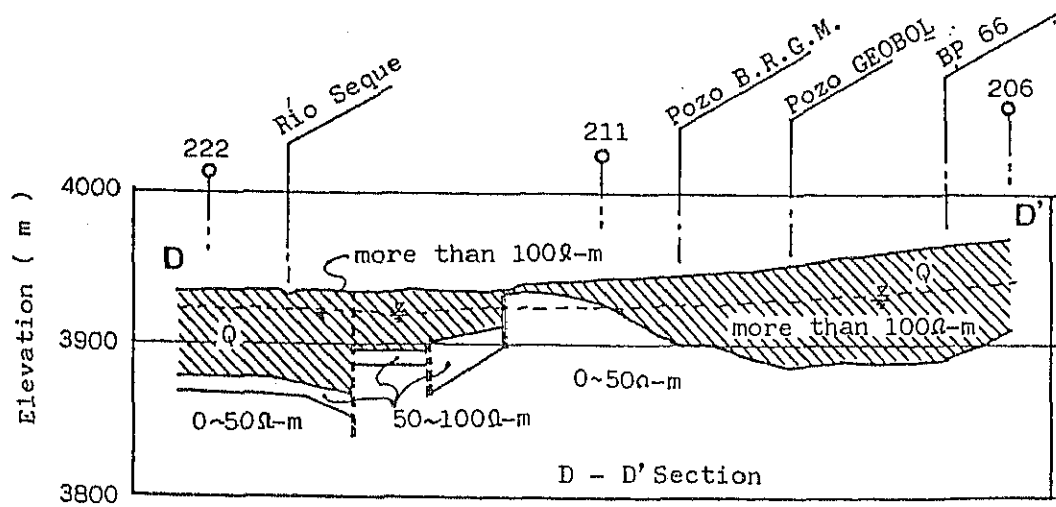
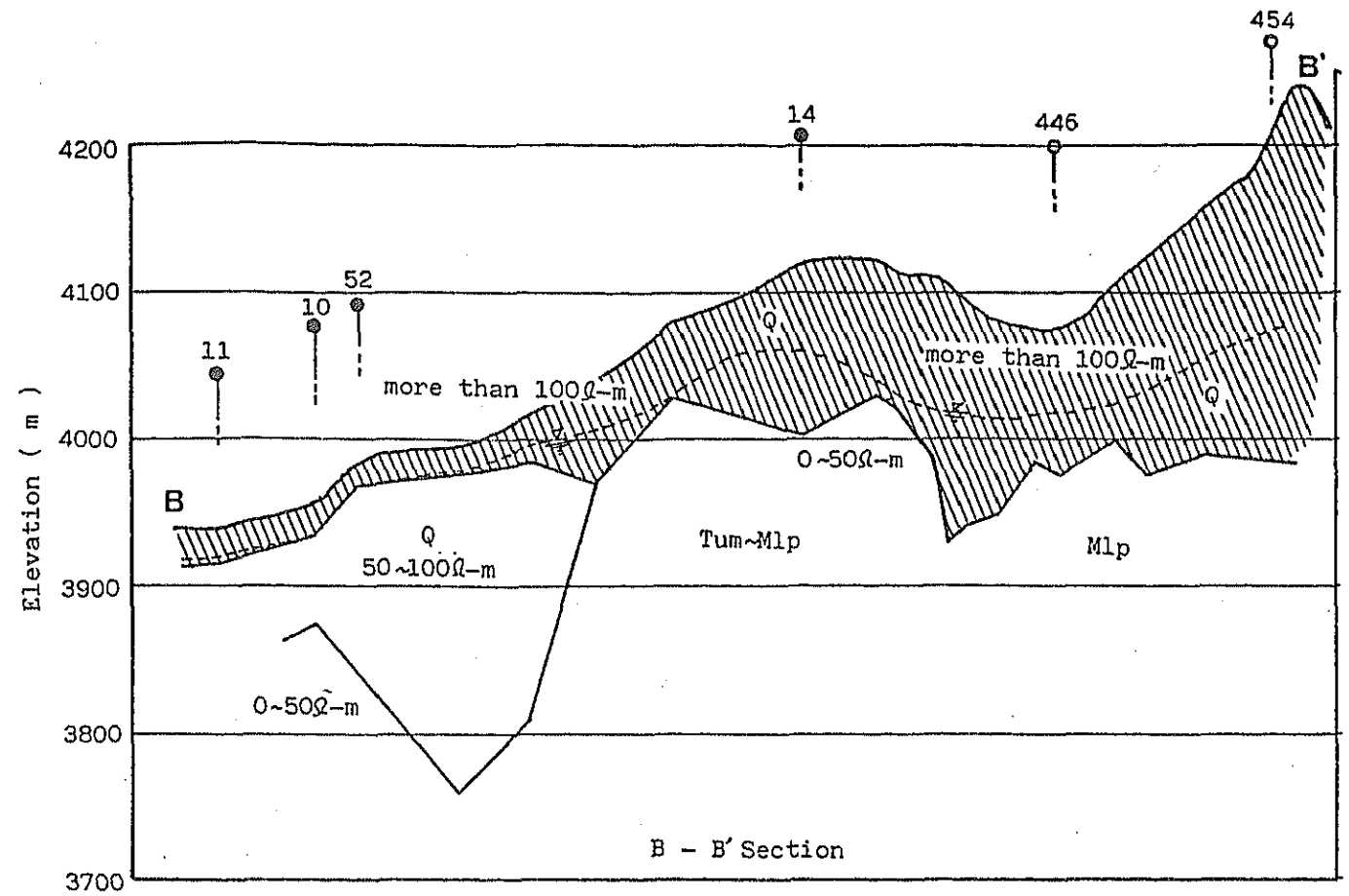
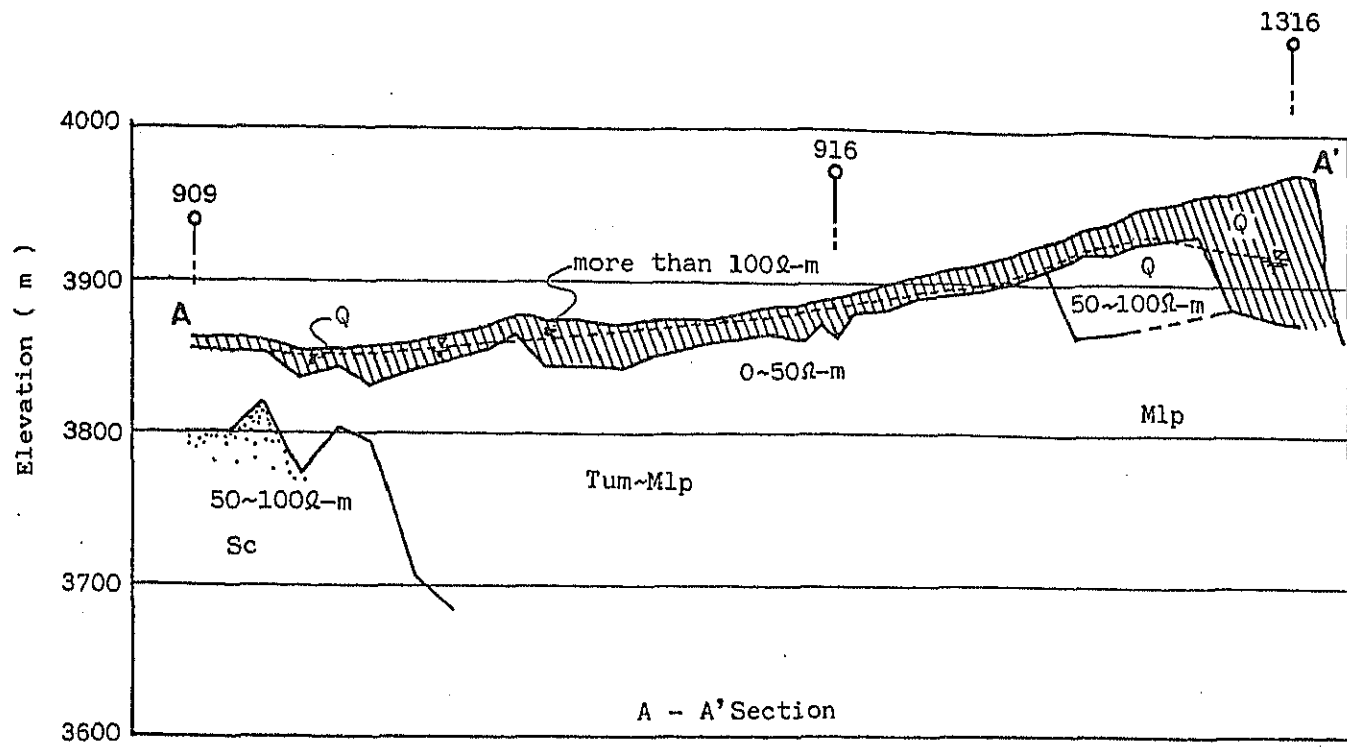
Antes del estudio se esperaba que las aguas subterráneas fueran paralelas a la superficie de la tierra. Sin embargo, los resultados del examen dieron a conocer que el nivel del agua subterránea no tiene nada que ver con la superficie de la tierra y está casi cerca al plano horizontal aunque ligeramente alto en esta zona. Por estos descubrimientos se juzga que este Distrito está dentro de la cuenca de aguas subterráneas cuyo centro es el lago Titicaca.



LEGEND

- 40 ELECTRIC PROSPECTING SURVEY (1987)
- ELECTRIC PROSPECTING SURVEY (1977)
- EXISTING WELL
- 4000— CONTOUR LINE OF GROUNDWATER

Fig. 3.1.2-1 MAP OF CONTOUR LINE ON GROUNDWATER



REFERENCIAS

- Q Quaternario
- Tum Formación Umala
- Mlp Formación La Paz
- Sc Formación Catavi
- Electric Resistivity: more than 100 -m
- Ground water level
- Electric Prospecting Point (Executed in 1987)
- Electric Prospecting Point (Executed before)

SCALE 1:100,000
0 1 2 3 4 5 km

Fig. 3.1.2-2 GEOLOGICAL SECTIONS ESTIMATED BASED ON THE ELECTRIC PROSPECTING SURVEY

3.1.3. Pruebas de bombeo

1) Propósito y Método de las pruebas de bombeo

Las pruebas de bombeo son conducidas para obtener el coeficiente de permeabilidad del subsuelo y se requiere para determinar, el apropiado régimen de bombeo del pozo. El test de bombeo incluye pruebas de abatimiento, pruebas de acuífero examen de grupo de pozos, etc.

En este estudio los pasos de las pruebas de bombeo fueron conducidos para obtener el coeficiente de permeabilidad del acuífero. En este método de prueba, la cantidad de bombeo se divide en etapas, el bombeo es continuo durante cierto tiempo hasta que el nivel del agua se estabilize y por repetición de este trabajo en un número de veces, la relación entre la cantidad de bombeo y el nivel del agua abatido se plotea en un gráfico. Generalmente, las curvas obtenidas tienen un punto de inflexión y la cantidad de bombeo correspondiente a este punto de inflexión es llamado: "Cantidad de bombeo marginal". Con esta prueba es posible encontrar el régimen adecuado de bombeo, es decir, el punto en el cual se puede mantener el nivel del acuífero, a pesar de mantener el bombeo por largo tiempo, esto es la cantidad segura de bombeo. Los pozos examinados son pozos ya existentes. Si la capacidad del acuífero es excesiva con relación a la capacidad de las pruebas de bombeo, la curva no mostrará ningún punto de inflexión y la cantidad marginal del bombeo no podrá ser obtenida. Sin embargo, aun en este caso, el coeficiente de permeabilidad puede obtenerse. Por lo tanto, haciendo uso de parámetros hidráulicos conseguidos en este examen, sería posible calcular la cantidad de bombeo en el pozo planeado, además tomando en cuenta la cantidad y la capacidad específica, etc. para calcular la perforación del pozo planeado y la capacidad de las pruebas de bombeo.

2) Preparaciones

Antes de comenzar las pruebas, los pozos existentes en el lugar fueron examinados desde el punto de vista hidrogeológico y de fluctuaciones en la calidad del agua, tomando también en cuenta las precauciones que abajo se citan.

Precauciones generales en la selección de pozos.

- El nivel del agua subterránea no deberá ser demasiado superficial.
- Un espacio tan ancho como sea posible sería más adecuado.
- Tan lejos como sea posible de canales de agua, lagos, pantanos y riberas de ríos, además deberán ser zonas de fácil drenaje.
- No deberán existir pozos de bombeo alrededor.
- Fácil acceso a la energía eléctrica.

Todos los pozos eran propiedad privada o de personas jurídicas, los pozos en los cuales se pueden hacer las pruebas de bombeo son 7 como se muestran en la Tabla 3.1.3-1.

Tabla 3.1.3-1

Pozo No.	Dueño	Diámetro	Profundidad	Nivel de agua	Abastecimiento de Electricidad	Equipo de Bombeo	Condiciones de Funcionamiento	Ejecución de la Prueba de Bombeo
22	INFOR	8- ⁵ / ₈ "	52m	-12.9m	0	0	Δ	0
29	CENACO	6- ⁵ / ₈ "	64m	-19.4m	0	-	0	0
31	INSA PP-1	8- ⁵ / ₈ "	62m	- 9.0m	-	-	0	
38	CORDEPAZ	8"	48m	- 1.7m	-	-	0	
39	SAMAPA	6"	40m	-13.3m	-	0	0	0
41	AASANA	8"	53m	- 2.4m	-	-	Δ	
42	CONVI	6"	60m	-25.0m	0	-	0	

En la tabla que se muestra, los pozos Nos. 31, 38 y 41 no tienen suministro eléctrico pero son considerados los más importantes para las

pruebas de bombeo por sus características generales y por cumplir las precauciones nombradas anteriormente. De tal manera que el generador preparado por el lado Boliviano fue llevado al lugar y la bomba fue instalada y puesta en operación. Sin embargo, la capacidad del generador no fue suficiente entonces se probó con generadores pertenecientes a diferentes organismos gubernamentales, indicando que no había generador con suficiente capacidad. Entonces fue suspendida la prueba de bombeo con generadores. Los pozos Nos. 22, 29, 39, y 42 tienen un suministro eléctrico de tipo comercial, de ellos, los pozos Nos. 22, 29 y 39 fueron seleccionados para la prueba de bombeo.

Equipo de medición de caudales de bombeo :

Generalmente la medida de caudales con vertederos triangulares con escotadura de 60° o 90°, son usados de acuerdo al volumen de agua. La bomba preparada por el lado Japonés, tenía una capacidad máxima de 15 lit/s. Por esta razón se empleó un vertedero con escotadura de 90°, el cual fue fabricado de acuerdo al diseño hecho por los miembros de la misión, la caja del vertedero permite la medida de cada litro por segundo.

La fórmula usada para la medida es la siguiente :

$$Q = C H^{5/2} \quad \text{--- Eq.1}$$

donde Q : caudal en litro/seg.

C : coeficiente 0.014

H : tirante

Equipo de medición de nivel de agua : Para medir el nivel de agua se usó una sonda magnética de medición eléctrica, traídos del Japón.

Pruebas de bombeo :

Se decidió que la prueba de bombeo sea hecha por el lado Japonés,

como una regla. Después de ingresar a Bolivia, se tomaron las previsiones necesarias, como empaquetaduras para proteger los cables de conexión, cortado y roscado de tubos para instalación de la bomba, etc. Antes de empezar las pruebas de bombeo en el lugar, se confirmó el funcionamiento de la bomba en las plantas de purificación de agua en la zona de El Alto, revisión de las válvulas de control de flujo, revisión del medidor de presión, revisión de la sonda de nivel de agua.

3) Trabajo de Observación

El trabajo se realizó en tres pozos. En el pozo No. 22 INFOL, No. 39 SAMAPA, donde existen bombas instaladas, las cuales fueron usadas y en el pozo No. 29 CENACO, fue usada la bomba preparada por el lado Japonés. En INFOL y SAMAPA, las válvulas de compuerta, medidor de presión, etc. fueron deficientes para la prueba de bombeo, el codo, la válvula de aire, medidor de presión, y las válvulas de compuerta preparada por el lado Japonés, fueron instaladas y usadas. Al comenzar la prueba de bombeo, la válvula fue cerrada completamente y después de confirmar la presión, la válvula fue gradualmente abierta y cerrada. Durante la prueba se observó la presión y el caudal de agua.

INFOL

El trabajo de observación fue hecho durante el fin de semana porque la fábrica se encontraba en construcción. El sábado se realizó la conexión de tubos, en la construcción del canal de drenaje se removió el barro y se hizo la observación preliminar. El día domingo, la prueba de bombeo se realizó desde muy tempranas horas de la mañana hasta la noche, se trató de sacar la bomba existente, pero el pozo estaba justo bajo de la base del tanque de agua y la bomba no pudo ser extraída, entonces inevitablemente

se decidió usar la bomba existente. En la observación preliminar se confirmó que el caudal máximo de bombeo, por el alcance de la bomba fue de 5 lit/s. Asimismo en la observación final el caudal de bombeo fue incrementado litro por litro hasta alcanzar la máxima capacidad de bombeo del equipo. Se realizó una prueba de recuperación del nivel estático. Los resultados de la prueba de bombeo, se muestran en la Fig. 3.1.3-3.

CENACO

Este lugar era usado como depósito del Estado. La bomba preparada por el lado Japonés fue instalada y se realizaron las observaciones preliminares. Como el pozo no había sido usado por mucho tiempo, el primer día se drenó el lodo y limpió como primera medida, la bomba fue instalada al nivel de la rejilla a 37 m de profundidad. El más bajo nivel de agua 37 m era la meta y el test de abatimiento fue realizado de manera similar al de INFOL. El caudal cuando se alcanzó la profundidad de 37 m, se tomó como punto final en la prueba de bombeo. El paso final fue de 36.9 m y se notó el ingreso de una cantidad considerable de arena. Los resultados de la prueba de bombeo se muestran en la Fig. 3.1.3-1.

SAMAPA

Los trabajos de conexión de tubería fueron hechos al momento. Este pozo está situado en el lecho del canal de Río Seco. El ingreso de arena fina fue menor que en los otros pozos. En lugar de colocar la bomba a nivel del filtro GL-27 m se instaló la bomba GL-30 m, el test de abatimiento fue hecho como en los otros casos hasta alcanzar la máxima capacidad de bombeo por ingreso de arena. En la etapa final, el caudal de bombeo fue de 4.2 lit/s y el nivel del agua fue de -25.5 m. Los resultados de esta prueba de bombeo se muestran en Fig.3.1.3-2.

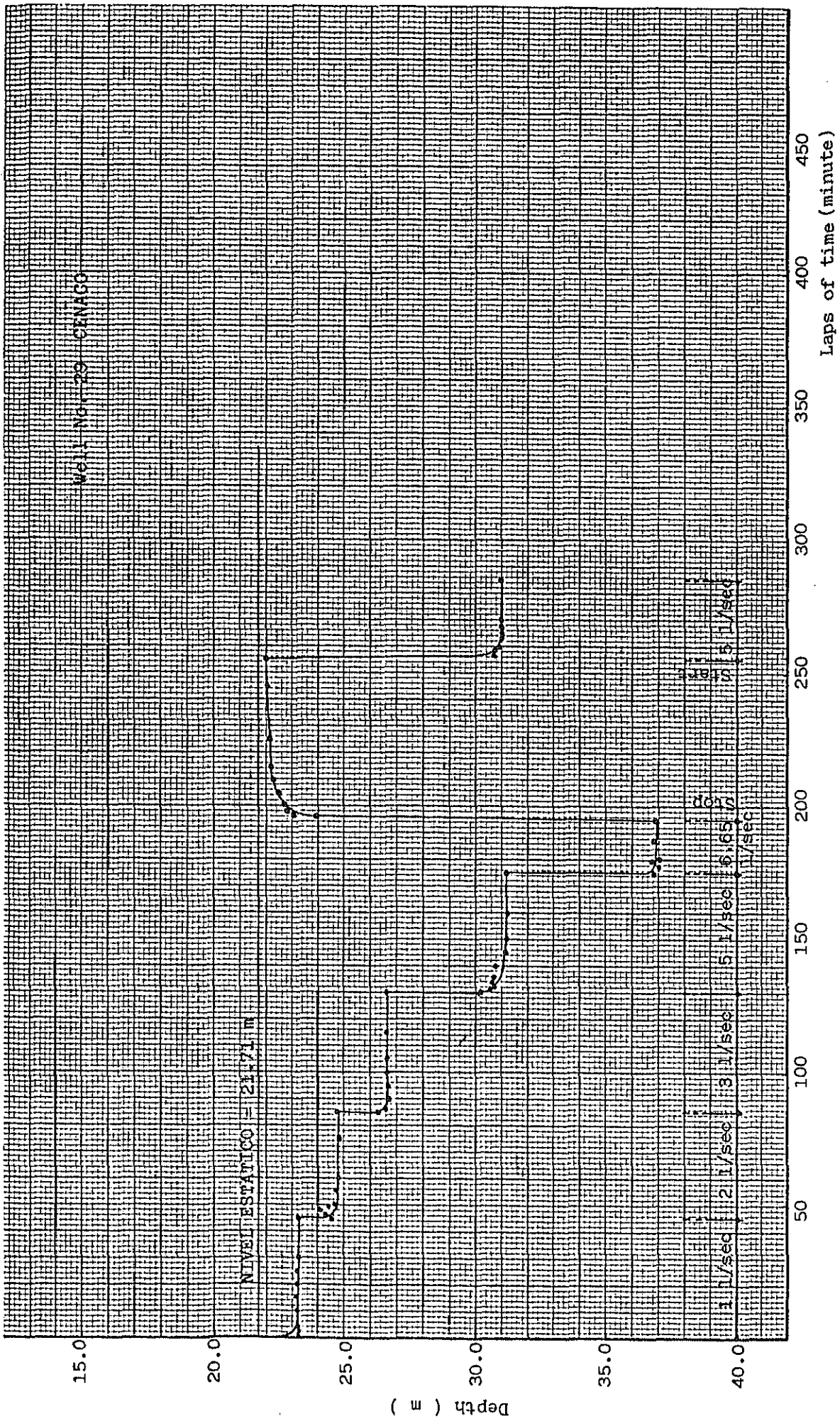


Fig. 3.1.3-1 RESULT OF PUMPING TEST (1)

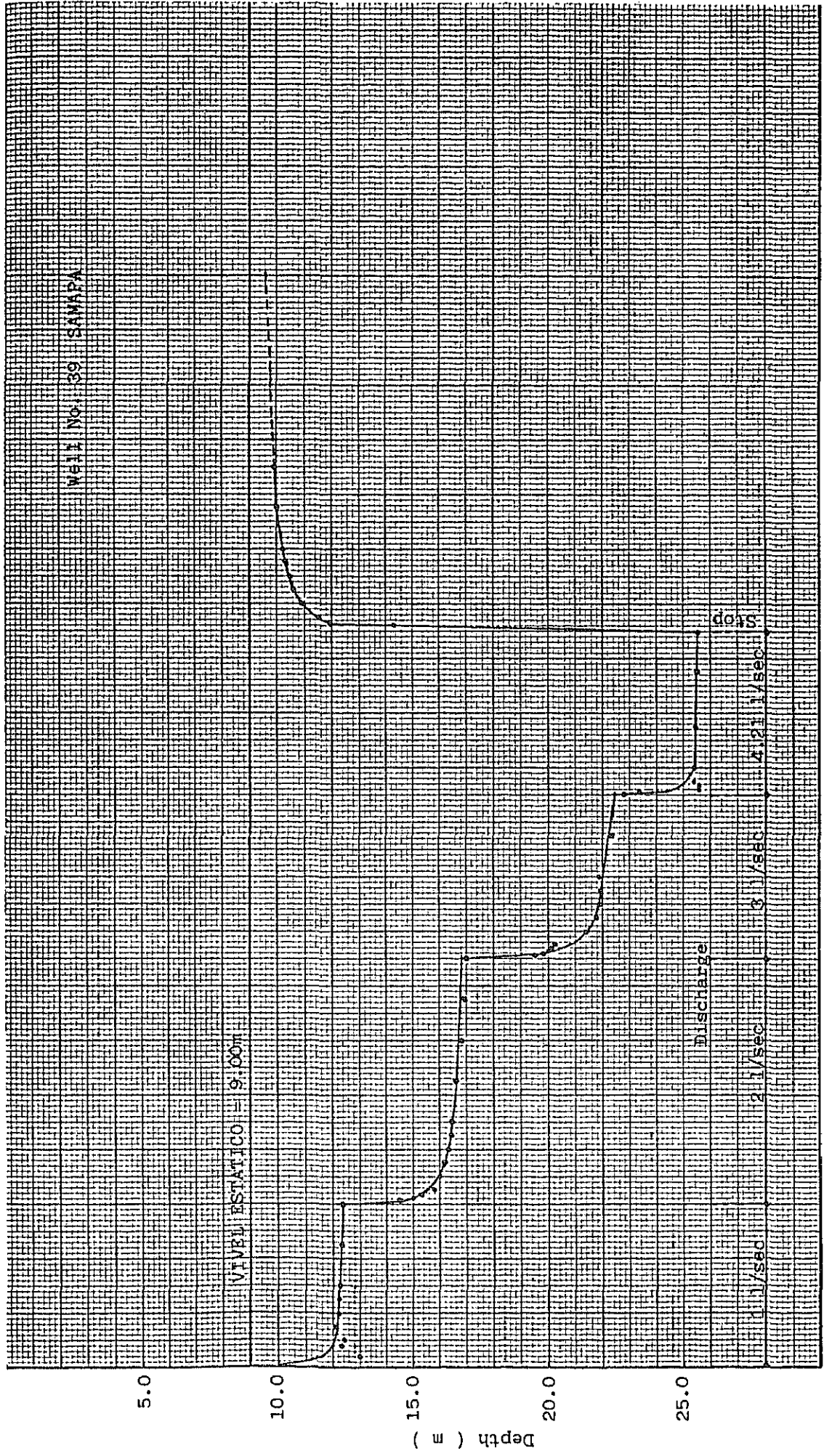


Fig. 3.1.3-2 RESULT OF PUMPING TEST (2)

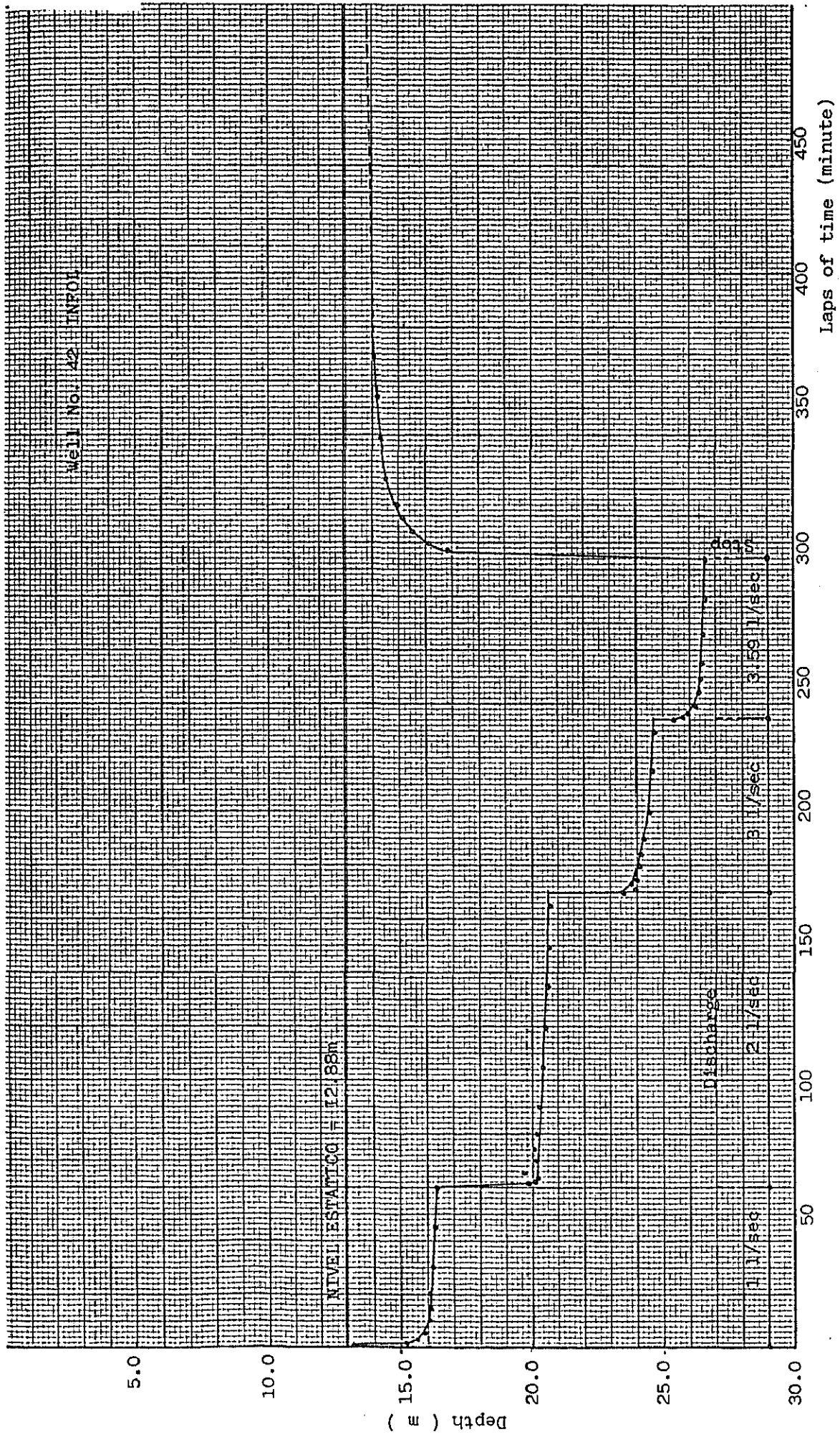


Fig 3.1.3-3 RESULT OF PUMPING TEST (?)

4) Resultado de las observaciones

De acuerdo con la ecuación de equilibrio (Eq.3) para un acuífero no confinado, se obtuvo el coeficiente de permeabilidad de cada pozo, el caudal de bombeo de cada pozo en las pruebas fueron tomados como caudal de bombeo crítico y este corresponde al 70% del caudal obtenido por cálculo.

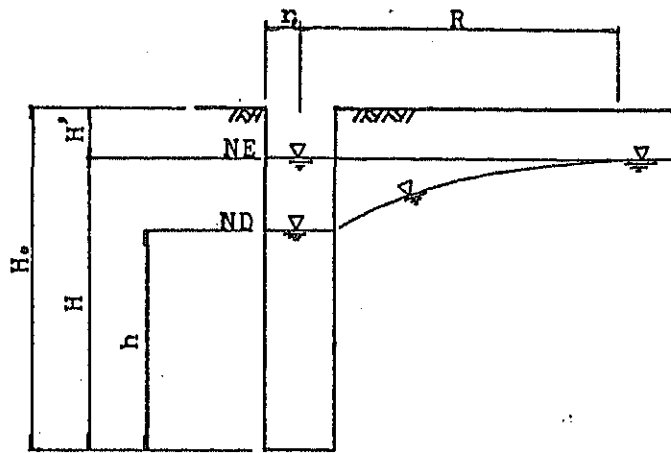


Fig. 3.1.3-4

Ecuación de equilibrio

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{2.3 \log R/r_0} \quad \text{--- Eq.3}$$

donde Q : Caudal de bombeo (m^3/min)

H_0 : Profundidad del pozo (m)

H' : Nivel estático (N.E)

H' : Profundidad del nivel estático (m)

h : Nivel dinámico (m)

r_0 : Radio del pozo (m)

R : Radio círculo de influencia (asumido como 400 m)

k : Coeficiente de permeabilidad (m/min)

Pozo No.22

$$0.18 = \frac{3.14 k (38.5^2 - 14^2)}{2.3 \log 400/0.1} \quad k = 0.3 \times 10^{-3}$$

Pozo No.29

$$0.3 = \frac{3.14 k (41.9^2 - 10.7^2)}{2.3 \log 400/0.08} \quad k = 0.49 \times 10^{-3}$$

pozo No.39

$$0.18 = \frac{3.14 k (31^2 - 17.19^2)}{2.3 \log 400/0.08} \quad k = 0.7 \times 10^{-3}$$

El coeficiente de permeabilidad está en el rango entre 0.3 y 0.7×10^{-3} con un valor medio de 0.5×10^{-3} m/min.

Normalmente observando la profundidad de los pozos en los trabajos de agua en la ciudad se considera como una meta que el caudal de bombeo sea de $1,000 \text{ m}^3/\text{día}$ por pozo o más, teniendo en cuenta, los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Como indican los resultados de la prueba de bombeo se considera que los pozos a ser desarrollados en el futuro, deberán tener más profundidad y un mayor diámetro que los pozos existentes. Sin embargo, en la parte norte del distrito de El Alto, el caudal de bombeo, no incrementó pese a que la profundidad y el diámetro de la perforación fueron aumentados.

Esto se debe a la influencia de las montañas y la profundidad del estrato morena (cerca de 70 m), y el aumento de la profundidad no es efectiva. Este punto está de acuerdo con los resultados de prospección eléctrica, por esto. a manera de esperar cantidades mayores de agua, se desearía construir pozos en el área Sur donde la profundidad de morena es mayor.

Ejemplo 1.

En el caso de la profundidad del pozo de 120 m, el nivel del agua decrece 20 m y el diámetro del pozo es de 300 mm:

$$Q = \frac{3.14 \times 0.5 \times 10^{-3} \times (120^2 - 100^2)}{2.3 \times \log 500/0.15} = 0.853 \text{ m}^3/\text{min.}$$

De este modo, el caudal de bombeo por día es de:

$$0.853 \times 60 \times 24 = 1,228 \text{ m}^3$$

Ejemplo 2.

En el caso de la profundidad del pozo de 100 m, el nivel del agua decrece 20 m y el diámetro del pozo es de 300 m.

$$Q = \frac{3.14 \times 0.5 \times 10^{-3} \times (100^2 - 80^2)}{2.3 \times \log 500/0.15} = 0.698 \text{ m}^3/\text{min.}$$

De este modo, el caudal de bombeo por día es de:

$$0.698 \times 60 \times 24 = 1,004 \text{ m}^3$$

De tal manera, que para abrir nuevos pozos, se debería seleccionar el área donde exista 100 o más metros del estrato.

3.2. Meteorología e hidrología

3.2.1. Parámetros meteorológicos

Se revisó la información meteorológica e hidrológica de cinco lugares : Milluni, Tuni, Condoriri, El Alto y Aereopuerto. Datos sobre precipitación diaria, temperatura máxima y mínima diaria del aire, temperatura promedio diaria del aire, entre los años 1982 y 1986 (Fig. 3.2.1-1).

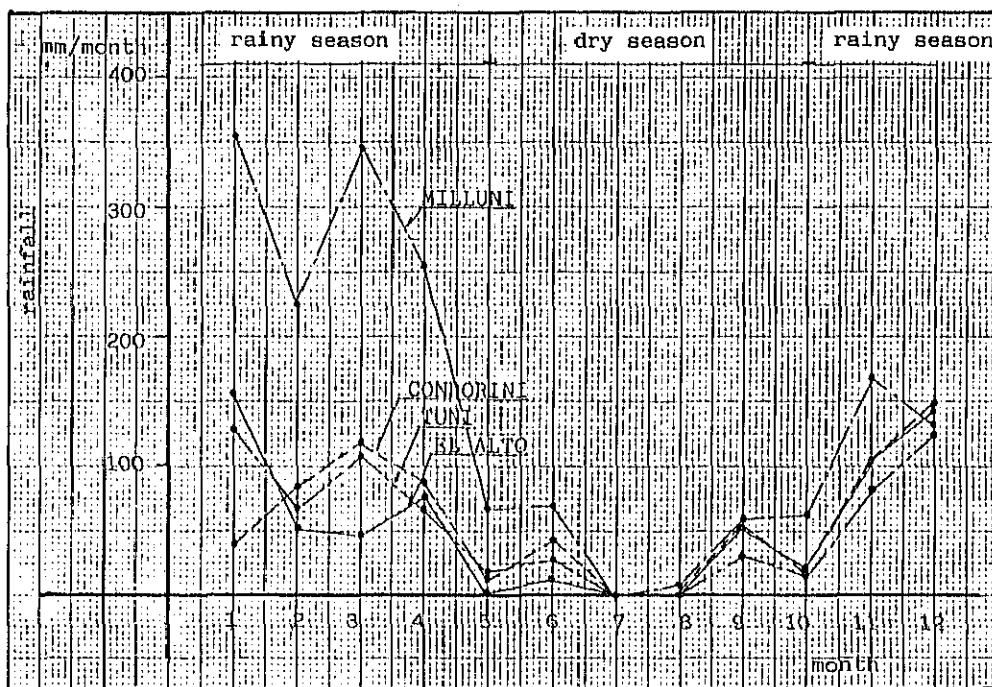


Fig.3.2.1-1 Regional mean annual rainfall (1985)

3.2.2. Observaciones de nivel de aguas subterráneas

1) Método de examen

a. Recopilación de datos y reordenamiento

La mayor parte de los pozos existentes en el área de estudio, fueron construidos por GEOBOL, por esto los datos se mantienen custodiados por ellos. Los datos de 42 pozos existentes que parecen tener alguna relación con este estudio fueron recolectados, los pozos construidos por GEOBOL, son en su mayoría del requerimiento y uso de varias fábricas en el Distrito del Alto y pocas para uso individual. Los datos de cada pozo incluyendo ubicación, propiedad, año de construcción, personal maquinaria usada, condición de ejecución, condición geológica, instalación de tubería de forro e instalación de rejillas, resultados de la prueba de bombeo, etc. nos orientaron para estudiar la condición de construcción y los registros fueron basados en estos datos.

b. Examen de pozos existentes

Los pozos existentes a ser examinados fueron construidos de 1974 a 1987. A manera de conocer acerca de los cambios en el nivel del acuífero entre la fecha de construcción al presente se usaron los datos del inventario de pozos arriba mencionados.

Los ítems de estudio son los siguientes:

- Condiciones presentes de operación.
- Diámetro del tubo y clase de tuberías.
- Nivel estático y nivel dinámico del agua.
- Caudales bombeados por día.
- Tiempo de operación por día.

c. Decir la altura de los pozos existente

De los pozos existentes, seleccionados del inventario provisional de pozos, se midió el nivel máximo de pozo y nivel máximo de tierra, es decir la altura. Este estudio fue conducido por 2 equipos de miembros de SAMAPA.

d. Preparación de lista de pozos

Los siguientes puntos fueron seleccionados para el examen :

- Pozo No.
- Nivel estático del agua (altura).
- Diferencia del nivel estático del agua entre el tiempo de construcción a la fecha.
- Diámetro del pozo.
- Profundidad del pozo.
- Caudal de bombeo posible a la fecha de construcción.

2) Examen en la época de lluvia

Para analizar los mecanismos de recarga, fueron medidos los niveles estáticos de agua en los pozos existentes. Mediante el examen de recuperación del nivel de aguas se confirmó que el nivel estático del agua, se recuperó después de una hora de haber parado el equipo por esto el nivel de agua fue medido en aquellos pozos que no habían sido operados y en aquellos que se mantuvieron parados durante más de una hora. Durante el periodo de estudio sucedió que 4 días consecutivos fueron Feriados Nacionales incluyendo sábado y domingo. En estos días todas las fábricas del Distrito del Alto suspendieron sus actividades. El último día de fiestas se midió el nivel de agua en las fábricas en las cuales se pudo ingresar, confirmando que no había habido cambio en el nivel estático después de una hora de haber apagado el equipo. Con el examen que se hizo

durante la estación de lluvias permitió aclarar los siguientes aspectos :

- a. En el área donde la distancia entre pozos es pequeña, el nivel estático del agua decrece año tras año y produce una interferencia mutua.
- b. En el área donde la distancia entre pozos es largo, y la cantidad de bombeo es pequeña, el nivel de agua subterránea sufrió un ligero cambio desde 1973.
- c. Los resultados de los exámenes de recuperación del nivel estático, y la observación del decrecimiento del nivel de agua, indican que el tiempo de reacción es corto.
- d. Por el diámetro del pozo el caudal de bombeo es pequeño.

3) Exámenes en la estación seca

El examen en esta estación fue hecho con la misma técnica utilizada en la época de lluvias. Esto es, en el área central del distrito de El Alto de La Paz, el nivel de agua en la estación seca tiende a disminuir con relación a la época de lluvias, pero en otras áreas los valores son aproximadamente los mismos. Las magnitudes y causas de los flujos de cada área, han sido investigados de la siguiente manera:

a. Area Central del Distrito del Alto, (llena de fábricas)

Esta área está poblada de fábricas, se considera que el nivel de aguas subterráneas disminuye por el consumo de agua en la estación seca. El aumento de consumo es debido al suministro de agua para la agricultura más que para el uso de operación de las fábricas (Tabla 3.2.2-1).

Tabla 3.2.2-1

Pozo No.	Nombre del Pozo	Rango de Fluctuación del Nivel Agua *
5	LIQUID CARBONIC	-1.50
6	BERA BOLIVIA	+0.34
7	VASCAL	-0.04
24	CENACO	-1.55
27	IMBOLSA	-2.23
28	ARANDO	-2.31
	Total	-7.29
	Promedio	-1.22

* Comparándolo con el nivel de agua en la época de lluvia.

- b. Otras áreas en la parte central del distrito de El Alto (Casi sin Viviendas)

En estas áreas, el consumo de agua es sólo para beber y es pequeña. De modo que las fluctuaciones debido al bombeo son también pequeñas. Se considera que en estas áreas hay una pequeña diferencia de nivel de aguas subterráneas entre ambas estaciones.

Tabla 3.2.2-2

Pozo No.	Nombre del Pozo	Rango de Fluctuación del Nivel Agua *
2	FANVIPLÉN	-0.32
3	LABOFARMA	0.00
9	GEOBOL	-0.06
8	HORMITABOL	+0.20
18	BAWVI	-0.87
17	ELMEL	-0.53
20	JABONES PARTRIA	-0.16
13	CONVIFAG	+1.24
10	Y.P.F.B.	+0.46
12	COVIMA	+0.69
31	INSA	+0.39
	Total	+1.04
	Promedio	+0.09

* Comparándolo con el nivel de agua en la época de lluvia.

4) Observación continua

Para este estudio se decidió instalar un registro automático de nivel de agua limnógrafo automático. Se decidió instalar el instrumento en el pozo de GEOBOL (pozo No.9) puesto que el ingreso de los habitantes no era permitido. La preparación del diseño y montaje del registro estuvo a cargo de SAMAPA. Con la presencia de la misión de estudio, la medición comenzó el 25 de Febrero de 1987 y continuó hasta el 31 de Julio, concluyendo el examen de la época seca. Durante este período se reemplazaron los registros una vez al mes por SAMAPA, la medición fue interrumpida 2 veces por problemas ocurridos. Los resultados obtenidos fueron casi suficientemente seguros para ejecutar los propósitos intentados al principio. Además, los valores máximo diario, promedio y mínimo, fueron obtenidos de las gráficas por SAMAPA, la información fue procesada a través de la computadora preparada por el lado Japonés, con esos datos se prepararon gráficas y tablas. Los siguientes son los resultados obtenidos:

- Promedio máximo diario del nivel de agua : -13.74 m en Marzo 1
- Promedio mínimo diario del nivel de agua : -15.34 m en Julio 30
- Fluctuación máxima diaria : 0.76 m en Febrero 28

Como este pozo no estaba en operación, el nivel estático normal del acuífero debía ser el medido, pero las fluctuaciones diarias fueron tan grandes que sugieren que existe interferencia con otros pozos. Cerca de este pozo existen los pozos de HORMITABOL, casi a 1300 m y los FANVI-PLAN y LABOFARMA, 600 m aguas más arriba del punto de ingreso del agua subterránea. Por otro lado es obvio que el nivel del agua es alto en la estación de lluvia y es bajo en la estación seca. Se considera que estos datos pueden ser usados como predicción en los análisis de balance de agua.

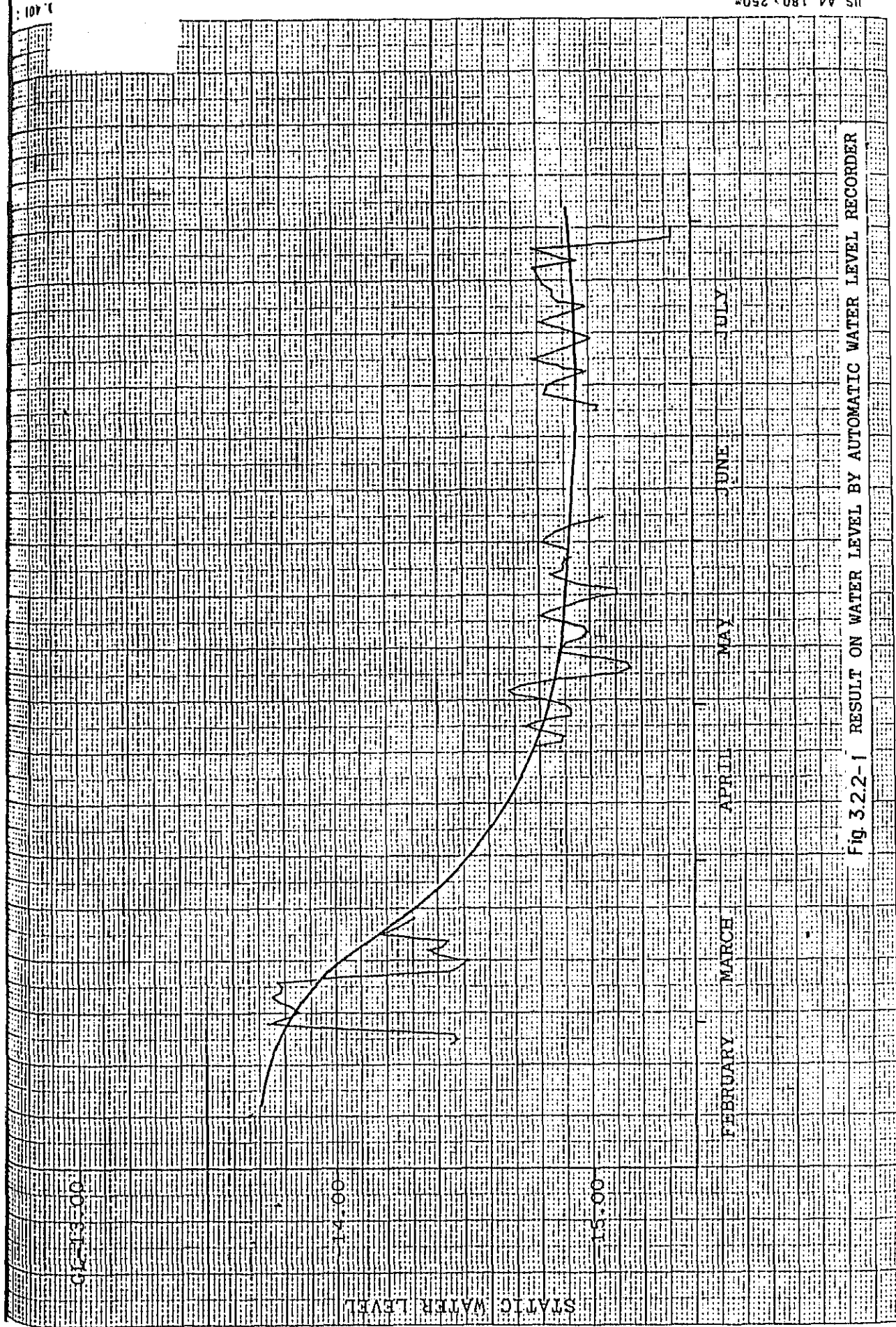


Fig. 3.2.2-1 RESULT ON WATER LEVEL BY AUTOMATIC WATER LEVEL RECORDER