



**BRGM**



**seureca**

**evaluacion de los recursos de agua  
y abastecimiento en agua potable  
de la ciudad de Cochabamba  
Bolivia**

**Febrero 1.990**

**R 30505  
EAU 4S 90**

**BRGM**

**BUREAU DE RECHERCHES  
GEOLOGIQUES  
ET MINIERES**

**B.P. 6009  
45 060 ORLEANS Cédex 2  
Tél. 38.64.34.34  
Télex BRGM 780 258 F**

**SEURECA**

**SOCIETE D'ETUDES  
POUR L'URBANISME, L'EQUIPEMENT  
ET LES CANALISATIONS**

**6, rue Anatole de la Forge  
75 017 PARIS  
Tél. 47.66.48.00  
Télex 643 415 F**

## PRELIMINAR

Este informe está inscrito en el marco del Programa del Banco Mundial PPF-444-Bo.

Los trabajos fueron realizados entre noviembre de 1989 y finales de febrero de 1990 por R. Gouzes, doctor en hidrogeología, y G. Delpont, doctor en geología del BRGM.

Esta parte del proyecto, realizada por el consorcio BRGM-SEURECA, ha sido financiada por los créditos de la Ayuda francesa.

El personal de la SEMAPA, mediante su ayuda eficaz y su cooperación amistosa, ha facilitado enormemente la realización del trabajo, al igual que el personal de la Base Aérea Militar de Cochabamba y, en especial, el personal del grupo de helicópteros.

Los autores desean expresar su agradecimiento a todos aquellos que prestaron su colaboración, esperando que encuentren aquí el debido reconocimiento.

René GOUZES y Georges DELPONT

Traducción: Díaz Pintado, Rocío

## INDICE

INFORME PRINCIPAL	
- RESUMEN	I
- CONCLUSIONES	III
- RECOMENDACIONES	VI
1 - IDENTIFICACION DE LA REGION DE ESTUDIO	1
1.1 - Características físicas	1
1.1.1. Situación geográfica	1
1.1.2. Morfología	1
1.1.3. Clima	3
1.1.4. Hidrografía	4
1.1.5. Vegetación	4
1.1.6. Geología	6
1.2 - Características asociadas al hombre	9
1.2.1. Población	9
1.2.2. Agricultura	11
2 - RECURSOS DE AGUA DE LA REGION	12
2.1 - Recursos de aguas subterráneas	12
2.1.1. Formaciones geológicas de la Cordillera	12
2.1.2. Formaciones geológicas de las llanuras de Cochabamba-Sacaba, Punata-Cliza y Santiváñez	14
2.1.3. Conclusiones	20
2.2 - Sistemas de captación y de explotación de las aguas subterráneas	21
2.2.1. Los pozos	21
2.2.2. Galerías de infiltración	23
2.1.3. Conclusiones	24
2.3 - Sistemas de captación y de explotación de las aguas superficiales	24
2.3.1. El sistema central	24
2.3.2. Sistema San Juan-San Pablo	27
2.3.3. Sistema Wara-Wara, Chungara	27
2.3.4. Embalse de Angostura	28
2.3.5. Conclusiones	30
2.4 - Balance global de los recursos utilizados actualmente	30
2.5 - Evaluación de los recursos potenciales	31
2.6 - Conclusiones parciales	33
3 - ESTIMACION DE LA DEMANDA DE AGUA PARA LA CIUDAD DE COCHABAMBA	35

4 - PROGRAMA DE TRABAJOS	39
4.1 - Pozos profundos en la llanura de Cochabamba	39
4.2 - Rehabilitación de los campos de los pozos de Vinto y Coña-Coña	41
4.3 - Preparación de un plan director de aprovechamiento y de gestión de las aguas	42
4.4 - Diagnóstico de las redes existentes. Programa de desarrollo futuro	44
4.5 - Medición de las aguas superficiales	44
4.6 - Explotación de los recursos termales de Liriuni	45

#### LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1. Area del proyecto 1:500.000 SPOT
2. Perfiles longitudinales de los ríos
  3. Unidades estratigráficas y características hidrogeológicas
  4. Esquema hidrogeológico de la cuenca de Cochabamba
  5. Esquema general del abastecimiento de agua
  6. Llanuras de Cochabamba y Sacaba
  7. Llanuras de Punata-Cliza
  8. Operación Presa Escalerani
  9. Angostura. Curvas de embalses y consumos
  10. Zona propuesta para el estudio y la explotación de aguas subterráneas mediante pozos profundos

#### ANEXOS TECNICOS

- Anexo I Estudio de las imágenes de satélite
- II Características de los pozos de Vinto
- III Aguas superficiales de la Cordillera
- IV Elementos de cálculo de los costos
- V Liriuni

## RESUMEN

La ciudad de Cochabamba, segunda ciudad de Bolivia, tenía 81.000 habitantes aproximadamente en 1.950, 205.000 en 1.976 y más de 365.000 en la actualidad. El índice de crecimiento medio previsto es del 4%, lo que supone una población de 580.000 hab. en el año 2.000 y de 858.000 en el 2.010. Para responder a este desarrollo acelerado, es necesario prever las inversiones que puedan asegurar los servicios fundamentales de la ciudad, es decir, abastecimiento de agua, saneamiento, suministro de electricidad, etc.

El presente informe describe el estado actual de la producción de agua potable, los recursos potenciales y propone un programa de proyectos para desarrollar los recursos en lo sucesivo. Sería conveniente llevar a cabo un trabajo similar en los ámbitos de la distribución y el saneamiento.

Cochabamba está ubicada en una depresión totográfica de 1 km de profundidad aproximadamente. La Cordillera y las zonas montañosas la dominan por todos lados. La depresión está llena de formaciones acuíferas cuaternarias de 400 a 800 m de espesor. El conjunto de esta estructura forma una cuenca casi cerrada en la que el agua de lluvia se concentra, infiltra y evapora, fluyendo naturalmente por las formaciones profundas en dirección río abajo.

La utilización conjunta de las aguas subterráneas y de las superficiales provenientes de la Cordillera asegura el abastecimiento de agua de la ciudad de Cochabamba. La mayoría de las instalaciones existentes se construyeron en el marco de programas de urgencia.

La producción de aguas subterráneas tiene lugar, en su mayoría, en los campos de captación de Vinto, El Paso y Coña-Coña. Todos estos pozos tienen poca profundidad (de 150 a 200 m) y captan únicamente la parte superficial de las formaciones acuíferas, a veces las menos favorables. Con una producción media de 160 l/s aproximadamente, los pozos aseguran el 31% del suministro de agua. El estado actual de los pozos (exceptuando los 3 que comenzaron a producir a finales de 1.989) impide la producción del volumen previsto cuando fueron construidos (corrosión, equipo inadecuado...). Su rehabilitación sería beneficiosa.

La realización de sondeos profundos en las zonas favorables de la llanura permitiría la movilización inmediata de recursos suplementarios de agua subterránea de volumen considerable (cientos de l/s).

La recolección de las aguas superficiales de la Cordillera se lleva a cabo mediante un sistema complejo de tomas de agua, canales, embalses de almacenamiento y reguladores a más de 4.000 m de altitud. Las aguas se desvían a la llanura a través de las quebradas naturales, siendo recuperadas en parte por las obras de captación (tomas, galerías de filtración). Las pérdidas de este sistema (en los canales, quebradas, etc.) ascienden al 40%. La red de mediciones no es operativa, los sistemas instalados son deficientes o no han sido calibrados y no hay tratamiento informático de los datos. Con 360 l/s en 1.988, las aguas de superficie cubrieron el 69% de la producción, siendo la producción total en este año de 516 l/s; en 1.989, año de escasez de lluvias importante (aún más que en 1.967), la producción total fue de 400 l/s únicamente.

La red de producción actual administrada por la SEMAPA cubre al 70% de la población. Las pérdidas en la red de distribución oscilan del 30 al 40%. En 1.988, el consumo real fue de 120 l/día por persona servida. Los pronósticos sobre la demanda futura (aumento de la población, mejora de la cobertura del servicio y disminución de las pérdidas) estiman en 715 l/s las necesidades de producción total para hoy en día, en 1.000 l/s para 1.995, 1.350 l/s para el año 2.000 y 2.360 l/s para el 2.010.

Un primer cálculo del balance hidráulico de la cuenca de Cochabamba pone de relieve un excedente de recursos superficiales y, en particular, subterráneos, por lo cual debería ser posible satisfacer la demanda presente y futura hasta el año 2.010 o más. Antes de realizar inversiones importantes, es necesario confirmar los cálculos mediante trabajos de evaluación de los recursos y preparación de un plan director regional de aprovechamiento del agua. El plan debe contemplar los aspectos institucionales relativos al agua, así como una legislación de aguas (derechos de usuario de los campesinos).

El programa de actuaciones y estudios propuesto tiene como objetivos paliar la situación de penuria actual y organizar el desarrollo futuro. Este programa comprende la descripción de los trabajos y un cálculo del tiempo y los presupuestos necesarios.

## CONCLUSIONES GENERALES

La ciudad de Cochabamba está situada en un llanura a 2.600 m de altitud aproximadamente y rodeada de los relieves montañosos de la Cordillera (de 4.500 a 5.000 m de altitud). La cuenca de Punata-Cliza tiene una ubicación similar.

Ubicada en el centro de Bolivia, su clima comprende una estación de lluvias, de octubre a finales de abril, y una estación seca, de mayo a septiembre. En las llanuras bajas, las precipitaciones anuales oscilan de 500 a 550 mm, mientras que en la Cordillera ascienden a 1.000 mm. En 1.988, las lluvias fueron muy escasas (160 mm únicamente en comparación con 460 mm de media en Angostura), de donde un déficit considerable de agua superficial. En noviembre de 1.989, los embalses de la Cordillera estaban vacíos, por lo que fue necesario instalar bombas para utilizar las reservas de las aguas muertas de los embalses. En efecto, la estación de lluvias del periodo 88/89 comenzó a principios de diciembre de 1.989, lo que supone un retraso de un mes y medio con respecto a lo normal.

Los recursos de agua subterránea se estudiaron en 1.976-1.978 en el marco del proyecto de las Naciones Unidas Projeet PNUD OCT/BOL 73005. Aunque un poco antiguo, el informe editado al término del proyecto constituye un elemento fundamental para conocer las aguas subterráneas de las cuencas de Cochabamba-Sacaba y Punata-Cliza. Los estudios y trabajos futuros deben basarse en este último.

Las formaciones geológicas de la Cordillera están poco fracturadas y han sufrido fenómenos intensos de tectonismo, por lo que no se las puede considerar como formaciones acuíferas generalizadas con fines de una explotación importante. Sin embargo, sí se dan recursos minero-medicinales (Liriuni y posiblemente el pie de la Cordillera en la llanura de Sacaba), que parecen poder prestarse a un desarrollo económico.

Los sedimentos recientes, cuaternarios, que rellenan las cuencas de Cochabamba y de Punata son acuíferos y su espesor varía de 400 a 800 m. Al pie de la Cordillera, en la zona de los abanicos de los ríos, el manto es libre y los caudales específicos elevados; hacia el centro de las cuencas, los sedimentos son más finos (arenas y arenas arcillosas) y el manto es cautivo. Diversos pozos - privados o públicos - explotan el manto, pero tienen poca profundidad (de 100 a 200 m como máximo) en relación al espesor de la zona productiva potencial (más de 500 m en general).

No todos los pozos de los campos de captación de Vinto y Coña-Coña producen actualmente (caudal específico bajo, ingreso de arena, interferencias entre los pozos, anhídrido sulfúrico...). Ni el acondicionamiento, ni el equipo de los pozos son adecuados. Se ha propuesto la realización de trabajos de rehabilitación. Se ha observado que los únicos pozos en producción son los que captan las formaciones de base del cuaternario. Por ello, se ha propuesto la perforación de nuevos pozos de mayor profundidad, es decir, de 400 a 500 m, en las zonas de sedimentos de grano grueso para captar la base de los aluviones recientes. La producción total de agua subterránea es de 160 l/s, es decir, el 31% de la producción actual. Si se perforaran sondeos

profundos, debidamente realizados, sería posible movilizar en un corto plazo de tiempo un suplemento de 400 a 500 l/s.

Gracias a un sistema complejo de obras de toma de agua y de canales que recolecta parte de la escorrentías de los torrentes y los escurrimientos, se captan y almacenan las aguas superficiales en la Cordillera. El agua se almacena en la presa del embalse de Escalerani (6 millones de m<sup>3</sup>) que en año normal se llena a principios del mes de marzo. A continuación, se canalizan hasta el embalse regulador de La Cumbre y de ahí al valle 1.500 m más abajo a través de la quebrada de Tolapujro. Entonces, una toma de agua las capta de nuevo.

Un sistema análogo de presa, embalse, canales y escorrentias en las quebradas capta las aguas de las subcuencas de San Juan, San Pablo y Wara-Wara. Aquí, o bien la toma de agua, o bien la galería de infiltración de Chungara captan las aguas.

A causa de la extensión del sistema - más de 30 km de canales en total - y de su complejidad, las pérdidas son muy importantes, oscilando del 30 al 40% del total recolectado. Por el momento, es imposible realizar un cálculo, debido a la falta de una red de medición fiable.

Sería posible mejorar el rendimiento de la instalación mediante la ejecución de los trabajos pertinentes para evitar las pérdidas (impermeabilización de los canales, canalización metálica para transvasar el agua al valle...).

Para empezar, se ha propuesto la instalación de un sistema completo e informatizado de medidas hidráulicas (programa de macromedición).

A continuación resumimos el balance global de los recursos utilizados correspondiente al año 1.989, en términos de l/s/año:

Aguas de superficie:	- producción	410 l/s
	- pérdidas	150 l/s
	- aprovechadas	360 l/s
Aguas subterráneas:	- aprovechadas	160 l/s
Producción total		520 l/s

En noviembre de 1.989, la producción total debió ser, como máximo, de 400 l/s.

Un ensayo de balance de los recursos hidráulicos del conjunto de las cuencas de Cochabamba y de Punata (3.470 km<sup>2</sup> en total) ofrece una idea aproximativa de los recursos potenciales.

Si se destinan 2,5 m<sup>3</sup>/s para el abastecimiento de agua de la ciudad y de los pueblos, es decir, 79•10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (consumo previsto para el año 2.010) y 1 l/s/ha para el riego de 30.000 has 120 días al año, es decir, 311•10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> anuales, el balance sería:

Precipitaciones:	2.082
Evapotranspiración:	-1.041
Consumo humano:	-79
Riego:	-311
Escorrentia:	-285
	-----
Excedente:	366.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

El balance muestra, a priori, un excedente, habiendo considerado incluso las demandas de agua para consumo humano y para riego previsibles para el año 2.010.

La confirmación del balance es un trabajo prioritario sin el cual no se puede definir un plan director general de aprovechamiento y gestión de las aguas de la región. El informe comprende el programa de los trabajos necesarios para la confirmación del balance, así como los presupuestos correspondientes.

En el cálculo de la demanda de agua correspondiente a Cochabamba, se han considerado factores como el aumento de la población, la mejora del servicio y el incremento de la dotación por habitante. Las necesidades actuales son de 700 l/s, de 900 l/s en 1.992, de 1.000 l/s en 1.995 y de 2.350 l/s en el año 2.010. En cuanto al número de conexiones se refiere, se calcula que pasará de las 33.000 de 1.989 a 140.000 en el año 2.010. Gracias a un diagnóstico técnico, se podrá calcular con mayor precisión la demanda futura y, en consecuencia, definir los trabajos que será necesario realizar (extensión de la red de abastecimiento y saneamiento). El informe incluye el programa propuesto para este fin.

## RECOMENDACIONES

### Recomendaciones generales - Programa de trabajos

Las siguientes recomendaciones reúnen el conjunto de los proyectos propuestos con el objetivo de construir, por etapas, las instalaciones necesarias al desarrollo económico y humano de la región.

Reducción del actual déficit de producción:

- 1 \* Construcción de 8 a 10 pozos de producción de 450 m de profundidad media en la zona - a priori - más favorable de la cuenca de Cochabamba. Duración: 12 meses aproximadamente; presupuesto: 3,75 M US \$; objetivo: 500 l/s suplementarios.
- 2 \* Rehabilitación de los campos de captación de Vinto y de Coña-Coña. Duración: 12 a 15 meses; presupuesto: 3,0 M US \$; objetivo: 150 l/s suplementarios.

Programación de inversiones a largo plazo.

- 3 \* Diagnóstico de las actuales redes de distribución y saneamiento. Programa de desarrollo futuro. Duración: 4 meses; presupuesto: 0,175 M US \$; objetivo: definición de un programa de mejoras y de trabajos a realizar hasta el año 2.010.
- 4 \* Evaluación de los recursos de agua y definición de un plan director regional de aprovechamiento y conservación del agua. Duración: 2 años; presupuesto: 5,0 M US \$; objetivo: definir, a partir de un cálculo detallado de los recursos de agua subterránea y superficial, un programa de trabajos necesarios para la movilización y el aprovechamiento óptimo del agua, así como una política de aprovechamiento de los recursos y de desarrollo regional.
- 5 \* Medidas de producción de agua de superficie. Duración: 1 año; presupuesto: 0,7 M US \$; objetivo: instalar un sistema de medición de los caudales y volúmenes producidos y de las pérdidas del sistema. Informatización de datos. Selección basada en criterios técnico-económicos de los trabajos que es necesario realizar para reducir las pérdidas y para que la gestión del sistema de recolección, almacenamiento y transporte del agua de superficie sea óptima.
- 6 \* Recursos minero-medicinales (Liriuni) Duración: 8 meses; presupuesto: 0,8 M US \$; objetivo: localizar por sondeo los recursos con el fin de rehabilitar el balneario de Liriuni. Prospección de los recursos de las cuencas de Cochabamba-Sacaba para crear un centro de desarrollo económico (curas termales, embotellado, turismo).

Dada la actual situación de penuria, la propuesta 1 debería ser prioritaria. En cuanto a la programación de inversiones a largo plazo, las propuestas 3 y 4 deben llevarse a cabo cuanto antes si se quiere salvar el desfase existente entre las necesidades y las posibilidades

actuales y futuras. Todo esto debería conducir a la racionalización del sistema de producción. Se podría integrar la propuesta 5 en la 3 o en la 4. La realización de la propuesta 6 podría generar un desarrollo económico regional importante.

**Recomendaciones diversas:**

- Aguas subterráneas: Estudios

- \* Llanura de SACABA: estudios de las posibilidades de llegada de aguas termales profundas al pie de la cordillera, a lo largo de la falla de Tunari.

Inventario de los pozos existentes, análisis químicos de las aguas, medidas in situ del PH, de la conductividad eléctrica y de la temperatura, nivelación de los pozos y elaboración de mapas de síntesis hidrogeológica (piezometría, temperatura, PH, conductividad eléctrica, etc.).

- \* Llanura de PUNATA-CLIZA

Campaña de sondeos eléctricos realizados en 1976-1978 por Geobol-NN.UU.

Recopilación de documentos de campo, lista de medidas y gráficas de los sondeos eléctricos para una reinterpretación detallada.

- Aguas subterráneas: Trabajos

- \* Gestión de los pozos (VINTO, COÑA-COÑA, EL PASO, MUYURINA...)

En el marco de una gestión nacional de los campos de captación, se debe instalar en cada uno de los pozos un sistema que asegure la medición continua del nivel de agua y de su caudal bombeado en función del tiempo. Esto permite:

- por un lado, determinar las variaciones de las características hidráulicas de las instalaciones de bombeo;
- por otro, orientar el programa de rehabilitación.

- \* Galerías de captación (CHUNGARA, TIQUIPAYA, QUEBRADA, TIRANI)

Diagnóstico detallado de su estado: caudal, longitud útil, derrumbamiento o colmatación, posibilidades de desarrollo y rehabilitación o mejora.

- Las aguas superficiales

- \* Cuencas de CBBA-SACABA y PUNATA-CLIZA

Instalación de una red pluviométrica (pluviómetros y pluviógrafos) e hidrométrica (escurrimiento de los ríos), similar a la instalada en 1976-1978 en el marco del proyecto Geobol-NN.UU. Previamente a la utilización ininterrumpida de la red, es necesario formar personal capacitado.

\* Sistema ESCALERANI

- Medición de caudales en los canales y de los niveles en las represas con el fin de:
  - obtener una correlación con las precipitaciones y los escurrimientos;
  - determinar, por un lado, las pérdidas de agua del sistema de recolección y, por otro, los trabajos de reparación y de mejoras a realizar.
  
- Readaptación de las pendientes topográficas en torno a las lagunas para reducir la erosión de los suelos y los efectos de la sedimentación de materias arcillosas en las represas (pérdida de la capacidad y turbiedad del agua durante la época lluviosa).
  
- Instalación de un sistema continuo de medición de la turbiedad del agua durante la época lluviosa.

\* Sistema WARA-WARA, SAN JUAN-SAN PABLO

- Reconstrucción de la presa de WARA-WARA e instalación de una tubería a presión para llevar el agua al valle.
  
- Reparación del túnel entre Wara-Wara y San Pablo, derrumbado en parte.
  
- Disminución del nivel de las tomas de agua en SAN JUAN y SAN PABLO; rectificación del trazo del canal de desagüe en un tramo de 400 ó 500 m para un mejor aprovechamiento de la totalidad de las reservas de las lagunas.

\* Sistema ANGOSTURA

- Los canales que conducen el agua, tanto en el Norte como en el Sur de la zona de irrigación, se encuentran invadidos por la vegetación, lo cual causa una disminución de la capacidad de transporte del sistema y, sobretodo, una importante pérdida de agua por evapotranspiración.

Este fenómeno es considerable a finales de la época seca, cuando el caudal acarreado es escaso, ya que las pérdidas a lo largo del canal pueden oscilar entre el 40 y el 50% del caudal inyectado aguas arriba. Es necesario prever el equipo y el personal necesarios para desherbar continuamente los canales.

## 1 - IDENTIFICACION DE LA REGION DE ESTUDIO

### 1.1 - Características físicas

#### 1.1.1 - Situación geográfica

El departamento de Cochabamba está situado en el centro de Bolivia. El noreste forma parte de la cuenca amazónica, mientras que el suroeste pertenece a la Cordillera de los Andes.

La ciudad de Cochabamba se encuentra aproximadamente en la parte central del departamento y sus coordenadas geográficas son las siguientes:

17° 23' de Latitud Sur  
66° 10' de Longitud Oeste

La ciudad se sitúa en una depresión topográfica, la cuenca de Cochabamba-Sacaba, que comprende diversas localidades, entre ellas, Quillacollo, Tiquipaya y Sacaba. Al este y al sureste de Cochabamba se encuentra otra depresión, la cuenca de Punata-Cliza. Las cuencas están ubicadas entre 2.500 y 2.800 msnm. La superficie de las cuencas hidrográficas es de 1.510 km<sup>2</sup> para Cochabamba-Sacaba y de 1.960 km<sup>2</sup> para Punata-Cliza.

La pendiente topográfica de estas cuencas se desarrolla por lo general de Este a Oeste, estando la zona ocupada principalmente por campos y cultivos de regadío.

Las cuencas limitan al Norte con la Cordillera, cuya altitud es de 4.000 a 5.000 m aproximadamente. El límite está marcado por una pendiente muy acentuada con un desnivel de más de 1.000 m. Dicho relieve se debe a un sistema de fallas.

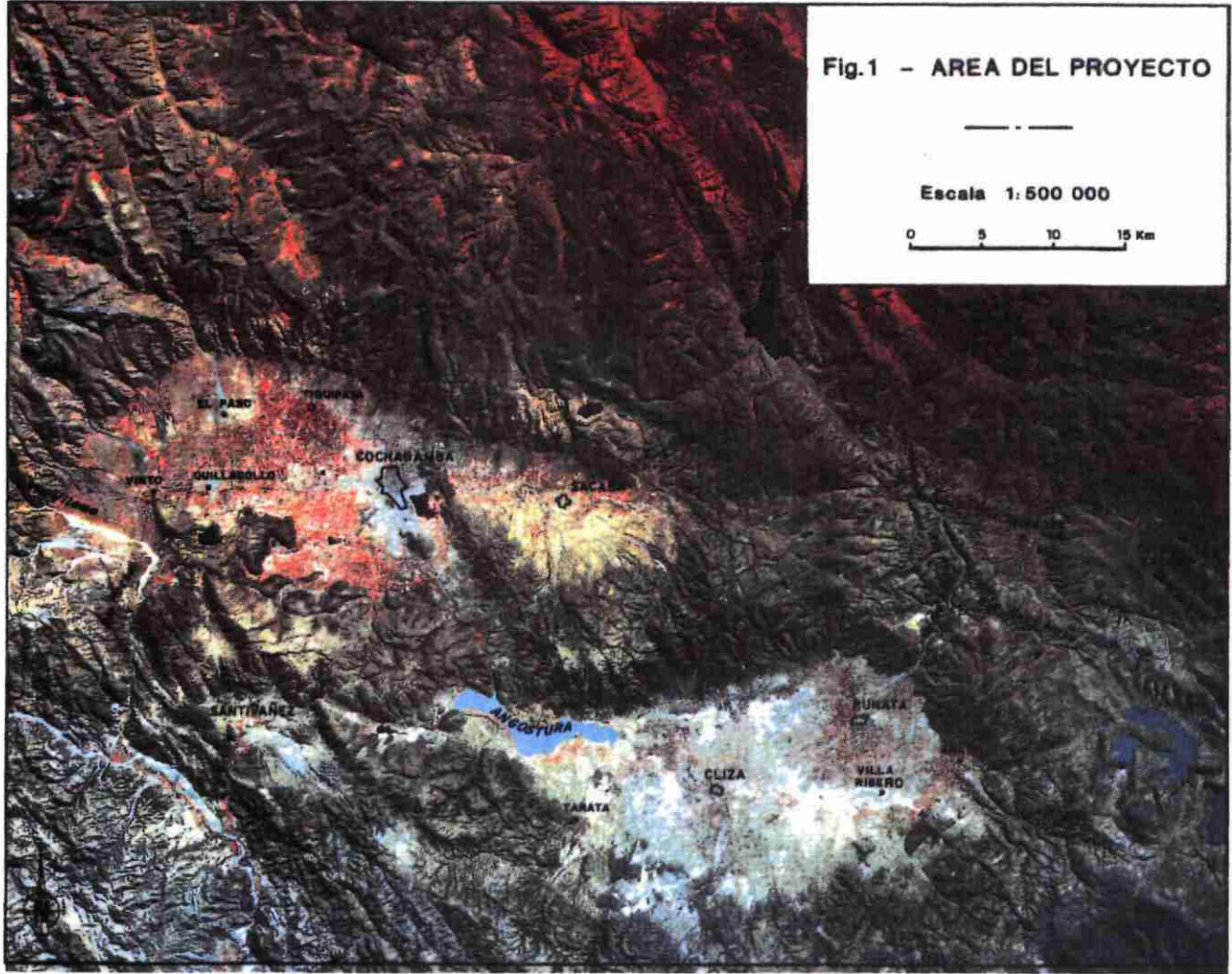
Hacia el Sur de las cuencas la disposición es parecida, aunque disminuye la altitud de la Cordillera en general, siendo aquí de 4000 m aproximadamente.

La zona estudiada en el presente informe comprende las cuencas hidrológicas de Cochabamba-Sacaba y Punata-Cliza, cuya extensión hacia el norte permite la inclusión en el estudio de la zona de las lagunas de la Cordillera (Escalerani, La Cumbre, Lagón Mayu, Saytu Khocha, etc.) que hidrológicamente forman parte de las cuencas adyacentes.

La figura 1 del mapa muestra la zona abarcada por el Proyecto.

#### 1.1.2 - Morfología

La zona comprendida en el proyecto abarca dos ámbitos morfológicamente distintos: la zona montañosa de la Cordillera y las cuencas sedimentarias.



**\* La Cordillera y las zonas montañosas:**

La altitud de estas montañas que rodean a los valles oscila de 3.500 a 5.000 m. El pico TUNARI, a 5.012 m sobre el nivel del mar, es el punto más alto del norte de la Cordillera y su cima está cubierta de nieve con frecuencia. Las cimas situadas entre los 4.400 y los 5.000 m son por lo general abruptas y muy escarpadas y registran fenómenos intensos de erosión mecánica y térmica: derrubios angulosos, resquebrajamiento causados por el hielo...

Entre 4.400 y 3.900 m, la topografía está profundamente marcada por la reciente erosión glaciaria. Se dan grandes extensiones de formas redondeadas por los glaciares cuaternarios, importantes depósitos de morrenas y valles en U. En esta zona se encuentran las lagunas, que corresponden a zonas de sobreexcavación glaciaria situadas aguas arriba de una zona más resistente (umbral glaciario).

En la zona comprendida entre 3.900 y 2.800 m, las pendientes son abruptas y están orientadas hacia las cuencas. Al norte de la llanura de Cochabamba, esta zona jalona el accidente mayor de la falla de Tunari, que tiene de 1.500 a 2.000 m de desplazamiento vertical.

Los ríos que recogen las escorrentías de superficie de la zona alta discurren por el fondo de gargantas profundas de fuerte pendiente. La erosión de las tierras es muy intensa.

En las partes bajas de las laderas y vertiente, los conos de deyección de los torrentes presentan superficies de terreno con poca pendiente topográfica y la mayor parte de las escorrentías se infiltra en los aluviones del lecho.

**\* Cuencas de Cochabamba-Sacaba y de Punata-Cliza.**

Ambas depresiones, de orientación este-oeste, forman dos canales muy llanos, cuyas aguas superficiales drenan el río Rocha al sudoeste de la zona del Proyecto. Los diferentes niveles de las terrazas aluviales estudiadas ponen de relieve los episodios climatológicos que tuvieron lugar durante la colmatación de las cuencas por los aluviones recientes.

Esta disposición en forma de depresión alargada este-oeste hace que las escorrentías de superficie se reúnan en las llanuras aluviales (escorrentías centripetas) donde la vegetación infiltra o evapotranspira gran parte, evacuando el resto el río Rocha.

**1.1.3. - Clima**

La zona, situada geográficamente entre los paralelos 17° y 18° Sur, presenta un clima de características tropicales modificadas por la altitud y la topografía. Las características climáticas de Cochabamba son:

temperatura mínima : - 3.0° C  
temperatura máxima : 33° C  
temperatura media : 18° C  
precipitación media  
anual : 460 mm  
humedad relativa : 44 a 55 %

La temperatura varía con la altitud y se estima que la temperatura media anual disminuye 10° C por cada 1.250 m de desnivel.

Las precipitaciones varían también con la altitud y con la situación. En Cochabamba-Punata-Cliza la precipitación media es de 500 mm aproximadamente. En la Cordillera, a una altitud de 4.000 - 4.500 m y a 20 o 30 km al norte de las ciudades, las precipitaciones medias oscilan de 1.000 a 1.500 mm. Conforme se va hacia el norte y el noreste, a partir de 40 km aproximadamente, las precipitaciones aumentan hasta alcanzar los 3.000 o 4.000 m al pie de la Cordillera.

La Cordillera impide el paso de la mayoría de las formaciones nubosas procedentes del noreste de la cuenca amazónica, dando lugar una parte a lluvias importantes mientras que la otra franquea la barrera y riega la Cordillera. El resto cae en las llanuras de Cochabamba y de Punata, cuyos aires relativamente más calientes tienden a desplazar las nubes. La estación de las lluvias se extiende de noviembre a abril, siguiéndole una estación seca de mayo a octubre, cuyas precipitaciones son prácticamente inexistentes.

En 1.988 y 1.989, el déficit de lluvias fue muy elevado. Las observaciones de la estación de Angostura (M.A.C.A) dan prueba de ello.

Precipitaciones medias (año agrícola de octubre a mayo): 458,5 mm  
Precipitaciones observadas entre oct.1.988 y mayo 1.989: 160,0 mm  
Estos valores reflejan la penuria actual de agua superficial.

#### 1.1.4. - Hidrografía

De acuerdo con las características geomorfológicas y climáticas, el régimen hidrológico de los ríos es de tipo torrencioso. En la parte baja de los cursos, un volumen considerable del caudal de los ríos se infiltra en los aluviones.

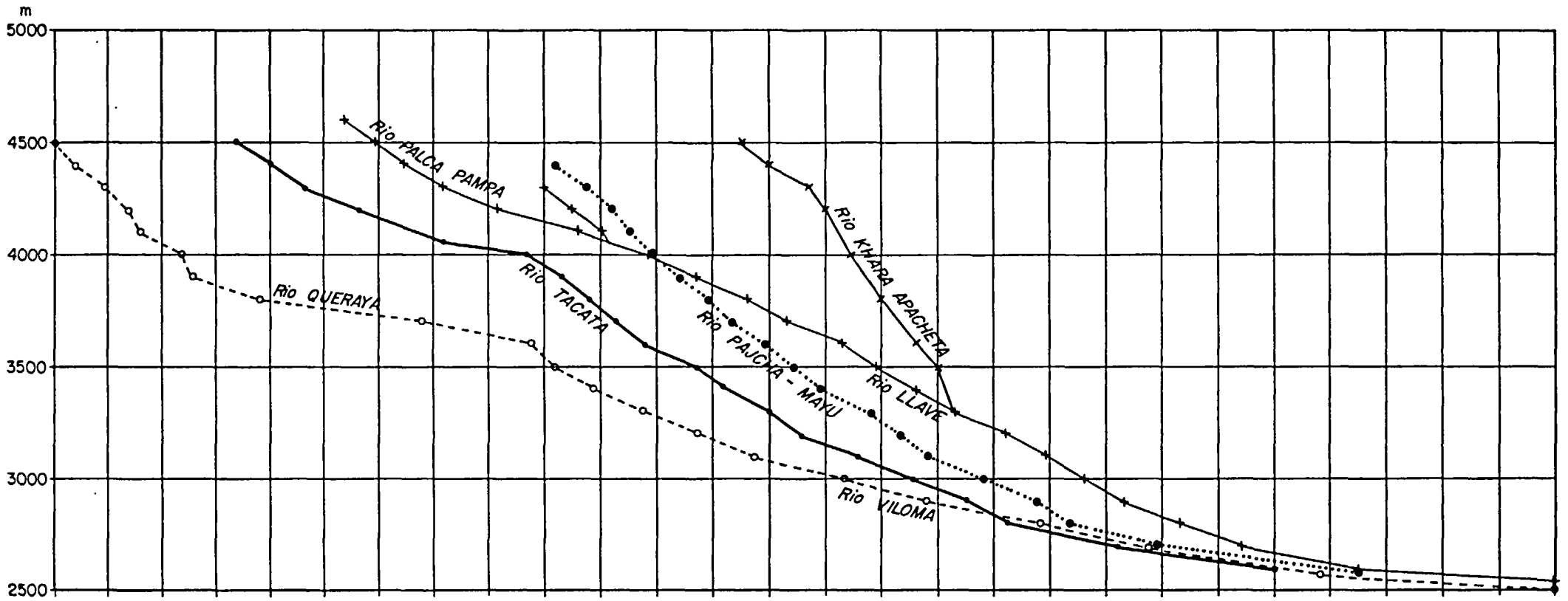
El río Rocha, principal sistema de drenaje de las aguas superficiales de las dos cuencas, no tiene escorrentía de superficie durante los meses de sequía. En verano, el agua de los ríos que discurren casi permanentemente (San Miguel, Viloma, Llave, etc.) se aprovechan en su totalidad para el riego y no llegan al río Rocha. En la época de las lluvias, los escurrimientos acarrearán gran cantidad de arcillas, limos y arena fina producto de la erosión interna que tiene lugar en las partes altas de las cuencas hidrográficas.

La sección longitudinal (fig. 2) de los ríos pone de relieve la existencia de fuertes pendientes en la parte montañosa, aguas arriba de su salida a la llanura.

#### 1.1.5. - Vegetación

La vegetación de la zona es el reflejo de las condiciones climáticas y varía con la altitud. En general, la vegetación natural es xerófila.

En las cuencas crecen eucaliptos y árboles frutales y se da el cultivo de cereales y hortalizas (cf. más abajo).

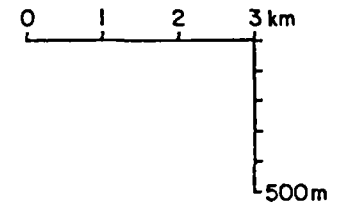


ZONA DEL CURSO EN LA CORDILLERA			
RIO	LONGITUD km	DESNIVEL m	PENDIENTE MEDIA %
R. TACATA	15	1700	11,3
R. VILOMA	21	1800	8,6
R. PALCA PAMPA-LLAVE	17	1800	10,6
R. CHACO	14	1750	12,5
R. K. APACHETA-LLAVE	11	1700	15,4

Límite Cordillera-Cuenca

PERFILES LONGITUDINALES

- Rio TACATA
- - -○ Rio VILOMA-QUERAYA
- + —+— Rio LLAVE
- Rio CHACO-PAJCHA-MAYU



Los abanicos de los rios con fuertes pendientes en la cordillera parecen ser los mejor dotados en recursos de agua (aluviones de grano grueso y elevado espesor que se extienden por debajo de la llanura).  
Ejemplo de los pozos de EL PASO en la desembocadura del rio TACATA.

Fig.2 - PERFILES LONGITUDINALES DE LOS RIOS

En las pendientes, los eucaliptos crecen hasta los 3.000 m de altitud, sustituyéndolos progresivamente árboles de hoja caduca, molles (Khewiña en quechúa), cactus, acacias y diferentes clases de pinos (programa de reforestación) hasta 3.800 m de altitud aproximadamente.

Por encima de los 3.900 m no crece prácticamente ningún árbol, únicamente una cubierta de gramíneas de entre las cuales la más común (Uichu en quechúa) crece hasta los 4.600 m.

#### 1.1.6 - Geología

El resumen geológico expuesto a continuación se basa en los datos de los informes ya existentes, en los trabajos recientes de GEOBOL y en los resultados del estudio de las imágenes del satélite SPOT.

##### - Estratigrafía

La figura 3 del cuadro extraída del informe GEOBOL - Naciones Unidas 1.978 presenta una síntesis de las características de las formaciones geológicas. La zona aquí estudiada comprende formaciones geológicas pertenecientes al Paleozoico (Ordovícico y Silúrico), al Mesozoico (Cretácico) y al Cenozoico (Terciario y Cuaternario).

Desde el punto de vista hidrogeológico hay que destacar que el conjunto de las formaciones paleozoicas y mesozoicas presentan fisuras permeables cuando están fracturadas o carstificadas (principalmente las del Cretáceo). Si a esto añadimos el reducido volumen de las formaciones, debemos considerar que el conjunto de estos depósitos no constituyen un buen embalse acuífero. Aunque un pozo en medio fisurado (fisura abierta o sistema de fisuras) pueda dar lugar a un caudal instantáneo interesante desde el punto de vista económico, resulta difícil estimar el volumen de la reserva correspondiente. En este caso, la definición de un programa de explotación a largo plazo es aleatoria.

Las formaciones terciarias y cuaternarias que se encuentran en las cuencas propiamente dichas, presentan una porosidad y permeabilidad generalizadas que facilitan su evaluación. Siendo algunas zonas menos acuíferas que otras - económicamente hablando - el conjunto de dichas formaciones constituye un embalse apto para movilizar los recursos.

##### - Estructura

El estudio detallado de la estructura de la región y de las cuencas aparece en el anexo I que trata del estudio de las imágenes del satélite SPOT. En este párrafo se exponen, por un lado, los principales rasgos tectónicos que inciden directamente en la existencia de recursos de agua y, por otro, los medios y métodos que será necesario emplear para su explotación.

La figura 4 presenta un esquema de la estructura general de las llanuras de Cochabamba y de Punata. El esquema del perfil geológico ha sido extraído del informe GEOBOL - N.U. 1.978 anteriormente citado, habiéndose efectuado algunas modificaciones. Se ha representado en escala la profundidad de los pozos de 150 a 200 m como máximo. En este perfil geológico se han dibujado los niveles detríticos de grano grueso (bloques, gravas) encima de las formaciones paleozoicas.

SECUENCIA	SISTEMA	SERIE	TIPO DE DEPOSITOS O ROCAS	C A R A C T E R I S T I C A S F I S I C A S	C A R A C T E R I S T I C A S H I D R O G E O L O G I C A S	
C E N O Z O I C O	C U A T E R N A R I O	H O L O C E N O	DEPOSITOS COLUVIO-ALUVIALES	BLOQUES ANGULOSOS DE TAMAÑO VARIABLE CON MATRIZ ARCILLO-ARENOSA, FORMANDO ACUMULACIONES CAOTICAS DE BASTANTE ESPESOR, QUE CUBREN AMPLIAS SUPERFICIES EN LOS FLANCOS DE LA CORDILLERA.	TIENEN BUENA PERMEABILIDAD Y ALIMENTAN PEQUEÑAS VERTIENTES CON AGUA DE MUY BAJA SALINIDAD.	
			DEPOSITOS MORRENICOS	BLOQUES Y PEDRONES CON MATRIZ ARCILLO-ARENOSA, ACUMULADOS CAOTICAMENTE.	PERMEABILIDAD VARIABLE. Poca importancia por su escasa extension	
			DEPOSITOS FLUVIALES	MATERIALES DE GRANO GRUESO FORMADOS POR CANTOS RODADOS, PEDRONES, GRAVAS, CON CONTENIDO DE ARENAS Y ARCILLAS FORMANDO ARANICOS ALUVIALES Y DEPOSITOS DE CAUCE DE RIO.	PERMEABILIDAD QUE VARIA DE REGULAR A MUY BUENA. CONSTITUYEN LA ZONA DE RECARGA DE LAS CUENCAS. LOS POZOS PUEDEN PRODUCIR DE 60 A 200 l/m <sup>2</sup> DE AGUA DE EXCELENTE CALIDAD.	
		P L E I S T O C E N O	DEPOSITOS FLUVIO-LACUSTRES	MATERIALES QUE COMPARTEN CARACTERISTICAS ENTRE LOS DE ORIGEN ALUVIAL Y LACUSTRE, ARENAS FINAS Y ARCILLOSAS CON CONTENIDO DE ARENAS Y GRAVAS DE GRANO MEDIO A FINO. TEXTURA SUMAMENTE HETEROGENEA.	PERMEABILIDAD DE MODERADA A MALA, SEGUN EL CONTENIDO DE ARCILLA. LOS POZOS PRODUCEN HASTA 30 l/m <sup>2</sup> DE AGUA, DISMINUYENDO SU CAUDAL HASTA 1 l/m <sup>2</sup> A MEDIDA QUE SE ACERCA A LA PARTE CENTRAL DE LA CUENCA	
			DEPOSITOS LACUSTRES	MATERIALES FINOS CONSTITUIDOS POR ARCILLAS Y ARCILLAS ARENOSAS, CON INTERCALACIONES DE HORIZONTES DE TURBA Y ARCILLAS AZUL-OSCURAS CON RESTOS DE PLANTAS Y ANIMALES.	PERMEABILIDAD MALA A MUY MALA. SE PRESENTAN PEQUEÑAS VERTIENTES EN SU CONTACTO SUPERIOR.	
	TERCIARIO	PALEOCENO	CONGLOMERADOS	CONGLOMERADOS DE COLOR ROJO-VIOLEADO, MAL SELECCIONADO, CON CLASTOS HASTA DE 0.20 m. DE DIAMETRO, PRESENTA ESPORADICAMENTE HORIZONTALES DELGADOS DE ARCILLA. EN LA BASE SE ENCUENTRA UN CONGLOMERADO POLIMITICO CON MATRIZ ARENO-ARCILLOSA DE COLOR ROJO.	AFLORAMIENTO DE REDUCIDA EXTENSION. PERMEABILIDAD MODERADA A BAJA.	
	M E S O Z O I C O	C R E T A C I O	MAESTRICHTINO	ARCILLAS MARGAS ARENISCAS CALCAREA	ARCILLAS Y MARGAS CON VETILLAS DE YESO FIBROSO, DE COLOR MARRON - VIOLEADO A MARRON-VERDOSO. ARENISCAS CALCAREAS DE COLOR AMARILLO-ROJIZO, DE GRANO MEDIO A FINO, ARCILLAS Y MARGAS MULTICOLORS.	ESCALA IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA POR LA REDUCIDA EXTENSION DE LOS AFLORAMIENTOS.
			SENORIANO	MARGAS Y CALIZAS	MARGAS MULTICOLORS INTERCALADAS CON CALIZAS DE COLOR AMARILLO - GRISASEO. CALIZAS OOLITICAS FOSILIFERAS DE COLOR GRIS-BLANQUESINO, DURAS, COMPACTAS Y CALIZAS MUY DURAS DE COLOR GRIS - OSCURO. ARENISCAS CALCAREAS DE COLOR MARRON-AMARILLENTO, GRANO MEDIO A FINO.	PERMEABILIDAD PRIMARIA BAJA, SE INCREMENTA LOCALMENTE POR EFECTOS SECUNDARIOS DE DISOLUCION
		S I L U R I C O	G O T L A N D I C O	LUTITAS	LUTITAS FRIABLES, PREDOMINANTEMENTE DE COLOR GRIS-OSCURO EN SUPERFICIE FRESCA Y MARRON CON TONOS ROJIZOS EN ALTERADA, EXFOLIACION EN HOJAS Y ESTRATIFICACION LAMINAR, CON ALTO CONTENIDO DE MICA EN LOS PLANOS DE ESTRATIFICACION	DEBIDO A SUS CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS, LA PERMEABILIDAD DE ESTA FORMACION ES MUY BAJA
			CLAY-GRITS Y CUARCITAS	SEDIMENTOS GLACIAL-MARINOS. "CLAY GRITS" DE COLOR GRIS-PARDUSCO EN SUPERFICIE FRESCA Y MARRON-ROJIZA EN ALTERADA. INTERCALADO ESPORADICAMENTE CON ARENISCAS-CUARCITAS DE COLOR GRIS-OSCURO.	POR SU PEQUEÑA EXTENSION, HIDROGEOLOGICAMENTE CARECE DE IMPORTANCIA.	
P A L E O Z O I C O	O R D O V I C I O	C A R A D O C I A N O	ARENISCAS CUARCITICAS	ARENISCAS CUARCITICAS MICACEAS DE COLOR GRIS-BLANQUESINO CON TONOS OSCUROS, DE GRANO FINO A MEDIO, EN BANCOS DE 0.20 A 0.80 m. ARENISCAS CUARCITICAS DE COLOR BLANCO CON TONO ROJIZO, ESTRATIFICADAS EN BANCOS DE 0.80 A 1.50 m.	EL SISTEMA DE FISURAS QUE PRESENTA ESTA FORMACION, LE CONFIERE UNA PERMEABILIDAD SECUNDARIA, QUE PERMITE EL ALUMBRAMIENTO DE PEQUEÑAS VERTIENTES EN SU PARTE BASAL.	
		LIMOLITAS Y ARENISCAS	LIMOLITAS Y LUTITAS	LIMOLITAS GRIS-VERDOSO, INTERCALADAS CON ARENISCAS DEL MISMO COLOR, DE GRANO MEDIO A GRUESO, DURAS Y COMPACTAS, DE ASPECTO SACAROIDAL SE ALTERNAN ESPORADICAMENTE DELGADAS CAPAS DE ARENISCAS CUARCITICAS, MICACEAS, DE GRANO FINO A MEDIO, DE COLOR BLANQUESINO. INTERCALACION DE LUTITAS MARRONES CON LIMOLITAS GRIS-VERDOSAS.	POR SUS CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS, ESTA FORMACION TIENE MUY BAJA PERMEABILIDAD	

Fig.3 - UNIDADES ESTRATIGRAFICAS Y CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

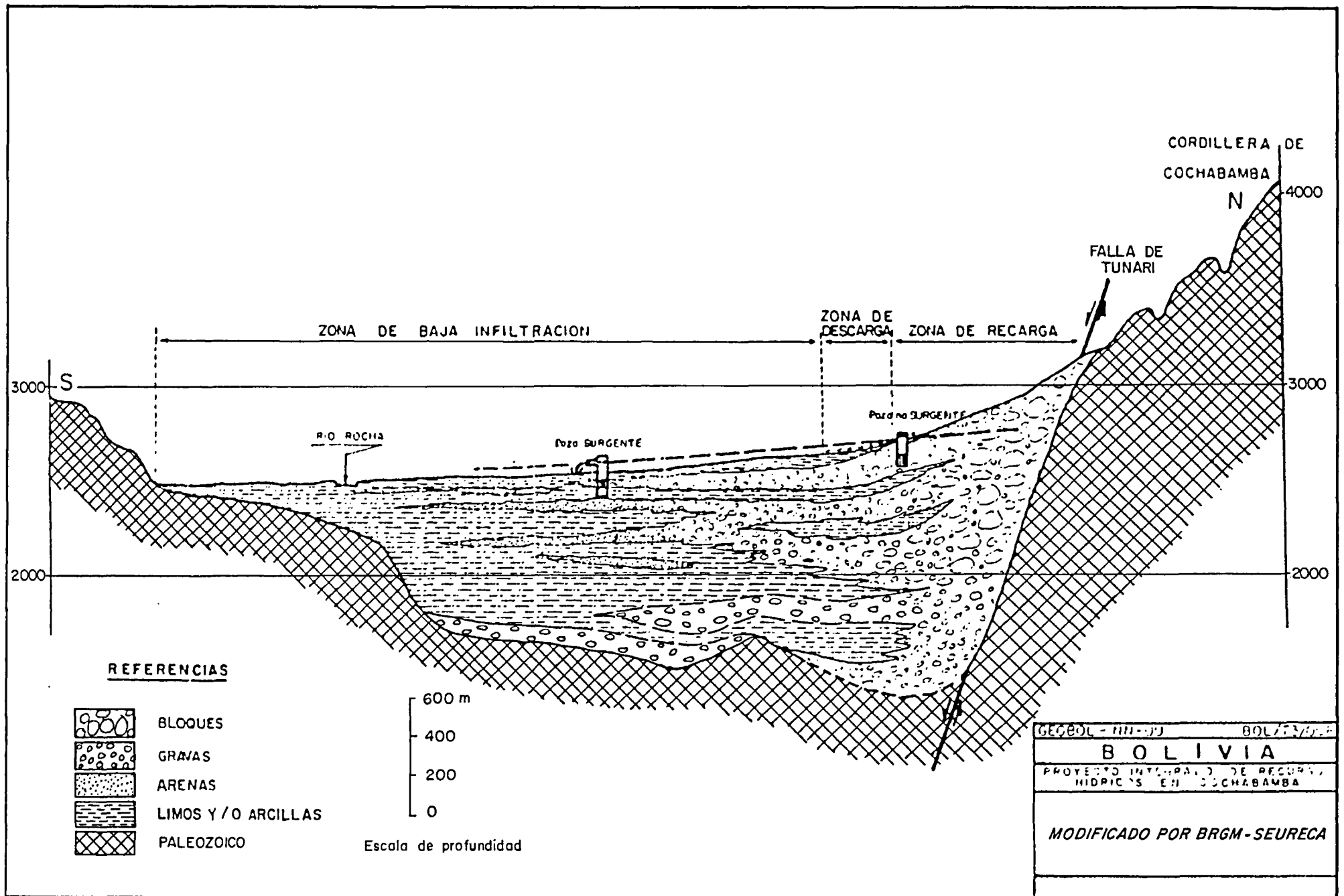


Fig.4 - ESQUEMA HYDROGEOLOGICO DE LA CUENCA DE COCHABAMBA

Hay que observar lo siguiente:

- la fosa tectónica o graben que limita al Norte con la falla de Tunari, tiene una profundidad de 800 a 1.000 m, en ocasiones más.

- dicho graben está relleno de sedimentos recientes plio-cuaternarios. A lo largo de la falla de Tunari, al pie de la Cordillera, se encuentran formaciones de derrubios, bloques y gravas. Hacia el Sur, la granulometría de los aluviones disminuye y se dan lechos de arenas, arcillas y gravas interestratificados. Las diferentes formaciones corresponden a las variaciones del régimen climático durante las épocas consideradas.

Los sedimentos más recientes, en la parte central de la cuenca y situados en los primeros 100 o 200 m de profundidad, son los materiales más finos y, por tanto, los menos permeables.

En el capítulo siguiente, que estudia en detalle los recursos de agua de la zona, volveremos sobre estos aspectos.

## 1.2 - Características relativas al hombre

### 1.2.1 - Población

La información facilitada en este apartado ha sido tomada principalmente del informe de estudio titulado "Programa para el establecimiento de prioridades de inversión y realización de estudios para proyectos en el sector de saneamiento básico ambiental en centros urbanos de la República de Bolivia", fechado el 15 de diciembre de 1.988 y realizado para la Organización Panamericana de la Salud (OPS), así como del proyecto anteriormente citado, GEOBOL - Naciones Unidas 1.978.

En 1.950, Cochabamba tenía 80.795 habitantes y 204.684 en 1.976. Según el censo de 1.977, la población de la ciudad de Cochabamba era de 210.000 habitantes y de 70.000 la de las zonas restantes comprendidas en el proyecto (cuencas hidrográficas de Cochabamba y de Punata), población repartida en núcleos de más de 2.000 habitantes.

En 1.987, los censos arrojaron un total de 348.303 habitantes para Cochabamba.

Hay que subrayar las características relativas a la estructura y a los ingresos de la población recogidas en el estudio socio-económico llevado a cabo con motivo del informe de 1.988.

PERSONAS DE LA FAMILIA QUE VIVEN EN LA CASA		
HABITANTES	CASOS	PERSONAS
1 A 3	1.039	3.125
4 A 6	633	3.060
7 A 9	331	2.422
10 A 12	71	689
13 A 15	10	124
16 ó +	1	7
TOTAL	2.085	9.427

En la muestra la media es de 4,5 personas por familia.

TOTAL	FORMAS DE OCUPACION DEL JEFE DE FAMILIA				
	OTROS	TECNICO INDEPENDIENTE	SECTOR PUBLICO	COMERCIO	INDUSTRIA
100	26,0	33,3	18,4	10,7	11,6

INGRESO MENSUAL DE TODA LA FAMILIA COCHABAMBA			
BS/MES	CASOS	%	TOTAL GANADO
1- 99	205	9,8	13.526
100-199	567	27,2	77.442
200-299	527	25,3	118.765
300-399	297	14,2	94.189
400-499	165	7,9	67.915
500-599	93	4,5	47.140
600-699	67	3,2	40.583
700-799	21	1,0	22.110
800-899	21	1,0	24.990
900-999	15	0,7	11.680
1000- +	60	2,9	85.800
NO SABE / NO RESPONDE	27	1,3	----
TOTAL	2.085		606.140

El 76% de la población de Cochabamba tiene una renta mensual por familia inferior a 400 bolivianos (equivale a US \$ 140) y el 37% posee una renta inferior a 200 bs/mes.

Las previsiones de población contenidas en la encuesta se basan en las tasas de crecimiento de periodos anteriores. En el cuadro que sigue a continuación se pueden observar dichas proyecciones.

AÑO	POBLACION
1.950	80.795
1.976	204.684
1.987	348.303
1.988	362.235
1.989	376.724
1.990	391.793
1.991	407.465
1.992	423.764
1.993	440.714
1.994	458.343
1.995	476.677
1.996	495.744
1.997	515.573
1.998	536.196
1.999	557.644
2.000	579.950
2.001	603.148
2.002	627.274
2.003	652.365
2.004	678.459
2.005	705.598
2.006	733.622
2.007	763.175
2.008	793.701
2.009	825.450
2.010	858.468

No se ha realizado el análisis de la evolución en el tiempo de la estructura familiar y de los ingresos monetarios de la misma, por lo cual no se dispone de ninguna previsión sobre la evolución futura del tipo de ocupación laboral del jefe de familia ni de los ingresos familiares.

En lo que se refiere al tipo de actividad económica y a los ingresos disponibles para los 860.000 habitantes con que contará Cochabamba en el año 2.010, se abre una gran interrogante.

### 1.2.2 - Agricultura

En las cuencas, la agricultura está bastante desarrollada. Los cultivos pluviales ocupan la mayor parte de la superficie (trigo, maíz) y los de regadío están abastecidos o bien por pozos, o bien por canales de riego.

La superficie total cultivable en las cuencas de Cochabamba-Sacaba y Punata-Cliza es de 77.000 ha. La superficie irrigada mediante canales de riego es de 9.600 ha aproximadamente en las cercanías de Cochabamba. En la cuenca de Punata, una vez finalizado el "Proyecto de Riego Punata-Tiraque", la superficie total irrigada mediante canales en la región de Punata-Arani será de unas 7.000 ha. A ello hay que añadir el total de las superficies irrigadas por los canales que captan las escorrentías de los ríos (Viloma, San Miguel, Llave, Tacata) aguas arriba de la zona aluvial de sus cursos, en la desembocadura de la garganta en la Cordillera. Tras la interpretación de las imágenes de satélite, se calcula que el total de la superficie irrigada en junio de 1.987 es de 9.600 ha para la llanura de Cochabamba-Sacaba y de 1.400 ha para la de Punata-Cliza.

Según el Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA), el 60% de la superficie se dedica al cultivo de la alfalfa, el 20% al del maíz, el 10% al del haba y el 10% restante a cultivos diversos (papas, hortalizas, avena).

Parece ser que en las zonas irrigadas por la Comunidad de Campesinos el porcentaje correspondiente al cultivo de hortalizas y de papas es más elevado.

En la cordillera, las zonas irrigadas se limitan a pequeñas extensiones destinadas a las labores de huerta. Las papas secas se cultivan hasta los 4.200 m de altitud, alternando un año de cultivo con 3 o 5 de barbecho.

## 2 - RECURSOS DE AGUA DE LA REGION

Este capítulo contiene por orden:

- Las zonas o tipos de recursos con las características del sistema, así como todos los datos conocidos relativos al mismo.
- Los tipos de captación, su estado, rendimiento y las mejoras que sería conveniente llevar a cabo.
- Un balance global de los recursos actualmente utilizados.
- Una evaluación de los recursos potenciales.
- Conclusiones parciales sobre los recursos de agua y los sistemas de producción.
- La figura 5 contiene un esquema de los sistemas de producción de agua subterránea y superficial.

A continuación se estudiarán los recursos de aguas subterráneas y los de aguas superficiales. Los anexos del informe recogen la información técnica específica.

### 2.1 - Recursos de aguas subterráneas

En 1.976-1.977 se llevó a cabo un estudio detallado de los mismos para el proyecto PNUD/OCT BOL 73/008. Lo expuesto a continuación se basa en los resultados de dicho estudio, compilados en un informe editado en 1.978. También se han utilizado los resultados de estudios e informes de trabajos de perforación de pozos y pruebas diversas, así como los resultados de las observaciones de campo y del estudio de las imágenes del satélite SPOT realizadas en noviembre-diciembre 1.989.

Los recursos de las formaciones de la Cordillera y de las llanuras se exponen por orden a continuación.

#### 2.1.1 - Las formaciones geológicas de la cordillera

En el apartado 1.1.6 se realizó una breve exposición de las diversas formaciones geológicas, sintetizada en la fig. 3 del cuadro, que además incluye una descripción somera de las características hidrogeológicas. A partir de estos documentos y de las observaciones de campo llevadas a cabo con motivo de este estudio, se concluyó que las formaciones de la Cordillera (Paleozoico y Mesozoico) están constituidas por limolitas, areniscas, cuarcitas, esquistos, margas y calizas. Todas estas formaciones estuvieron sometidas a importantes eventos tectónicos, que provocaron metamorfosis y recristalizaciones en parte de ellas. En ocasiones presentan fracturas de poca magnitud, en particular junto a determinadas fallas. Los horizontes carbonatados del Cretáceo están ligeramente carstificados. Sin embargo, estos fenómenos, que originan la porosidad y permeabilidad de las fisuras, afectan únicamente a un volumen reducido de la formación. Por tanto, dichas rocas están desprovistas de recursos abundantes de agua. Si por casualidad un sondeo o pozo interceptara una de las zonas acuíferas que comunican con las fisuras, el volumen de agua aprovechable sería escaso. Hay que considerar que dichas formaciones carecen de recursos de agua suficientes para llevar a cabo una explotación importante y económicamente rentable.



Las fuentes termales de Liriuni comunican con la falla de Turani y, sin embargo, presentan caudales reducidos (aproximadamente 3 l/s de agua a 44° y 49° C ), por lo que representan un caso singular.

#### 2.1.2 - Las formaciones geológicas de las llanuras de Cochabamba-Sacaba, Punata-Cliza y Santiváñez

Las características geométricas e hidrodinámicas de los acuíferos y su estructura profunda se conocen con bastante detalle gracias a los trabajos realizados en el marco del Proyecto anteriormente citado, Geobol - Naciones Unidas 1.978. Dichos resultados, completados por las observaciones de noviembre-diciembre 1.989, se han utilizado en lo que a continuación se expone.

La historia de la evolución geológica de estas cuencas es diferente, por lo que sus características hidrogeológicas se estudian por separado.

##### - Llanura de COCHABAMBA (fig.6)

Las montañas paleozoicas y cretácicas de la Cordillera tienen una altitud de 3.500 a 5.000 m y rodean la parte central de la llanura de Cochabamba aluvionada por formaciones fluvio-lacustres cuaternarias. El río Rocha recoge la mayor parte de las escorrentías superficiales de los ríos y torrentes que bajan de la Cordillera.

Durante los proyectos anteriores, se llevaron a cabo 168 sondeos eléctricos y aproximadamente 80 perforaciones o pozos, habiéndose conservado los informes de ejecución y los esquemas de equipo correspondientes.

La interpretación de estos datos y de estudios recientes permiten definir los siguientes rasgos:

\* Los depósitos no consolidados situados entre las ciudades de Cochabamba y Quillacollo (arenas, arenas arcillosas, gravas, cantos rodados y pedregones), tienen un espesor de 200 a 800 m e incluso más. La zona con mayor espesor (más de 400 m) se encuentra al norte de ambas ciudades.

\* En las zonas de Tiquipaya y El Paso, a la llegada de los ríos Llave y Viloma al pie de la Cordillera, los sedimentos son de tamaño grande (gravas, bloques y arenas de grano grueso) y originan abanicos de permeabilidad elevada. Se trata de sedimentos profundos en contacto directo con el basamento paleozoico que constituye el fondo de la cuenca.

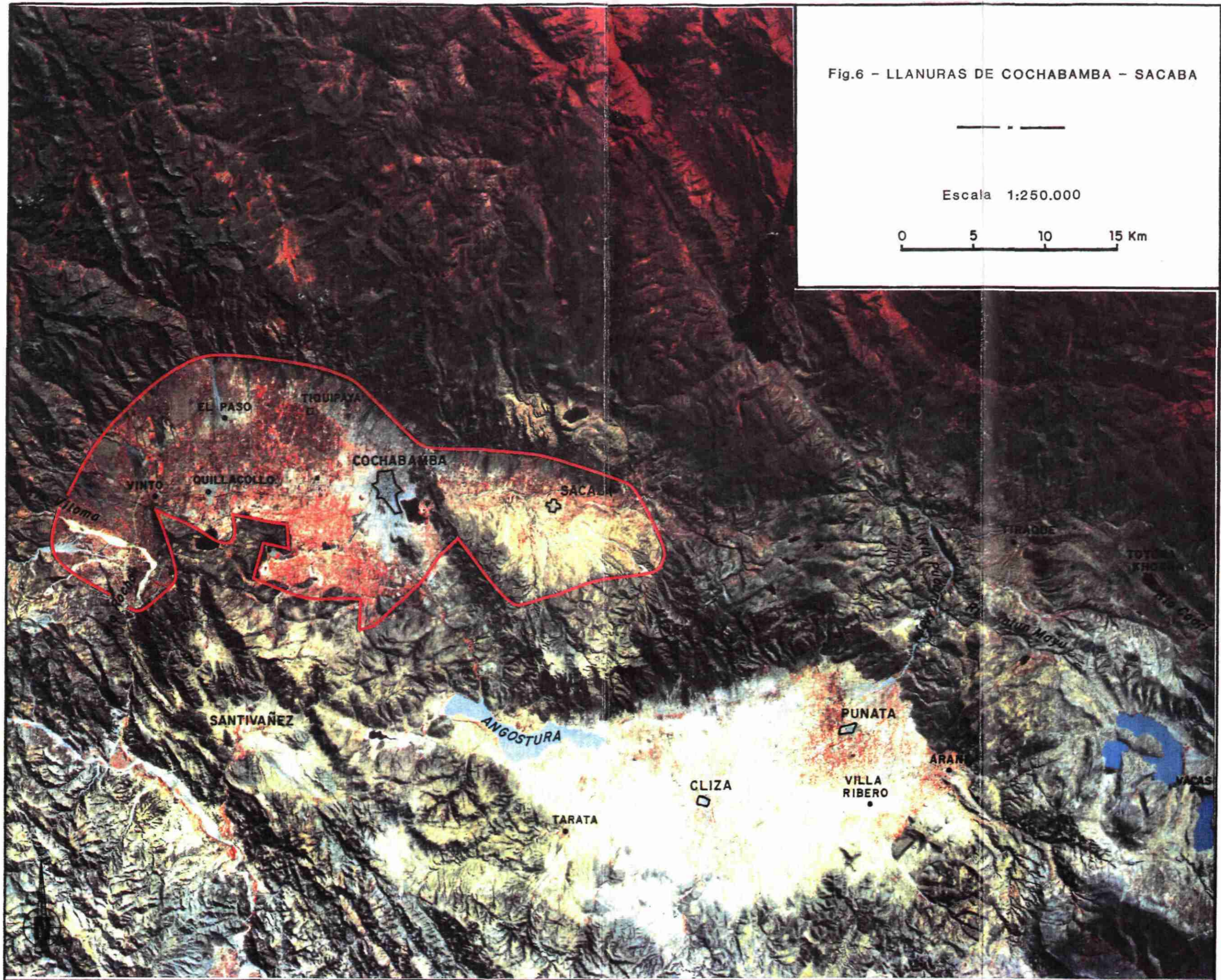
\* Conforme se va hacia la parte central de la cuenca, atravesada de este-oeste por el río Rocha, los sedimentos son cada vez más finos y arcillosos. Se observaron zonas ricas en materias orgánicas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, destaca la existencia de un manto freático libre en la zona de llanuras poco inclinadas de los abanicos. En la parte central de la cuenca, el acuífero es a veces confinado y a veces semiconfinado. El techo, de permeabilidad relativamente moderada, lo componen las formaciones más jóvenes, más arcillosas también, del centro de la llanura (fig.4).

Fig.6 - LLANURAS DE COCHABAMBA - SACABA

Escala 1:250.000

0 5 10 15 Km



Hay que subrayar que las investigaciones geofísicas no han puesto de relieve zonas de agua salada ni en los acuíferos ni en las zonas profundas aguas abajo de la cuenca (zona de Sipe-Sipe y de Malcu Rancho-Payacollo), lo cual denota la buena alimentación y circulación del acuífero.

La mayoría de las perforaciones realizadas hasta la fecha tienen una profundidad de sólo 50 a 100 m. Los más profundos corresponden a los campos de captación de Coña-Coña, El Paso y Vinto (de 120 a 229 m como máximo en el pozo n° 2 de Vinto). En su mayoría, por tanto, los pozos captan únicamente la parte más superficial de los acuíferos de la cuenca.

No se conocen las características de las zonas profundas por no haber sido nunca estudiadas.

La comparación del rendimiento de los pozos que captan el agua en los aluviones de los abanicos (El Paso) con el de los sondeos de la parte central de la llanura (Coña-Coña, Vinto), muestra que los rendimientos (caudales específicos) son de 10 a 20 veces superiores en la primera zona. La transmisividad hidráulica difiere también en una proporción de 10 ( $1.10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$  en El Pasp y  $1.10^{-3}$  en Coña-Coña).

Un estudio detallado (cf. anexo III) de la productividad de los pozos de Vinto pone de relieve que en esta zona los mejores pozos son aquellos que captan los niveles más profundos, en particular las zonas de arena de grano grueso y gravas que están en contacto directo con la franja de fisuras del basamento paleozoico subyacente. El caudal específico (l/s/m de descenso del nivel) y por m de filtro instalado es de 3 a 10 veces mayor cuando los pozos captan las zonas profundas.

En conclusión, las formaciones no consolidadas de la cuenca de Cochabamba son acuíferas. El flanco norte - entre 2 y 4 km al pié de la Cordillera, donde el acuífero es libre en las formaciones de grano grueso - constituye la parte más favorable. En esta zona en la que los pozos, bien ejecutados, tienen una profundidad de 400 a 500 m y captan el acuífero a más de 100 m de espesor como mínimo, el rendimiento debería ser superior al de los pozos recientes de El Paso (pozos n° 17, 18 y 19 perforados en 1.989; 40 l/s de caudal por unidad). En la medida de lo posible, se debería captar al máximo las formaciones de grano grueso que están en contacto directo con el basamento paleozoico. Por otro lado, sería necesario optimizar el programa de producción (caudal unitario, volumen total) mediante un modelo matemático hidrodinámico que tenga en cuenta las características geológicas e hidráulicas de los acuíferos de la zona.

#### - Llanura de Sacaba

Esta cuenca constituye la continuación de la llanura de Cochabamba, por lo que presenta características muy similares. Por otro lado, es una fosa tectónica (graben) rellena por formaciones no consolidadas aluviales y fluvio-lacustres. Según los resultados de los trabajos geofísicos, a una distancia de 1 km al norte de Sacaba, el relleno de la fosa paleozoica puede tener un espesor de 700 u 800 m.

Según los perfiles geológicos de interpretación de las medidas geofísicas, la base de las formaciones la constituyen arenas bastante arcillosas. No se ha podido comprobar estas interpretaciones, pues de las 12 perforaciones realizadas en la cuenca por el proyecto de las Naciones Unidas, sólo 4 sobrepasan los 100 m de profundidad, alcanzando el más profundo los 176 m.

Actualmente, sólo se sabe que en la cuenca existen acuíferos de más de 600 m de espesor, cuyas características hidráulicas en la zona superficial son, en parte, conocidas (transmisividad de  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s). No se ha elaborado el mapa piezométrico del manto freático por falta de datos topográficos. Las investigaciones geofísicas no han detectado tampoco la presencia de agua salada en las zonas profundas.

La temperatura del agua del manto freático varía de 22° a 17°-18°C. Esta última corresponde a la temperatura media anual de Cochabamba, por lo que resulta normal que el acuífero registre la misma. Sin embargo, la temperatura de 22° C y más observada principalmente en la zona de llanuras al pie de la Cordillera donde la altitud alcanza los 2.800 m, resulta relativamente anormal. El informe Geobol-Naciones Unidas menciona la posibilidad de venidas de aguas profundas a mayor temperatura en el sistema de la falla Tunari (fenómeno similar al de la zona de Liriuni en la cuenca de Cochabamba). Sería conveniente estudiar y considerar dicha hipótesis en la evaluación de los recursos de agua subterránea.

- Llanura de Punata-Cliza (fig. 7).

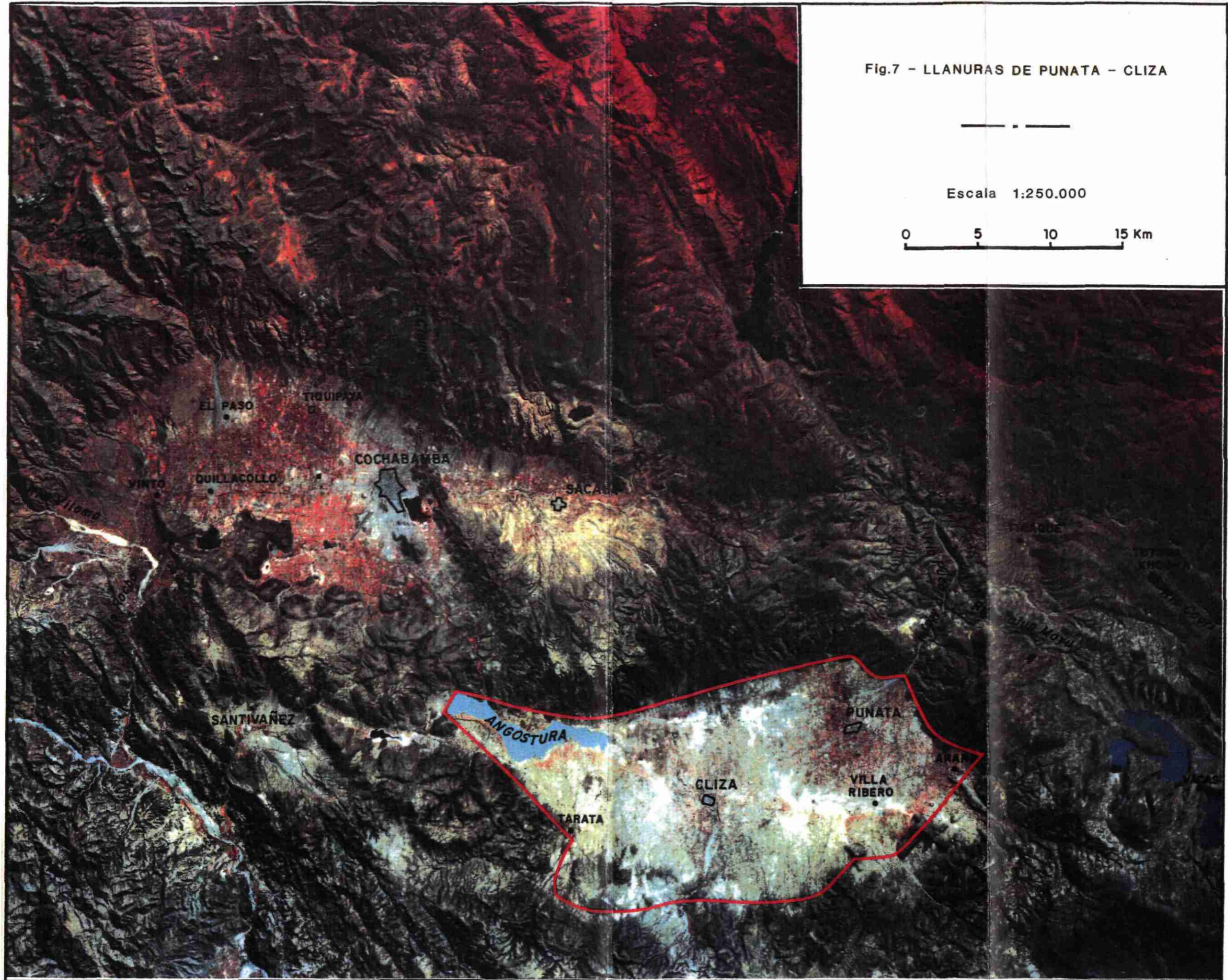
Se ha realizado un estudio detallado del valle de Punata-Cliza con métodos geofísicos y con sondeos y pozos de ensayo. Los informes de 1.978 mencionan un total de 200 sondeos eléctricos, 55 perforaciones y 20 ensayos de bombeo durante el Proyecto Geobol-Naciones Unidas. A pesar de ello, el conocimiento general de la estructura y del tipo de formaciones que rellenan la depresión es bastante somero. No se dispone de perfiles geoeléctricos ni de mapa de profundidad del basamento bajo las formaciones no consolidadas. Habría que volver a interpretar los datos brutos (medidas o gráficos de sondeos eléctricos), si es que aún existen, para elaborar una síntesis.

Además, sólo entre 12 y 15 pozos sobrepasan los 100 m de profundidad. De los restantes, la mayoría tienen una profundidad de 50 a 100 m. La única parte bien conocida es la parte superficial de las formaciones cuaternarias. A pesar de ello, resulta posible describir la situación hidrogeológica de esta cuenca. Se trata de una fosa tectónica o graben delimitada al norte y, según parece, al sur también por fallas de un salto vertical considerable (500 a 1.000 m ?). La fosa está rellena de aluviones fluvio-lacustres no consolidados. Los ríos que descienden de la Cordillera forman abanicos de mucha extensión cuando salen a la llanura. Las imágenes de satélite identifican claramente los mismos. Así, los abanicos de los ríos Pucara Mayu en Punata, Pocoata y Escalera en Arani-Villa Rivero y de los ríos Cliza y Tarata. La imagen de satélite diferencia con toda claridad los aluviones en aureolas concéntricas, especialmente visibles en el abanico de Punata. Ello se debe a las diferencias en el tipo de materiales que forman los abanicos, que a su vez reflejan las variaciones en la evolución del régimen hidrológico de los ríos durante el cuaternario, variaciones relacionadas también con las condiciones climáticas.

Fig.7 - LLANURAS DE PUNATA - CLIZA

Escala 1:250.000

0 5 10 15 Km



Del estudio de la imagen de satélite tomada el 10 de junio de 1.987, en una época del año en la que únicamente el riego puede asegurar los cultivos, se puede deducir lo siguiente:

- la desembocadura del río en la llanura constituye una zona de cultivos importante; inmediatamente después, a mitad de camino entre Punata y Cliza se observa una aureola blanca en cuarto de círculo que corresponde a las zonas de suelo desnudo no cultivado. Un control de terreno realizado al término de la estación seca en 1.989 revela terrenos arcillosos en la zona a menudo intercalados con depósitos de sal (evaporación). Parece claro que las aguas procedentes del río se utilizan con fines de riego o circulan por las formaciones aluviales de gran tamaño de los abanicos. Al término de la extensión del abanico, las aguas pasan a formaciones mucho más finas (arcillosas) y crean zonas saladas por evaporación capilar, únicamente cultivables en el periodo de lluvias.

Por otro lado, hay que señalar que la zona de cultivos de regadío vista en la imagen de satélite tiene, con muy poca diferencia, la misma extensión que la zona en la cual la conductividad eléctrica del manto es inferior a 1.000 o 1.500  $\mu$ .mhos/cm, lo cual equivale a una salinidad inferior a 750 mg/l.

Anteriormente se han descrito ya las formaciones lacustres aguas abajo y en la parte central de la llanura. El estudio general de la evolución geológica e hidrogeológica de la cuenca permitiría conocer la geometría de los acuíferos y sus características hidráulicas para llevar a cabo la evaluación de los recursos de agua movilizables a nivel local.

Las transmisibilidades hidráulicas de los acuíferos examinados son generalmente bajas (alrededor de  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s y  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s), dado que el espesor de las captaciones también lo era (de 5 a 10 m aproximadamente). Ninguno de los sondeos examinó las zonas profundas. Los abanicos son las zonas de mayor transmisividad, alrededor de  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. Debido a la disposición en cubeta y a la diferencia de permeabilidad de las formaciones acuíferas, el manto libre se vuelve confinado en las proximidades de la zona de recarga, es decir, en la parte central de la cuenca donde los sedimentos de superficie son más arcillosos.

La mayor parte de las aguas superficiales que fluyen durante la época de lluvias se almacenan en el embalse de Angostura. Debido a la naturaleza arcillosa de las formaciones superficiales de la cuenca sedimentaria y a las intensas precipitaciones de las tormentas, las aguas almacenadas son turbias y están cargadas de partículas en suspensión. Esto plantea el problema de la floculación en caso de utilización de las aguas para el consumo humano. Aproximadamente  $1,6 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> de sedimentos fueron depositados en el embalse entre 1.967 y 1.980, según M.A.C.A. 1.989. Este volumen es bajo si se compara con el volumen total del embalse, superior a  $70 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

- Cuenca de Santiváñez

Esta cuenca de dimensiones pequeñas se encuentra a 25 km aproximadamente de la ciudad de Cochabamba y tiene una superficie total de 160 km<sup>2</sup>, de los cuales únicamente 40 están cubiertos por sedimentos cuaternarios no consolidados. Según la geofísica, el espesor máximo de las formaciones acuíferas cuaternarias es de 250 a 300 m en las partes más profundas del graben. El manto acuífero es en esta zona ya libre ya confinado; los caudales unitarios de los sondeos poco profundos llevados a cabo (unos 70 m) varían de 6 a 10 l/s.

El embalse de agua subterránea que constituyen las formaciones no consolidadas podría ser explotado en puntos concretos para satisfacer necesidades limitadas como el suministro de agua a comunidades rurales o el riego de pequeñas superficies. Pero su extensión es reducida para someterlo a una explotación intensiva.

2.1.3 - Conclusiones

Para finalizar esta breve exposición de las características hidrogeológicas de las cuencas sedimentarias, podemos concluir lo siguiente:

- las formaciones no consolidadas que rellenan las cuencas constituyen acuíferos que según la topografía son o bien libres, o bien confinados.
- las formaciones son acuíferas y tienen un volumen determinado de agua que se extiende a través de varias cientos de metros de espesor (400 a 800 m).
- los recursos actualmente utilizados se captan por sondeos en la parte superior del acuífero (profundidad inferior a 200 m).
- los sondeos que captan el acuífero - muy permeable- de los abanicos o de la base de los sedimentos cuaternarios, pueden tener caudales unitarios grandes, de 50 l/s e incluso más.
- Los recursos de agua subterránea captados por los pozos o fuentes son de buena calidad desde el punto de vista sanitario (residuo seco inferior a 500 mg/l en general). Las investigaciones geofísicas no han puesto de relieve zonas de agua contaminada o salobre en las formaciones cuaternarias.
- el sistema de fallas y, en particular, la falla de Tunari en el flanco norte de la cuenca de Cochabamba-Sacaba parece desempeñar un papel hidráulico importante en este conjunto, con recursos minero-medicinales susceptibles de desarrollo (véase capítulo 4).

## 2.2 - Los sistemas de captación y de explotación de las aguas subterráneas

Los hay de dos tipos: pozos y galerías de filtración.

### 2.2.1 - Los pozos

Diversos campos de captación explotan las aguas subterráneas. Se trata de los pozos de Vinto, El Paso, Coña-Coña, Muyurina y Arocagua.

#### \* Los pozos de Vinto

Grupo de pozos situado a 15 km aproximadamente al oeste de Cochabamba, en las proximidades de la carretera y de la vía férrea. Este campo de captación fué instalado en 1.977. Sus características detalladas aparecen en el anexo técnico III. Con profundidades que varían de los 126 a los 229 m, este campo capta el acuífero cuaternario confinado. Al principio todos los pozos eran artesianos. No se conoce ni se ha medido la presión estática original y el nivel de equilibrio actual.

Actualmente, sólo cuatro pozos siguen en explotación con un caudal medio de 71 l/s aproximadamente en 1.988 y de 60 l/s en noviembre de 1.989, según una estimación.

El caudal específico de cada pozo (l/s/m de descenso de nivel equivalente a la productividad del pozo) ha experimentado un fuerte descenso, siendo los rendimientos actuales de 3 a 30 veces menores. Ello se debe al envejecimiento prematuro de las captaciones (corrosión, incrustación de filtros), acelerado probablemente por las variaciones en el caudal de los bombeos. Efectivamente, estos pozos comunican directamente con el conducto principal de 15 km que llega hasta Cochabamba. Cualquier cambio en las condiciones de presión de dicho conducto aguas abajo de los pozos, conlleva alteraciones en el funcionamiento de las bombas y, por tanto, en el caudal. Sería necesario rehabilitar este campo de captación y optimizar su producción (véase capítulo 4). Además, debería instalarse un sistema de control continuo de los caudales y de los niveles en cada pozo en producción. Habría que registrar las variaciones del nivel del agua en los pozos que no se utilizan.

#### \* Los pozos de El Paso

Este campo tiene 6 pozos; 3 se construyeron en 1.977 y el resto a finales de 1989. Está situado a 6 km al norte de Quillacolo y a 2,5 km aproximadamente al sur del acantilado de la Cordillera. La profundidad de los pozos varía de 97 a 129 m y captan el acuífero freático contenido en las formaciones de gravas y de arenas de grano grueso de los abanicos de los ríos San Miguel-Tacata y Siriska-Piusi.

No se conocen las características hidrodinámicas (transmisividad, caudal específico, etc...), pues no se han encontrado los resultados de los ensayos de bombeo en los archivos. En 1.988, la producción media anual de las pruebas de bombeos de los 3 pozos más antiguos era de 66 l/s aproximadamente (79,4 l/s con el pozo de Coña-Coña). Los de 1.989 deben tener un caudal de entre 80 a 100 l/s. La producción de todos los pozos debe ser controlada rigurosa y permanentemente. El diagnóstico

preciso de las características hidrodinámicas de cada pozo y la optimización del campo de captación (modelización matemática) son indispensables, así como la construcción de un embalse cerrado regulador previo al transporte del agua en tuberías de presión. Por otro lado, hay que prever la instalación de dispositivos de mediciones y de registros permanentes de los volúmenes bombeados, del nivel del agua, las horas de funcionamiento, etc, dispositivos de los que carece el campo actualmente.

\* Los pozos de Coña-Coña.

Este campo de captación, situado a 3 km al oeste de Cochabamba y a 1 km al norte de la carretera de Cochabamba-Quillacolo, tiene 14 pozos realizados entre 1.975 y 1.978. Los pozos captaban el acuífero confinado contenido en los sedimentos fluvio-lacustres de la cuenca, siendo sus profundidades de 65 a 190 m. El espesor de la captación (longitud del filtros) varía de 15 a 40 m, según los pozos. Las transmisividades observadas son bajas (de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$   $m^2 \cdot s$ ), debido a la presencia de elementos arcillosos en el acuífero. A consecuencia de todo esto, el único pozo explotado hoy en día es el n°12, con un caudal medio anual de 15 a 17 l/s aproximadamente. Hay otro pozo que no se explota a causa del ácido sulfídrico contenido en el agua.

Los datos del informe técnico relativos a los pozos n°1, 3, 11 y 13 indican que sus desarrollos respectivos (por bombeo y ensayo de aire comprimido) no han sido eficaces en todos los casos. Según parece, no se han utilizado los polifosfatos para limpiar las arcillas en un acuífero arcilloso. Por otro lado, los filtros utilizados tienen una abertura de 1,6 mm y un empaque de grava de granulometría comprendida entre 5 y 15 mm. En estas condiciones, los acuíferos arcillosos y las arenas finas pasan a través y no pueden ser retenidas ni por los filtros ni por el empaque de grava. Hubiera sido necesario emplear filtros con una abertura de 0,5 a 0,6 mm y un filtro de gravilla de 1 a 3 mm de granulometría. Sería conveniente proyectar la rehabilitación de los pozos con ensayos de bombeo, realizar un diagnóstico del estado de las rejillas y de las cañerías por cámara de video y diagnóstico geoquímico, así como los trabajos de enrejado y desarrollo.

En este caso, al término de los trabajos de rehabilitación, el caudal total de bombeo del campo de captación debe ser optimizado por modelización matemática.

\* Los pozos de Muyurina y de Arocagua-Mundimiento

Los campos de captación se encuentran en la ciudad o en las inmediaciones de Cochabamba. Los datos técnicos correspondientes a ambas zonas y disponibles en archivo son muy reducidos. En 1.989, sólo se explotaron 4 de los 8 pozos de Muriyana. Estos pozos, de 60 a 90 m de profundidad, captan un manto cuyo nivel se sitúa a 30 o 35 m de profundidad bajo el suelo. En 1.988, el caudal medio anual de bombeo era de 8 l/s como máximo. Se supone que en Arocagua-Mundimiento los 6 pozos producen en total de 30 a 40 l/s. Durante la visita de noviembre de 1.989 a la confluencia Arocagua-Chungara, el caudal de los pozos era sólo de 3 l/s aproximadamente. Estos pozos, situados en la ciudad o en las proximidades de las zonas urbanizadas, se ven sometidos a un riesgo creciente de contaminación. La escasa productividad y los riesgos de contaminación hacen que la rehabilitación de estos campos sea económicamente aleatoria.

## 2.2.2 - Galerías de infiltración

Este sistema de captación se utiliza en algunos países desde los tiempos más remotos. Las galerías se excavan en las formaciones no consolidadas, justo bajo el nivel del manto freático cuyo agua discurre a través del filtro de gravilla que rodea a la pared de la galería. Cuando tienen lugar las grandes sequías y el nivel del manto desciende, es necesario profundizar la galería.

Se han excavado dos galerías de este tipo para contribuir al suministro de agua de Cochabamba. Se conoce bien sus ubicaciones respectivas, identificables en el terreno. Sin embargo, ya no se pueden visitar, por lo que resulta problemático estimar su estado (longitud útil, derrumbamiento, obstrucción) y, por tanto, su rendimiento.

### \* Galería de infiltración de Chungara

Está situada en el lecho menor del río del mismo nombre a una altitud de aproximadamente 2.750 m. Está concebida para recoger las escorrentías subterráneas del río y las aguas procedentes del embalse de Wara-Wara que discurren naturalmente por la quebrada del río. Este sistema conlleva pérdidas considerables. Así, según una estimación realizada en noviembre de 1.989, de los 50 o 60 l/s que se bombean en la laguna de Wara-Wara, sólo fueron encauzados por la quebrada Chungara 25 o 30 l/s. La galería de infiltración captaba únicamente 12 l/s a 2.800 m de altitud, lo que supone un 50% de pérdidas.

### \* Galería de infiltración de Tiquipaya.

Está localizada a 2.800 m de altura en la desembocadura del río Khora. Los campesinos propietarios de la laguna Lagunmayu ( a 4.200 m en la Cordillera) dirigen sus aguas hacia el valle a través de esta quebrada.

En noviembre de 1.989 discurrían alrededor de 80 l/s de Lagunmayu por la Cordillera. En esta fecha, el nivel del agua era inferior al nivel normal de la toma de agua, de donde la necesidad de utilizar bombas diesel para enviar el agua por encima del umbral normal de la presa. Las tomas de agua instaladas por los campesinos aguas abajo recuperaban unos 40 l/s y la galería de infiltración producía sólo de 5 a 10 l/s como máximo. Por tanto, las pérdidas de dicho sistema son del 40 %. Además, la producción de la galería ha sido extremadamente dificultosa, habiéndose realizado una abertura en el bloque de cemento junto a la obra. Su visita o inspección técnica resultan imposibles.

\* La galería de infiltración de la Quebrada Tirani está situada a través del lecho menor, en los derrubios del río. Al igual que las galerías ya estudiadas, su caudal varía de 6 a 15 l/s como máximo. Según una estimación realizada en noviembre de 1.989 su caudal era de 8 l/s aproximadamente.

### \* La toma Yereba Buenani

No se trata, propiamente dicho, de una galería de infiltración, sino de una obra de toma que recoge las escorrentías superficiales y subterráneas de la quebrada Tirani aguas arriba de la galería de infiltración. Este sistema produce 2 l/s aproximadamente y comunica con una red pequeña de distribución independiente (cañería de dos pulgadas de diámetro).

### 2.2.3 - Conclusión

Para finalizar esta presentación de los sistemas de explotación de las aguas subterráneas, consideremos los siguientes puntos:

- los sistemas existentes no producen la cantidad óptima de agua que producían inicialmente.
- es necesario resolver esta situación mediante un programa acertado de rehabilitación y de mejora de las instalaciones (pozos).
- el seguimiento permanente de la explotación (caudales, niveles, características hidráulicas...) debe garantizarse de manera continua, por lo que será necesario instalar sistemas de control, formar equipos técnicos, etc.
- las galerías de filtración en particular no parecen ser eficaces (obstrucción, derrumbes ?). La rehabilitación de estos sistemas (profundización, ampliación), así como la instalación de un sistema de control permanente del caudal suministrado son imperativas.

### 2.3 - Los sistemas de captación y de explotación de las aguas superficiales.

En este apartado emplearemos la terminología de la clasificación de los sistemas utilizada por la SEMAPA (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado).

#### 2.3.1 - El sistema central

Este sistema recoge las aguas de Monte Laguna, Victoriano, Turuni, Escalerani, El Toro y Las Chankas. En el valle, el sistema comunica con una red que recibe las aguas subterráneas de los pozos de Vinto y de la galería de Tiquipaya.

La captación de las aguas superficiales se lleva a cabo mediante las siguientes instalaciones:

\* El embalse de El Toro, en la Cordillera de Tunari a 4.250 m aproximadamente. Su volumen útil es de 1.130.000 m<sup>3</sup>. Está unido al embalse Escalerani por el curso natural de un torrente no acondicionado.

\* El canal de Cuencas Vecinas tiene 12 km de longitud y sigue la curva de nivel de 4.200 m aproximadamente entre Monte Laguna y Escalerani. Esta obra de tierra con algunas secciones de mampostería, recoge parte de las aguas de escorrentía en las presas derivadoras de Monte Laguna, Victoriano y Turuni. Su capacidad máxima útil es de 2,9 m<sup>3</sup>/s al término del canal de Escalerani. Si consideramos las mediciones facilitadas por el sistema de medición de niveles en vertedero parshall instalado a la entrada del embalse de Escalerani, nos vemos obligados a poner en duda la fiabilidad de los valores medidos. Por otro lado, el sistema formado por 3 tomas y el canal no capta la totalidad de las escorrentías, estimándose las pérdidas en un 30 o 40%.

Una campaña de mediciones y de registro de niveles, precipitaciones y volúmenes de escorrentias superficiales recogidos por el canal, bastaría para establecer un balance preciso. Por otro lado, este balance permitiría estimar las pérdidas de agua a lo largo del canal (infiltración, desbordamiento, ruptura, etc.,) que actualmente se desconocen por completo.

\* El embalse Escalerani se encuentra a una altitud de 4.150 m aproximadamente y tiene un embalse útil de 5.790.000 m<sup>3</sup>. Recoge las aguas procedentes del embalse de El Toro y del canal de Cuencas Vecinas. En año pluviométrico normal se llena en 3 meses y medio. En 1.989, el nivel máximo se alcanzó a mediados de mayo y el volumen almacenado era sólo de 4.500.000 m<sup>3</sup>, de los cuales únicamente 3.700.000 m<sup>3</sup> por encima del nivel de aguas muertas (fig. 8). Según el estudio hidrológico realizado (véase Anexo III), en año medio sería posible alcanzar un volumen de escorrentias de 6.9 M m<sup>3</sup> si la recogida y el traslado de las aguas al embalse se hicieran sin pérdidas.

\* Canal de Escalerani a La Cumbre. Este canal en tierra tiene una longitud de 15 km aproximadamente. Su capacidad útil es de 600 l/s. Lleva las aguas de la presa de Escalerani al embalse regulador de La Cumbre. A su paso, el canal recoge las aguas de las lagunas de Saytu Khocha, Chankas y San Ignacio. Estas lagunas pertenecen a la Comunidad de Campesinos, quienes las explotan. La SEMAPA, mediante contrato anual con dichas comunidades, extrae un volumen total de agua 150 l/s durante diez horas al día en los meses de agosto, septiembre y octubre de 1.989. En noviembre de 1989 las lagunas de Chankas se secaron por completo.

Es necesario acondicionar los cursos de los torrentes y de diversas zonas para reducir la erosión en las pendientes y los depósitos de tierra en los canales y en las lagunas (en particular en el canal de Cuencas Vecinas y en la laguna de Saytu Khocha).

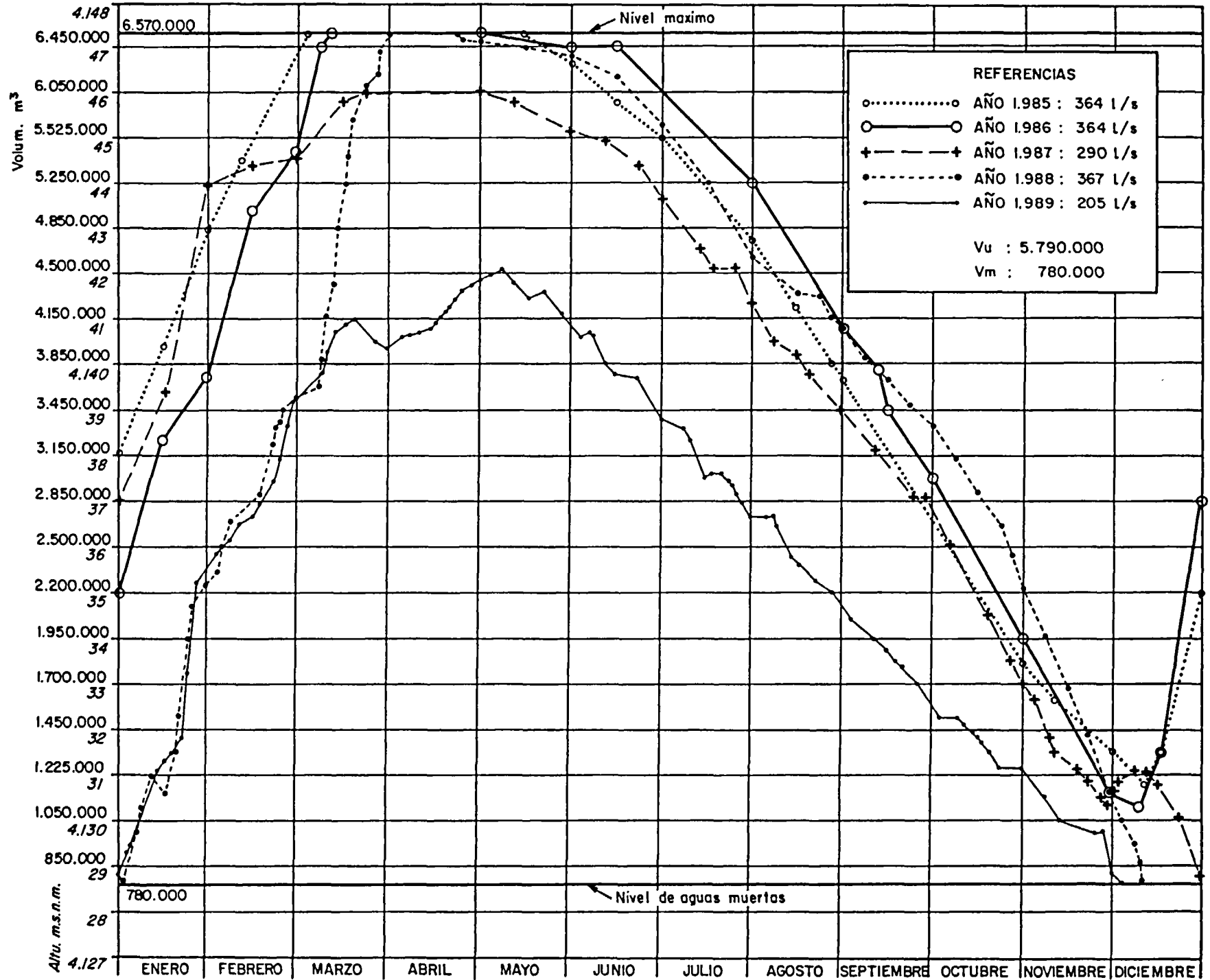
Un estudio hidrológico realizado en 1.987 indica que en la cuenca hidrográfica situada por encima del canal (23,5 km<sup>2</sup>), las precipitaciones medias serían, en año medio, de 906 mm, el equivalente a un caudal medio anual de 293 l/s. Volveremos sobre este punto en el apartado sobre los recursos potenciales.

Aunque no se han medido las pérdidas que se producen a lo largo del canal entre Escalerani y La Cumbre, SEMAPA considera que suponen 50 l/s (escapes o infiltraciones a lo largo de los cursos, destrucciones ocasionadas por las lluvias o escorrentias y por la sobreexcavación). Tampoco hay sistema de control y de medición del caudal.

\* Embalse de La Cumbre, localizado a una altitud de 4.050 m aproximadamente. Se trata de un embalse regulador de 100.000 m<sup>3</sup> que recibe las aguas de los sistemas anteriormente nombrados, Escalerani, Saytu Khocha y Las Chankas.

La explotación de este embalse regulador se realiza mediante un canal de un kilómetro de longitud que conduce las aguas hasta la quebrada de Tolapujro por donde discurren naturalmente antes de ser recogidas aguas abajo a 2.900 m de altitud, inmediatamente antes del desarenador. En noviembre de 1.989, el caudal en la salida de La Cumbre era de 280 a 300 l/s todos los días entre las 15<sup>h</sup> y las 07<sup>h</sup>. El caudal

FIG. 8 - OPERACION PRESA ESCALERANI



captado en la toma 1.100 m más abajo era de 220 l/s como máximo, lo cual equivale a una pérdida de 60 a 80 l/s en el transporte (28%). Por tanto, el caudal medio por día era de 150 l/s únicamente.

El embalse de La Cumbre comunica también con otro canal totalmente destruido que se dirige a 4.100 - 4.200 m de altitud hacia Chusequeri y Huera-Huera. Este canal de 13 km de longitud se construyó en el marco de un programa de urgencia: se trata de un canal de tierra, sin obra de mampostería. Actualmente, los ríos que descienden de la Cordillera lo cortan y resulta completamente ineficaz. Según el estudio hidrogeológico de la zona realizado en 1.987, el caudal medio anual potencial de la cuenca hidrológica (24 km<sup>2</sup>) a la que pertenece es de 330 l/s para una precipitación media anual de 1.000 mm aproximadamente. Volveremos sobre este punto en el apartado sobre los recursos potenciales de agua (anexo III).

### 2.3.2 - Sistema San Juan-San Pablo

Las lagunas de San Juan y de San Pablo se encuentran en la Cordillera, al norte de Wara-Wara, a una altitud comprendida entre 4.252 (altitud de la toma de San Juan) y 4.275 m aproximadamente. Estas dos lagunas comunicadas entre sí están unidas a un canal de tierra de 7 km de longitud que consta de un tunel - en parte derrumbado- de 750 m. El canal bordea la laguna de Wara-Wara y conduce normalmente las aguas a las quebradas Andrade y Chaqui Mayu, afluente del Río Tirani.

En noviembre de 1.989 el caudal del sistema era inexistente. Las lagunas contenían aún unos 500.000 o 600.000 m<sup>3</sup> sin utilizar. La obra de toma tiene mayor altura que el nivel de las aguas del canal. Con respecto a los planos de las presas y a los perfiles longitudinales del canal, hay que destacar lo siguiente:

- \* sería posible recuperar los volúmenes de agua indicados si se modificara la altura de la toma de agua (descenso).
- \* si se bajara la altura de la toma de agua de San Juan 8 m, el perfil longitudinal del canal aguas abajo sufriría una modificación a lo largo de 500 m únicamente. De esta manera se podría recuperar los volúmenes de agua no utilizados hasta la fecha.

Las pérdidas de agua en el traslado de la Cordillera a la llanura no se han determinado, pues el canal carecía de caudal. En cualquier caso, en el apartado siguiente se hará una evaluación de la quebrada Andrade.

### 2.3.3 - Sistema Wara-Wara - Chungara

La presa de Wara-Wara construida en los años 20 fué destruida en mayo de 1.973 y desde entonces no se ha emprendido su reconstrucción. Un muro pequeño de mampostería y de tierra permite almacenar un nivel de agua de sólo 1 m por encima de las aguas muertas. En la época de las lluvias, las aguas discurren por un canal pequeño en la quebrada de Chungara, siendo captadas, sólo en parte, por la galería de infiltración.

En noviembre de 1.989, al término de la estación seca, se instalaron bombas con el fin de utilizar parte de las aguas muertas. De un caudal bombeado de 60 l/s aproximadamente, se desviaban 30 l/s a la quebrada de Chungara y los otros 30 l/s a Tirani y Andrade. Ya se ha dicho que la galería de infiltración de Chungara sólo recuperaba de 10 a 12 l/s. A las captaciones aguas abajo de Tirani y de Andrade llegaban únicamente 12 l/s (6 l/s a los filtros situados aguas arriba de los embalses de Aranjuez y 6 l/s a la toma).

En consecuencia, las pérdidas del sistema se elevan en sus conjunto a más de 30 l/s, es decir, más del 50%. Los caudales mencionados corresponden únicamente a cálculos aproximativos, pues no hay sistemas de mediciones en funcionamiento.

En la zona de Wara-Wara la construcción de una nueva presa de tierra entre la antigua - en ruinas - y la estacada actual, es posible (véase anexo III).

Este embalse debería recoger también las aguas de San Juan y San Pablo y alimentar un conducto que dirige el agua al valle.

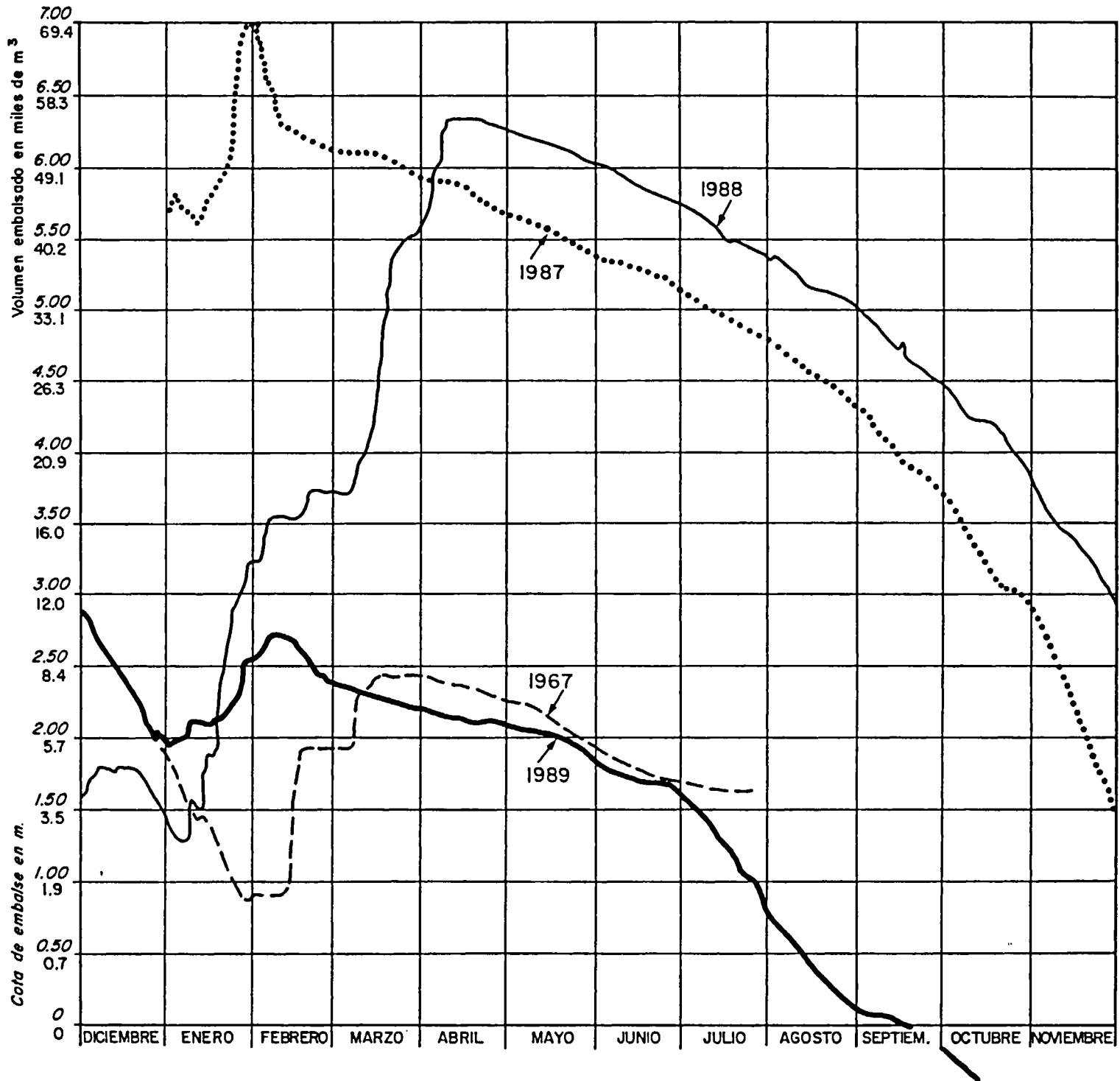
#### 2.3.4 - Embalse de Angostura

Este embalse se construyó en los años 40 aguas arriba de Cochabamba. En año pluviométrico normal la presa retiene unos 7 m de agua por un volumen almacenado de 85 M m<sup>3</sup> (fig. 9). Hasta el momento no se ha utilizado el agua para el suministro de la ciudad, sino únicamente para el riego. En año normal, la explotación de esta reserva (70 a 80 M m<sup>3</sup>) se lleva a cabo en un periodo de 9 o 10 meses, lo que equivale a un caudal de 2.000 a 3.000 l/s repartidos entre dos canales, uno de ellos al norte y el otro al sur de la llanura de Cochabamba.

Si se emprendiera una gestión óptima de los recursos de agua, se podría estudiar la posibilidad de utilizar parte del agua para el abastecimiento de la ciudad; el caudal equivalente sería suministrado, en un canje de agua, al sistema de riego aguas abajo de la estación de tratamiento de las aguas residuales. Se podría aprovechar un caudal de 300 a 500 l/s. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el agua del embalse de Angostura está cargada de limo y es turbia, razón por la cual debiera ser tratada.

En noviembre de 1.989, los canales en funcionamiento estaban invadidos por la vegetación, produciéndose con ello un consumo de agua de entre 1 y 1,5 l/s por km de canal, es decir, de 20 a 30 l/s en el conjunto de los canales. Esta cifra representaba aproximadamente del 40 al 50% del caudal obtenido del embalse de Angostura mediante un sifón en dicha época.

FIG.9 - ANGOSTURA - CURVAS DE EMBALSES Y CONSUMOS



### 2.3.5 - Conclusiones

Para finalizar la presentación de los sistemas de recogida y transporte de las aguas superficiales, hay que destacar lo siguiente:

\* Balance producción - transporte - recepción

Por el momento, es imposible elaborar un balance preciso y riguroso, pero sí se puede evaluar las pérdidas en diferentes partes de la red.

Entre Escalerani y La Cumbre a lo largo del canal = 50 l/s  
 Entre La Cumbre y Tolapujro (desarenador) = 80 l/s  
 Entre Wara-Wara, San Juan - San Pablo  
 y Tirani-Andrade - Chungara = 30 l/s

TOTAL = 150 l/s

El caudal medio anual de agua superficial distribuido en 1.988 fue de 358 l/s. Según esto, la producción en la Cordiller debiera haber sido de 500 l/s aproximadamente, y el índice de pérdidas antes de la distribución, de al menos un 30%.

\* El acondicionamiento de la red existente conllevaría una mejora inmediata del rendimiento del sistema: impermeabilización de los canales (obras de mampostería), traslado del agua a la llanura mediante canalizaciones metálicas y construcción de obras de recepción de las aguas en la llanura.

### 2.4 - Balance global de los recursos utilizados actualmente

Los datos de este balance se han extraído del informe anual de gestión de SEMAPA correspondiente al año 1.988 y de las estimaciones hechas durante la misión de noviembre de 1.989.

Dado que el cálculo de las pérdidas no se ha realizado, las estimaciones del cuadro siguiente son valores por defecto. Es obvio que el volumen de pérdidas es proporcional al caudal del sistema.

FUENTES SUPERFICIALES				
Media anual 1988 l/s	ESTCALERANI	WARA-WARA	TIRANI	TOTAL
estimaciones Nov. 1989 l/s				
Caudales recibidos en el valle	249	95	14	358
	150	25		175
Perdidas valoradas (total)	120 ?	35 ?	?	155 ?
	120	35		155
Caudales producidos en la Cordillera	370	120	?	490
	270	60		330
% de pérdidas	32 ?	29 ?	?	32 ?
	44	58		47

FUENTES SUBTERRANEAS				
CAMPOS DE POZOS	CONA-CONA EL PASO	VINTO	MUYURINA	TOTAL-
Media anual 1988 l/s	79	70	8	158
Cálculo de Producción Nov. 89	160	60	5	225

Hay que destacar lo siguiente:

- . la producción total media (caudales recibidos antes del tratamiento y la distribución) fue de  $358 + 158 = 516$  l/s en 1.988 y de 400 l/s únicamente en noviembre de 1.989. La caída de la producción de agua superficial que se produjo en 1.989 se vió compensada en pequeña medida por la puesta en funcionamiento de los nuevos pozos de El Paso.
- . el índice de pérdidas en el sistema de recolección de aguas superficiales de la Cordillera es muy elevado (más de 150 l/s como mínimo). En noviembre de 1.989, al término de una estación particularmente seca, hubo que bombear agua de las reservas muertas de las lagunas, estando el agua a un nivel inferior que el de las tomas, para verterla en los canales. Si a continuación se pierde el 30 o 50 % del volumen bombeado en la operación de transporte, el precio de coste del agua producida resulta insostenible.

El programa de medición de los volúmenes producidos y de las pérdidas a lo largo del sistema, es la condición previa indispensable para establecer un proyecto de lucha contra las mismas.

#### 2.5 - Estimación de los recursos potenciales

Los datos que a continuación se exponen son fruto de la compilación de estudios anteriores, de entrevistas con los ingenieros bolivianos de SEMAPA, de MACA, de Geobol y de la Comisión de Recursos Hídricos, así como de las observaciones efectuadas en noviembre y diciembre de 1.989. Las estimaciones ofrecen una idea aproximativa de los recursos potenciales; posteriormente habrá que proceder a una evaluación precisa de los mismos. Más adelante se presentará el tipo de trabajos necesarios para la comprobación y la ulterior movilización.

Los datos básicos son los siguientes:

Medidas imagen satélite SPOT	CBBA - SACABA	PUNATA - CLIZA	TOTAL
Superficie total de la cuenca (km <sup>2</sup> )	1510	1960	3470
Superficie de la llanura	460	410	870
Superficie cultivada (irrigada) a mitad de junio de 1987 km <sup>2</sup> /ha	96 9600 ha	14 1400 ha	110 11000 ha
Valores procurados por el Proyecto UNDP/GEOBOL			
Superficie total cultivable km <sup>2</sup> /ha	380 38000 ha	390 39000 ha	770 77000 ha
Superficie total irrigable	283 28300 ha	71 7100 ha	354 3540 ha

- Precipitación media de ambas cuencas. Estimaciones del programa UNDP-GEOBOL; periodo 1975-1976 = 600 mm (valor correspondiente a una altitud media de 3.000 m aproximadamente). Volumen total de precipitaciones =  $3.470 \times 0,6 = 2.082 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .
- Evapotranspiración real (valor calculado por la M.A.C.A para la estación de Cochabamba). La media de 1951-1972 fue de 300 mm. Este valor debe ser inferior en las zonas de montaña a más de 3.000 m de altitud.
- Volumen total evapotranspirado:  $3.470 \times 0,3 = 1.041 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .
- Escorrentia en el sistema del río Rocha (medición proyecto UNDP-GEOBOL). Valor medio anual 9 m<sup>3</sup>/s, o sea un volumen total anual de escorrentia de  $285 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (máxima valoración).
- Consumo total para el abastecimiento de agua de las poblaciones de las cuencas = 2,5 m<sup>3</sup>/s/año (estimación del consumo futuro total), o sea un volumen total anual de  $79 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .  
(No se ha tomado en cuenta la parte de agua que se vuelve a infiltrar después de ser utilizada).
- Consumo de agua para el riego = 1 l/s/ha durante 120 días en 30.000 ha como máximo (11.000 ha irrigadas en 1.987). Volumen total consumido por año =  $311 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . No se han tomado en cuenta los volúmenes de agua utilizados por las zonas de Tiraque y Punata, irrigadas con el agua de otra cuenca hidrológica (Proyecto de Totora Khocha en el valle del río Chullco Mayu).

El balance arroja, en una primera aproximación, un total de  $2.082 - (1.041 + 285 + 79 + 311) = 366 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Según este cálculo rápido hecho a partir de los datos existentes (en ocasiones puntuales o instantáneos), el volumen anual que discurre por los acuíferos de las cuencas de Cochabamba-Sacaba y de Punata-Cliza, principalmente por los sedimentos cuaternarios, asciende a varios centenares de millones de  $\text{m}^3$  de agua. Este agua puede ser subterránea, en cuyo caso fluye por las salidas naturales profundas (hasta hoy desconocidas) de dos fosas tectónicas.

El volumen citado representa un excedente en el balance hídrico. En efecto, en el cálculo precedente, los valores y estimaciones de los consumos de agua tienen en cuenta el conjunto de las necesidades de agua de las poblaciones urbanas y rurales de la zona para el año 2.010, así como las necesidades de agua para el riego de 30.000 has.

Siempre y cuando se comprueben con exactitud las estimaciones previas, sería posible movilizar in situ los volúmenes de agua necesarios para el desarrollo pleno de la zona en los próximos veinte años, evitando así el tener que recurrir a los recursos de agua - subterránea o superficial - de sistemas o cuencas hidrológicas adyacentes.

El problema hoy en día consiste en:

- 1 - confirmar los recursos mediante estudios y trabajos apropiados.
- 2 - definir, en función de los recursos y de las necesidades futuras, un plan de utilización de las aguas superficiales y subterráneas para el suministro de agua de las poblaciones, la agricultura y la industria. Este plan (plan director de utilización y de gestión de las aguas), debe establecer prioridades en la realización de los trabajos para satisfacer la demanda a su debido tiempo.
- 3 - Para paliar la actual situación de penuria sería preciso laborar un programa de urgencia que permita atender la demanda insatisfecha mientras que se elabora el plan regional de regulación de las aguas. Los programas detallados de los tres puntos anteriores se exponen en el capítulo 4.

Por otro lado, sería conveniente aprovechar los recursos suplementarios de agua superficial y transportarlos de la cuenca hidrográfica alta del río Titiri al norte de La Cumbre, y de ésta al valle de Cochabamba. Dicha posibilidad se especificará en un anexo técnico III.

## 2.6 - Conclusiones parciales

2.6.1 Los recursos de agua de la región de Cochabamba (cuencas de Cochabamba-Sacaba y Punata-Cliza) provienen tanto en las aguas superficiales como en las subterráneas. Los recursos de aguas superficiales proceden de la Cordillera, mientras que los de agua subterránea se localizan principalmente en las llanuras cuaternarias.

2.6.2 Una evaluación rápida de los recursos disponibles muestra que, en principio, sería posible satisfacer la totalidad de la demanda hasta el año 2.010 para el desarrollo urbano y agrícola de la región mediante una movilización adecuada de los recursos. Sin embargo, esto no podrá hacerse sin la confirmación previa de los recursos ni la definición de un plan director regional de utilización y de gestión de las aguas.

Una vez finalizados los trabajos de confirmación de los recursos, se elaborará un modelo matemático general que comprenda el conjunto del sistema hidráulico. Este modelo permitirá la elaboración de un programa óptimo de movilización, gestión y protección de los recursos hídricos y del medio ambiente, así como prever el impacto a largo plazo. El programa de esta fase de estudios y trabajos se expone en el capítulo 4.

### 2.6.3 Sistema de producción de agua

A la complejidad del sistema de producción de agua subterránea y superficial, muy diverso, se añade la de la topografía local. Además, la mayoría de las instalaciones actuales se construyeron para responder a una situación de urgencia y, en conjunto, carecen de homogeneidad. Ello hace difícil la gestión y el mantenimiento de las instalaciones.

Los trabajos que se realizaron en el marco de los programas de urgencia no han sido completados posteriormente. En consecuencia, nunca han podido alcanzar su máximo rendimiento resultando la gestión del sistema y de los recursos utilizados complicada (sistema de registro del nivel de los caudales escaso o inexistente, pozos comunicados directamente con el conducto principal, ausencia de canalización entre la Cordillera y la llanura, etc.). Todo esto conlleva pérdidas importantes de agua y un envejecimiento prematuro de los pozos. Con la aplicación de un programa de rehabilitación o de mejora de las instalaciones existentes, se obtendría un suplemento de 150 a 200 l/s.

2.6.4 Red de medición de aguas. Paralelamente al programa de rehabilitación del sistema actual, es necesario desarrollar un sistema de seguimiento permanente del rendimiento de las instalaciones (mediciones y control), así como otro de mantenimiento. El programa debería incluir, a su vez, la formación del personal, aspecto de suma importancia.

La cuenca carece por completo de red de mediciones hidrológicas básicas. La red instalada en 1.976-1.978 por el proyecto UNDP-GEOBOL con todo un conjunto de pluviómetros, pluviógrafos, estaciones meteorológicas, mediciones y aforo de cursos de agua, red de pozos de observación, mediciones de caudales, etc., desapareció completamente por falta de mantenimiento. Los únicos datos de que se dispone son esporádicos y discontinuos. La creación de una nueva red y su funcionamiento regular (mediciones, archivos, tratamiento informático), son las condiciones sine qua non para una gestión correcta de los recursos de agua. Esto podría hacerse en el marco de los trabajos de confirmación de la reserva (apartado 2.6.2).

2.6.5 Recursos de movilización inmediata. La localización de recursos de agua subterránea profunda en la llanura de Cochabamba parece factible y podría ser una solución a la actual situación de penuria. En algunas zonas de la llanura se podría obtener una producción unitaria de 50 l/s mediante pozos bien ubicados y construidos (véase cap. 4).

### 3 - ESTIMACION DE LA DEMANDA DE AGUA PARA LA CIUDAD DE COCHABAMBA

Esta evaluación se basa en las informaciones suministradas por el "Informe Gestión 1.988" y por el otro antes citado "Programa para el establecimiento de prioridades de inversión y realización de estudios para proyectos en el sector de saneamiento básico ambiental en centros urbanos de la República de Bolivia", O.P.S 1.988. También se han utilizado gran número de informaciones orales transmitidas por los ingenieros de la SEMAPA, así como documentos internos de la misma.

La población total del perímetro urbano de Cochabamba era de 365.84 habitantes en 1.988.

\* 247.837 personas servidas mediante 33.000 conexiones aproximadamente.

\* 117.967 personas no servidas por la SEMAPA. La cobertura del servicio es, por tanto, del 71 % de la población.

\* La producción total de agua potable fue de  $16,310 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (caudal medio anual de 515,9 l/s), o sea 180 l/día por persona servida.

\* Los volúmenes distribuidos, contabilizados y facturados, ascendieron a un total de  $10,832 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (caudal medio anual de 343,5 l/s), es decir, un consumo real / efectivo de 120 l /día por persona servida.

\* Las pérdidas medias contabilizadas en la red de distribución ascenderían a un 33 %. Según las zonas de distribución y el estado de la red, las pérdidas oscilan del 30 al 50 % aproximadamente; la SEMAPA toma normalmente en cuenta el índice medio de 40 %.

\* Para suministrar dicho caudal al usuario, el conjunto del sistema de producción ( agua subterránea y superficial) debe recoger un caudal de 680 a 700 l/s en la Cordillera y en los pozos. Esta cantidad considera, a su vez, las pérdidas que se producen durante el traslado del agua superficial a los canales y quebradas, pérdidas que suponen 150 l/s. El total de las pérdidas del sistema de producción - distribución entre los lugares de producción y los de consumo es, por tanto, del 50 %.

\* Paralelamente al incremento de la población, las previsiones indicadas en el cuadro que sigue reflejan diversas evoluciones:

	1988	2010
cobertura del servicio	70%	100%
número de conexiones	33.000	143.000
número de personas servidas por conexión	7,5	6,0
consumo diario facturado (l/día/hab.)	120	190
reducción de las pérdidas en la red de distribución en 2010	33%	20%

Años	Población total	Cobertura del servicio	Población servida no servida	Número de conexiones	Número de personas por conexión	Necesidades reales en l/dfa/hab.	Total de necesidades m3.dfa	Perdidas en la red de distribución †	Necesidades de producción m3.dfa	Necesidades totales m3.dfa/l/s	Capacidad de producción de la instalación m3.dfa/l/s	Déficit de producción m3.dfa/l/s	Observaciones sobre trabajos a realizar
1989	365 000	70	247 000 118 000	33 000 -	7.5 -	120 100	29 640 11 800	33	44 000 17 700	61 700 714	59 999 579 l/s	11 700 135 l/s	Situación actual
1992	424 000	75	318 000 106 000	42 400 -	7.5 -	130 100	41 430 10 600	33	62 000 16 000	78 000 903	78 000 903 l/s	0 0	véase nota 1
1995	476 000	80	381 000 95 000	54 500 -	7.0 -	150 100	57 150 9 500	25	76 200 12 600	88 800 1030	89 000 1030 l/s	0 0	véase nota 2
2000	580 000	85	493 000 87 000	76 000 -	6.5 -	170 100	83 800 8 700	20	104 800 11 900	116 700 1350	89 000 1030 l/s		véase nota 3
2010	858 000	100	858 000	143 000	6.0 0	190 -	163 000 -	20	203 750 -	203 750 2360			

Nota 1 Objetivos para el periodo 1.989-1.992:

TRABAJOS :

\* Incrementar la cobertura del servicio del 70 % al 75 %, o sea un aumento de la red y de las instalaciones equivalente a 9.400 conexiones.

1 \* Para incrementar el consumo facturado a 130 l/día/hab., es necesario aumentar la capacidad de producción en 28.000 m<sup>3</sup> por día (325 l/s suplementarios), construir 8 o 10 pozos profundos en las zonas favorables de la llanura de Cochabamba y rehabilitar los campos de pozos ya existentes.

ESTUDIOS :

2 \* Efectuar los trabajos y estudios necesarios para la evaluación de los recursos de aguas subterráneas y superficiales; concretar el plan director regional de regulación de las aguas.

3 \* Realizar el programa de medición de los volúmenes de agua producidos y transportados; instalar una red de control permanente y preparar un programa de los trabajos a efectuar para evitar las pérdidas en los sistemas de transporte del agua (canales).

4 \* Elaborar un diagnóstico técnico de la red de distribución y saneamiento y definir un programa de rehabilitación de la red o de construcción de nuevas instalaciones.

5 \* Preparar el estudio de prefactibilidad de los proyectos de explotación de recursos nuevos (aguas subterráneas, aguas superficiales, ordenación de las lagunas, canal colector de las escorrentías, presas,...) y darles prioridad.

NOTA 2 Periodo 1992-1995. Objetivos:

\* incrementar la cobertura del servicio al 80 %, o sea un incremento de la red y de las instalaciones de 12.100 conexiones.

\* rehabilitar la red existente para disminuir las pérdidas del 33 al 25 %.

\* suministrar 150 l/día/hab. a los abonados, lo que implica un aumento de la capacidad de producción de 130 l/día/hab. para alcanzar el total de 89.000 m<sup>3</sup>/día. Para ello, hay que basarse en los resultados de los estudios efectuados, que ofrecen diversas alternativas:

- reducir las pérdidas del actual sistema de aguas superficiales.
- construir nuevas instalaciones (presa de Wara-Wara, San Juan-San Pablo y otras, galerías de filtración).
- utilizar los recursos subterráneos, siempre y cuando resulte más económico y sea técnicamente factible (resultados del modelo matemático general).

Nota 3 A partir de 1.995

En función de los resultados de los estudios de prefactibilidad precedentes:

\*Ampliación de los campos de captación de aguas subterráneas, siempre y cuando sea necesario y económicamente factible.

\* aprovechamiento de las aguas de Angostura y reciclaje de las aguas residuales - tratadas - para el riego.

\* construcción de un sistema de regulación de aguas superficiales y de un embalse al norte de La Cumbre. Canalización en la quebrada de Tolapujro.

\* recogida de las aguas de los ríos de la Cordillera hasta el río San Miguel mediante un canal de transporte.

\* sobrealimentación de los campos de captación mediante las escorrentías de la estación de las lluvias.

La definición de las diversas soluciones técnico-económicas podrá realizarse de manera adecuada una vez finalizados los estudios básicos (n°2, 3, 4 y 5) citados en la nota.

#### 4 - PROGRAMA DE TRABAJOS

En este capítulo se exponen los diferentes tipos de trabajos que sería conveniente realizar con el fin de ofrecer una solución inmediata a la situación actual de penuria, así como aquellos indispensables en la organización del futuro desarrollo de la región. Junto a esto, un programa específico de desarrollo de recursos minero-medicinales cuyo interés reside en la creación de un foco de desarrollo económico.

##### 4.1 - Pozos profundos en la llanura de Cochabamba.

El objetivo principal de este proyecto consiste en suministrar, al término de su realización, un caudal suplementario de 500 l/s para el abastecimiento de agua de la ciudad de Cochabamba.

**Medios técnicos:** es necesario construir 10 o 12 pozos de 450 m de profundidad media en las zonas más favorables (buena permeabilidad, buena recarga anual por las crecidas), es decir, en los aluviones de tamaño grande de los abanicos (fig.10).

##### Descripción de los trabajos:

\* Delimitación precisa de la zona favorable por prospección geofísica (métodos eléctrico y audio-magneto-telúrico combinados). Duración de 4 a 5 meses.

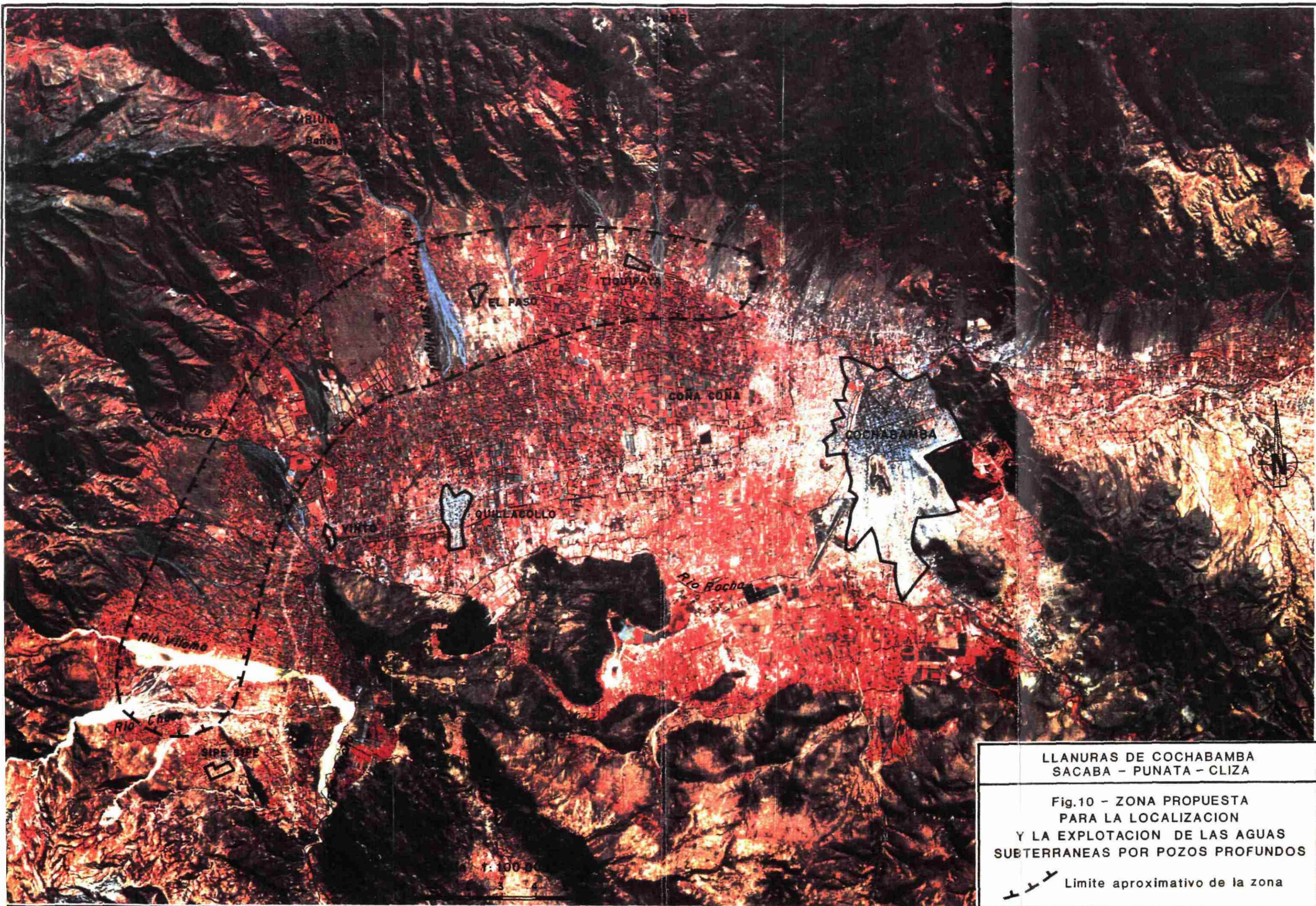
\* Paralelamente, se llevará a cabo una investigación hidrogeológica para estudiar el comportamiento del manto freático en la zona y guiar la interpretación de los datos geofísicos.

\* A continuación, se perforarán los 10 o 12 pozos profundos. En la ejecución de los trabajos podría emplearse el material disponible en Cochabamba (equipo de perforación de la SEMAPA procedente de la ayuda bilateral japonesa). Su utilización requiere la intervención de un perforador especializado en la realización de pozos de agua profundos en terreno difícil. Con este motivo, podría impartir cursos de formación práctica y de especialización de personal boliviano.

\* Una compañía local se encargará de realizar los perfiles eléctricos de los sondeos antes de la instalación de los filtros.

\* La supervisión de los trabajos relativos a los sondeos y de los ensayos de bombeo consecutivos, correrán a cargo del hidrogeólogo responsable del proyecto.

\* Al término de los trabajos, los pozos deberán estar equipados con bombas y conectados con la red eléctrica y el sistema de producción de agua de la SEMAPA.



LLANURAS DE COCHABAMBA  
SACABA - PUNATA - CLIZA

Fig.10 - ZONA PROPUESTA  
PARA LA LOCALIZACION  
Y LA EXPLOTACION DE LAS AGUAS  
SUBTERRANEAS POR POZOS PROFUNDOS

--- Limite aproximativo de la zona

Los trabajos de sondeo pueden tener una duración de 12 meses. El presupuesto total de la operación se ha valorado en 10<sup>6</sup> \$ US:

. Geofísica (de 4 a 5 meses)	0.25
. Hidrogeólogo (12 meses)	0.25
. Experto en perforaciones (12 meses)	0.25
. 12 pozos de 450 m	1.80
. Equipo (bombas, empalmes, conductos, electricidad, etc.)	1.20

-----  
3.75 M US \$

#### 4.2 - Rehabilitación de los campos de pozos de Vinto y de Coña-Coña

El conjunto de los 20 a 25 pozos realizados a partir de 1.976 ha tenido un envejecimiento acelerado (pérdida de caudal) y algunos de ellos, mal construídos, han sido abandonados.

Este proyecto tiene como fin la elaboración de un diagnóstico técnico de los pozos y la rehabilitación de los mismos a su debido tiempo, siempre y cuando ello sea factible económicamente.

**Objetivo:** aumentar la producción actual de los pozos de captación para conseguir un incremento de 100 a 150 l/s.

#### Medios técnicos y descripción de los trabajos

Trabajos a realizar en cada pozo:

\* un ensayo de producción preliminar para determinar las características del pozo. Comparación de las mismas con los resultados del ensayo realizado durante la recepción del pozo.

\* un diagnóstico que abarque los siguientes aspectos:

- a) inspección por cámara de video del estado del equipo (tubería y filtros, incrustación, corrosión y colmatación).
- b) diagnóstico geoquímico (eH, pH, oxígeno, gas carbónico disuelto, temperatura, etc.). Este diagnóstico determina el tratamiento que hay que aplicar al pozo.

\* Tratamiento del pozo: comprende operaciones de acidificación, bombeo, emulsión, etc, con el material y el personal local.

\* Bombeo de ensayo de control de los resultados.

\* Optimización del bombeo en el campo de captación, tomando en consideración las interferencias entre pozos y sus rendimientos respectivos.

\* En el caso particular del campo de Vinto, es necesario prever la construcción de un embalse regulador y la instalación de una bomba de impulsión al principio de la tubería bajo presión que une Quillacollo a Cochabamba.

Estos trabajos pueden tener una duración de 12 a 15 meses.

El presupuesto total de la operación se ha valorado en 10<sup>6</sup> US \$:

. 25 diagnósticos por cámara de video y geoquímicos	0.225
. 25 ensayos de producción y tratamientos asociados.	0.500
1 hidrogeólogo especializado (1 año)	0.250
1 perforador especializado (1año)	0.300
. Optimización de la producción de los campos de captación (modelización matemática).	0.075
. Construcción de un embalse tampón	0.150
. Bombas, conexiones y materiales diversos	1.500
	<hr/>
TOTAL	3.0 M US \$

#### 4.3 - Evaluación de los recursos de agua y preparación de un plan director de aprovechamiento de las aguas.

##### Objetivos:

Proponer, tras un análisis de la situación actual (recursos, demanda de agua, utilización y necesidades, vertidos) y de la demanda futura (horizonte 2010), un plan general de desarrollo regional de los recursos que abarque los aspectos relativos a la producción, transporte, tratamiento, distribución, saneamiento, depuración, reciclaje y protección del medio ambiente, así como los aspectos relativos a las instituciones y a la legislación de las aguas.

##### Descripción de los trabajos

a) evaluación de los recursos: inventario selectivo de los pozos y las fuentes de la región (pozos privados y públicos), extracción de muestras para su análisis químico, levantamiento de los niveles, de la producción, etc, tomando como base los datos del estudio GEOBOL - ONU 1.978. Nivelación geométrica para establecer un mapa piezométrico del manto, complemento del inventario. Elaborar un programa de "monitoreamiento rutinario" de los acuíferos utilizando los pozos de SEMAPA, los pozos particulares y una red de piezómetros especialmente contruídos para este fin.

Los datos obtenidos se incorporarán a un banco de datos generales de aguas subterráneas. Se estudiará tanto las aguas subterráneas como las de superficie. Creación de una red de pluviómetros y pluviógrafos que serán instalados en parte de la zona ya utilizada por el proyecto GEOBOL-ONU. Instalación de estaciones hidrológicas y mediciones de los caudales de las venidas con el fin de evaluar las escorrentias de los ríos. Instalación de estaciones hidrometereológicas automáticas.

Los datos obtenidos se incorporarán igualmente al banco de datos.

Con todos estos elementos se construirá un modelo matemático del acuífero que establezca el balance hidráulico del sistema y determine las características del programa de explotación en base a una gestión óptima de los recursos desde el punto de vista técnico. A continuación, se llevará a cabo el estudio de factibilidad económica de la explotación de los recursos que, a su vez, utilizará los resultados de un estudio socio-económico que deberá ser realizado a la vez.

b) Diagnóstico detallado de la situación actual de la distribución de las aguas, el consumo actual y futuro, el saneamiento y tratamiento de las aguas residuales y de las aguas destinadas al riego.

c) Determinación de la demanda futura expresada en términos de volúmenes de agua a suministrar; definición de los trabajos que será necesario efectuar en cada zona (tratamiento, aducción, saneamiento, etc.) para satisfacer la demanda y organizar el crecimiento de la ciudad, así como para reestructurar el sistema existente y aumentar su rendimiento.

d) Las fechas de ejecución de los programas de trabajos se fijarán en función de los resultados de los estudios de factibilidad técnico-económica (aguas superficiales, subterráneas, utilización conjunta, repartición de los recursos entre la ciudad y el riego...).

La duración del proyecto no debería exceder de 2 años, plazo que tendría que ser tomado en cuenta en la preparación del plan director regional. La duración total agregada de la intervención del equipo de expertos (hidrogeólogos, climatólogos, hidrólogos, hidráulicos, ingenieros civiles, ingenieros de distribución, tratamiento, saneamiento, teledetección, informáticos, socio-economistas, expertos de modelización, así como especialistas en temas institucionales y de legislación de las aguas) debería ser de 100 hombres\*meses. El personal de contraparte boliviano destinado al proyecto durante un periodo de tiempo similar, podrá disfrutar, mediante su participación en los trabajos, de una formación sumamente eficaz.

Los cálculos, evaluados en 10<sup>6</sup> US \$, arrojan un presupuesto total de:

Personal	
100 hombres • meses personal consultor	
100 hombres • meses personal de contraparte	3.5
Material: vehículos, instalación de material técnico (climatología, hidrología, mediciones...)	0.5
Trabajos: sondeos, reconocimientos, piezómetros, ensayos de bombeo, nivelación, instalación de estaciones.	1.0
	---
TOTAL	5.0 M US \$

#### 4.4 - Diagnóstico de las redes de distribución y de saneamiento, programa de desarrollo futuro.

**Objetivos:** definir un programa de desarrollo progresivo por etapas con el fin de mejorar el servicio y hacer frente al aumento de la demanda. El programa deberá ponerse en práctica a partir del sistema existente y en su elaboración tener en cuenta los datos socioeconómicos sobre el futuro desarrollo.

##### Descripción de los trabajos.

Recopilación de datos básicos: desarrollo urbano y demográfico, consumo y descarga al sistema de alcantarillado; análisis de las redes existentes, de la operación y del mantenimiento del sistema comercial; diagnóstico detallado y programación optimizada del desarrollo y mejora de los servicios.

Duración de los trabajos: 5 meses.  
Costo: 0.175 M US \$.

#### 4.5 - Medición de las pérdidas de aguas superficiales.

**Objetivo :** partiendo del cálculo de las pérdidas de aguas superficiales en el sistema de recolección de agua, preparar un programa de regulación y de trabajos basados en criterios técnico-económicos (volumen recuperado, costo de las instalaciones, fiabilidad, facilidad de explotación). Los trabajos se clasificarán según sus prioridades.  
**Descripción de los trabajos.**

Previa instalación de una red de pozos de observación y de control:

- Medición de las escorrentías de superficie y de las escorrentías en los canales, medición de los volúmenes almacenados en la Cordillera (lagunas) y de los volúmenes y caudales enviados y recibidos en la llanura. Elaboración del balance de volumen captado, transportado y perdido.
- En cuanto al prediseño: evaluación del costo de las instalaciones (impermeabilización de los canales, mejoras, construcciones de nuevas presas, instalación de tuberías de presión, reparación de galerías de infiltración...).
- Elaboración del programa optimizado de los trabajos prioritarios.

Los trabajos tendrán una duración de 12 meses aproximadamente. Una vez finalizados, las mediciones de rutina en la red instalada correrán a cargo de la SEMAPA.

El presupuesto total en 10<sup>6</sup>•US \$ es el siguiente:

* 12 hombres•mes ingeniero hidráulico consultor y 12 meses ingeniero SEMAPA	0.35
* Material de medición, registro, transmisión de datos, estaciones automáticas, informática	0.25
* Trabajos de instalación	0.1
	<hr/>
TOTAL	0.7 M US \$

#### 4.6 - Explotación de los recursos termales de Liriuni

**Objetivos** - A corto plazo: investigación de recursos que permitan la rehabilitación del balneario de Liriuni.

- A medio plazo: desarrollar una actividad económica entorno a la explotación de los recursos termales de las cuenca de Cochabamba-Sacaba.

#### Descripción de los trabajos

\* Estudio de la zona de Liriuni y del pié de la cuenca de Sacaba: fotogeología, prospección geofísica y prospección por método del radón para determinar las zonas de sondeos.

\* Sondeos de reconocimiento de 400 m a transformar, en su caso, en pozos de producción.

\* Realización de las captaciones y prediseño del plano de conjunto de las construcciones futuras (balneario y hotel).

Los cálculos de la duración total del proyecto arrojan la cifra de 8 meses (incluyendo los sondeos).

El presupuesto total valorado en M•US \$ es el siguiente:

* Estudios y plano de prediseño Control de trabajos	0.200
* Trabajos de sondeos y ensayos Instalación de captaciones (material y equipo local)	0.600
	<hr/>
TOTAL	0.800 M US \$

## BIBLIOGRAFIA

Rudolf Kenn, Oscar Torrico, Hans-G Kracht (1964).- Estudio del agua subterránea para abastecimiento de agua potable en la ciudad de Cochabamba.

Carlos Velasco A., Arturo Liebers (1975).- Contrato Semapa-Geobol: perforación de pozos de producción en Coña-Coña.

Y.P.F.B. (1978).- "Proyecto agua potable para Cochabamba" - Especificaciones técnicas y manual de operación campo de pozos de Vinto.

Geobol - Naciones Unidas (1978).- Investigaciones de Aguas Subterráneas en las Cuencas de Cochabamba.

Gonzalo Maldonado Rojas (1982).- Semapa - Cordeco - H.Municipalidad. Estudio hidrológico de la cuenca "Wara-Wara".

Semapa (1986).- Proyecto San Juan - San Pablo, primera fase. Estudio de factibilidad técnica y prediseño.

Semapa (1987).- Estudio hidrológico, Proyecto Micuni Nuevas Alternativas.

Organización Panamericana de la Salud (1988).- Programa para el establecimiento de prioridades de inversión y realización de estudios para proyectos en el sector de saneamiento básico ambiental en centros urbanos de la República de Bolivia.

Asociación Misicuni (1988).- Suministro de agua potable a Cochabamba (Proyecto Mínimo de Misicuni) - Informe ejecutivo.

Semapa.- Informe gestión 1988.

Encibra S.A.(1989).-Proyecto de mejoramiento institucional de las empresas del sector de agua y saneamiento y rehabilitación de sistemas existentes. Informe de factibilidad, volumen II, Cochabamba.

Semapa (1989).- Programa de macromedición.

EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROGEOLOGICO  
DE LA REGION DE COCHABAMBA  
POR TELEDETECCION

Anexo 1

G. Delpont

1990

## INDICE

INTRODUCCION	1
1. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	1
1.1. Las imágenes	1
1.1.1. Procesamientos básicos	1
1.1.2. Procesamientos complementarios	2
1.1.3. Clasificación	2
1.2. Procesamiento de los datos interpretados	2
2. INTERPRETACION DE LA RED DE DRENAJE	3
2.1. Generalidades	3
2.2. Las subcuencas mayores	3
2.3. Estimación de la calidad del agua	3
3. INTERPRETACION MORFOESTRUCTURAL DE LAS FORMACIONES PALEOZOICAS Y CRETACICAS ENCAJANTES DE LAS CUENCAS	6
3.1. Tectónica de plegamiento	6
3.1.1. Resultados de la interpretación	6
3.1.2. Control de campo	6
3.2. Tectónica de fallamiento	8
3.2.1. Resultados de la interpretación	8
3.2.2. Trabajo de campo	11
3.2.2.1. Control de los lineamientos	11
3.2.2.2. Mecanismo de abertura de las llanuras	11
4. ESTUDIO DE LAS LLANURAS DE COCHABAMBA Y DE PUNATA: UNIDADES DE PAISAJE Y ESTRUCTURA	13
4.1. Las unidades de paisaje	13
4.1.1. Resultados de la interpretación	13
4.1.2. Control de campo	17
4.1.2.1. Llanura de Punata	17
4.1.2.2. Llanura de Cochabamba	17
4.1.3. Importancia de las unidades de paisaje para la búsqueda de agua	18

<b>4.2. Estructura</b>	<b>18</b>
4.2.1. Resultados de la interpretación	19
4.2.1.1. Llanura de Punata	19
4.2.1.2. Llanura de Cochabamba	19
4.2.2. Control de campo	19
4.2.2.1. Llanura de Punata	19
4.2.2.2. Llanura de Cochabamba	21
4.2.3. Direcciones de fracturas y de lineamientos y sus relaciones con el agua	21
<b>5. CUANTIFICACION DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL MEDIANTE UNA CLASIFICACION. RESULTADOS</b>	<b>22</b>
5.1. Clases presentes en ambas llanuras	22
5.2. Clases presentes en una sola llanura	25
5.3. Estimación de la superficie de las clases	27
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>29</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>30</b>

## FIGURAS

N° I-1	RED DE DRENAGE Y LIMITE DE CUENCAS DE LA REGION DE COCHABAMBA-PUNATA	p. 4
N° I-2	INTERPRETACION MORFOESTRUCTURALE DE LA REGION DE COCHABAMBA-PUNATA	p. 5
N° I-3	ROSAS DE LINEAMIENTOS AFECTANDO EL PALEOZOICO Y EL MESOZOICO	p. 7
N° I-4	PAISAJES Y ESTRUCTURAS DE LA LLANURA DE PUNATA-CLIZA	p. 14
N° I-5	PAISAJES Y ESTRUCTURAS DE LA LLANURA DE COCHABAMBA-SACABA	p. 15
N° I-6	COMPARATION DE LAS ROSAS DE LINEAMIENTOS AFECTANDO EL PALEO-MESOZOICO Y EL PLIO-CUATERNARIO DE LAS LLANURAS DE COCHABAMBA Y DE PUNATA	p. 20
N° I-7	CLASIFICACION DE LA LLANURA DE PUNATA-CLIZA	p. 24
N° I-8	CLASIFICACION DE LA LLANURA DE COCHABAMBA-PUNATA	p. 26

## ESQUEMAS

N° 1	HIPOTESIS DE LA APERTURA DE LAS LLANURAS	p. 9
N° 2	ESTRUCTURAS ESTUDIADAS	p. 10

## INTRODUCCION

El futuro desarrollo de la ciudad de Cochabamba y de la región requiere el aumento de sus recursos hídricos de por sí insuficientes en la actualidad.

Para asegurar el abastecimiento en agua hasta el año 2010, el Banco Mundial está dispuesto a financiar obras importantes (pozos, represas), al final de un estudio de evaluación de la red de recolección actual y otro de investigación de nuevos recursos potenciales.

El departamento de Teledetección del B.R.G.M. (Oficina francesa de investigaciones geológicas y mineras) está encargado de definir el contexto hidrológico y estructural de la región de las dos cuencas de Cochabamba y Punata, así como los grandes rasgos del uso del suelo y la extensión actual de los centros poblados.

En este estudio, se utilizarán tres imágenes multiespectrales del satélite SPOT y varias fotos aéreas. Las interpretaciones serán controladas por una misión de campo de dos semanas facilitada por la SEMAPA, un coche y un conductor disponibles en todo momento y la concesión de un helicóptero por quince horas.

En el transcurso del presente informe se exponen los temas siguientes: procesamiento de los datos, interpretación de la red de drenaje, interpretación morfoestructural de las rocas cámbricas encajantes de las cuencas, interpretación morfolitológico y morfoestructurales de las formaciones plio-cuaternarias de las llanuras, interpretación de la clasificación describiendo el uso del suelo y la evolución de los centros poblados.

### 1. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

#### 1.1. Las imágenes

Se necesitan tres imágenes para abarcar la región estudiada:

- K673 J384 del 10/06/87, para la zona de las lagunas,
- K673 J385 del 10/06/87, para la cuenca de Cochabamba,
- K674 J385 del 10/06/87, para la cuenca de Punata.

Las imágenes tienen una buena calidad radiométrica y ninguna nube a obstaculizado su toma.

#### 1.1.1. Procesamientos básicos

El primer procesamiento corresponde a la corrección geométrica de cada imagen en relación a los mapas topográficos disponibles, a escala 1:250 000. Esta corrección resulta buena en las zonas planas y más imprecisa hacia las serranías. Sin embargo los errores son aceptables incluso cuando se amplían las imágenes a 1:50 000.

A continuación se hace un balance radiométrico de las dos imágenes del Sur (Cochabamba y Punata). En efecto, fueron tomadas el mismo día pero por los dos diferentes sensores del satélite. Al final se agrega un filtraje pasa-alto para mejorar la percepción de los detalles.

Se finaliza el proceso mosaicando las imágenes de 2 en 2, constituyendo de esta manera dos archivos generales. De estos mismos se puede extraer todas las subimágenes necesarias para el estudio temático.

### 1.1.2. Procesamientos complementarios

En primer lugar se extraen las distintas subimágenes que servirán en el transcurso del estudio:

- la cuenca de Cochabamba y las lagunas, a escala 1:250 000,
- la cuenca de Punata, a escala 1:250 000,
- la llanura de Cochabamba, a escala 1:100 000,
- la llanura de Punata, a escala 1:100 000,
- la ciudad de Cochabamba, a la escala de 1:25 000°. Para esta última imagen se paso el tamaño del pixel a 10 metros y se agrego un filtraje pasa alto.

Para cada subimagen se calcula una expansión de dinámica, adecuada para resaltar los objetos temáticos estudiados (unidades de paisaje, de geomorfología, etc...)

### 1.1.3 Clasificación

Se calcula por fin una clasificación supervisada sobre las cuencas de Cochabamba y de Punata, para cartografiar aproximadamente los grandes rasgos del uso del suelo, los distintos tipos de vegetación y la extensión de los centros poblados.

El principio de la clasificación consiste en diferenciar los objetos presentes en la imagen en base a sus características radiométricas en cada banda espectral. La comparación de las respuestas de todos los objetos entre sí, en las tres bandas (SPOT tiene tres bandas espectrales) permite distinguirlos, por lo tanto que haya una diferencia radiométrica, al menos para una banda. Es el mayor problema de las clasificaciones, puesto que objetos distintos pueden tener convergencia o igualdad de respuesta.

La clasificación se hace en varias etapas:

- búsqueda de parcelas de entrenamiento características de los objetos, o clases, que se quiere estudiar, hasta tener un mínimo de unos dos cientos pixeles para cada clase,
- cálculos estadísticos relativos a las mismas parcelas para llegar a una matriz de confusión. Esta misma permite ver los errores mayores para volver a definir nuevas parcelas o a sumar clases muy cercanas en cuanto a su significado y su radiometría .
- cuando se llega a una representación correcta de los fenómenos estudiados, se inicia el cálculo relativo a toda la imagen.
- a partir de esta nueva imagen se puede calcular el número de pixeles correspondientes a cada clase y, por fin, su superficie total. Para esta misma, se tiene que considerar el nivel de error introducido por la confusión interclase y aproximado dentro de la matriz de confusión.

### 1.2 Procesamiento de los datos interpretados

Se digitalizan los datos correspondientes a la red de drenaje y a la geología estructural. Los cálculos estadísticos elementales permiten destacar las principales direcciones de los dos temas y compararlas.

La digitalización de la red de drenaje impone como paso previo esquematizar el dibujo inicial. Este último, establecido naturalmente con líneas curvas, tiene que ser simplificado geoméricamente bajo forma de líneas rectas, respetando sin embargo la forma inicial.

## 2. INTERPRETACION DE LA RED DE DRENAJE

### 2.1 Generalidades

La morfología regional revelada en las imágenes de SPOT sugieren que las llanuras de Cochabamba y de Punata tienen un origen tectónico y se encuentran abiertas dentro de las formaciones paleozoicas.

Estas mismas forman altas cumbres localmente aplanadas por glaciares hoy desaparecidos (alturas medias de 3500 a 4500 msnm). Al Norte por lo menos, depósitos morrénicos espesos, que recubren frecuentemente las formaciones paleozoicas, suavizan adicionalmente la morfología.

Las mayores llanuras tienen una morfología casi-plana, únicamente modificada por la presencia de conos de deyección o abanicos, de diversos tamaños y edades.

La red de drenaje se dibuja, a vista, de una manera exhaustiva compatible, sin embargo, con la precisión de las imágenes. Los límites de las cuencas corresponden a las divisorias que limitan el flujo de agua hacia las llanuras. Esta red permite conocer de cerca los tipos de circulación de las aguas de lluvias y delimitar las subcuencas mayores (ubicación de obras posibles).

La figura I.1 muestra el dibujo de la red drenaje después de su digitalización. Se observan tres entidades mayores, la de Cochabamba, la de Punata y la de Vacas que corresponde a un flujo endorreico hacia las lagunas de origen glaciar.

### 2.2. Las subcuencas mayores

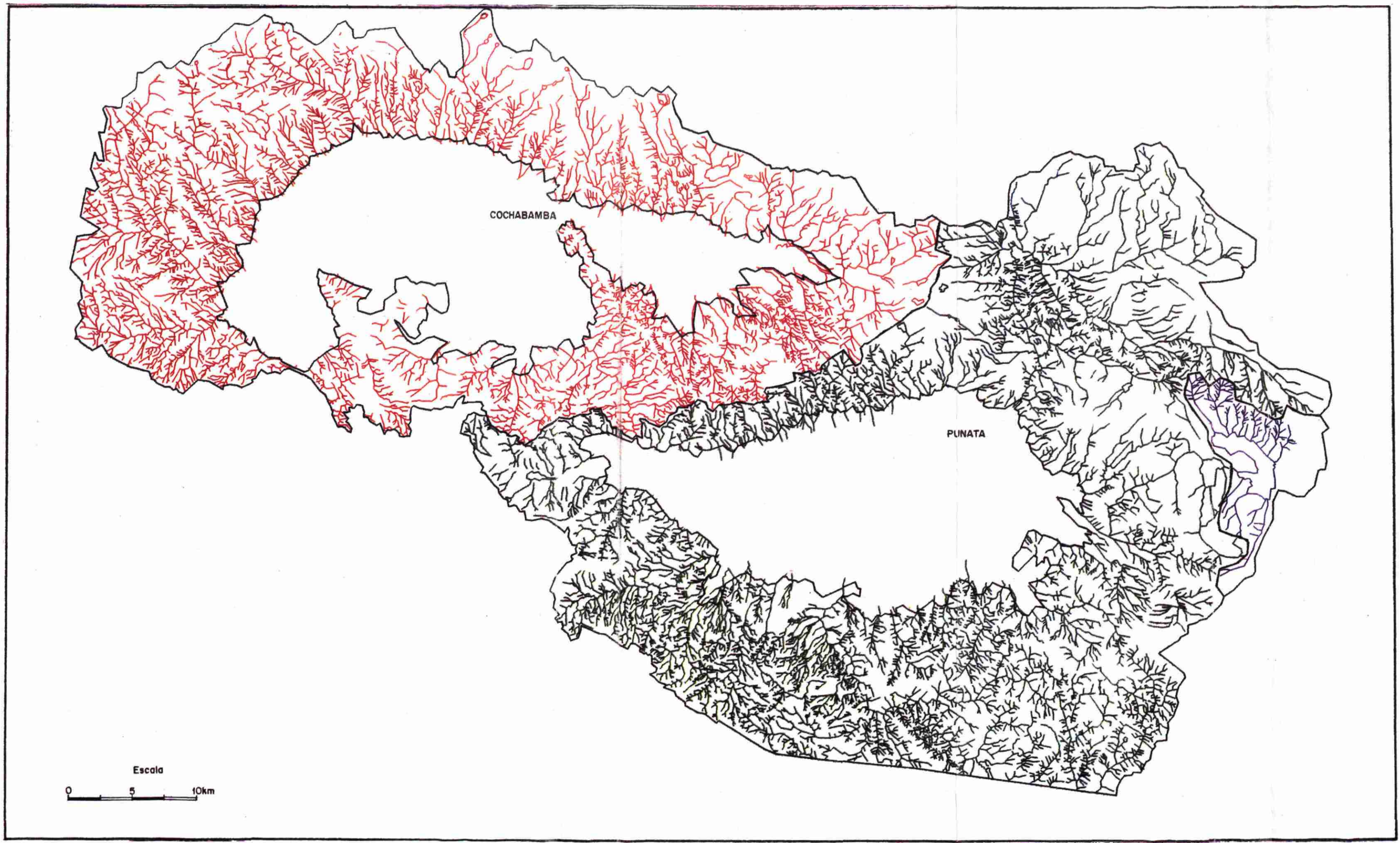
La distribución de las subcuencas mayores no es homogénea en las cuencas. En la cuenca de Cochabamba, se encuentran en la parte oeste. De Norte a Sur se puede citar las subcuencas del río San Miguel, del río Llave, del río Viloma y del río Khavarani. En la cuenca de Punata, estas subcuencas se ubican principalmente al Sur, río Calicanto (Tarata), río Siches-Cliza, río Escalera (Villa Rivero) y río Grande (Arani). El río Wasa Mayu (Punata) es una excepción importante, al N-E de la cuenca.

Esta disposición parece correlacionada con la tectónica responsable de la abertura de las depresiones principales: el movimiento de abertura estuvo controlado por grandes fracturas que limitan las cuencas hacia el Norte (Falla de Tunari por ejemplo). En el límite de la cuenca son bastante abruptos y ocasionan un drenaje de poca extensión. Hacia el Sur, al contrario, el hundimiento más suave del basamento permitió la formación de una red más extensa.

En el mapa de isoyetas que abarca toda la región se observa una repartición asimétrica de las lluvias, más concentradas al oeste de la cuenca de Cochabamba. Obviamente los ríos citados más arriba, presentes en esta zona, son favorables a la concentración del agua. De hecho, según las informaciones de campo, fluyen continuamente durante todo el transcurso del año.

### 2.3. Estimación de la calidad del agua

Las imágenes permiten dar una estimación de la calidad del agua, en lo que se refiere al contenido de sedimentos en suspensión, por medio del análisis de la reflectancia.



LEYENDA

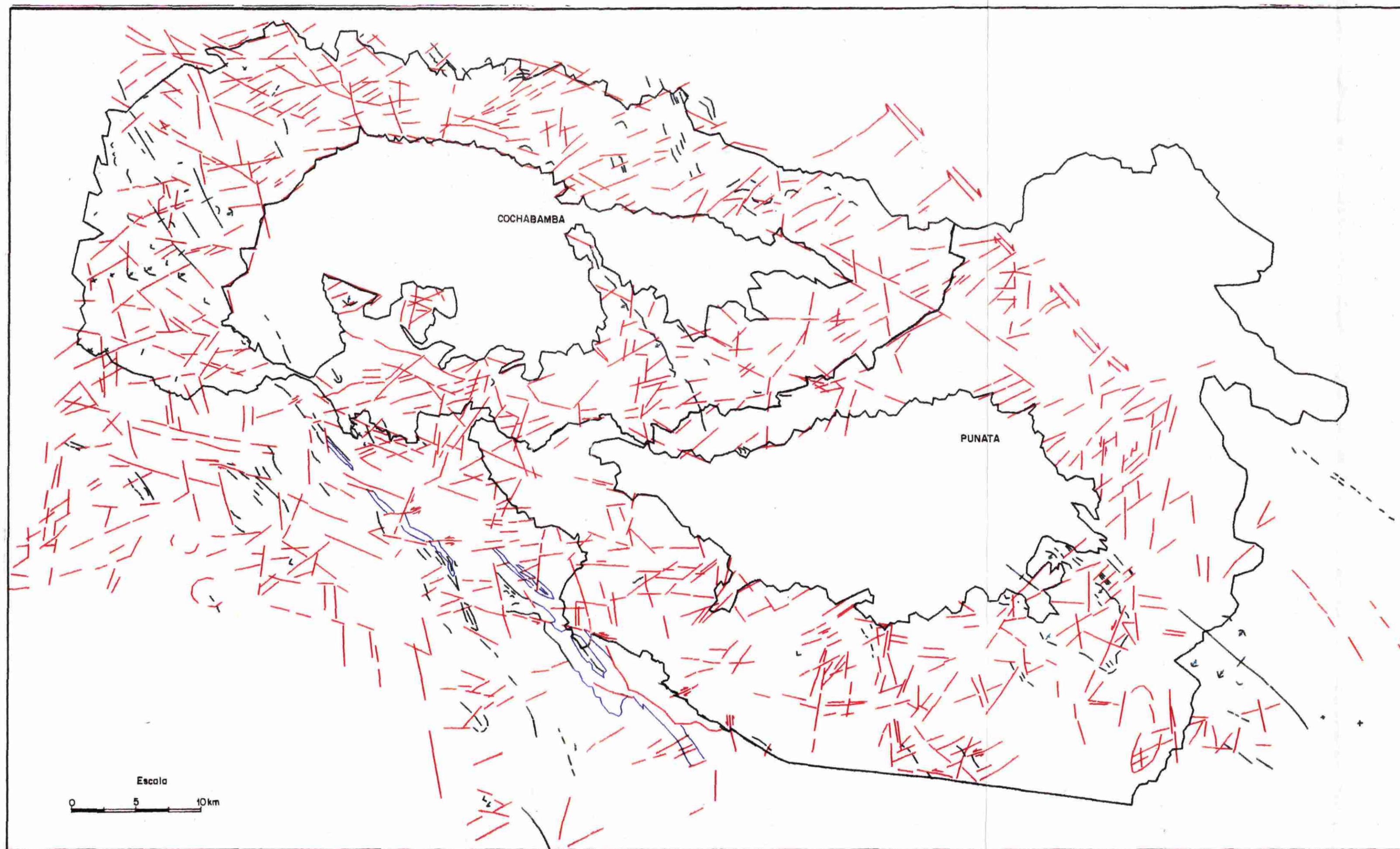
- Límite de cuenca y de llanura
- Drenaje de la cuenca de Punata
- Drenaje de la cuenca de Cochabamba
- Drenaje de la zona de Vacas









BRGM - SEURECA - BANCO MUNDIAL PPF.444.80

EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA  
Y ABASTECIMIENTO EN AGUA POTABLE  
DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA - BOLIVIA

RED DE DRENAJE Y LÍMITE DE  
CUENCAS DE LA REGIÓN DE  
COCHABAMBA - PUNATA

INFORME n° Fig. n° 1.1



- LEYENDA
-  Lineamientos
  -  Litología (unidades particulares)
  -  Litología (orientación mayor)
  -  Límite de Cuencas
  -  Eje synclinal
  -  Pendiente
  -  Capa horizontal
  -  Movimiento aparente de falla

BRGM - SEURECA - BANCO MUNDIAL PPF.444.BO	
EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA Y ABASTECIMIENTO EN AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA - BOLIVIA	
INTERPRETACIÓN MORFOESTRUCTURALE DE LA REGIÓN DE COCHABAMBA-PUNATA	
INFORME n°	Fig. n° I. 2

La observación de las lagunas, naturales o artificiales, muestra una fuerte diferencia de color. En la serranía o dentro de la llanura de Cochabamba el agua tiene un color oscuro, casi negro. Al contrario en la llanura de Punata (Angostura) o en la región de Vacas, el agua tiene un color azul claro.

Eso significa que el agua de las primeras lagunas es clara, sin turbidez y que la de las segundas esta cargada de sedimentos. Esta diferencia corresponde muy bien al tipo de rocas que atraviesa el drenaje antes de llegar a las lagunas. Tal observación puede dar una indicación en cuanto a la importancia del tratamiento que tendrá que sufrir el agua antes de volver a ser potable y a los problemas de relleno de las represas actuales o futuras.

### 3. INTERPRETACION MORFOESTRUCTURAL DE LAS FORMACIONES PALEOZOICAS Y CRETACICAS ENCAJANTES DE LAS CUENCAS

Esta interpretación se hizo en base a imágenes ampliadas a escala 1:100 000. Los indicios de tectónica de plegamiento y de afallamiento se observan bastante claramente, aunque al Norte de las cuencas el efecto de la erosión glaciaria modifique localmente la morfología (erosión, morrenas). A continuación se resumen las principales observaciones.

#### 3.1. Tectónica de plegamiento

##### 3.1.1 Resultados de la interpretación (fig.I.3)

- Las estructuras tienen una dirección general N130°\_140°(1) E y atraviesan las imágenes desde el N-O hasta el S-E, sin que la presencia de las llanuras cambie mucho estos rasgos mayores.

- Las pendientes de las capas se perciben sin mayor dificultad y parecen simétricas. Se puede deducir que los pliegues son simétricos y que no son cerrados.

- Localmente, los pliegues que afectan a formaciones distintas parecen tener grados de deformación muy diferentes (por ejemplo, al Sur de Vacas, el largo sinclinal devónico superpuesto a las formaciones ordovícicas). Eso evoca la posibilidad de una discordancia entre las dos formaciones, el Ordovícico, infrayacente, con pliegues aparentemente cerrados y el Silúrico-Devónico, con pliegues mucho más suaves.

- Desplazamientos de capas por fallas, indicios de plegamientos regionales en los alrededores de zonas poco identificables dejan pensar que el esquema globalmente sencillo definido en las imágenes pueda ser localmente más complejo.

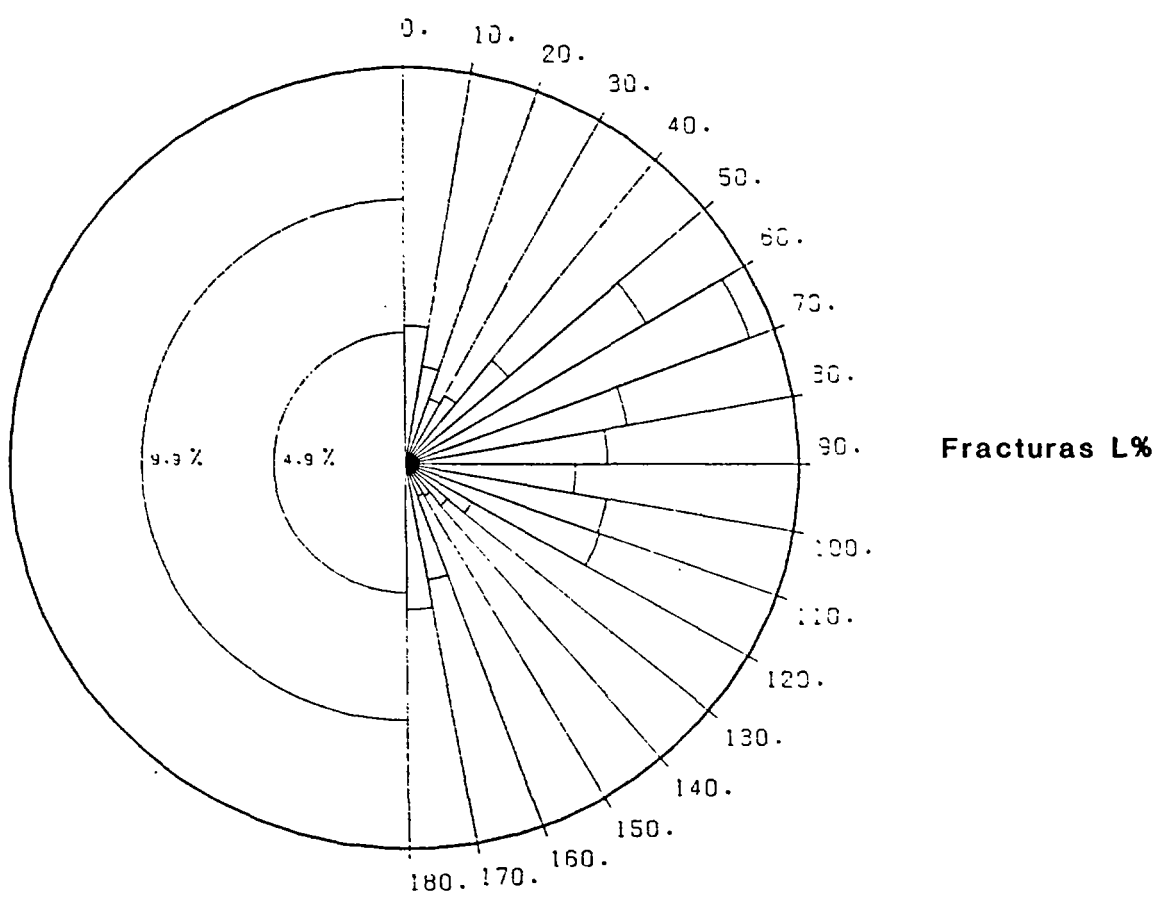
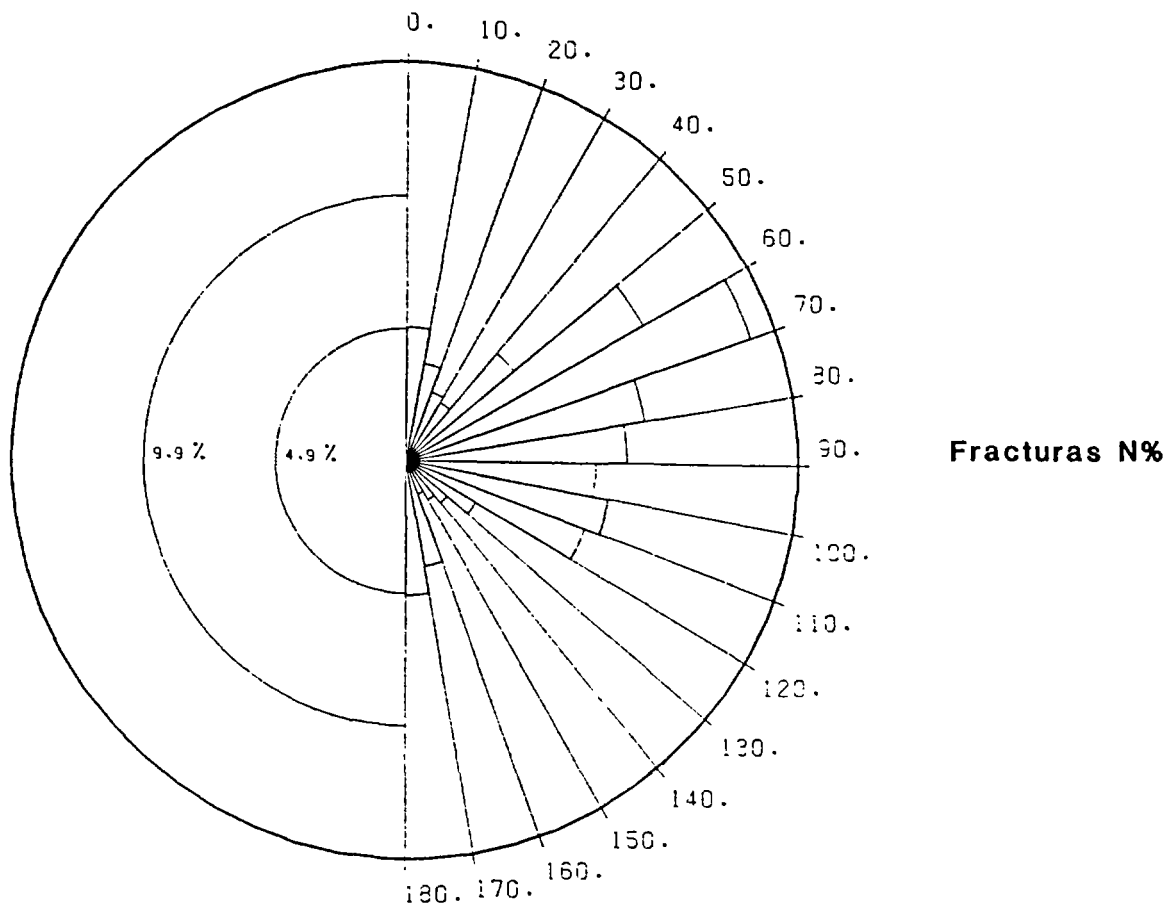
##### 3.1.2. Control de campo

Las observaciones de campo confirman la interpretación en cuanto a la organización y la deformación de las capas, evidentemente con una complejidad mucho mayor en detalle:

- Se confirman los dos primeros puntos expuestos en 3.2.1, tanto para las direcciones generales de las capas como para los valores de pendientes que varían entre 15° y 50°.

- Se confirma igualmente el cuarto punto dado que se observan importantes variaciones locales en la dirección de la estratificación.

-----  
(1) Las direcciones de las estructuras tectónicas se miden de 0° (Norte) a 180° (Sur) en el sentido de las agujas del reloj.



**Fig. I.3 - ROSAS DE LINEAMIENTOS AFECTANDO EL PALEOZOICO Y EL MESOZOICO ( en porcentaje de numero (N%) y de longitud (L%)**

. pliegues anteriores a las estructuras regionales (tectónica superpuesta),

. pliegues que resultan del funcionamiento de fallas: Se trata de pliegues de eje horizontal en el caso de las fallas normales (falla Tunari por ejemplo) o de pliegues con eje oblicuo en el caso de las fallas transcurrentes (falla situada al norte de la llanura de Punata. Estancia Pucayan).

- El tercer punto se revela falso al observar el terreno: las formaciones ordovícicas y silúrico-devónicas son concordantes. La morfología más acusada de las capas ordovícicas parece estar totalmente relacionada con una erosión fluvial más intensa, comparada con la que afecta a las capas silúrico-devónicas. El fuerte contraste morfológico lleva al fotogeólogo a buscar un posible origen estructural.

### 3.2. Tectónica de fallamiento

#### 3.2.1. Resultados de la interpretación

Los elementos estudiados corresponden a discontinuidades-imagen, generalmente rectilíneas, relacionadas con cambios o anomalías morfológicas y/o de radiometría. Por su forma y su posición espacial, tienen un significado estructural para el fotogeólogo. Un cálculo estadístico elemental permite destacar tres direcciones mayores, por su número o su longitud (figura 1.3):

- N40°-90°E: Se trata de la dirección más importante en cuanto a su número de elementos, con un máximo entre N60°E y N70°E. Son generalmente cortos. Se nota en la imagen una mayoría de movimientos transcurrentes diestros asociados, principalmente en el Sur de la cuenca de Cochabamba.

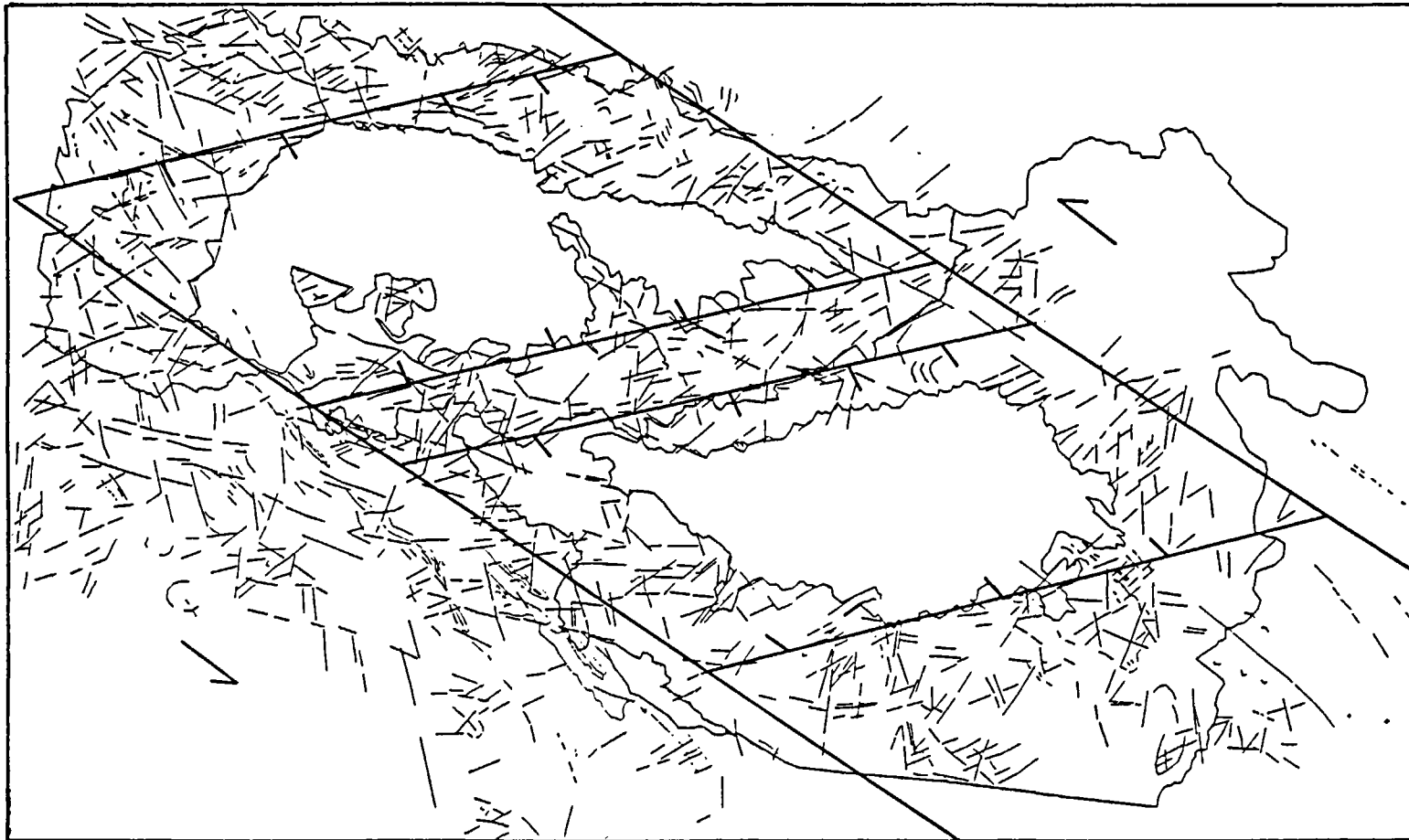
- N90°-120°E: El número de elementos de esta dirección es mucho menor que el de la precedente. Al contrario su longitud y su impacto morfológico son mayores. Se puede citar, por ejemplo, el límite norte de la llanura de Cochabamba (falla de Tunari) o el valle del río Rocha al Sur-Oeste de esta misma llanura.

- N160°-20°E: El tamaño, el número y el impacto morfológico de los elementos de esta dirección tienen un carácter generalmente intermedio entre las dos precedentes. Un movimiento transcurrente diestro (dirección N170°E) y varios senestros (dirección N10-20°E) evocan la posibilidad de un sistema de fracturación conjugada.

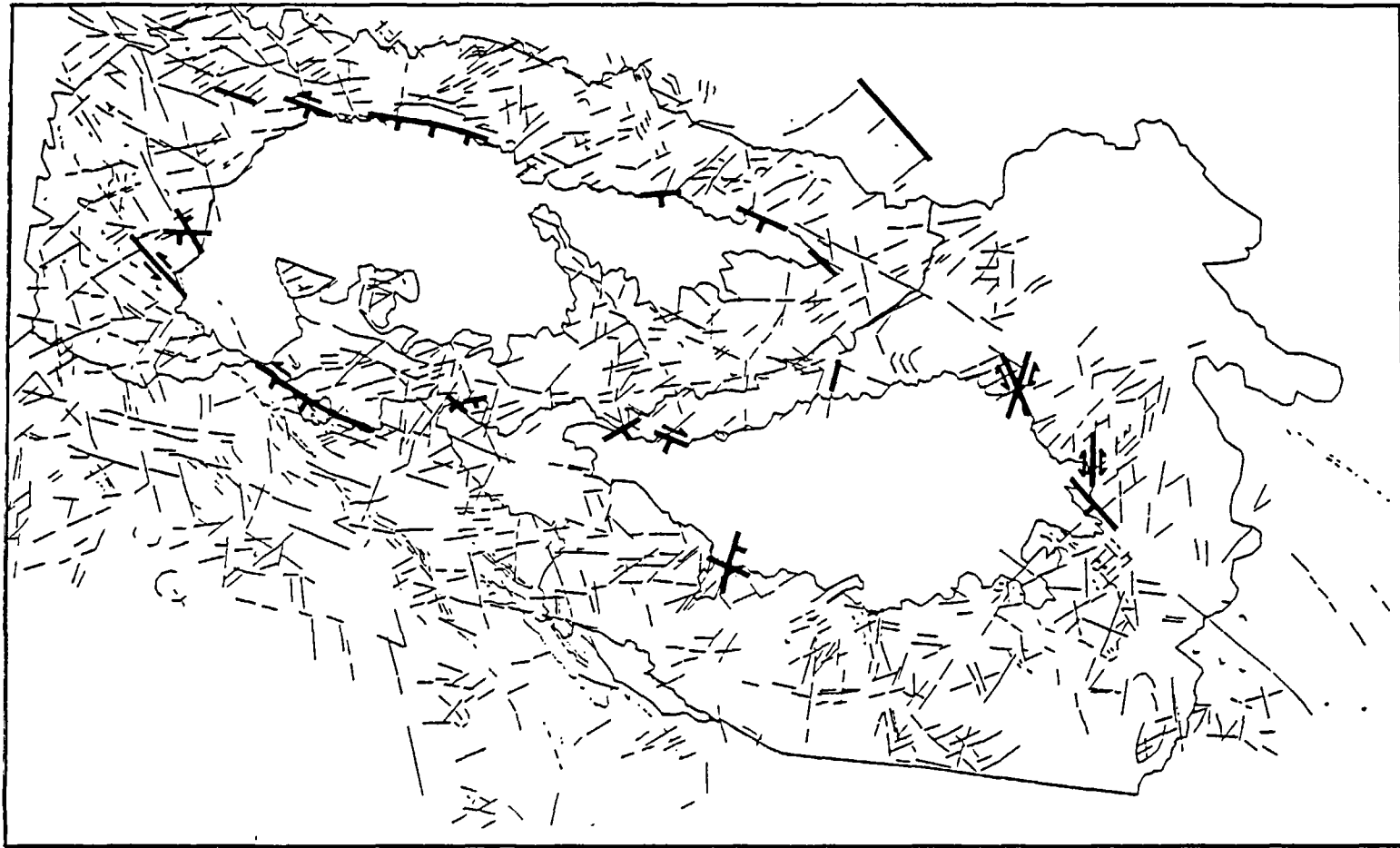
Además de detectar indicios de pliegues o de fracturas en la imagen, el geólogo trata de percibir fenómenos más extensos a nivel regional: la observación de las imágenes a escala 1:250000 permite acercarse al mecanismo de abertura, dentro de la cadena paleozoico-cretácica, de llanuras de sedimentación plio-cuaternarias como las de Punata y Cochabamba.

Confirmando las palabras de A.Lavenu(1986), que habla de una abertura tectónica de tipo "semi-graben", las imágenes permiten proponer una hipótesis más precisa, correspondiendo a un funcionamiento en "pull-apart", por la forma que tienen las llanuras. Se trata de un hundimiento de tipo "graben" que ocurre como fenómeno secundario, durante el funcionamiento transcurrente de una falla mayor. El conocimiento sobre el mecanismo de abertura es muy importante porque el mismo controla en gran parte la sedimentación y en consecuencia la forma de los cuerpos sedimentados.

El esquema 1 resume dicha hipótesis y permite decidir que zonas son más convenientes a visitar durante el trabajo de campo (esquema 2).



**Esquema 1 - HIPOTESIS DE LA APERTURA DE LAS LLANURAS**  
**Representacion teorica del mecanismo de "pull-apart"**  
**( posicion de las estructuras mayores esquematica )**



Falla visitada
  Mecanismo transcurrente (un solo sentido)
  Mecanismo vertical
  Mecanismo transcurrente (doble sentido)

Esquema 2 - ESTRUCTURAS ESTUDIADAS.

### 3.2.2. Trabajo de campo

Este trabajo tiene dos objetivos: del control de los lineamientos interpretados en las imágenes y de la búsqueda de indicios para confirmar o rechazar la hipótesis de abertura de las llanuras.

#### 3.2.2.1. Control de los lineamientos

El control de los lineamientos se hizo de manera aleatoria, pero sistemática alrededor de las llanuras. En la mayoría de los casos se determinaron fracturas importantes, o más bien conjuntos de fracturas, en el sitio del lineamiento. Localmente las fracturas tenían planos recristalizados y de vez en cuando, estriás que corresponden a indicios indudables de movimiento. Estas mismas muestran la dirección del movimiento, horizontal, vertical o intermedio e incluso su sentido, en casos algunos casos desafortunadamente raros. En unos casos se pudieron observar dos hasta tres direcciones de estriás distintas. Eso revela la existencia de varias fases de movimiento y confirma la complejidad de la tectónica en la zona.

#### 3.2.2.2. Mecanismo de abertura de las llanuras

Para averiguar la hipótesis de apertura de las llanuras, se concentro el chequeo en sus alrededores, sobre el pasaje de las fallas mayores detectadas con las imágenes y confirmadas a veces con las fotografías aéreas. Sin embargo, por el tiempo limitado, y al final de la misión, por problemas meteorológicos, no se pudo realizar un control detallado. Se buscaron los rasgos generales.

El esquema 2 muestra las principales estructuras visitadas durante el reconocimiento de campo. A continuación se presentan las observaciones más relevantes en el asunto:

3.2.2.2.1. La falla de Tunari: Esta estructura mayor fue visitada en cuatro puntos principales, Liruini, la quebrada Criza, cerca del desarenador, la quebrada Molino Mayu, bajando de la laguna Larati, y los alrededores de la Estancia Choque Chambi, al Este de Sacaba.

Las principales direcciones de las fallas, es decir estructuras con indicio de movimiento reconocido o con fuerte densidad de fracturación resaltan las siguientes:

- N120°-150°E, más numerosas, con movimientos verticales principalmente (fallas normales o inversas) y localmente horizontales (falla transcurrente) en Liruini, por ejemplo,
- N50°-70°E, con movimientos verticales, normales o inversos,
- N170°-180°E, con movimientos normales.

El juego vertical mayor de la falla de Tunari se ve confirmado por la presencia, en la quebrada Molino Mayu, de un importante pliegue afectado de un eje vertical de dirección estimada E-O, cuando las estructuras regionales están orientadas N160°E: Este pliegue podría resultar de un movimiento normal de la falla.

Este movimiento parece reciente porque A.Lavenu(1986), como el suscrito, midió fallas normales en las formaciones plio-cuaternarias de Sacaba.

Se confirma entonces el juego principal normal de la falla de Tunari aunque existen movimientos superpuestos diferentes,

particularmente según un movimiento relativo horizontal-siniestro cuya edad es desconocida

3.2.2.2.2. Las fallas de los ríos Llave y Viloma: Se definieron tres direcciones mayores:

- N20°-30°E, con movimiento normal y horizontal-siniestro,
- N80°-100°E, con movimiento transcurrente-diestro,
- N110°-130°E, con movimiento transcurrente-siniestro.

La primera dirección confirma el movimiento normal, de hundimiento, hacia la llanura, la tercera correspondería a una falla principal participando al control del "pull-apart". Este mecanismo se confirma más al Sur en el cañón que forma el río Rocha, en su salida de la llanura de Cochabamba. Se observan varias fallas importantes con movimiento normal-siniestro y dirección N100°-120°E.

3.2.2.2.3. El límite norte de la llanura de Santivañez: No se encontraron muchas estructuras aprovechables en esta zona (ausencia de estrías o desplazamiento de bancos). Sin embargo una falla de dirección N80°E mostró un movimiento normal y otra, de dirección N110°E, un movimiento inverso. La primera resulta interesante en el contexto de la hipótesis emitida más arriba, pero queda solamente a título indicativo por ser única.

3.2.2.2.4. El límite norte de la llanura de Punata fue visitado en dos sitios, la represa de Angostura y la quebrada Sallana, al Norte de la comunidad Paracaya (Norte de Punata):

- en la primera zona se observa una gran mayoría de fallas N50°-60°E, normales, unas fallas N120°-130°E, normales también y una falla N120°E, transcurrente-diestra.

- en la segunda zona se observó más que nada un importante cambio de la dirección de las capas, las cuales pasan desde N120°-130°E al Oeste hasta N90°E al Este, formando un pliegue a eje oblicuo.

Esta zona tiene cierta convergencia con la hipótesis propuesta (las fallas normales de la primera zona de dirección cerca de la del límite norte de la llanura), pero complicada por la presencia de deformaciones de plegamiento que evocan la posibilidad de un movimiento transcurrente siniestro (eje de pliegue oblicuo).

3.2.2.2.5. El límite sur de la llanura de Punata fue igualmente visitado en dos sitios, al Sur-Este de Tarata y al Sur de Arani:

- en la primera zona, se observaron unas fallas pequeñas que afectan formaciones plio-cuaternarias, de dirección N10°E y N90°-100°E y que parecen tener un movimiento relativo normal.

- en el segundo sitio, dos fallas N140°E tienen un movimiento relativo normal y dos fallas N-S, verticales, de escala cartográfica, tienen dos movimientos opuestos, transcurrente-diestro y siniestro.

Esta misma zona está también ubicada en el límite este de la llanura. De hecho, si las fallas normales N140°E evocan el movimiento de hundimiento, las N-S podrían ya corresponder a un testimonio del movimiento transcurrente mayor.

3.2.2.2.6. La segunda zona de observación del límite este de la llanura de Punata se ubica en los primeros kilómetros de la carretera hacia Tiraque, dentro del cañón del río Pucara Mayu. Las fallas observadas, de dirección N160°-40°E, presentan todas indicios de

movimiento transcurrente-diestro o siniestro, siendo el primero preponderante. En este caso, si el movimiento transcurrente refuerza la hipótesis, el sentido diestro preponderante parece revelar una fase de deformación diferente.

La última observación en este tema tuvo lugar casi en la orilla de la laguna de Corani, cerca de Colomi. Esta ciudad está construida en el valle rectilíneo del río Colomi, cuya observación en la imagen evoca la presencia de una estructura regional muy importante. Si el paso de una falla grande pareció indudable en la zona visitada, por la presencia de un gran espesor de arcilla de alteración, no se pudo observar ningún plano afectado de estrias para obtener más información acerca del movimiento.

#### 3.2.2.2.7. Conclusiones parciales:

Este primer estudio, desafortunadamente rápido, no permite demostrar con toda seguridad la hipótesis emitida al principio, al interpretar las imágenes a escala de 1:250000. Sin embargo las observaciones puntuales, realizadas a lo largo de las llanuras, le son con frecuencia compatibles.

### 4. ESTUDIO DE LAS LLANURAS DE COCHABAMBA Y DE PUNATA: UNIDADES DE PAISAJE Y ESTRUCTURA

Se estudiaron las llanuras de Cochabamba y de Punata en función de dos temas principales. El primero corresponde al análisis de las unidades de paisaje, diferenciadas por su morfología, su textura, su drenaje, la organización de las parcelas, ocasionalmente el tipo de cultivo, etc.

El segundo trata del reconocimiento de los lineamientos susceptibles de revelar fracturas actuales o subactuales que afectan a las formaciones recientes. La interpretación se apoya en unos indicios morfológicos (color verde en la figura) y, principalmente en este ambiente, radiométricos (color rojo).

La comparación de estas interpretaciones, con unos documentos extras y el conocimiento de campo permitirá llegar a una evaluación del interés de cada unidad en cuanto a sus propiedades hidráulicas.

#### 4.1. Las unidades de paisaje (figuras I.4 y I.5)

Morfológicamente, se puede separar dos regiones en cada llanura:

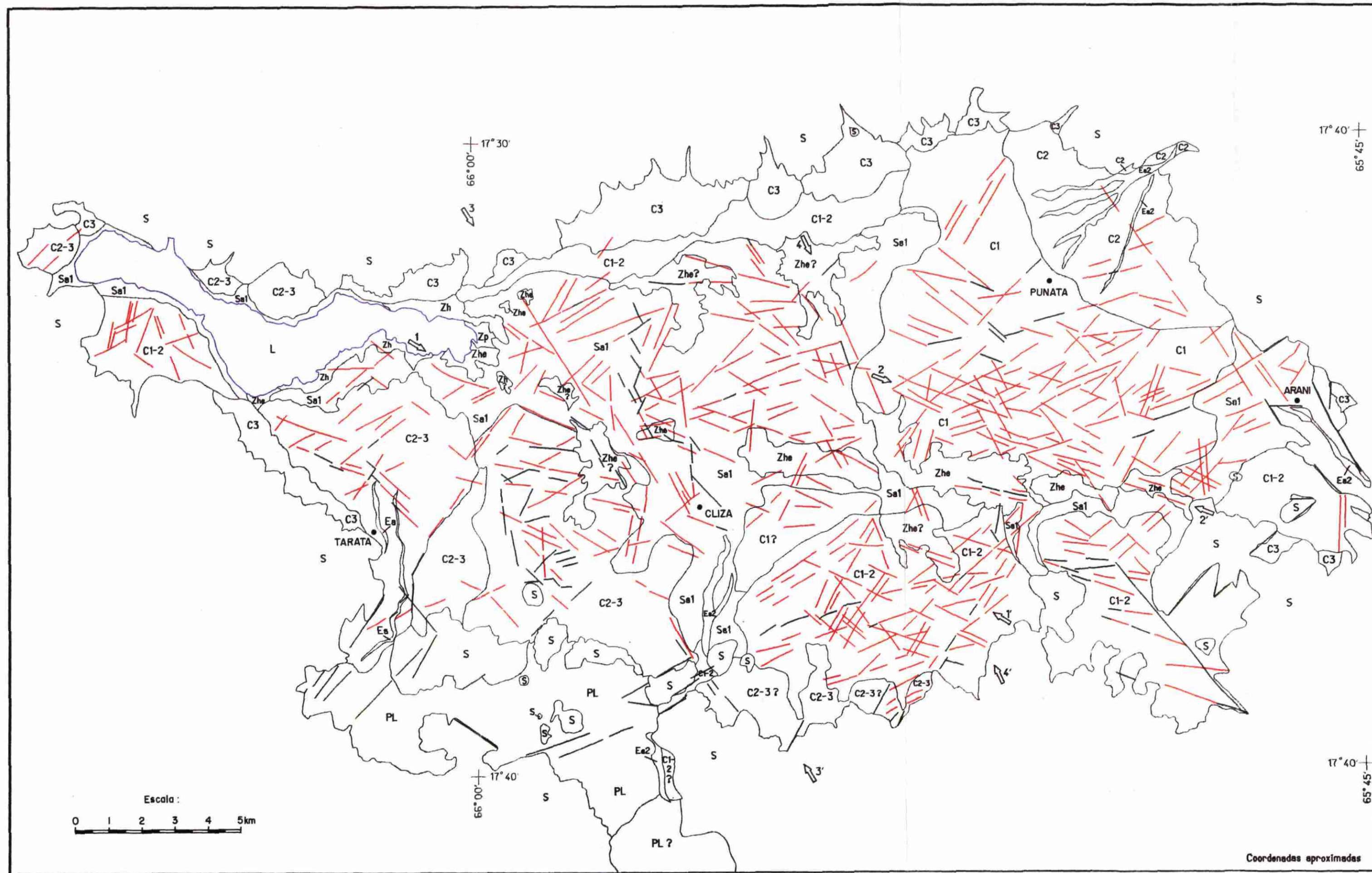
- la región central, lugar de la sedimentación fluvio-arcillosa actual hasta subactual, con una morfología plana, de importante uso agrícola, industrial y urbano,

- la región periférica, donde se depositan los conos de deyección en forma de abanicos. Según su edad, con frecuencia correlacionada con su pendiente, y su composición, a veces con abundancia en piedras, los conos van a sufrir una densidad de uso variable, generalmente inferior a la de la región central.

##### 4.1.1 Resultados de la interpretación

Las unidades diferenciadas en el transcurso de la interpretación se definen a continuación, según un orden cronológico relativo supuesto, desde las más actuales hasta las más antiguas:

- zh, zhe, zp: zonas húmedas, zonas húmedas con evaporación, zonas pantanosas. Corresponden a unidades pequeñas, inundadas continuamente

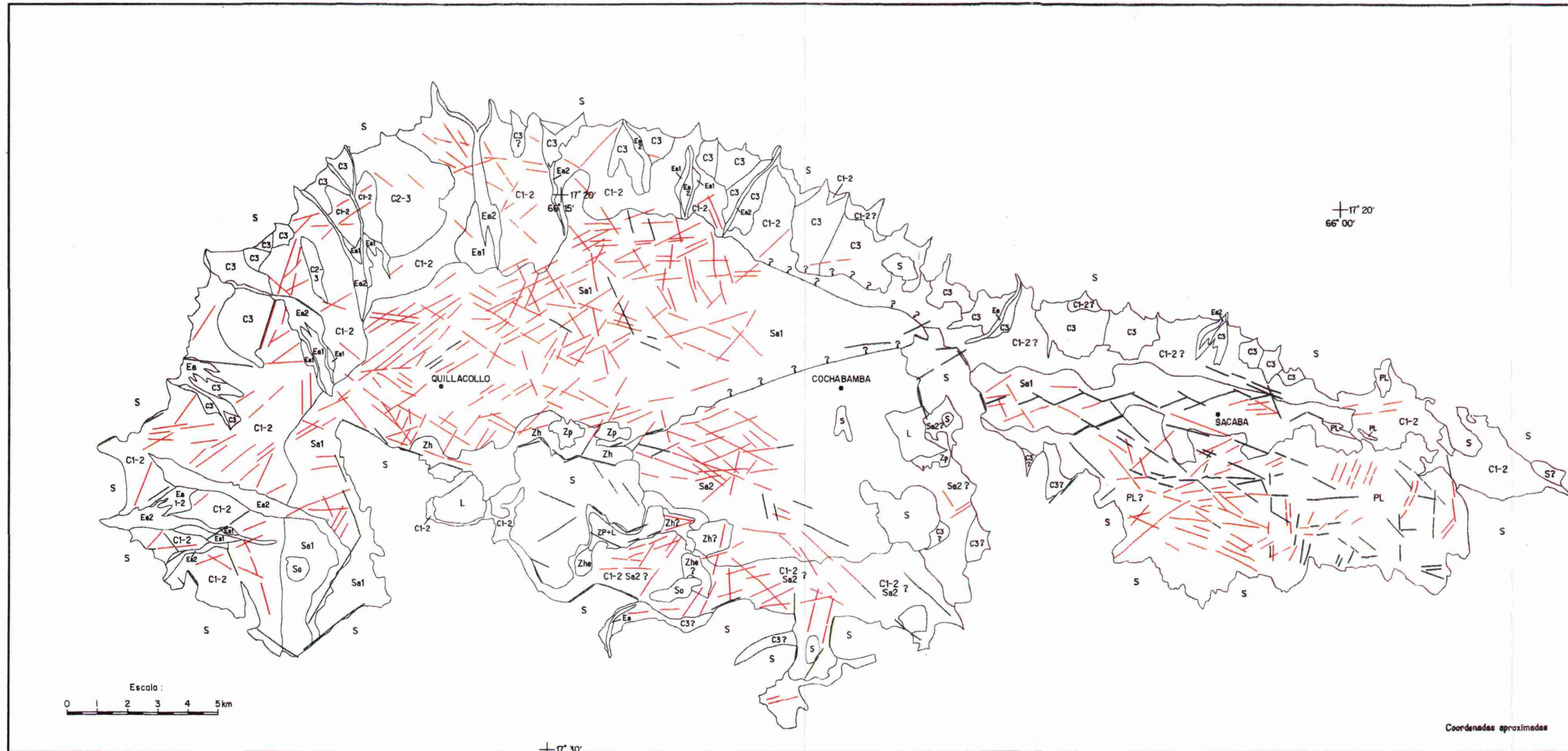


LEYENDA

- Zh, Zhe, Zp Zonas húmedas, con evaporación salina pantanosa
- Ee1, Ee2 De positación aluvial actual, subactual
- C3, C2, C1 Conos de deyección activos, recientes, antiguos
- Sa1, Sa2 Terranos de sedimentación lacustra-aluvial
- PL Terrano Pliocenas
- S Socalo ante Plio-cuaternario
- L Lagunas naturales o artificiales
- ↔ Lineamientos mayores
- Lineamientos "morfológicos"
- Lineamientos "radiométricos"
- Límite de unidades
- Límite de la laguna de Angostura

BRGM - SEURECA - BANCO MUNDIAL PPF.444.BO	
EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA Y ABASTECIMIENTO EN AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA - BOLIVIA	
<b>PAISAJES Y ESTRUCTURA DE LA LLANURA DE PUNATA - CLIZA</b>	
INFORME n°	Fig. n° I.4

Coordenadas aproximadas



LEYENDA

- Zh, Zhe, Zp Zonas húmedas, con evaporación salina pantanosa
- Ea1, Ea2 De posición aluvial actual, subactual
- C3, C2, C1 Conos de deyección activos, recientes, antiguos
- Sa1, Sa2 Terranos de sedimentación lacustra-aluvial
- PL Terrano Pliocenas
- S Socalo ante Plio-cuaternario
- L Lagunas naturales o artificiales
- ↔ Lineamientos mayores
- Lineamientos "morfológicos"
- Lineamientos "radiométricos"
- Límite de unidades

BRGM - SEURECA - BANCO MUNDIAL PPF.444.B0	
EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA Y ABASTECIMIENTO EN AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA - BOLIVIA	
<b>PAISAJES Y ESTRUCTURA DE LA LLANURA DE COCHABAMBA - SACABA</b>	
INFORME n°	Fig. n° I.5

(zh) o por temporadas más cortas, lo que supone un fenómeno de evaporación y la presencia de sal, visible en la imagen por su respuesta casi blanca (zhe). Las zonas pantanosas se diferencian de las otras en la imagen por la presencia de vegetación discontinua percibida por su respuesta roja. Estas unidades se ubican en las zonas más bajas de las llanuras y/o en los alrededores de las grandes lagunas y de los principales ríos.

- ea2, eal: zonas de depósitos aluviales actuales (ea2) o subactuales (eal). Las unidades eal señalan el paso actual del agua que retrabaja el material del abanico sobre el cual se encuentra e impide el crecimiento de la vegetación. Solo se ve la grava lavada, por su color azul claro en la imagen. Estas unidades pueden desplazarse muy rápidamente, quizás en el transcurso de una sola tormenta, al menos de un año a otro. Ea2 evoca C3 por su respuesta espectral y eal por la presencia de ríos pequeños actualmente secos. Se parecen a unidades eal antiguas.

Estas dos unidades se ubican casi siempre por encima de los abanicos, cortándolos indistintamente refiriéndose a su edad relativa.

- C3, C2, C1: abanicos. Se definen estas unidades en la llanura de Punata: Se puede observar en la zona de esta misma ciudad dos abanicos superpuestos, muy característicos en la imagen por la organización radial tanto del drenaje como de las parcelas de cultivo. El abanico más antiguo (C1) tiene dos límites semicirculares, el primero materializado por una serie de zonas de evaporación (zhe) al nivel de los ríos Pocoata y Sulty, el segundo por un cambio de color y de textura al nivel de la ciudad de Punata. El segundo abanico (C2) se está limitado, aguas arriba, directamente por la montaña. Por el intenso uso del suelo que sufren estos abanicos y por su morfología muy plana se puede concluir que tienen cierta edad.

La diferenciación entre C1 y C2 no se ve tan clara en los otros sitios estudiados. Sin embargo, se guarda por razón de homogeneidad, usando la notación asociada (C1-C2) en caso de duda.

Las unidades C3 corresponden a abanicos recién formados especialmente cuando soporten retrabajamiento actual (tipo eal o ea2). La imagen permite además percibir una morfología acusada, principalmente en cuanto la pendiente más fuerte.

- Sa2, Sa1: terrenos sedimentarios aluviales. Se trata de las formaciones sedimentarias que rellenan las llanuras de Cochabamba y de Punata. Aparecen en la imagen como superficies muy planas, generalmente muy utilizadas por la agricultura. La distinción entre Sa1 y Sa2 se hace únicamente cerca de Cochabamba en base a cambios de textura, es decir cambios de organización de las parcelas, sin argumento cronológico posible.

- S: basamento ante plio-cuaternario.

- L: lagunas naturales o artificiales

Las unidades de paisaje que componen las llanuras no están generalmente afectadas por una red de drenaje densa. Excepto en la desembocadura de los valles más importantes, al pie de las montañas, no se observa una fuerte erosión fluvial en la superficie de los abanicos y en la de las formaciones sedimentarias aluviales (Sa1 y Sa2). Eso puede revelar a simple vista una tasa de infiltración considerable de las aguas de lluvia, directamente en las mismas formaciones.

#### 4.1.2. Control de campo

La vista sinóptica obtenida con la imagen de Spot permite delimitar rápidamente unidades de paisaje bastante homogéneas. El control directo de dichas unidades en el campo resulta difícil por razón de falta de afloramiento. Los cambios que se pueden observar, a simple vista, en los campos descubiertos, en cuanto a la densidad de arcilla, de arena o de gravas son muy rápidos y localizados para ser representativos de cambios de unidad de paisaje.

Sin embargo, tanto en coche como en helicóptero, se puede observar cierta correlación entre la realidad y la interpretación de las imágenes.

El mapa de infiltración (informe GEOBOL-PNUD) muestra los límites de las principales formaciones litológicas recientes. La comparación de estas últimas con las del mapa de interpretación muestra cierta correlación entre sí:

##### 4.1.2.1. Llanura de Punata

- en el Norte, las unidades C3 se correlacionan con dos formaciones fluviales, compuestas por bloques, gravas, arenas, limos o arcillas, que tienen una buena permeabilidad. Estas formaciones se diferencian localmente en la imagen por las variaciones de la cobertura vegetal que presenta una actividad clorofílica diferente, o por ausencia de esta misma cobertura. Sin embargo, los criterios de diferenciación no son constantes, ya sea porque una misma formación puede tener respuestas diferentes, ya sea porque el mapa presenta inexactitudes locales probablemente debidas, en parte, a los cambios que se produjeron desde la realización de este informe.

La unidad C1-2 se correlaciona con una formación fluvio-lacustre compuesta por gravas, arena y bancos arcillosos.

- en el Sur de la llanura, la formación fluvio-lacustre se correlaciona parcialmente con las unidades C3, cuando las fluviales lo hacen con las unidades Eal-Ea2, que evocan el lecho activo de los ríos, en este caso.

- en el centro de la llanura la unidad S1 se correlaciona con las formaciones lacustres. Sin embargo, existen problemas relativos a estas formaciones: gran parte de las unidades C1 y C2-3 se correlacionan con ellas. Si este es realmente el caso, sería interesante saber por qué existe un cambio de textura, de estructuras y de respuesta espectral en la imagen. En efecto, tanto el tipo de parcelas como su ordenamiento y la actividad clorofílica cambian, sugiriendo una posibilidad de abanico. Es el caso del abanico C1 de Punata, C2-3 de Tarata, C1-2 de Capilla Asunción (SE de Cliza), por ejemplo.

##### 4.1.2.2. Llanura de Cochabamba

- en el Oeste y el Norte, la comparación de los documentos permite llegar a las mismas constataciones generales que en la llanura de Punata:

De manera muy general, las unidades E1-2 se correlacionan con formaciones fluviales, las C3 con unidades fluviales y fluvio-lacustres y las C1-2 con unidades fluvio-lacustres. Quedan, sin embargo, diferencias entre los dos documentos que definen el límite de la interpretación de una imagen: si el mapa de infiltración es el resultado de un largo trabajo de campo, el mapa de interpretación es el resultado

de un trabajo de oficina de dos días aproximadamente, chequeado rápidamente en el terreno.

Sin embargo, las numerosas convergencias de los dos documentos resultan muy interesantes: parece que en varios casos la imagen juega un papel "actualizador" en cuanto a la representación cartográfica de las formaciones recientes. Se puede citar, por ejemplo, el abanico del río San Miguel donde el mapa del PNUD muestra una unidad de material fluvial única en la desembocadura del río cuando la imagen permite diferenciar una unidad "activa", Ea2, y una unidad más antigua, Ea1, ya cubierta por la vegetación.

- en el sur de la llanura las comparaciones son muy rápidas pues sólo el mapa de interpretación muestra diferenciaciones en base a modificaciones finas, pero perceptibles, del uso del suelo. Sin embargo, la razón de la diferencia de organización de las parcelas sigue sin conocerse. El control de campo no permitió llegar a ningún tipo de conclusión en el asunto.

#### 4.1.3. Importancia de las unidades de paisaje para la búsqueda de agua

Estas observaciones se refieren más a la llanura de Punata, dado que en la de Cochabamba no se han podido hacer claramente a causa de la irrigación más intensa de los campos cultivables.

En la primera llanura se pueden notar tres ejemplos mayores de relación entre los límites de unidades de paisaje y el régimen hídrico:

- límite del cono C2 de Punata con el cono C1. Aguas abajo de este límite se nota en la imagen una franja de color rojo vivo, de mayor actividad clorofílica. Corresponde a una mayor disponibilidad de agua, permitiendo, sin duda, la existencia de un sistema de riego. Todo parece como si la superficie del cono C1 fuera impermeable para las aguas infiltradas en el material, constituyendo el cono C2, el cual tendría el papel de formación almacenadora. Este fenómeno se ve nítidamente en el Norte-Este de Punata.

- límite del cono C1 precedente con las formaciones Sal. Este límite está subrayado por un alineamiento curvo de unidades blancas de evaporación salina. El fenómeno no tiene explicación directa, debido a la ausencia de sal en las rocas encajantes de la llanura, tal como las arcillas rojas cretácicas visibles en el cañón del río Rochas cuando sale de la llanura de Cochabamba.

- límite del cono C2-3 y las formaciones Sal al Norte de Tarata. Se observa el mismo aumento de la actividad clorofílica, aguas abajo del cono, que en el primer ejemplo. La interpretación es, sin duda, la misma.

#### 4.2. Estructura

Los lineamientos se interpretaron en base a:

- los raros indicios morfológicos presentes en la llanura (escarpes pequeños, desviaciones bruscas de ríos),

- los cambios de reflectancia de forma rectilínea son de dos tipos: o bien un límite de dos áreas de distinto color, o bien una línea de color, aislada dentro de un área de distinto color,

- los cambios de organización de las parcelas que se presentan como cambios de color y que, frecuentemente, se superponen a estos.

Los lineamientos interpretados en base a indicios morfológicos tienen un color verde en las figuras y los interpretados en base a indicios radiométricos, un color rojo.

#### 4.2.1 Resultados de la interpretación (figuras I.4 y 5)

##### 4.2.1.1. Llanura de Punata

Los lineamientos se reparten de manera homogénea en toda la cuenca, excepto en las unidades C3, donde son más escasos. Su análisis estadístico subraya dos direcciones mayores, por el número y la longitud de los elementos, y de importancia equivalente. Se trata de las direcciones N50°-80°E y N100°-120°E, la primera se extiende un poco hacia N30°E y la segunda hacia N130°E (figura I.6).

Además de los lineamientos dibujados con una línea simple en el mapa, que tienen una longitud media, alrededor de 1 km, hay que destacar, en ciertas partes de la imagen, la presencia de lineamientos mayores que corresponden a la alineación de los anteriores, asociados a matices de color distinto formando "pasillo". Estos alineamientos están materializados por flechas en la interpretación, asociados a los números 1-1', 2-2', 3-3' y 4-4', los dos primeros de dirección N100°-120°E y los dos segundos de dirección N155°-165°E. Esta última dirección no se destaca nítidamente en la "rosa" (diagrama direccional) de la figura I.6.

##### 4.2.1.2. Llanura de Cochabamba

Los lineamientos parecen más concentrados en esta llanura que en la de Punata. Se encuentran, en su mayoría, en el Noreste y en el Sur. Sin embargo, la presencia de la ciudad de Cochabamba y de Quillacollo, así como la de la carretera que une estas ciudades obstaculiza o impide la observación de estructuras eventuales. Como en la llanura de Punata, los lineamientos son muy escasos en los conos de deyección C3 y C1-2, excepto al Oeste de Sipe-Sipe y Quillacollo. ¿ Se debe este hecho a movimientos tectónicos subactuales más fuertes en esta zona ?

La figura I.6 permite destacar las direcciones mayores, cercas de las de Punata, es decir la dirección N50°-70°E, extendida hacia N90°E y la dirección N110°-120°E, extendida hacia N130°E.

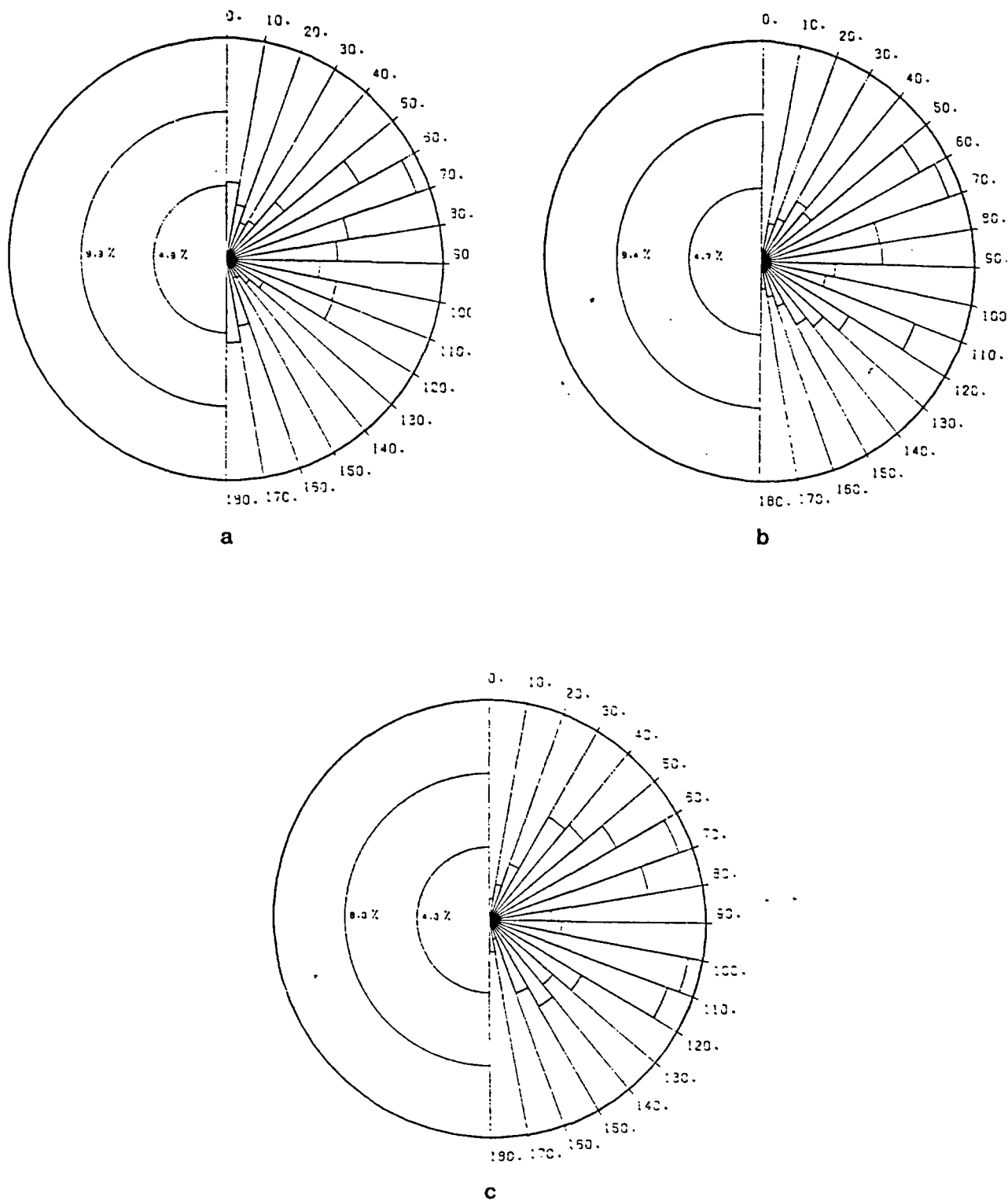
#### 4.2.2. Control de campo

No fueron numerosos los puntos de observación de la evidencias tectónicas en el material plio-cuaternario de las cuencas, generalmente por falta de afloramientos. Sin embargo, existen pruebas en ambas llanuras.

##### 4.2.2.1. Llanura de Punata

Se revisaron varios puntos en automóvil después de haberlos localizado con helicóptero. Corresponden en todos los casos a lechos de ríos encajonados dentro de las formaciones recientes, sobretodo en la periferia de la llanura. Sólo un punto muestra fenómenos tectónicos aprovechables. Está situado a un kilómetro y medio al Sureste de Tarata, siguiendo la pista entre esta ciudad y Estancia Pajcha Pata.

La litología del sitio, bancos de marga y gravas, pone de relieve deformaciones de plegamiento y de fractura. Si los pliegues evocan una posible causa gravitaria, cuando el material está embebido de agua, las



**Fig.I-6 - COMPARACION DE LAS ROSAS DE LINEAMIENTOS AFECTANDO EL PALEO-MESOZOIC (a) Y EL PLIOCUATERNARIO DE LAS LLANURAS DE COCHABAMBA (b) Y DE PUNATA (c) ( en porcentaje de longitud )**

fracturas tienen un aspecto tectónico nítido. Se midieron tres fallas, con desplazamiento de bancos, N10°E-vertical con movimiento normal de 10 cm, N100°E-80°S y N95°E-80°S con movimiento mal reconocido.

Un kilómetro y medio más al Sureste, pasando otro río, se observó una deformación de tipo pliegue "kink band", testigo de una fase última de deformación. Sin posibilidad de medida, no se pudo explotar este indicio.

Otro punto de observación corresponde a la Estancia Salina, al Norte-Norte-Oeste de Villa Rivero. Ningún indicio destacó en esta zona de depositación reciente.

#### 4.2.2.2. Llanura de Cochabamba

Al igual de la precedente, esta llanura revela únicamente un afloramiento con fenómenos aprovechables, aunque de pequeña extensión. Corresponde a la pared del río Rocha cerca de la extremidad norte del aeropuerto de Cochabamba. Se observan acá tres fracturas, sin evidencia de movimiento, N55°E-80°N, N120°E-vertical y N175°E-85°W.

Se chequearon otras zonas, siguiendo los ríos Llave, Viloma y Chaco, en el Oeste de la llanura, que no dieron lugar a observaciones relevantes en el asunto.

En la región de Sacaba existen indicios tectónicos numerosos. Fueron observados durante este trabajo, pero estudiados con mucho más detalle por A.Lavenu de la ORSTOM (1986) cuyas conclusiones (pagina 271) tienen gran interés el campo de la búsqueda de agua correlacionada con fracturas:

#### 4.2.3. Direcciones de fracturas y de lineamientos y sus relaciones con el agua

La observación de la imagen permite detectar la existencia de numerosos lineamientos afectados de variadas direcciones en el material paleozoico, lo cual confirma el control de campo. Esta observación, enfocada en las llanuras plio-cuaternarias, enfatiza las direcciones N50°-80°E y N100°-120°E.

El control de campo permite confirmar que diversas fracturas de estas direcciones afectan realmente los terrenos recientes.

El trabajo citado de A.Lavenu llega a la conclusión de que la llanura de Cochabamba-Sacaba sufre actualmente condiciones de una extensión orientada N40°E, dentro de un contexto general de extensión andina orientada N-S. Es decir que las fracturas perpendiculares (N130°E), o cercas de la perpendicular, tienden a estar más en posición de abertura, facilitando a priori el almacenamiento del agua.

En este contexto estructural, los lineamientos detectados en la imagen, según las dos direcciones mayores, y sus intersecciones, presentan un potencial cierto, la dirección N100°-120°E siendo de primer interés.

A través de estas conclusiones las zonas más favorables en la llanura de Cochabamba se ubican entre Payrumani y Cochabamba y al Sur-Oeste de Cochabamba. Es interesante notar que la primera de estas zonas se superpone a la zona de máximo de rendimiento específico de los pozos y de mayor pluviosidad en la llanura (informe GEOBOL-PNUD).

En la llanura de Punata es probable que la dirección de mayor esfuerzos de extensión sea muy similar a la precedente. Las mismas direcciones de fracturas deben tener el mismo interés. En este contexto, los grandes lineamientos que atraviesan la llanura podrían constituir objetivos prioritarios en cuanto a la prospección.

## 5. CUANTIFICACION DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL MEDIANTE UNA CLASIFICACION. RESULTADOS

En el presente estudio, la clasificación permite, a pesar de sus limitaciones (ver par. 1.1.3), la actualización rápida de los mapas correspondientes al uso del suelo en fecha de la toma (Junio 1987): debido a las confusiones o a la eliminación de píxeles como no-clasificados, varias de las clases se ven menospreciadas, sin que sea posible saber exactamente las cuales o en cual proporción.

La clasificación se hizo para cada llanura individualmente, tratando de afectar los mismos colores a las clases presentes en ambos sitios:

Se diferenciaron doce clases en la llanura de Punata (figura I.7) y once en la de Cochabamba (figura I.8), sean catorce clases distintas en total, para las dos llanuras, que se van a describir a continuación:

### 5.1. Clases presentes en ambas llanuras

Los nombres de las clases corresponden a los usados en las matrices de confusión de cada llanura (tablas 1 y 2). Para aliviar el texto se usaran las palabras de Cochabamba y Punata en lugar de Llanura de Cochabamba y Llanura de Punata.

- ciudades (1): representa los centros poblados en general, es decir ciudades, pueblos, zonas industriales, hasta cualquier construcción aislada dentro de una zona cultivada, por lo tanto que tenga una superficie y una respuesta adecuada. De hecho en ambas llanuras se localizan fácilmente la mayoría de las ciudades y los pueblos. También la clasificación subraya los ejes poblados según las carreteras principales. Resalta, por ejemplo, muy bien la carretera Cochabamba-Quillacollo a lo largo de la cual se instalaron viviendas, estancias y empresas.

Esta clase tiene confusiones en ambas llanuras con los lechos de ríos y los suelos desnudos. Además, sin que exista la clase "conos" en Punata, numerosos puntos amarillos aparecen en estas unidades morfológicas. Eso se entiende muy bien por el mismo tipo de reflectancia que tienen los techos, las carreteras y los suelos desnudos (tierra o grava en los ríos). Se observa también un cierto número de píxeles excluidos, es decir no clasificados en Cochabamba (columna E en la tabla 2)

- lecho (2,3,4): ocasionan cinco clases en total, dos sobre Punata y tres sobre Cochabamba. En ambas llanuras corresponden a sedimentos iluviales (bloques, gravas, arenas) formando el lecho de los ríos mayores: la diferencia de radiometría puede ser debida a un origen rocoso o un distinto estado de actividad.

Las confusiones que ocurren conciernen principalmente las ciudades, los suelos desnudos, los afloramientos del Plioceno y, en Punata, las zonas evaporíticas; de manera mucho más leve conciernen los conos de deyección

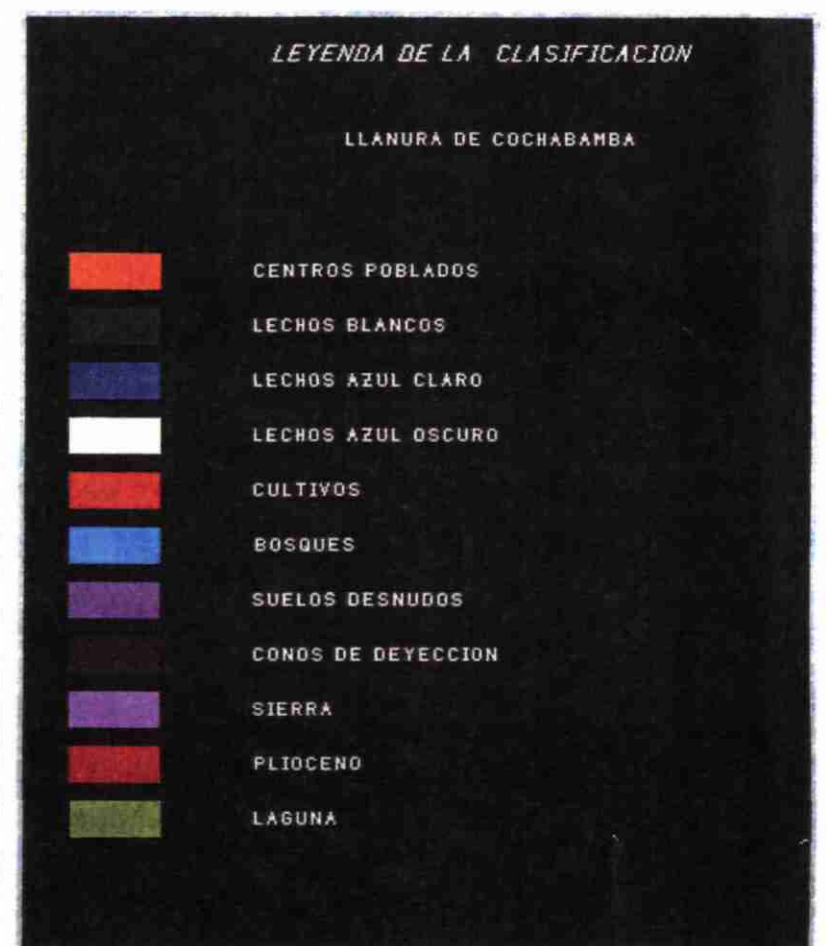
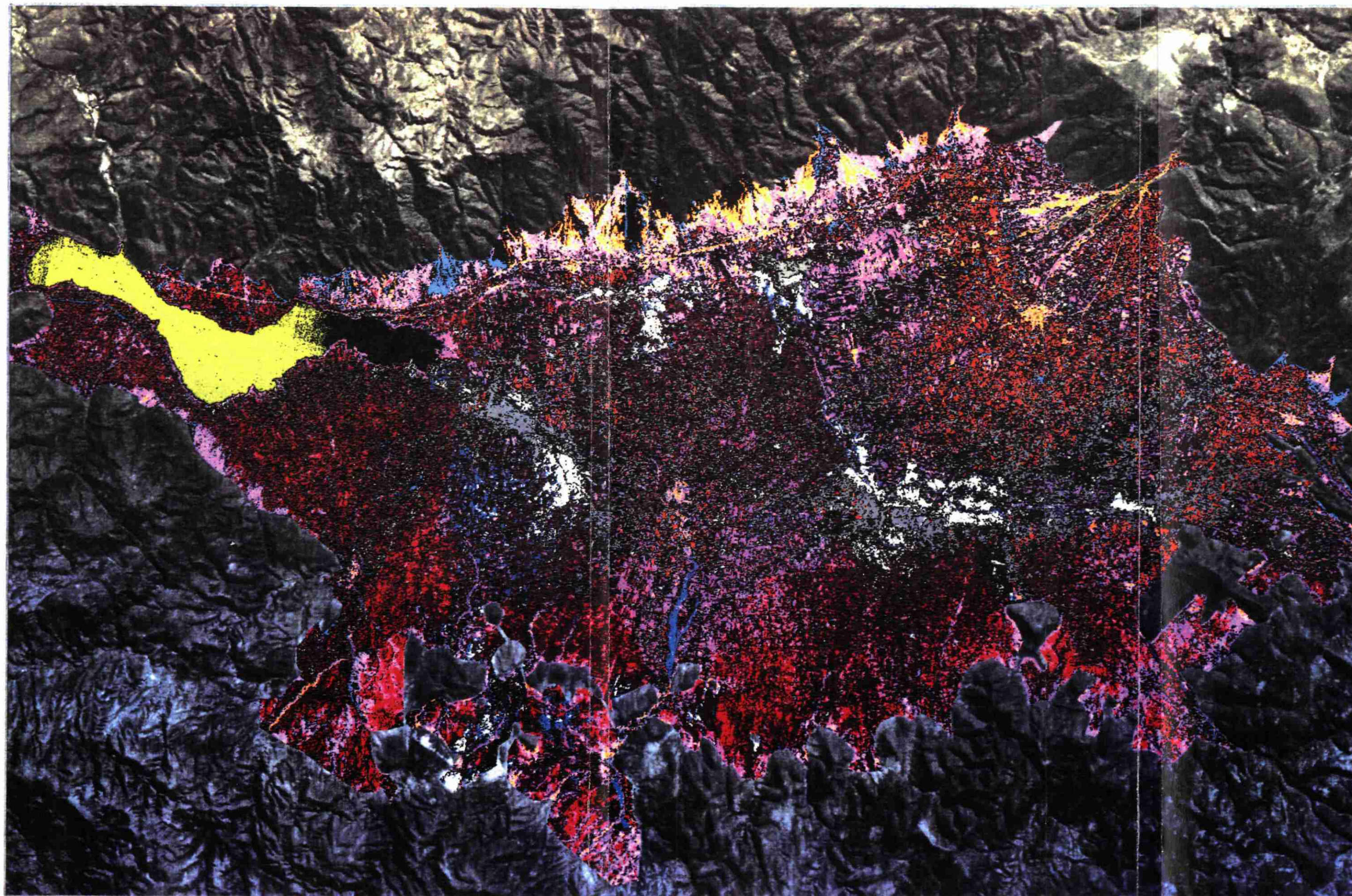
- cultivos (5): en esta clase figuran los campos cultivados, presentando una actividad clorofílica fuerte a media. Su extensión se ve muy diferente entre las dos llanuras, muy grande en Cochabamba, reducida en Punata. Debido a la fecha de toma, mitad del mes de Junio, es decir mitad de la estación seca, se puede pensar que la clase representa la

Tabla 1 : MATRIZ DE CONFUSION DE LA CLASIFICACION DE LA LLANURA DE PUNATA

ENTRENAMIENTO (n°clase)	CLASIFICADO EN												P.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
CIUDADES (1)	281	15	5	0	0	0	44	3	15	5	0	0	4
LECHO1 (2)	46	148	0	0	0	0	44	2	0	1	0	0	0
LECHO2 (3)	0	0	129	14	0	0	0	1	0	0	0	0	7
EVAPOR. (4)	0	0	15	291	0	0	0	0	0	0	0	0	7
CULTIVOS (5)	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0
BOSQUES (6)	0	0	0	0	0	111	0	0	1	0	0	0	1
SUELOS A (7)	63	0	1	0	0	0	139	16	10	11	0	0	0
SUELOS M (8)	0	0	14	0	0	0	6	250	0	140	0	1	0
SIFRRA (9)	51	0	0	0	0	0	19	0	213	0	0	0	0
PLIOCENO (10)	2	0	21	0	0	0	102	102	0	331	0	18	0
AGUA (11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	640	0	1
VEG.RALA (12)	0	0	5	0	0	0	0	1	0	35	0	292	0

Tabla 2 : MATRIZ DE CONFUSION DE LA CLASIFICACION DE LA LLANURA DE COCHABAMBA

ENTRENAMIENTO (n°clase)	CLASIFICADO EN											P.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
CIUDADES (1)	602	2	23	42	0	0	99	0	9	3	0	38
LECHO1 (2)	47	530	6	0	0	0	0	0	0	15	0	0
LECHO2 (3)	58	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	2
LECHO3 (4)	85	0	0	298	0	0	18	0	0	0	0	0
CULTIVOS (5)	0	0	0	0	402	0	6	0	0	7	0	0
BOSQUES (6)	0	0	0	0	12	217	0	0	0	0	0	3
SUELOS (7)	67	0	0	0	0	0	238	8	49	38	0	0
CONOS (8)	0	0	0	0	0	0	199	389	9	0	0	0
SIERRA (9)	0	0	0	0	0	0	33	0	166	0	0	11
PLIOCENO (10)	0	0	0	0	0	0	31	0	0	90	0	0
AGUA (11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	272	59



BRGM - SEURECA - BANCO MUNDIAL PPF.444.BO

EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA  
Y ABASTECIMIENTO EN AGUA POTABLE  
DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA - BOLIVIA

CLASIFICACIÓN DE LA LLANURA  
DE PUNATA - CLIZA

INFORME nº R 30505	Fig. I.7
--------------------	----------

mayoría de las parcelas irrigadas. Este sistema de cultivo estaría, en ese caso, poco desarrollado en Punata y casi generalizado en Cochabamba.

Las confusiones son pocas, inexistentes en Punata y limitadas a unos suelos desnudos y al Plioceno en Cochabamba.

- bosques (6): entran en esta clase los bosques que crecen principalmente en la periferia de las llanuras (eucaliptos, pinos). También están incluidos los setos de eucaliptos que limitan las parcelas, principalmente en Cochabamba.

Las confusiones son pocas, tanto en Punata (sierra) como en Cochabamba (Plioceno).

- suelos A (7): corresponden a los suelos desnudos de color azul, sean cultivados sin vegetación, sean abandonados. El color puede resultar del tipo de material que les compone o de una fuerte humedad. La extensión mayor de la clase en Cochabamba, correlacionada con la hipótesis de un riego más sistemático en la misma llanura, sugiere que la humedad sea el factor preponderante en cuanto a la definición del color.

Las confusiones son importantes con las ciudades principalmente y con otras clases de misma definición general (otros suelos en Cochabamba, sierras y Plioceno).

- sierra (9): las partes de las sierras ubicadas cercas de las llanuras tienen un pendiente fuerte que no permite mucho el desarrollo de la agricultura. Una vegetación de gramíneas cubre los suelos de manera bastante homogénea. La respuesta espectral resulta continua. Para eliminar el efecto de esta clase que no parece tener gran interés en la economía de la región, se eliminó la mayoría de la clase, poniendo en el canal infrarrojo la parte correspondiente a las sierras.

Las confusiones se producen con las ciudades en Punata y con los suelos azules en las dos llanuras.

- Plioceno (10): estas unidades geológicas se encuentran principalmente en el Sur de Sacaba y de Cliza, en límite de las llanuras. La respuesta espectral se traduce por un tono de color marrón-amarillo bastante característico en la imagen en falso color, sin que el límite con el Paleozoico sea siempre nítido.

Las confusiones son limitadas en Cochabamba (suelos A) y numerosas en Punata (suelos A y M, veg. rala, lecho 2 y, muy poco, ciudades).

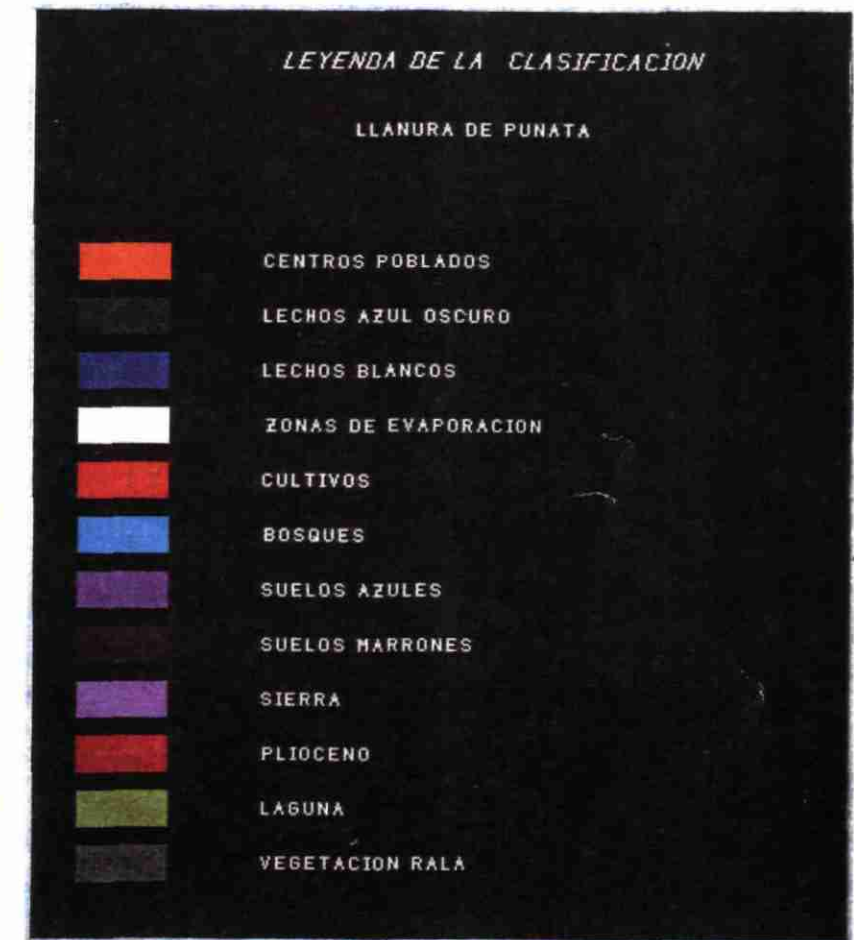
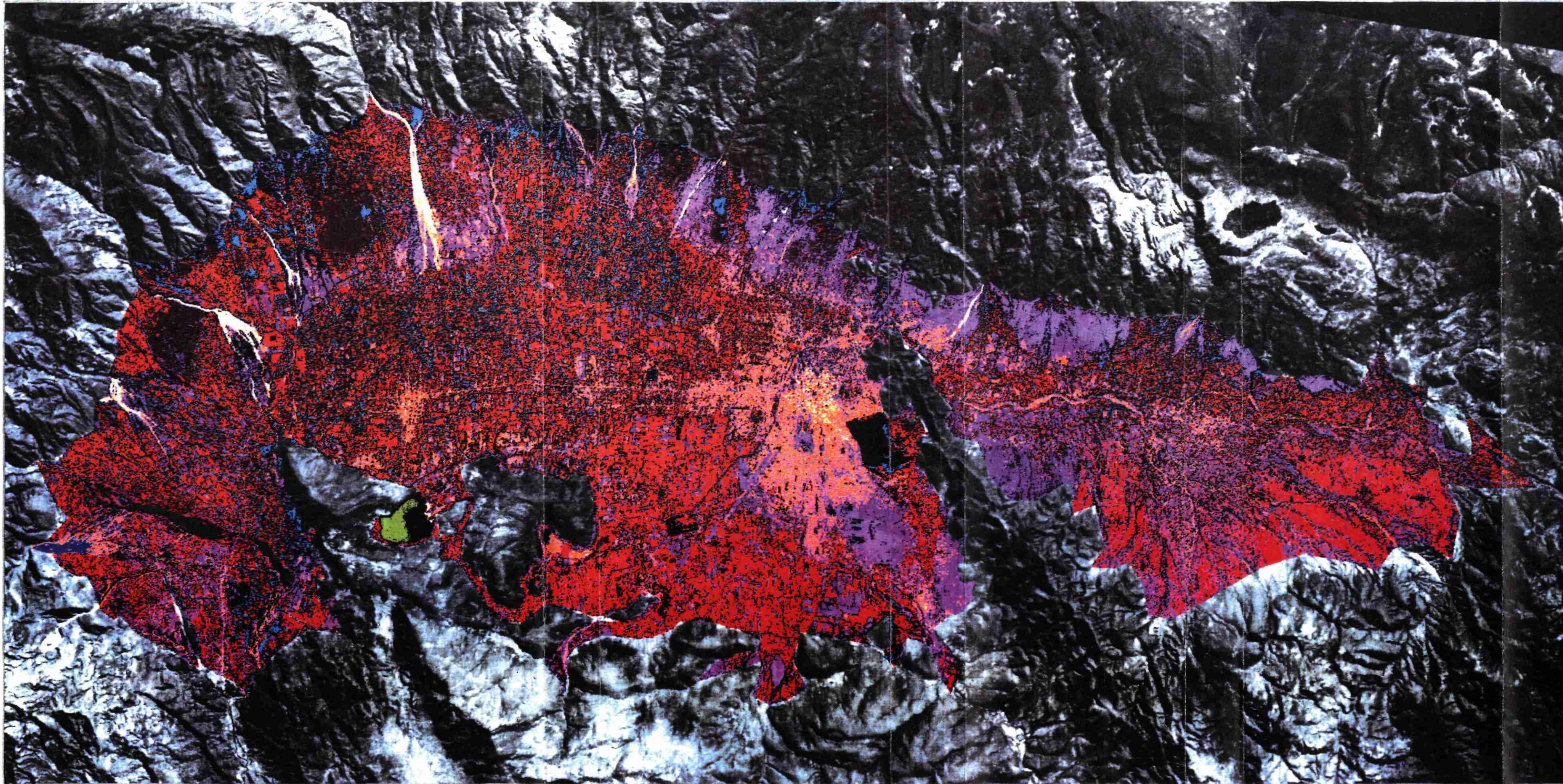
- agua (11): esta clase abarca las aguas de las lagunas, naturales o artificiales.

No existe ninguna confusión; en cambio se observa un fuerte número de píxeles excluidos en Cochabamba.

## 5.2. Clases presentes en una sola llanura

- evapor. (4): únicamente presente en Punata esta clase reúne las unidades de paisaje topográficamente bajas, húmedas, donde ocurre un fenómeno de evaporación con cristalización de sal durante las temporadas secas. Dicho fenómeno resulta muy importante para que haya una explotación familiar bajo forma de salinas pequeñas.

Las confusiones no son tan importantes, únicamente con una clase de lechos (3).



BRGM - SEURECA - BANCO MUNDIAL PPF 444.80

EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA  
Y ABASTECIMIENTO EN AGUA POTABLE  
DE LA CIUDAD DE COCHABAMBA - BOLIVIA

CLASIFICACIÓN DE LA LLANURA  
DE COCHABAMBA-SACABA

INFORME n° R 30305

Fig. I.8

- suelos M (8): estos suelos marrones se ubican en la mitad sur de Punata. Este color podría provenir de un estado de sequía más intenso, pero también del color del Plioceno puesto aguas arriba, hacia el Sur.

Las confusiones mayoritarias con la clase Plioceno (10) confirman esta hipótesis.

- veg.rala (12): esta clase de vegetación rala contiene campos cultivados o zonas abandonadas con actividad clorofílica reducida; sólo una ausencia de organización geométrica permite diferenciar las segundas de los primeros.

Las confusiones son pequeñas en la clase Plioceno (10).

- conos (5): los conos de deyección recientes existen en ambas llanuras, observando la imagen en falso color. Sin embargo sólo en Cochabamba forman una clase radiométrica bastante homogénea. El hecho que los conos de Punata sean más pequeños y cultivados puede justificar esta falta de clasificación.

Las confusiones resultan fuertes con los suelos desnudos azules, quizás por razón de humedad homogénea en el día de la toma.

### 5.3. Estimación de la superficie de las clases

Las tablas 3 y 4 muestran, para cada tipo de llanura, el número de píxeles correspondiente así como su superficie en km<sup>2</sup>.

Se puede expresar varias observaciones antes de utilizar las cifras presentadas:

- el número de píxeles no clasificados tiene dos orígenes: La primera corresponde a los píxeles no clasificados en el transcurso del cálculo. Es el caso, por ejemplo, de unos bosques muy oscuros en ciertos conos de deyección de Punata, como el ubicado al Norte-Este de Tolata. Al juntar estos puntos a otra clase o al crear una clase especial con los mismos se ocasionaron fuertes cambios en las clases de suelos M y de bosque, alejándolos mucho de la realidad.

La segunda corresponde a píxeles perteneciendo a objetos que no entraban en el marco del estudio y por los cuales no se buscaron parcelas de entrenamiento.

- la clasificación no traduce siempre la realidad geométrica de un objeto. Es el caso de las ciudades para las cuales la superficie deducida del número de píxeles sale inferior a la calculada con un mapa: varios píxeles correspondiendo a jardines o árboles en avenidas tienen una reflectancia de bosque o de cultivos aunque pertenezcan al perímetro de la ciudad.

A pesar de estas inexactitudes, la comparación de las clasificaciones y de las imágenes en falso color permite pensar que las superficies calculadas con las primeras tienen una buena aproximación a una escala regional. Parece que la precisión es mejor en el dominio de la agricultura que en lo de las ciudades, por la razón evocada anteriormente. Sin duda, se hubiera podido obtener más precisión, pero clasificando por zonas más restringidas y con un trabajo de campo más largo, lo que no entraba en el marco de este proyecto.

Tabla 3 : SUPERFICIES DE LAS DISTINTAS CLASES  
DE LA LLANURA DE PUNATA

CLASES (n°)	NUMERO DE PIXELES	SUPERFICIE (km²)
CIUDADES (1)	37 248	14.90
LECHO1 (2)	1 784	0.70
LECHO2 (3)	13 489	5.40
EVAPORACION (4)	15 308	6.10
CULTIVOS (5)	35 399	14.10
BOSQUES (6)	12 655	5.00
SUELOS A (7)	70 085	28.00
SUELOS M (8)	184 613	73.80
SIERRA (9)	121 703	48.70
PLIOCENO (10)	47 847	19.10
AGUA (11)	504	0.20
VEG. RALA (12)	90 842	32.30
TOTAL CLASIFICADOS	621 477	248.60
NO CLASIFICADOS	526 293	210.50

Tabla 4 : SUPERFICIES DE LAS DISTINTAS CLASES  
DE LA LLANURA DE COCHABAMBA

CLASES (n°)	NUMERO DE PIXELES	SUPERFICIE (km²)
CIUDADES (1)	60 009	24.00
LECHO1 (2)	5 115	2.00
LECHO2 (3)	1 283	0.50
LECHO3 (4)	3 497	1.40
CULTIVOS (5)	239 973	96.00
BOSQUES (6)	24 030	9.60
SUELOS A (7)	187 929	75.20
CONOS (8)	120 221	48.00
SIERRA (9)	165 628	66.20
PLIOCENO (10)	16 462	6.60
AGUA (11)	3 124	1.20
TOTAL CLASIFICADOS	827 271	330.90
NO CLASIFICADOS	373 713	149.50

## CONCLUSIONES

El presente estudio de teledetección se realizó según dos escalas principales:

- un estudio regional para definir los grandes rasgos de la red de drenaje que converge hacia las llanuras de Punata-Cliza y Cochabamba-Sacaba y los de la tectónica que afecta a las formaciones paleozoicas encajantes de las mismas llanuras,

- un estudio más localizado, limitado únicamente a las llanuras, para definir las distintas unidades de paisajes que componen estos territorios, detectar las fracturas eventuales y definir zonas a priori favorables en cuanto a la implantación de pozos. A esta misma escala el análisis del uso del suelo por medio de una clasificación permitió estimar las necesidades en abastecimiento en agua.

El dibujo de la red de drenaje y de los límites de las cuencas permitió precisar los modos de circulación del agua, tanto al nivel cuantitativo como calitativo. En efecto se pudo evaluar las zonas de flujo máximo por la localización de las subcuencas mayores y su calidad por la evaluación del contenido en materias en suspensión.

La interpretación morfoestructural de la región permitió describir el estado tectónico regional y precisar el mecanismo de abertura de las llanuras que condicionó en parte la sedimentación plio-cuaternaria y en consecuencia la geometría de las formaciones susceptibles de contener el agua.

El mapa de las unidades de paisaje y de los lineamientos que estructuran las llanuras fue comparado con unos datos extras (mapa de isoyetas y de rendimiento de los pozos; Informe GEOROL-PNUD). Se logró definir ciertas hipótesis en cuanto al comportamiento de los acuíferos dentro de unas formaciones de las llanuras y localizar zonas potencialmente interesantes para la prospección hidrogeológica.

Para terminar, se calculó una clasificación supervisada para establecer un mapa aproximado del uso actual del suelo de las llanuras, según los temas principales, referidos a: los centros poblados, es decir las zonas urbanizadas, los suelos descubiertos, los suelos cultivados, revelando las parcelas irrigadas (en el momento de la toma de las imágenes), las zonas de vegetación natural como los bosques o las montañas. A pesar de las limitaciones de esta técnica, se pudo obtener un orden de magnitud de la superficie correspondiente a cada clase, lo que se puede traducir en términos de necesidades en agua.

Tal trabajo permitió definir rápidamente, pero únicamente de manera aproximada y a escala regional, el comportamiento del agua, las zonas de recursos potenciales y la superficie aproximada de cada entidad mayor de uso. El mismo hará resaltar su valor si se ve asociado con otras técnicas dentro de un estudio multi-disciplinario.

**BIBLIOGRAFIA**

AUDEBAUD E. y al.(1973): Les traits géologiques essentiels des Andes centrales (Perou-Bolivie).Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, (2),vol.XV, fasc.1-2, pp73-114, Paris.

LAVENU A.(1986): Etude tectonique et néotectonique de l'Altiplano et de la Cordillère orientale des Andes boliviennes. Thèse docteur es sciences. Paris-Sud.

LAZARTE W.M.(1979): Geologia del Plio-Cuaternario de la cuenca de Sacaba-Cochabamba. Tesis de Grado. U.M.San Andres. La Paz.

MARTINEZ C. y TOMASI P.(1978): Mapa estructural de los Andes septentrionales de Bolivia al 1:1 000 000. ORSTOM-GEOBOL. Paris.

PAREJA J.L. y al.(1978): Mapa geologico de Bolivia al 1:1 000 000. YPFB-GEOBOL. La Paz.

SEBRIER M. y al.(1985): Quaternary normal and reverse fault in the central Andes of South-Peru. Tectonics, vol.7, pp.739-780.

**ANEXO II**  
**CARACTERISTICAS DE LOS POZOS DE VINTO**

- Las características técnicas de los equipos de los pozos de Vinto, actualmente en explotación, se indican en la fig. II.1.
- Las características hidráulicas se indican en el cuadro, figura II.2.

En este cuadro se comparan los caudales específicos (l/s/m de descenso de nivel) obtenidos en la recepción del pozo en 1.977 con los de 1.988-1.989. Dado que nunca se ha medido el nivel estático de estos pozos artesianos, los cálculos se han realizado teniendo en cuenta la variación del nivel dinámico bajo el suelo (1.977 y 1.988-89). Por tanto, el valor del caudal específico es superior a su valor verdadero. No obstante, se pretende que la comparación de ambos valores ofrece una idea coherente de las variaciones del estado de los pozos.

La totalidad de los caudales específicos han sufrido un descenso debido a la puesta en funcionamiento de los pozos (fig. II.3), en ocasiones 10 veces superior al valor original.

Algunos pozos han dejado de utilizarse a causa de las inundaciones de arena, incluso cuando se trata de caudales de pequeña cuantía. El grosor del filtro de grava utilizado era quizás excesivo y, en consecuencia, su funcionamiento inadecuado. Además, es posible que algunos filtros estén obstruidos por incrustaciones.

La rehabilitación de estos pozos sería conveniente.

Por otro lado, se ha calculado el valor específico en relación con la longitud de los filtros instalados. Sin embargo, no se ha considerado la longitud de los filtros situados a la altura de las arcillas. Los pozos con mayor caudal específico son, en este caso, los pozos V8, V9 y V10. Estos pozos captan las formaciones de base del cuaternario y la cima fracturada del basamento paleozoico. Por tanto, hay motivos suficientes para emprender la adecuada movilización de los recursos de agua, captándolos en las formaciones de grano grueso de la base del cuaternario.

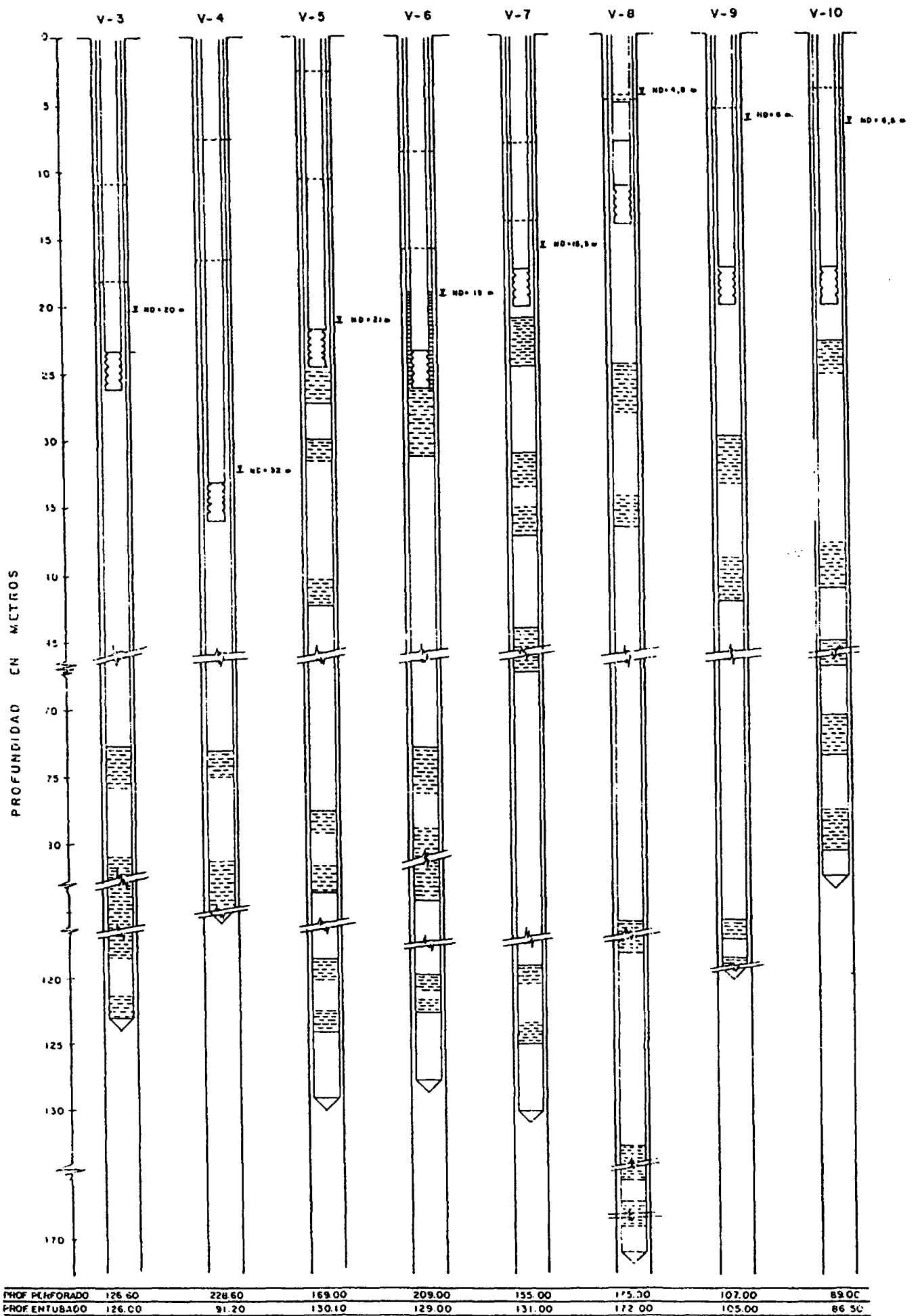
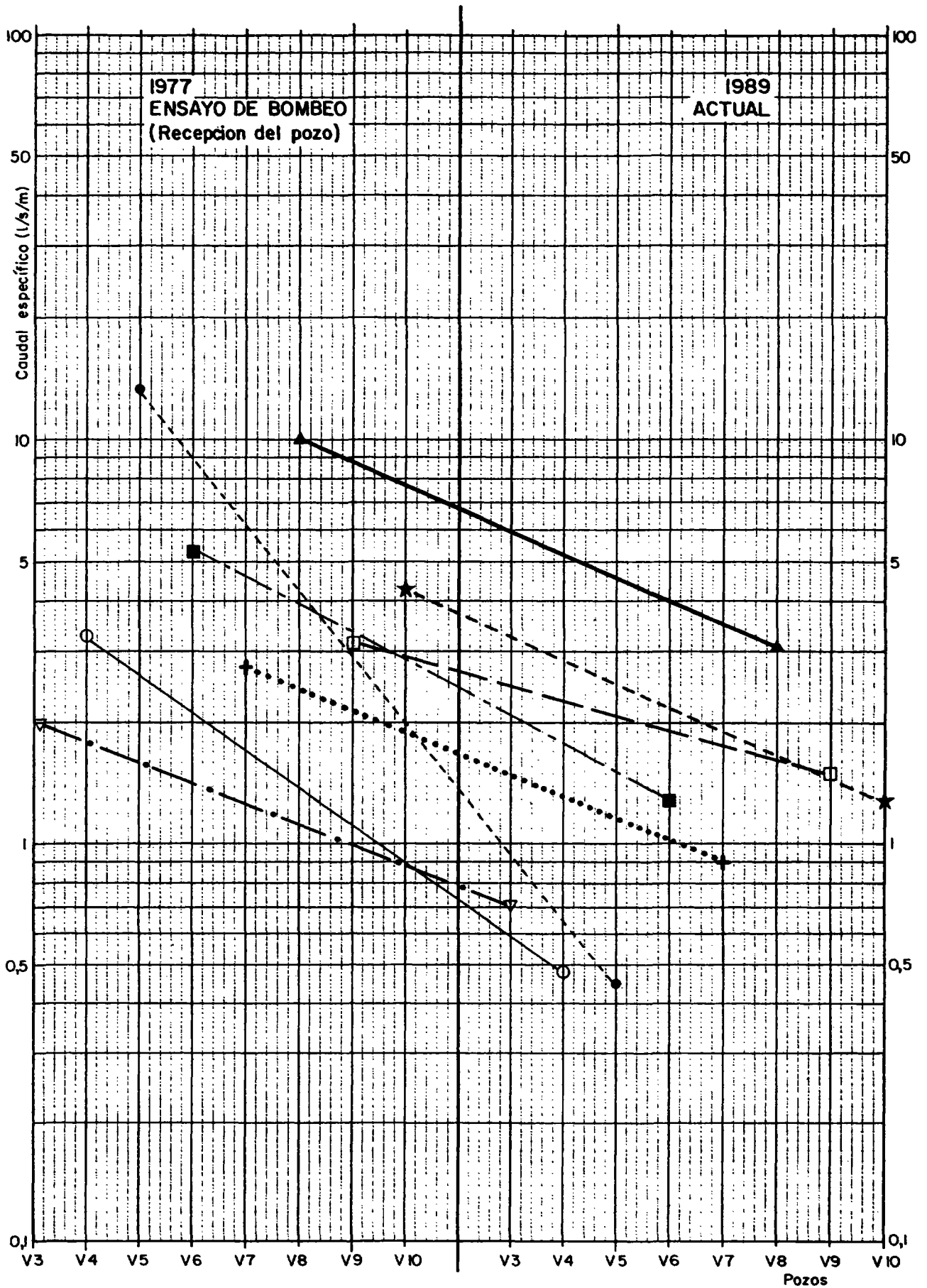


Fig. II.1 - INSTALACION DE BOMBAS ORIGINAL DEL CAMPO DE POZOS-VINTO

	Profundidad Total mts	Filtros Total mts	Caudal (l/s) recepcion	Caudal especifico 1977	Caudal especifico 1988 - 1989	Caudal especifico por metro de filtro	Observaciones
V1	146	48.8	10	0.66	-	0.01	Fuera de servicio. Ingreso de arena 5 l/s. Diagnóstico : grosor excesivo del empaque de grava. Nuevo desarrollo.
V2	229	66.1	4.5	0.75	-	0.01	Fuera de servicio. Ingreso de arena 5 l/s. Diagnóstico : grosor excesivo del empaque de grava. Nuevo desarrollo.
V3	126.5	52.0	19	1.05	0.74	0.02	Fuera de servicio.
V4	229	12.2 + 11.2	21	1.28	0.48	0.06	Fuera de servicio. 11.2 m de filtros superiores al nivel de las arcillas y arenas arcillosas. Sello de cemento al nivel de las arenas
V5	169	46.0	30	3.0	0.45	0.06	En producción. Basamento paleozoico a 167 m. Capta las formaciones de base de la cuenca.
V6	209	27	26.5	1.68	1.31	0.06	Fuera de servicio. Basamento paleozoico a 208 m (?). Sello de cemento a 150-155 m
V7	154	15.7 + 6.0	21	1.53	0.89	0.09	Fuera de servicio. 6 m de filtros en las arcillas
V8	175	35	31	6.4	3.2	0.18	En producción. Basamento paleozoico fracturado a 157 m. 13 m de filtro en las cuarcitas fracturadas.
V9	107	21.5	21	3.0	1.51	0.14	En producción. Basamento de cuarcita fracturado a 100 m. 6 m de filtro en las cuarcitas.
V10	91	28	17	4.25	1.29	0.15	En producción. Basamento paleozoico a 80 m. 6 m de filtro en los bloques por encima del basamento.

Fig. II.2 - CARACTERISTICAS DE LOS POZOS DE VINTO



**Fig.II.3 - POZOS VINTOS**  
 Evolucion del caudal específico

**ANEXO III**  
**AGUAS SUPERFICIALES DE LA CORDILLERA**

Este anexo presenta las características técnicas de algunas cuencas hidrológicas, zonas de presas de embalses y sistemas de recolección y almacenamiento del agua de lluvia. Este anexo debe ser tomado como guía a la hora de definir las prioridades en materia de estudios, prediseño o diseño final y de acondicionamientos posibles.

**III.1 - Zona de Wara-Wara**

Actualmente, la laguna de Wara-Wara y los recursos de agua superficial de su cuenca hidrográfica y de las cuencas hidrográficas adyacentes de San Juan-San Pablo están subexplotados, pues:

\* la presa del embalse de Wara-Wara, destruida en 1.972, no ha sido reconstruida.

\* las aguas de las tres lagunas (flujo por gravedad en el periodo de lluvias y bombeo en los meses más secos) se desvían a la llanura a través de las quebradas, originándose con ello pérdidas considerables.

\* los sistemas de captación de la parte baja de las quebradas (galería de infiltración de Chungara) tienen un rendimiento pésimo, particularmente al término de la estación seca.

**Datos hidrológicos y técnicos**

- . Superficie aproximada de la cuenca hidrográfica = 4.6 km<sup>2</sup>.
- . Los datos pluviométricos relativos al caudal se representan en las figuras anexas extraídas del informe "Proyecto interinstitucional SEMAPA - CORDECO - H.MUNICIPALIDAD. Estudio hidrológico de la Cuenca "Wara-Wara" por Gonzalo Maldonado ROJAS, Ingeniero civil-hidrológico, Cochabamba, Agosto de 1.982.
- . Se puede construir un embalse de almacenamiento a partir de los levantamientos de terreno y de los planes existentes. Para ello sería necesario levantar una represa de 15 a 16 m de altura máxima y de 150 m de longitud en la corona. La capacidad del embalse oscilaría de 3.3 a 3.5 M de m<sup>3</sup>, lo que equivale a un caudal posible de explotación continua de 100 l/s aproximadamente. Esto supondría el almacenamiento del conjunto de las aguas de las cuencas de Wara-Wara, San Juan y San Pablo en el embalse de Wara-Wara, así como el abandono del traslado de agua a Tirani.

VOLUMENES MENSUALES (hm<sup>3</sup>)

WARA WARA + SAN PABLO + ESCURRIMIENTOS

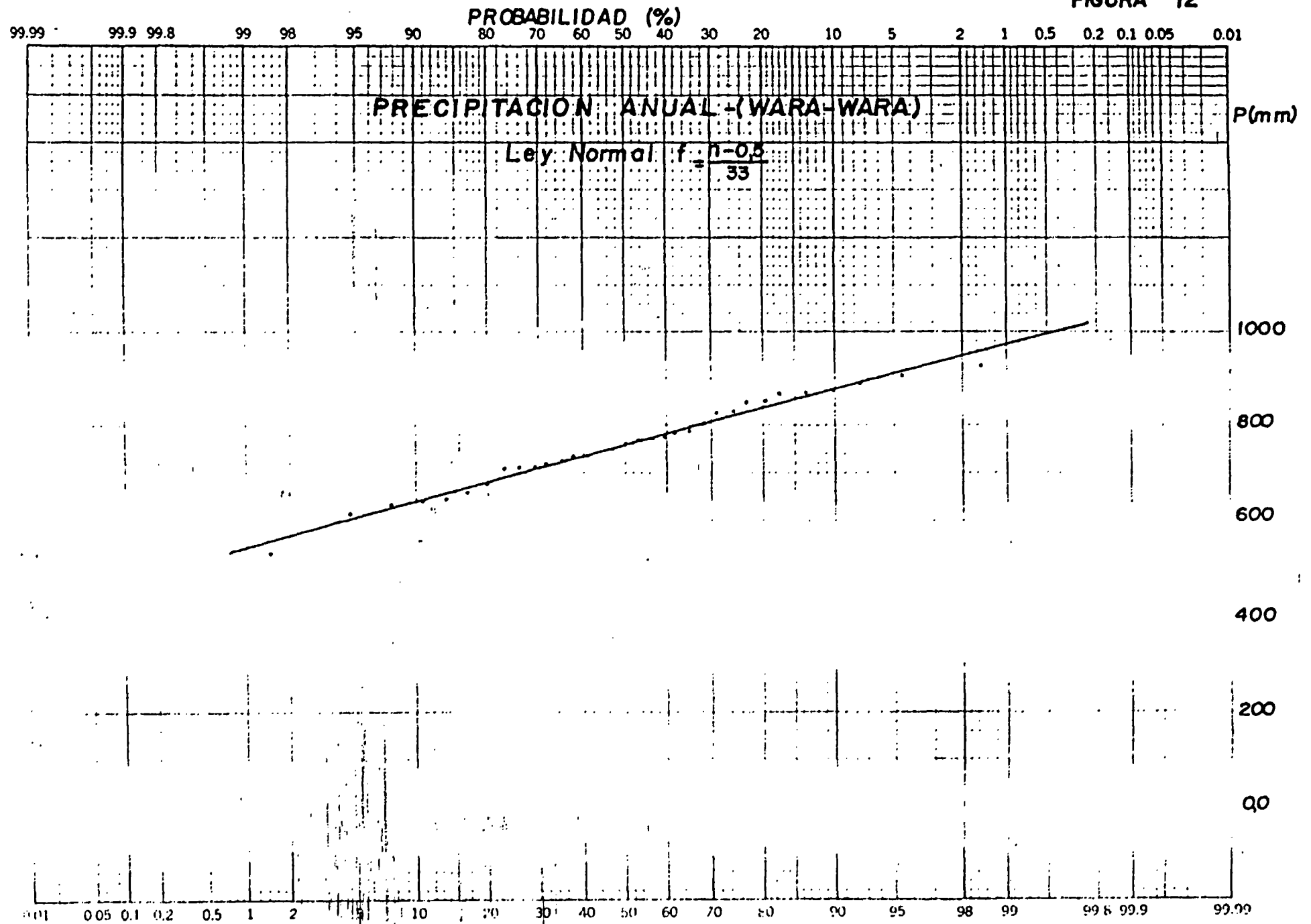
DE

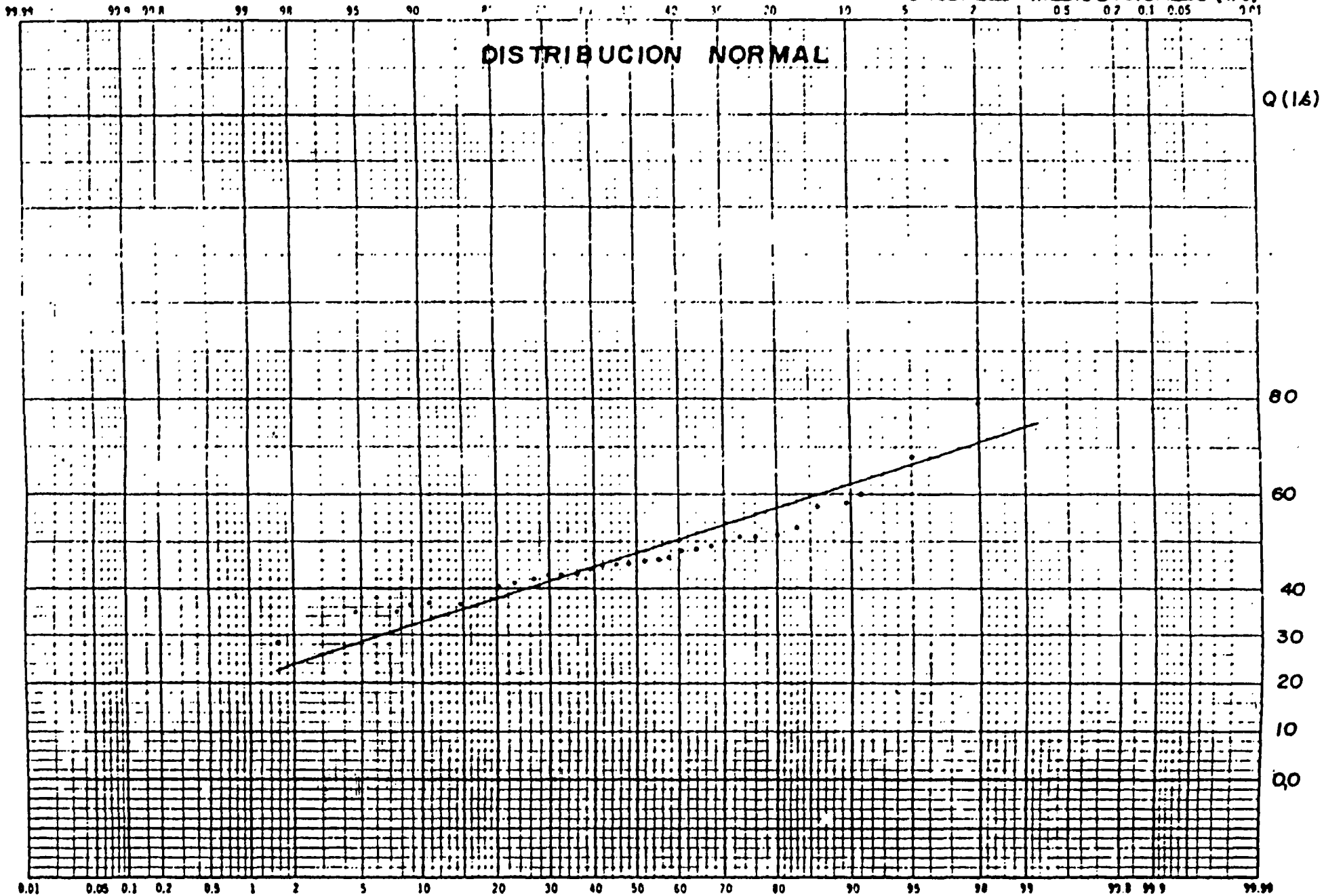
CALCULO: G. M. R.

FECHA 10/6/82

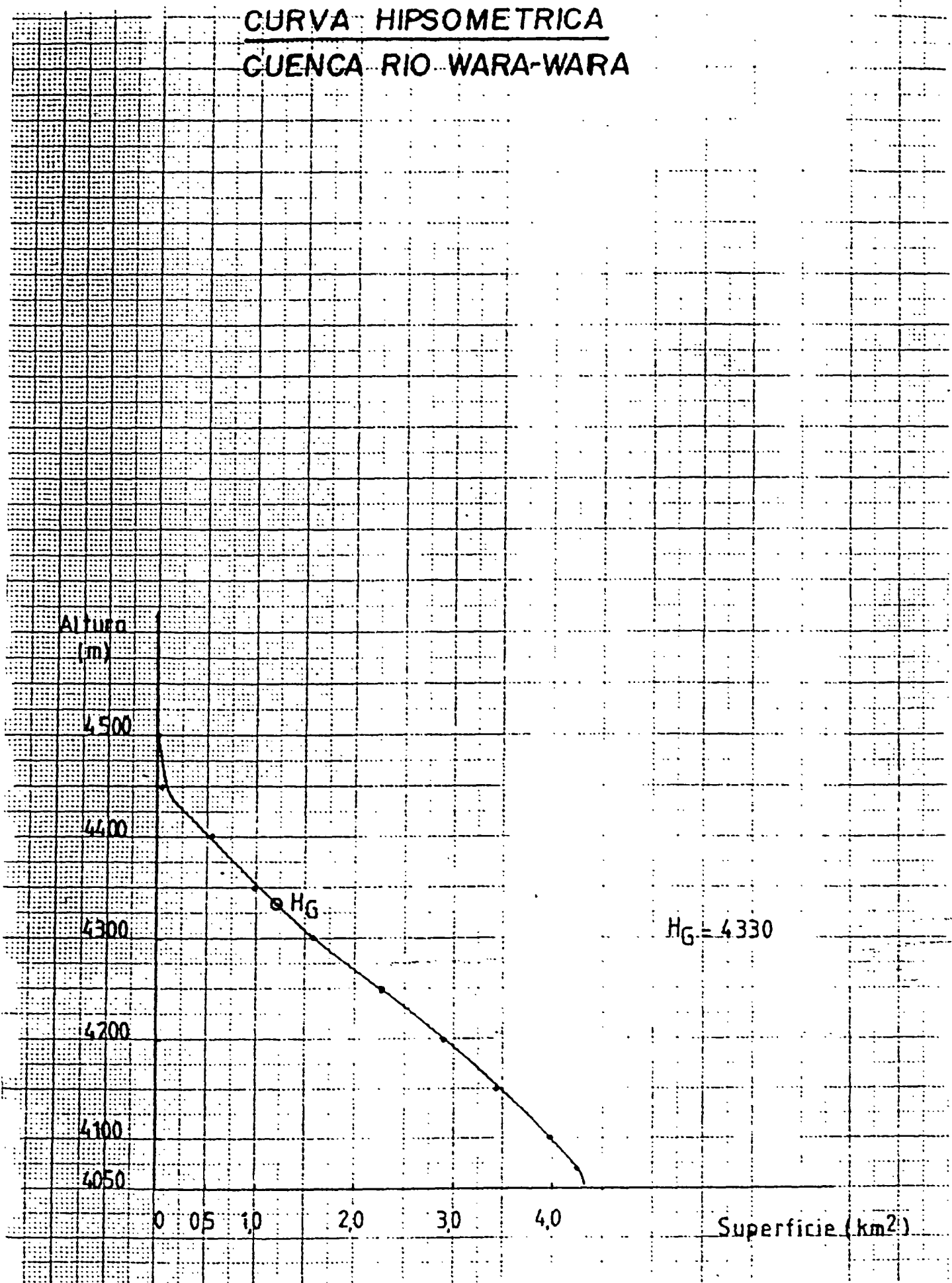
Año	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	No v.	Dic.	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Total
49-50	0,0	0,019	0,016	0,010	0,025	0,037	0,296	0,818	0,663	0,472	0,417	0,037	
50-51	0,0	0,042	0,026	0,004	0,077	0,029	0,063	0,812	1,178	0,611	0,075	0,016	
51-52	0,0	0,0	0,380	0,028	0,025	0,069	0,156	0,937	1,265	0,255	0,054	0,133	
52-53	0,0	0,009	0,006	0,042	0,033	0,030	0,078	0,658	1,730	0,336	0,115	0,071	
53-54	0,0	0,00	0,013	0,008	0,031	0,040	0,290	0,668	1,572	0,576	0,115	0,029	
54-55	0,0	0,015	0,033	0,004	0,020	0,045	0,190	0,822	0,973	0,645	0,193	0,031	
55-56	0,0	0,022	0,017	0,009	0,030	0,036	0,444	0,689	0,460	0,408	0,059	0,786	
56-57	0,0	0,061	0,009	0,010	0,030	0,044	0,306	0,845	0,529	0,592	0,182	0,036	
57-58	0,0	0,00	0,007	0,006	0,026	0,055	0,103	0,890	0,172	0,378	0,173	0,068	
58-59	0,0	0,019	0,025	0,015	0,043	0,037	0,141	0,818	0,500	1,097	0,057	0,086	
59-60	0,0	0,00	0,021	0,009	0,020	0,041	0,615	0,860	1,101	0,324	0,650	0,152	
60-61	0,0	0,00	0,020	0,018	0,044	0,048	0,500	0,587	0,766	0,600	0,254	0,038	
61-62	0,0	0,00	0,006	0,004	0,016	0,027	0,459	0,629	0,552	0,503	0,117	0,026	
62-63	0,0	0,10	0,013	0,008	0,013	0,020	0,778	0,804	1,888	0,625	0,264	0,020	
63-64	0,0	0,00	0,008	0,017	0,026	0,019	0,352	0,397	1,442	0,986	0,177	0,514	
64-65	0,0	0,039	0,008	0,012	0,017	0,008	0,427	0,371	0,534	0,678	0,128	0,032	
65-66	0,0	0,095	0,020	0,010	0,036	0,040	0,198	0,654	0,620	0,584	0,095	0,040	
66-67	0,0	0,018	0,012	0,004	0,020	0,027	0,232	0,277	0,950	0,960	0,081	0,233	
67-68	0,0	0,013	0,022	0,007	0,015	0,031	0,315	0,820	0,344	0,319	0,280	0,063	
68-69	0,0	0,030	0,022	0,008	0,014	0,047	0,162	0,611	1,179	0,494	0,059	0,029	
69-70	0,0	0,017	0,023	0,006	0,016	0,034	0,220	1,179	0,943	0,637	0,237	0,055	
70-71	0,0	0,017	0,028	0,012	0,026	0,037	0,137	0,390	1,174	0,268	0,141	0,153	
71-72	0,0	0,116	0,012	0,010	0,022	0,058	0,298	0,901	1,106	0,352	0,111	0,101	
72-73	0,0	0,056	0,011	0,005	0,022	0,093	0,873	0,408	0,934	0,479	0,160	0,029	
73-74	0,0	0,009	0,008	0,005	0,024	0,045	0,218	0,999	0,903	0,578	0,260	0,201	
74-75	0,0	0,019	0,021	0,005	0,022	0,042	0,102	1,313	0,823	0,418	0,445	0,069	
75-76	0,0	0,045	0,018	0,008	0,018	0,043	0,161	0,991	0,960	0,497	0,117	0,048	
76-77	0,0	0,014	0,006	0,037	0,021	0,057	0,230	0,276	0,594	0,855	0,056	0,096	
77-78	0,0	0,004	0,013	0,024	0,011	0,052	0,244	1,452	1,021	0,491	0,350	0,165	
78-79	0,0	0,000	0,013	0,006	0,012	0,100	0,642	1,566	0,692	0,219	0,134	0,00	
79-80	0,0	0,000	0,000	0,016	0,035	0,119	0,797	0,392	0,271	0,618	0,091	0,052	
80-81	0,0	0,006	0,010	0,132	0,034	0,055	0,259	0,985	0,922	0,570	0,186	0,056	
$\bar{x}$	0,0	0,024	0,026	0,015	0,025	0,046	0,473	0,800	0,996	0,544	0,174	0,108	

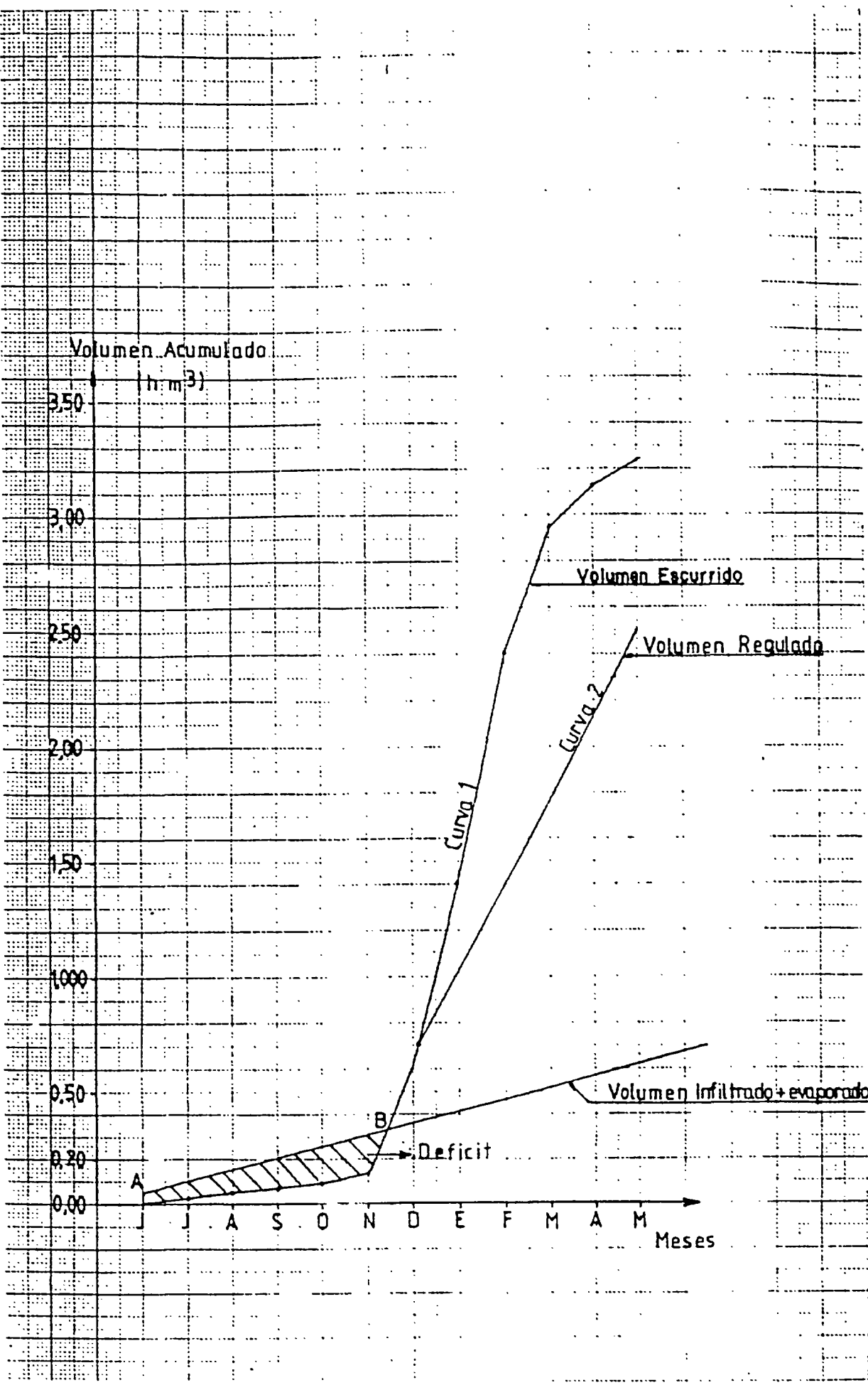
FIGURA 12





CURVA HIPSOMETRICA  
CUENCA RIO WARA-WARA





### III.2 - Zona norte de La Cumbre

Los datos hidrológicos se han extraído del informe "Estudio Hidrológico. Proyecto Misicuni. Nuevas Alternativas, 1.987" (SEMAPA). Véase mapa, figura III.1.

El sistema de Escalerani recoge parte de las aguas superficiales de esta zona, almacenando 5.800.000 m<sup>3</sup> en año pluviométrico normal (diferencia entre capacidad máxima y volumen de aguas muertas), lo que corresponde a un caudal medio anual ficticio de 183 l/s.

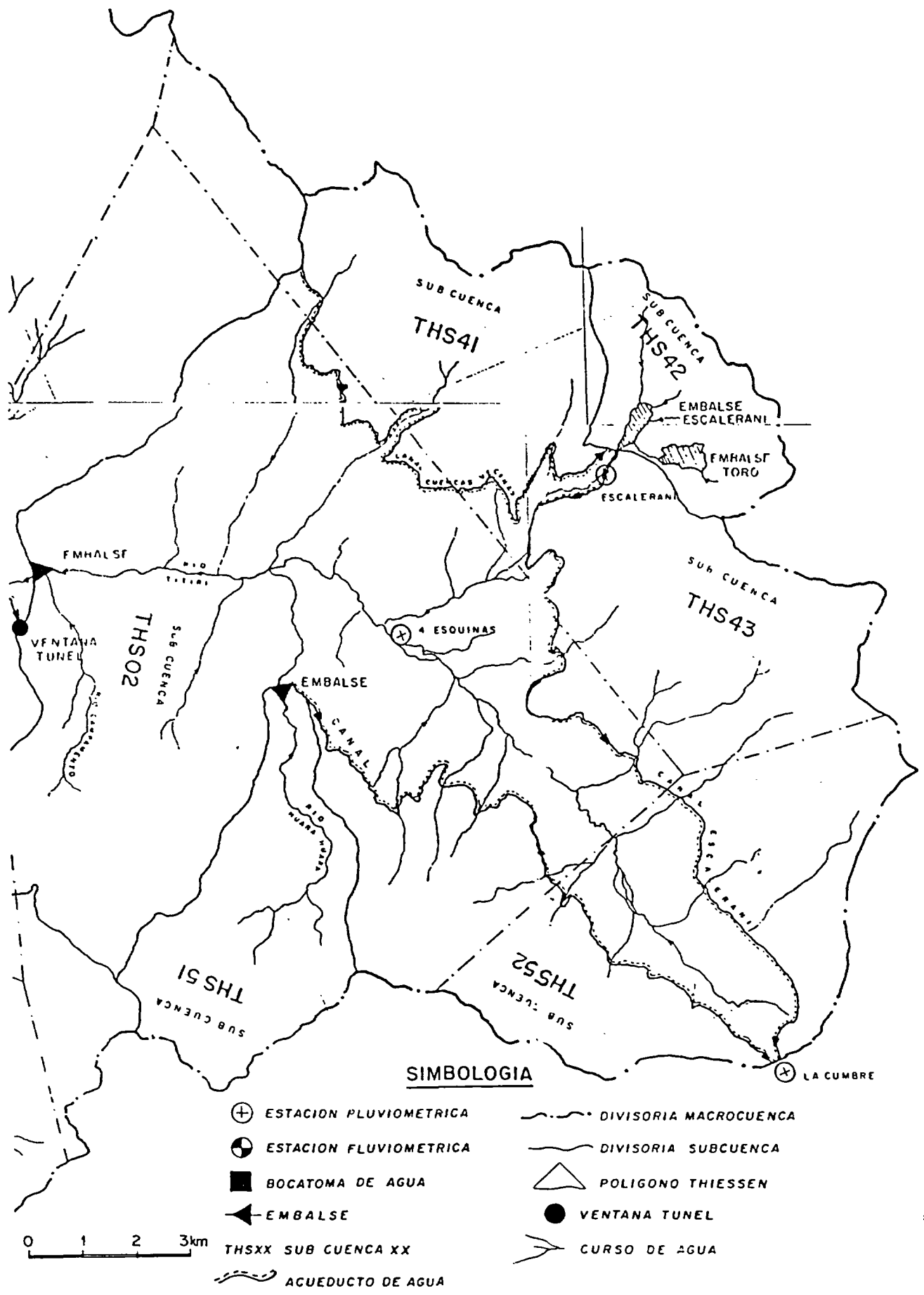
Ahora bien, el caudal medio anual simulado (véase figuras III.2 a III.6) de las cinco subcuencas es de 845 l/s, de donde se deducen unos recursos potenciales no recuperados de 660 l/s, es decir, de 20 a 21 M de m<sup>3</sup> por año. La recolección de dicho volumen y su transporte a la zona de La Cumbre podría realizarse a través del canal del sistema Escalerani - previa rehabilitación con el fin de evitar las pérdidas - y mediante la construcción de un canal en el otro flanco del valle en dirección a Chusequeri, en el río Huera-Huera. Para ello habrá que retomar el trazado del canal de Chusequeri.

La cabecera del río Titiri, al noroeste del embalse de La Cumbre, constituye una zona de almacenamiento.

El almacenamiento de un volumen de 20 • 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> implicaría la construcción de una represa de tierra de 900 a 1.000 m de longitud y de 35 m de altura máxima. El volumen de tierra sería de 1.000.000 de m<sup>3</sup> (fig. III.7).

Un canal de tierra de 1 o 2 km de longitud podría transportar el agua almacenada hacia La Cumbre o hacia el valle de Cochabamba, permitiendo su capacidad el paso de un caudal de 600 a 700 l/s. Este caudal, junto con el de Escalerani-La Cumbre, podría ser transportado por una tubería metálica de presión hasta la cabecera de la red de distribución y abastecimiento de agua de la ciudad, que se situaría en la quebrada de Tolapujro, actualmente utilizada para el transporte de agua de La Cumbre.

En el análisis técnico-económico de factibilidad del proyecto de canalización de las aguas habría que considerar el impacto de la construcción de una microcentral al pie de una caída de 600 a 650 m de altura. La producción de potencia eléctrica podría ser de 1.125 kw para un caudal de 250 l/s y de 2.700 kw para 660 l/s. Estas potencias corresponden a las necesidades domésticas de 1.500 y de 3.000 familias respectivamente.



SUB CUENCA	41	42	43	51	52	TOTAL
CAUDAL	0.152	0.069	0.293	0.144	0.187	0.845

CAUDAL MEDIO MENSUAL SIMULADO (M3/SEG)

Fig. III.1 - MAPA DE LAS CUENCAS DE LA ZONA NORTE DE LA CUMBRE

CUADRO N° 4.1.46

Fig. III.2

NOMBRE..... CAUDAL MEDIO MENSUAL SIMULADO SUBCUENCA THS41 (M3/SEG)  
 AREA DE LA CUENCA (KM2)..... 14.15  
 AGNO INICIAL..... 1942  
 AGNO FINAL..... 1985  
 NUMERO DE DATOS DE LA ESTADISTICA... 528

AGNO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
1942/43	0.048	0.036	0.028	0.027	0.029	0.058	0.223	0.359	0.230	0.245	0.080	0.057	0.118
1943/44	0.036	0.026	0.020	0.024	0.026	0.028	0.053	0.250	0.556	0.063	0.038	0.030	0.096
1944/45	0.022	0.017	0.013	0.015	0.021	0.066	0.376	0.338	0.274	0.259	0.059	0.040	0.125
1945/46	0.031	0.023	0.020	0.021	0.030	0.100	0.255	0.139	0.327	0.128	0.050	0.040	0.097
1946/47	0.029	0.023	0.017	0.016	0.014	0.038	0.438	0.902	0.255	0.532	0.136	0.057	0.205
1947/48	0.043	0.033	0.025	0.021	0.016	0.041	0.097	0.274	0.406	0.158	0.052	0.036	0.100
1948/49	0.036	0.024	0.018	0.019	0.018	0.055	0.574	0.813	0.214	0.443	0.064	0.038	0.193
1949/50	0.029	0.022	0.017	0.015	0.018	0.039	0.177	0.460	0.345	0.223	0.063	0.039	0.121
1950/51	0.030	0.023	0.018	0.022	0.017	0.021	0.035	0.135	0.358	0.102	0.045	0.044	0.071
1951/52	0.028	0.021	0.016	0.014	0.017	0.056	0.204	0.619	0.828	0.182	0.051	0.038	0.173
1952/53	0.034	0.024	0.020	0.028	0.023	0.048	0.094	0.327	0.889	0.205	0.077	0.048	0.151
1953/54	0.037	0.028	0.022	0.018	0.029	0.046	0.196	0.469	0.687	0.465	0.051	0.037	0.174
1954/55	0.028	0.021	0.016	0.013	0.024	0.102	0.214	0.469	1.066	0.325	0.108	0.057	0.204
1955/56	0.039	0.033	0.024	0.021	0.020	0.032	0.163	0.754	0.107	0.055	0.038	0.027	0.109
1956/57	0.020	0.016	0.012	0.011	0.011	0.030	0.261	0.567	0.243	0.114	0.055	0.035	0.115
1957/58	0.027	0.020	0.016	0.012	0.016	0.094	0.253	0.559	0.177	0.197	0.053	0.041	0.122
1958/59	0.029	0.032	0.021	0.016	0.021	0.061	0.143	0.350	0.273	0.742	0.128	0.065	0.157
1959/60	0.050	0.038	0.029	0.025	0.029	0.054	0.438	0.909	0.064	0.226	0.234	0.050	0.179
1960/61	0.038	0.029	0.022	0.055	0.128	0.322	0.952	0.492	0.686	0.205	0.179	0.049	0.263
1961/62	0.037	0.028	0.022	0.021	0.019	0.041	0.267	0.789	0.154	0.464	0.075	0.061	0.165
1962/63	0.038	0.029	0.022	0.017	0.021	0.022	0.071	0.453	0.679	0.559	0.156	0.062	0.177
1963/64	0.042	0.032	0.025	0.040	0.196	0.163	0.277	0.454	0.614	0.645	0.081	0.061	0.219
1964/65	0.046	0.036	0.030	0.040	0.040	0.056	0.327	0.916	0.090	0.478	0.062	0.037	0.180
1965/66	0.028	0.022	0.016	0.019	0.051	0.137	0.295	1.090	0.411	0.327	0.099	0.049	0.212
1966/67	0.036	0.027	0.021	0.020	0.023	0.051	0.218	0.530	0.365	0.258	0.066	0.040	0.138
1967/68	0.030	0.023	0.018	0.021	0.026	0.022	0.090	0.487	0.416	0.174	0.069	0.039	0.118
1968/69	0.030	0.023	0.017	0.013	0.023	0.080	0.243	0.371	0.518	0.177	0.062	0.041	0.133
1969/70	0.031	0.024	0.018	0.014	0.010	0.020	0.107	0.421	0.744	0.136	0.107	0.041	0.140
1970/71	0.032	0.024	0.018	0.025	0.033	0.027	0.142	0.518	0.421	0.122	0.090	0.047	0.125
1971/72	0.045	0.029	0.022	0.017	0.022	0.102	0.603	0.507	0.633	0.192	0.054	0.039	0.189
1972/73	0.030	0.023	0.040	0.062	0.038	0.090	0.307	0.320	0.252	0.173	0.057	0.045	0.120
1973/74	0.030	0.023	0.021	0.019	0.024	0.058	0.287	1.030	0.196	0.552	0.072	0.039	0.196
1974/75	0.032	0.024	0.049	0.033	0.037	0.025	0.063	0.442	0.447	0.221	0.082	0.042	0.125
1975/76	0.032	0.025	0.019	0.018	0.024	0.049	0.117	0.397	0.315	0.185	0.047	0.039	0.106
1976/77	0.029	0.022	0.018	0.033	0.028	0.040	0.138	0.252	0.476	0.457	0.051	0.038	0.132
1977/78	0.029	0.022	0.017	0.019	0.025	0.084	0.282	0.569	0.346	0.252	0.093	0.043	0.146
1978/79	0.033	0.025	0.019	0.014	0.012	0.039	0.388	0.983	0.294	0.471	0.101	0.044	0.202
1979/80	0.033	0.026	0.019	0.019	0.023	0.055	0.251	0.217	0.091	0.191	0.062	0.041	0.086
1980/81	0.031	0.024	0.021	0.021	0.021	0.017	0.072	0.638	0.462	0.357	0.068	0.039	0.148
1981/82	0.030	0.023	0.033	0.059	0.050	0.047	0.076	0.423	0.261	0.571	0.091	0.043	0.142
1982/83	0.033	0.025	0.026	0.024	0.019	0.056	0.236	0.225	0.290	0.206	0.049	0.040	0.102
1983/84	0.029	0.023	0.017	0.014	0.016	0.068	0.170	0.419	0.959	0.791	0.214	0.091	0.234
1984/85	0.069	0.053	0.041	0.031	0.082	0.349	0.297	0.402	0.638	0.149	0.221	0.053	0.199
1985/86	0.040	0.031	0.023	0.025	0.024	0.056	0.310	0.588	0.282	0.851	0.135	0.051	0.201
FROME	0.034	0.026	0.022	0.023	0.032	0.069	0.245	0.514	0.417	0.314	0.087	0.045	0.152
DESVI	0.008	0.006	0.007	0.012	0.032	0.066	0.170	0.239	0.242	0.202	0.049	0.011	0.044
CVARI	0.243	0.242	0.334	0.503	1.015	0.959	0.692	0.464	0.581	0.643	0.559	0.246	0.290

NOMBRE..... CAUDAL MEDIO MENSUAL SIMULADO SUBCUENCA TRS42 (M3/SEG)  
 AREA DE LA CUENCA (KM2)..... 6.53  
 AÑO INICIAL..... 1942  
 AÑO FINAL..... 1985  
 NÚMERO DE DATOS DE LA ESTADÍSTICA... 528

AGNO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
1942/43	0.022	0.017	0.013	0.012	0.013	0.026	0.099	0.159	0.105	0.109	0.036	0.026	0.053
1943/44	0.017	0.012	0.009	0.011	0.011	0.012	0.023	0.108	0.250	0.028	0.017	0.014	0.043
1944/45	0.010	0.008	0.006	0.007	0.009	0.029	0.167	0.150	0.124	0.115	0.027	0.018	0.056
1945/46	0.014	0.011	0.009	0.009	0.014	0.044	0.113	0.060	0.147	0.056	0.023	0.018	0.043
1946/47	0.014	0.010	0.008	0.007	0.006	0.017	0.194	0.413	0.113	0.232	0.066	0.027	0.092
1947/48	0.021	0.016	0.012	0.010	0.008	0.018	0.042	0.120	0.182	0.070	0.023	0.016	0.045
1948/49	0.017	0.011	0.008	0.009	0.008	0.024	0.256	0.375	0.092	0.197	0.030	0.018	0.087
1949/50	0.013	0.010	0.008	0.007	0.008	0.017	0.078	0.204	0.157	0.098	0.028	0.018	0.054
1950/51	0.014	0.010	0.008	0.010	0.008	0.009	0.015	0.057	0.158	0.045	0.020	0.020	0.031
1951/52	0.013	0.010	0.007	0.006	0.008	0.025	0.090	0.279	0.377	0.081	0.023	0.017	0.078
1952/53	0.015	0.011	0.009	0.013	0.010	0.021	0.041	0.143	0.401	0.095	0.034	0.022	0.068
1953/54	0.017	0.013	0.010	0.008	0.013	0.021	0.087	0.207	0.317	0.201	0.024	0.018	0.078
1954/55	0.013	0.010	0.008	0.006	0.011	0.046	0.095	0.210	0.482	0.150	0.049	0.026	0.092
1955/56	0.018	0.015	0.011	0.010	0.009	0.014	0.072	0.339	0.050	0.024	0.017	0.012	0.049
1956/57	0.009	0.007	0.005	0.005	0.005	0.013	0.115	0.255	0.111	0.049	0.025	0.016	0.051
1957/58	0.012	0.009	0.007	0.005	0.007	0.042	0.112	0.252	0.080	0.087	0.024	0.019	0.055
1958/59	0.013	0.014	0.010	0.007	0.010	0.027	0.063	0.154	0.123	0.339	0.058	0.030	0.071
1959/60	0.023	0.017	0.013	0.011	0.013	0.024	0.196	0.411	0.035	0.095	0.113	0.023	0.081
1960/61	0.018	0.014	0.010	0.026	0.060	0.146	0.431	0.232	0.296	0.100	0.086	0.023	0.120
1961/62	0.017	0.013	0.010	0.009	0.009	0.018	0.118	0.357	0.071	0.208	0.034	0.028	0.074
1962/63	0.018	0.014	0.010	0.008	0.009	0.010	0.045	0.291	0.201	0.187	0.048	0.022	0.072
1963/64	0.015	0.012	0.009	0.014	0.084	0.076	0.130	0.203	0.277	0.296	0.036	0.028	0.098
1964/65	0.021	0.016	0.014	0.018	0.018	0.025	0.146	0.414	0.046	0.207	0.029	0.018	0.081
1965/66	0.013	0.010	0.008	0.009	0.024	0.062	0.133	0.497	0.187	0.147	0.045	0.022	0.096
1966/67	0.017	0.013	0.010	0.009	0.010	0.022	0.096	0.237	0.166	0.113	0.030	0.018	0.062
1967/68	0.014	0.011	0.008	0.010	0.012	0.010	0.043	0.234	0.177	0.077	0.034	0.019	0.054
1968/69	0.014	0.011	0.008	0.006	0.011	0.152	0.361	0.060	0.282	0.056	0.024	0.016	0.083
1969/70	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004	0.008	0.051	0.191	0.310	0.074	0.053	0.020	0.062
1970/71	0.015	0.011	0.009	0.012	0.016	0.012	0.068	0.254	0.193	0.057	0.045	0.023	0.060
1971/72	0.022	0.014	0.011	0.009	0.010	0.047	0.275	0.226	0.278	0.086	0.024	0.017	0.085
1972/73	0.013	0.010	0.017	0.027	0.017	0.040	0.139	0.142	0.109	0.075	0.025	0.021	0.053
1973/74	0.014	0.010	0.010	0.008	0.011	0.026	0.131	0.492	0.077	0.259	0.032	0.018	0.091
1974/75	0.015	0.011	0.022	0.015	0.017	0.011	0.028	0.210	0.207	0.106	0.038	0.019	0.058
1975/76	0.015	0.011	0.009	0.008	0.011	0.023	0.054	0.177	0.144	0.085	0.023	0.018	0.046
1976/77	0.013	0.010	0.008	0.015	0.013	0.017	0.065	0.106	0.224	0.207	0.025	0.017	0.060
1977/78	0.013	0.010	0.008	0.009	0.011	0.034	0.117	0.262	0.164	0.110	0.042	0.020	0.067
1978/79	0.015	0.011	0.009	0.007	0.005	0.017	0.158	0.442	0.151	0.214	0.045	0.020	0.091
1979/80	0.015	0.012	0.009	0.009	0.010	0.024	0.106	0.088	0.042	0.082	0.028	0.018	0.037
1980/81	0.014	0.011	0.009	0.009	0.009	0.007	0.031	0.272	0.213	0.152	0.030	0.018	0.065
1981/82	0.014	0.011	0.014	0.025	0.021	0.020	0.030	0.180	0.116	0.273	0.038	0.019	0.063
1982/83	0.014	0.011	0.011	0.010	0.008	0.022	0.096	0.100	0.126	0.095	0.023	0.015	0.045
1983/84	0.013	0.010	0.008	0.007	0.008	0.030	0.072	0.184	0.420	0.363	0.102	0.041	0.105
1984/85	0.031	0.024	0.018	0.014	0.037	0.157	0.129	0.181	0.286	0.067	0.109	0.025	0.090
1985/86	0.019	0.015	0.011	0.012	0.011	0.027	0.137	0.243	0.143	0.369	0.072	0.025	0.090
PRME	0.016	0.012	0.010	0.011	0.014	0.033	0.115	0.231	0.187	0.139	0.040	0.021	0.069
DESV	0.004	0.003	0.003	0.005	0.014	0.035	0.085	0.114	0.107	0.090	0.024	0.005	0.020
CVAR	0.250	0.248	0.320	0.487	0.994	1.054	0.740	0.493	0.571	0.649	0.594	0.243	0.294

CUADRO N° 4.1.48

Fig. III.4

NOMBRE..... CAUDAL MEDIO MENSUAL SIMULADO SUBCUENCA THS43 (M3/SEG)  
 AREA DE LA CUENCA (KM2)..... 23.51  
 AGNO INICIAL..... 1942  
 AGNO FINAL..... 1985  
 NÚMERO DE DATOS DE LA ESTADÍSTICA... 528

AGNO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
1942/43	0.079	0.060	0.046	0.044	0.050	0.099	0.425	0.799	0.484	0.553	0.134	0.097	0.239
1943/44	0.060	0.044	0.034	0.040	0.044	0.050	0.153	0.758	1.023	0.182	0.073	0.059	0.210
1944/45	0.043	0.032	0.024	0.029	0.038	0.115	0.642	0.722	0.583	0.578	0.097	0.067	0.247
1945/46	0.051	0.040	0.033	0.034	0.051	0.162	0.512	0.334	0.739	0.329	0.086	0.069	0.203
1946/47	0.051	0.039	0.029	0.027	0.025	0.069	0.470	1.302	1.296	0.744	0.155	0.071	0.357
1947/48	0.054	0.041	0.031	0.026	0.022	0.057	0.260	0.697	0.844	0.349	0.090	0.064	0.211
1948/49	0.064	0.042	0.032	0.033	0.032	0.096	0.542	1.164	0.902	0.679	0.110	0.066	0.313
1949/50	0.050	0.038	0.029	0.027	0.032	0.071	0.352	1.022	0.634	0.559	0.103	0.065	0.248
1950/51	0.050	0.038	0.030	0.035	0.028	0.036	0.114	0.493	0.783	0.247	0.079	0.079	0.168
1951/52	0.049	0.037	0.029	0.024	0.032	0.098	0.418	1.329	1.385	0.557	0.085	0.064	0.342
1952/53	0.056	0.041	0.033	0.046	0.040	0.080	0.248	0.842	1.577	0.527	0.124	0.079	0.308
1953/54	0.061	0.046	0.036	0.029	0.049	0.081	0.363	1.004	1.124	1.218	0.054	0.041	0.342
1954/55	0.031	0.023	0.017	0.014	0.028	0.156	0.456	1.005	1.940	0.718	0.168	0.091	0.387
1955/56	0.062	0.058	0.040	0.035	0.035	0.057	0.316	1.574	0.169	0.160	0.075	0.053	0.220
1956/57	0.040	0.031	0.023	0.022	0.022	0.059	0.474	1.178	0.462	0.321	0.102	0.065	0.233
1957/58	0.050	0.038	0.029	0.022	0.031	0.159	0.538	1.110	0.449	0.395	0.090	0.072	0.249
1958/59	0.051	0.067	0.042	0.031	0.043	0.110	0.335	0.830	0.581	1.295	0.201	0.104	0.308
1959/60	0.079	0.060	0.046	0.040	0.048	0.091	0.398	1.086	0.650	0.433	0.357	0.083	0.281
1960/61	0.063	0.048	0.037	0.085	0.192	0.487	1.368	0.996	1.389	0.394	0.338	0.084	0.457
1961/62	0.062	0.048	0.038	0.035	0.034	0.073	0.400	1.383	0.413	0.980	0.104	0.089	0.305
1962/63	0.056	0.044	0.033	0.026	0.032	0.038	0.124	0.878	1.092	0.450	0.210	0.090	0.256
1963/64	0.061	0.047	0.036	0.056	0.273	0.263	0.555	0.940	1.238	1.112	0.133	0.101	0.401
1964/65	0.078	0.059	0.050	0.064	0.067	0.096	0.378	1.292	0.647	0.827	0.096	0.059	0.309
1965/66	0.045	0.034	0.026	0.030	0.079	0.216	0.547	2.137	0.718	0.718	0.156	0.078	0.399
1966/67	0.058	0.044	0.033	0.032	0.039	0.087	0.413	1.132	0.653	0.652	0.104	0.064	0.276
1967/68	0.049	0.037	0.028	0.027	0.026	0.022	0.067	0.458	0.874	0.355	0.098	0.064	0.175
1968/69	0.049	0.037	0.028	0.022	0.028	0.088	0.519	0.991	0.957	0.677	0.099	0.072	0.297
1969/70	0.055	0.042	0.031	0.024	0.018	0.027	0.152	1.386	2.327	0.300	0.338	0.091	0.399
1970/71	0.067	0.052	0.039	0.057	0.075	0.053	0.222	0.602	1.127	0.297	0.160	0.078	0.236
1971/72	0.080	0.050	0.038	0.030	0.032	0.086	0.381	0.833	0.949	0.531	0.088	0.065	0.264
1972/73	0.050	0.038	0.053	0.067	0.070	0.115	0.593	0.861	0.393	0.367	0.103	0.076	0.232
1973/74	0.051	0.039	0.036	0.031	0.048	0.166	0.688	1.602	0.561	1.062	0.205	0.084	0.381
1974/75	0.065	0.049	0.090	0.052	0.073	0.059	0.190	1.354	0.979	0.384	0.135	0.073	0.292
1975/76	0.057	0.043	0.033	0.034	0.051	0.117	0.310	1.195	1.068	0.302	0.086	0.071	0.281
1976/77	0.051	0.039	0.031	0.064	0.053	0.080	0.204	0.442	0.798	0.805	0.092	0.067	0.227
1977/78	0.051	0.039	0.029	0.041	0.053	0.179	0.786	1.383	0.684	0.449	0.188	0.074	0.330
1978/79	0.057	0.044	0.033	0.025	0.022	0.059	0.454	2.213	0.455	0.755	0.108	0.064	0.357
1979/80	0.049	0.037	0.028	0.024	0.050	0.149	1.008	0.969	0.172	0.350	0.113	0.071	0.250
1980/81	0.054	0.044	0.039	0.041	0.041	0.031	0.136	1.273	0.765	0.842	0.102	0.060	0.286
1981/82	0.046	0.035	0.056	0.087	0.079	0.153	0.373	1.154	0.457	0.949	0.221	0.093	0.309
1982/83	0.071	0.055	0.049	0.040	0.030	0.056	0.162	0.284	0.516	0.364	0.082	0.067	0.148
1983/84	0.049	0.039	0.029	0.023	0.025	0.101	0.411	0.873	1.565	1.124	0.300	0.151	0.391
1984/85	0.115	0.088	0.067	0.051	0.132	0.582	0.650	0.755	1.358	0.185	0.336	0.095	0.368
1985/86	0.069	0.052	0.040	0.053	0.048	0.112	0.589	1.055	0.667	2.080	0.018	0.055	0.403
PROME	0.058	0.044	0.037	0.038	0.052	0.117	0.425	1.056	0.674	0.617	0.141	0.076	0.293
DESVI	0.014	0.011	0.012	0.016	0.046	0.106	0.243	0.401	0.447	0.371	0.082	0.018	0.073
CVAR1	0.238	0.247	0.339	0.432	0.867	0.905	0.571	0.386	0.511	0.601	0.581	0.237	0.246

CUADRO Nº 4.1.49

NOMBRE..... CAUDAL MEDIO MENSUAL SIMULADO SUBCUENCA TH551 (M3/SEG)  
 AREA DE LA CUENCA (KM2)..... 10.67  
 AÑO INICIAL..... 1942  
 AÑO FINAL..... 1985  
 NÚMERO DE DATOS DE LA ESTADÍSTICA... 526

AÑO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
1942/43	0.036	0.027	0.024	0.024	0.029	0.072	0.261	0.419	0.207	0.287	0.069	0.045	0.125
1943/44	0.027	0.021	0.018	0.023	0.028	0.035	0.078	0.361	0.529	0.083	0.047	0.028	0.106
1944/45	0.020	0.015	0.012	0.015	0.024	0.090	0.420	0.333	0.296	0.279	0.068	0.035	0.134
1945/46	0.026	0.021	0.021	0.023	0.033	0.121	0.298	0.207	0.352	0.180	0.056	0.032	0.114
1946/47	0.023	0.018	0.015	0.015	0.017	0.060	0.489	0.680	0.531	0.509	0.043	0.024	0.202
1947/48	0.018	0.014	0.011	0.011	0.012	0.044	0.142	0.362	0.400	0.180	0.063	0.033	0.107
1948/49	0.026	0.019	0.016	0.019	0.021	0.080	0.609	0.555	0.457	0.313	0.066	0.034	0.185
1949/50	0.026	0.020	0.017	0.017	0.022	0.057	0.222	0.504	0.304	0.284	0.061	0.031	0.130
1950/51	0.024	0.018	0.018	0.023	0.019	0.029	0.059	0.246	0.400	0.125	0.054	0.037	0.088
1951/52	0.024	0.018	0.014	0.013	0.019	0.073	0.252	0.587	0.796	0.147	0.076	0.039	0.172
1952/53	0.030	0.024	0.023	0.033	0.028	0.067	0.133	0.411	0.829	0.144	0.104	0.050	0.156
1953/54	0.038	0.029	0.023	0.021	0.033	0.054	0.217	0.547	0.470	0.765	0.001	0.006	0.184
1954/55	0.005	0.004	0.003	0.003	0.010	0.097	0.263	0.467	1.081	0.086	0.142	0.070	0.186
1955/56	0.048	0.043	0.029	0.029	0.030	0.052	0.212	0.737	0.074	0.088	0.048	0.027	0.118
1956/57	0.020	0.015	0.014	0.014	0.016	0.056	0.319	0.531	0.250	0.166	0.058	0.030	0.124
1957/58	0.023	0.017	0.015	0.012	0.018	0.116	0.310	0.496	0.184	0.260	0.060	0.034	0.129
1958/59	0.025	0.029	0.018	0.014	0.022	0.074	0.185	0.413	0.261	0.626	0.114	0.053	0.153
1959/60	0.040	0.031	0.026	0.024	0.030	0.067	0.245	0.536	0.313	0.232	0.066	0.031	0.137
1960/61	0.024	0.018	0.015	0.038	0.086	0.132	0.281	0.583	0.514	0.331	0.065	0.031	0.177
1961/62	0.024	0.018	0.017	0.017	0.020	0.055	0.256	0.634	0.211	0.453	0.077	0.048	0.152
1962/63	0.030	0.024	0.018	0.016	0.021	0.026	0.074	0.452	0.504	0.224	0.084	0.044	0.126
1963/64	0.031	0.023	0.021	0.033	0.114	0.124	0.220	0.507	0.544	0.585	0.093	0.046	0.195
1964/65	0.035	0.027	0.029	0.037	0.039	0.066	0.139	0.474	0.535	0.217	0.078	0.039	0.143
1965/66	0.030	0.023	0.017	0.022	0.046	0.133	0.312	0.515	0.331	0.354	0.078	0.039	0.158
1966/67	0.029	0.022	0.020	0.020	0.026	0.067	0.259	0.543	0.330	0.318	0.059	0.031	0.144
1967/68	0.024	0.018	0.014	0.012	0.019	0.034	0.090	0.408	0.519	0.196	0.047	0.035	0.118
1968/69	0.026	0.020	0.020	0.019	0.023	0.068	0.185	0.432	0.794	0.227	0.084	0.039	0.161
1969/70	0.030	0.023	0.017	0.013	0.010	0.028	0.034	0.291	0.715	0.023	0.069	0.035	0.107
1970/71	0.026	0.020	0.015	0.018	0.019	0.022	0.069	0.164	0.185	0.124	0.045	0.028	0.061
1971/72	0.021	0.016	0.012	0.009	0.015	0.069	0.340	0.612	0.326	0.633	0.032	0.020	0.175
1972/73	0.016	0.012	0.027	0.062	0.061	0.102	0.291	0.358	0.352	0.269	0.079	0.035	0.139
1973/74	0.026	0.019	0.020	0.020	0.024	0.065	0.222	0.514	0.361	0.320	0.109	0.036	0.145
1974/75	0.027	0.021	0.054	0.031	0.044	0.035	0.076	0.207	0.308	0.262	0.051	0.033	0.096
1975/76	0.028	0.020	0.015	0.016	0.022	0.038	0.101	0.436	0.259	0.144	0.037	0.030	0.095
1976/77	0.022	0.017	0.015	0.037	0.029	0.051	0.067	0.345	0.524	0.202	0.166	0.047	0.127
1977/78	0.036	0.027	0.021	0.029	0.056	0.238	0.506	0.312	0.179	0.381	0.080	0.034	0.158
1978/79	0.026	0.020	0.015	0.011	0.011	0.038	0.276	0.556	0.367	0.346	0.098	0.034	0.150
1979/80	0.026	0.020	0.020	0.020	0.025	0.075	0.454	0.465	0.044	0.213	0.078	0.046	0.124
1980/81	0.035	0.027	0.035	0.032	0.030	0.022	0.068	0.452	0.989	0.077	0.142	0.036	0.162
1981/82	0.028	0.021	0.081	0.133	0.083	0.058	0.204	0.604	0.183	0.496	0.100	0.037	0.169
1982/83	0.028	0.021	0.051	0.063	0.047	0.130	0.450	0.208	0.337	0.142	0.039	0.036	0.129
1983/84	0.024	0.019	0.015	0.018	0.017	0.100	0.297	0.405	1.262	0.332	0.181	0.138	0.234
1984/85	0.106	0.081	0.071	0.053	0.114	0.143	0.236	0.474	0.566	0.205	0.061	0.032	0.179
1985/86	0.024	0.018	0.014	0.010	0.026	0.046	0.187	0.609	0.216	0.820	0.030	0.022	0.174
PRME	0.029	0.022	0.022	0.025	0.033	0.073	0.237	0.453	0.456	0.269	0.074	0.038	0.144
DESV	0.014	0.011	0.015	0.021	0.024	0.042	0.133	0.132	0.266	0.187	0.035	0.016	0.034
CVAR	0.480	0.488	0.667	0.823	0.749	0.570	0.562	0.292	0.596	0.647	0.476	0.463	0.235

NOMBRE..... CAUDAL MEDIO MENSUAL SIMULADO SUBCUENCA TASEZ (M3/SEG)  
 AREA DE LA CUENCA (KM2)..... 13.57  
 AÑO INICIAL..... 1942  
 AÑO FINAL..... 1985  
 NUMERO DE DATOS DE LA ESTADISTICA... 528

AÑO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
1942/43	0.046	0.035	0.028	0.028	0.034	0.075	0.317	0.603	0.296	0.445	0.075	0.054	0.170
1943/44	0.033	0.025	0.020	0.024	0.030	0.038	0.135	0.652	0.564	0.217	0.057	0.040	0.153
1944/45	0.029	0.022	0.017	0.021	0.028	0.093	0.463	0.507	0.413	0.427	0.065	0.040	0.177
1945/46	0.030	0.024	0.022	0.023	0.035	0.120	0.389	0.287	0.523	0.279	0.053	0.039	0.152
1946/47	0.029	0.022	0.018	0.017	0.019	0.059	0.361	0.861	0.863	0.608	0.059	0.031	0.246
1947/48	0.024	0.019	0.014	0.013	0.014	0.044	0.230	0.559	0.543	0.284	0.065	0.040	0.154
1948/49	0.035	0.025	0.020	0.021	0.024	0.079	0.407	0.761	0.652	0.454	0.071	0.040	0.216
1949/50	0.030	0.023	0.018	0.018	0.024	0.058	0.277	0.748	0.365	0.499	0.056	0.033	0.179
1950/51	0.025	0.019	0.017	0.021	0.019	0.029	0.110	0.477	0.488	0.229	0.057	0.050	0.128
1951/52	0.031	0.023	0.018	0.016	0.023	0.077	0.326	0.895	0.878	0.458	0.052	0.035	0.236
1952/53	0.028	0.022	0.019	0.027	0.028	0.062	0.213	0.663	0.933	0.496	0.069	0.040	0.217
1953/54	0.031	0.024	0.018	0.016	0.028	0.055	0.243	0.729	0.332	0.676	0.033	0.023	0.184
1954/55	0.018	0.013	0.010	0.009	0.019	0.109	0.355	0.690	1.316	0.381	0.124	0.065	0.259
1955/56	0.044	0.044	0.028	0.027	0.029	0.050	0.252	1.079	0.068	0.166	0.058	0.036	0.157
1956/57	0.027	0.021	0.017	0.017	0.019	0.056	0.362	0.793	0.308	0.294	0.065	0.038	0.168
1957/58	0.029	0.022	0.018	0.014	0.021	0.118	0.421	0.701	0.346	0.296	0.066	0.046	0.175
1958/59	0.033	0.047	0.027	0.021	0.031	0.084	0.271	0.629	0.373	0.836	0.116	0.058	0.211
1959/60	0.044	0.034	0.026	0.024	0.031	0.068	0.299	0.782	0.369	0.424	0.129	0.042	0.189
1960/61	0.032	0.024	0.020	0.044	0.101	0.142	0.360	0.789	0.482	0.503	0.111	0.041	0.221
1961/62	0.031	0.024	0.020	0.019	0.022	0.056	0.306	0.945	0.237	0.747	0.050	0.040	0.208
1962/63	0.026	0.021	0.016	0.013	0.019	0.064	0.331	0.826	0.560	0.764	0.036	0.027	0.225
1963/64	0.020	0.015	0.012	0.020	0.114	0.152	0.338	0.716	0.731	0.870	0.059	0.040	0.258
1964/65	0.030	0.023	0.021	0.029	0.038	0.065	0.149	0.597	0.947	0.215	0.102	0.055	0.181
1965/66	0.041	0.032	0.024	0.029	0.058	0.145	0.237	0.618	0.620	0.359	0.119	0.057	0.195
1966/67	0.042	0.032	0.026	0.026	0.032	0.073	0.194	0.597	0.691	0.287	0.083	0.046	0.177
1967/68	0.035	0.027	0.020	0.016	0.016	0.017	0.024	0.136	0.771	0.170	0.061	0.046	0.112
1968/69	0.035	0.027	0.023	0.019	0.019	0.054	0.343	0.741	0.692	0.871	0.012	0.010	0.237
1969/70	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.004	0.054	0.350	0.928	0.109	0.242	0.069	0.148
1970/71	0.049	0.038	0.029	0.039	0.044	0.035	0.094	0.197	0.557	0.242	0.077	0.040	0.120
1971/72	0.036	0.025	0.019	0.015	0.017	0.048	0.180	0.590	0.712	0.389	0.076	0.050	0.180
1972/73	0.040	0.030	0.044	0.048	0.068	0.088	0.423	0.651	0.241	0.388	0.079	0.042	0.179
1973/74	0.030	0.023	0.022	0.021	0.033	0.126	0.424	0.744	0.499	0.522	0.213	0.057	0.226
1974/75	0.044	0.033	0.066	0.034	0.056	0.055	0.161	0.730	0.592	0.341	0.066	0.041	0.185
1975/76	0.033	0.024	0.019	0.021	0.033	0.074	0.209	0.897	0.678	0.191	0.051	0.043	0.169
1976/77	0.030	0.023	0.019	0.047	0.036	0.063	0.086	0.356	0.609	0.322	0.118	0.060	0.147
1977/78	0.046	0.035	0.027	0.043	0.060	0.221	0.764	0.593	0.542	0.309	0.143	0.049	0.236
1978/79	0.037	0.029	0.022	0.017	0.016	0.055	0.384	1.355	0.254	0.375	0.083	0.045	0.223
1979/80	0.035	0.026	0.021	0.018	0.043	0.130	0.357	0.536	0.113	0.266	0.082	0.048	0.141
1980/81	0.036	0.031	0.033	0.034	0.034	0.024	0.077	0.601	0.765	0.225	0.153	0.050	0.174
1981/82	0.038	0.029	0.084	0.095	0.078	0.147	0.382	0.773	0.315	0.716	0.132	0.050	0.237
1982/83	0.038	0.029	0.038	0.034	0.027	0.051	0.165	0.226	0.399	0.294	0.048	0.042	0.108
1983/84	0.029	0.024	0.018	0.016	0.016	0.078	0.495	0.561	0.851	0.175	0.081	0.066	0.193
1984/85	0.045	0.035	0.028	0.021	0.051	0.130	0.300	0.727	0.583	0.219	0.141	0.047	0.194
1985/86	0.034	0.026	0.019	0.021	0.033	0.059	0.139	0.485	0.711	0.322	0.152	0.057	0.171
PROME	0.033	0.026	0.024	0.025	0.035	0.078	0.260	0.653	0.560	0.400	0.087	0.045	0.187
DESVI	0.008	0.008	0.013	0.015	0.022	0.043	0.138	0.225	0.246	0.294	0.046	0.011	0.038
CVARI	0.244	0.286	0.359	0.585	0.640	0.548	0.493	0.345	0.444	0.509	0.525	0.247	0.204

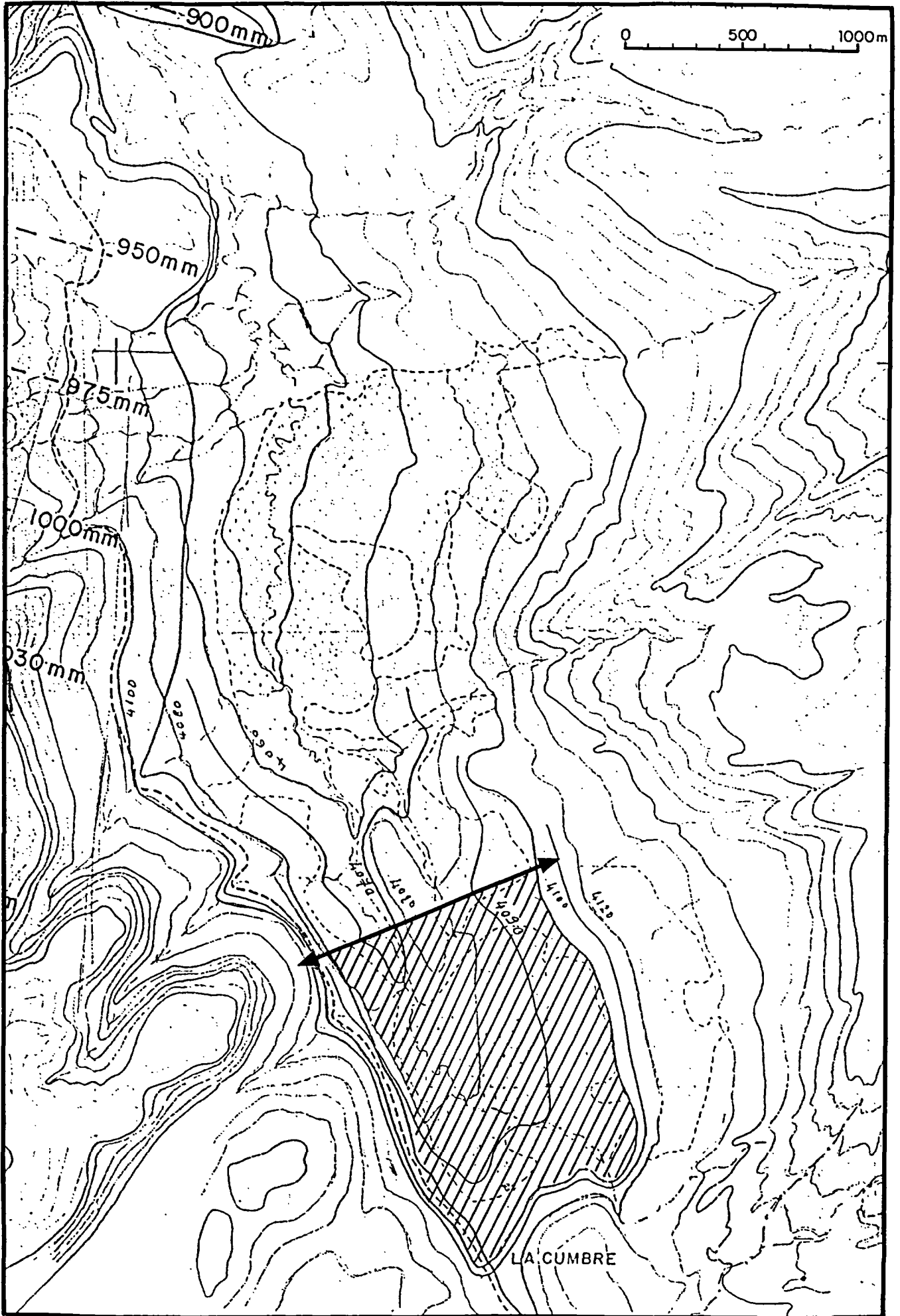


Fig. III.7 - ZONA NORTE DE LA CUMBRE

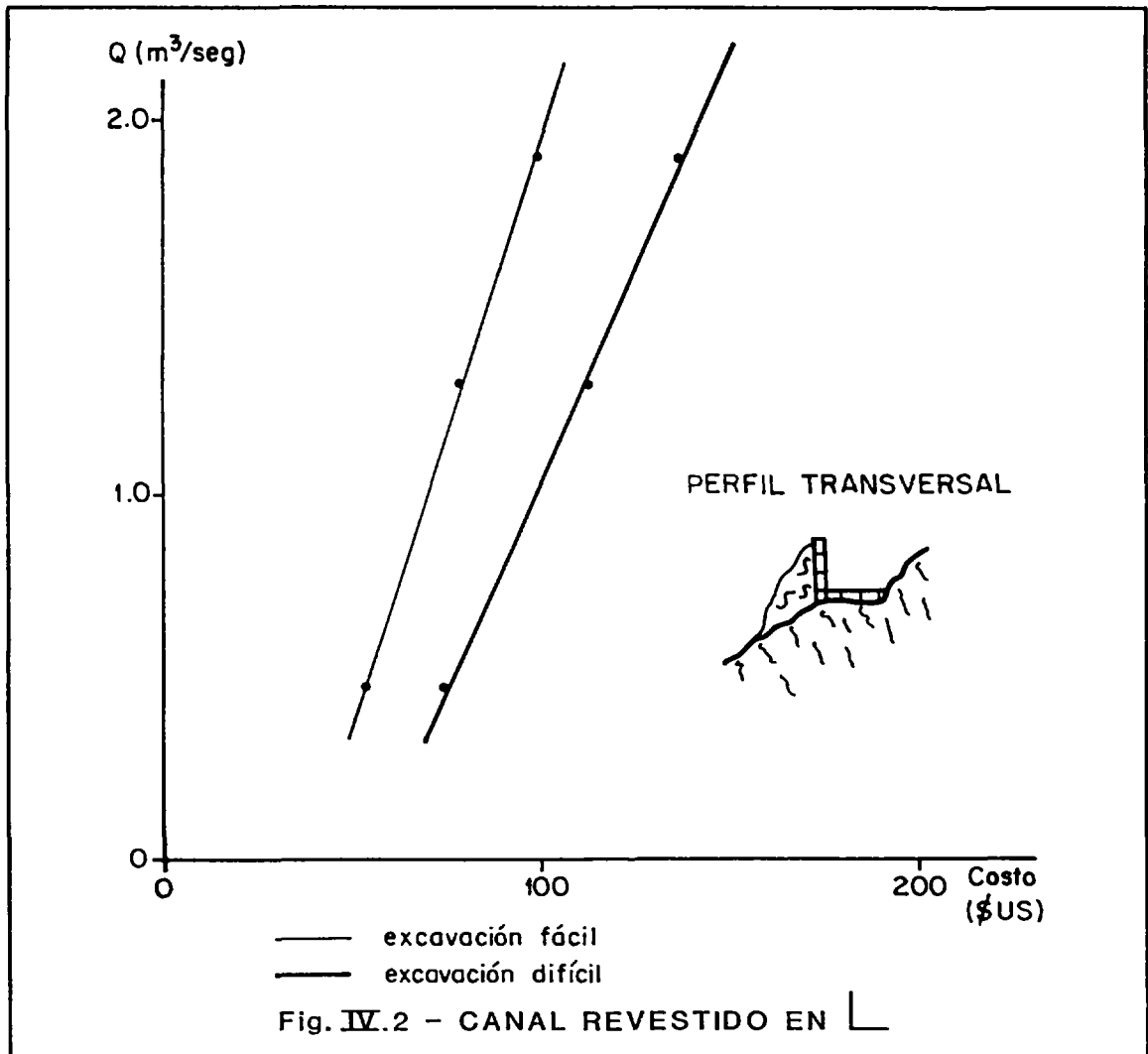
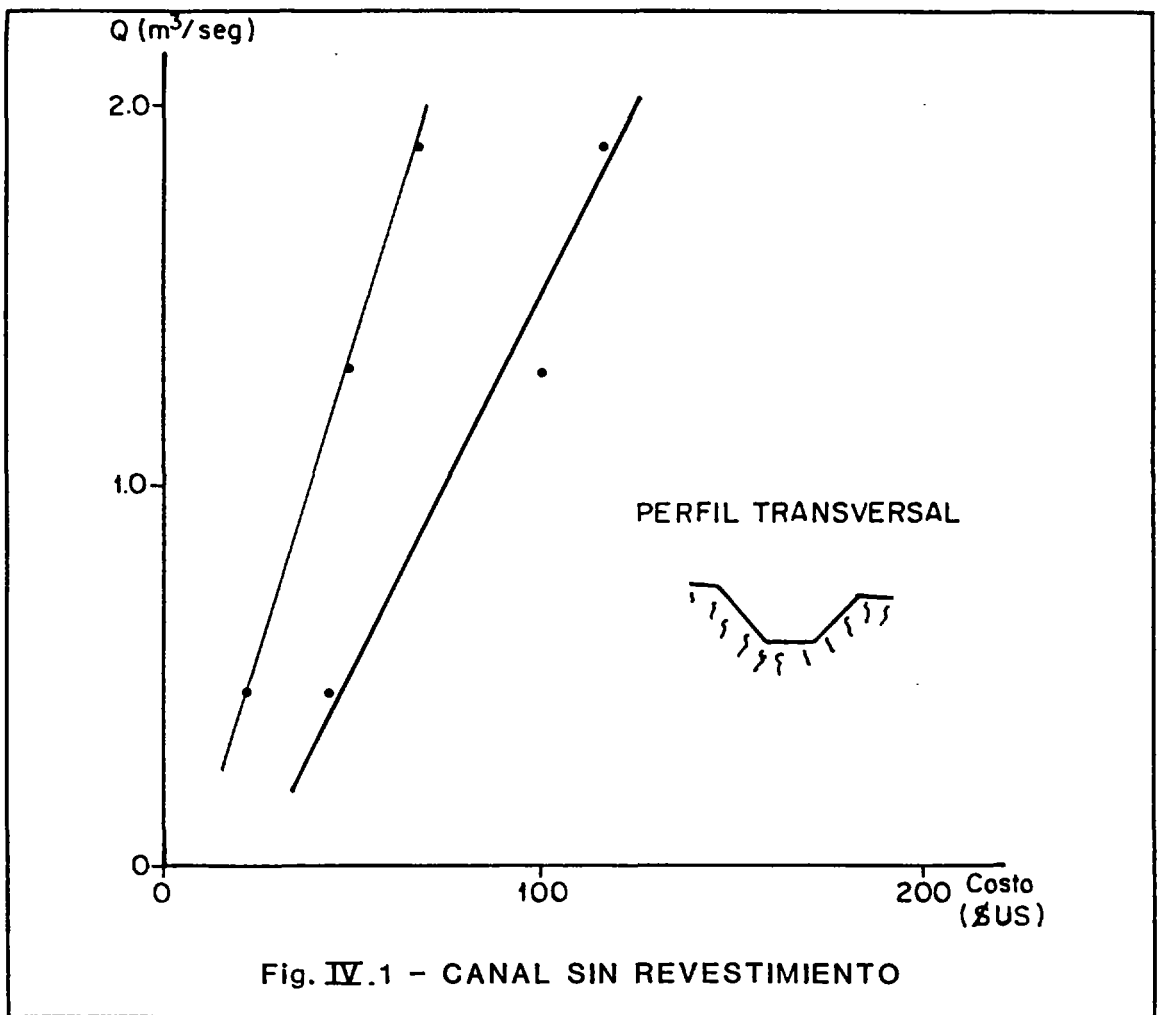
## ANEXO IV

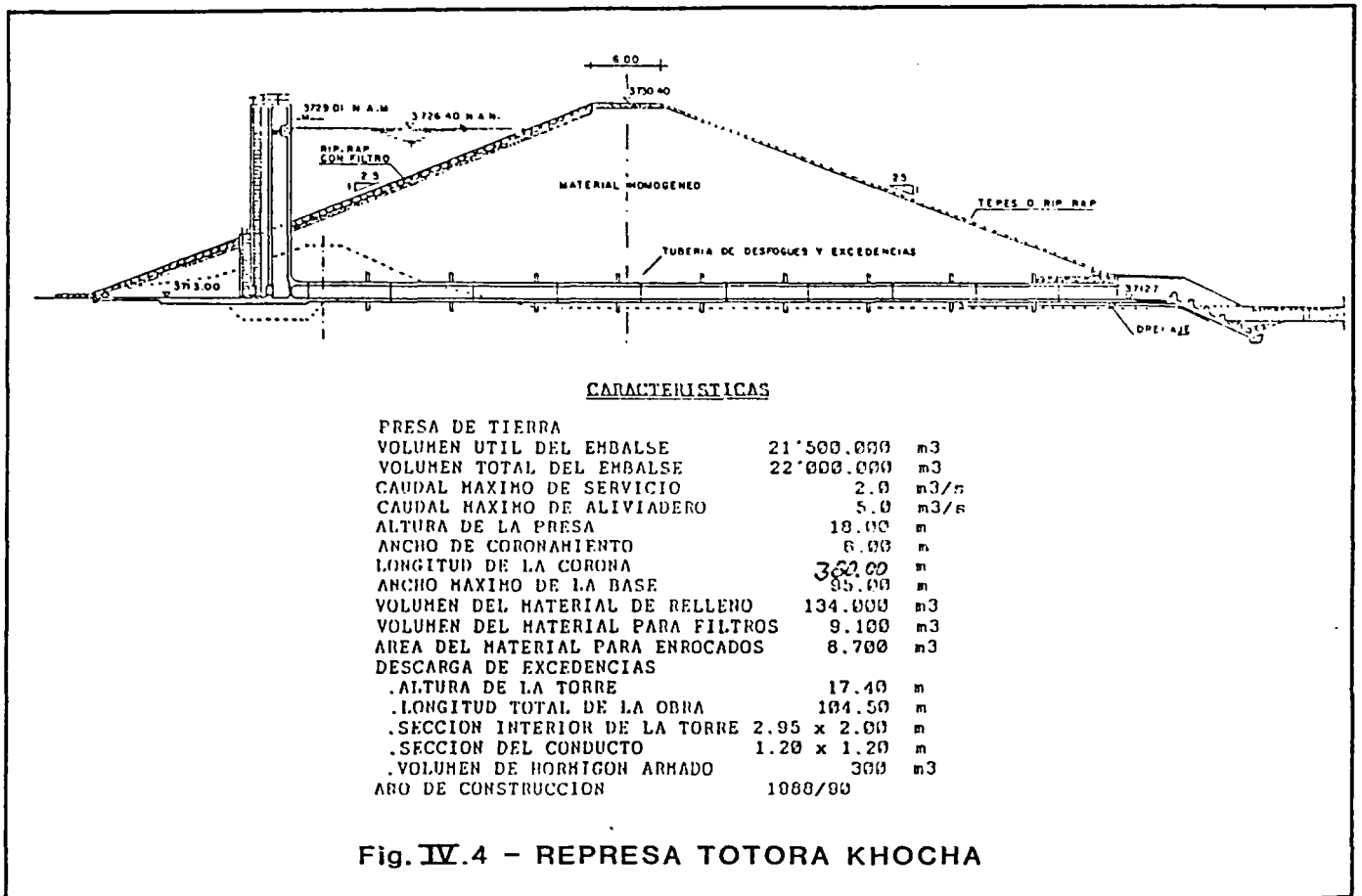
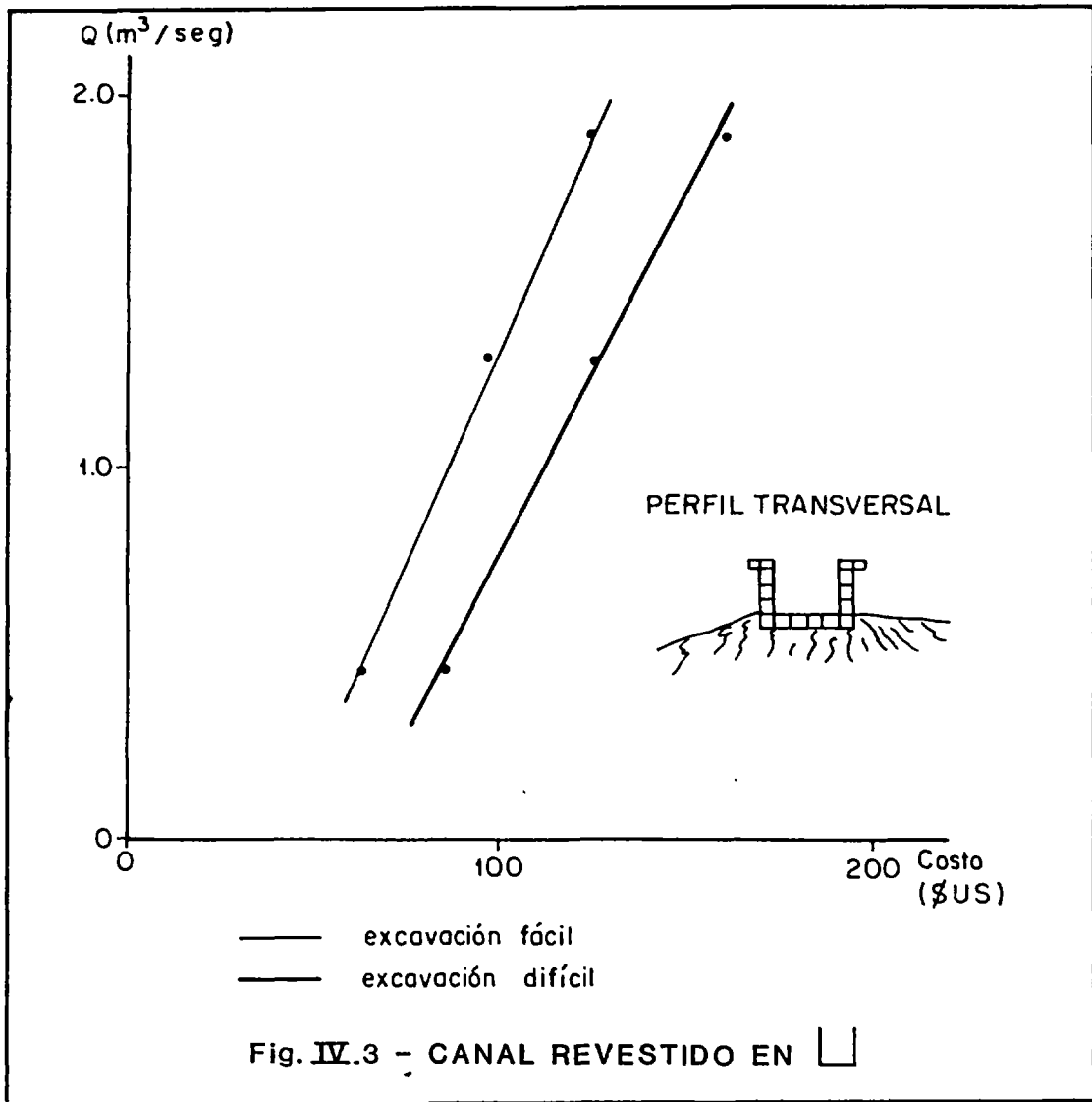
### Elementos de evaluación del costo de los trabajos de recolección y transporte de las aguas superficiales.

Datos comunicados por el Proyecto "Programa de Riego Altiplano/Valles, Proyecto Punata, fase II".

Este proyecto consiste en la recolección de las aguas de la cuenca alta del río Chullco Mayu en el embalse de la laguna Titora Khocha, y de éste, a través de un canal, hacia las cuencas de Tiraque y Punata.

- . El coste medio por metro lineal de los canales se indica en los gráficos III.1 a IV.3. El costo varía en función del perfil de la sección del canal, pudiendo tener forma de trapecio, de U o de L. Los canales están cimentados.
- . El coste de la construcción de una toma de agua en el curso del torrente oscila, según sea la topografía, de 225.000 US \$ a 300.000 US \$ para tomas de 0.5 m<sup>3</sup>/s a 1.0 m<sup>3</sup>/s de capacidad.
- . El coste de la construcción de una represa de tierra en Titora Khocha, cuyas características técnicas se indican en la fig. IV.4, es de 4.5 M US \$.
- . El cálculo de los costes de diseño y de supervisión-control de los trabajos arroja un total de entre 10 y 15% del coste de la construcción.





# Liriuni: Un sitio turístico olvidado

El Balneario de Liriuni, con sus aguas termales a las que se atribuyen cualidades hidroterapéuticas de mucho valor, ha quedado casi en el olvido.

Decimos casi, porque pese a que el viejo edificio que data de 1942 está a punto de destrozarse completamente, aún sigue recibiendo miles de visitantes que van en busca de las aguas milagrosas, venciendo las dificultades de un camino que ni en la época del incario pudo ser tan pésimo y además otras dificultades que significan el haber abandonado ese atractivo que bien puede ser una verdadera mina de oro.

Dn. Rafael Peredo Antezana en su Ensayo Monográfico de la Provincia de Quillacollo, hace un recuento completo de lo que significa Liriuni, considerado como uno de los principales balnearios del país, como resultado de los análisis de sus aguas medicinales realizados en los laboratorios de la Stilwell & Cladding de Nueva Yor, así como por el informe de una comisión de reconocidos médicos de la época, los Drs. Luis S. Davis, Ayala, Sejas, Aurelio Medrano, Aurelio Meleán, Juan R. Torres, Walter Galindo y otros, quienes dijeron que Liriuni es un futuro núcleo de balneario termal médico. "Sus aguas corresponden a la clasificación de termales alcalinas, del análisis americano que su autoridad (al alcalde de Quillacollo) nos ha enviado en copia con gasificación mínima sulfúridica. El grado térmico oscila entre 49 grados correspondiente a la vertiente norte y

43 grados a la sud respectivamente. La corriente en la porción norte, llega cuando más a dos litros por segundo y en la sur a menos de dos. Ambas vertientes no están captadas por completo, sufren filtraciones de consideración notadas en las piletas inferiores, lejos de la construcción util actual. Añaden que la radioactividad forma precisamente el factor de mayor consideración en la clase de aguas termales como la que nos ocupa, guarda precisamente al brotar y dejar las sinuosidades del terreno al traslucir a la superficie", reza el informe.

Y desde ese entonces, 1937-1942 en que se entregó el primer pabellón del balneario, hasta hoy no se ha hecho más. Nadie se ha preocupado por Liriuni, ni las autoridades de la Alcaldía de Quillacollo y menos de la capital, para quienes aparentemente no existe este centro turístico por excelencia y lo peor es que todos los esfuerzos que han querido desarrollar algunas personas de buena voluntad, han quedado en nada, primero porque no se les deja trabajar y segundo porque no pueden invertir dineros si no tienen la seguridad de recuperarlos.

Qué se puede hacer?

La idea surge del mismo autor del Ensayo Monográfico... "tendría que pensarse en una adjudicación a alguna persona o empresa privada por un tiempo de 20 años, con la seguridad de que las inversiones que realice que deberán ser fuertes, puedan recuperarse".

Pero de cualquier forma, se salva-

ría y se daría mayor utilidad a este balneario cuyas aguas no tienen que envidiar a las que existen en dos famosos balnearios de Francia, donde sólo por sumergirse un momento, los turistas dejan enormes ganancias al Estado.

Será que las autoridades no conocen Liriuni?, y si conocen no se han dado cuenta de lo que significa como destino turístico?

El viejo edificio casi en ruinas, el descuido de quien está encargado del manejo de este pequeño complejo, la suciedad y otros factores negativos, nos dan la pauta de que en la región no existe interés por salvar este paradisíaco lugar.

Quienes visitaron este balneario, quedaron estupefactos por lo que allí está ocurriendo. Por decir algo, a pocos metros del actual edificio principal, están las ruinas de lo que pretendía ser el Hotel Prefectural, que no se concluyó primero por estar mal ubicado y segundo, porque los encargados de la obra hicieron "su agosto" con los dineros y completaron el desastre gentes que se llevaron todos los materiales que eran utilizables.

Pese a todo, Liriuni, quiérase o no, es un sitio de paseo ideal y si no se asume alguna medida inmediatamente, hasta es posible que todo quede sepultado, como ya lo está, en el olvido.

Tienen la palabra la Alcaldía de Quillacollo, la Prefectura y de algún modo el Instituto Boliviano de Turismo.



En este estado o tal vez peor se encuentra el balneario de Liriuni. Un sitio turístico olvidado por las autoridades provinciales y departamentales. Se está perdiendo la oportunidad de una explotación racional y más que todo rentable.