



Honorable Alcaldía Municipal de La Paz

PLAN DE DESARROLLO URBANO - CIUDAD DE LA PAZ

①

711.6

L299p

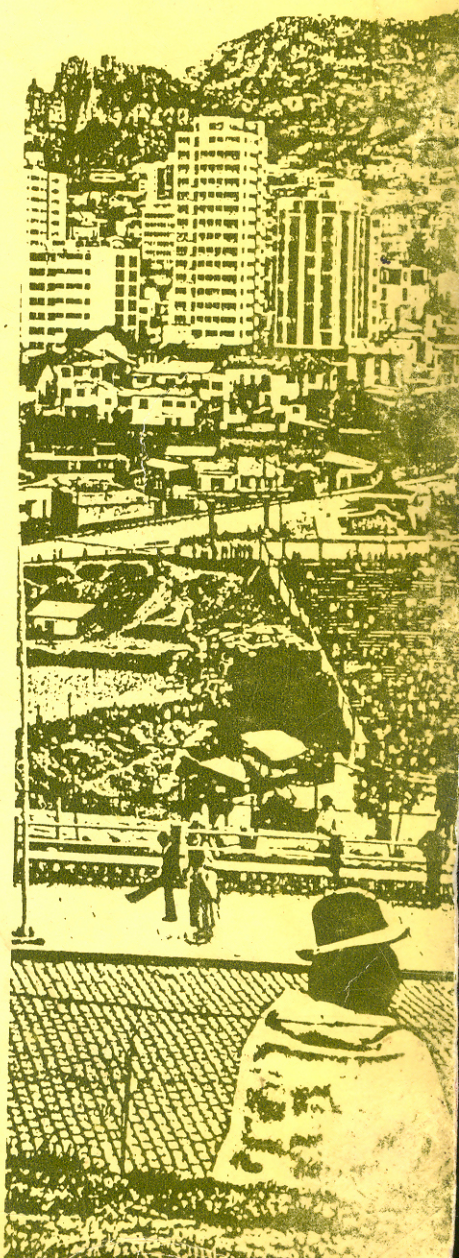
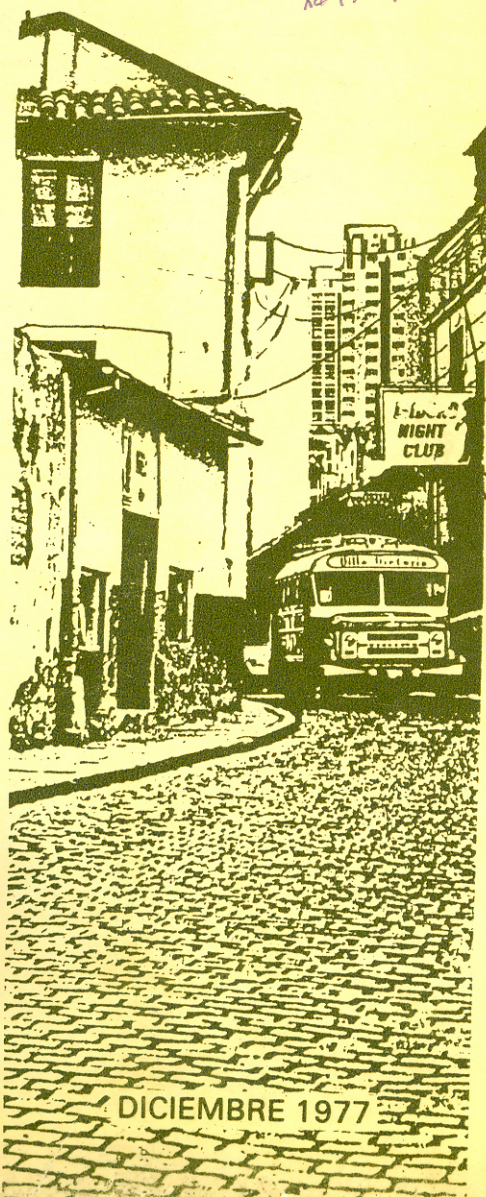
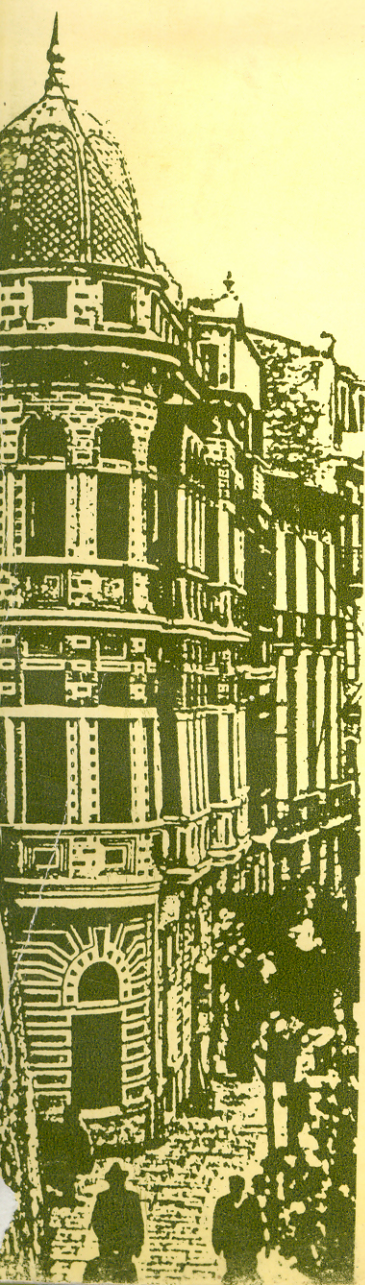
V1

tomo 1

ASPECTOS FISICOS Y AMBIENTALES

geología y aguas

711.6
L299p
Vol. 1



DICIEMBRE 1977

INDICE GENERAL

RESUMEN Y GRAFICOS DE SINTESIS

Prólogo

Ordenanza Municipal

Nota de Presentación

Resumen de los estudios

Aspectos físicos y ambientales

Esquema Urbano

Mapa de organización del espacio natural, 1/50 000

Esquema Urbano de La Paz — Largo plazo 2010, 1/50 000

TOMO 1 — ASPECTOS FISICOS Y AMBIENTALES (GEOLOGIA Y AGUAS)

Capítulo A. Introducción

Capítulo B. Cuadro geológico

Capítulo C. Ciclo de las aguas

TOMO 2 — ASPECTOS FISICOS Y AMBIENTALES (SINTESIS ECOGEOLOGICA)

Capítulo D. Riesgos naturales

Capítulo E. Condiciones geotécnicas

Capítulo F. Medio ambiente

Capítulo G. Constructibilidad

Capítulo H. Bases ecológicas de organización del espacio

Capítulo I. Consideraciones finales y conclusiones sobre los aspectos físicos y ambientales.

TOMO 3 — ESQUEMA URBANO

Introducción — Principios y objetivos de un esquema urbano

Capítulo 1. Análisis y proyecciones.

Capítulo 2. Opciones urbanísticas a largo plazo (2010)

Capítulo 3. Primera etapa de realización (1990)

Conclusión — Sugerencias para la implementación del plan

TOMO 4 — PROGRAMACION

Introducción

Capítulo 1. Operaciones integradas

Capítulo 2. Operaciones específicas

MAPAS Y PLANOS A ESCALA 1/25 000

Mapas :

A. Mapa geotécnico

B. Mapa de constructibilidad

Esquema Urbano de La Paz :

1. Estado actual (1976)

2. Largo plazo (2010)

3. Primera etapa de realización (1990)

INDICE DE FIGURAS

Página

Fig. A1. — Urbanización de La Paz en 1946	A — 3
---	-------

CUADRO

Cuadro A I — Organización esquemática del análisis de las condiciones geológicas de la cuenca de La Paz	A — 7
---	-------

INDICE

	página
PROLOGO.	B-1
1 – UBICACION.	B-2
2 – CONDICIONES GEOLOGICAS.	B-4
2.1 – El zócalo	B-4
2.2 – La formación del Altiplano	B-6
2.2.1 – <i>Morfología de la cuenca de sedimentación del Altiplano en la zona de La Paz</i>	B-6
2.2.2 – <i>El depósito lacustre de la formación La Paz</i>	B-9
2.2.3 – <i>El depósito de la glaciación Calvario</i>	B-10
2.2.4 – <i>El depósito lacustre y fluvial de la formación Purapurani</i>	B-10
2.2.5 – <i>El depósito glacial de la formación Milluni Inferior o formación Kaluyo</i>	B-11
2.2.6 – <i>El depósito glacial de la formación Milluni Superior o formación Chacaltaya ; el depósito lacustre de la formación Ballivián y el depósito fluvial del techo del Altiplano</i>	B-12
2.2.7 – <i>La superficie baja de erosión y los depósitos actuales del Altiplano.</i>	B-12
2.3 – La erosión de las cuencas y sus depósitos	B-12
2.3.1 – <i>Primera época de erosión : Los deslizamientos y los depósitos fluviales de Pampajasi</i>	B-12
2.3.2 – <i>Segunda época de erosión : Los depósitos glaciales y fluviales de Choqueyapu y de Miraflores.</i>	B-13
2.3.3 – <i>Tercera época de erosión : El deslizamiento de Achocalla y los depósitos lacustres de La Florida – Aranjuez.</i>	B-15
2.3.4 – <i>La erosión y los depósitos recientes y actuales</i>	B-15
3 – CONDICIONES GEOMORFOLOGICAS.	B-16
3.1 – Los diversos tipos de formas de relieve y evolución actual	B-16
3.1.1 – <i>Las pendientes regulares.</i>	B-16
3.1.2 – <i>Los farellones o escarpes</i>	B-18
3.1.3 – <i>Las quebradas</i>	B-18
3.1.4 – <i>Los relieves abruptos.</i>	B-20
3.1.5 – <i>La remoción gravitacional en masa</i>	B-20
3.1.6 – <i>Los pseudo-kársts</i>	B-31
3.1.7 – <i>Las fallas recientes</i>	B-31
3.2 – Morfología de las diversas formaciones geológicas de la cuenca.	B-31
3.2.1 – <i>El zócalo.</i>	B-31
3.2.2 – <i>Los depósitos del Altiplano</i>	B-33
3.2.3 – <i>Los depósitos contemporáneos de la formación de la cuenca.</i>	B-34
3.3 – El mapa geomorfológico	B-35

4 – NEOTECTONICA Y SISMICIDAD	B-
4.1 – Descripción de la deformación de los terrenos	B-
4.1.1 – Las deformaciones andinas del zócalo	B-
4.1.2 – Las deformaciones plio-cuaternarias y consideraciones generales	B-
4.2 – Sismicidad de la región de La Paz	B-
4.2.1 – La sismicidad a la escala del continente	B-
4.2.2 – Interpretación de la sismicidad por la teoría de placas	B-
4.2.3 – Datos históricos de los temblores sentidos en la ciudad de La Paz	B-
BIBLIOGRAFIA	B-

INDICE DE FIGURAS

Fig. B1 – Mapa físico de la región de La Paz	B-
Fig. B2 – Mapa geológico simplificado	B-
Fig. B3 – Cortes geológicos	B-
Fig. B4 – Mapa geomorfológico simplificado	B-
Fig. B5 – Perfil de un valle glacial	B-
Fig. B6 – Esquemas de diversos tipos de terrenos movidos	B-
Fig. B7 – Mapa esquemático del flujo de Achocalla Mallasa	B-2
Fig. B8 – Perfil longitudinal esquemático del flujo de terreno de Achocalla	B-2
Fig. B9 – El flujo de terreno de Llojeta	B-2
Fig. B10 – Etapas de formación de los pseudo-karsts	B-3
Fig. B11 – Los diferentes tipos de fallas	B-3
Fig. B12 – Las deformaciones neotéctónicas de la zona de La Paz	B-3
Fig. B13 – Mapa de sismicidad de América del Sur	B-4
Fig. B14 – Ubicación de sismos hasta 500 km alrededor de La Paz	B-4
Fig. B15 – Mapa de sismicidad de Bolivia (según R. Cabré)	B-4
Fig. B16 – Ubicación estructural de La Paz en relación con las cadenas andinas y el Pacífico (según Megard y Philip)	B-4

INDICE DE CUADROS

Cuadro B1 – Columna litológica general	B-53
Cuadro B2 – Cronología y repartición de las unidades geológicas y las deformaciones tectónicas	B-54
Cuadro B3 – Características de las formaciones geológicas de La Paz y alrededores	B-55
Cuadro B4 – Características de remoción en masa antigua	B-57
Cuadro B5 – Características geomorfológicas de las unidades geológicas de la cuenca	B-59

INDICE DE FIGURAS

Fig. C1 — Mapa de ubicación de la zona de La Paz	C-2
Fig. C2 — Mapa orohidrográfico de la cuenca de La Paz	C-4
Fig. C3 — Perfil longitudinal de los principales ríos de la cuenca de La Paz	C-8
Fig. C4 — Mapa piezométrico del acuífero del Altiplano	C-15

INDICE DE CUADROS

Cuadro C1 — Superficie de las cuencas	C-5
Cuadro C2 — Determinación de la hipsometría de las cuencas	C-6
Cuadro C3 — Características zonales de las cuencas	C-7
Cuadro C4 — Tiempo de concentración de las sub-cuencas	C-10
Cuadro C5 — Caudales máximos de crecidas de las sub-cuencas	C-11
Cuadro C6 — Caudales máximos de los principales ríos de la cuenca de La Paz	C-12
Cuadro C7 — Características hidráulicas de los terrenos del Altiplano	C-18

capítulo A.
INTRODUCCION



Durante los siglos XVI, XVII, XVIII y la primera mitad del siglo XIX (45.000 habitantes), la urbanización se instaló básicamente sobre las planicies poco inclinadas de los depósitos fluvio-glaciares resistentes de la parte central del valle del río Choqueyapu. Los barrios estaban estructurados por los principales ríos riachuelos que marcaban pequeñas fronteras naturales (fig. A1). Como la ciudad no estaba muy extendida, el cultivo de legumbres y la crianza de animales podía hacerse en los alrededores.

De 1850 a 1912 (80.000 habitantes), La Paz se convirtió en la primera ciudad de Bolivia y el proceso de urbanización de la cuenca se manifestó por una lenta conquista de los ríos principales y de las pendientes que presentaban relieves menos accidentados.

Durante todo este período, la fisonomía urbana se transformó con la aparición de grandes barrios residenciales, con jardines, con árboles y otras plantas ornamentales de influencia europea.

El río Choqueyapu se canalizó en el centro, (entre la Plaza Pérez Velasco y la calle Bueno) y se desarrollaron los barrios de San Jorge—Sopocachi (residencial), Chijini a ambos lados del río Chochuani (indígena) y Challapampa (residencial ligado al desarrollo industrial).

De 1912 a 1950 (320.000 habitantes), se constata un fuerte crecimiento demográfico, que se tradujo en la consolidación del tejido urbano y la urbanización de nuevas zonas poco inclinadas de la cuenca (Miraflores, Obrajes hasta Calacoto) y en las primeras laderas de las pendientes (Sopocachi, Calampaya, Pura-Pura, Challapampa, Choropaia, Orkojahuirá Este). A fines de este período el crecimiento urbano abarcó la mayoría de los terrenos de la cuenca que son aptos para la urbanización. Además, algunos barrios periféricos, receptáculos de la migración rural, aparecieron en las pendientes fuertes, aislados de las grandes obras de urbanización, con un crecimiento espontáneo. Estaban expuestos a diversos riesgos naturales que persisten todavía (zonas de Chijini, al Oeste; de Villa Pabón y Choropata, al Este).

De 1950 al presente (655.000 habitantes)*, la forma de la ciudad cambió totalmente. De una forma lineal en los bordes del Choqueyapu y del Orkojahuirá, se convirtió en una ciudad radial-concéntrica con la expansión hacia El Alto, las laderas y los valles bajos. La conquista de las laderas alcanzó a todos los bordes de la cuenca hasta unirse con el límite del Altiplano hacia el Nor-Oeste, relativamente más protegido de los vientos fríos del invierno. Este "cordon marginal", con una población de 350.000 habitantes**, está todavía expuesto a los riesgos de deslizamientos y mazamorras, que han afectado siempre las partes altas de las laderas de la cuenca y que se presentan ahora con una frecuencia mayor incrementada por la urbanización.

Esta lenta ocupación del sitio, fue marcada desde la fundación de La Paz, por varias catástrofes naturales, testimonio de la existencia de fenómenos naturales que afectan todavía la joven cuenca de La Paz que nunca ha llegado a su equilibrio, es decir a su madurez geológica.

El estudio geológico del sitio muestra que, desde su formación, debido a la erosión regresiva de los depósitos sueltos del Altiplano por las aguas del río captados por un afluente del río Beni, las laderas de la cuenca fueron sometidas a movimientos de rotura bruscos y la formación de depósitos fluvio-glaciares importantes. Un flujo de terreno, probablemente de los más grandes del mundo que hayan ocurrido en la época prehistórica, se produjo en Achocalla y se desarrolló sobre más de 20 km. de longitud, hasta Mecapaca. Se

(*) Sin tener en cuenta la población flotante

(**) Estimación de la Dirección de Acción Comunal - Enero 1976

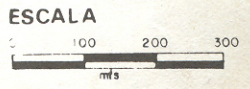


**PLANO DE LA CIUDAD
DE LA PAZ (1846)**



Plan
de desarrollo
urbano
Ciudad de La Paz

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
IAS CONSULTORAS
BRGM-BCEOM



A 1

La ciudad de Nuestra Señora de La Paz fue fundada por el Capitán español Don Alonso de Mendoza sobre bases de una antiquísima población. El origen del poblado primitivo, llamado Chuquiagu - si bien no se lo conoce con exactitud - está establecido que tiene origen aymara y que era parte del Kollasuyo, tierra de kollas, hombres aguerridos, de rancheríos establecidos en zonas semiplanas a orillas del río Choqueyapu donde dedicaban la vida a la obtención de oro, al cultivo de tubérculos como la papa y la oca, y la caza del huanacu.

Durante el apogeo del imperio incaico, el Inca Maita Kápaj, después de una lucha tenaz, ocupó el villorio y sometió a sus habitantes a su poderoso imperio (aproximadamente Siglo XIII).

Durante la conquista española y atraídos por su riqueza aurífera, fueron numerosos los grupos de conquistadores que llegaron y lucharon por el rico río Choqueyapu, posiblemente por esa razón Don Alonso de Mendoza, cumpliendo órdenes del Pacificador Don Pedro de La Gasca fundó "sin determinar sitio" en la localidad de Laja, el Pueblo Nuevo el día 20 de Octubre de 1548. Dos días después de este hecho, marchaba hacia Chuquiagu donde el día 23 repitió la ceremonia de la fundación y se nombró autoridades, recomendando que el pueblo tuviese "mayor numero de buenas costumbres que de leyes".

Dicho acto se efectuó en la región de Churubamba o pampa de caracoles (hoy plaza Alonso de Mendoza), frente al tambo del Cacique de Quirquincho, personaje que recibió y dió alojamiento al grupo recién llegado de españoles. Parece ser que la abrupta hoya de Chuquiagu tampoco convenció al fundador y volvió a insistir que dicha población no era apropiada para un pueblo de españoles ni aún de vecinos del lugar "Estando los dichos señores Justicia y Regidores en su Cabildo dijeron que por cuanto el sitio de Nuestra Señora de La Paz no está buscado y hasta el entretanto se busque donde más convenga para los vecinos españoles así los naturales, conviene hacer cuerpo del pueblo..."

A pesar del poco interés del asentamiento definitivo el Pueblo Nuevo, como fue llamado durante varias décadas, comenzó a sentar reales, crecer y contar con comercio activo. El alarife Gutierrez Paniagua fue autorizado por el Cabildo para hacer mediciones, distribución y designación de plazas y calles de la ciudad.

Varios historiadores indican que el asentamiento de La Paz se debió, a más del oro y mejor clima, a la abundancia de agua y leña, pues el valle estaba cubierto de arbustos de kishuara y tola, ventajas difíciles de encontrar en el Altiplano.

En 1551 se habla con inquietud de la disminución de estos arbustos, y se lanza una Ordenanza sobre el corte de ellos: "Ordenaron y mandaron que ningún Cacique, ni indio español no corte, mocee tronco ni rama de esta ciudad tres leguas alrededor..."

Además de estos valores económicos y climatológicos el paisaje poco común tuvo sin duda, mucha importancia en la elección del lugar, con sus valles abiertos rodeados de relieves torrenciales y sus pequeños lagos en Sopocachi y Santa Bárbara. Este sitio dominado por la salvaje belleza de la Cordillera Real y el imponente Illimani, presentaba el contraste que siempre percibe el viajero que llega del inmenso y desértico Altiplano cortado bruscamente por la cuenca de La Paz.

Debido a que La Paz, presenta una morfología muy accidentada y terrenos sueltos poco favorables para el asentamiento urbano, el desarrollo de la ciudad ha sido paulatino, marcado por la lenta conquista de los elementos naturales.

supone que este vasto fenómeno habría ocurrido hace no más de 9.000 años, en condiciones climáticas distintas de las actuales.

Las crónicas históricas recuerdan las manifestaciones naturales más importantes que han acontecido desde la fundación de La Paz :

1582 (2 de abril) : Hundimiento repentino del pueblo de Janco-Janco, situado en la región comprendida entre Llojeta y el Kenko, donde murieron 2.000 personas.

1646 : Desprendimiento de un gran farellon del Illimani, durante el corregimiento de Alfonso de Molina Herrera, produciendo gran alarma en la población.

1837 : Hundimiento de la zona de Santa Bárbara, con la destrucción de la Iglesia Santa Bárbara en las Tablas y la desaparición de la laguna de Laykacota.

1873 (9 de Agosto) : Hundimiento de la aldea de Tembladerani en el cual desaparecieron 32 personas.

Esta serie de catástrofes principales podría completarse con una larga lista de fenómenos menores pero de riesgo cierto, tales como inundaciones, mazamorras y deslizamientos.

Con la situación actual de La Paz, qué visión tendría Don Alonso de Mendoza, si volviera a su ciudad?

A pesar de los grandes esfuerzos de los servicios de la Honorable Alcaldía Municipal, la potencialidad destructora de los fenómenos naturales, como son los riesgos de deslizamientos y de mazamorras (barrios de "cordon marginal") o los riesgos de inundación (barrios de Irpavi y Achumani), subsiste y además se ha incrementando con la extensión de la urbanización. La inexorable erosión urbana de la cuenca hace que sean pocas las áreas verdes existentes y que nada subsista de la vegetación preexistente del sitio. El río Choqueyapu, río de Oro, no transporta ahora más que latas vacías y papeles grasos, en un agua de color cambiante según los trabajos de la industria de curtiembre. Con excepción de unas pocas calles de los barrios antiguos y de la Iglesia de San Francisco, la arquitectura no tiene carácter. El centro de la cuenca se está erizando de torres ya estrechamente imbricadas en el Prado, símbolo de la expansión económica de Bolivia, pero importando los graves errores de otros países americanos con problemas de concentración humana, dificultad de circulación, obstrucción del paisaje natural e implantación de sombra perjudicial por el clima frío habitual en estas alturas.

Además, el descuidado desarrollo de la urbanización de El Alto, de muy mala calidad y en condiciones naturales más duras que las de Laja, ha agravado la segregación social y puede ser fuente de importantes tensiones sociales.

Sin embargo, La Paz, tiene muchas probabilidades de desarrollo debido al hecho de que los conquistadores, quizás los que han creado y erigido el mayor número de aglomeraciones en el mundo, fueron generalmente guiados por una intuición sorprendente en la elección de los sitios donde se debían desarrollar los nuevos centros de población.

En La Paz, si bien son pocos los elementos arquitectónicos hermosos, el conjunto de la ciudad es magnífico, impresionante con sus numerosas casas de adobe bien integradas al decorado vigoroso y vertiginoso de luminosidad.

El refugio de la cuenca ha sido también como hasta ahora, un refugio contra la revolución industrial, la contaminación, los abusos técnicos-mercantiles y la delincuencia.

El largo contacto con la naturaleza grandiosa y dura ha dejado su marca en el indio del Altiplano y en el hijo del conquistador. El paceño ha sido influenciado tanto por la filosofía oriental que se traduce en el hombre embebido por la naturaleza ; como por la filosofía occidental, donde el hombre domina la naturaleza. Por tanto no ha olvidado, como es el caso en numerosas ciudades del mundo, que el hombre y la naturaleza son indivisibles. Confrontando las duras condiciones físicas, ha mostrado su capacidad e ingeniosidad, haciendo de su difícil ciudad el centro de poder del país. Puede, teniendo en cuenta los errores de las sociedades industriales, esforzarse en superar los riesgos naturales y desarrollar la futura urbanización teniendo en cuenta las reglas ecológicas fundamentales, que nuestros estudios han tratado de definir científicamente, aprovechando también la gran evolución actual de las técnicas humanas en los campos de la geotecnia y la ingeniería.

En efecto, una de las tareas básicas muy ligadas al desarrollo urbano de la cuenca, aunque no frecuente en un estudio de planificación urbana, consistía en tratar de corregir las vacilaciones de la naturaleza, renovando lentamente su obra, en la búsqueda del equilibrio geológico de la cuenca.

El ingeniero debe fijar la morfología y volverla más acogedora para el asentamiento urbano, en los límites de sus posibilidades técnicas, y de los recursos económicos de la ciudad.

Es un gran mérito de la Honorable Alcaldía Municipal de la ciudad de La Paz, el haber generado un estudio de planificación urbana, para analizar y comprender los fenómenos naturales, teniendo en cuenta los determinismos generados por las características y procesos naturales.

Los estudios de las características físicas de la cuenca de La Paz y alrededores, como los estudios de los fenómenos naturales y del medio ambiente han conducido a la elaboración de un documento de organización ecológica del espacio y de recomendaciones sobre las acciones que podrían aconsejarse para mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos, evitando efectos antrópicos desastrosos sobre el medio ambiente.

Para llegar a estos objetivos, el estudio se ha desarrollado según el esquema presentado en el cuadro A1.

Tanto el estudio de las características físicas de la cuenca como el de las características del medio ambiente, se han basado principalmente en mapas previamente elaborados.

El estudio de las características físicas se muestra en los mapas siguientes :

- Mapa de pendientes (1/20.000)
- Mapa geológico general (1/50.000)
- Mapa litoestratigráfico (1/10.000)
- Mapa geomorfológico (1/10.000)
- Mapa neotectónico (1/50.000)
- Mapa piezométrico (1/50.000)
- Mapa hidrogeológico (1/50.000)
- Mapa de riesgos naturales (1/10.000)
- Mapa geotécnico (1/25.000)

Las condiciones del medio ambiente se muestran en otro grupo de mapas característicos :

- Mapa de clima (1/50.000)
- Mapa de vegetación (1/20.000)

Mapa de unidades del paisaje natural (1/50.000)

Mapa de unidades del paisaje construido (1/50.000)

La mayor parte de los estudios de las características físicas del sitio han conducido a la elaboración de mapas de síntesis :

Mapa de constructibilidad (1/25.000)

Mapa de recursos naturales (1/50.000)

Finalmente, la síntesis general de la información, ha permitido elaborar un documento cartográfico de orientación para el estudio de planificación :

Mapa de estructura del espacio natural (1/50.000)

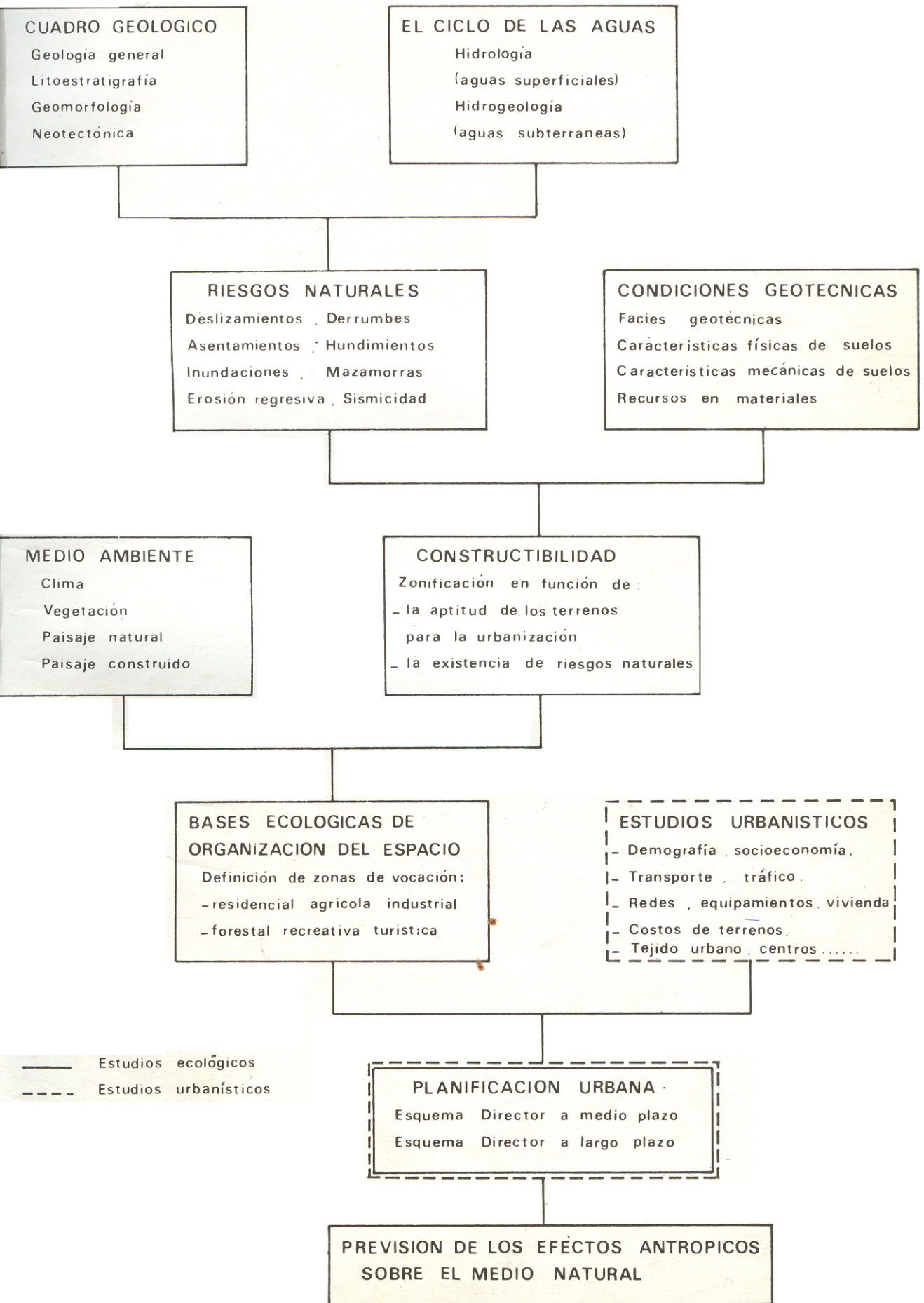
Los mapas de constructibilidad de estructura del espacio natural sirvieron de base para la elaboración de Esquemas Urbanos de la ciudad de La Paz a medio plazo (1990) y largo plazo (2010).

En los capítulos que siguen se presentan en forma condensada los principales resultados de los estudios físicos y ambientales que fueron desarrollados durante 18 meses (Mayo 1976 — Noviembre de 1977) por profesionales bolivianos y profesionales franceses con la participación de la Honorable Alcaldía Municipal comprendiendo 16 ingenieros, geólogos, fotogeólogos, hidrogeólogos, geotécnicos (100 hombres-mes) P.C.A. con 14 ingenieros, geólogos, hidrólogos, hidrogeólogos (52 hombres-mes) y B.R.G.M. con 18 ingenieros, hidrólogos, hidrogeólogos, geólogos, agrónomos, geotécnicos (105 hombres-mes).

A fin de evitar que este informe sea demasiado largo, no se tratará en él los estudios de problemas específicos efectuados para la estabilización de las zonas de Santa Bárbara y Villa Armonía, y de la regulación de los ríos Irpavi y Achumani, presentados en los informes particulares, (ver lista de la nota preliminar). Estos estudios han contado igualmente con la intervención de profesionales bolivianos y franceses, participando por la Honorable Alcaldía Municipal : 7 ingenieros, geotécnicos e hidrogeólogos (46 hombres-mes) ; por P.C.A. : 2 geotécnicos (10 hombres-mes) ; y por B.R.G.M. 10 ingenieros, geotécnicos e hidrogeólogos (51 hombres-mes).

No se tratará tampoco de los trabajos efectuados para permitir solamente transferencia de tecnología y conocimientos, como fueron la instalación y puesta en marcha de un laboratorio completo de Mecánica de Suelos para la Honorable Alcaldía Municipal, la complementación de la red de estaciones hidroclimáticas de la cuenca de La Paz y la presentación de técnicas modernas usadas en geotecnia, tanto en el campo de la auscultación de los taludes y del diseño de grandes obras, como en el campo de técnicas nuevas de estabilización, como son las técnicas de la tierra armada, del anclaje pasivo sistemático, del uso de hormigón proyectado y del drenaje interno de los macizos.

ORGANIZACION ESQUEMATICA DEL ANALISIS DE LAS CONDICIONES ECOLOGICAS DE LA CUENCA DE LA PAZ Y ALREDEDORES



BIBLIOGRAFIA

- Estudio de las condiciones socio-habitacionales en áreas marginales de la ciudad de La Paz.
Ministerio de Urbanismo y Vivienda — Dirección General de Promoción Comunal.
Publicación N° 109 — Serie 100.
- Síntesis histórica de la ciudad de La Paz (1548 — 1948).
Alfredo Sanjines G.

capítulo B.
CUADRO GEOLOGICO



PROLOGO

La parte de trabajo geológico del estudio para el Plan de Desarrollo de la ciudad de La Paz realizada por un equipo de ocho geólogos, tenía en su inicio, como base científica la síntesis geológica que hizo Dobrovolsky en su " Geología del Valle de La Paz " (1962).

En el trabajo de levantamiento geológico a escala 1:10.000 se utilizaron las descripciones lito-estratigráficas y la cronología de las formaciones ya establecidas por este autor. Aunque algunas deficiencias aparecieron en esta interpretación sintética durante los trabajos de campo, no perjudicaba nuestra tarea que consistía esencialmente en dibujar un mapa de afloramientos litológicos y mapa geomorfológico, que debían servir de base a la elaboración de los mapas geotécnicos y de riesgos naturales.

Antes de que nuestro trabajo de campo fuera finalizado, M. Servant (UMSA - ORSTOM) dió una conferencia, en la cual resumió sus tres años de estudios sobre el Cuaternario de todo el Altiplano boliviano, y definió épocas de sedimentación separadas por pedimentos en toda esta zona.

Las interpretaciones de Servant permiten considerar la geología de La Paz y sus alrededores de una manera nueva, conduciendo a una visión sintética mejor que la anterior. Además, las investigaciones geofísicas por sondeos eléctricos que hemos desarrollado en el Altiplano entre Viacha y las cuencas de La Paz y Achocalla (Informe Geológico N° 4), han permitido precisar la estructura del subsuelo del Altiplano.

Consecuentemente, en los documentos de síntesis (mapa a 1:50.000, cortes anexos, cuadros y columnas estratigráficas y textos de geología) se adoptaron interpretaciones inspiradas en las hipótesis de Servant, las cuales — Siendo en general justificadas — fueron precisadas y a veces modificadas. Lastimosamente, no fue posible intercambiar ideas e informaciones científicas durante este trabajo con M. Servant. Además, las interpretaciones que hemos expuesto en los informes geológicos específicos, no han sido adoptadas por todo el equipo (lo que parece normal en un grupo de trabajo que comprende más de un geólogo.!).

Sin embargo, a fin de ser objetivos los mapas geológicos de factores y los cortes anexos elaborados a escalas 1:10.000 ó 1:20.000 (ver Informes Geológicos Nos. 5 y 6) tratan de facies lito-estratigráficas de manera que estos mapas, como lo hemos dicho ya, pueden ser utilizados directamente para los fines de aplicación en los mapas geotécnicos (Informe Geológico N° 15) y de riesgos naturales (Informe Geológico N° 13).

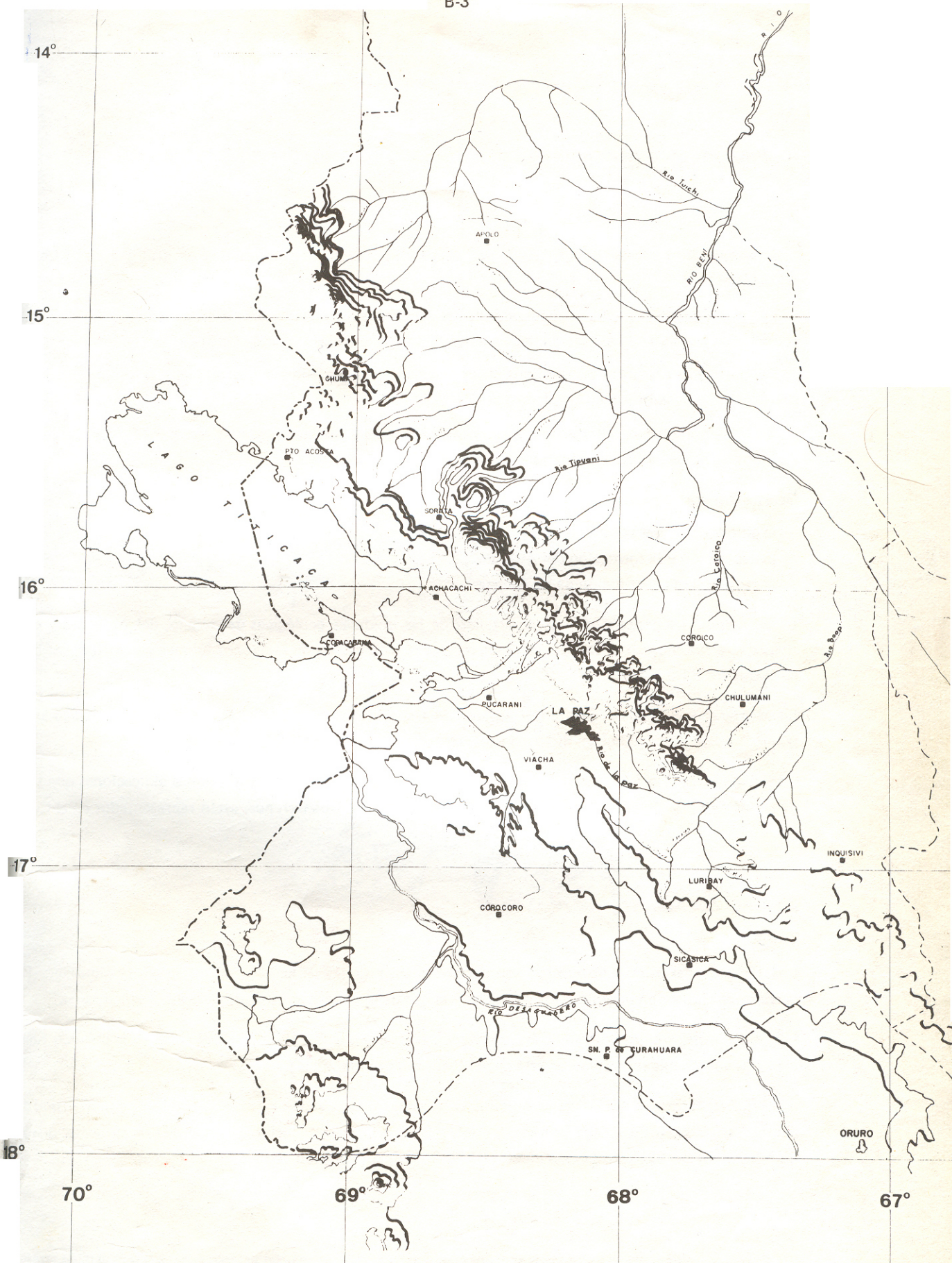
Deseamos que este trabajo sintético contribuya a un mejor conocimiento de la historia geológica de la zona de La Paz, aunque no fue éste nuestro objetivo principal en el cuadro de los estudios que se han desarrollado para la Honorable Alcaldía Municipal de La Paz.

El texto de este capítulo constituye un resumen de los estudios realizados que están expuestos en detalle en los informes geológicos, cuya lista completa está presentada en el Anexo A1.

1. UBICACION

La ciudad de La Paz está situada en una zona intertropical de $16^{\circ}30'$ de latitud Sur y $68^{\circ}08'$ de longitud Oeste. La ciudad se ha desarrollado en una cuenca excavada en la superficie del Altiplano, al Oeste de la barrera climática que constituye la Cordillera Real (fig. B1).

El Altiplano es una llanura alta (entre 3500 y 4500 m) que se extiende en Bolivia y una parte del Perú entre las cordilleras Oriental y Occidental, cuyas direcciones son aproximadamente paralelas a la costa del Pacífico. La Cordillera Real representa una parte de la Cordillera Oriental de los Andes Centrales.



MAPA FISICO DE LA REGION DE LA PAZ



PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

B1

2. CONDICIONES GEOLOGICAS

Los terrenos que afloran en La Paz y sus alrededores pueden ser repartidos en tres grandes categorías (Cuadros B1 y B2)* ;

- en primer lugar, se encuentran los terrenos más o menos superficiales que corresponden a depósitos contemporáneos con la erosión de la cuenca de La Paz o de las cuencas cercanas ;
- otra categoría corresponde a los terrenos pertenecientes a las formaciones sedimentarias cuya deposición ha constituido el Altiplano ;
- por último, afloran los terrenos más antiguos y más tectonizados que constituyen el zócalo de los terrenos precedentes, y están desarrollados en la Cordillera Real ⁽¹⁾.

De esta manera, examinaremos sucesivamente :

- la constitución del zócalo,
- la deposición y la formación del Altiplano,
- la erosión y la constitución de las cuencas.

La cronología de deposición y la repartición de las unidades geológicas del zócalo, del Altiplano y de las cuencas, se resumen en el Cuadro B3. Una representación gráfica de estas formaciones y unidades está hecha en el Cuadro B1.

La cartografía y la repartición en el espacio de las unidades están indicadas en el mapa geológico simplificado a escala 1:100.000 (fig. B2) y en los cortes geológicos adjuntos (fig. B3).

Una descripción litológica rápida de las formaciones y de sus facies, así como algunas indicaciones que tratan de la morfología, de la permeabilidad y de la consistencia de los terrenos, están representados en el Cuadro B3.

2.1 — EL ZOCALO

Los terrenos del zócalo no afloran sobre grandes extensiones. Aparecen solamente en la Cordillera Real al NE de la ciudad, en la serranía de Aranjuez y al Sur de Mallasa a ambos lados del Valle de La Luna.

Los sedimentos arcillosos y arenosos que se depositaron en ambiente marino durante el Paleozoico fueron plegados con mucha intensidad en esta época (plegamiento hercínico).

Es difícil reconstituir los pliegues hercínicos porque estos pliegues intensos, afectando material pelítico desarrollan esquistosidad que se puede confundir con la estratificación y también porque estos pliegues fueron a veces perturbados por los efectos de las fases de compresión andina.

(1) Se entiende como zócalo los terrenos antiguos consolidados desde hace mucho tiempo, tectonizados y después arrasados por una superficie de erosión que se comporta como una superficie de discordancia estando recubierta por una cobertura sedimentaria. De tal manera, en La Paz, el zócalo comprende los terrenos del Paleozoico y las capas rojas del Cretácico del Terciario inferior, y la cobertura corresponde a los depósitos del Altiplano.

(*) Todos los cuadros se encuentran al final del capítulo.

MAPA GEOLOGICO ESQUEMATICO

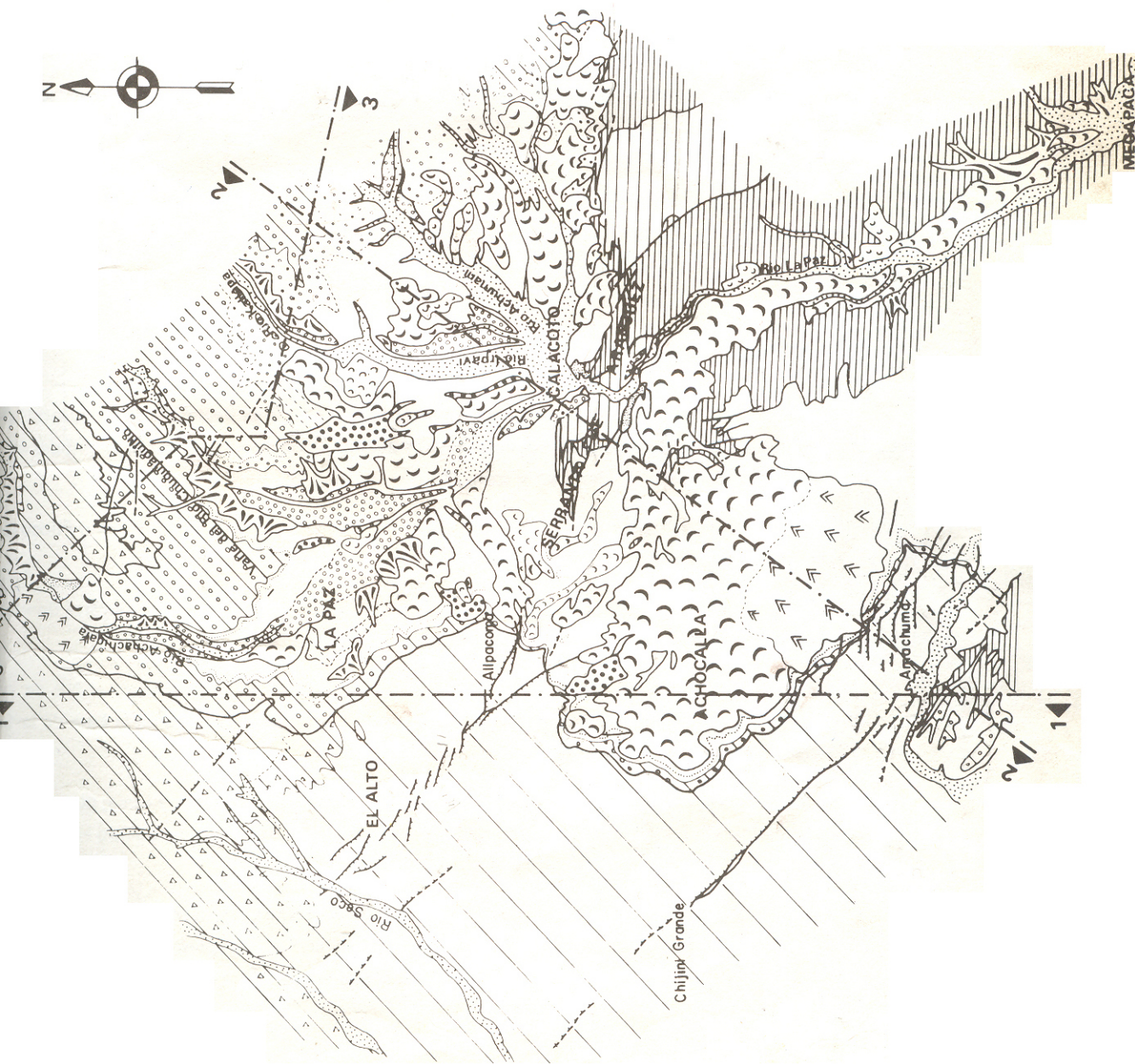
REFERENCIAS

- LLANURAS ALUVIALES DE LOS RIOS DE MAYOR IMPORTANCIA
- ABANICO TORRENCIAL
- MORENAS DEL GLACIAL CHOQUEYAPU
- DEPOSITOS LACUSTRES
- REMOCION EN MASA RECIENTE
- REMOCION EN MASA ANTIGUA
- BLOQUES DESLIZADOS ANTIGUOS
- DESPLAZAMIENTOS DE LA PRIMERA EPOCA DE EROSION
- GRAVAS MIRAFLORES e IRPAVI
- TERRAZA FLUVIO GLACIAL ANTIGUA
- SUPERFICIE DEL ALTIPLANO, DEPOSITOS TORRENCIALES Y FLUVIALES
- SUPERFICIE DEL ALTIPLANO DEPOSITOS GLACIALES
- FORMACIONES CUATERNARIAS DEL A.TIPLANO
- FORMACION LA PAZ CON LA CINERITA CHIJINI
- FORMACION CRETACICA ARANJUEZ
- FORMACION SICA SICA PALEOZOICA
- FALLA SOBRE EL ALTIPLANO
- FALLA EN LA CUENCA
- CORTE GEOLOGICO (FIG B3)
- Plan de desarrollo urbano Ciudad de La Paz Consultoras BRGM BCEOM
- Honorable Alcaldia Municipal Ciudad de La Paz Consultoras BRGM BCEOM

ESCALA 1:100000

0 1 2 3 4 Kms

B2



En la mayor parte del Terciario, en el curso de una o dos fases andinas de compresión, los depósitos continentales del Cretácico o de la parte inferior del Terciario — y también los terrenos más antiguos — fueron afectados por plegamientos ligeros y sobre todo por fallas inversas de dirección NW-SE.

Posteriormente, con los depósitos del Plioceno del Altiplano, empieza verdaderamente la historia geológica del sitio de La Paz.

2.2 – LA FORMACION DEL ALTIPLANO

El Altiplano de Bolivia resulta del relleno de una o varias cuencas endorreicas, situadas al pie de la Cordillera Real.

Se pueden distinguir dos períodos en la deposición de sedimentos que dieron lugar a la edificación del Altiplano de La Paz.

- Durante el primero que corresponde al Plioceno, se depositaron sedimentos lacustres de la formación La Paz.
- En el segundo que corresponde a la parte baja del Pleistoceno se encuentran dos épocas glaciales separadas por una interglacial de ambiente lacustre y fluvial.

2.2.1 – Morfología de la cuenca de sedimentación del Altiplano en la zona de La Paz

Los estratos basales del primer período de sedimentación (formación La Paz) deben haber sido depositados en una superficie de erosión que se constituyó, en la región del Altiplano, al fin del Mioceno después de las primeras fases de compresión andina (Martínez y otros, 1973).

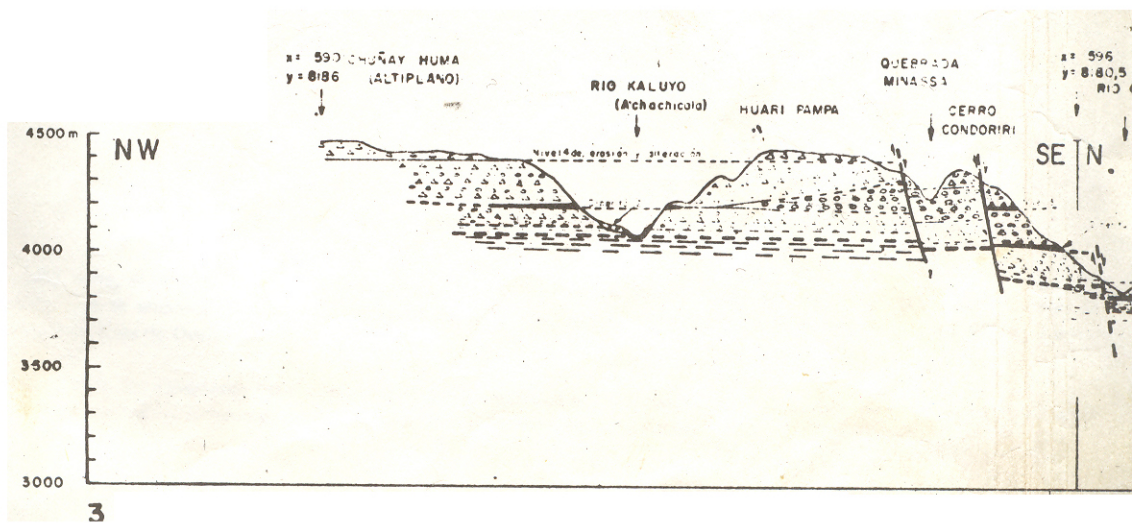
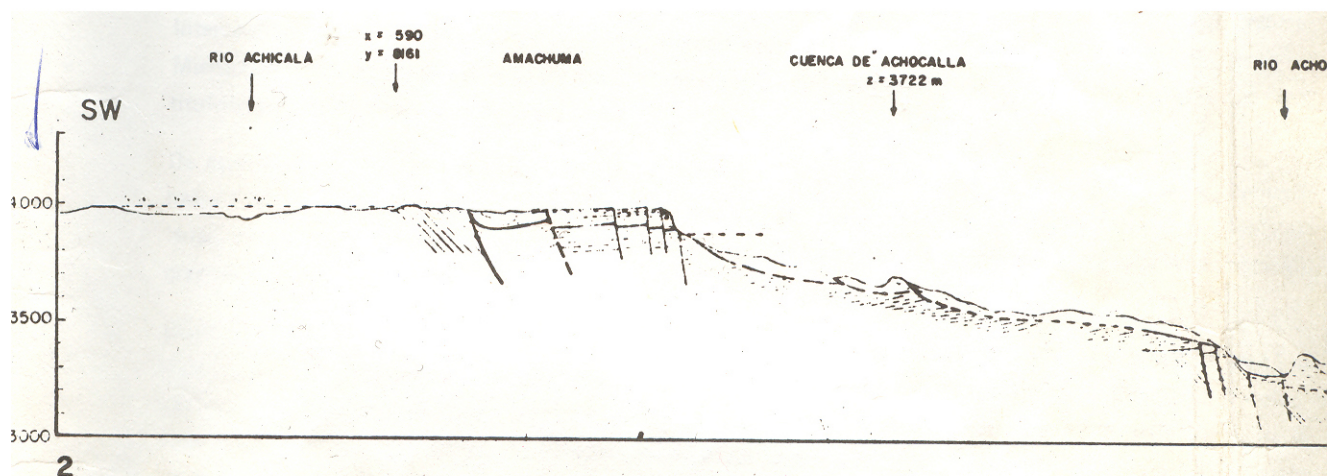
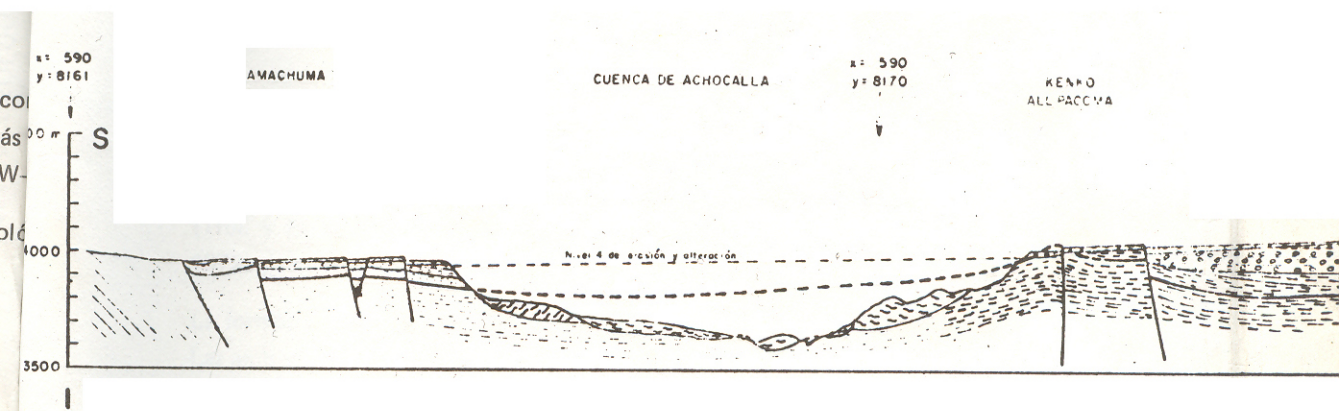
Esta superficie se encuentra actualmente muy perturbada por las fases tectónicas cuaternarias o Pliocuaternarias, por lo que se hace muy difícil su reconstrucción.

Sin embargo, ciertas características sobre su aspecto pueden ser estudiadas en los escasos lugares donde puede observarse el contacto basal de la formación La Paz sobre los terrenos del zócalo.

Es evidente que existían altos topográficos cerca del abra de Ovejuyo—Huni, seguramente al NE de este lugar, en dirección de la cordillera, porque en las proximidades de esta abra las capas de la base de la formación La Paz están constituídas esencialmente por gravas.

También pudieron existir sectores de relieve abrupto en la parte austral del Valle de La Luna, puesto que al Sur del Golf de Mallasilla se encontró un conglomerado de más o menos 2 m de espesor situado en la base de la formación La Paz, y constituido de clastos de cuarcitas del Devónico.

Al contrario, en esa época geológica, la serranía de Aranjuez no existía como un alto topográfico, puesto que en la base de la formación La Paz cerca del colegio San Andrés, en la Florida, presenta arcillas, arenas y pequeñas capas de material gravoso a gravilloso, directamente sobrepuestas sobre el zócalo, sin un verdadero conglomerado de base.



B₃

2.2.2 – El depósito lacustre de la formación La Paz

Los más antiguos de los depósitos del Altiplano corresponden a los sedimentos de la formación La Paz (Troll y Finterwalder, 1935), cuya edad fue establecida como Plioceno por Hoffstetter y otros (1971 y 1972) y por C. Villarroel (inédito). Esta formación tiene un espesor de más de 500 metros.

La formación La Paz se ha depositado en un lago de gran extensión, y probablemente a poca profundidad. Las arcillas de tipo lacustre alternan con capas de gravas y arenas que atestiguan la existencia de corrientes que trajeron material más grueso, seguramente proveniente de la erosión de la cordillera o de otras zonas emergidas.

En la región del río Khallapa (parte superior del río Irpavi), en la parte alta del río Achumani y cerca de Ovejuyo, la formación La Paz — desde su base hasta su techo — está constituida esencialmente de gravas con intercalaciones de pequeñas capas de limos, pareciéndose así a la formación Purapurani suprayacente ⁽¹⁾. Mientras que en Achocalla solamente los últimos metros (40 hasta 80 m) de la formación La Paz, están constituidos por las mismas capas de gravas ⁽²⁾.

De esta manera, se deben aceptar variaciones de facies del NE (ríos Khallapa, Achumani Alto y Ovejuyo) hasta el SW (Achocalla). Estas variaciones de facies que se pueden observar al NE del cerro Aruntaya y de Huancani Pampa, significan que el lago cerca de la Cordillera Real, ya emergida, tenía una sedimentación gravosa que al fin del Plioceno rellenó todo el lago hasta Achocalla.

Dentro de la formación La Paz se encuentra un nivel de cinerita, que tiene un espesor promedio entre 2 y 4 m, constituyéndose en un horizonte guía. Esta cinerita llamada Chijini, resultó de la depositación relativamente rápida de una ceniza volcánica, en el mismo ambiente lacustre que los otros sedimentos de la formación La Paz. Esta cinerita que contiene cristales de biotita detrítica, presenta en algunos sectores clastos de granito y de cuarcita. Es de acotar que no existe discordancia alguna, tanto en el techo como en el piso de este banco ; sólo existe en algunas partes, una ligera ondulación del techo de la cinerita Chijini la cual puede corresponder a una estructura sedimentaria debida al oleaje o a un modelado de la ceniza volcánica por las corrientes que han llevado capas de gravas en la sedimentación lacustre.

El estrato volcánico en cuestión, se encuentra localizado en la parte superior de la formación La Paz.

El techo de la formación La Paz, corresponde a niveles de erosión que son paulatinamente más recientes del Norte o del NE, hacia el Sur o SW (conferencia del Sr. Servant, 1976).

(1) En esta zona, el límite entre las formaciones La Paz y Purapurani corresponden a un nivel de alteración y a veces de erosión que se encuentra en algunas partes (Este de Chinchaya o de Chicani, en la margen izquierda del río Irpavi—Khallapa, y Este de Ovejuyo).

(2) En Achocalla, se consideran estas gravas como pertenecientes a la formación La Paz porque no se encuentra el nivel de alteración que habitualmente existe infrayaciendo a la formación Purapurani.

2.2.3 — El depósito de la glaciación Calvario

En la parte Norte de la ciudad, cerca de la cordillera, la formación La Paz está cortada por un nivel de erosión debajo del cual se vé a veces un nivel rojo de alteración.

Encima de este primer nivel se encuentran depósitos glaciales y también fluviales o fluvioglaciales que cubren la formación Calvario (Dobrovolsky, 1956).

Este episodio glacial, en las regiones de los ríos Kaluyo-Achachicala y del río Chuquiaguillo-Orkoja, frecuentemente empieza y acaba con niveles fluviales. La formación Calvario s.s. comprendida entre dos niveles en las regiones antes mencionadas, o que se encuentra solo en una facies, como por ej. de El Alto, está constituida por un till que puede corresponder a una formación morrénica *in-situ* o a lava de barro* proveniente de algunas morrenas. Esta formación parece no tener mucho más que 100 metros de espesor como máximo.

En su parte superior la formación Calvario está cortada por una superficie de erosión acompañada, en algunas partes, de alteración. Este segundo nivel de erosión es responsable del acúñamiento de la formación Calvario al Sur de Alto Chijini y quizás también de la desaparición de esta formación al Este del río Chuquiaguillo-Orkojahuirá.

2.2.4 — El depósito lacustre y fluvial de la formación Purapurani

Posteriormente al periodo glacial de Calvario, se ha depositado encima del nivel segundo de erosión, una formación llamada Purapurani (Dobrovolsky, 1962). Esta formación de carácter lacustre — fluvial, corresponde a un periodo inter-glacial.

En la región situada entre el Cementerio General y Llojeta, la parte inferior de esta formación muestra encima del nivel de alteración — depósitos lacustres, litológicamente similares a los de la formación La Paz.

Después de esta sedimentación lacustre de poca extensión lateral, se puede observar hacia arriba, una sucesión de gravas de tipo fluvial, alternando con capas de limo. Esta parte superior de la formación Purapurani se encuentra directamente encima del nivel segundo de erosión en la mayor parte de la cuenca de La Paz (Achachicala, río Chuquiaguillo, río Irpavi y Achumani Alto) se ha depositado al final del episodio lacustre.

En la serranía Cuchilla-Chuquiaguillo se pueden observar, en la parte alta de la formación Purapurani, depósitos lacustres similares a los de la base de esa formación.

En algunos sectores (ambos márgenes del río Achachicala-Kaluyo y margen derecha del río Orkoja-Chuquiaguillo), sobre el segundo nivel de erosión y en la base de la formación Purapurani, se encuentra una capa de cinerita, similar a la cinerita Chijini pero muy lenticular.

* Lava de barro : torrente de barro que presenta una viscosidad similar a la de las lavas volcánicas y por lo tanto formas de deposición similares.

La formación Purapurani parece tener cerca de 400 m de espesor en la serranía Cuchilla-Chuquiaguillo, pero no se encuentra más esta formación en ambos márgenes del río Kaluyo.

La parte terminal de esta formación es cortada por un tercer nivel de erosión que puede ser un poco discordante (debajo de El Alto por ejemplo), además de estar acompañado por algo de alteración.

2.2.5 — El depósito glacial de la formación Milluni Inferior o formación Kaluyo

Los depósitos que siguen a los de la formación Purapurani, son de carácter glacial y corresponden a la formación Milluni.

En esta formación definida por Dobrovolsky (1956) se pueden distinguir dos épocas glaciales separadas por un cuarto nivel de erosión y de alteración, que corresponde al “ pedimento III ” de Servant (1976).

La parte inferior de la formación Milluni situada debajo del cuarto nivel de erosión es llamada formación Kaluyo por Servant.

Al Norte del descenso del acueducto de Achachicala, esta formación Kaluyo corresponde a un till compuesto de depósitos glaciales en los cuales se encuentran (quebradas Patapatani, Sopani y Aguatiña) unos niveles fluvio-glaciales que corresponden probablemente a depósitos de torrentes debajo del glacial. El espesor de esta formación parece ser de 100 ó 150 m promedio.

En el camino que sube del río Chuquiaguillo hasta la planicie de Huaripampa y a una altura aproximada de 4200 m, se encuentra un nivel de cinerita, en la base de la formación Kaluyo (Milluni inferior) encima del tercer nivel de erosión.

Al Sur del descenso del acueducto de Achachicala, esta formación está representada únicamente por gravas fluvio-glaciales que pueden corresponder a depósitos fluviales situados al frente de los glaciales.

Estos depósitos se acuñan al Sur de El Alto, porque son cortados por el cuarto nivel de erosión.

2.2.6 — El depósito glacial de la formación Milluni Superior o formación Chacaltaya ; el depósito lacustre de la formación Ballivián y el depósito fluvial del techo del Altiplano

Al Norte de Patapatani, la **formación Chacaltaya** corresponde a morrenas que se ubican directamente sobre el nivel cuarto de erosión. Estas morrenas forman las colinas que se observan en el Norte del Altiplano.

Al Sur de Patapatani se encuentra un till gris o negro, que parece corresponder a sedimentos del glacial Chacaltaya removido por una lava de barro.

En El Alto (quebrada de El Alto, trincheras de la autopista y del Ferrocarril) se puede observar que el techo de esta lava de barro peri-glacial, está un poco alterada.

Encima de este nivel de alteración se han depositado gravas fluviales que cubren la mayor parte de la superficie del Altiplano con un espesor entre los 20 ó 25 m como máximo. Estos depósitos de gravas constituyen el techo del Altiplano.

Los depósitos lacustres de la **formación Ballivián** que afloran en la región de Viacha y de Laja, son evidentes — según Servant — de la parte final de los depósitos glaciales de Chacaltaya.

2.2.7 — La superficie baja de erosión y los depósitos actuales del Altiplano

Los fenómenos de erosión y de deposición que se producen en el Altiplano después del depósito de las gravas del techo, pertenecen a la misma época que la erosión de la cuenca de La Paz. Pero es un poco difícil realizar las correlaciones entre lo que se produjo en esta época, en el Altiplano y en la cuenca. Por lo tanto, parece mejor terminar la historia del Altiplano antes de tratar la historia de la erosión de la cuenca.

En la parte SW del Altiplano, cerca de **Amachuma** y de **Viacha**, se puede observar una erosión de algunos metros de las gravas del techo del Altiplano o de los sedimentos lacustres de la formación Ballivián. Esta erosión produjo una superficie baja que puede ser tomada por un quinto nivel de erosión, aunque su extensión sea limitada.

La cubierta de esta superficie está constituida en Amachuma por algunos metros de gravas y luego por 5 m de arcillas de tipo lacustres.

En Amachuma, tanto el nivel quinto como su cubierta, están un poco erodados por el corte topográfico de un río actual del Altiplano.

Cerca de El Alto, en un período muy reciente, los ríos que vienen de la cordillera han depositado gravas en forma de abanicos aluviales encima de las gravas del techo del Altiplano.

Actualmente, los ríos, como el río Seco socavan estos abanicos y las gravas del techo del Altiplano, y depositan gravas en sus lechos.

2.3 — LA EROSION DE LAS CUENCAS Y SUS DEPOSITOS

La erosión de la cuenca de La Paz pudo comenzar cuando un afluente del río Beni hubo cortado por su erosión regresiva la Cordillera Real, permitiendo así la erosión intensa por el río La Paz de las formaciones del Altiplano, cuyo material erodado fue transportado hacia la cuenca del Amazonas y el Atlántico.

A partir de ese período, los niveles de base de los ríos cambiaron en el Altiplano y en la cuenca de La Paz y sus cercanías. En el Altiplano, el nivel de base de los ríos ha correspondido aproximadamente al Lago Titicaca actual. En las cuencas, el nivel de base correspondió al río La Paz que profundizó su valle progresivamente.

En el transcurso del socavamiento del río La Paz, anteriormente a la época actual, se pueden distinguir épocas sucesivas, cuyas etapas finales están materializadas por los niveles de erosión de : Pampajasi, Miraflores y del lacustre de La Florida-Aranjuez.

2.3.1 — Primera época de erosión : los deslizamientos y los depósitos fluviales de Pampajasi

En la primera época de erosión de la Cuenca, el río La Paz llegó hasta un nivel de base situado actualmente

una altura un poco menor que 3700 m, entre Pampajasi y Jucumarini.

Los restos de esta antigua superficie corresponden verdaderamente a las superficies de erosión situadas en la base de los depósitos y deslizamientos de Pampajasi, Jucumarini y quizás de Killikilli.

Para Servant, esta superficie podría corresponder a la superficie baja de erosión del Altiplano.

Sobre esta superficie se han acumulado en primer lugar paquetes deslizados y superpuestos unos a otros. Estos paquetes están compuestos de gravas de la formación Purapurani suprayacente, como también de arcillas y arenas de la formación La Paz de cinerita Chijini.

Encima de estos deslizamientos, en Pampajasi y talvez en Jucumarini, se encuentran depósitos de gravas de piedemonte.

El espesor de los depósitos de Pampajasi varía entre 50 y 80 m promedio.

En la parte alta de la cuenca de Achocalla, en algunos lugares (Kayu, Villa Concepción y quizás Rosas Pampa, cerca de Kayu), existen paquetes de rocas deslizadas que forman planicies topográficamente más altas que los deslizamientos y los flujos de terreno que las circundan.

Se piensa que la formación de estas unidades es de época anterior al flujo de terreno de Achocalla. La unidad de Kayu parece ser contemporánea a los deslizamientos de Pampajasi y de Jucumarini ; las unidades de Villa Concepción y de Rosas Pampa parecen ser un poco más recientes y por tanto pueden pertenecer al inicio de la segunda época de erosión.

2.3.2 — Segunda época de erosión : Los depósitos glaciales y fluviales de Choqueyapu y de Miraflores

La segunda época de erosión fue muy importante porque en su fase final llegó hasta el piso de los depósitos Miraflores ; este piso, aguas arriba de la angostura de Aranjuez tiene 3250 m de altura.

Parece que esta erosión se realizó en varias etapas. En el río Khallapa (río Irpavi alto) se encuentran algunas terrazas intermedias entre la superficie Pampajasi y la de Miraflores. La terraza llamada Irpavi por Dobrovolny (1956 y 1962), es una de las más altas. La terraza situada en Tembladerani, Villa Victoria, Cementerio General y el río Apumalla, entre 3700 y 3800 m de altura, parece corresponder, en la cuenca del río La Paz—Choqueyapu, a un nivel de erosión y quizás también de deposición de la misma edad que la terraza Irpavi de Dobrovolny.

De la morfología de los valles, se puede deducir que después de esta erosión fluvial importante existió una erosión glacial debida a un avance en los valles de los glaciales de la cordillera. Las morrenas laterales de estos glaciales se encuentran en las márgenes de los ríos Kaluyo, Chuquiaguillo e Irpavi, más o menos cubiertas por terrazas de ríos o abanicos aluviales más recientes.

En las dos riveras del río Achachicala-Kaluyo, cerca de Limanpata, cuando el glacial de valle retrocedió, se produjeron dos importantes deslizamientos : el primero en la margen derecha, y posteriormente el de la margen izquierda (Goguel 1976). Estos deslizamientos habían sido interpretados en 1962 por Dobrovolny, como morrenas frontales de los glaciales de valle llamados Choqueyapu I y II.

El deslizamiento de la margen izquierda debió formar un dique aguas arriba del cual se depositaron depósitos lacustres intercalados con turbas. Estas turbas fueron datadas en 1962 por Dobrovolsky de 92 ± 200 años con el método del radio-carbono.

También, durante el retroceso del glaciar Choqueyapu, se depositaron en los valles, aguas abajo de las morrenas, sedimentos fluviales que constituyen las terrazas Miraflores.

Tomando en cuenta elementos morfológicos observados en el río Choqueyapu por el Profesor Goguel, parece que las terrazas Miraflores se han constituido anteriormente a los deslizamientos de Limanpata o, por lo menos, anteriormente al deslizamiento de la margen izquierda.

El espesor de estas terrazas varía entre 20 y 60 metros.

De la salida de las aguas y de los resultados de los sondeos indicando los puntos más bajos del piso firme de la última terraza Miraflores, se puede deducir que los cursos de los ríos durante la deposición de la terraza Miraflores, fueron un poco diferentes de los cursos de los ríos actuales :

- en el centro de la ciudad, el río Choqueyapu pasaba al SW del Prado y de la Avenida Arce (sondeo N° 2 de la H. Alcaldía Municipal, calles Capitán Ravelo y Fernando Guachalla) ;
- en el barrio Miraflores, el río Orkojahuirá pasaba un poco más al Oeste (actualmente la salida de las aguas de la terraza Miraflores se produce cerca de la " Gruta de Lourdes ") ;
- en Obrajés, parece que el curso del río La Paz estaba situado más al NE que en la actualidad ;
- en Seguencoma, este curso estaba ubicado más al SW que el río actual ya que las gravas de la terraza Miraflores se han desarrollado más en Alto Seguencoma que en el Barrio del Pedidista, y también porque la salida de las aguas de la terraza Miraflores, cerca de la garganta de Aranjuez se produce al lado del barrio " Amor de Dios ", en vez de producirse al lado de " El Gramadal ".

En algunas zonas (Obrajés, Seguencoma) se puede observar que la terraza Miraflores está dividida en partes superpuestas, separadas por un antiguo flujo de terreno. Para Dobrovolsky (1962) el deslizamiento de Laikakota pertenece a la misma época que este flujo. Sin embargo, se piensa que el deslizamiento de Laikakota es anterior al depósito de Miraflores porque nunca se ven los terrenos deslizados encima de las terrazas y, en el lado Oeste del barrio Miraflores, la erosión del deslizamiento de Laikakota parece anterior al depósito de las gravas de las terrazas. Además la facies del deslizamiento de Laikakota, correspondiente a capas de gravas con estratificación visible, es diferente de la mezcla de arcillas constituyendo el flujo de terreno contemporáneo de las gravas Miraflores.

En el río Achachicala, en el centro de la ciudad y en Miraflores, existen — por lo menos — dos niveles de terrazas constituídas por las gravas Miraflores.

En Irpavi, encima de la terraza más baja de Miraflores, se encuentra una capa de till que puede corresponder a una lava de barro retrabajando morrenas.

Encima de la terraza Miraflores, en Obrajés y Seguencoma, se encuentran restos de un antiguo flujo de terreno. Cerca de la serranía de Aranjuez, este flujo es contemporáneo a depósitos de piedemonte que atestiguan que esta serranía estaba ya emergida.

Los otros flujos de terreno y deslizamientos que suprayacen a la terraza Miraflores y consecuentemente

posteriores a estos depósitos, se encuentran en los siguientes lugares ; Sopocachi y Tembladerani, Purapura, Achachicala, Villa San Antonio, Villa Armonía, Bella Vista, Villa Salomé, Chinchaya y Aruntaya.

2.3.3 – Tercera época de erosión : El deslizamiento de Achocalla y los depósitos lacustres de La Florida—Aranjuez

La tercera época de erosión fue mucho menos importante que las dos primeras, porque aguas arriba de Aranjuez llegó solamente a la altura actual de 3210 metros.

Después de esta erosión que socavó las gravas Miraflores y un poco de su substrato, se produjo el deslizamiento muy importante de la cuenca de Achocalla que dió el flujo de terreno gigante de Mallasa-Lipari-Mecapaca.

Este flujo debió hacer un dique aguas abajo de la angostura de Aranjuez. Así se explica la formación de los depósitos lacustres que en Aranjuez tienen cerca de 40 m de espesor, y que en La Florida constituyen una terraza de más o menos 10 m de espesor.

Existen muchos pequeños afloramientos de sedimentos lacustres del mismo tipo en el borde Norte del flujo de terreno de Achocalla e incluso sobre el flujo mismo.

El flujo de terreno de Llojeta y posiblemente el de Angani se produjeron en la misma época, después de la erosión de las gravas Miraflores.

2.3.4 – Erosión y depósitos recientes actuales

Los depósitos lacustres y el flujo de terreno de Achocalla fueron erodados en una época reciente. Esta erosión, en la angostura de Aranjuez, llegó a un nivel de altura inferior a 3200 metros.

Esta fase de erosión fue acompañada por la deposición de las gravas que constituyen ahora las terrazas de los ríos.

El flujo de terreno de Cota Cota—Ovejuyo, suprayace la terraza de río la más alta de Calacoto—San Miguel, y en consecuencia es posterior a ella.

El deslizamiento de Villa Callapa que llegó hasta las gravas del río Irpavi y desvía el curso de este río, debe ser muy reciente.

En el lecho actual de los ríos, cuando hay crecidas, se depositan limos, arenas y gravas predominantemente.

En las laderas de los relieves y en el borde del Altiplano, se encuentran quebradas particularmente abruptas que socavan las antiguas superficies topográficas. Su formación, verdaderamente reciente, continúa actualmente y debe ser una consecuencia de un cambio de clima o quizás de la actividad humana (desforestación).

3. CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS

La geomorfología es el estudio de las formas del relieve terrestre. Esta ciencia tiene como doble objetivo describir y explicar el relieve, su evolución (erosión y acumulación), los procesos de modelación en relación con los fenómenos hidroclimatológicos y geológicos.

El modelado de las laderas no es efecto del azar. Son las glaciaciones, el agua superficial y/o subterránea, la remoción en masa de terrenos, etc., que han dado las formas del relieve actual. La evolución morfológica de las pendientes es frecuentemente compleja; si se desea comprender mejor a la vez el aspecto actual y las tendencias de las transformaciones futuras, es necesario reconstituirla.

En este capítulo, vamos a presentar en una primera parte las diversas formas de relieve que se encuentran en la cuenca de La Paz, y su evolución actual.

Una segunda parte está destinada a la presentación de las características morfológicas de las diversas unidades geológicas.

3.1 – LOS DIVERSOS TIPOS DE FORMAS DE RELIEVE Y EVOLUCIÓN ACTUAL (fig. B4)

3.1.1 – Las pendientes regulares

Las pendientes regulares pueden ser por la erosión, glacial o torrencial esencialmente, o bien ser el resultado de depósitos diversos.

• Las pendientes débiles

Aparte del Altiplano donde las pendientes son muy débiles, la cuenca no presenta en ninguna parte superficies horizontales.

Todas las terrazas y las llanuras aluviales tienen pendientes generales mínimas de 3 a 5% (1,7° a 2,9°).

Las terrazas de las gravas Miraflores ocupan principalmente el centro de la cuenca de La Paz, donde los depósitos son concentrados, pero se extienden desde Achachicala al Norte hasta Seguencoma al Sur, en los valles Chuquiaguillo e Irapavi en fajas más o menos estrechas y elevadas.

Las llanuras aluviales se ubican en las partes bajas de la cuenca, en los valles Choqueyapu (a partir de Irapavi y Achumani). Bastante extendidas y expuestas a inundaciones, constituyen planicies de deposición, correspondiendo al nivel de base de erosión de la cuenca.

También se encuentran llanuras aluviales importantes río abajo de Mecapaca, en el valle del río

• Las pendientes medianas

Superiores a 10% (5,7°), las pendientes medianas se ubican en las zonas intermedias de unión entre las terrazas y las pendientes abruptas. Se relacionan frecuentemente con los abanicos torrenciales que están bastante urbanizados (Caiconi, Villa Fátima, Los Andes, Tembladerani, Sopocachi, etc...).

Sobre las laderas de las cuencas, se encuentran numerosas superficies planas más o menos extendidas y accesibles, que corresponden a una antigua remoción en masa de mayor importancia. Se trata de planicies de Jucumarini, Llojeta, Pampajasi, Kayu, Achocalla, etc.

MAPA GEOMORFOLOGICO

REFERENCIAS

- PENDIENTES FUERTES O RELIEVE ABRUPTO
- BORDE DEL ALTIPLANO
- BORDE DE PLANICIES ANTIGUAS
- BORDE IMPORTANTE DE PLANICIES DIVERSAS MAS RECIENTES O RELIEVE DE FALLA SOBRE EL ALTIPLANO
- REMOCION EN MASA ANTIGUA
- REMOCION EN MASA RECIENTE Y/O ACTUAL
- ABANICO TORRENCIAL
- LLANURAS ALUVIALES O LECHO MAYOR DE LOS RIOS PRINCIPALES
- DEPOSITOS LACUSTRES
- TERRAZAS GRAVOSAS POCO INCLINADAS DE TIPO MIRAFLORES

Plan de desarrollo urbano Ciudad de La Paz

Honorable Alcaldia Municipal Ciudad de La Paz Consultoras BRGM BCEOM

ESCALA 1:100000

0 1 2 3 4 Kms

B4



• Las pendientes fuertes

Las pendientes fuertes están ubicadas sobre todo en las laderas de los valles glaciales (fig. B5) del Nor-Este (ríos Achachicala—Kayu, Chuquiaguillo, Irpavi—Khallapa). Son pendientes muy regulares que sobrepasan frecuentemente 50% (26,6°).

La ceja del Altiplano domina en numerosos sectores, unas pendientes muy fuertes (20 á 30°) urbanas (Alto Chijini, Villa Nuevo Potosí, Jucumarini, Tacagua, Andrés de Santa Cruz).

Más al Sur, las pendientes son accidentadas (valles del río Achumani, Sierra de Aranjuez, Allpacoma, valle del río La Paz río abajo de La Florida).

3.1.2 — Los ferellones o escarpes

Bastante discontinuos y a veces muy elevados, los farellones se encuentran en todos los tipos de formaciones geológicas, sobre todo las muy cortadas por la erosión.

Pueden ser verticales en sectores donde predominan los limos (Bologna, Allpacoma, por ejemplo), indicando así que estas formaciones están bien consolidadas.

La garganta de Aranjuez muestra farellones, en el Cretácico, generalmente desmenuzados.

Los rebordes del Altiplano presentan en numerosos sectores, zonas con farellones gravosos, cortados por la erosión (Llojeta, Kayu, Khututu, Uni, etc.,...).

En general, las partes que están bastante elevadas y desarrolladas, corresponden a formaciones con predominancia de gravas (valles de los ríos Achumani, Khallapa, Orkojahuirá—Chuquiaguillo). Su evolución actual se dirige más bien a acentuarlas en relación con la erosión violenta por las aguas de lluvia y torrenciales.

Se pondrá aparte el nivel de la cinerita Chijini, que aparece siempre cortado en cuesta, la única que interrumpe las laderas regulares en la cuenca de La Paz y el valle del río Orkojahuirá—Chuquiaguillo.

3.1.3 — Las quebradas

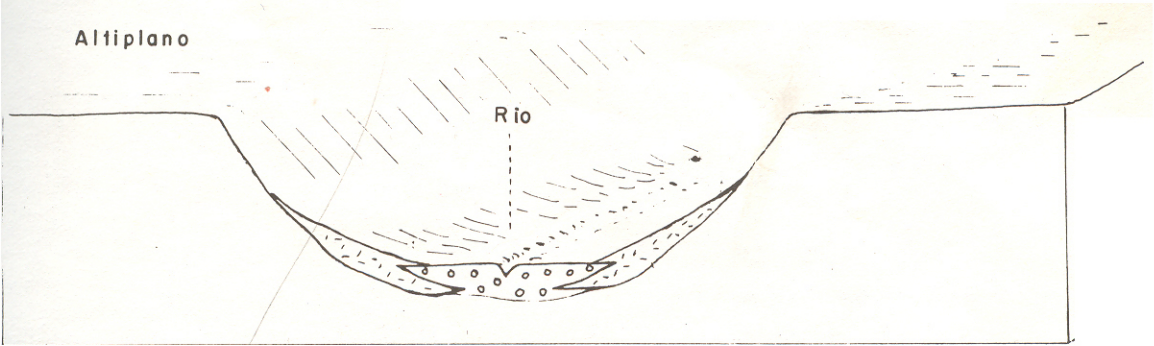
Ocasionadas por la erosión torrencial, las quebradas están desarrolladas en todas las formaciones, más particularmente al Sur de la región. Se pueden distinguir dos tipos de quebradas :

• Las quebradas aisladas

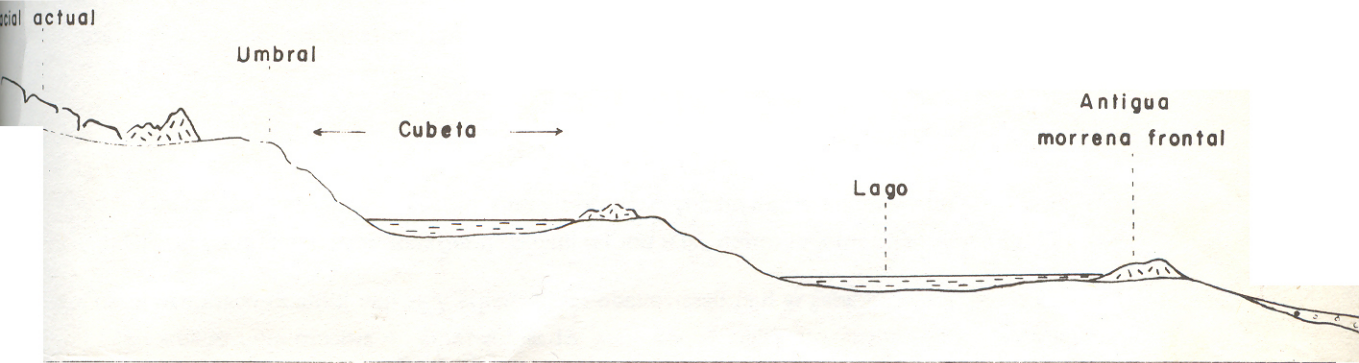
Son bien delimitadas, más o menos profundas, alargadas según la línea de mayor pendiente. Son ejemplares característicos de una erosión lineal juvenil, lo que significa que evolucionan cada año.

Se encuentran quebradas aisladas sobre las laderas de los valles Achachicala—Kaluyo, Chuquiaguillo—Khallapa, pero también encajonadas en las terrazas de las gravas Miraflores, o en la remoción en masa (Pampajasi, Jucumarini, Llojeta, Achocalla—Mallasa, Angani,...).

CORTE TRANSVERSAL

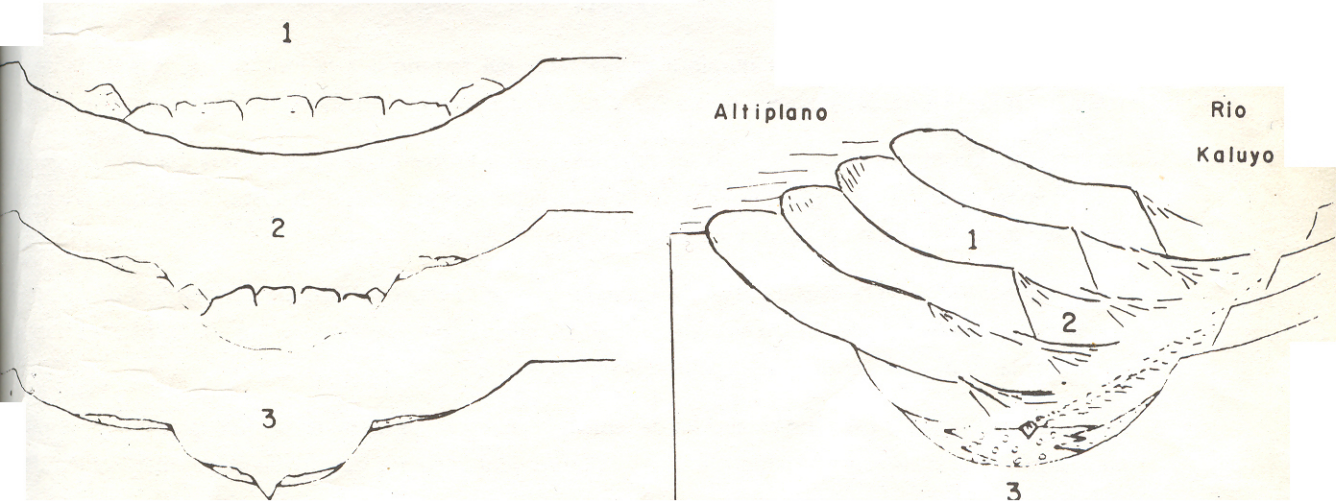


PERFIL LONGITUDINAL



EVOLUCION DEL PERFIL TRANSVERSAL

- 1- PRIMERA FASE DE GLACIACION
- 2- SEGUNDA FASE
- 3- ESTADO ACTUAL, TORRENCIAL



- **Las quebradas desarrolladas**

Cuando una quebrada aislada existe desde un cierto tiempo, desarrolla ramificaciones hacia los lados y hacia arriba. Toma un aspecto dentrítico, cuyos numerosos ejemplos se pueden ver en los valles de los ríos de Achachicala y Chuquiaguillo.

Esta disposición corresponde a una erosión regresiva rápida en materiales generalmente poco consistentes y gravosos. Se encuentra igualmente en los flujos de tierra antiguos pero ramificada con menos fineza.

3.1.4 – Los relieves abruptos

Los paisajes de relieves muy accidentados están presentes en toda la región, particularmente el Sur y al Oeste. Resultan de una erosión intensa torrencial y por las lluvias en terrenos de cohesión bastante débil.

En tales zonas, las quebradas se han desarrollado rápidamente y se han juntado ocasionando en este caso la desaparición de la antigua superficie topográfica. El sector toma un aspecto muy accidentado, con crestas dentadas, chimeneas, acanaladuras subverticales y quebradas encajonadas y estrechas. El terreno es desprovisto de vegetación, la que no puede desarrollarse sobre las paredes erosionadas por las lluvias.

Están afectados todos los depósitos del Altiplano (Hualleacaconi incluso). Las formaciones del Terciario (Paleozoico y Cretácico) están menos cortadas por la erosión, pero muestran serranías muy importantes y laderas muy empinadas (serranía de Aranjuez, valle del río La Paz). La remoción en masa antigua produce igualmente zonas desmenuzadas por la erosión (Allpacoma, Kayu, Achocalla).

3.1.5 – La remoción gravitacional en masa

Este fenómeno, imputable a la naturaleza desfavorable del terreno y a la morfología, está bastante desarrollado en las laderas de la cuenca de La Paz y sus alrededores, perturbando la creciente actividad humana.

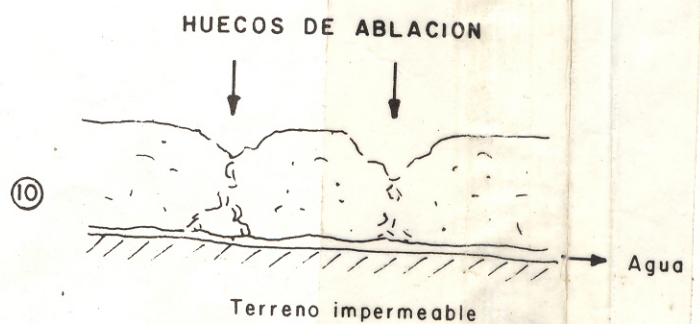
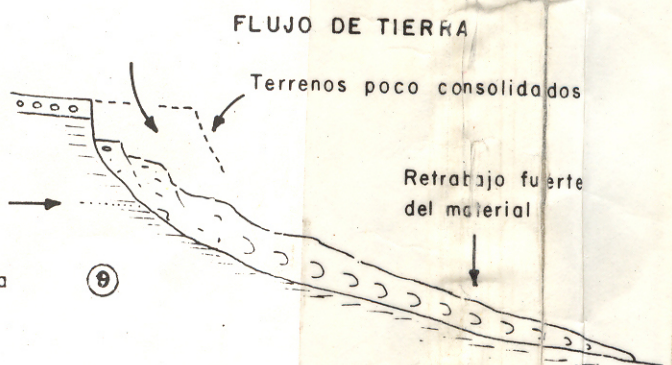
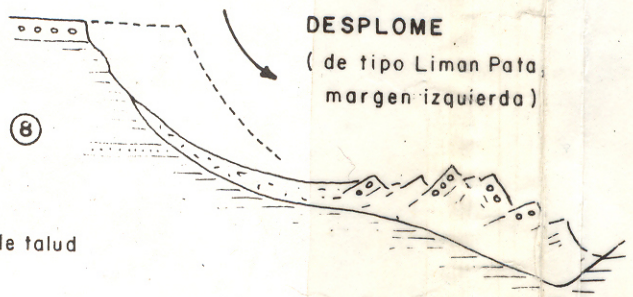
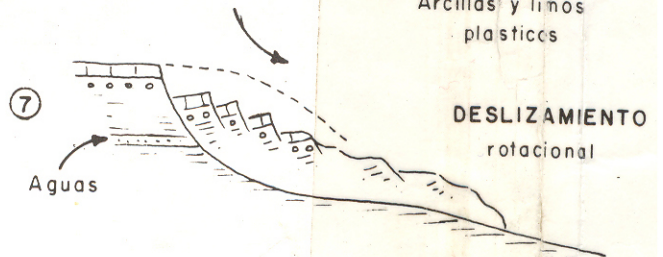
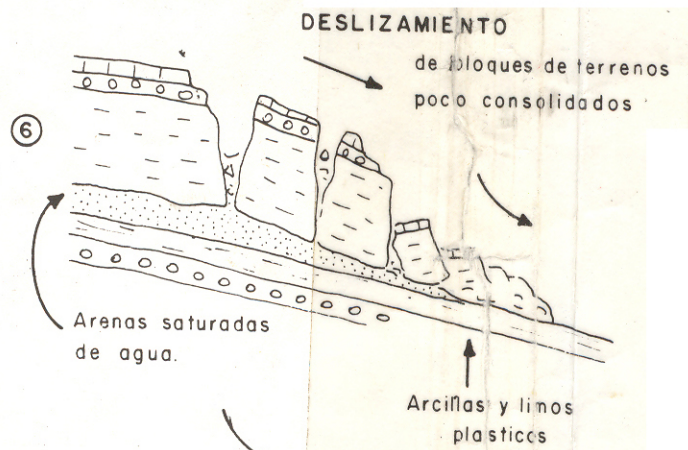
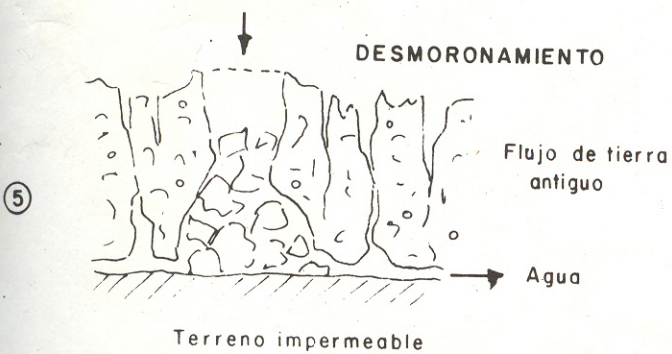
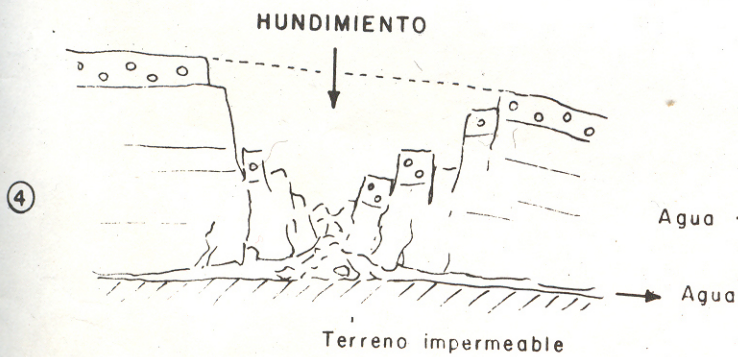
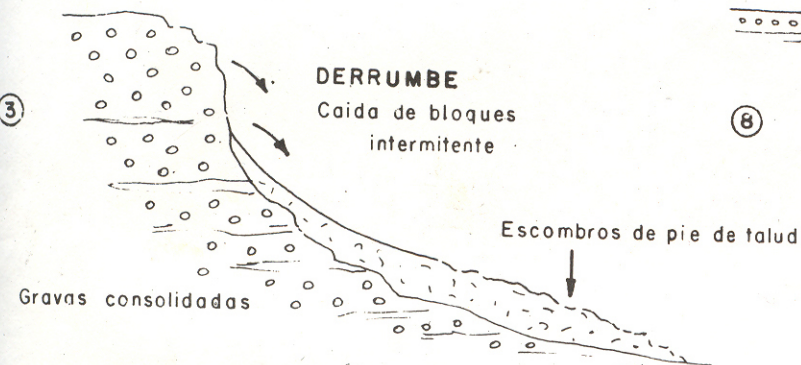
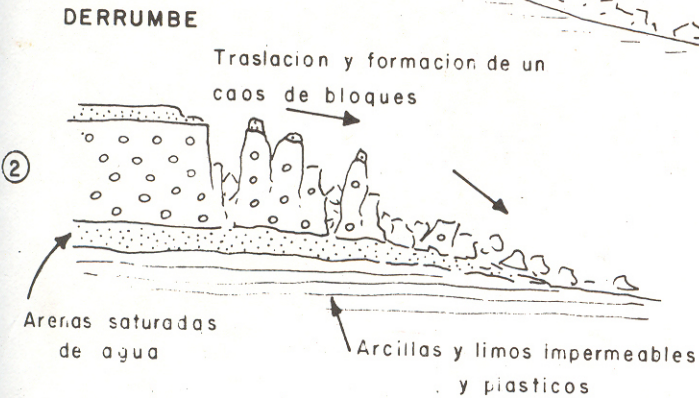
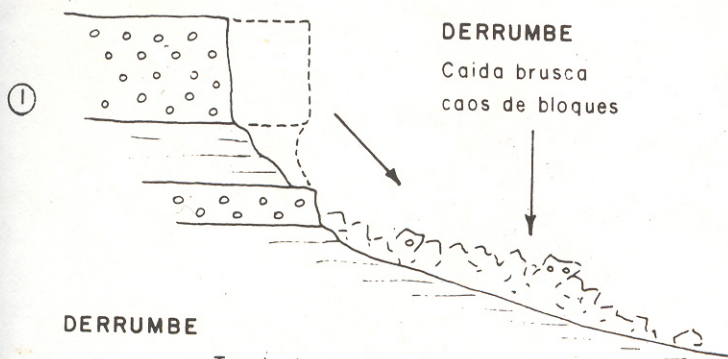
La inestabilidad afecta todos los tipos de terrenos, pero más frecuentemente los que contienen materiales finos (limos y arcillas) los que cubren a veces superficies considerables (Khallapa, Allpacoma, Achocalla, etc.), aunque su amplitud no alcanza la de los movimientos antiguos.

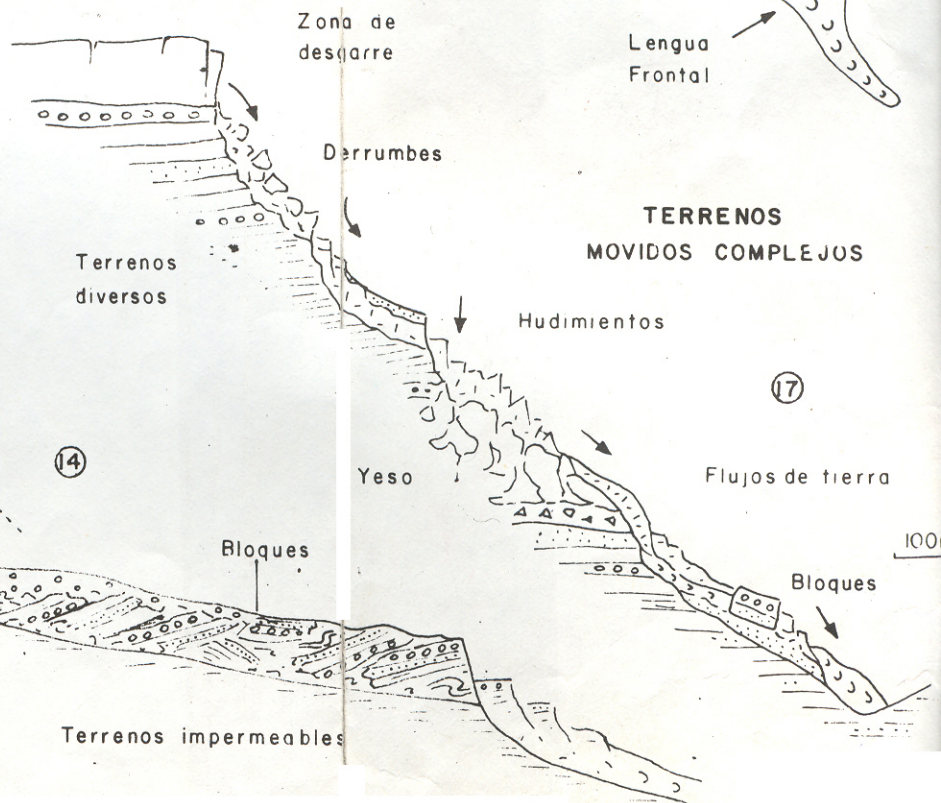
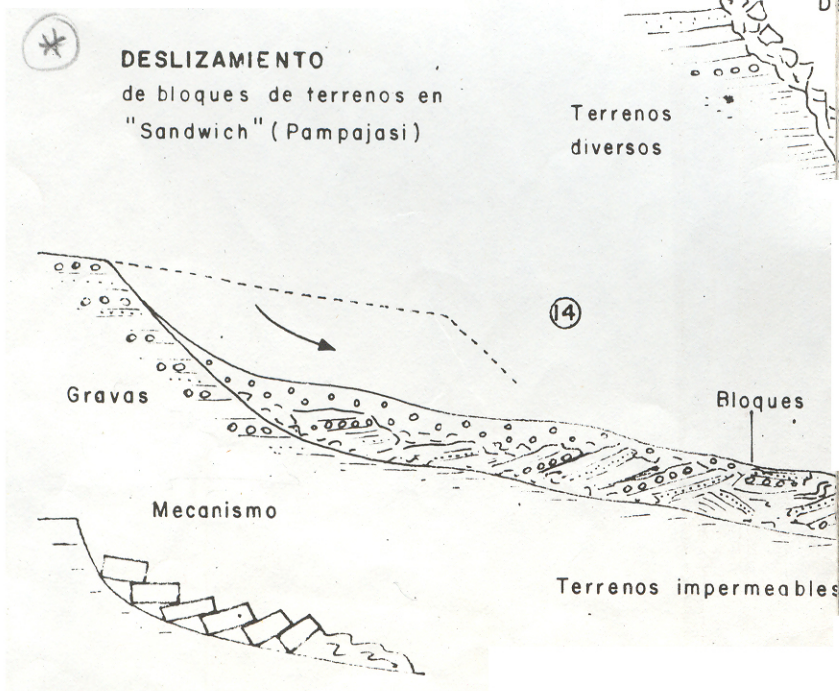
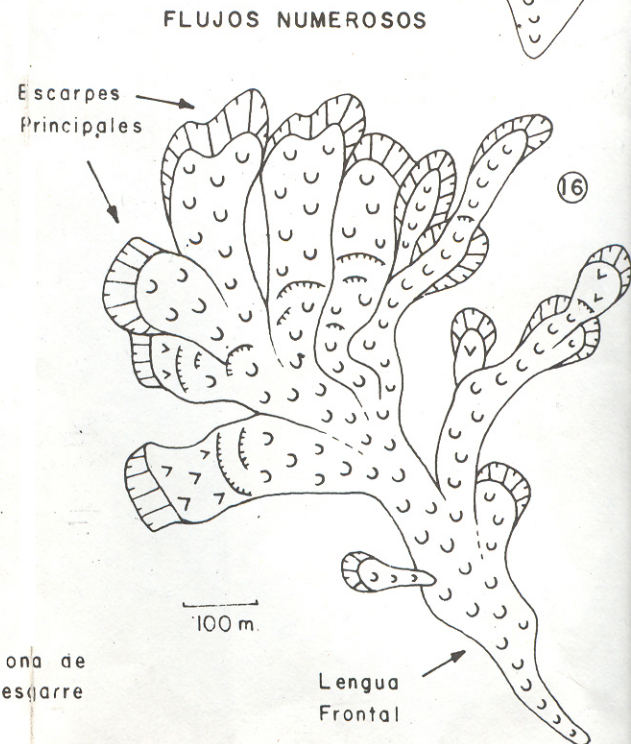
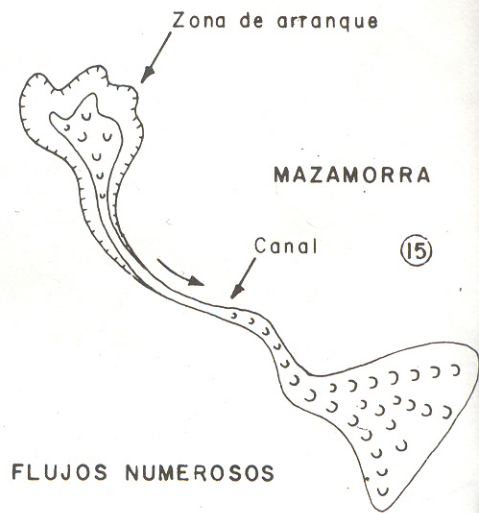
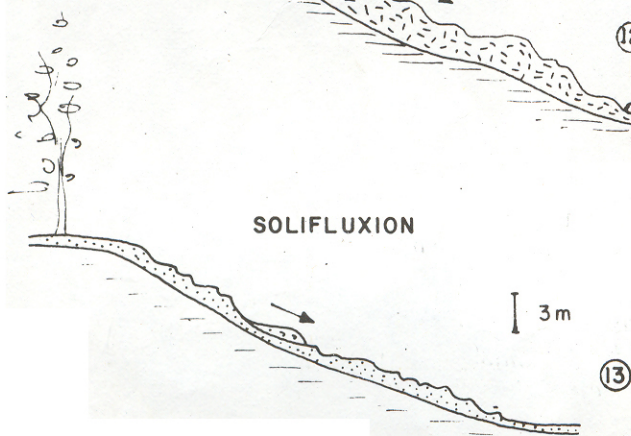
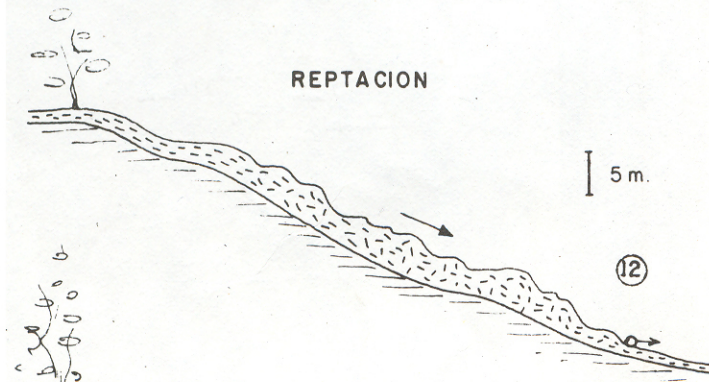
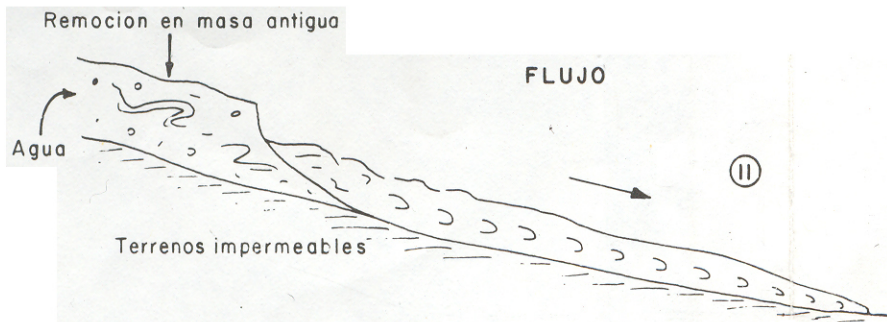
Las manifestaciones de la inestabilidad gravitacional son varias, muchas veces bien evidentes y de mecanismos bastante simples (ver fig. B6). Pero existen también complejos donde es difícil distinguir las partes estables de las inestables, y de explicar los mecanismos que los han regido.

Distinguiremos en este caso dos categorías de remoción gravitacional en masa, la antigua de mayor importancia, estabilizada desde mucho tiempo, y la reciente y/o actual, menos extendida, más o menos bien definida y compleja.

a) *La remoción antigua de mayor importancia* (Cuadro B4)

Uno de los efectos más espectaculares de la erosión que siguió a las últimas glaciaciones, fue la remoción en masa bajo el peso de sectores extendidos. Ha sido, entre los procesos geomórficos, el más activo en la elaboración de la cuenca.





Se distinguen dos grandes épocas de gran remoción en masa que están en relación con las fases de erosión glacial y torrencial.

Confirman ésto, los deslizamientos de Pampajasi, Jucumarini y Kayu, probablemente acompañaron la primera fase de erosión de la cuenca y de los tres valles del Norte y Este (época Pampajasi).

Es sobre todo después del depósito de las gravas fluvio-glaciales Miraflores, que este fenómeno tuvo un desarrollo más importante (Cuadro B2) : flujos de Tembladerani—Sopocachi, Villa San Antonio (segunda época de erosión), flujos de Achocalla—Mallasa, Llojeta (tercera época de erosión), flujos de Cota Cota—Ovejuyo, Khallapa... (época reciente).

Primera época de erosión (Pampajasi)

La remoción en masa asignada a esta época, aparece actualmente en relieve inverso, es decir bajo la forma de planicies onduladas e inclinadas, tales las de Pampajasi, Jucumarini y Kayu, juntándose regularmente a las pendientes coluviosas. Estos movimientos se han producido después de una fase de erosión glacial y torrencial importante, la topografía antigua (superficie sobre la cual los materiales se han desplazado) mostrando alturas inferiores a 3700 m, a saber una profundización mínima de 400 m al nivel del centro de la cuenca actual de La Paz.

En general, las antiguas superficies de erosión muestran formas bastante regulares y rastros de pequeñas cuencas (bajo los materiales desplazados de Jucumarini, por ejemplo).

La remoción en masa, de tipo deslizamiento, afecta formaciones siempre muy gravosas. Corresponden al reabajado de los depósitos superiores del Altiplano (Milluni, Purapurani y La Paz gravosos).

Se encuentran por otra parte, testigos de remoción en masa muy antiguos, encaramados sobre crestas elevadas, tales los cerros de Allpacoma y Kutukutuni — (3850 á 3980 m) al Sur de Llojeta. Atestiguan que el Altiplano tenía una extensión más amplia hacia el este en esta época.

La formación retrabajada encima de la cresta de Bella Vista, aparece igualmente como un rastro de remoción en masa muy antiguo. Es muy gravosa y tiene un aspecto de flujo de terreno con sectores localizados de gravas torrenciales.

Segunda y tercera épocas de erosión (Post-Miraflores)

Es sobre todo después del depósito de las gravas Miraflores, al retroceso de la última glaciación, que se desarrolló la remoción en masa con mayor importancia.

Se puede suponer que los depósitos del Altiplano no estaban bien consolidados y que los ríos los cortaban profundamente, ocasionando desniveles muy importantes entre el Altiplano y las partes bajas de la cuenca (900 m hacia Aranjuez).

Por otra parte, relieves de falla sobre el Altiplano atestiguan una actividad sísmica (*), y la presencia de discontinuidades en los depósitos favorables a la formación de superficies de rotura de gran remoción en masa.

(*) Se sabe que los terremotos pueden ser el origen de grandes remociones en masa (Chile 1970, por ejemplo).

Se puede estimar a 100 Km^2 la superficie de los terrenos movidos por gravedad que han aparecido desde esta época post-Miraflores. Han tomado formas generales diversas, actualmente muy cortadas por la erosión torrencial y/o subterránea.

Los principales son los flujos más o menos complejos de Apumalla, Pura Pura, Achachicala, Layka, Tembladerani—Sopocachi, Villa San Antonio—Villarroel—Villa Armonía, Alto Obrajes, Bella Vista—Pericall, Wayani Kasa, Aruntaya, Angani, más recientes de Achocalla—Mallasa—Mecapaca y Llojeta que retienen nuestra atención.

• **El flujo de terreno de Achocalla—Mallasa (fig. B7)**

Ya descrito por E. Dobrovoly (*), como un fenómeno excepcional, el flujo de terreno de Achocalla—Mallasa puede dividirse en dos partes :

- La cuenca de Achocalla delimitada aproximadamente hacia abajo por Mallasilla ;
- La lengua o el flujo propiamente dicho de Mallasa—Mecapaca que se desarrolla hasta Mecapaca.

La superficie total de los terrenos desplazados, está cerca de 60 Km^2 . El volumen sería del orden de millones de m^3 (E. Dobrovoly).

Actualmente, la distancia entre los dos puntos extremos es de 22 Km (Achocalla, 3870 m — y Las Carreras, 2860 m). La parte frontal de la lengua parece sumergida por aluviones torrenciales del río La Paz y sus afluentes. De este modo, se puede pensar que habría ido más allá que Mecapaca (fig. B7).

La cuenca de Achocalla tiene una superficie total de 55 Km^2 . La zona de desgarre se desarrolla sobre 20 Km desde el cerro Kotaña (3855 m) al Sur hasta el cerro Allpacoma (3910 m) al Norte. La superficie de los terrenos deslizamientos es de 45 Km^2 (20 Km^2 por la parte de Villa Concepción).

La pendiente mediana de la topografía desde Achocalla (3800 m) hasta Mallasa (3300 m) es de 5,6%.

La lengua se desarrolla sobre 15 Km desde Mallasilla hasta Las Carreras, con un ancho medio de 10 Km. Aunque está muy cortada por los ríos La Paz y Achocalla y no se ve bien su espesor real.

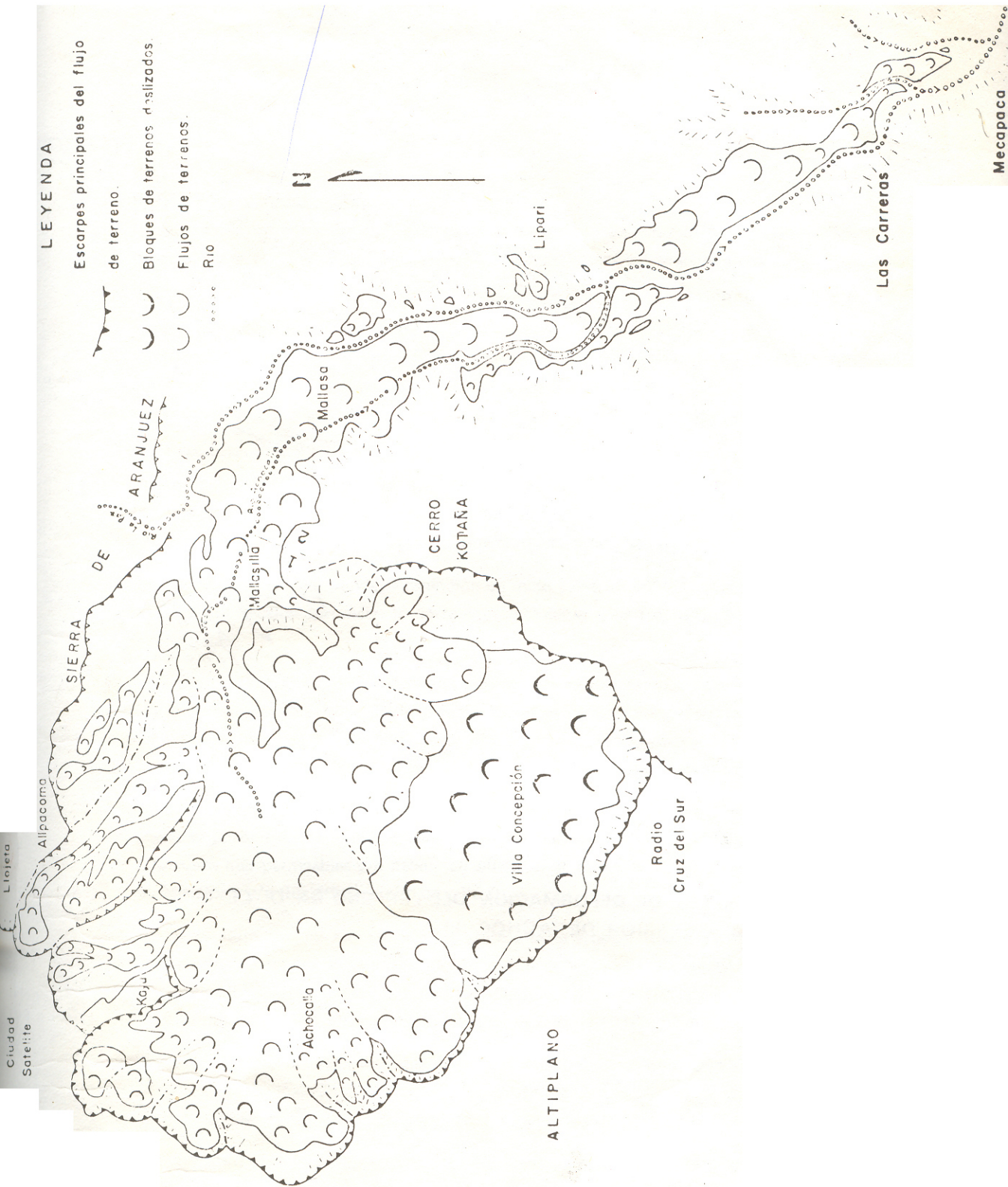
Entre Mallasa y Lipari parece por lo menos de 100 m, y disminuye hacia el frente. La pendiente general de la superficie desde Mallasa (3300 m) hasta Las Carreras (2860 m) es de 3,6%, pero es de 2,2% por el río La Paz.

Esta remoción en masa, de extensión y aspecto espectacular, es de edad post-Miraflores, es decir menor que unos 10.000 años. Se puede suponer que existía antes una red hidrográfica muy desarrollada que ha sido borrada por el deslizamiento de los terrenos re TRABAJADOS.

Los depósitos del Altiplano (formaciones Milluni, Purapurani y La Paz) fueron probablemente removidos en numerosos sectores, como lo atestiguan las sub-cuencas y la forma alveolar del desgarre del Altiplano.

Se puede observar que el re TRABAJADO aumenta desde la cabeza hasta la lengua frontal.

(*) Sociedad geológica boliviana. Bol. N° 12 — 1969.

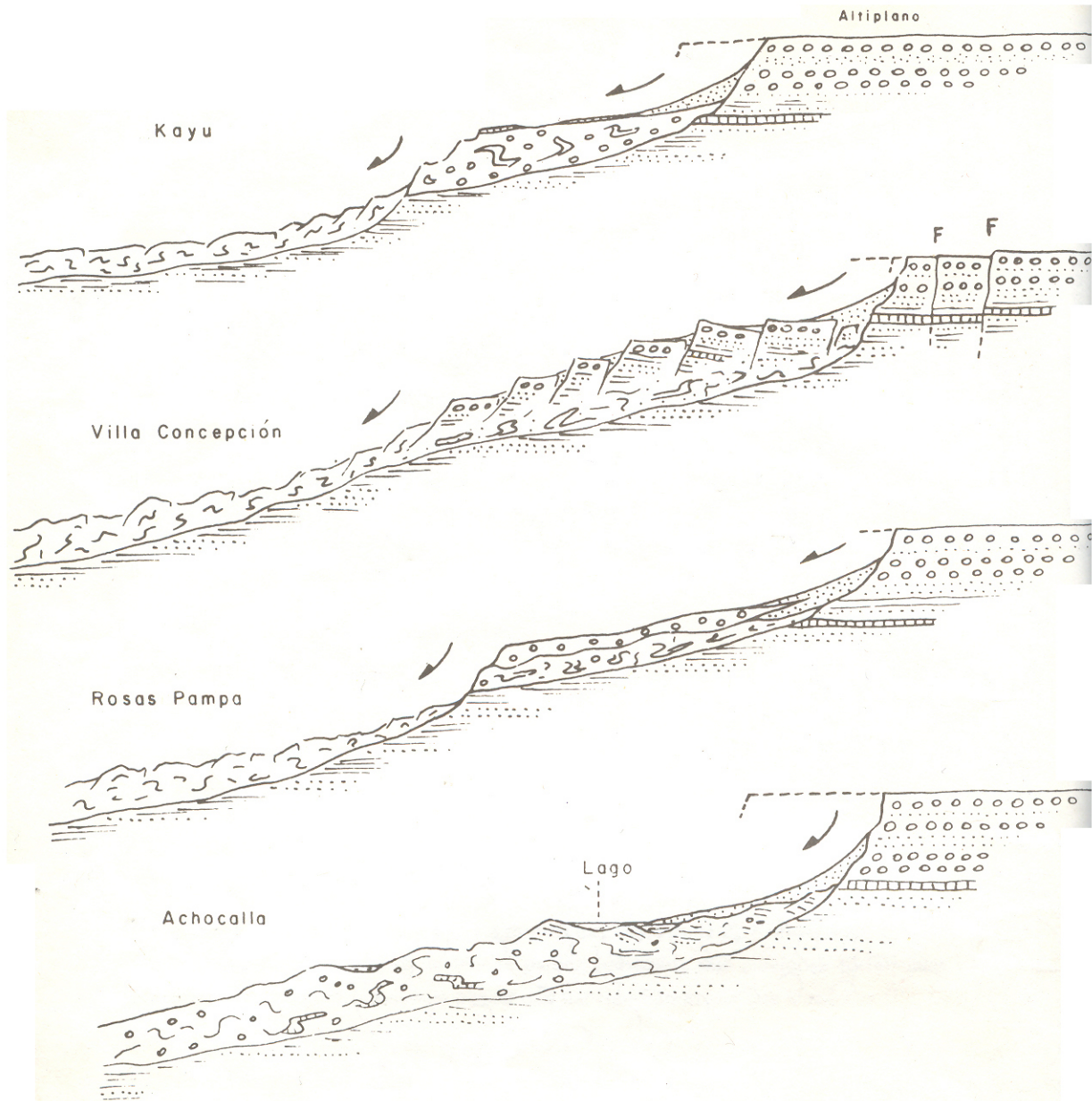


MAPA ESQUEMATICO DEL FLUJO DE ACHOCALLA-MALLASA

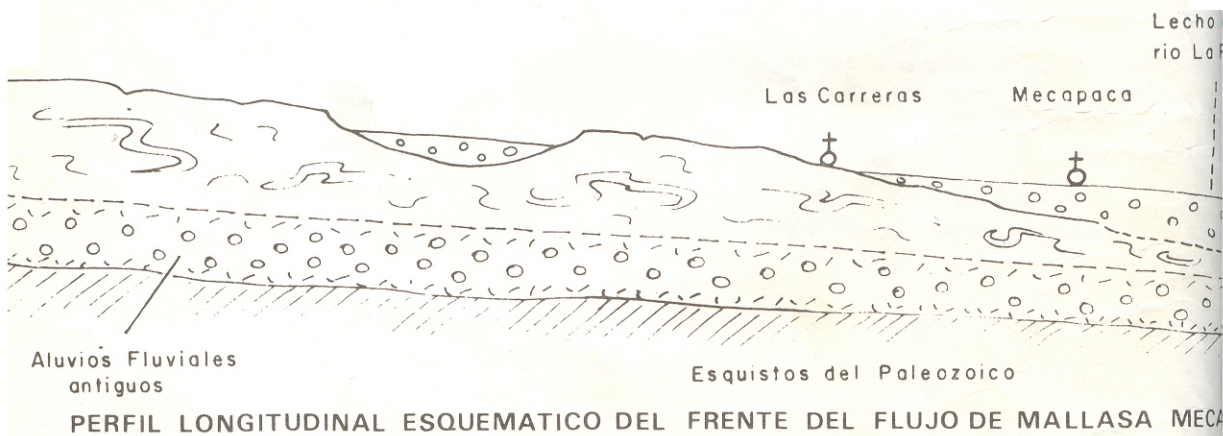
PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

B 7



ESTILOS DIFERENTES DE DEFORMACION DEL TERRENO BAJO EL PESO
EN LA CUENCA SUPERIOR DE ACHOCALLA



PERFIL LONGITUDINAL ESQUEMATICO DEL FLUJO DE TERRENO DE ACHOCALLA



PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
IAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

B8

En la parte superior de la cuenca de Achocalla, se encuentran paquetes de terrenos estratificados, deslizados en masa. Se nota por los resaltes y los abombamientos cortados frecuentemente hacia abajo por escarpes abruptos.

La planicie extendida y accidentada de Villa Concepción estaría constituida de grandes bloques basculados, cuyos desplazamientos no alcanzan 1 Km. La presencia de esta unidad, bien distinta, no se puede asimilar al deslizamiento antiguo de Kayu al Norte. Parece más una extensión de la cuenca de Achocalla, según discontinuidades tectónicas (fallas), contemporánea de los desplazamientos responsables del flujo de Mallasa (fig. B8).

Más abajo, los terrenos removidos aparecen sin estructura, donde todos los depósitos del Altiplano se los reconoce mezclados (limos predominantes, arcillas, gravas, cinerita). Sin embargo, se pueden encontrar paquetes cuya estratificación está más o menos perturbada, y que han sido trasladados por el flujo.

A partir de Mallasilla, lugar donde la remoción en masa toma un aspecto de flujo, la erosión se vuelve muy espectacular. La erosión torrencial lo corta profundamente ; los ríos actuales constituyen, de este modo, drenes naturales.

Es sobre todo, el efecto del desarrollo de la erosión interna que es poco común. El camino entre Mallasilla y Mallasa muestra sectores muy entrecortados donde se observa numerosos pozos, chimeneas, cavidades y túneles (valle de la Luna, por ejemplo). Este tipo de erosión se ha desarrollado en un material con bastantes clastos finos, por ablación de éstos, en profundidad por las corrientes de agua subterránea.

Los sectores particularmente afectados se extienden desde Mallasilla hasta la quebrada Kollpa Jahuira. Este fenómeno se puede explicar por la existencia, al origen de escurrimientos de agua dentro del flujo a favor de zonas gravosas más permeables y/o debajo en aluviones de tipo fluvial, sobre los cuales se ha movido el flujo (gravas Miraflores y/o fluviales de piso de valle ?).

Elementos de flujo que no han sufrido los efectos de la erosión interna están lejos de la influencia de las corrientes subterráneas, tales como los que están directamente sobre el substratum paleozóico impermeable, o sobre gravas fluviales colmatadas por finos. Puede ser el caso de la lengua frontal desde Huajchilla, que además presenta un encajonamiento de los ríos menos profundo (10 a 40 m).

Actualmente, el flujo presenta un aspecto general de planicies de extensión muy variable, aisladas por los cortes de ríos (principalmente Achocalla y La Paz). En ciertos lugares se observan remanentes sobre las pendientes paleozóicas del valle (ladera izquierda, hacia arriba de Lipari, por ejemplo).

Con esta amplitud excepcional, es difícil de imaginar el movimiento. Se puede suponer solamente que el material estaba bastante fluido como lo atestiguan las planicies regulares y poco inclinadas, la invasión de los valles afluentes al mismo nivel, y la longitud de la unidad.

La iniciación de la remoción en masa en la zona de arranque, se ha producido probablemente en un intervalo de tiempo relativamente breve, quizás en relación con terremotos (?). El flujo se habría desarrollado durante meses, y su estabilización completa después de unos años (*). Una sucesión de remoción en masa alimentando un flujo durante años, parece menos probable porque la erosión torrencial no habría permitido una

(*) Esta vista está deducida de observaciones de fenómenos similares, pero con menos importancia. Eso tiene solamente valor de hipótesis.

progresión tan larga, y el lago de Aranjuez no habría sido tan importante y profundo.

El piso del valle del río La Paz, al momento de su invasión por el flujo, tenía terrazas aluviales (Miraflores), cortadas profundamente por los ríos, como lo atestiguan los depósitos lacustres que se encuentran hasta el nivel actual del río La Paz hacia Aranjuez. Quizás también, el nivel de base estaba más bajo 10-20 m (?). Lo cierto, es que el curso no era el mismo que el actual, sino un poco más hacia el sur, debajo de Mallasa, al nivel del eje longitudinal del flujo. Se observa en efecto, que los materiales lacustres y del flujo están en la margen derecha, río abajo del puente de Aranjuez.

Por otra parte, los restos de depósitos lacustres, nos enseñan que el valle del río La Paz (y sus afluentes en la margen derecha) no era muy diferente del actual en el sector de la garganta de Aranjuez.

• **El flujo de terreno de Llojeta (fig. B9)**

Constituye una unidad bastante individualizada en una cuenca de unos 6 km². ubicada al Sur de Tembladerani y Sopocachi.

El flujo principal que se desarrolla desde el borde del Altiplano hasta Obrajes, sobre casi 4 km de longitud cubre una superficie de más 3 km². Su ancho varía entre 600 y 800 m. La lengua frontal está cortada por el río Choqueyapu sobre 1,3 kilómetros.

Se puede apreciar su volumen en 150-200 millones de m³. El escarpe principal se desarrolla desde Allpacoma hasta Jucumarini sobre 1,5 km. Su espesor sobrepasa 80 m, incluso 100 m al nivel del lecho antiguo del río Llojeta.

El desnivel entre el Altiplano y Obrajes es de 740 m. La pendiente media de su superficie es de 14% desde Llojeta Alto (3850 m) y el escarpe que domina el río Choqueyapu (3400 m). Entre 3850 m y 3950 m la pendiente media es de 25%. Más arriba aumenta hasta el péu del escarpe principal (farrellón).

Se observa a lo largo de sus laderas numerosos testigos de flujos antiguos, frecuentemente en inversión de relieve son testigos de remoción en masa más antiguos en una cuenca de nivel de base más alto (50 m) cortando el deslizamiento de Jucumarini poniéndolo en relieve.

También pueden observarse numerosos terrenos movidos más recientes que el flujo principal, que no están todavía estabilizados. Se ubican sobre todo al Sur, rebajando la cresta de Allpacoma—Kutukutuni. Se ven aquí de verdaderos deslizamientos de masas de terrenos sobre sectores extendidos (superiores a 1 km) donde se distinguen bloques de formación La Paz, con la cinerita Chijini, de más de 100 m de altura.

Hace algunos decenios, se han producido desplazamientos ; éso está atestiguado por la juventud de la superficie de rotura en la ladera, muy regular, de la serranía (fig. B9).

Es muy probable que el flujo principal sea contemporáneo del flujo de Achocalla-Mallasa y por esas circunstancias de su aparición son similares.

El flujo retrabaja las formaciones gravosas Milluni y Purapurani y más finas de " La Paz " con la cinerita Chijini. Se observa que los materiales no son los mismos a lo largo del flujo. Son más gravosos hacia arriba y los finos predominan hacia el pé. Eso conduce a pensar en roturas sucesivas, las primeras afectando la formación La Paz, o bien a una remoción en masa cuya serie litológica ha girado.

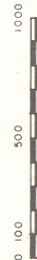
EL FLUJO DE TERRENO DE LLOJETA

- DESPLAZAMIENTOS ANTIGUOS DE JUCUMARINI Y KUTUKUTUNI
- REMOCION EN MASA ANTIGUA DE LLOJETA
- FLUJO DE LLOJETA
- REMOCION EN MASA DE TEMBLADERANI SOPOCACHI Y EL MAGISTERIO
- FLUJO E COTAHUMA
- DESPLAZAMIENTOS MAS RECIENTES Y ACTUALES
- GRAVAS MIRAFLORES
- ALUVIOS FLUVIALES ANTIGUOS
- COLUVIOS
- DESPLAZAMIENTO DE JUCUMARINI
- DESPLAZAMIENTOS ANTIGUOS DE LLOJETA
- FLUJO DE LLOJETA
- REMOCION EN MASA MAS RECIENTE

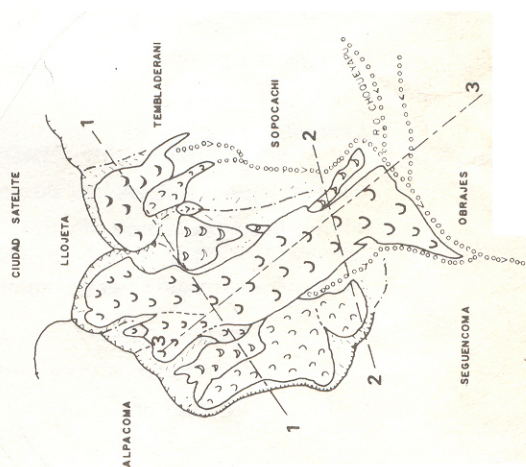
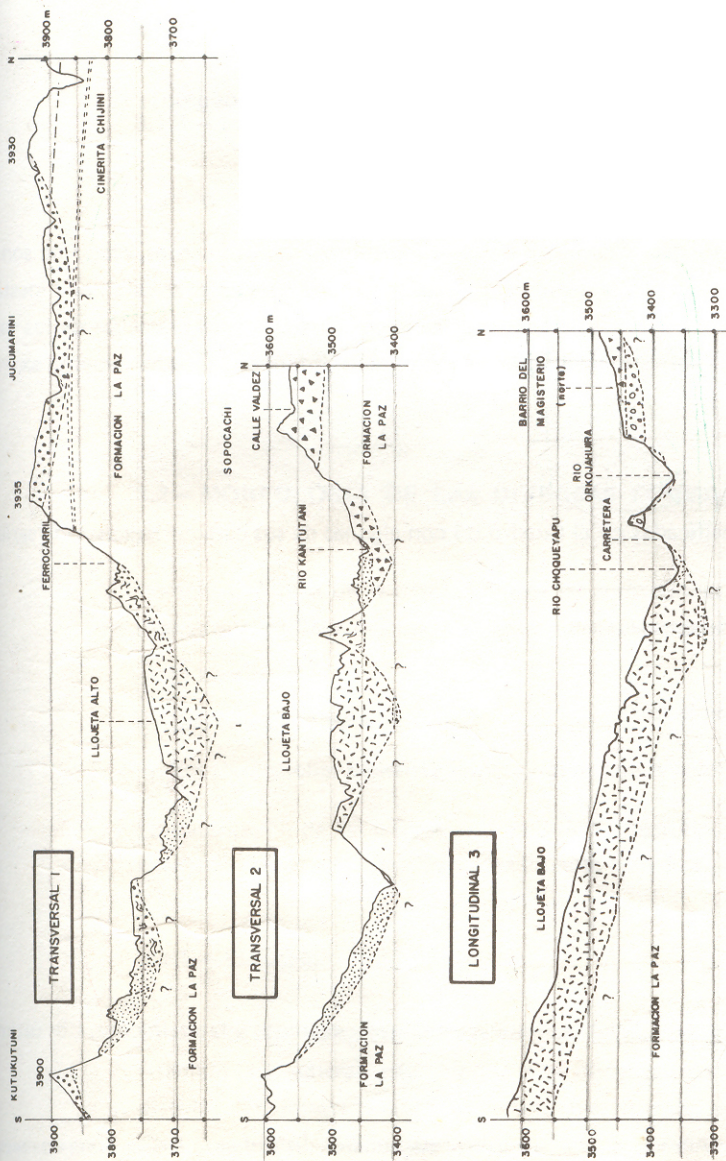
Plan de desarrollo urbano Ciudad de La Paz
Honorables Alcaldes Municipales Ciudad de La Paz
Consultoras BRGM BCEOM

ESCALA DE LAS SECCIONES

1:20000



B9



Esta variación litológica está marcada por la erosión. En los materiales gravosos la red hidrográfica poco corta planicies onduladas. En los materiales con predominancia de finos, la red se vuelve dentrítica a favor de una erosión interna importante. Esto se traduce por sectores caóticos donde se encuentran numerosos túneles ("pseudo-karst"). Esas zonas se han desarrollado al pie del flujo sobre 0,5 km².

Esta ubicación particular muestra que, aparte de las condiciones litológicas, había circulaciones subterráneas en el origen (en aluvios fluviales enterrados del río Choqueyapu) y que, como en el caso de Mallasa, la erosión del material, facilitada por la presencia de zonas gravosas, era más fuerte que la colmatación (fig. B5).

Entonces, parece que la planicie de Llojeta se ha formado por alternancia de fases torrencial bajando el nivel de base, y de remoción en masa acumulando terrenos trabajados en el fondo a costa de la planicie de Jucumarini y del Altiplano (*).

b) La remoción reciente y/o actual (Figura B6)

Se pueden separar todos los movimientos gravitacionales de masas de terrenos en dos grupos :

- Las remociones simples.
- Las remociones complejas.

Las remociones simples cuyo modo de desplazamiento es único (derrumbe, deslizamientos, etc...) no son tan frecuentes como las complejas que traducen una evolución escalonada en el tiempo, de una zona inestable hacia arriba y/o lateralmente. De este modo llegamos a una superposición y una imbricación de los movimientos que borran poco a poco los procesos elementales de deposición. El fenómeno, generalmente extendido, se vuelve complejo.

Las remociones simples

Las remociones simples han sido clasificadas en el Cuadro B4 con algunas de sus características. Una serie de dibujos ilustra cada caso (fig. B6).

Distinguiremos siete tipos de remoción en masa :

- los derrumbes,
- los hundimientos y asentamientos,
- los deslizamientos,
- los flujos de tierra,
- la reptación,
- la solifluxión,
- las mazamoras.

Las remociones complejas

Los movimientos pueden ser de tipos muy diversos, desde encima hacia el frente y lateralmente. Los últimos

(*) Según los testigos geomorfológicos de Allpacoma, se puede pensar que el borde del Altiplano llegaba hasta este sector, es decir 1 km a 1,5 km más hacia el Sur Este del borde actual, en la primera época de erosión (Pampajasi).

son generalmente flujos que se superponen y/o se imbrican para ocasionar una lengua que se estira en un valle. En medio de zonas en movimiento, aparecen frecuentes bloques deslizados o islotes de terrenos “ *in-situ* ” (fig. B6).

3.1.6 — Los pseudo-kársts

Las formaciones geológicas retrabajadas como los flujos de terrenos antiguos (Achocalla—Mallasa, Llojeta, Angani) presentan paisajes dentados espectaculares, de tipo “ kárstico ”, con sumideros, pozos, cárcavas, túneles, crestas cortadas, dientes, chimeneas. Este aspecto es debido a la erosión, por las aguas subterráneas, que se produce por ablación lenta de las partes finas del terreno en profundidad y, en segunda fase, por el arrastre de materiales en los canales subterráneos (túneles) y pozos naturales que se han establecido (fig. B10).

3.1.7 — Las fallas recientes

Las fallas son las que han ocasionado desniveles en el Altiplano, es decir que traducen una actividad sísmica de edad inferior a los últimos depósitos del Altiplano.

Los taludes tienen una desnivelación bastante débil, de unos metros hasta 15 metros.

En los relieves abruptos, las fallas recientes se traducen frecuentemente por depresiones y cortes en las crestas.

3.2 — MORFOLOGIA DE LAS DIVERSAS FORMACIONES GEOLOGICAS DE LA CUENCA

Como en el caso de la descripción de las formaciones geológicas de la cuenca, las descripciones geomorfológicas pueden hacerse a partir de las siguientes unidades :

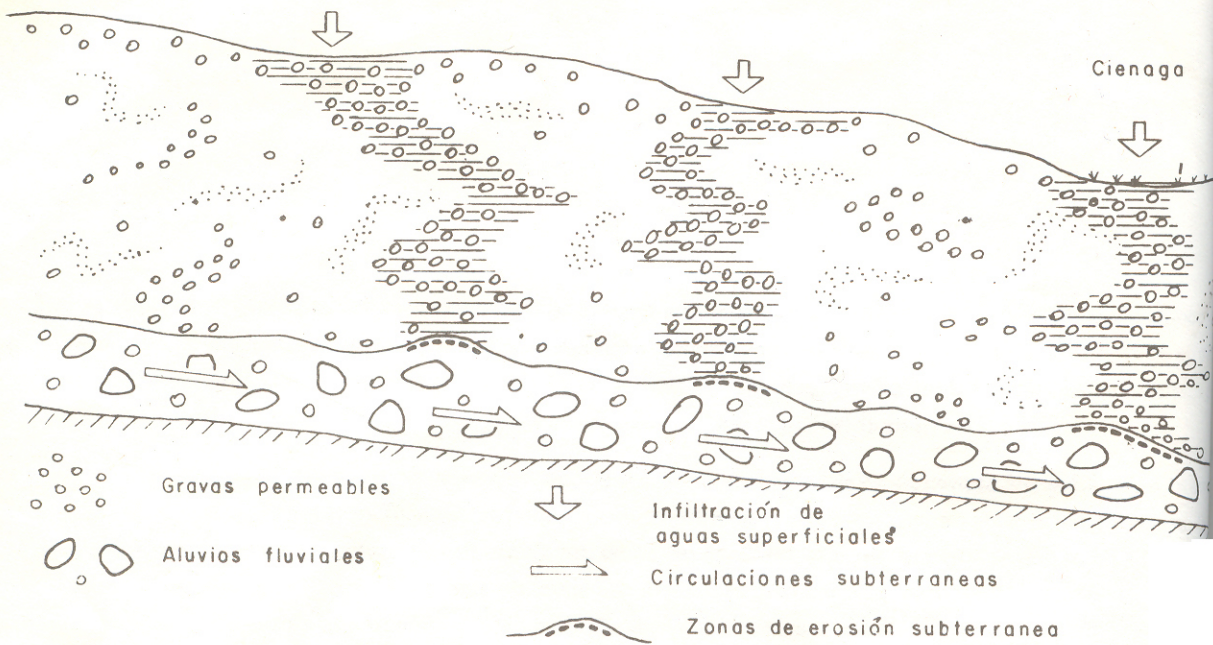
- El zócalo.
- Los depósitos del Altiplano.
- Las formaciones recientes, contemporáneas a la formación de la cuenca.

La descripción de las formas así como de los factores que las afectaron, están indicadas en el Cuadro B5 que resume las observaciones efectuadas durante el mapeo geológico, para interpretarlas y permitir comparaciones.

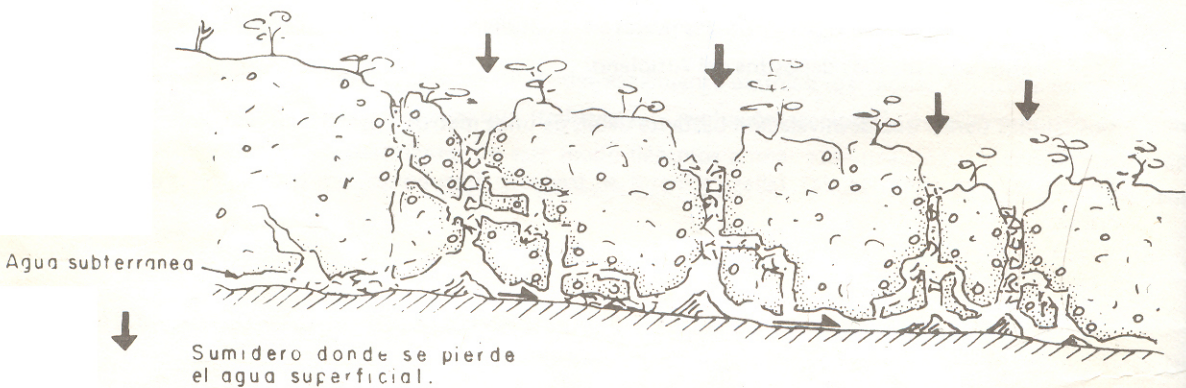
3.2.1 — El zócalo

El zócalo está constituido en la cuenca de La Paz y Achocalla por el Devónico Sica Sica y la formación Aranjuez. En general, estas formaciones presentan un relieve abrupto con serranías altas de forma alargada y distribuidas irregularmente, en parte fuertemente desgastadas por la erosión (serranías de Aranjuez, Chiarjaque, Mallasilla, Lipari y Mallasa).

a. CIRCULACIONES SUBTERRANEAS RESPONSABLES AL ORIGEN DE LA EROSION INTERNA



b. ASPECTO ACTUAL DE LAS CIRCULACIONES SUBTERRANEAS RESPONSABLES DE LA EROSION INTERNA EN EL FLUJO DE TERRENO DE ACHOCALLA



c. EROSION EN CASCARAS QUE SIGUE LAS ZONAS DE EROSION SUBTERRANEA TUNELES JALONADOS POR SUMIDEROS

Perfil transversal

Vista en plano



ETAPAS DE FORMACION
DE LOS PSEUDO-KARSTS



PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

B 10

Se observan pendientes fuertes que muestran en algunos casos farellones casi verticales (serranía de Aranjuez), disectados por quebradas que los bifurcan y hacen ver que la erosión externa ha actuado en forma más intensa en relación a la interna.

Estas serranías se hallan también separadas por extensos valles longitudinales (valle del río La Paz, garganta de Aranjuez), en las que se observan paredes casi verticales de hasta 100 m de altura.

Una característica que resalta en la configuración, especialmente del Paleozóico, es la presencia de sales solubles de color blanco, las que contrastan en color con las lutitas negras. Estas lutitas, muy alteradas en superficie, en sectores muestran escarpes de deslizamientos y pequeños flujos de tierra en sus flancos. Así también en estas formaciones del zócalo, se notan escombros de cierta magnitud diferenciados por su aspecto cáotico, como los ubicados en la parte E del río La Paz (faldas de la serranía de Chiarjaque).

3.2.2 – Los depósitos del Altiplano

Los depósitos del Altiplano están representados por formaciones glaciales, fluvio-glaciales y lacustres.

La **formación La Paz**, ampliamente difundida en la cuenca, se caracteriza por formar serranías cortadas que sobresalen en el paisaje (regiones de Achocalla, Llojeta, Achumani, Irpavi) con fuertes pendientes disectadas por la acción pluvial y torrencial que muestran en sectores como Achocalla, crestas dentadas y quebradas profundas con paredes de color gris blanquecino a canela.

Una característica importante de la **formación La Paz** es la de estar afectada por diversos procesos de remoción en masa, tales como : deslizamientos, derrumbes y flujos de tierra (Viscachani, Achachicala, Tembladerani, Santa Bárbara, Diudad del Niño, ferrocarril La Paz—Beni, etc. – Cuadro B4).

Resalta en la superficie de toda la cuenca, la capa de ceniza volcánica blanquecina llamada **cinerita Chijini**, que por su espesor constituye una franja más o menos marcada (región de la Autopista frente a Achachicala, quebradas Pokeni y Santa Rosa por encima del ex-ferrocarril al Beni, Villa Concepción, Tembladerani, Achocalla, etc.).

La formación Calvario, al Norte de la cuenca, en gran parte de su desarrollo presenta farellones verticales, como se observa en los sectores de Viscachani, Achachicala, Lazareto, etc.

También resalta en el paisaje, el relieve de la **formación Purapurani** cortado por las aguas superficiales, de la misma manera que la formación La Paz gravosa (Pokeni, Kora Kora, valles de Chuquiaguillo, Khallapa, Achumani,...). En muchos sectores se observan relieves abruptos con cañadones profundos y angostos, generalmente denominados barrancos (quebrada Lococora, por ejemplo). Es frecuente en esta formación gravosa, la caída de bloques, los que al disgregarse y mezclarse con agua producen mazamorra que participan, directamente, en la formación de los abánicos torrenciales.

Los depósitos más recientes del Altiplano están constituídos por la formación Milluni, y se presentan a lo largo de la cuenca formando farellones con cortes profundos sectores (Llojeta, Allpacoma,...).

3.2.3 – Los depósitos contemporáneos a la formación de la cuenca

- **La remoción en masa antigua**

Los flujos de tierra y los deslizamientos de terreno antiguos, presentan una morfología por lo general suave que las formaciones precedentes.

Estos se observan en numerosos lugares como planicies onduladas (Pampajasi, Jucumarini, Achocalla, U Villa Salomé) con alturas y depresiones, con lagos sin drenaje (Achocalla), limitadas por farellones o caóticas que son objeto de la erosión superficial y/o subterránea.

Sobre esos movimientos, de extensión muy grande, se desarrolla una red hidrográfica profunda que cubre planicies dando lugar a sectores aislados (mallasa, Achocalla, Llojeta). En ciertas zonas, se observa muy los efectos de la erosión interna : huecos, pozos, embudos, entradas de cavernas o túneles (Parque Municipal de Mallasa y Mallasilla, por ejemplo).

- **Formaciones fluvio-glaciales**

Se presentan en terrazas poco inclinadas y cortadas por los ríos actuales (centro de la ciudad, O Seguencoma, Irpavi, Achumani).

- **Depósitos lacustres**

Aparecen en los cortes de ríos con un relieve idéntico al de la formación La Paz, fina *in-situ* o remanente (Serranía de Aranjuez).

- **Depósitos glaciales**

No presentan las formas típicas de las morrenas que se encuentran en la Cordillera Real, y se manifiestan solamente con abombamientos locales y bloques (valles de Kaluyo y de Chuquiaguillo).

- **Depósitos fluviales**

Estos depósitos actualmente forman llanuras con pequeñas irregularidades topográficas que resaltan el piso de los valles.

- **Escombros de pie de talud y coluvios**

Se presentan con un relieve suave, cortado por quebradas, efecto de la erosión regresiva sobre las laderas (valles de Achachicala, Kaluyo, Chuquiaguillo y Khallapa).

- **Remoción gravitacional de terrenos — reciente y/o actual**

Este tipo de remoción se clasifica según el tipo (derrumbe, deslizamiento, flujo de tierra, hundimiento, mazamorra, etc.) y tiene aspectos muy diversos, como se presenta en el capítulo anterior.

Se encuentra en las márgenes de los ríos, de las quebradas y afecta considerablemente las formaciones sedimentarias antiguas (ejemplo, partes inferiores de los flujos de Achocalla, Llojeta o Cota Cota).

3.3 – EL MAPA GEOMORFOLOGICO

Las formas de relieve no son efecto del azar, más bien traducen el comportamiento diferencial de los terrenos con la erosión y dan información sobre su naturaleza, su permeabilidad, su grado de consolidación, su homogeneidad, su alteración ; en resumen, sobre numerosas características geotécnicas.

La finalidad del mapa geomorfológico fue la de transcribir, bajo forma de dibujos y símbolos, las diversas formas en relación con la geología y los procesos geomórficos dinámicos. La figura B4 presenta un mapa muy simplificado y sintetizado de los mapas a 1:10.000 elaborados durante el estudio.

Se trata de un documento esencialmente descriptivo, indispensable para elaborar el mapa de riesgos y restricciones naturales, y el mapa geotécnico.

4. NEOTECTONICA Y SISMICIDAD

Para tener una mejor comprensión de la sismicidad de la región de La Paz, era muy necesario conocer bien las fallas recientes que afectan los terrenos de esta región.

Es por esta razón que se ha previsto hacer un estudio de Neotectónica, es decir el estudio de las deformaciones (generalmente fallas) que afectan los terrenos del Plioceno y del Cuaternario.

Un análisis de las crónicas históricas de La Paz y de la sismicidad registrada en una época más reciente permitieron precisar si existe una relación aparente entre los movimientos neotectónicos y la actividad sísmica de la región, de manera que se pueda definir el riesgo sísmico en La Paz.

4.1 – DESCRIPCION DE LA DEFORMACION DE LOS TERRENOS

Para comprender la historia tectónica reciente de la región de La Paz, es necesario distinguir las estructuras que han afectado los terrenos anteriores a la deposición del Plioceno, de las estructuras que afectan los terrenos del Plioceno y del Cuaternario.

Por esta razón, se tratará en primer lugar de las deformaciones afectando los terrenos antepliocenos después de las varias deformaciones que afectan al Plioceno y al Cuaternario.

4.1.1 – Las deformaciones andinas del zócalo ⁽¹⁾

Exceptuando las deformaciones hercénicas muy antiguas, se puede decir que las estructuras andinas que afectan los terrenos antepliocenos corresponden esencialmente a fallas inversas ⁽²⁾, las cuales en la zona de Aranjuez ponen — en contacto anormal — las rocas del Siluro Devónico sobre las del Cretácico (fig. B11).

Estas fallas que tienen una dirección general NW—SE, corresponden a una compresión según el sentido NW—SE y pueden estar acompañadas de bosquejos de pliegues más o menos de la misma dirección.

Además, las fallas de desplazamiento de rumbo, de direcciones N.NE—S.SW (dextrales), y de direcciones E.NE—W.SW (sinistrales) que se observan en el zócalo, pueden ser fallas hercénicas que han reactuado al curso de las primeras fases andinas, porque afectan los terrenos cretácicos además de los terrenos hercénicos (mapa geológico a escala — 1:1.000.000 según C. Martínez — 1975, y observaciones personales).

4.1.2 – Las deformaciones plio-cuaternarias y consideraciones generales (fig. B12)

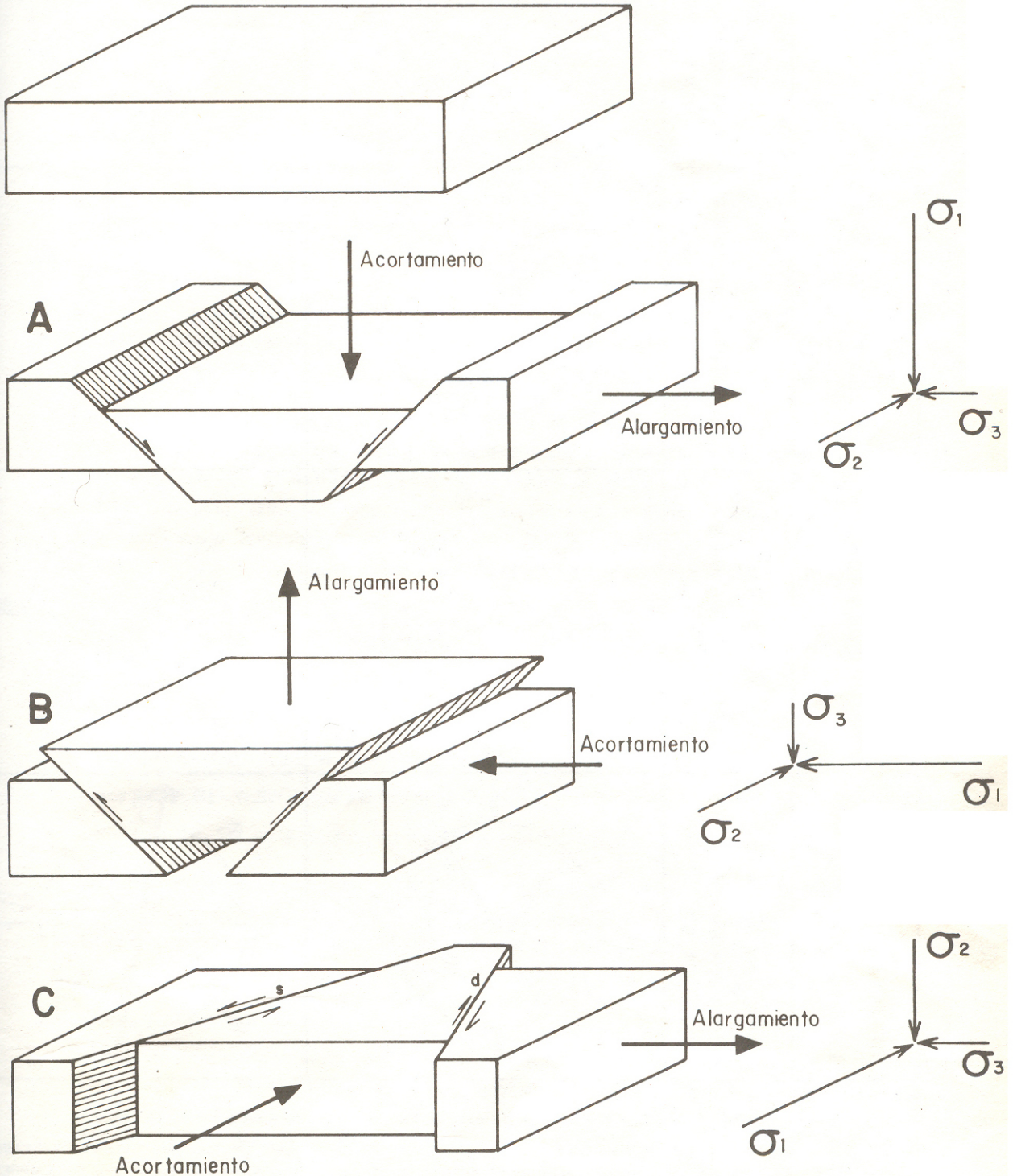
Para resumir la historia neotectónica del sitio de La Paz, se puede decir que las deformaciones recientes han afectado los terrenos pliocuaternarios, son cronológicamente las siguientes (ver fig. B2).

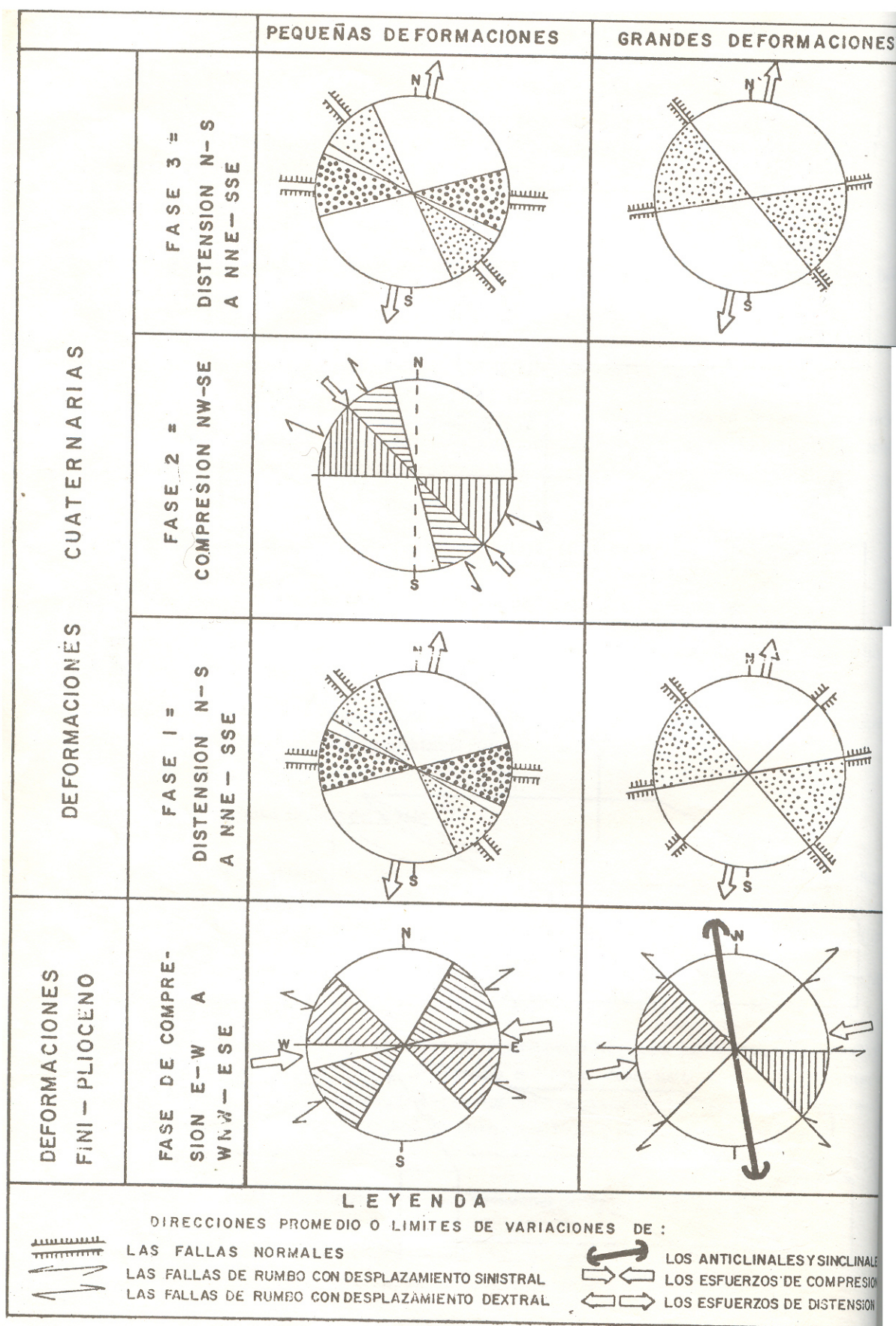
(1) Entendemos por zócalo los terrenos anteriores al Plioceno.

(2) Para la definición de los tipos de fallas, empleada en este informe, ver la figura B11.

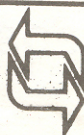
- A = Fallas normales.
 B = Fallas inversas.
 C = Fallas de rumbo. (s = sinistral; d = dextral)

Las direcciones teóricas de los esfuerzos principales ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) están indicadas además de las de acortamiento y de alargamiento correspondientes.





LAS DEFORMACIONES NEOTECTONICAS DE LA ZONA DE LA PAZ



PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

B1

En el Plioceno :

- Una fase de compresión horizontal N—S que produjo en la formación La Paz, microfallas inversas poco frecuentes y de rumbo E—W hasta W.NW—E.SE. Es difícil precisar la edad relativa de esta fase de poca intensidad. Estas microfallas se encuentran en Ovejuyo, Llojeta, en el camino de Villa Concepción al Altiplano, en el río Kantutani y en la serranía de Aranjuez (cerro Challaloma).

Al fin del Plioceno :

- Una fase de compresión horizontal E.NE—W.SW que afectó la formación La Paz y produjo pliegues NS a NW—SE y fallas de desplazamiento de rumbo. Las direcciones de las mismas son NE—SW para las fallas dextrales y W.NW—E.SE (E—W hasta NW—SE) para las fallas sinestrales.

Las grandes fallas más espectaculares de los alrededores de La Paz están ubicadas en el Altiplano, al cual afectan en su superficie actual. Estas fallas se disponen frecuentemente en escalones. Las situadas más al Norte están cerca de El Alto (fig. B2) ; se pueden seguir de Allpacoma (Llojeta) hasta el aeropuerto de El Alto y Río Seco. Otra falla importante de características similares, se observa en el Altiplano desde Amachuma hasta Jokomisto, pasando por Junthuma Pampa, Chijini Grande y Mercenario. Al NE de Amachuma, cerca de Radio Cruz del Sur, existen también fallas escalonadas que se alinean desde Amachuma Pampa hasta la Ceja Uyupa (camino del Altiplano a Villa Concepción).

En las cuencas de La Paz y Achocalla existen también numerosas fallas o alineamientos del mismo origen :

- la falla del cerro Kutukutuni (cerca de Allpacoma),
- una falla ubicada al W de Alto Seguencoma,
- una falla E—W ubicada al SE de Aranjuez,
- una falla E.NE—W.SW, situada al Sur de La Florida,
- una falla NE—SW en la margen derecha del río Irpavi.

De la misma manera, la formación La Paz está afectada por pliegues de poca intensidad. Los pliegues que se observan mejor, están ubicados en el valle del río Achumani o al Este de este río, en la margen derecha del río Irpavi. Además, al W de Kayu, la cinerita Chijini está plegada en su flanco Oeste, estando el otro flanco perturbado por las fallas de Villa Santiago—Aeropuerto de El Alto.

Durante el Cuaternario :

- Una fase de distensión horizontal N.NE—S.SW posterior al depósito del Purapurani (y posiblemente del Milluni inferior) y anterior a las gravas del techo del Altiplano. Esta fase produjo fallas normales de dirección promedio W.NW—E.SE que puede variar hasta NW—SE y E.NE—W.SW, y fallas mucho menos frecuentes de dirección NE—SW.
- Una fase de compresión horizontal NW—SE de edad posterior al flujo de terreno de Achocalla y que ha producido fallas de desplazamientos de rumbo, cuyas direcciones están N—S a NW—SE (fallas sinestrales) y E—W a NW—SE (Fallas dextrales).
- Una nueva fase de distensión horizontal N.NE—S.SW posterior a la última fase de compresión y al flujo de terreno de Achocalla. Las deformaciones de esta fase tienen las mismas características geométricas que la fase anterior de distensión.

Las fallas normales del Altiplano, que se presentan muchas veces en escalón, afectan las gravas del techo del Altiplano y provocan un desnivel de la superficie actual de esta meseta. Es el caso del escalón de fallas que continúa desde Allpacoma y el NW de la serranía de Huancarani hasta el río Seco donde se ven rechazos de las gravas hasta 10 ó 15 m (cerca de Allpacoma) o desplazamientos de más de 50 m (gravas Purapurani entre Allpacoma y Llojeta). Las fallas de Radio Cruz del Sur, y la que continúa de Amachuma hasta Junthun Pampa y el ferrocarril La Paz—Guaqui, presentan rechazos de sólo algunos metros.

Se encuentran también fallas del mismo tipo al borde de Achocalla (no afectan las gravas del techo del Altiplano) y en Huaripampa (afecta el nivel cuarto de erosión).

En la cuenca de La Paz existen fallas normales que afectan la cinerita Chijini en el río Chuquiaguillo, cerca de la planta eléctrica. Se ven también fallas normales de misma dirección en el fondo del río Khallapa, al W de Bolognia y al Norte de Alto Obrajes, en Alto Seguencoma (con extensiones aproximadas de 1 km) y en el río Allpacoma (entre el cerro Allpacoma y el río Achocalla).

Por fin, los terrenos del zócalo (Cretácico y Paleozóico) de la serranía de Aranjuez están separados frecuentemente de la formación La Paz por fallas normales cuyo rumbo varía alrededor de la dirección E—W.

Así, en la región de La Paz las deformaciones más frecuentes afectando el Cuaternario, son las fallas normales correspondientes a una distensión N.NE—S.SW, y por una parte al asentamiento diferencial de la serie pliocena.

La fase de compresión que se produjo justo antes de la segunda fase de distensión, ha dado deformaciones que no son absolutamente incompatibles con las deformaciones de distensión.

Las fallas de rumbo de la compresión NW—SE implican una distensión horizontal según un sentido NE—S.W. próximo del sentido N.NE—S.SW, de la distensión de las fallas normales. Además se puede subrayar que la falla W.NE—E.SE, ubicada en $x = 590,45$, y $y = 8164,25$, y afectando un mojón alargado de piedras debido a la actividad humana ; presenta a la vez características de estos dos sistemas de deformación : movimiento de desplazamiento dextral, y movimiento normal con rebajamiento del lado norte.

Sin embargo, también debemos tomar en cuenta que una parte del rechazo de estas fallas, puede ser debido al asentamiento de la serie pliocena ubicada entre los terrenos levantados del zócalo.

La serie pliocena tiene en Achocalla y en La Paz, más de 500 m de espesor, mientras que al nivel de la serranía de Aranjuez su espesor es de aproximadamente 400 m. Al Sur de la falla de Amachuma, la formación Umala equivalente lateral de la formación La Paz presenta menos de 100 m de espesor.

La compactación de los sedimentos pliocenos acompañada de expulsión del agua de sedimentación, ha respondido verdaderamente a asentamientos de importancia, según el espesor de la serie sedimentaria iniciada. Este asentamiento diferencial que se ha producido en el curso del Cuaternario, puede ser responsable de la actuación de las fallas normales cerca de los afloramientos del zócalo.

La predominancia en el Cuaternario de los fenómenos de distensión, está de acuerdo con la publicación reciente (1976) de Megard y Philip. Estos autores subrayan las diferencias que existen en el tipo de deformación superficial a ambos lados de la zona de Pisco—Abancay, a lo largo de la cual se produce una deflexión de la orientación general de la cadena andina : al Norte de esta zona se producen actualmente deformaciones superficiales de compresión ; al Sur se producen deformaciones de extensión o distensión (fig. B11).

Estas diferencias en las deformaciones superficiales estarían de acuerdo con el buzamiento más o menos grande del plano de Benioff, a lo largo del cual se produce la subducción de la placa oceánica de Nazca, debajo de la placa continental de América del Sur.

4.2 – SISMICIDAD DE LA REGION DE LA PAZ

4.2.1 – La sismicidad a la escala del continente

Los catálogos internacionales de sismos, permiten dibujar mapas que comprenden la totalidad o una gran parte del continente Sur Americano (*).

El mapa de Barazangi M. e Isacks B.L. (1976) — (fig. B13), muestra que los sismos superficiales (de 0 m hasta 70 km de profundidad) se sitúan cerca de la costa del Pacífico, y que los sismos intermedios (entre 71 y 320 km de profundidad) están ubicados al E de esta costa, debajo de las cordilleras andinas. Alineamientos de sismos profundos (más de 500 km de profundidad) se sitúan más al Este o al NE de los precedentes.

También existen sismos superficiales adentro de las cordilleras andinas.

Los catálogos de Gutenberg—Richter, y de Rothé, completados por las indicaciones contenidas en la publicación de 1973 de Descotes y Cabré, han permitido hacer un mapa de ubicación de los principales sismos situados dentro de un radio de 500 km alrededor de La Paz (fig. B14).

Este mapa, que precisa el precedente, muestra además que los sismos importantes — los más próximos a La Paz — están ubicados por una parte a 100 km (o menos) al Norte de La Paz en la región de Sorata, Mapiri y Comata, y por otra parte, a 200 km más o menos al S y al SE de La Paz, en las regiones de Cochabamba y de la frontera con Chile. Estos sismos son generalmente de una profundidad media, pero alguno de ellos pueden ser superficiales.

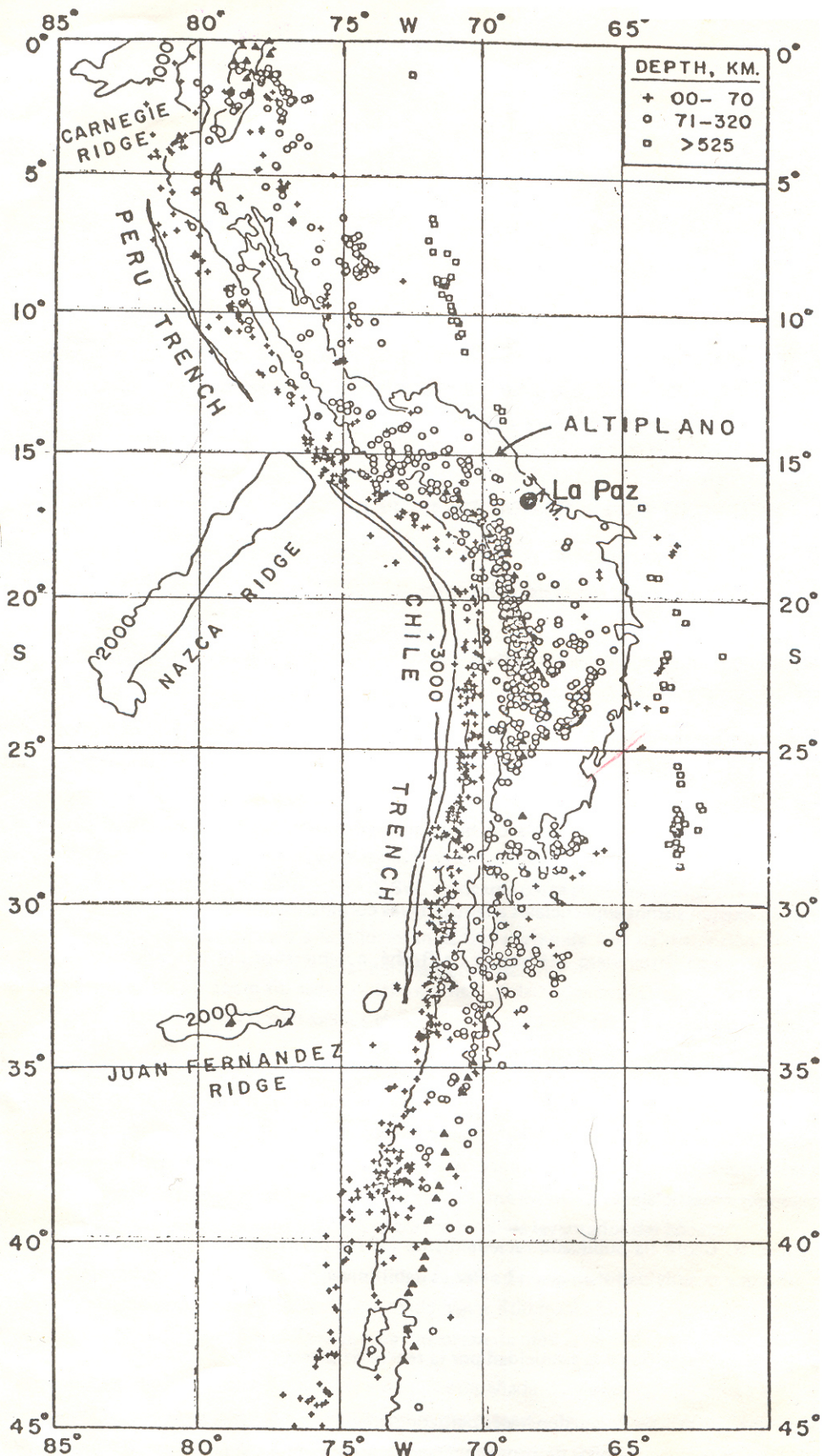
Además, R. Cabré ha publicado recientemente (1976) un mapa de sismicidad de Bolivia (fig. B15), el cual muestra que la actividad sísmica en La Paz es débil (nivel 1).

4.2.2 – Interpretación de la sismicidad por la teoría de placas

En algunos cortes que se pueden hacer perpendicularmente a la línea de la costa del Pacífico, y en algunos de los cuales se proyectan focos de sismos ubicados a ambos lados del corte (fig. B16), se puede observar que los focos de los sismos tienen una distribución espacial bien definida.

Estos focos están repartidos más o menos según una zona que se sitúa cerca de la superficie en la costa del Pacífico, y se vuelve más y más profunda a medida que se aleja de esta costa hacia el Este.

(*) Entre los catálogos internacionales se pueden citar : el de Gutenberg B. y Richter C.F., editado en 1954, que trata de los sismos registrados entre 1905 y 1952 ; y, el de Rothé J.P., editado en 1969, que contiene informaciones sobre los sismos surgidos entre 1953 y 1965.



Batimetría (en brazas) según Mammerickx y otros (1974).
 Volcanes históricos (triángulos negros) según Casertano (1963),
 Richards (1962), y Hantke y Parodi (1966). El Altiplano, alta me-
 seta de los Andes centrales, es representada aproximadamente por
 la curva de nivel 3000 m.

MAPA DE SISMICIDAD DE AMERICA DEL SUR (Según BARAZANGI e ISACKS 1976)



PLAN
 DE DESARROLLO
 URBANO
 CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
 LAS CONSULTORAS
 BRGM BCEOM

B 13

UBICACION DE LOS SISMOS

HASTA 500 KILOMETROS ALREDEDOR
DE LA PAZ

LAS LETRAS Y LOS NUMEROS QUE CARACTERIZAN
LOS SISMOS SE REFIEREN A LOS ESTRATOS
DE LOS CATALOGOS EXPUESTOS EN REFERENCIA

SEGUN LOS CATALOGOS DE :

G = GUTENBERG Y RICHTER 1954 (1905-1952)
R = ROTHE J P 1969 (1953-1965)
DC = DESCOTES Y CABRE 1973 (1912-1972)
ISC = ISC (1973)

REFERENCIAS

MAGNITUD : M

$M < 5.3$ $5.3 < M < 5.9$ $6.0 < M < 6.9$

$7.0 < M < 7.7$ $7.75 < M < 8.5$ Magnitud no definida

PROFUNDIDAD : h

$0 < h < 70 \text{ km}$ $71 < h < 320 \text{ km}$ $h > 320 \text{ km}$



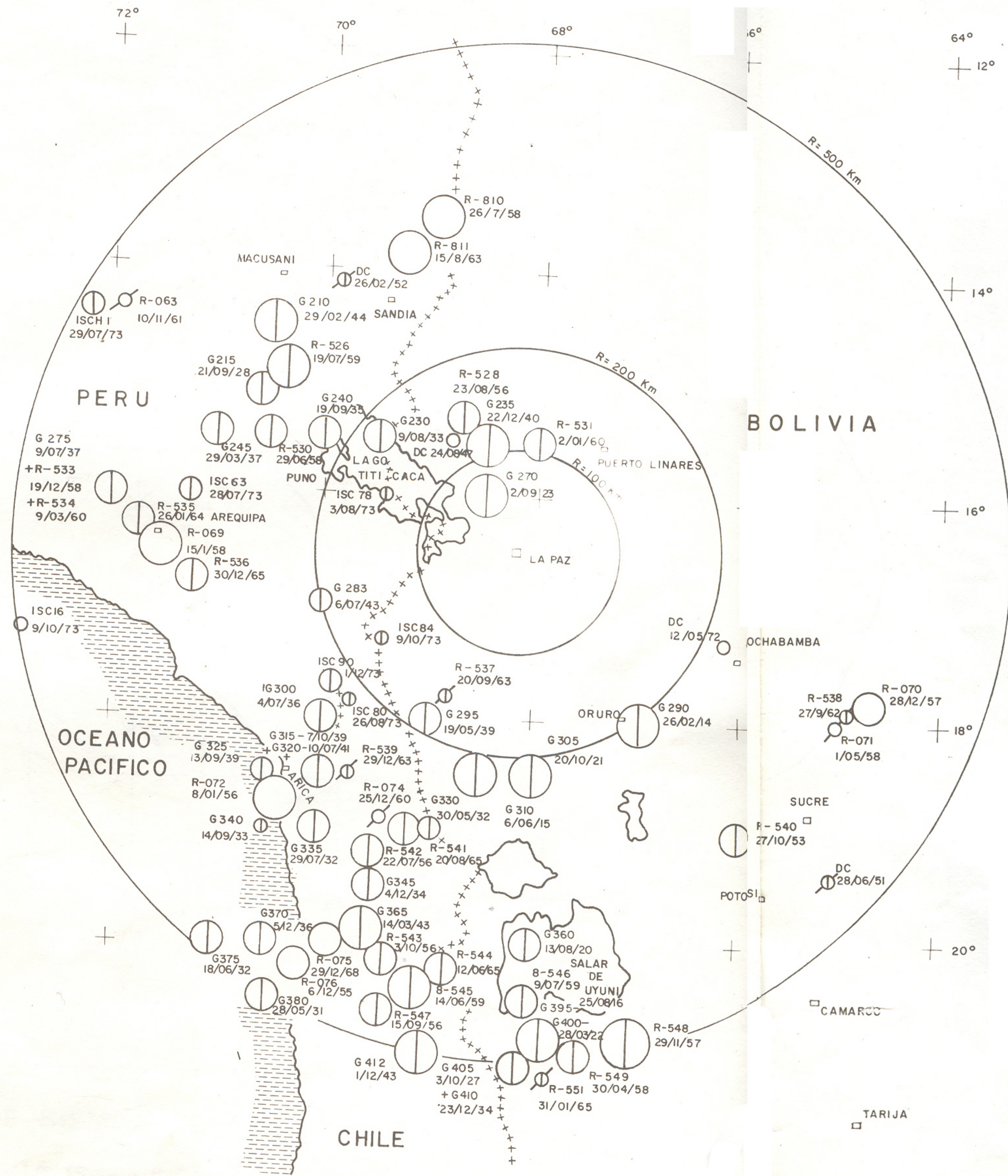
Plan
de desarrollo
urbano
Ciudad de La Paz

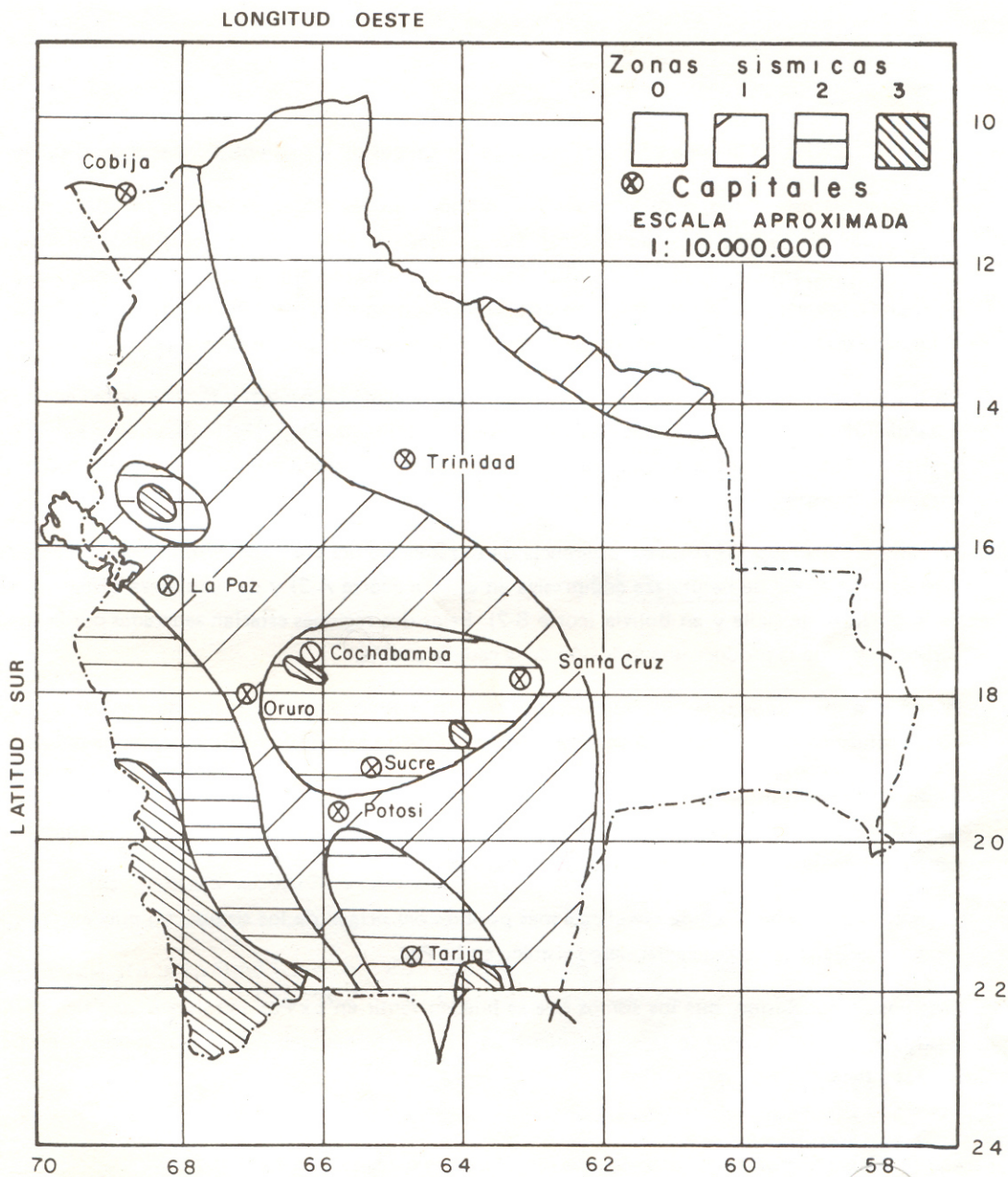
Honorable Alcaldia
Municipal
Ciudad de La Paz
Consultoras
BRGM BCEOM

ESCALA APROXIMADA
1: 5 000 000

0 100 200 Km

B14





MAPA DE SISMICIDAD DE BOLIVIA (Según R.CABRE)



PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
CIUDAD DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
IAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

B15

La parte superior de la zona en la cual se ubican los focos de los sismos, corresponde al plano de Benioff.

A lo largo de este plano, se produce la "subducción" de las placas, es decir el hundimiento de una placa oceánica debajo de una placa continental. En este caso, la placa oceánica es la placa de Nazca, y la placa continental corresponde al continente Sur Americano. La formación de la cadena montañosa de Los Andes es verdaderamente una consecuencia de esta subducción ; pero, el mecanismo de formación de las cadenas del mismo tipo que Los Andes en sus relaciones con la subducción, no se conoce bien todavía.

En el Perú, el corte A de la figura B16, muestra que el plano de Benioff y la placa oceánica de Nazca tienen un buzamiento ligero (10 á 15°) hacia el Este ; pero en el Sur del Perú, Norte de Chile y en Bolivia (zona de La Paz) — (corte B), la placa oceánica y el plano de Benioff tienen un buzamiento más fuerte (30°) que el antes mencionado.

Para Megard y Philip (1976), ésta diferencia de buzamiento del plano de Benioff explicaría que la deformación superficial sea de naturaleza compresiva en el Perú (corte A-2) y de naturaleza distensiva en el Sur del Perú, el Norte de Chile y en Bolivia (corte B-2). Estas dos regiones estarían separadas por la zona de Pisco-Abancay, donde se produce una inflexión de la cadena andina.

Parece que los sismos superficiales, ubicados mucho más arriba que el plano de Benioff, están en relación con la actuación de las fallas de la corteza continental (fallas del zócalo hercínico, por ejemplo).

Se puede también decir que la concentración de estos sismos superficiales del corte A-1 se prolongan por los sismos intermedios, situados más al Este en la placa oceánica. Así, podría existir una gran falla oblicua dentro del continente y cruzando el plano de Benioff.

Estas consideraciones, que dan explicaciones posibles del origen de los sismos, no pueden dar muchas indicaciones sobre la importancia del riesgo sísmico en La Paz.

Sacamos en conclusión, que los sismos que se pueden sentir en La Paz son sismos intermedios o profundos ligados a la subducción a lo largo del plano de Benioff, y también sismos más superficiales posiblemente ligados a fallas del zócalo hercínico.

4.2.3 -- Datos históricos de los temblores sentidos en la ciudad de La Paz

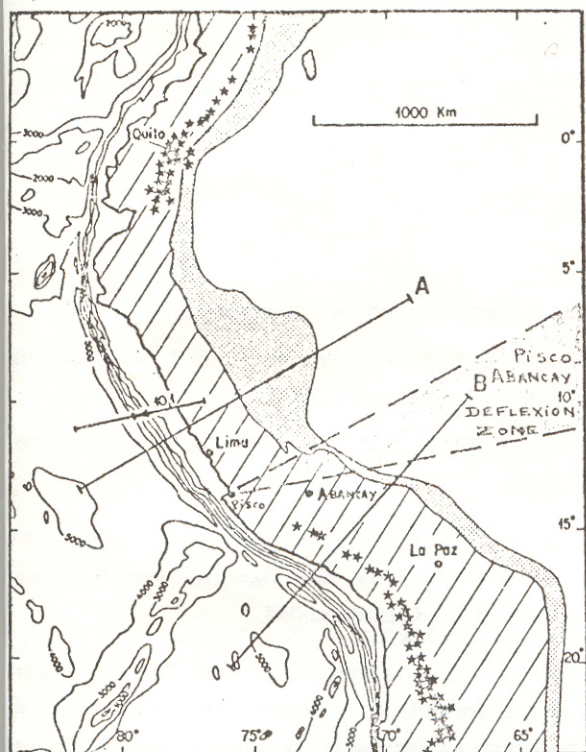
En la ciudad de La Paz y sus alrededores, la sismicidad mencionada durante el período histórico (desde la fundación de la ciudad) no es muy importante, aunque no está absolutamente ausente.

No son conocidos focos de sismos a menos de 60 ó 70 km de la ciudad. Sólo fueron sentidos temblores y sacudidas, correspondientes a sismos cuyos focos fueron relativamente alejados.

Los sismos percibidos en La Paz, que han producido temblores, son presentados en la publicación de Descombes y Cabré del año 1973.

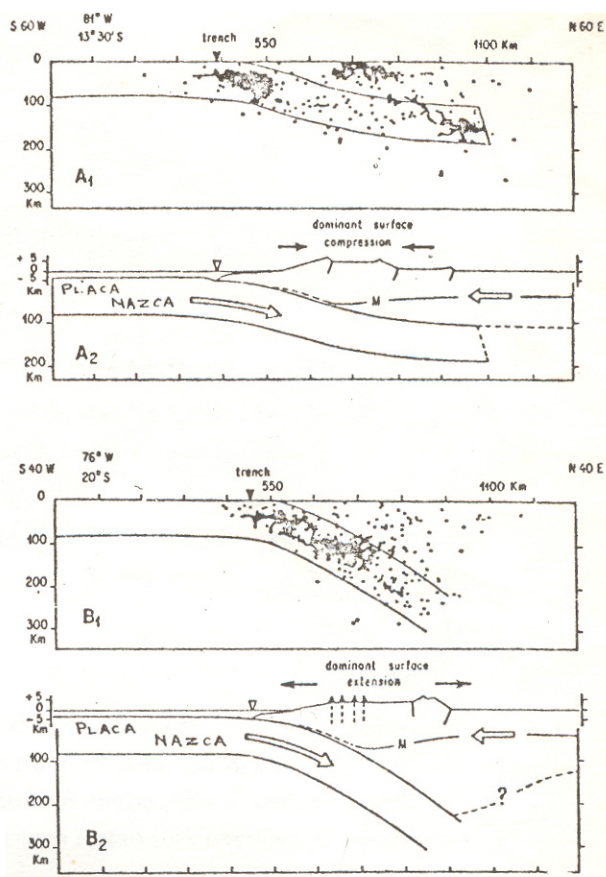
Según esta preciosa información y poniendo aparte los sismos dudosos (1582 y 1647), se puede decir que los temblores y sacudidas son regularmente mencionados en las crónicas desde el año 1833.

Además, desde 1912, año de instalación de la Estación Geofísica LPZ en el Observatorio de San Calixto, generalmente conocidas las intensidades (en la escala de Mercalli modificada), de las sacudidas más fuertes sentidas en la ciudad.



UBICACION ESTRUCTURAL DE LA PAZ EN RELACION CON LAS CADENAS ANDINAS Y EL PACIFICO (SEGUN MEGARD Y PHILIP - 1976)

Las curvas de profundidad en metros fueron obtenidas de GANSSEY (1973). Las flechas representan el movimiento de convergencia relativo a las placas de Nazca y de América, según MINSTER y otros (1974). Las estrellas representan los volcanes de actividad reciente. Las tramas de líneas oblicuas definen la cadena Andina y la trama punteada la cadena Sub-Andina. Las líneas A y B designan los cortes de la figura.



CORTES SEGUN LINEAS A Y B MOSTRANDO LAS RELACIONES DE LA GEOMETRIA DEL PLANO DE BENIOFF CON LAS ESTRUCTURAS SUPERFICIALES (SEGUN MEGARD Y PHILIP - 1976)

A₁ y B₁ muestran la ubicación de los hipocentros y corresponden a los cortes D' y E' de la figura 8 de STAUDER (1975). A₂ y B₂ son cortes interpretativos, según las mismas líneas. En B₂ los triángulos negros sobre la superficie topográfica representan volcanes activos. La línea segmentada debajo de la discontinuidad de Mohorovicic (M) corresponde a la ubicación aproximada del límite inferior de la placa americana.



Los dos sismos más próximos a La Paz, y percibidos en la ciudad, fueron los siguientes :

- el sismo del 2 de Septiembre de 1923, cuyo foco tenía una magnitud de 7, una profundidad de 150 km, y estaba ubicado a 70 km de La Paz (sismo G 270 de la figura B14),
- el sismo del 3 de Noviembre de 1937, sentido en la ciudad con una intensidad IV y cuyo foco fue ubicado según Descotes, cerca de Sorata a 62 km de La Paz.

Los temblores más fuertes sentidos en la ciudad, tenían una intensidad V en la escala de Mercalli modificada. Estos temblores correspondían al torremoto del 24 de Febrero de 1947, cuyo foco estaba ubicado cerca de Sorata a 110 km aproximadamente de La Paz, y entre 30 y 35 km de profundidad.

También parece, según Montessus, que la intensidad V de la escala de Mercalli (antigua), fue percibida en La Paz el 15 de Agosto de 1891. Pero nunca fueron localizados epicentros de sismos en el sitio de La Paz entonces, durante todo el período histórico, la sismicidad de La Paz fue relativamente baja. Trataremos, en el capítulo D, dedicado a los riesgos naturales, de definir el riesgo sísmico en La Paz.

BIBLIOGRAFIA

GEOLOGIA

- AHLFELD F. (1945) — Reseña geológica de la cuenca de La Paz. Inst. Bol. de Ing. de Minas y Geología — Marzo 1945 — N° 16, pp. 11-15. Abril 1945 — N° 17, pp. 11-15.
- AHLFELD F. (1962) — Problemas de Sedimentación en el Altiplano. Inst. Bol. del Petróleo, Vol. III # 2, pp. 7-9.
- AHLFELD F., y BRANISA L. (1960) — Geología de Bolivia — Inst. Bol. del Petróleo., pp. 145-152.
- DOBROVOLNY E. (1956) — Geología del valle superior de La Paz (Bolivia). Publicación H. Alcaldía Municipal de La Paz.
- DOBROVOLNY E. (1962) — Geología del valle de La Paz. Publ. Min. Minas y Petróleo, Bol. 3 (especial) — p. 153.
- DOBROVOLNY E. (1969) — Un torrente de barro de gran volumen, Post glacial en el valle de La Paz, Bolivia. Bol. Sec. Geol. Bol. — vol. 12. Julio—Sept. p. 5-17.
- GOGUEL J. (1976) — Origen de la planicie de Limanpata en el valle de La Paz. Informe : Las Consultoras BRGM—BCEOM. Sept. 1976.
- HOFFSTETTER R., MARTINEZ C., MUNOZ-REYES J., y TOMASI P. (1971) — Le gisement d'Ayo-Ayo (Bolivie), une succession stratigraphique pliocène — pléistocène datée par des Mammifères. C.R.Ac. Sc. Paris, v. 273 — 20. Déc. 1971, série D, p. 2472—2475.
- KOSLOWSKI R. (1923) — Faune dévonienne de Bolivie. Ann. Paléont., N° 12, Paris.
- MARTINEZ C., KUSSMAUL S., SUBIETA T., y TOMASI P. (1973) — Historia estructural del Altiplano de Bolivia. II Congr. latino-americano de geología. Caracas 1973.
- SERVANT M.* — Conferencia sobre el Cuaternario del Altiplano Boliviano ; 9 de Diciembre, 1976, U.M.S.A. El cuadro estratigráfico del pliocuaternario del Altiplano de los Andes tropicales de Bolivia. U.M.S.A. — Facultad de Ciencias Puras y Naturales C.E.P.I.C. — Revista de geociencias — La Paz. Mayo 1977 — Vol. 1, N° 1.
- TROLL C., y FINTERWALDER R. (1935) — Die Karten der Cordillera Real und das Talkessels von La Paz (Bolivien) und die diluvial geschichte der zentrale Anden. Petermanns Mitteilungen, v. 81, p. 393-399.

* Publicado después de nuestros estudios geológicos.

GEOMORFOLOGIA

- ANZOLEAGA O., BUSTILLOS O. (1976) — Los movimientos de terreno antiguos de la cuenca de La Paz — Nota Técnica. (Octubre).
- DOBROVOLNY E. (1969) — Un torrente de barro de gran volumen, post-glacial en el valle de La Paz, Bolivia. Bol. Sec. Geol. Bol. vol. 12 — Julio-Septiembre, p. 5-17.
- MALATRAIT A.M. (1976) — Análisis de los movimientos de terreno de la cuenca de La Paz y sus alrededores. Nota Técnica N° 3 (Junio).

NEOTECTONICA Y SISMICIDAD

- AUBOIN J. y otros (1973) — De quelques problèmes géologiques et géomorphologiques de la cordillère des Andes. Rev. géogr. phys. et géol. dynam. (2), vol. XV, fasc. 1-2, p. 207-216.
- AUDEBAUD E. y otros (1973) — Les traits géologiques essentiels des Andes Centrales (Pérou—Bolivie) — Rev. géogr. phys. et géol. dynam., (2), vol. XV, fasc. 1-2, p. 73-114.
- BARAZANGI M., ISACKS B.L. (1976) — Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. Geology, v. 4, November 1976, p. 686-692.
- BLES J.L. (1977) — La fracturation des roches — 2e partie : Essai de suite au point des connaissances actuelles sur les fractures naturelles des roches dans les niveaux supérieurs de l'écorce terrestre — Rapport BRGM—SGN—GEO.
- CABRE R. (1976) — Conocimientos sobre el riesgo sísmico en Bolivia. Rev. geof., N° 5, p. 157-160.
- CASERTANO L. (1963) — Catalogue of the active volcanoes of the world. Pt — XV, Chilean continent — Rome. Intern. Anoc. Volcanology, Editing Office, Inst. Geologia Applicata, p. 55.
- DALMAYRAC B. (1974) — Un exemple de tectonique vivante : les failles sub-actuelles du pied de la Cordillère blanche (Pérou). Cahiers ORSTOM, Sér. Géol., vol. VI, N° 1, p. 19-27.
- DESCOTES P.M. y CABRE R. (1965) — Historia sísmica de Bolivia. Bol. Inst. Bol. Petrol. (I.B.P.), vol. 1, N° 1-2, p. 16-28.
- DESCOTES P.M., y CABRE R. (1973) — Historia sísmica de Bolivia. Geofísica Panamericana, vol. 2, N° 1, p. 251-278.
- GANSSEY (1973) — J. Géol. Soc., 129, p. 93-131.

GUTENBERG B., y RICHTER C.F. (1954) — Seismicity of the earth. 2nd ed., Princeton , N.J., 310 p. (p. 249-254).

HANTKE G., y PARODI A. (1966) — Catalogue of the active volcanoes of the world. Pt. XIX Colombia, Ecuador and Peru : Rome, intern. Anoc. Volcanology, Editing Office, Inst. Geologia Applicata, p. 73.

ISACKS B., y MOLNAR P. (1971) — Distribution of stresses in the descending lithosphere from a global survey of focal mechanisms solutions of mantle earthquakes. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 9, p. 103-174.

I.S.C. (1973) — Catálogo de los sismos para el año 1973. (p. 35).

KELLEHER J. (1972) — Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *Jour. Geophys. Research*, v. 77, p. 2078-2103.

LAVENU A. (1977) — Primeros resultados neotectónicos a partir del análisis microtectónico de los sedimentos pliocuaternarios de la cuenca de La Paz (en prensa).

MARTINEZ C. (1975) — Mapa geológico de la región de La Paz y Oruro a escala 1:1.000.000 (inérito).

MARTINEZ C. (1972) — Estructuras hercínicas afectadas por la tectónica andina en la Cordillera Real de Bolivia. *Soc. Geol. Bol.*, Bol. N° 18, Dic. 1972, p. 63-67.

MARTINEZ C., KUSSMAUL S., SUBIETA T., TOMASI P. (1973) — Historia estructural del Altiplano de Bolivia. II Congr. Latino-americano de geología — Caracas 1973, p. 19, 9 dibujos.

MEGARD F. (1973) — Etude géologique d'une transversale des Andes au niveau du Pérou Central. Tesis Universidad des Ciencias de Montpellier (Francia) N° AC — 8416.

MEGARD F., y PHILIP H. (1976) — Plio-quaternary tectono-magmatic zonation and plate tectonics in the central Andes. *Earth and planetary Science Letters*, 33, p. 231-238.

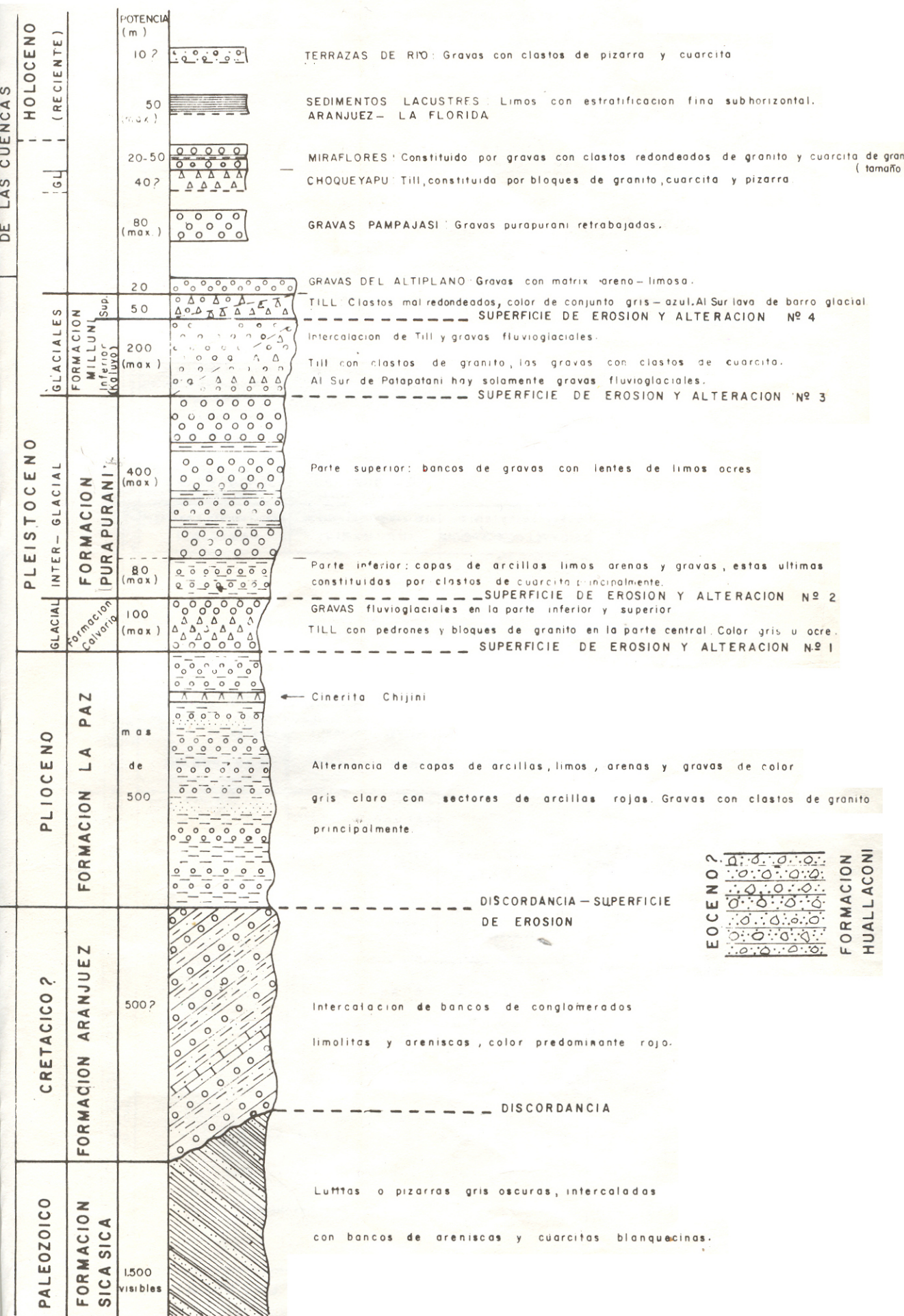
OTERO A. (1972) — Sismicidad de ciudades, Sur y Centro Americanas Tesis U.M.S.A., 1972.

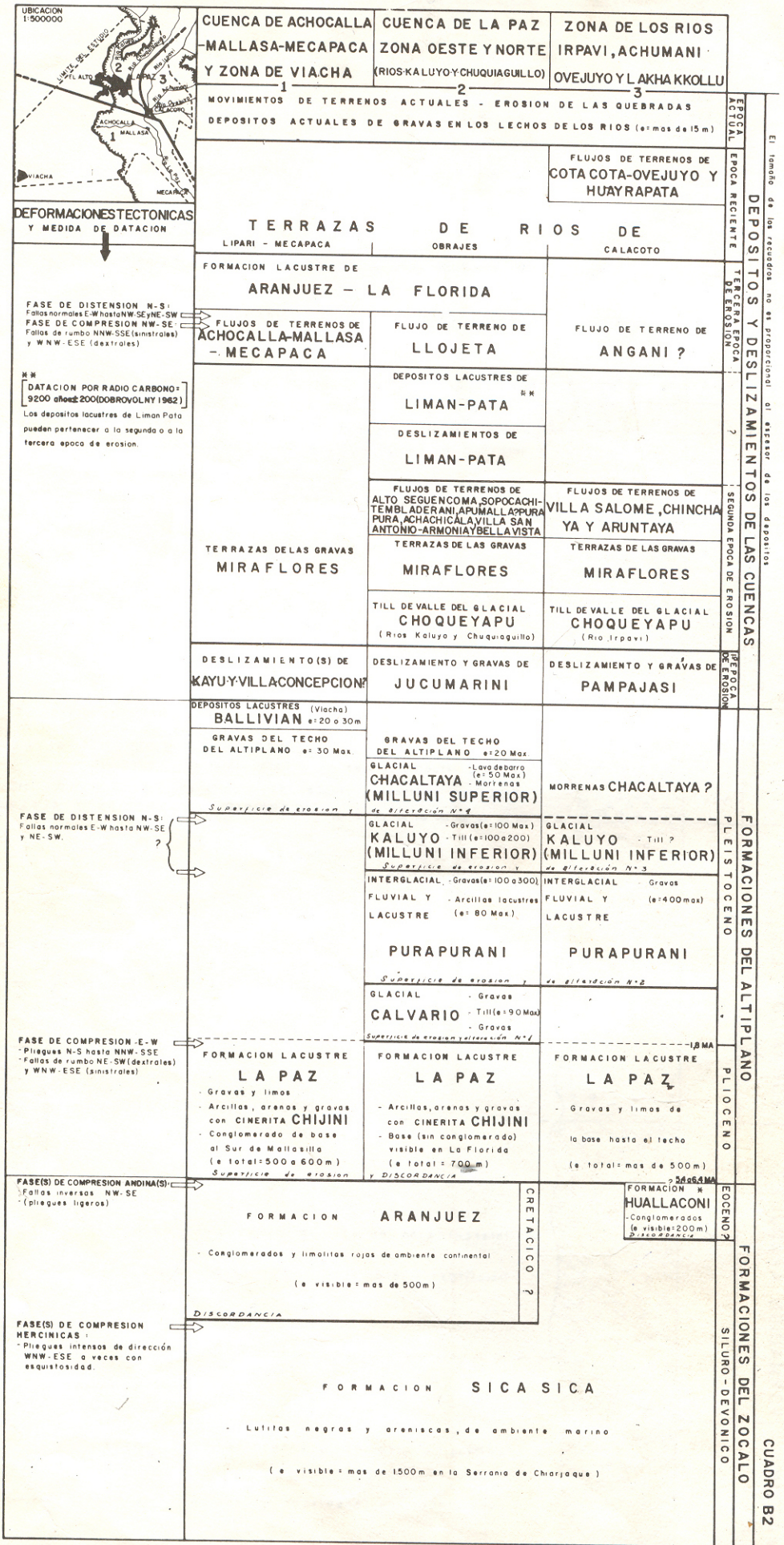
RICHARDS A.F. (1962) — Catalogue of the active volcanoes of the world. Pt. XIV, Islas Juan Fernandez : Rome, Intern. Anoc. Volcanology, Editing Office, Inst. Geologia Applicata, p. 50.

ROTHER J.P. — The seismicity of the earth 1953-1965. Publicación UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) Paris, 1969, p. 78-88.

STAUDER W. (1975) — Subduction of the Nazca plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity : *Jour. Geophys. Research*, v. 80, p. 1053-1064.

WEBER C. (1975) — Progrès récents aux U.S.A. en matière de sécurité sismique. Informe B.R.G.M. N° 75-
SGN-280.





LAS CONSULTORAS BRGM - BCOM, Geologia - Marzo 1977

CARACTERISTICAS DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS DE LA PAZ Y SUS ALREDEDORES																	CUADRO B3
	ROCAS DEL ZOCCALO			SEDIMENTOS DEL ALTIPLANO						DEPOSITOS DE LA CUENCA							
	SILURO-DEVONICO (PRIMARIO)	CRETACICO? (SECUNDARIO SUPERIOR)	EOCENO? (TERCIARIO INFERIOR)	PLIOCENO (TERCIARIO TERMINAL)	PLEISTOCENO (CUATERNARIO ANTIGUO)					1ra.EPOCA DE EROSION	SEGUNDA EPOCA DE EROSION			TERCERA EPOCA DE EROSION		RECIENT Y ACTUAL.	
FORMACIONES	Formación SICA SICA	Formación ARANJUEZ	Formación HUALLACONI	Formación LA PAZ	Formación CALVARIO	Formación PURAPURANI	Formación "KALUYO" (MILLUNI INFERIOR)	Formación "CHALLATA" (MILLUNI SUPERIOR)	Gravas del techo del Altiplano	Deslizamientos antiguos: "Pampajasi" - "Jucumarini" - "Killi Killi" - "Kayu". Gravas Pampajasi.	Sedimentos glaciales de valle. Morrenas laterales del glaciar Choqueyapu.	Gravas Miraflores e Irpavi.	Deslizamientos de Limanpata.	Depósitos lacustres de Limanpata.	Torrente de barro de Achocalla - Llojeta.	Depósitos lacustres de Aranjuez y La Florida.	Depósitos de rfo: Terrazas y planicies aluviales.
DESCRIPCION	Ambos flancos del valle La Paz en Mallasa-Lipari y Mecapaca. Serranía de Chiarjaque.	Serranía de Aranjuez.	Cerro de la Muela del Diablo. Zona Oeste de la serranía de Aranjuez.	Casi todos los valles de las cuencas de La Paz y Achocalla.	Valles de los ríos Achacalla - Kaluyo y Orkojahuir - Chuquiguillio	Laderas de la cuenca de La Paz.	Parte Norte de la cuenca de La Paz.	Entre el nevado homónimo y El Alto.	Superficie del Altiplano desde El Alto hasta el río Khala. Gravos observables en el borde del Altiplano entre la Ceja y Achocalla.	Zonas homónimas.	Río Kaluyo (Choqueyapu alto) y Chuquiguillio.	Parte central de la cuenca entre Achacalla y Aranjuez. También entre Chuquiguillio y Orkojahuir - Obrajes. Ríos Irpavi y Achumani.	Ambos lados del río Kaluyo (Choqueyapu alto) cerca de Limnata.	Agua arriba de Limanpata en el río Kaluyo o Choqueyapu alto.	Cuenca de Achocalla, Mallasilla, Mallasa, Lipari y Mecapaca. Cuenca de Llojeta en la zona homónima entre la Ceja de El Alto - Allpacoma y el río Choqueyapu - Kotahuma - Rosasani.	Sitios homónimos.	Calacoto - Irpavi - Achumani, La Florida y Obrajes.
LOGICA	Lutitas o pizarras gris oscuras, intercaladas con bancos de areniscas y cuarcitas blanquecinas. Pueden ser rojizas por alteración superficial. Destrucción superficial fuerte por efecto de sales solubles. Espesor de más de 1500 m visible en la serranía de Chiarjaque.	Intercalación de limolitas, areniscas y conglomerados en bancos de algunos metros de espesor. Matrix arenosa arcillosa y cemento ferruginoso rojo. Más de 500 m de espesor en la garganta de Aranjuez.	Conglomerados y gravas polimíctico con clastos angulares redondeados de cuarcitas predominantes, y también pizarras y lavas; matrix arcillosa y arenosa, a veces consolidada. 200 m de espesor cerca de la Muela del Diablo.	Alternancia de capas de arcillas, limos, arenas y gravas, desde algunos decímetros hasta varios metros de espesor. Cerca de su tope existe el nivel guía de la cinerita Chijini. Es gravosa en la zona de Ovejuyo y de los ríos Achumani e Irpavi alto, así como en la zona de Achocalla. Espesor de 500 m hasta 700 m.	Till con pedrones y bloques de granitos y cuarcitas angulares o subredondeados, facetados y con estrías. Matrix de arena, limo y arcilla gris ocre. Las partes inferior y superior pueden corresponder a gravas fluvio-glaciales. Espesor de 100 o 120 m como máximo.	Parte inferior: capas de arcillas, limos, arenas y gravas similares a la formación La Paz. Parte superior: bancos de gravas estratificadas, con lentes de limos. Espesores máximos: Parte inferior = 80 m (Alto Chijini). Parte superior = 400 m en la serranía Cuchilla Chuquiguillio.	Intercalación de till y gravas fluvio-glaciales. Till con clastos y pedrones mal redondeados y sin estratificación. En El Alto solo existen las gravas fluvio-glaciales. Espesores: Till=100 a 200 m. Gravas=100 m máximo.	Till con pedrones y bloques estratificados en matrix de arenosa y limos. Conjunto de color amarillito. Lava de barro clastos estratificados y mal redondeados con matrix arcillo-arenosa decolor gris azul oscuro o amarillito. Espesor máximo de la lava de barro = 10 m.	Gravas poco redondeadas de cuarcitas con matrix areno-limosa en poca proporción. 25 a 30 m de espesor como máximo.	Paquetes de rocas deslizados unos sobre otros, constituidos por gravas Purapurani, cinerita Chijini y arcillas, arenas y gravas de la formación La Paz. En Pampajasi gravas fluviales por encima, provenientes de las gravas Purapurani retrabajadas. Espesor máximo = 80 (en Pampajasi).	Constituido por bloques de granito, cuarcita y pizarra. Algunos niveles de turba y gravas lacustres y fluvio-glaciales que se intercalan.	Clastos redondeados de granito y cuarcita, en menor proporción pizarras y areniscas. Clastos de 20 a 30 centímetros. Ocasionalmente pedrones de más de 1 m. Matrix areno-limosa hasta arcillosa. Desde Kantutani hasta Seguen coma intercala un miembro de arcilla blanquecina de más o menos 5 metros.	Material de las formaciones Calverio, Purapurani y Milluni deslizadas. El deslizamiento de la margen derecha conserva las capas poco perturbadas. En el deslizamiento a la margen izquierda la perturbación de las capas es muy importante.	Gravas finas, arcillas y limos gris en capas finas y estructura de varves, intercalan lentes de turbas negras. Espesor de 10 m más o menos.	La parte superior es una mezcla de material gravoso con limos y arcillas, la parte inferior es esencialmente limo-arcillosa con ocasionales bloques reconocibles de las formaciones originarias.	Limos y arcillas ocreas con estratificación muy fina. Estructura de varves. Espesores de 10 m más o menos en La Florida, y de menos de 50 m en Aranjuez.	En Calacoto: gravas con clastos de pizarras y cuarcitas predominantes de 5 centímetros o menos, matrix areno-limosa. Lecho actual de los ríos: cantos rodados y bloques de cuarcitas y granitos en matrix areno-limosa. En profundidad más arcillosa. Espesor de más de 15 m para las gravas actuales en Achumani.
PERMEABILIDAD	Impermeables. Puede desarrollar permeabilidad secundaria por fracturamiento.	Poco permeable a impermeable.	Permeable.	Limos permeables a impermeables. Permeable en las zonas gravosas de Achocalla hacia Khallapa. Constituye el principal acuífero (K = 10 ⁻³ m/s).	Till impermeable. Permeabilidad importante de las gravas fluvio-glaciales.	Muy permeable (parte superior); constituye el principal acuífero en la zona de El Alto (K = 10 ⁻³ m/s).	Till impermeable. Gravos muy permeables. Permeabilidad muy variable (de impermeable a K = 10 ⁻⁴ m/d).	Juntamente con las gravas Milluni y Purapurani constituyen el reservorio acuífero del Altiplano, así como las gravas de la formación La Paz.	Permeable.	Permeables.	Constituye el reservorio de las aguas subterráneas de la parte central de la cuenca. Desarrolla ocasionalmente acuíferos colgados.	Permeable.	Poco permeable a impermeable.	En general terrenos impermeables; pueden desarrollar permeabilidad secundaria.	Impermeables.	Napas acuíferas.	
MORFOLOGIA	Expresión morfológica fuerte con formación de serranías.	Relieves abruptos. Forma serranías con muchas pequeñas crestas y quebradas.	Relieves abruptos y erosión intensa con desarrollo de escarpes y cañadones.	Erosión intensa con desarrollo de cárcavas y cañadones. Paisaje de "bad lands" en las zonas limosas.	Relieve fuerte con posible desarrollo típico de las quebradas de la cuenca.	Expresión morfológica fuerte. Desarrollo de quebradas muy profundas, paredes verticales y formas asociadas a "bad lands".	Expresión morfológica fuerte. Desarrollo de quebradas profundas.	Expresión topográfica de morrenas (barras suaves alargadas).	Forma el escarpe del borde del Altiplano con las gravas Milluni y Purapurani, socavado por quebradas.	Pampajasi: Planicie con leve inclinación, limitada por farellones abruptos. Jucumarini: Planicie ligeramente inclinada, disectada por quebradas de erosión retrogresiva.	Forman terrazas altas en las márgenes de los ríos, algunas cubiertas con abanicos aluviales.	Forma terrazas altas extensas en toda la zona central, con bordes cortados por farellones abruptos, donde se producen derrumbes y caídas de bloques.	Morfología de deslizamiento en la margen derecha. Morfología de "derrumbe" en la margen izquierda.	Forma terraza baja y extensa, disectada por el río Kaluyo.	Tendencia a formar planicies por efecto de lavado de manto. Las partes altas se muestran más estables. Las inferiores desarrollan muy fuerte erosión interna.	Terrazas disectadas por innumerables quebradas en Aranjuez.	Superficies planas de terrazas muy extendidas.

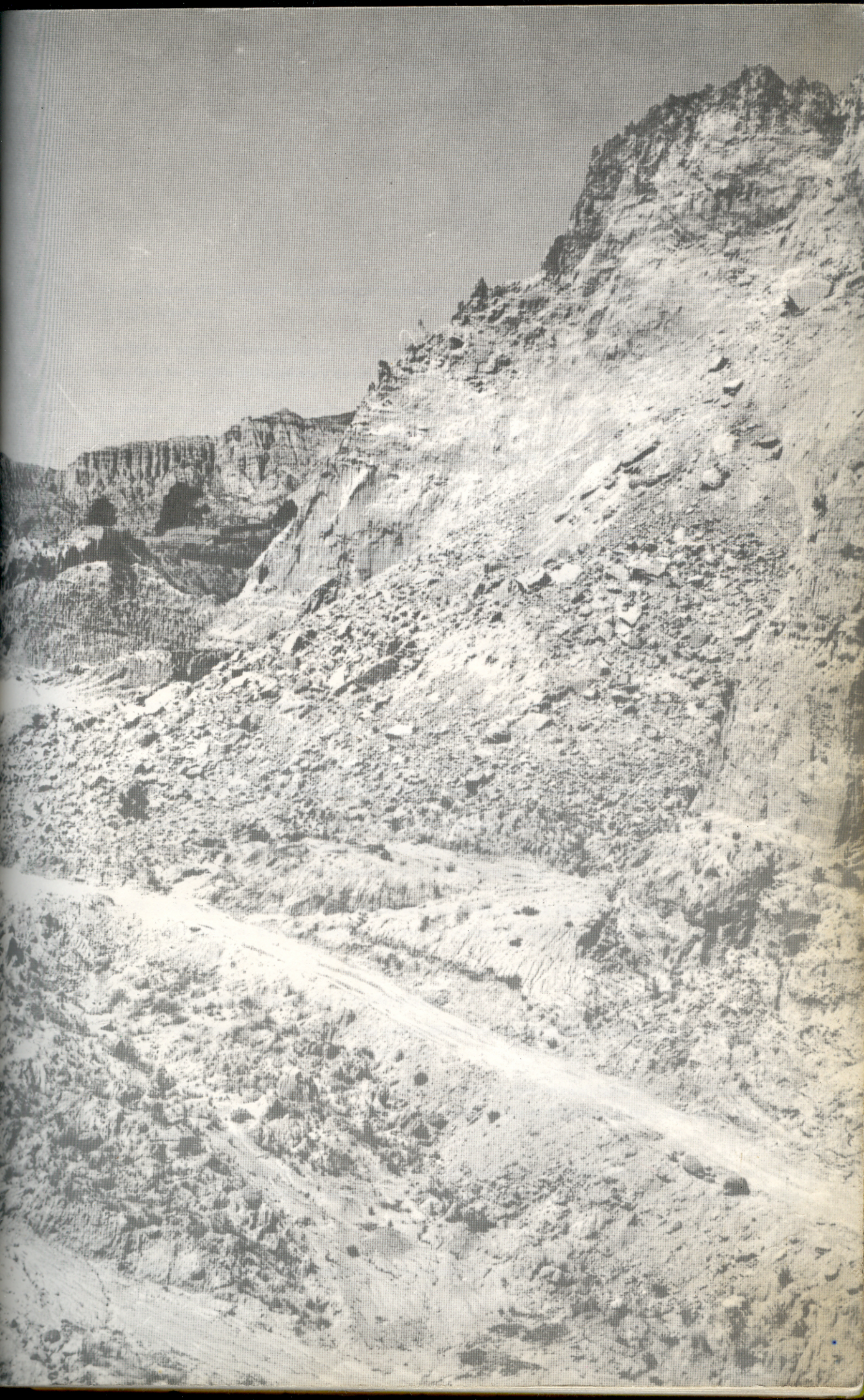
UNIDADES GEOLOGICAS	RELIEVE	EROSION POR AGUA		REMOCION EN MASA ACTUAL y/o RECIENTE				ALTERACION	CONTENIDO DE AGUA
		SUPERFICIAL	SUBTERRANEA	FLUJOS	DESLIZAMIENTOS	DERRUMBES	MAZAMORRAS		
DEPOSITOS LACUSTRES	Planicies de poca extensión, disectadas por los ríos.	Fuerte.	Bastantes hundimientos debido a la erosión interna de las formaciones subyacentes.	Pequeños.	Muy pequeños.	Pequeños al borde de los ríos.	Como material de aporte.		Zonas de humedad poco importantes.
GRAVAS MIRAFLORES e IRPAVI	Terrazas que forman superficies planas con taludes abruptos empinados. (Camino San Jorge - Obrajes, por ejemplo).	Mediana. Generalmente mas resistente a la acción pluvial que las otras formaciones de la cuenca.	No observable.	Como material de aporte.	En las márgenes de los ríos.	Generalmente de poca extensión y aislados en las laderas de los ríos Choqueyapu y Orkojahuirá. Caídas frecuentes de bloques, por efecto de las lluvias.		Zonas localizadas.	En el contacto con formación La Paz impermeable, fluye bastante agua frecuentemente en las partes bajas cerca de los ríos.
FORMACION MILLUNI	Borde de la Ceja de El Alto con desarrollo de taludes verticales o de pendientes fuertes mas o menos cortados.	Intensa. Debido principalmente a la erosión torrencial y pluvial.			De poca importancia.	Pequeños a lo largo de los taludes. Caídas de bloques frecuentes, formando escombros de pie de talud.		Capas oxidadas.	Se observan alidas de agua en el contacto con capas subyacentes de materiales finos.
FORMACION PURAPURANI	Desarrollo de relieves abruptos (zona Irpavi, Achumani), o con taludes casi verticales (Pokeni y Minasa).	Intensa. Se traduce por quebradas profundas y numerosas.	No observable.	Frecuentemente como material de aporte.	Pocos, sobre todo en los sectores donde hay capas de materiales finos.	Pequeños al pie de los taludes. Caídas de bloques frecuentes.	Bastantes en las quebradas de las zonas altas de la cuenca (Cotahuma, Viscachani, Aruntaya, Achumani, ..).	Capas oxidadas de poco espesor (antiguos suelos).	Salidas frecuentes de aguas, sobre todo en el contacto con la formación La Paz impermeable.
FORMACION CALVARIO	Farellones verticales frecuentes (quebradas de Lococora, Viscachani, Lazareto).	Intensa.		De poca importancia.	Algunos, con formaciones.	De poca magnitud a lo largo del afloramiento.	Como aporte de material (Viscachani, por ejemplo).	Zonas oxidadas locales.	Salidas de agua en ciertos sectores (Huaripampa, por ejemplo).
FORMACION LA PAZ	Relieves abruptos con farellones, crestas dentadas, quebradas profundas. En algunos sectores, terrazas con pequeña cubierta de coluvio.	Fuerte.	Bastante desarrollo en varios sectores, manifestados por huecos de ablación, hundimientos y túneles.	Numerosos y de importancia variable.	Numerosos y de importancia variable.	Bastante en varios sectores.	Numerosas en las quebradas importantes.	Horizontes de oxidación (suelos antiguos, zonas de falla, etc., ..).	Observable e diferentes niveles, en relación con un material mas grueso.
CRETACICO ARANJUEZ	Relieve abrupto, con alturas estructurales (Aranjuez, Mallasa, Chiarjaque).	Intensa. Sobre todo por la acción torrencial.	Poco observable.	Algunas de las faldas de la serranía.	Bastantes y sobre las laderas de la serranía.	De poca importancia al pie de los farellones.	Pocas.	Poco observable actualmente (?).	Poco.
PALEOZOICO SICA SICA	Abrupto. Serranías elevadas, cortadas por quebradas (Aranjuez, valle del río La Paz). Planicies pequeñas y aisladas.	Fuerte.	Poco observable.	Bastantes, de poca magnitud. Observables en laderas del valle del río La Paz.	Numerosos, de importancia mediana.	A lo largo de los taludes del valle del río La Paz.	Frecuentes, en las quebradas mayores.	Alta en superficie, concretamente por la presencia de sales solubles.	Salidas aisladas.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LAS UNIDADES GEOLOGICAS DE LA CUENCA

UNIDADES GEOLOGICAS	RELIEVE	EROSION POR AGUA		REMOCION EN MASA ACTUAL y/o RECIENTE				ALTERACION	CONTENIDO DE AGUA
		SUPERFICIAL	SUBTERRANEA	FLUJOS	DESLIZAMIENTOS	DERRUMBES	MAZAMORRAS		
DEPOSITOS LACUSTRES	Planicies de poca extensión, disectadas por los ríos.	Fuerte.	Bastantes hundimientos debido a la erosión interna de las formaciones subyacentes.	Pequeños.	Muy pequeños.	Pequeños al borde de los ríos.	Como material de aporte.		Zonas de humedad poco importantes.
GRAVAS MIRAFLORES e IRPAVI	Terrazas que forman superficies planas con taludes abruptos empinados. (Camino San Jorge - Obrajes, por ejemplo).	Mediana. Generalmente mas resistente a la acción pluvial que las otras formaciones de la cuenca.	No observable.	Como material de aporte.	En las márgenes de los ríos.	Generalmente de poca extensión y aislados en las laderas de los ríos Choqueyapu y Orkojahuirá. Caídas frecuentes de bloques, por efecto de las lluvias.		Zonas localizadas.	En el contacto con formación La Paz impermeable, fluye bastante agua frecuentemente en las partes bajas, cerca de los ríos.
FORMACION MILLUNI	Borde de la Ceja de El Alto con desarrollo de taludes verticales o de pendientes fuertes mas o menos cortados.	Intensa. Debido principalmente a la erosión torrencial y pluvial.			De poca importancia.	Pequeños a lo largo de los taludes. Caídas de bloques frecuentes, formando escombros de pie de talud.		Capas oxidadas.	Se observan salidas de agua en el contacto con capas subyacentes de materiales finos.
FORMACION PURAPURANI	Desarrollo de relieves abruptos (zona Irpavi, Achumani), o con taludes casi verticales (Pokeni y Minasa).	Intensa. Se traduce por quebradas profundas y numerosas.	No observable.	Frecuentemente como material de aporte.	Pocos, sobre todo en los sectores de materiales finos.	Pequeños al pie de los taludes. Caídas de bloques frecuentes.	Bastantes en las quebradas de las zonas altas de la cuenca (Cotahuma, Viscachani, Aruntaya, Achumani, ...).	Capas oxidadas de poco espesor (antiguos suelos).	Salidas frecuentes de aguas, sobretudo en el contacto con la formación La Paz impermeable.
FORMACION CALVARIO	Farellones verticales frecuentes (quebradas de Lococora, Viscachani, Lazareto).	Intensa.		De poca importancia.	Algunos, con formaciones.	De poca magnitud a lo largo del afloramiento.	Como aporte de material (Viscachani, por ejemplo).	Zonas oxidadas locales.	Salidas de agua en ciertos sectores (Huaripampa, por ejemplo).
FORMACION LA PAZ	Relieves abruptos con farellones, crestas dentadas, quebradas profundas. En algunos sectores, terrazas con pequeña cubierta de coluvio.	Fuerte.	Bastante desarrollo en varios sectores, manifestados por huecos de ablación, hundimientos y túneles.	Numerosos y de importancia variable.	Numerosos y de importancia variable.	Bastante en varios sectores.	Numerosas en las quebradas importantes.	Horizontes de oxidación (suelos antiguos, zonas de falla, etc., ...).	Observable en diferentes niveles, en relación con un material mas grueso.
CRETACICO ARANJUEZ	Relieve abrupto, con alturas estructurales (Aranjuez, Mallasa, Chiarjaque).	Intensa. Sobre todo por la acción torrencial.	Poco observable.	Algunas de las faldas de la serranía.	Bastantes y sobre las laderas de la serranía.	De poca importancia al pie de los farellones.	Pocas.	Poco observable actualmente (?).	Poco.
PALEOZOICO SICA SICA	Abrupto. Serranías elevadas, cortadas por quebradas (Aranjuez, valle del río La Paz). Planicies pequeñas y aisladas.	Fuerte.	Poco observable.	Bastantes, de poca magnitud. Observables en laderas del valle del río La Paz.	Numerosos, de mediana importancia.	A lo largo de los taludes del valle del río La Paz.	Frecuentes, en las quebradas mayores.	Alta en superficie, concretamente por la presencia de sales solubles.	Salidas aisladas.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LAS UNIDADES GEOLOGICAS DE LA CUENCA

capítulo C.
CICLO DE LAS AGUAS



INDICE

1 – GENERALIDADES	C-1
2 – LAS AGUAS SUPERFICIALES	C-3
2.1 – Características físicas de la sub-cuencas del río La Paz	C-3
2.1.1 – <i>Superficie e hipsometría de las sub-cuencas</i>	C-3
2.1.2 – <i>Otras características físicas calculables</i>	C-3
2.1.3 – <i>Perfiles longitudinales</i>	C-9
2.2 – Los caudales	C-10
2.2.1 – <i>Los caudales de crecida de las sub-cuencas</i>	C-10
2.2.2 – <i>Calculo de crecida de los ríos principales</i>	C-11
2.2.3 – <i>El transporte sólido</i>	C-12
2.3 – Consecuencias	C-13
3 – LAS AGUAS SUBTERRANEAS	C-14
3.1 – Descripción general	C-14
3.2 – El acuífero del Altiplano	C-14
3.2.1 – <i>Descripción y límites</i>	C-14
3.2.2 – <i>Características hidráulicas de los terrenos</i>	C-17
3.2.3 – <i>Caudales</i>	C-18
3.2.4 – <i>Profundidad de las aguas</i>	C-19
3.2.5 – <i>Fluctuación de los niveles</i>	C-19
3.2.6 – <i>Protección de las aguas contra la contaminación</i>	C-19
3.2.7 – <i>Aprovechamiento de las aguas del Altiplano</i>	C-19
3.3 – Los acuíferos explotables de la cuenca de La Paz	C-20
3.3.1 – <i>El acuífero de Huaripampa</i>	C-20
3.3.2 – <i>Las napas aluviales de los ríos Irpavi y Achumani</i>	C-20
3.3.3 – <i>El acuífero del flujo de terreno de Cota Cota</i>	C-21
3.3.4 – <i>El acuífero de las terrazas aluviales de Río Abajo</i>	C-21
3.4 – Los acuíferos secundarios	C-22
3.4.1 – <i>Acuífero de Pampajasi</i>	C-22
3.4.2 – <i>Acuíferos de Llojeta y Achocalla</i>	C-22
3.4.3 – <i>Acuífero de las " gravas Miraflores "</i>	C-22
4 – CONSECUENCIAS Y PERSPECTIVAS DE APROVECHAMIENTO	C-23
BIBLIOGRAFIA	C-24

1. GENERALIDADES

Ya sean superficiales o subterráneas, las aguas juegan un papel fundamental en la vida y la ocurrencia de los numerosos fenómenos de morfología dinámica y de riesgos naturales que se desarrollan en la cuenca de La Paz.

Afluyente del río Beni, el río La Paz ha labrado una cuenca encajonada en las formaciones sueltas del Altiplano, donde se ha profundizado por erosión regresiva, captando los ríos y riachuelos provenientes de la Cordillera Real. Perteneciendo así sistema hidrográfico amazónico, esta cuenca ocupa un lugar particular en la red hidrográfica del Altiplano boliviano que forma una cuenca endorreica, presentando de Norte a Sur el Lago Titicaca, el río Desaguadero y el Lago Poopó (fig. C1).

Esta cuenca endorreica contiene una vasta napa acuífera, cuyo régimen general está también perturbado por la cuenca del río La Paz que tiene como efecto drenar una parte de sus aguas.

El objeto de este capítulo es el de analizar en detalle los regímenes de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río La Paz y en la parte del Altiplano que la rodea.



REFERENCIAS



ZONAS UBICADAS A MENOS DE 3500m



ZONA COMPRENDIDA ENTRE 3500 y 4500m.

▲ PICO o NEVADO



ZONAS SITUADAS A MAS DE 4500m DE ALTURA

----- LIMITE DEL AREA ESTUDIADA

----- LIMITE INTERNACIONAL

MAPA DE UBICACION DE LA ZONA DE LA PAZ



PLAN
DE DESARROLLO
URBANO
MUNICIPAL DE LA PAZ

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM BCEOM

C1

2. LAS AGUAS SUPERFICIALES

La Cuenca del río La Paz está encajonada en el Altiplano, al pie occidental de la Cordillera Real cuyas cumbres se encuentran en esta zona a 5500 m aproximadamente. Se desarrolla entre 4100 m al borde del Altiplano, 3200 m en la garganta de Aranjuez, hacia 2600 m en la Estancia Huaricana Bajo donde su curso cambia de dirección para atravesar la Cordillera Oriental al Sur del Illiamani (fig. C1).

El río La Paz resulta de la confluencia de tres ríos principales : el río Choqueyapu al Nor Oeste - el río Orkojahuira al centro y el río Irpavi al Sur Este (fig. C2).

2.1 –CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS SUB-CUENCAS DEL RÍO LA PAZ

2.1.1 – Superficie e hipsometría de las sub-cuencas

Las superficies de las sub-cuencas determinadas al nivel de las estaciones de medidas hidrográficas, están presentadas en el Cuadro C1.

El Cuadro C2 presenta la hipsometría de las sub-cuencas, es decir la proporción de superficie de cada sub-cuenca situada encima de una cierta altura. Este parámetro es interesante para analizar la diversidad de cada una de las seis sub-cuencas estudiadas, y la forma muy particular de la mayor parte de las curvas hipsométricas que las caracterizan.

Por ejemplo, la Sub-cuenca superior del río Choqueyapu-Kaluyo presenta una brusca disminución de las frecuencias altimétricas por encima de 4400 m. En efecto, el río Choqueyapu-Kaluyo no ha remodelado totalmente su cuenca superior en la Cordillera Real, que escurría hacia el Altiplano y el lago Titicaca antes de la formación de la cuenca del río La Paz.

De esta manera, la meseta de Pata Pampa no ha sido prácticamente modificada. Al contrario, una erosión regresiva contemporánea ha afectado la cuenca aguas abajo del río Choqueyapu y encajonado su curso inferior (Parque Roosevelt, Laykakota). Estas características se encuentran más o menos marcadas en otras cuencas (en particular para el río Orkojahuira).

El río Khallapa-Irpavi presenta una asimetría menos marcada entre la parte superior y la parte inferior ; ésto resulta de la situación de esta cuenca que, drenando el macizo del Serrke Kholu, presenta mejores condiciones hidráulicas.

El río Achocalla es un caso particular, ya que está instalado en un enorme deslizamiento.

El río Achumani drena una pequeña porción de los pedimentos antiguos, lo que aumenta las frecuencias altimétricas de su cuenca superior (por encima de 4600 m).

2.1.2 – Otras características físicas calculables

A parte de la superficie, las características físicas principales son el *índice de compacidad ó coeficiente de forma*, el *índice de pendiente* y/o el *índice de pendiente global*.



- LIMITES DE LA CUENCA Y DE LAS SUB-CUENCAS
- RIOS PRINCIPALES
- ESTACION LIMNIMETRICA
- ESTACION HIDROMETRICA
- ESTACION HIDROMETRICA PROYECTADA

- ZONA MAS ALTA QUE 5000 m.
- ZONA ENTRE 5000 Y 3800 m.
- ZONA ENTRE 3800 Y 3000 m.
- ZONA MAS BAJA QUE 3000 m.

MAPA OROHIDROGRAFICO DE LA CUENCA DE LA PAZ

ESCALA 1 : 200000



Plan
de desarrollo
urbano
Ciudad de La Paz

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM-BCEOM PCA

C 2

Cuadro C-1 : Superficie de las Cuencas - Altura de las estaciones

Ríos	Estación o Localización	Altitudes Aproximadas (m)	Superficies (km ²)
LA PAZ	Aguas abajo de la confluencia de los ríos Choqueyapu-Irpavi	3235	476,9
	Aranjuez	3175	497,3
	Aguas arriba de la confluencia con el río Achocalla	2975	536,1
	Mecapaca	2830	665,4
KALUYO	Achachicala	4080	86,9
	Taypi Chulla	3860	108,9
	Aguas arriba de la confluencia con el río Orkojahuirá	3380	146,5
CHOQUEYAPU	Obrajes	3290	243,7
	Aguas arriba de la confluencia con el río Irpavi	3235	250,2
CHUQUIAGUILLO	Incachaca	4425	33,5
	Villa Armonía	3490	88,8
ORKOJAHUIRA	Aguas arriba de la confluencia con el río Choqueyapu	3380	90,1
KHALLAPA	Hampaturi	4060	57,2
	Chicani	3560	145,2
	Aguas arriba de la confluencia con el río Achumani	3270	164,8
IRPAVI	Aguas arriba de la confluencia con el río Choqueyapu	3230	226,7
ACHOCALLA	Mallasilla	3260	36,5
	Aguas arriba con la confluencia del río La Paz	2970	70,8
ACHUMANI	Club Strongest	3460	41,2
	Aguas arriba de la confluencia con el río Irpavi	3270	661,2

**Cuadro C-2 : Determinacion de la hipsometria de las Cuencas
superficies por encima de altitudes dadas**

(1) : Superficie por encima de una altitud dada - Valor en km²

(2) : Superficie por encima de una altitud en % de la superficie total

Rios	Choqueyapu				Orkojahuiria		Irpavi		Achocalla		Achumani	
Estaciones	Taypi Chulla		Obrajes		Villa Armonía		Chicani		Mallasilla		Club Strongest	
Naturaleza	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Altitudes												
5500							0,03					
5400							0,3	2,1				
5300	0,2		0,2				1,5					
5200	1,5	1,4	1,5	0,6			5,7	3,9				
5100	3,4		3,4				14,5					
5000	6,2	5,7	6,3	2,6	0,2	0,2	21,6	14,9				
4900	12,6		14,1		1,5		32,0				0,1	
4800	20,7	19,0	31,3	12,8	10,6	11,9	49,2	33,9			1,4	3,4
4700	32,6		55,8		23,2		68,2				4,8	
4600	56,5	51,9	94,0	38,6	37,5	42,2	80,3	55,3			10,4	25,2
4500	86,2		131,7		45,6		92,0				13,0	
4400	97,3	89,3	152,0	62,3	54,7	61,6	100,8	69,4			15,5	37,6
4300	102,3		164,8		62,0		110,2				18,2	
4200	104,8	96,2	173,6	71,2	67,4	75,9	119,5	82,3			22,2	53,8
4100	106,4		181,6		72,1		127,1				25,1	
4000	108,3	99,4	195,4	80,2	76,2	85,8	130,8	90,1	2,0	5,5	27,9	67,7
3900	108,7		203,5		79,7		135,2		5,9		33,3	
3800	108,9	100	214,2	87,9	83,2	93,7	138,4	95,3	11,0	30,1	34,5	83,7
3700			221,3		86,1		141,9		19,9		37,6	
3600			231,4	95,0	87,9	99,0	143,4		26,3	72,0	40,7	98,8
3500			238,6		88,7		145,2	100	31,5		41,1	
3400			242,0	99,3	88,8	100			34,5	94,5	41,2	100
3300			243,6						36,1			
3200			243,7	100					36,5	100		

El índice de compacidad C se obtiene mediante la fórmula :

$$C = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{S}}$$

Donde :

- S = Superficie de la cuenca.
- P = Perímetro.

El índice de pendiente y el índice de pendiente global, se obtienen utilizando fórmulas donde interviene el " rectángulo equivalente ", rectángulo del mismo perímetro y misma superficie que la cuenca.

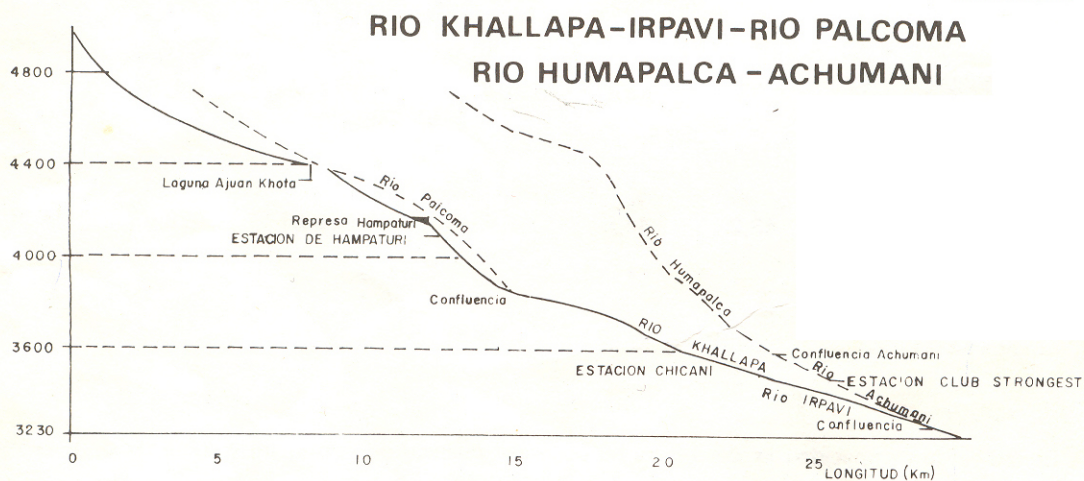
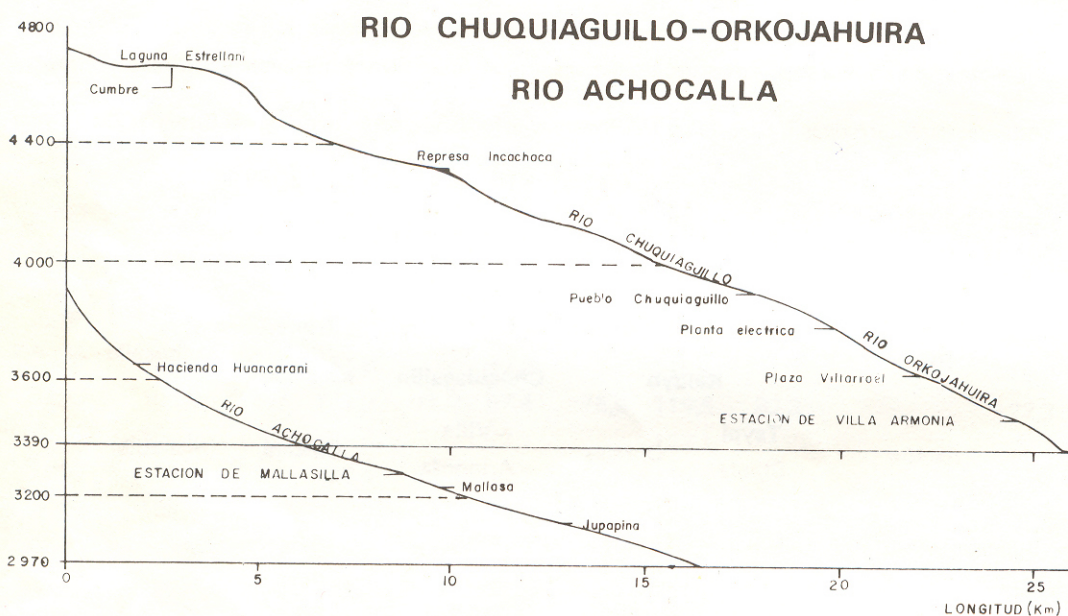
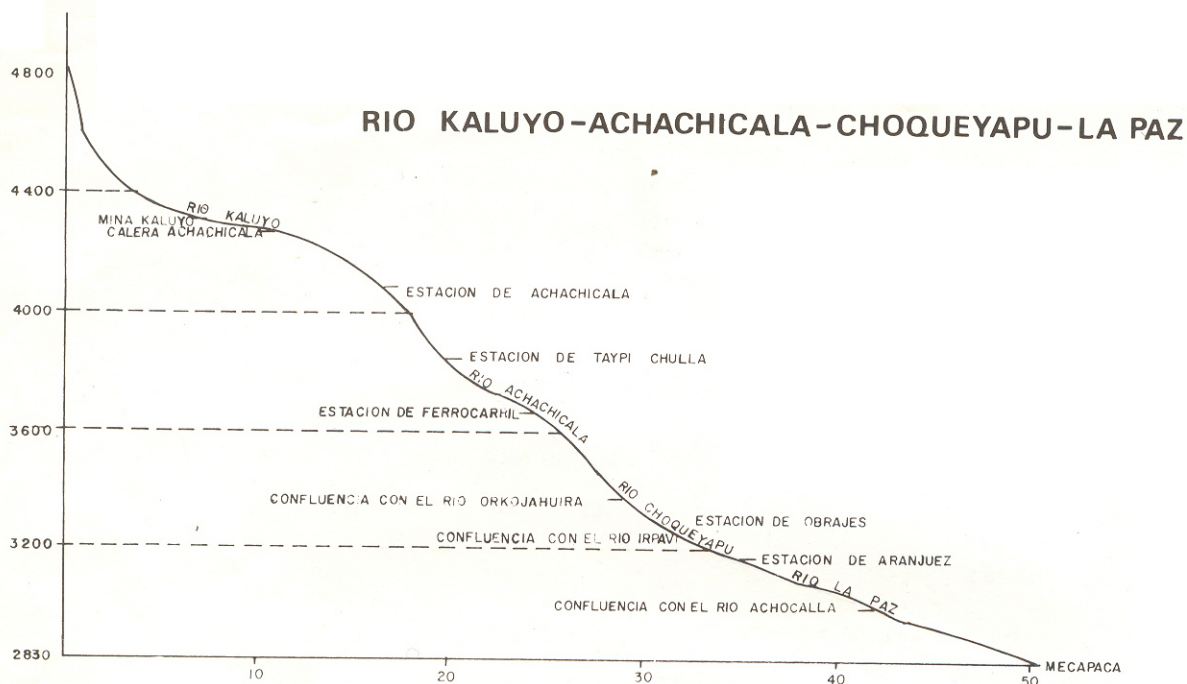
Todas las características físicas de las seis cuencas estudiadas, están dadas en el Cuadro C3.

Cuadro C-3 : características zonales de las cuencas

Rio	Choqueyapu		Orkojahuirá—		Irpavi	Achocalla	Achumani
	Kaluyo		Chuquiaguillo		Khallapa		
Estación	Taypi Chulla	Obrajes	Villa Armonía	Chicani	Mallasilla	Club Strongest	
Superficie (km²)	108,9	243,7	88,8	145,2	36,5	41,2	
Perímetro (km)	48,5	76,5	60,6	56,7	25,0	28,6	
Índice de compacidad	1,30	1,37	1,80	1,32	1,15	1,25	
Índice de pendiente global (‰ o m/km)	43,2	44,5	41,1	63,1	78,6	108	
Índice de pendiente	2,44	2,34	2,21	2,80	3,06	3,64	

El índice de compacidad es débil para las pequeñas cuencas de Achumani y sobre todo de Achocalla. Las lluvias intensas caen generalmente en forma de tempestades localizadas, provocando crecidas bruscas. Este no será el caso de la cuenca del río Orkojahuirá, que es relativamente estrecha y alargada. Las otras cuencas presentan un índice de compacidad, y rectángulos equivalentes más normales.

Los índices de pendiente son globalmente muy fuertes. Mientras que los valores relativos para las cuencas de los ríos Choqueyapu y río Orkojahuirá son comparables y relativamente más débiles, a continuación aumentan



PERFILES LONGITUDINALES DE LOS RIOS EN LA PAZ



Plan de desarrollo urbano
Ciudad de La Paz

HONORABLE ALCALDIA MUNICIPAL
LAS CONSULTORAS
BRGM-BCEOM PCA

C 3

cuando se pasa del río Irpavi al río Achocalla y finalmente al río Achumani.

Conjuntamente la erosión aumentará en la medida en que estas cuencas presenten condiciones geológicas similares.

2.1.3 — Perfiles longitudinales

Los perfiles longitudinales de los principales ríos, están proporcionados en la figura C3.

El perfil longitudinal del río Kaluyo es muy irregular, demostrando la vida accidentada de este río de formación relativamente reciente. La fuerte erosión observable en la "formación La Paz", después del recorrido del río en las "gravas Miraflores" resistentes, ha provocado grandes deslizamientos que han modificado la pendiente y el curso del río.

El perfil a lo largo del río Chuquiaguillo—Orkojahura es muy regular, con una neta influencia glacial en su curso superior, al igual del río Kaluyo.

Notamos un hecho inusual la pendiente media de la cuenca superior — 56‰ aguas arriba del pueblo de Chuquiaguillo es más débil que la de la cuenca aguas abajo — 67‰. Esto es el resultado de la reciente reactivación de la erosión en la cuenca aguas abajo.

Para el río Khallapa—Irpavi la diferencia es neta entre la parte alta y la parte baja de la confluencia con el río Pallcoma. Aguas arriba subsiste una antigua topografía marcada por la erosión glacial, lo que no sucede aguas abajo.

El río Humapalca—Achumani después de un curso superior situado sobre un antiguo pedimento se hunde bruscamente. Aguas arriba de la confluencia con el río Achumani, la pendiente sobrepasa 100‰ y se convierte en 48‰ más abajo.

La síntesis de los análisis de perfiles de los ríos principales y de las superficies, permite definir el tiempo de concentración de cada uno de los ríos (Cuadro C4).

El tiempo de concentración calculado mediante la fórmula de Giandotti, es la duración necesaria para que todos los puntos de la cuenca contribuyan al escurrimiento si la lluvia es uniforme. Este parámetro sirve para prever los caudales máximos de crecidas.

Cuadro C-4 : tiempo de concentracion de las sub-cuencas

Ríos	Estación de calculo	Desnivel medio (m)	Longitud Thalweg (km)	Tiempo de concentración
Kaluyo—Choqueyapu	Taypi Chulla	770	19,7	3 H 15 mm
Orkojahuirá	Villa Armonía	900	24,7	3 H 05 mm
Pallcoma—Irpavi	Irpavi	1130	25,0	2 H 55 mm
Hampaturi—Irpavi	Irpavi	1270	29,1	3 H 20 mm
Achumani	Club Strongest	1270	12,8	2 H 00 mm
Achumani	Calacoto	1480	16,4	2 H 25 mm

2.2 – LOS CAUDALES

2.2.1 – Caudales de crecida de las sub-cuencas

Ante la ausencia de mediciones fluviométricas, ha sido necesario emplear la llamada “ fórmula racional ” para calcular los caudales máximos previsibles para frecuencias decenal y centenal. Los resultados presentados en el Cuadro C5 necesitan una confirmación experimental, razón por la cual se ha instalado la red limnimétrica, presentada más adelante.

Cuadro C5 : caudales maximos de crecidas de las sub-cuencas
(Valores por exceso)

Ríos	Kaluyo Choqueyapu	Orko-jahuira	Pallcoma Irpavi	Hampaturi Irpavi	Achumani	Achumani
Sección baja Sub-cuenca estudiada	Taypi Chulla	Villa Armonía	Irpavi	Irpavi	Club Strongest	Calacoto
Intensidad decenal (mm/h)	8,8	9,3	9,3	8,7	12	11
Caudal decenal (m ³ /s)	108	93	118	159	78	101
Intensidad centenal mm/h)	14	15	15	14	20	18
Caudal centenal (m ³ /s)	151	150	190	257	130	165

Para las cuencas más importantes, los caudales pueden calcularse recomponiendo las crecidas de las sub-cuencas.

2.2.2 – Calculo de crecida de los ríos principales

Aunque las bases de cálculo sean actualmente débiles, es interesante tener una idea de las crecidas máximas del río Choqueyapu en Obrajes, del río Irpavi después de la confluencia de los ríos Achumani e Irpavi, asímismo al inicio del río La Paz en la parte baja de la ciudad.

El río Choqueyapu aguas arriba de la confluencia con el río Orkojahuira no presentará un caudal de punta de crecida mucho más fuerte que aguas arriba de la ciudad. En efecto, en la medida en que la lluvia se desencadene al mismo tiempo en toda la cuenca, la crecida muy rápida proveniente de las zonas impermeables será en gran parte desaguada cuando llegue la lluvia proveniente de la cuenca alta.

Para el río Irpavi a la altura del puente de Calacoto, la crecida de frecuencia x será más débil que la suma de

las crecidas de frecuencia similar de los ríos Irpavi alto y Achumani, siendo los tiempos de concentración bastante diferentes (3 H 20 contra 2 H 25).

El Cuadro C6 da aproximaciones por exceso de crecida en tres zonas seleccionadas.

**Cuadro C6 : caudales maximos de los principales rios
de la cuenca de La Paz**

(Valores por exceso)

Ríos	Sección consolidada	Tiempos de concentración	Caudal Decenal (m³/s)	Caudal Centenal (m³/s)
Choqueyapu	Obrajes	3 H 45	208	313
Irpavi	Puente de Calacoto	3 H 20	239	386
La Paz	Confluencia baja Choqueyapu—Irpavi	3 H 50	428	643

2.2.3 – El transporte sólido

Las condiciones de erosión intensa están concentradas en la cuenca de La Paz :

- Fuerte pendiente principalmente en las cuencas inferiores o medias de los ríos.
- Lluvia concentrada en el tiempo, tempestades bastante fuertes.
- Débil cobertura vegetal consistente de vegetación herbacea, en proceso de degradación.
- Poca cohesión del terreno, constituído en lo esencial por depósitos fluvioglaciales mal clasificados y no consolidados.

Los materiales arrancados a las pendientes, son arrastrados por los ríos, creando un importante transporte sólido bajo la forma de barro con gravas y piedras. Aunque faltan actualmente medidas serias de este transporte, una estimación indirecta ha sido posible en el río Achumani, ya que la presa sobre el río Huayllani ha tenido que ser elevada de un metro en 1974 por los depósitos de los transportes sólidos ocurridos anteriormente. La observación del volumen de materiales depositados durante los dos últimos años de lluvias, ha permitido definir la erosión específica E_s en toneladas por kilómetro cuadrado y por año

$$E_s = 500 \text{ t/km}^2/\text{año}$$

Esta degradación específica representa probablemente un valor por defecto, ya que el río arrastra una parte considerable de materiales hacia abajo de la presa.

De todos modos, se puede pensar sobre esta base, que el río La Paz transporta cada año hacia la cuenca amazónica por lo menos 300.000 toneladas de materiales arrancados a las cuencas de La Paz y Achocalla, es decir que desde la fundación de la ciudad, un espesor homogéneo del orden de 13 cm ha sido erodado en la cuenca, sin tener en cuenta los materiales deslizados.

2.3 – CONSECUENCIAS

La red hidrográfica de la cuenca de La Paz, con sus 90 km de longitud acumulada, es importante por su efecto erosivo en las formaciones sueltas del Altiplano y por sus crecidas súbitas que pueden ocasionar inundaciones catastróficas.

El desarrollo de la urbanización ha tenido dos efectos básicos que cambian localmente los fenómenos hidrográficos naturales. El primero, muy importante, es debido al aumento del escurrimiento de las aguas superficiales, provocando fuertes crecidas aguas abajo de las zonas urbanizadas. El segundo, está ligado a la limitación de los efectos erosivos de los ríos por la canalización parcial del curso de los ríos y, en el futuro, por la forestación.

La planificación de la canalización y de la regulación de los ríos, necesita un buen conocimiento de las crecidas previsibles para un dimensionamiento adecuado de las obras hidráulicas.

Por eso, se ha proyectado la instalación de una red de medidas limnigráficas y pluviográficas nueva, según el programa presentado en la figura C2. El equipo así instalado proporcionará datos básicos en los próximos años, que permitirán cálculos de crecidas más precisos y seguros que los proporcionados por las fórmulas del " método racional " utilizadas ahora.

3. LAS AGUAS SUBTERRANEAS

3.1 – DESCRIPCIÓN GENERAL

Las aguas subterráneas provienen de la saturación de las diferentes formaciones geológicas por las aguas de lluvia o de escurrimiento superficial (fusión de los hielos y de las nieves). En un lugar determinado, estas aguas pueden filtrar desde formaciones suprayacentes o laterales, formando una napa acuífera definida.

En cada facies litológica, se pueden determinar la celeridad de filtración bajo una cierta diferencia de carga, y la **permeabilidad** del material (K en m/s).

El producto de la permeabilidad por el espesor de la capa litológica, se denomina **transmisibilidad** (T en m^2/s).

Según su permeabilidad, las capas litológicas pueden ser diferenciadas en **acuíferos** (predominancia de gravas y arenas), o en terrenos semipermeables (silts o alternancia de gravas y arcillas) o impermeables (arcillas).

Los diferentes acuíferos que se pueden encontrar en la región de La Paz, están constituídos por :

- los terrenos gravosos del Altiplano, y de las placinies de Huaripampa y Pampajasi,
- las terrazas aluviales (grava Miraflores, zonas de Calacoto y de Río Abajo),
- los valles aluviales de Irpavi y Achumani,
- el flujo de terreno de Cota—Cota.

Cada uno de estos acuíferos, se describirá a continuación.

3.2 – EL ACUÍFERO DEL ALTIPLANO

3.2.1 -- Descripción y límites

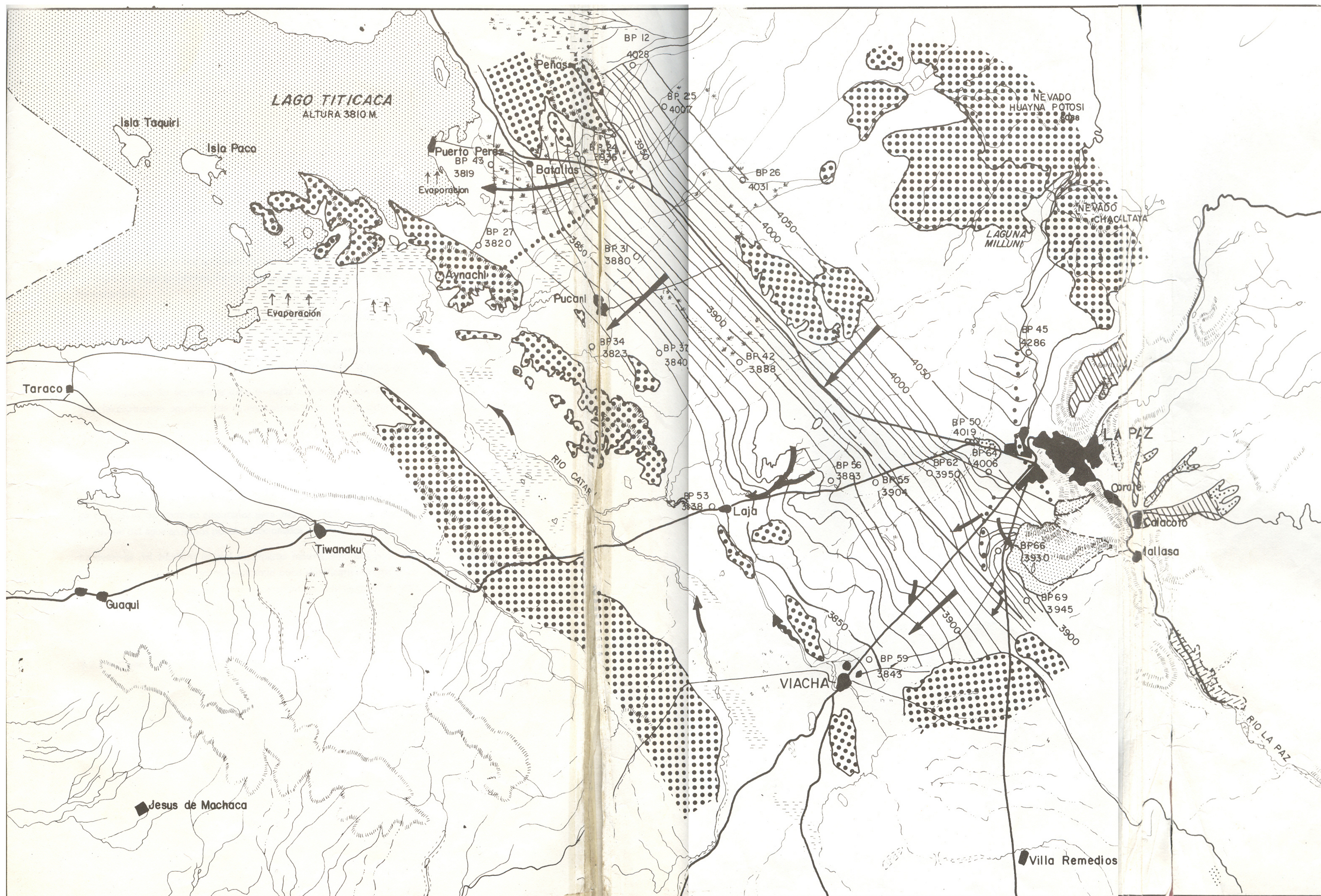
En la parte del Altiplano Boliviano, que se extiende entre La Paz y Batallas, se observa la siguiente distribución de terrenos (de NE a SO) :

- terrenos morrénicos de piedemonte (hasta el camino El Alto—Peñas),
- gravas del techo del Altiplano,
- formaciones arcillosas depositadas en el fondo del antiguo lago Ballivián.

Estos terrenos se encuentran interrumpidos localmente por afloramientos de terrenos paleozóicos y cretácicos impermeables, y de las formaciones La Paz, Umala o equivalentes, de baja permeabilidad, que no llegan a constituir una barrera total a la circulación de las aguas, pero la retienen, deformando las curvas isopiezas (líneas de igual presión de las aguas), como se puede ver en la figura C4.

El acuífero del Altiplano, está entonces delimitado de la siguiente manera :

- Hacia arriba (Nor Este) por un límite impermeable (rocas de la cordillera).



MAPA PIEZOMETRICO DEL ALTIPLANO

(REGION DE LA PAZ)

REFERENCIAS

ESCALA 1: 250 000

0 2 4 6 8 10 Km.



Terrenos impermeables



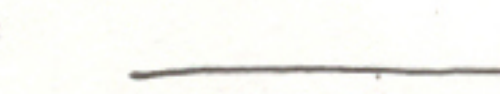
Fallas



Pozos del proyecto NN.UU.

4150

Alturas m.s.n.m.



Curvas isopiezométricas



Línea de separación
de las aguas



Dirección de escurrimiento



Otros acuíferos
(agua potable)



Terrazas de Río Abajo
(agua salobre)



Acuífero de Pampajasi
(contaminado) y zona saturada
en Achocalla (terrenos saturados y zona de pseudo-
karst)

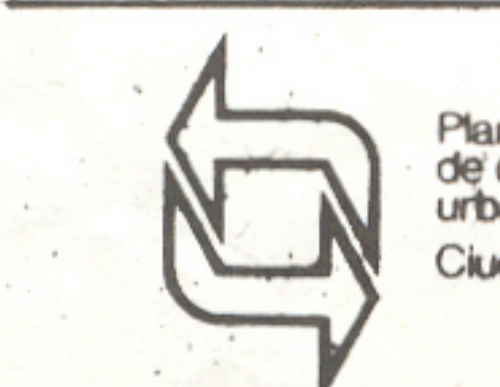


Captaciones previstas en
napas aluviales



Perímetro de protección

Nota: Al NO de una línea Laja Milluni Bajo se usaron los
niveles registrados en el proyecto NN.UU.-Geobol



HONORABLE ALCALDÍA MUNICIPAL
LAS CONSULTURAS
BRGM-BCEOM

C 4

— Lateralmente (Nor Oeste) por un límite impermeable : terrenos de las inmediaciones del río Suriquiña y rocas impermeables del Monte Calvario.

— Lateralmente (Este) por un límite a condición de presión : la altura de los manantiales en el borde de las cuencas de La Paz y Achocalla, se fija por el cambio de litología (contacto de las arcillas La Paz con las gravas La Paz, Calvario o Purapurani).

— Hacia abajo (Oeste y Sur Oeste) por un límite a condición de presión (Oeste — descarga directa en el lago Titicaca), o impermeable (serranías de rocas paleozóicas en una línea Viacha-Tiquina), o bien con condición de flujo (continuación del escurrimiento hacia el valle del río Catari, por los terrenos situados entre las serranías).

El valle del río Catari a su vez es limitado hacia el Sur Oeste por afloramientos contínuos de rocas impermeables, casi no tiene alimentación por el Sur Este, y se descarga en los pantanos costaneros del lago Titicaca. Verticalmente, las gravas acuíferas de este valle son cubiertas por arcillas lacustres encima de las cuales circulan las corrientes superficiales, sin relación directa con la napa acuífera principal confinada por debajo.

La **alimentación** del acuífero se debe en parte a la infiltración directa del agua de lluvia que cae en la superficie (exceptuando aquellas que se encuentran cubiertas de sedimentos lacustres impermeables) y, principalmente se debe a la infiltración directa de las aguas superficiales de deshielo de la cordillera, o a partir de los ríos, el caudal de los ríos disminuye poco a poco, hasta anularse en invierno, (lo que ha originado por ejemplo el nombre de Río Seco).

El **flujo** de las aguas de la napa acuífera, ha sido estudiado a partir del análisis del piezométrico de las aguas encontradas en los pozos existentes, como de las características hidráulicas obtenidas mediante la realización de 6 ensayos de bombeo ejecutados para este proyecto, y con el análisis continuo de las fluctuaciones, de los niveles del agua en varios pozos seleccionados.

La **descarga** del acuífero es casi totalmente natural, solo una pequeña parte tiene lugar en forma artificial mediante el bombeo de pozos resultando poco significativo frente al caudal de escurrimiento del acuífero. Dicha descarga se produce por medio de manantiales a lo largo del borde de las cuencas de La Paz y Achocalla, por el drenaje natural de los ríos efluentes cerca de la línea de serranías al NO de Viacha, y por evaporación en los numerosos bofedales que ocasionan las fallas y los cambios de litología.

3.2.2 — Características hidráulicas de los terrenos

Los seis ensayos de bombeo que se hicieron en el marco del presente proyecto, dieron los resultados presentados en el Cuadro C7.

Cuadro C7 : características hidraulicas de los terrenos del altiplano

	Transmisibilidad (T) y Permeabilidad (K)	Coefficiente de almacenamiento	Observaciones
Norte : Falla del Kenko	$T = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ $K = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$		Morrenas de la formación Milluni superior
Entre : las dos Fallas	$T = 2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ $K = 3.2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	2×10^{-3}	Gravas de la formacion La Paz
Sur : falla de Amachuma	$T = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ $K = 0.7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	3×10^{-3}	Arenas debajo del lacustre Ballivián

Los ensayos de bombeo se realizaron en un pozo excavado y en cinco pozos perforados. Los ensayos han sido repetidos tres veces para obtener un valor promedio.

El ensayo realizado en el lugar denominado de Milluni Bajo, evidenció el modo de deposición de la formación Milluni Superior (Chacaltaya) en flujos de terrenos paralelos a la línea de máxima pendiente y aislados entre sí desde el punto de vista hidráulico.

El Cuadro C7 permite resaltar la poca variación de los parámetros de una zona a otra (de 1 á 5 para la permeabilidad K y la transmisibilidad T).

3.2.3 – Caudales

Las precipitaciones medias registradas en El Alto de La Paz (Aeropuerto) son de 600 mm, con una evapotranspiración potencial (ETP) de 1435 mm. En los tres meses sin déficit en agua (Diciembre a Marzo) las lluvias superan a la evapotranspiración potencial de 148 mm, lo que correspondería aproximadamente a 7 m³/s de escurrimiento superficial e infiltración combinados a esa época.

El caudal subterráneo puede ser estimado con más precisión usando la ley de Darcy : el caudal es el producto de la transmisividad por la anchura del acuífero (i.e. la longitud de una línea esopieza), y por el gradiente hidráulico (i.e. la pendiente de la superficie piezométrica). El ancho del acuífero es más o menos de 50 km, el gradiente varía de 8 á 15 ‰ en la faja central del acuífero, entre la zona de alimentación y la zona de evaporación.

Según la ley de Darcy, se puede pensar que el caudal que transita por el acuífero es del orden de 1 á 2 m³/s.

Cerca del valle de La Paz, las aguas son desviadas y drenadas hacia las cuencas. Un calculo del mismo tipo que le precedente, conduce a los resultados siguientes :

- descarga hacia la cuenca de La Paz : 0.3 á 0.6 m³/s

— descarga hacia la cuenca de Achocalla : $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$

3.2.4 — Profundidad de las aguas

La profundidad de las aguas subterráneas ha sido determinado sólo en la zona del estudio, abarcando Viacha, Laja y Milluni Bajo. Esta profundidad varía de 0 (zonas de bofedales) a 33 m (zona de Senkhata) ; la altura de los manantiales debajo de la Ceja de El Alto, permite evaluar profundidades hasta 50 m.

En regla general, la profundidad media en el Altiplano es del orden de 5 á 15 metros.

3.2.5 — Fluctuación de los niveles

En el área del estudio se han excogido 14 pozos, para analizar las fluctuaciones de las aguas, doce de los cuales son pozos del proyecto de NN.UU., y dos pozos domésticos de campesinos. La fluctuación más fuerte registrada ha sido de 3.25 m en Pampa Uypaca (Febrero a Mayo de 1977), la menor de 30 cm en Chunchocoro (Abril a Julio de 1977).

De 20 medio — períodos registrados, la mayoría (once) muestran que la fluctuación es inferior a 50 cm, y sólo un tercio (siete) pasan el metro.

Se debe notar que varios pozos no han vuelto al nivel que tenían al año anterior, lo que indica que las precipitaciones del verano 1977 han sido inferiores a las de 1976.

3.2.6 — Protección de las aguas contra la contaminación

Con excepción de la zona de sedimentos lacustres en el SO del acuífero, la napa acuífera del Altiplano no está confinada, y entre la superficie topográfica y la napa acuífera se encuentran casi solamente gravas o terrenos morrénicos.

Se puede considerar que las arcillas de la zona Sur Oeste (zona de serranías) presentan una protección suficiente de la napa acuífera contra cualquier tipo de contaminante. En los terrenos morrénicos del Este, aunque el agua esté a menudo muy cerca de la superficie, la altura, el relieve y la falta de caminos impiden la construcción de plantas industriales.

Al contrario, la zona situada entre el camino a Huarina y los afloramientos de arcillas lacustres o de formaciones poco permeables (formaciones La Paz, Umala, etc...), las gravas del techo del Altiplano son muy permeables, y el agua está, a veces, a muy poca profundidad : cualquier producto nocivo llega a la napa acuífera en un tiempo breve. Por este motivo, y a fin de proteger las aguas consumidas en Achocalla y en el Altiplano, se aconseja impedir la construcción de industrias contaminantes en dos zonas (perímetros de protección) indicadas en el mapa de la figura C4.

3.2.7 — Aprovechamiento de las aguas del Altiplano

En la zona de El Alto no es aconsejable tratar de aprovechar las aguas de la napa acuífera del Altiplano. La

profundidad del agua varia entre 30 y 50 m, bajo la superficie del terreno, lo que implica costos altos de perforación y de bombeo, mientras que en SAMAPA está instalanda la tubería que traerá las aguas de la presa de Tuní Condoriri.

En los pozos que se perforen en el resto de la región estudiada, se encontrará agua subterránea de buena calidad a menor profundidad, en cantidad suficiente para casi todo tipo de desarrollo industrial o agrícola.

Un drenaje sistemático de los bordes de las cuencas de Achocalla y La Paz suministraría un agua de buena calidad para el consumo de la población, y coadyuvaría a la estabilización del borde del Altiplano.

3.3 – LOS ACUIFEROS EXPLOTABLES DE LA CUENCA DE LA PAZ

3.3.1 – El acuífero de Huaripampa

La litología de la planicie de Huaripampa es similar a la del Altiplano, del cual lo separa solamente el valle del río Kaluyo—Choqueyapu.

Se conoce que la lluvia supera la evapotranspiración potencial en 148 mm de Diciembre a Marzo. Si se considera que la infiltración en la planicie de Huaripampa es total, el caudal promedio de la napa acuífera sería de 25 l/s, mientras que en estación seca hemos aforado 11.5 l/s.

Esta napa está alimentada de manera similar al acuífero del Altiplano, y sus aguas son de buena calidad. Su captación, mediante galerías drenantes perforadas en los bordes de la planicie, permitiría estabilizar los taludes y proporcionar agua a los barrios vecinos.

La gran altura de la planicie (4500 m) parece impedir toda construcción y no es necesario prever precauciones particulares para proteger la calidad del agua.

3.3.2 – Las napas aluviales de los ríos Irpavi y Achumani

Los ríos Irpavi y Achumani tienen lechos anchos convexos, presentando tendencia a sobre elevarse con el depósito de los sedimentos transportados y depositados por ambos ríos.

La parte baja de los ríos se está urbanizando en condiciones peligrosas por los riesgos de inundación que existen. Estos riesgos tienen dos orígenes : uno ligado a un desborde posible de las aguas superficiales durante una fuerte crecida en época de lluvias ; el otro ligado a la napa aluvial de ambos ríos.

En efecto, el nivel superior de la napa acuífera está situado muy cerca de la superficie topográfica, y una subida posible de este nivel puede ocasionar la inundación de las partes bajas de las casas, como se ha visto en Junio de 1976, o bien una inundación parcial de los barrios urbanizados.

La ejecución de algunos pozos de control piezométricos, de una profundidad del orden de 10 m en ambos valles, permitiría seguir las fluctuaciones del nivel de las napas aluviales. En caso de que la canalización de los dos ríos no sea suficiente para eliminar el riesgo de subida de las napas aluviales, los pozos podrían ser

equipados de bombas de agua cuyo caudal global debería bajar el nivel piezométrico y podría ser aprovechado para el consumo de agua en los barrios de Irpavi y Achumani.

Se trata de un caudal global de varios cientos de litros por segundo.

Para evitar todo riesgo de contaminación de las aguas potables de las napas acuíferas, la ubicación de los pozos de bombeo debería definirse aguas arriba de las zonas urbanizadas.

3.3.3 – El acuífero del flujo de terreno de Cota Cota

El acuífero de Cota Cota es un complejo que abarca gravas fluviales (en Ovejuyo), un “flujo de terreno” antiguo en Cota Cota y una terraza aluvial en la parte baja de Calacoto.

Lateralmente está limitado por los ríos Jilusaya y Huañajahuira, hacia abajo por el río La Paz.

Las aguas de recarga provienen de las lluvias y sobre todo de filtraciones laterales desde las serranías que dominan Ovejuyo.

El agua natural es potable y su captación en los aluvios del río Ripar Punku, y pendiente arriba de Ovejuyo permitiría distribuir el agua por gravedad, ahorrando el costo de un bombeo desde la zona de Los Pinos.

En tal caso, sería necesario impedir toda construcción más arriba de las captaciones, lo que no causaría gran molestia, porque la estrechez del río Ripar Punku y la fuerte pendiente que existe arriba de Ovejuyo también hacen difícil la construcción de casas o edificios.

3.3.4 – El acuífero de las terrazas aluviales de Río Abajo

Las terrazas que se encuentran a lo largo del camino entre el puente de Lipari y Valencia, están constituidas de gravas aluviales, de aluvios esquistosos o de “flujos de terreno”. El acuífero está constituido de las gravas sobre las cuales se depositó el “flujo de terreno” del Valle de la Luna.

Un ensayo de bombeo en el pozo de CORDEPAZ en Las Carreras, indicó una transmisividad :

$$T = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

valor parecido al medido en el Altiplano.

El acuífero es alimentado lateralmente desde las serranías esquistosas que constituyen la pendiente Este del valle. Su descarga se hace hacia el río La Paz, aunque en tiempo de aguacero el río alimenta el acuífero.

Como consecuencia, la faja más cercana al río (más o menos cien metros al límite de los cultivos o de la terraza) se encuentra contaminada por las aguas del río, mientras que el resto es salobre. Las aguas contienen de 7 a 18 g/l de sal, principalmente sulfato de sodio.

Estas aguas están fuera de las normas de potabilidad de la O.M.S., pero es la única fuente de abastecimiento del vecindario. Un modo de mejorarlas sería la construcción de una planta de tratamiento de las aguas servidas de La Paz.

3.4 – LOS ACUIFEROS SECUNDARIOS

3.4.1 – Acuífero de Pampajasi

La planicie de Pampajasi, ya urbanizada, está constituida de gravas y de material deslizado. Se han analizado varios manantiales en sus alrededores. Las aguas son potables en las pendientes Este y Sur, mientras que en el lado Oeste están muy contaminadas (hasta aguas negras).

Este factor implica que el escurrimiento es radial, pero también quiere decir que se pueden contaminar rápidamente todos los manantiales.

3.4.2 – Acuíferos de Llojeta y Achocalla

En las zonas de Llojeta y Achocalla el terreno está constituido de bloques deslizados desde el farellón del Altiplano en las partes altas, y de "flujo de terreno" en las partes bajas. El agua proveniente del Altiplano vuelve a infiltrarse (en Achocalla, ocurre que se infiltra varias veces) y desaparece dentro de la zona de morfología kárstica que se desarrolla en los "flujos de terreno".

Mientras, que en Llojeta y en Mallasilla el agua es escasa, en Achocalla se han formado bofedales y pantanos. La captación sistemática de los manantiales en el farellón del Altiplano permitiría regularizar el escurrimiento, proporcionando agua para consumo y riego, y limitando los riesgos de deslizamientos y hundimiento.

3.4.3 – Acuífero de la "grava Miraflores"

El terreno fluvio-glacial llamado "grava Miraflores" constituye el sub-suelo del barrio de Miraflores y del centro de la ciudad (desde la Avenida Monte hasta San Jorge). Este acuífero, altamente permeable, está contaminado por pérdidas del alcantarillado y desechos domésticos. Por eso, sus aguas no pueden ser usadas para consumo doméstico.

No obstante, sería necesario drenar esta formación para evitar deslizamientos en las laderas de los valles, tal como el de la calle Capitán Ravelo. Este drenaje tendría que hacerse por galerías, como las que ya existen (Edificios Krsul y Santa Isabel).

4. CONSECUENCIAS Y PERSPECTIVAS DE APROVECHAMIENTO

La cuenca de La Paz presenta una excepción al régimen general de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca endorreica del Altiplano.

Los ríos de la cuenca pertenecen a la alejada cuenca Amazónica, desde la captura de los ríos Orkojahuirá y Choqueyapu por un afluente del río Beni. La napa acuífera del Altiplano está drenada localmente por las cuencas de La Paz y Achocalla, cuyo escurrimiento general NE—SW está así desviado hacia el Sur.

Estas particularidades han provocado la erosión, y desde luego, la búsqueda geológica de un nuevo equilibrio en las cuencas de La Paz y Achocalla. Este equilibrio no está todavía totalmente obtenido, como se constata en el capítulo D que trata de riesgos naturales, muchas veces ligados a la acción dinámica de las aguas superficiales y subterráneas.

La urbanización de las cuencas geomorfológicamente activas, necesita orientar los fenómenos naturales de manera que se fije definitivamente la morfología actual y desaparezcan los riesgos naturales.

Ello necesita buen conocimiento de los regímenes interno y externo de las aguas que los estudios presentes han adelantado y puede conducir, como lo hemos sugerido en varias ocasiones en este capítulo, a un aprovechamiento de las aguas de las cuencas, lo que representaría una economía interesante para la ciudad.

BIBLIOGRAFIA

LOCAL

DOBROVOLNY E. (1962) — Geología del valle de La Paz. Ministerio de Minas y Petróleo — Bol. N° 3.

ALVAREZ A. y JIMENEZ L. (1969 Oct.) — Censo de pozos en El Alto.

MALDONADO M. y PONCE J. (1969 - Nov.) — Informe geotécnico preliminar del deslizamiento de " Santa Bárbara " (Informe N° 8 — Departamento Geotecnia de la H. Alcaldía Municipal).

E.P.T.I.S.A. (1970 - Jun.) — Ante-Proyecto de la Autopista La Paz—Lipari.

MALDONADO M. (1970 - Nov.) — Estudio geomorfológico de la región Mallasilla (Informe N° 4 — Departamento Geotecnia de la H. Alcaldía Municipal).

P.N.U.D. — GEOBOL (1973) — Desarrollo de los recursos en aguas subterráneas en el Altiplano — Resultado del proyecto — Conclusiones y Recomendaciones.

FERRANDES R. (1974) — Cervecería Boliviana Nacional — Exploración de agua subterránea en Viacha (EQUIPETROL — B.R.G.M.).

DOBROVOLNY E. (1976) — Slope stability of selected sites in the La Paz valley (Bolivia).

TECNICA

JOHNSON A.I. (1963) (?) — Specific Yield (Geological Survey Water-Supply Paper 1662-D).

U.N.E.S.C.O. (1970) — Leyenda internacional para mapas hidrogeológicos.

FORKASIEWICZ J. (1972) — Interpretation des données de pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères (B.R.G.M.).

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE (1974) — Formulaire du Foreur.

SERVICE DE LA CARTE GEOLOGIQUE D'ALSACE ET DE LORRAINE (1974) — Recommandations relatives à l'implantation des décharges d'ordures ménagères.

JOHNSON DIVISION, UOP INC (1975) — El agua subterránea y los pozos.

FORKASIEWICZ J. (1976) — Etablissement du programme des pompages d'essai (B.R.G.M.).

NOTAS TECNICAS E INFORMES PROPORCIONADOS

1976 - Junio — Nota Técnica Geológica N° 4 — Hidrogeología. — Métodos de trabajo y programa a mediano plazo.

Inspección de tres tramos del alcantarillado.

1976 - Julio — Informe del ensayo de bombeo del pozo N° 1 de la Cervecería Boliviana Nacional en Viacha (en colaboración con CORPAGUAS).

Informe del ensayo de bombeo del pozo N° 2 de la Cervecería Boliviana Nacional en Viacha (en colaboración con CORPAGUAS).

1976 - Agosto — Informe del ensayo de bombeo del pozo N° 3 de la Cervecería Boliviana Nacional en Viacha (en colaboración con CORPAGUAS).

Nota de Consulta Geológica N° 1 — Inundaciones en Irpavi.

1977 - Enero — Programa de reconocimiento hidrogeológico en el Altiplano — Especificaciones técnicas.

Nota Técnica Hidrogeológica — Inventario de puntos de agua — Resultados preliminares.

1977 - Febrero — Los fenómenos kársticos en las formaciones de torrentes de barro del valle del río La Paz (Ing. J. Margat).

Notas sobre los valles de los ríos Irpavi y Achumani (Ing. J. Margat).

El acuífero del Altiplano boliviano (región de La Paz—Lago Titicaca) — (Ing. J. Margat).

Edition : 30 Janvier 1978

Réalisation

Division des arts graphiques

du

B. R. G. M.

Orléans - FRANCE