

EL PLIO-CUATERNARIO DE LA REGION DE LA PAZ (ANDES ORIENTALES, BOLIVIA).

O. BALLIVIÁN*, J. L. BLES**, M. SERVANT***

* Convenio UMSA-O.R.S.T.O.M., cajón postal 8714, La Paz y Consultora Prudencio Claro y Asociados, La Paz, Bolivia

** Bureau de Recherches géologiques et Minières, Orléans, France

*** Universidad Mayor de San Andrés y Misión O.R.S.T.O.M. en Bolivia, cajón postal 8714, La Paz, Bolivia

RESUMEN

La región de La Paz ofrece un corte completo del Plio-Cuaternario en los piedemontes alliplánicos de los Andes Orientales. Este corte nos permite observar:

— *Una serie continental de más de 500 m de espesor, pliocénica por lo menos en su parte inferior. Estos depósitos parecen asociados a un sollevamiento relativo de los relieves río arriba y a una subsidencia de la cuenca de sedimentación evaluada en 0,1 mm/año como promedio mínimo.*

— *Una fase de erosión (interrumpida por lo menos por una fase de alteración) que podría estar asociada con la apertura río abajo de la depresión del lago Titicaca.*

— *Depósitos glaciales típicos atribuidos a dos glaciaciones antiguas cuya existencia indica que los Andes Bolivianos habían alcanzado más o menos a las alturas actuales.*

— *Un pedimento bien desarrollado donde se ubican testigos de pedogénesis y alteración.*

— *Acumulaciones morénicas atribuidas a una glaciación recientemente identificada con glaciales de piedemonte.*

— *Amplias fases de disección que desarrollaron los valles actuales. Estos últimos ofrecen río arriba testigos glaciales indicativos de dos oscilaciones glaciales positivas probables.*

RÉSUMÉ

La région de La Paz offre une coupe complète du Plio-Quaternaire sur les piedmonts occidentaux de la Cordillère Orientale des Andes Boliviennes. Cette coupe permet d'observer:

— *Une série continentale de plus de 500 m d'épaisseur, d'âge pliocène au moins dans sa partie inférieure. Son dépôt paraît associé à un soulèvement relatif de la Cordillère et à une subsidence du bassin de sédimentation évaluée à 0,1 mm/an au minimum.*

— *Une phase d'érosion (interrompue par au moins une période d'altération) qui pourrait être en relation avec l'ouverture en aval de la dépression du Lac Titicaca.*

— *Des dépôts glaciaires attribués à deux glaciations anciennes dont l'existence indique que les Andes avaient atteint approximativement leurs altitudes actuelles.*

— *Un glacis d'ablation sur lequel subsistent des témoins d'altération et de pédogénèse.*

— *Des dépôts morainiques caractéristiques de glaciers de piedmont.*

— *Plusieurs phases successives de creusement ayant abouti à l'individualisation des vallées actuelles. Celles-ci conservent en amont quelques témoins morainiques probablement attribuables à deux pulsations glaciaires positives.*

THE PLIO-QUATERNARY IN LA PAZ AREA (EASTERN ANDES, BOLIVIA)

SUMMARY

A complete section of the Plio-Quaternary can be observed near La Paz on the western foothills of the Eastern cordillera of Bolivian Andes. This section shows the following:

— *A continental series which is more 500 m (1,640 ft) thick, of pliocene age at least in its lower section. Its settlement seems to be related to a relative uplift of the Cordillera and to a subsidence of the basin of deposition which can be evaluated to at least 0.1 mm a year (0.0039 in.).*

— *An erosion phase (interrupted by at least one period of weathering) which could be related to the downstream opening of Titicaca Lake depression.*

— *Glacial deposits ascribed to two old glaciations the occurrence of which indicates that the Andes had approximately reached their present altitudes.*

— *An ablation slope on which weathering and pedogenesis remains still exist.*

— *Morainic deposits which are characteristic of piedmont glaciers.*

— *Several successive cutting phases which have lead to the individualization of present valleys. These keep some upstream morainic remains which can probably be ascribed to a pair of positive glacial pulsations.*

ПЛИО-ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ПЕРИОД РАЙОНА ЛА ПАС (ВОСТОЧНЫЕ АНДЫ, БОЛИВИЯ)

РЕЗЮМЕ

Район Ла Пас являет полный разрез плио-четвертичного периода на западных предгорьях Восточной Кордильеры боливийских Анд. В этом разрезе наблюдаются:

— Континентальная серия, мощностью в более 500 м, плиоценового возраста по крайней мере в нижней части. Отложение ее повидимому связано с относительным поднятием Кордильеры и с оседанием осадочного бассейна, которое оценивается по меньшей мере в 0,1 мм/год.

— Эрозонная фаза (прерванная по крайней мере одним периодом выветривания), которая могла быть в связи с открытием, вниз по течению, котловины озера Титикака.

— Ледниковые отложения, отнесенные к двум древним оледенениям, существование которых показывает что Анды приблизительно достигли тогда своих нынешних высот.

— Скат сноса, на котором пребывают останцы выветривания и почвообразования.

— Мореновые отложения, характерные для ледников на предгорьях.

— Несколько последовательных фаз углубления приведших к дифференциации современных долин. Последние сохранили, вверх по течению, несколько мореновых останцев, которые вероятно можно отнести к двум положительным ледниковым пульсациям.

INTRODUCCIÓN

Los Andes Bolivianos incluyen dos altas cadenas montañosas que culminan a 7 000 m de altura. Estas cadenas (Cordillera Oriental y Cordillera Occidental) están separadas por cuencas endorréicas (Altiplano) situadas entre 3 600 y 4 500 m s.n.m. La región de La Paz está ubicada en el borde NE

del Altiplano al pie de la Cordillera Oriental, ofreciendo un perfil completo del Plio-Cuaternario. Este perfil fué reconocido por TROLL *et al* (1935). Luego fué estudiado por DOBROVOLNY (1962) en las cercanías de la ciudad. Una reinterpretación fué presentada por SERVANT (1977) tomando en cuenta el cuadro general del Plio-Cuaternario de todo el Altiplano. Un estudio sistemático realizado por ocho

SECUENCIAS POST-MIOCÉNICAS ANTERIORES A LA PRIMERA GLACIACIÓN

Secuencias de depósito

La región de La Paz se ubica en una zona de afloramientos de depósitos continentales post-miocénicos que se extienden en forma amplia en la parte Oriental del Altiplano (fig. 2). Estos depósitos en su base fueron datados en 5.5 MA por el método K/Ar al SW de Cañaviri (EVERDEN *et al.*, 1966).

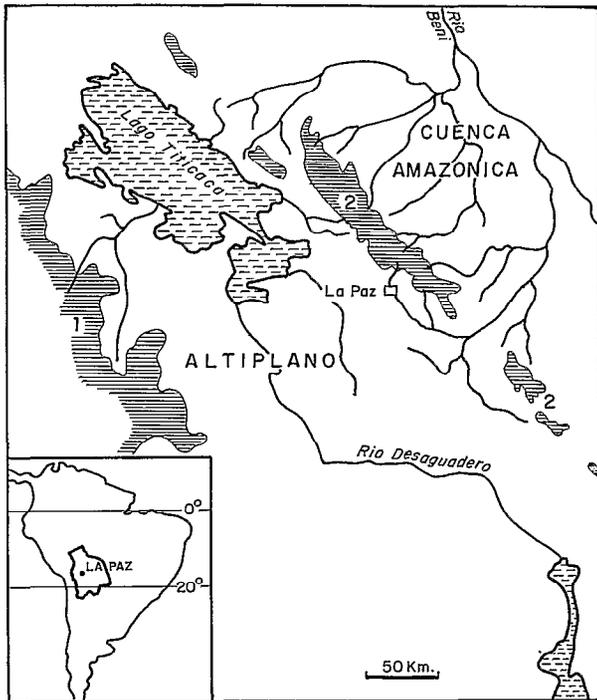
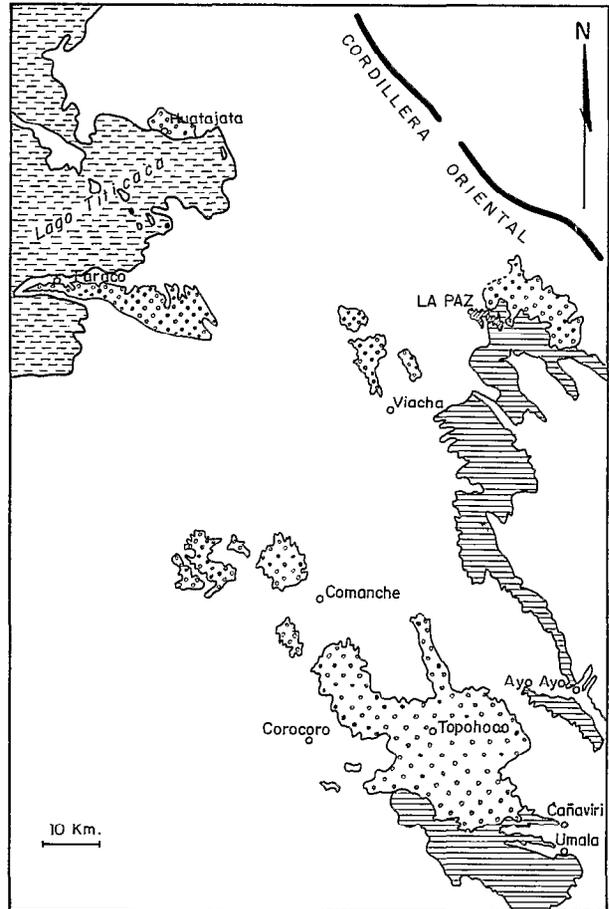


Fig. 1. — Mapa general de Ubicación.
(1) Cordillera Occidental. (2) Cordillera Oriental.

geólogos (1) para el plan de desarrollo urbano de la ciudad de La Paz ha precisado el esquema de Servant presentando ilustraciones como ser : cortes y mapeo completo al 1/10 000 (BLES *et al.*, 1977a y b ; MALATRAIT, 1977).

El objeto de la presente publicación es de dar un resumen de los conocimientos estratigráficos actuales sobre los perfiles de La Paz. Los datos neotectónicos no serán expuestos en el presente trabajo (ver LAVENÚ, 1977 a, b).

Los piedemontes de la Cordillera Oriental corresponden a una acumulación potente de depósitos plio-cuaternarios. En la zona de La Paz una disecación muy amplia (500 m) ocurrió durante el Cuaternario reciente en relación con una erosión regresiva que se ha desarrollado a partir de la cuenca amazónica — un afluente del río Beni cortó la Cordillera Oriental y capturó una parte de la red hidrográfica del Altiplano. El nivel de base bajó casi 3 000 m facilitando la erosión y el ahondamiento de los valles de tal manera que se pueden observar a las formaciones plio-cuaternarias con la totalidad de sus espesores (más de 1 000 m).



(1) (2)

Fig. 2. — Croquis de extensión de las formaciones aflorantes post-miocénicas en el Altiplano Norte (según mapas geológicos existentes y comunicación verbal MARTINEZ). (1) Depósitos bien estratificados areno-arcillosos. (2) Conglomerados dominantes.

(1) El equipo de geólogos que ha trabajado durante ocho meses bajo la responsabilidad del « Bureau de Recherches géologiques et Minières » fué la siguiente :

BRGM : J. L. BLES, A. MALATRAIT.

Alcaldía de La Paz : A. ALVAREZ, O. BUSTILLOS, N. OTAZO.

Consultora Prudencio Claro y Asociados : O. ANZOLEAGA, O. BALLIVIAN, H. HOCHSTATTER.

entre la Formación Umala y la base de la Formación Topohoco al N de la población de Cañaviri (LAVENÚ y SERVANT, inéd.).

La Formación La Paz presenta un espesor superior a los 500 m. Contiene en su base fósiles de Vertebrados que indican una edad pliocénica (VILLARROEL, 1978). Esta formación incluye varios niveles de cinerita, uno de los cuales situado en la parte superior (cinerita Chijini) se presenta con mayor espesor (2-3 m) y en forma continua dando una guía estratigráfica local. Contrariamente a interpretaciones anteriores (DOBROVOLNY, 1962) que admitían la existencia de una superficie mayor de erosión por debajo de la cinerita, nuevas investigaciones han dado como resultado que esta capa volcánica se encuentra interestratificada en la Formación La Paz (Achocalla, Achachicala).

En Achocalla los conglomerados de la Formación La Paz, se desarrollan de manera dominante por encima de la Cinerita Chijini. Por el contrario, en la parte NE de La Paz, los conglomerados aparecen en la parte inferior de la columna debajo de la cinerita y representan la mayor parte de la Formación La Paz (fig. 4). De tal manera se puede concluir que los depósitos gruesos invadieron progresivamente la zona de sedimentación a partir del N ó del NE.

El mismo fenómeno pudo manifestarse en otras partes del Altiplano. Los conglomerados posiblemente invadieron las cuencas sobrepasando las zonas iniciales de sedimentación, para luego depositarse sobre terrenos plegados antepliocénicos. De esta manera se explica la discordancia cartográfica existente en la base de los conglomerados.

Secuencias de erosión y alteración

La Formación La Paz está cortada en su parte superior por una superficie de erosión. Esta superficie fué retrabajada por fases posteriores de erosión (Achocalla) o recubierta por depósitos fluviales o glaciales (río Achachicala), siendo su definición difícil en términos morfológicos.

Testigos de alteración y paleosuelo se ubican en esta superficie de erosión. Uno de ellos se sitúa en Pura-Pura (BLES *et al.*, 1977). Otro es visible al W de Milluni en la Quebrada Churumani. El perfil de alteración, con potencia de 15 m por lo menos, se desarrolla dentro de conglomerados con capas lenticulares de limos y arenas. Estos conglomerados pueden ser atribuidos según la litología a la Formación La Paz o a depósitos fluviátiles más recientes que se estudiarán más adelante (Formación Pura-purani). Sin embargo, y considerando que los conglomerados descansan directamente sobre el Paleozoico, es probable que pertenezcan a la Formación La Paz. Además, los depósitos situados por

encima presentan una evolución litológica característica de la primera glaciación (Calvario).

En el perfil, los granitos, dominantes en el conglomerado, se encuentran alterados de tal manera que algunos de ellos constituyen arena. En la parte superior, es visible un horizonte de acumulación arcillosa y ferruginosa de 4 m de espesor. Las gravas de granito desaparecen en la parte alta de este horizonte quedando sólo fragmentos de esquistos y elementos de cuarcita; estos últimos elementos están alterados en la parte periférica.

LAS GLACIACIONES ANTIGUAS

Por encima de la superficie de erosión que corta a los sedimentos de la Formación La Paz se ubican depósitos glaciales o fluviátiles cuya potencia alcanza como máximo 500 m. Estos depósitos fueron erosionados y eliminados por completo al Sud de La Paz por efecto de la individualización de un pedimento (*glacis* III, SERVANT, 1977; nivel 4 de erosión, fig. 6, BLES *et al.*, 1977).

Primera glaciación (Formación Calvario, DOBROVOLNY, 1962)

La formación Calvario incluye depósitos glaciales y depósitos fluvio-glaciales o fluviátiles. Los sedimentos glaciales alcanzan espesores máximos de 80 hasta 100 m. En la zona del río Achachicala, comprenden bloques y clastos con una matrix muy arcillosa de color gris oscuro o amarillo grisáceo, observándose clastos facetados y una gran mayoría de estriados. Es posible encontrar alguna vez lentes estratificados y menos arcillosos.

En la mayoría de los cortes naturales los sedimentos glaciales se asientan encima de depósitos fluviátiles de 1 m hasta 10 m de espesor. Estos últimos incluyen capas intercaladas con límites difusos de conglomerados caracterizados por una matrix arcillosa. Los clastos, muy mal clasificados, no presentan estrias de tal manera que no pueden ser relacionados a un ambiente glacial; más bien se trataría de « lavas » de barro.

En el río Kaluyo (zona de Patapatani) se pueden observar sedimentos glaciales y fluvio-glaciales por debajo de una cinerita lenticular que alcanza como máximo 3 m de espesor. En las interpretaciones de DOBROVOLNY (1962), esta cinerita fué correlacionada con la Chijini de la Formación La Paz, de tal manera que los depósitos glaciales situados por debajo fueron atribuidos a una glaciación (Patapatani) más antigua que la de Calvario. En realidad la cinerita de Patapatani está ubicada a 80 m por encima de la cinerita Chijini que es subhorizontal en toda la cuenca. Su posición topográfica coincide más o

1 - ACHOCALLA

2 - Qda. TORINI

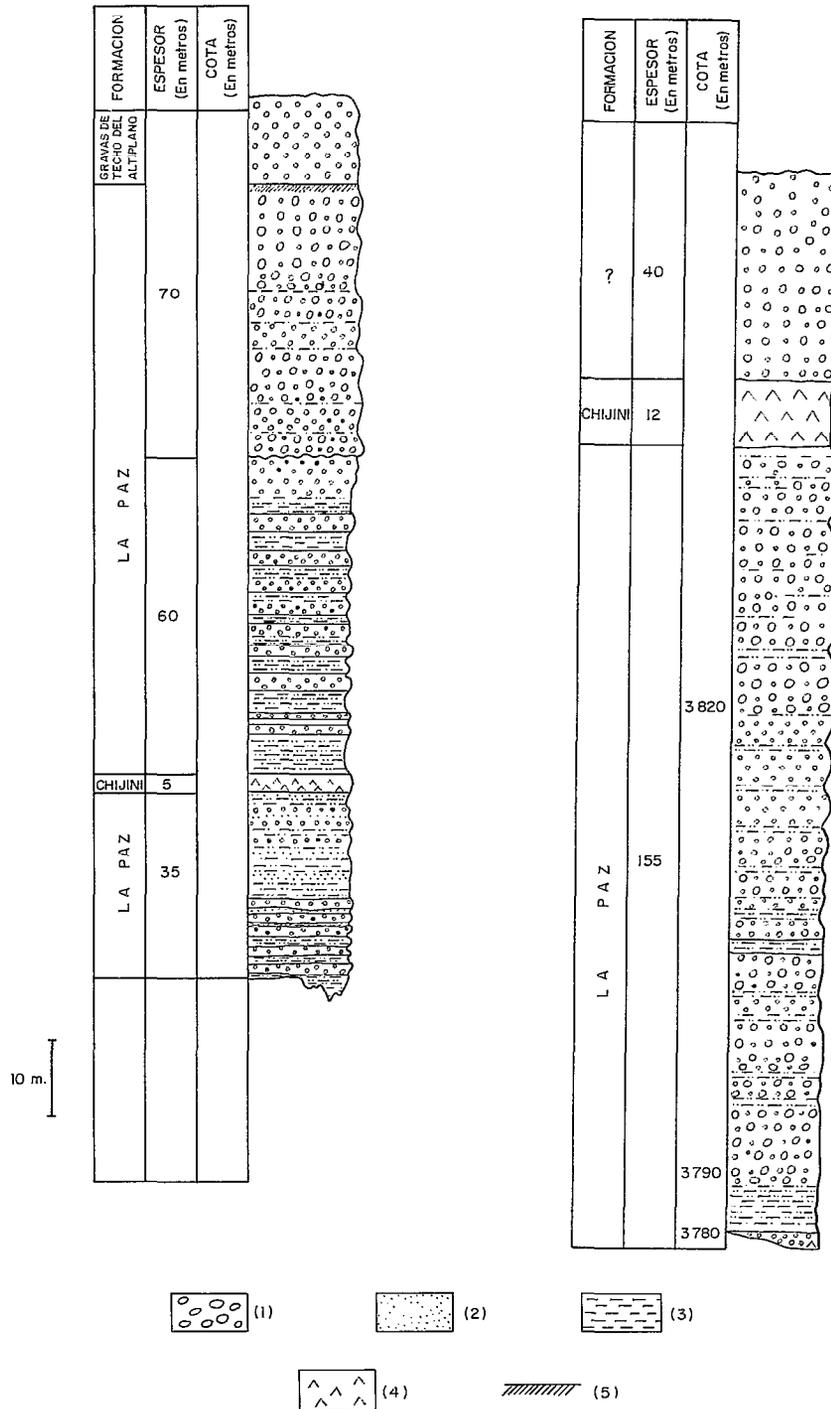


Fig. 4. — Ejemplos de sucesión litológica de la Formación La Paz, según informes consultoras BRGM-BCOM. (1) Conglomerados. (2) Arenas. (3) Limos y arcillas. (4) Cinerita. (5) Horizontes y superficies de alteración.

3 - VISCACHANI

4 - CAPELLANI

5 - PURA PURA

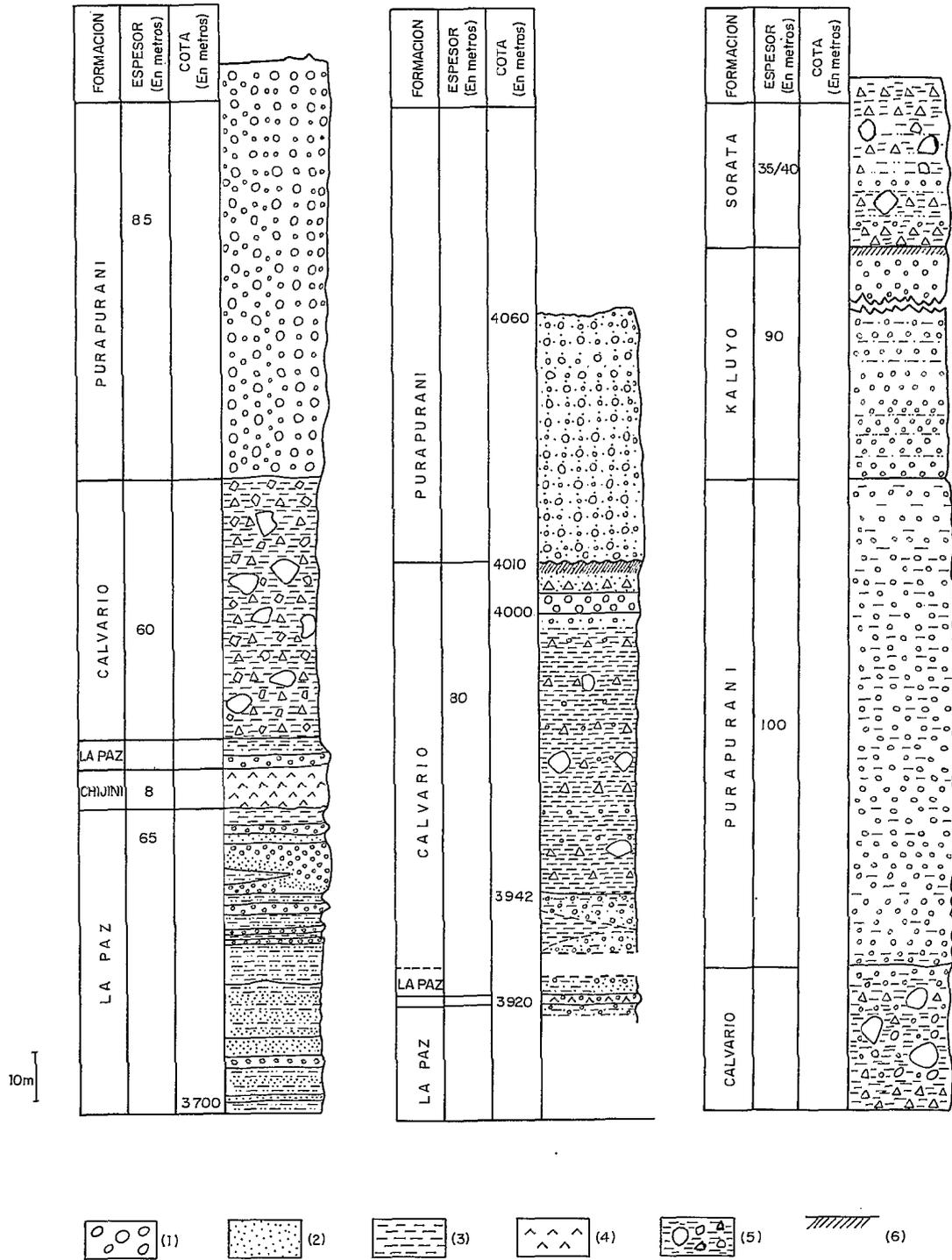


Fig. 5. — Ejemplos de sucesión litológica en las formaciones glaciales e interglaciales antiguas. (1) Conglomerados fluviales. (2) Arenas. (3) Limos y arcillas. (4) Cinerita. (5) Tilitas. (6) Niveles de erosión y horizontes de alteración.

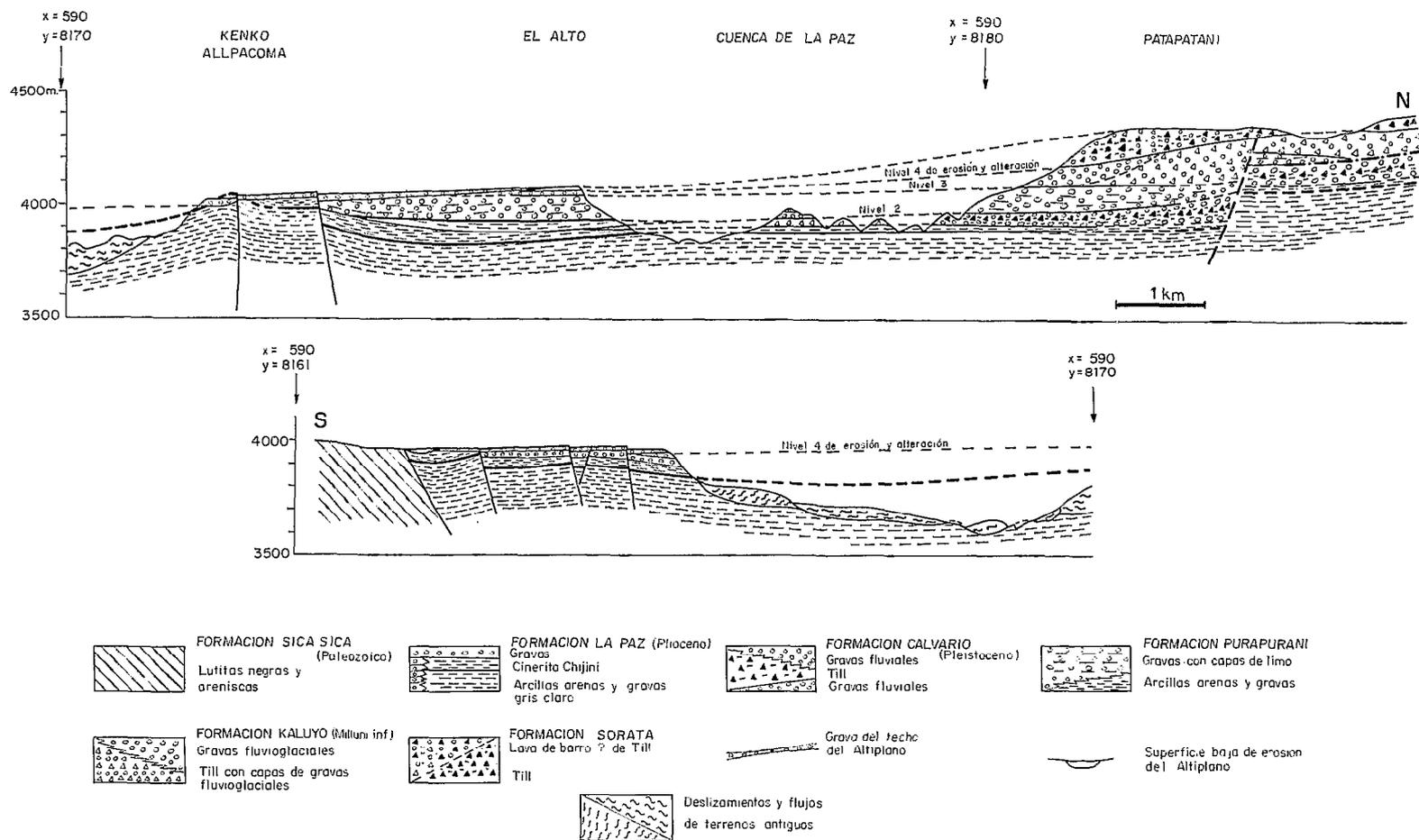


Fig. 6. — Corte geológico N-S (A-B) del plio-cuaternario de La Paz, según informes BRGM-BCOM (BLES y al, 1977). Para una explicación esquemática ver SERVANT (1977, fig. 2).

menos con el tope de la Formación Calvario que aflora a un kilómetro aguas abajo. Los depósitos glaciales situados por debajo de ella pertenecen a Calvario. La cinerita de Patapatani no puede ser relacionada con la Chijini. Se trata de una capa más reciente que se depositó después de la glaciación Calvario.

Interglacial Calvario/Kaluyo

Según DOBROVOLNY, la Formación Calvario es cortada por «una superficie de erosión plana e inclinada hacia el SW». Esta superficie, que es difícil poner en evidencia a la escala de los afloramientos, puede en efecto explicar la desaparición de la Formación Calvario hacia el S y SE (nivel 2 de erosión, figs. 6 y 7). La cinerita de Patapatani donde se pueden observar gravas de granitos se depositó sobre esta superficie en un ambiente fluvial.

Por encima de la Formación Calvario se encuentran depósitos fluviales conocidos con el nombre de Formación Purapurani, que puede alcanzar 400 m de espesor (DOBROVOLNY, 1962). Se trata de conglomerados con elementos redondeados. En la zona del río Achachicala (corte de auto pista La Paz-El Alto) la parte inferior de la Formación Purapurani incluye intercalaciones de gravas con matrix arcillosa («lava» de barro?) y niveles de paleosuelos con horizontes de acumulaciones arcillosas. Por debajo del Alto, en Chijini y Llojeta, la Formación Purapurani muestra en su base depósitos lacustres litológicamente similares a la Formación La Paz (BLES *et al.*, 1977).

Una superficie de socavamiento (*ravinement*) fué encontrada por DOBROVOLNY en el tope de la Formación Purapurani. Los cortes establecidos por BLES *et al.* indican que esta superficie corresponde en realidad a una fase importante de erosión (nivel 3, fig. 6). Esta última explica la desaparición de la Formación Purapurani en algún sector de la cuenca por ejemplo en el valle del río Kaluyo (región de Patapatani).

La segunda glaciación (Formación Kaluyo, SERVANT, 1977)

Los depósitos que siguen a los de Purapurani son de carácter glacial y corresponden a la Formación Milluni de DOBROVOLNY. Pero en esta Formación se pueden distinguir dos formaciones glaciales separadas por un nivel de erosión y alteración. Se

tratará en este párrafo solamente de los sedimentos anteriores a este nivel y llamados Kaluyo.

Al N del descenso del acueducto de Achachicala la Formación Kaluyo, cuyo espesor parece ser de 100 a 150 m en promedio, corresponde a un till compuesto de depósitos glaciales en los cuales se encuentran unas capas fluvio-glaciales.

Al S del acueducto de Achachicala, la Formación Kaluyo parece representada únicamente por gravas sin matrix arcillosa. Se trataría de gravas fluvio-glaciales que se habrían depositado frente de los glaciales. Sin embargo la discontinuidad de los afloramientos no permite establecer con seguridad la relación estratigráfica con los depósitos glaciales situados río arriba.

INTER-GLACIAL KALUYO/SORATA Y LA GLACIACIÓN SORATA

Secuencias de erosión y alteración

Después de la glaciación Kaluyo, los piedemontes de la Cordillera Oriental fueron sometidos a la acción de una erosión cuyo efecto está representado por un pedimento que corta según las zonas en forma indistinta terrenos paleozoicos, pliocénicos o cuaternarios (pedimento III, SERVANT, 1977; nivel 4 de erosión, fig. 6). Una disección posterior ocurría al pie mismo de la Cordillera aisló el pedimento de los relieves por ejemplo al S y SE del cerro Chacaltaya así como en la zona del río Palcoma. Este fenómeno de disección río arriba favoreció la conservación río abajo del pedimento en su aspecto primitivo.

La superficie de ablación conserva en muchos sectores testigos de alteración y pedogenesis. Estos últimos se caracterizan por la presencia de un horizonte rojo con acumulación ferruginosa.

Al W de Milluni y quizás en el mismo valle de Milluni el pedimento III fué disectado por erosión fluvial antes de la glaciación siguiente. La disección que alcanza 30 m o 40 m constituye la primera etapa de la individualización de la red hidrográfica actual.

La tercera glaciación (Sorata, SERVANT, 1977)

A ambos lados del río Kaluyo se observan relieves morénicos (Jiska Toke) amplios en forma de lomas que corresponden a acumulaciones glaciales laterales. Estas morenas atribuidas a la glaciación Sorata (1) parecen sobrepuestas al pedimento III

(1) Glaciación Sorata corresponde a glaciación Chacaltaya, término utilizado en una conferencia preliminar (SERVANT, 1976) y utilizado en los informes de BRGM. El cambio se efectuó por ser la parte alta del río Sorata el lugar típico al SW del Illampu (SERVANT y USELMANN, en preparación).

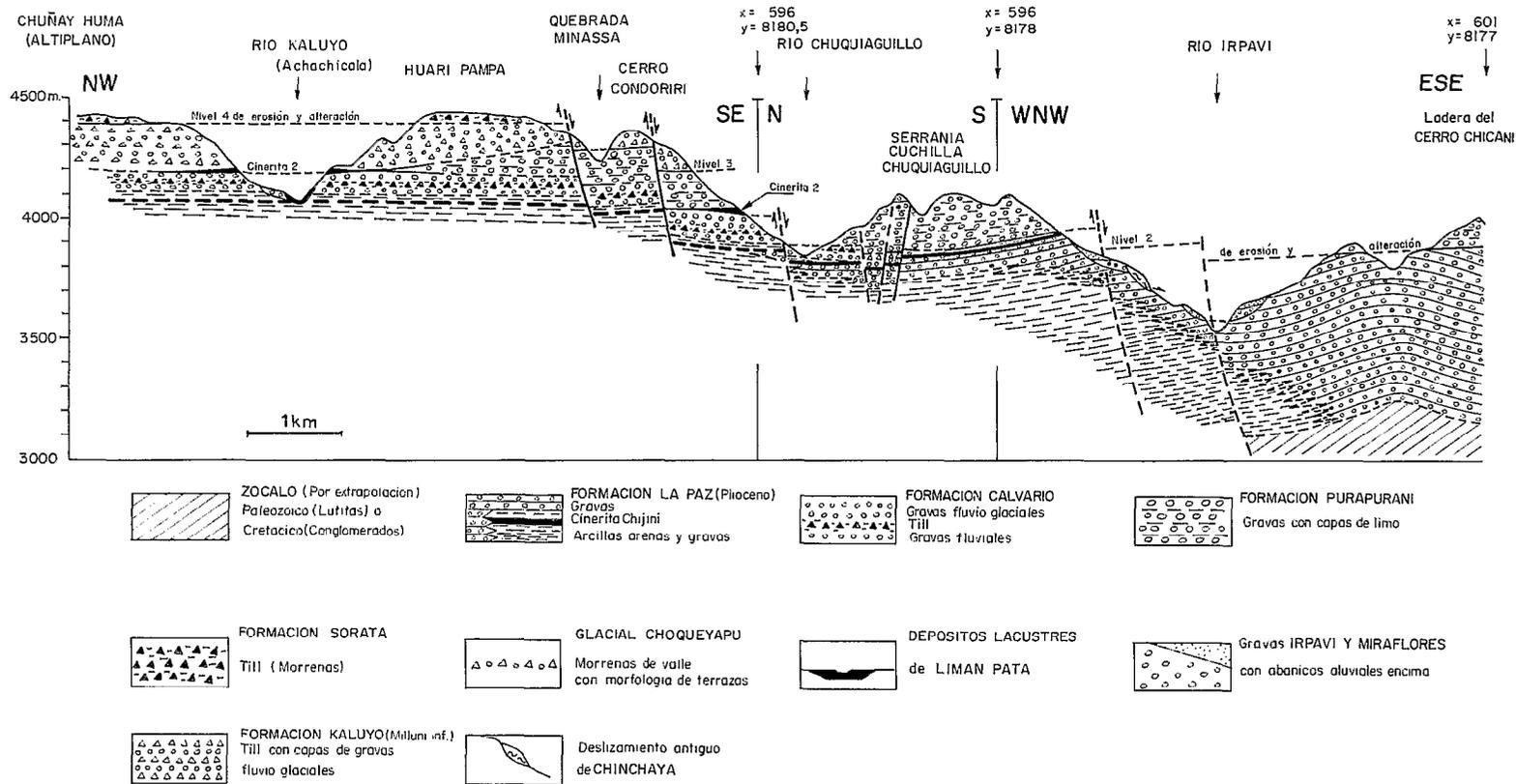


Fig. 7. — Corte geológico (A¹-B¹) aproximadamente NW-SE del Pliocuatenario de La Paz, según informes BRGM-BCOM (BLES y al).

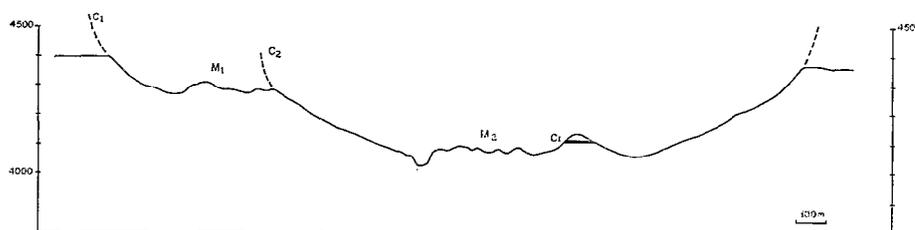


Fig. 8. — Perfil transversal del río Kaluyo zona de Patapatani. Leyenda en el texto.

pero las condiciones de alforamiento no permiten observar el contacto entre el depósito glacial y la superficie de erosión. Un argumento morfológico nos permite confirmar que las morenas son posteriores al pedimento; al Este de Milluni en la quebrada Churumani las morenas Sorata se han depositado después de una disecación local del pedimento y se encuentran entonces en posición topográfica más baja que este último.

Al W del río Achachicala, la superficie del pedimento III es recubierta por un depósito de 1 m hasta 10 m de espesor caracterizado por bloques y clastos estriados con matrix generalmente muy arcillosa. Tomando en cuenta la ausencia de las formas morénicas típicas, este depósito no puede ser atribuido a un ambiente directamente glacial. Más bien podría atribuirse a una «lava» de barro (DOLLFUS, com. verbal) retrabajando las acumulaciones morénicas de la glaciación Sorata situadas aguas arriba.

LA INDIVIDUALIZACIÓN DE LOS VALLES ACTUALES Y LA ÚLTIMA GLACIACIÓN

Después de la glaciación Sorata, los piedemontes de la Cordillera Oriental fueron disectados por una erosión fluvial en parte ligada a un descenso del nivel del lago Titicaca (SERVANT y FONTES, 1978). La disecación es evaluada en 50 m como máximo. Sin embargo fué mucho más importante en la zona de La Paz en relación con la captura de la red hidrográfica de esta zona por un afluente del río Beni de la cuenca amazónica.

Evolución de las partes altas de los valles de La Paz. La glaciación Choqueyapu (TROLL et al., 1935)

Los valles en vía de individualización fueron ocupados por glaciales en sus partes altas.

El valle del río Kaluyo presenta en la región de Patapatani un perfil transversal (fig. 8) que fué interpretado por TROLL et al. (1935) de la siguiente manera. Después de una primera fase de disecación C_1

un glacial ocupó el fondo del valle; los relieves M_1 corresponderían a testigos de morenas laterales. Una nueva fase de disecación (C_2), ligada a un receso del glacial dió el perfil actual, luego que un último avance glacial elaboró los relieves de acumulación morénico M_2 .

En esta interpretación que fué tomada por DOBROVOLNY (1962), los depósitos glaciales M_2 tendrían un espesor grande atribuidos a una acumulación frontal. En realidad se observa en la parte superior de estos depósitos la cinerita (Ci) que en las cercanías se ubica en la parte más alta de la Formación Galvario. En consecuencia estos depósitos corresponden a un testigo de los depósitos glaciales Galvario. Según GOGUEL (1976) este testigo sería en realidad un derrumbe proveniente del flanco E del valle. Finalmente y según SERVANT, sólo la parte superficial de M_2 puede atribuirse al último avance glacial.

Parece entonces que sería posible individualizar dos avances glaciales sucesivos (Choqueyapu I y II) en el río Kaluyo. Las interpretaciones geomorfológicas de MALATRAIT (1977) en la parte alta del mismo valle llegan a la misma conclusión.

Evolución de los valles aguas abajo

La observación de la morfología actual parece indicar que el ahondamiento de los valles fué interrumpido tres veces. Los estudios anteriores (TROLL et al., 1935, DOBROVOLNY, 1962) han individualizado tres «terrazas» sucesivas: la terraza Pampajasi a unos 300 m por encima del río actual, la terraza Irpavi (± 260 m), la terraza Miraflores (± 30 a 60 m). A unos pocos metros por encima de los ríos actuales se puede observar una terraza baja.

El nivel Pampajasi queda bajo la forma de un solo testigo de gravas cuyo espesor varía de 0 a 20 m o más. Estas gravas, atribuidas a una terraza de río (TROLL et al., 1935), puede corresponder más bien a un deslizamiento antiguo ubicándose sobre una superficie de erosión (BLES et al., 1977) (1).

(1) Los deslizamientos, derrumbes, etc. tienen un papel muy importante en la morfología de los valles de La Paz. Para una descripción detallada, ver informes técnicos de BRGM (1977).

El nivel Irpavi todavía es imperfectamente conocido puesto que los testigos son muy estrechos. Se caracteriza por la presencia de abanicos bien desarrollados visibles en el flanco W del valle de Irpavi.

El nivel Miraflores mucho mejor conservado con respecto a los anteriores, es observable en todos los valles. Corresponde a una acumulación de gravas y bloques con matrix arenosa. Esta última en algunas partes se torna arcillosa lo que sugiere depósitos procedentes de «lavas» de barro. La terraza Miraflores está caracterizada aguas arriba, por un desarrollo muy marcado de abanicos en sus bordes laterales.

Una «lava» de barro muy espectacular originada en el valle de Achocalla afluente del río La Paz se depositó después de las gravas Miraflores. Esta «lava» de barro bloqueó el curso del río La Paz y un lago se individualizó aguas arriba (DOBROVOLNY, 1962).

Las relaciones cronológicas con las morenas situadas río arriba son muy difíciles de establecer tomando en cuenta el carácter aislado de los testigos. Como primera hipótesis SERVANT correlaciona la superficie de erosión de Pampajasi con un pedimento (pedimento IV) individualizado en otras áreas, en el último interglacial (Sorata/Choqueyapu). MALA-TRAIT (1977) correlaciona el nivel Pampajasi con la época interstadial Choqueyapu I y II.

La terraza Miraflores parece estar cronológicamente mejor situada. DOBROVOLNY la correlaciona con el período de receso de la última glaciación. En efecto se puede comprobar que esta terraza se prolonga río arriba en los valles que fueron ocupados por glaciales.

Una fase de disección siguió al depósito de las gravas Miraflores y de la «lava» de barro de Achocalla. Se depositaron, en el nuevo perfil individualizado, las gravas de la terraza baja. Aguas arriba (Kaluyo) estas gravas se sitúan por debajo de limos y turbas de más o menos 4 m de espesor. Uno de los niveles de turba fué datado por el método del carbono 14 dando 9 500 años B.P. (DOBROVOLNY, 1962).

PRINCIPALES DATOS OBTENIDOS Y PERSPECTIVAS DE INTERPRETACIÓN

Modificaciones topográficas en relación con los movimientos tectónicos

El corte de La Paz nos señala claramente que la cuenca sedimentaria situada al pie de la Cordillera Oriental fué progresivamente invadida por depósitos

gruesos conglomerádicos. Estos últimos, muy bien representados en otras partes del Altiplano, parecen haber sobrepasado los límites iniciales de las cuencas en la época terminal de la sedimentación. Aunque se torna difícil la evaluación del papel tomado por eventuales cambios climáticos, es probable que la evolución de la sedimentación estaba en relación con deformaciones tectónicas. Se puede admitir un solevantamiento relativo de la Cordillera Oriental y una subsidencia durante el Plioceno de la cuenca de La Paz. Tomando en cuenta el espesor de los depósitos (500 m como mínimo) y el medio de sedimentación sublacustre de poca profundidad, se puede evaluar la velocidad media de subsidencia a 0,1 mm/año como mínimo. Posteriormente una disminución de la subsidencia podría explicar que los conglomerados hayan sobrepasado el área original de sedimentación (RODRIGO, com. verbal).

Después de la época de sedimentación, en la zona de La Paz tuvo lugar una erosión que supone un solevantamiento de esta región. Esta erosión es también observable en otras partes del Altiplano y su última fase se caracteriza por la individualización de un pedimento de ablación (pedimento I, SERVANT, 1977). La erosión podría estar en relación con la apertura, entre fallas, de las cuencas cuaternarias como la del Titicaca. La presencia de los conglomerados post-miocénicos a ambos lados de la orilla del lago Titicaca, en el borde Sur (Taraco) y en el borde Norte (Huatajata) implica que la depresión lacustre se individualizó posteriormente al depósito de los conglomerados.

Las modificaciones muy importantes ocurridas en la topografía después del depósito de las formaciones post-miocénicas podrían estar relacionadas con las primeras manifestaciones de la tectónica de distensión que domina la evolución reciente de los Andes bolivianos.

Se puede pensar que la topografía actual se individualizó, en sus líneas generales, después del depósito y luego de la erosión de la Formación La Paz. Excluyendo la glaciación Patapatani (DOBROVOLNY, 1962) cuya existencia parece muy improbable, podemos pensar que la primera glaciación (Galvario) supone que la Cordillera Oriental había llegado, durante esta glaciación, aproximadamente a sus alturas actuales. El solevantamiento de los Andes parece entonces anterior por lo menos en sus etapas principales.

Problemas paleoclimáticos

Los estudios estratigráficos hechos en la zona de La Paz, constituyen sólo un reconocimiento que no llega todavía a una interpretación paleoclimática (1).

(1) En lo que concierne la última glaciación y el post-glacial, ver SERVANT y FONTES (1977).

Sin embargo, estos estudios han puesto en evidencia el papel importante de los fenómenos de alteración y pedogénesis en el período anterior a la primera glaciación. Además, nos enseñan una evolución compleja de los interglaciales antiguos. Por ejemplo, el interglacial Kaluyo/Sorata incluye en su primera parte una época, climáticamente seca, caracterizada por la génesis de un pedimento muy amplio y en su segunda parte una época de alteración y pedogénesis la cual supone condiciones más húmedas. Los fenómenos de alteración posteriores a la glaciación Sorata parecen reducidos.

En lo que concierne a las glaciaciones se pueden observar diferencias bastante bien marcadas en los depósitos. La glaciación Sorata ha dejado formas morfológicas muy bien conservadas. Estas últimas son caracterizadas por el desarrollo de las acumulaciones laterales y la ausencia de morenas frontales. Las formas morfológicas evocan lenguas glaciales de piedemontes cuya anchura se reduce rápidamente río abajo. Este aspecto es diferente de lo visto en la última glaciación (Choqueyapu), la cual se caracteriza por glaciales de valles de tipo alpino. En ambos casos, las épocas glaciales incluyen depósitos espectaculares de «lavas» de barro. Estos depósitos parecen un poco posteriores a los máximos glaciales,

de tal manera que podrían ser ligados al deshielo. Sin embargo, sólo un estudio más detallado podría llegar a una interpretación de estos depósitos.

CONCLUSIÓN

La región de La Paz, cuyo estudio se encuentra sólo en la etapa de las investigaciones estratigráficas, constituye una de las zonas más interesantes para la comprensión del Plio-Cuaternario de los Andes tropicales. Las condiciones excepcionales de afloramiento permiten por ejemplo poner en evidencia cuatro glaciaciones mayores cuyos depósitos no son expuestos de manera tan clara en otras regiones. Además, es uno de los únicos lugares del Altiplano donde se han conservado los testigos de alteración y pedogénesis. Sin embargo, las interpretaciones geomorfológicas y particularmente las que conciernen a las superficies de erosión como los estudios neotectónicos y paleoclimáticos, no podrían ser desarrollados sin tomar en cuenta la evolución de las cuencas altiplánicas.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.
le 29 mars 1978.*

BIBLIOGRAFIA

- BLES (J. L.), BALLIVIÁN (O.), 1977 a. — Plan de desarrollo de la ciudad de La Paz. Informe geológico n° 2. Cuadro geológico general. *H. Alcaldía Municipal de La Paz, Consultoras BRGM-BCOM, Prudencios Claros y Asociados*, 18 p., 1 tabl. h. t., 4 anejos.
- BLES (J. L.), ALVAREZ (A.), ANZOLEAGA (O.), BALLIVIÁN (O.), BUSTILLOS (O.), HOCHSTATTER (H.), MALATRAIT (A.), OTAZO (N.), 1977 b. — Plan de Desarrollo urbano de la ciudad de La Paz. Informe geológico n° 5. Características litoestratigráficas de la cuenca de La Paz y alrededores. *H. Alcaldía de La Paz, Consultoras BRGM-BCOM, Prudencios Claros y Asociados*. 35 p., 3 fig. h.t., 4 anexos.
- DOBROVOLNY (E.), 1962. — Geología del valle de La Paz, *Pub. Min. Minas y petróleo. Bol. 3* (especial). 153 p.
- EVERDEN (J.), KRIZ (S.), CHERRONI (C.), 1966. — Correlación de formaciones terciarias de la Cuenca altiplánica a base de edades absolutas determinadas por el método potasio-argón. *Serv. Geol. de Bol. hoja informativa n° 1*. La Paz.
- GOGUEL (J.), 1976. — Origen de la planicie de Limanpata en el valle de La Paz. *Informe técnico BRGM*. La Paz, 5 p., 1 fig.
- HOFFSTETTER (R.), MARTINEZ (C.), MUÑOZ-REYES (J.), TOMASI (P.), 1971. — Le gisement d'Ayo-Ayo (Bolivie), une succession stratigraphique pliocène-pléistocène datée par des mammifères. *C. R. Acad. Sc. Paris. v. 273 : 2472-2475*.
- LAVENU (A.), 1977. — Neotectónica de los sedimentos plio-cuaternarios de la cuenca de La Paz (Bolivia). *Revista de Geociencias, UMSA*. La Paz. Vol. 1., n° 1 : 31-56.
- LAVENU (A.), 1978. — Néotectonique des sédiments plio-quaternaires du Nord de l'Altiplano bolivien (Région de La Paz-Ayo-Ayo-Umalaj). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 115-126.
- MALATRAIT (A. M.) 1977. — Plan de desarrollo urbano de la ciudad de La Paz. Informe geológico n° 6. Características geomorfológicas de la cuenca de La Paz y alrededores. *H. Alcaldía de La Paz, Consultoras BRGM-BCOM, Prudencios Claros y Asociados*, 69 p. 3 tab. h. t., 5 anexos.
- SERVANT (M.), 1977. — Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes Tropicales en Bolivie. *Bull. AFEQ. n° 50 supplément INQUA 1977*, p. 323-327.
- SERVANT (M.), FONTES (J. Ch.), 1978. — Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. X, n° 1 : 9-23.
- TROLL (C.), FINTERWALTER (R.), 1935. — Die karten der Cordillera Real und des Talkessels von La Paz (Bolivien) und die diluvial geschichte der zentralen Anden. *Petermanns Mitteilungen*, v. 81 : 393-399.
- VILLARROEL (C.), 1978. — Revalidación y redescipción de *Posnanskytherium desaguaderoi* Liendo, 1943 ; *Toxodontidae* (*Notoungulata*) del Plioceno superior Boliviano. *Revista Serv. Geol. Bol.* N° 16 (en prensa).