

MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEO

La Paz-Bolivia

DEPARTAMENTO NACIONAL DE GEOLOGIA

GEOLOGIA

DEL VALLE DE LA PAZ

Ernest Dobrovolsky

BOLETIN No. 3 (Especial)

Año 1962

C O N T E N I D O

	Pag.
ADVERTENCIA	9
INTRODUCCION	11
Investigaciones Anteriores	11
Agradecimientos	12
GEOGRAFIA	15
Fisiografía	15
Drenaje	17
Clima	17
Población y Desarrollo Urbano	18
GEOLOGIA DESCRIPTIVA	19
Introducción	19
Rocas del Devónico Inferior	19
Rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior	20
Formación La Paz	20
Unidad Inferior	21
Unidad Intermedia	22
Unidad Superior	22
Origen y Ambiente de Deposición	23
Edad y Correlación	24
Depósitos Cuaternarios	27
Depósitos Pleistocenos	27
Drift Patapatani	30
Cinerita Chijini	32
Drift Calvario	38
Miembro de Arenas y Gravas	38
Til del Drift Calvario	39
Correlación y Origen del Drift Calvario	40
Formación Purapurani	41
Drift Milluni	43
Til	44
Gravas fluvio-glaciales	45
Origen del Drift Milluni	46
Grava Pampajsi	47
Grava Irpavi	48
Drift Choqueyapu	48
Til	49
Morrena Terminal en el Valle Choqueyapu	49
Morrena Terminal en el Valle ChuquiagUILlo	50
Gravas Miraflores	51
Deslizamientos de Terreno en Laikakota	52

Depósitos Lacustres	52
Relación entre los Miembros del Drift Choqueyapu	53
Depósitos Recientes	54
Deslizamientos de Terreno	55
Deslizamientos de terreno que corren a lo largo de los ríos con escarpas en las Gravas Miraflores.	57
Deslizamientos de terreno que se inician en las partes superiores de los valles y cuyas escarpas cortan el Altiplano.	57
Deslizamientos de terreno en la mitad de las laderas de los valles.	60
Torrentes de Barro	61
Torrentes de Barro de Achocalla.	62
Torrentes de Barro al oeste de la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu.	63
Torrente de Barro al este del río Chuquiaguillo.	64
Torrentes a lo largo de los tributarios occidentales del río Choqueyapu, al norte de Purapura	64
Depósitos Lacustres	65
Coluvio	67
Depósitos de abanicos aluviales	68
Terrazas de Gravas	69
Depósitos de llanura aluvial	70
GEOLOGIA ESTRUCTURAL	71
Estructuras de las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior y Devónico Inferior.	71
Pliegues y fallas que se extienden hasta la Formación Purapurani	72
Deformación posterior al Drift Milluni	73
Orogénesis de los Andes Centrales	75
GEOLOGIA HISTORICA	76
Período anterior al Cuaternario Primitivo	77
Pleistoceno	79
Primera etapa glacial	79
Primera etapa interglacial	80
Segunda etapa glacial	80
Segunda etapa interglacial	80
Tercera etapa glacial	81
Tercera etapa interglacial	81
Cuarta etapa glacial o de formación de valles	82
Reciente	83
GEOLOGIA APLICADA A LUGARES ESPECIFICOS	84

Registro de pozos de ensayo	125
AGUAS SUBTERRANEAS - por H. E. Thomas	127
CONTROL DE LA EROSION FLUVIAL	133
REFERENCIAS	136
APENDICE "A" - Secciones medidas	139

ILUSTRACIONES

LAMINAS

1. Mapa geológico de La Paz y sus alrededores
2. Delimitación del lago Calacoto y distribución del torrente de barro de Achocalla
3. Columnas orogénicas de los Andes de Sudamérica
4. Mapa de las condiciones de terreno en La Paz y sus alrededores
5. Texto para el mapa de las condiciones de terreno de La Paz y alrededores
6. Plano del área de deslizamiento de terreno del Parque Central, Santa Bárbara y Villa Pabón.
7. Mapa de las condiciones de aguas subterráneas en La Paz y alrededores.
8. Texto para el mapa de las condiciones de aguas subterráneas en La Paz y alrededores.

FIGURAS

Pag.

- | | |
|---|-----|
| 1. Mapa de ubicación y rasgos topográficos de la ciudad de La Paz, Bolivia. | 16 |
| 2. Delimitación de la Cuenca de La Paz con relación a las principales unidades estratigráficas. | 25 |
| 3. Secuencia pleistocénica en los alrededores de La Paz. | 28 |
| 4. Secciones esquemáticas mostrando la correlación de los depósitos pleistocénicos en el Valle Superior de La Paz. | 29 |
| 5. Diagrama y nomenclatura de las partes de un deslizamiento de terreno. | 56 |
| 6. Copia del plano topográfico de 1902 por el Ing. José Bustide de los alrededores de la confluencia de los ríos San Pedro y Choqueyapu. | 93 |
| 7. Secciones transversales del mapa del área del Parque Central, Santa Bárbara y Villa Pabón. | 109 |
| 8. Plano de la topografía y manantiales de lugar de la Iglesia de la Virgen de Fátima. | 114 |
| 9. Corte del pozo de ensayo N° 2 pasando a través del pozo N° 1 hacia el charco inferior mostrando la fluctuación del nivel freático entre los meses octubre 1954 y abril 1955. | 115 |
| 10. Corte a lo largo del lado N-O de la Iglesia mostrando la fluctuación del nivel freático entre los meses octubre 1954 y abril 1955 | 115 |
| 11. Corte mostrando partes del drenaje recomendado con croquis esquemático de los suelos y escurrimiento de la iglesia. | 121 |
| 12. Planta esquemática mostrando el drenaje alrededor de la iglesia | 123 |
| 13. Corte esquemático a lo largo del drenaje principal E-A, mostrando los drenajes transversales y el agua de escurrimiento profundo hacia el sud. en el lugar de la iglesia. | 124 |

ADVERTENCIA

A raíz de las gestiones emprendidas por la Honorable Municipalidad de La Paz, con el señor Oscar Powell, ex-Jefe de la Misión de Asistencia Técnica de los Estados Unidos de Norteamérica en Bolivia, pudo hacerse efectiva la colaboración del Ing. Geólogo Ernest Dobrovolny, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, y plasmarse en realidad la preparación del primer plano geológico de la Cuenca del Valle Superior de La Paz; trabajo que fué concluido en el año 1955.

Para hacer posible esta importante empresa, el ex-Alcalde, don Juan Luis Gutiérrez Granier, dispuso la colaboración de toda la planta técnica de la Municipalidad, de modo que se proveyese de todos los datos necesarios al mencionado científico, a medida que fueran progresando sus investigaciones geológicas, aparte de proporcionarle el elemento idóneo que le colaboraría directamente en el desempeño de su misión.

Dicho trabajo se objetiviza con la presentación de nuestro Boletín N° 3: "Geología del Valle de La Paz", cuya primera parte contiene una descripción detallada de las principales unidades estratigráficas y rasgos estructurales que caracterizan la geología del Valle Superior de La Paz, en una versión revisada y ampliada del informe publicado en 1956 por la Honorable Municipalidad de La Paz. Además el presente boletín contiene un estudio especial sobre el área de deslizamiento de terreno del Parque Central, Santa Bárbara y Villa Pabón; un estudio sobre las condiciones del suelo del solar destinado a la Iglesia de la Virgen de Fátima en el distrito de Caiconi, un plano donde se especifican las condiciones del terreno en La Paz y sus alrededores; y por último un plano en el que se señalan las condiciones de aguas subterráneas en la misma área.

De lo mencionado anteriormente se desprende la importancia de la labor realizada por el Ing. Ernest Dobrovolny, para una mejor planificación del desarrollo urbano de la ciudad. Es en virtud a todas estas consideraciones que el Departamento Nacional de Geología ha visto por conveniente incluir dentro de su programa de publicaciones el presente trabajo como una contribución al mejor conocimiento de los complicados problemas que se tiene que afrontar en lo que se refiere a la urbanización de la ciudad de La Paz.

El texto de la presente publicación fué traducido del original en inglés por el Ing. Carlos Murillo H. y revisado y corregido por el Dr. Gustavo Donoso, manteniéndose una terminología técnica de acuerdo a la literatura geológica castellana más moderna.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE GEOLOGIA.

INTRODUCCION

La Paz, capital administrativa de Bolivia, está situada en un angosto y profundo valle cortado en las rocas sedimentarias no consolidadas del Altiplano. Aunque su situación es pintoresca, ofrece, sin embargo, ciertas desventajas que atentan contra la expansión de la ciudad; las rocas que forman paredes abruptas y delezna- bles son susceptibles de deslizamientos de terreno que causan desde inconveniencias locales hasta destrucciones catastróficas en mu- chas zonas de la ciudad. La Municipalidad de La Paz ha reconocido que el mantenimiento y progreso seguro de la urbe requiere de un estudio geológico de la naturaleza y extensión de tales terrenos como base para planificar e introducir los métodos más adecuados para controlar las áreas inestables o en su defecto evitar las cons- trucciones en ellas.

A principios de 1954 la Municipalidad de La Paz, solicitó una investigación geológica del valle de La Paz y sus alrededores. (El estudio se realizó como parte del programa de la Administración de Operaciones Extranjeras de los EE.UU. y su sucesora Admi- nistración de Cooperación Internacional*). Bajo los auspicios de USOM en Bolivia, el autor fué designado asesor técnico de la Mu- nicipalidad desde mayo de 1954 a agosto de 1955.

El estudio solicitado por la Municipalidad de La Paz tuvo los siguientes objetivos: 1) Preparar un mapa geológico de la ciudad y sus alrededores (lámina 1); 2) preparar un mapa especificando las condiciones de terreno para la urbanización de la ciudad (lá- mina 4); 3) estudio de deslizamientos de terreno con recomenda- ciones para su control.

Durante la ejecución de los estudios se hicieron evidentes mu- chos problemas imprevistos que requerían de información geoló- gica para su solución. Tales problemas incluían estudios sobre la ubicación de represas, túneles y canales para la provisión de agua potable a la ciudad o la forma de controlar los deslizamientos de terreno.

En este informe se incluye los resultados de todas estas inves- tigaciones.

INVESTIGACIONES ANTERIORES

La ciudad de La Paz y sus alrededores fueron investigados por geólogos de reconocido prestigio. Desgraciadamente, la mayoría

*Actualmente Agencia de los EE.UU para el Desarrollo Internacional (USAID)

de ellos no permanecieron el tiempo suficiente para realizar estudios detallados, además de que debían encarar el problema de la falta de mapas adecuados donde registrar los resultados de sus observaciones.

D'Orbigny (1842) fué el primer científico en documentar la geología de una gran parte del territorio de Bolivia. El concluyó que los depósitos del valle de La Paz y sus alrededores tenían origen diluvial. Forbes (1861) preparó una sección geológica desde la costa del Pacífico a través de La Paz y describió la Cinerita Chijini como una traquita. Conway (1901) estuvo en La Paz y sus alrededores por varios meses durante los años de 1898 y 1900; en su viaje para ascender al pico del Illimani, observó un gran torrente de barro que se originó en el valle de Achocalla. Bowman (1909, 1914, 1916) nombró y delineó el lago Ballivián, antecesor del lago Titicaca, y definió la región andina central como una provincia fisiográfica. Hauthal (1911) consideraba que la parte superior de los depósitos en el valle de La Paz eran de edad Pleistocena. Gregory (1913) describió algunos de los depósitos próximos a la ciudad y comparó los rasgos de erosión con los "badlands" (tierras malas) de los estados de Dakota del Norte y del Sud.

Troll (1927, 1928, 1935) permaneció durante varios años en Bolivia estudiando los depósitos del Terciario y Pleistoceno y preparó dos mapas topográficos. Desgraciadamente su plano geológico del área de La Paz fué destruido antes de su publicación. Troll reconoció tres períodos de glaciación. El til que consideraba representante del primer período glacial es denominado Drift Calvario en este informe. También reconoció el torrente de barro originado en el valle de Achocalla.

Sin embargo, los trabajos de Ahlfeld (1945, 1946) y Ahlfeld y Branisa (1960) contienen los estudios geológicos más detallados de la ciudad de La Paz como también del territorio boliviano. Los informes de Ahlfeld incluyen resúmenes y recopilaciones de publicaciones anteriores sobre el origen del valle de La Paz, muchas de sus propias observaciones relacionadas con la historia estructural y varios mapas planimétricos.

AGRADECIMIENTOS

Numerosos residentes de La Paz, miembros de la Municipalidad y de la Misión de Asistencia Técnica de los EE.UU. han colaborado en la realización del presente estudio. Su cooperación se reconoce públicamente. Mención especial debe hacerse por ciertas contribuciones individuales.

Juan Luis Gutiérrez Granier, Alcalde de La Paz, iniciador del proyecto, prestó un continuo apoyo y aliento. Oscar Powel, Jefe de la Misión de Asistencia Técnica de los EE.UU. de N.A. en Bolivia proporcionó una valiosa colaboración y tomó un interés personal en el proyecto. Dr. Federico Ahlfeld, ex-Geólogo Jefe de la Dirección General de Minas y Petróleo de Bolivia, pasó dos días en el terreno con el autor y aportó muchas opiniones constructivas. Jorge Muñoz Reyes, Profesor de Geología en la Universidad Mayor de San Andrés, revisó el mapa geológico y facilitó su biblioteca geológica para referencias; estas incluían informes de investigaciones locales que el Profesor Muñoz Reyes había hecho para varias entidades de La Paz. Los señores Humberto Lozada, Jorge Crespo y Arturo Zalles, ingenieros de la Municipalidad, acompañaron al autor en varias giras de inspección durante las cuales ellos señalaban los problemas que afectan el desarrollo de la ciudad explicándole sus puntos de vista, acerca de cómo resolverlos.

Gregorio G. Ortega V., estudiante de ingeniería en la Universidad de San Andrés, fué un guía e intérprete muy eficiente. Mario Rada, chófer, por intuición adivinaba dónde y cuándo debía recoger al autor al final de sus muchas caminatas.

GEOGRAFIA

FISIOGRAFIA

La topografía de las inmediaciones de La Paz ha sido bien y brillantemente descrita en muchos libros y publicaciones. El área se caracteriza por tres rasgos fisiográficos bien definidos: el Altiplano, la Cordillera Real y los profundos valles intermedios (Fig. 1).

Cerca de La Paz el Altiplano es una superficie topográficamente madura cuya pendiente aumenta hacia la base de la Cordillera Real. En la parte sudoccidental del área del mapa, dicha superficie tiene una elevación aproximada de 4000 metros y en la parte noroccidental más de 4300 metros.

La Cordillera Real está constituida por una cadena de montañas que ascienden bruscamente hasta 2500 metros sobre el nivel del Altiplano. Su topografía, muy irregular, está relacionada con rocas sedimentarias de edad paleozoica o con intrusiones graníticas. El Huayna Potosí que se encuentra al noroeste de El Alto se asemeja a un "matterhorn" (aguja glaciaria). Chacaltaya, más hacia el sud, es una cumbre redondeada con una altura de 5200 metros, donde están ubicados un observatorio de rayos cósmicos y una pista de ski. El Mururata, compuesto esencialmente de sedimentos paleozoicos, presenta afloramientos de una intrusión granítica en su base. El Illimani, extremo sudoriental de la Cordillera Real, es un macizo compuesto de tres cumbres que se elevan hasta aproximadamente la misma altura. Algunos valles profundos que corresponden al sistema de drenaje de La Paz y rodean al Illimani acentúan su elevación aparente. El núcleo de esta montaña está compuesto de una intrusión granítica alrededor de la cual existen depósitos minerales zonados (Ahlfeld, 1954, p. 113 y comunicación personal).

El río de La Paz y sus tributarios, han cortado el Altiplano a profundidades que varían de 200 a 800 metros. Terrazas claramente definidas con fuertes gradientes inclinadas en la dirección de las corrientes se presentan a lo largo de los márgenes más bajos de los ríos principales. Vestigios de terrazas más altas, abanicos aluviales, torrentes de barro y bloques de deslizamientos de terreno rompen la monotonía del perfil de las laderas, desde el borde del Altiplano hasta los ríos.

En el extremo sudeste del mapa, el río La Paz ha cortado la serranía de Aranjuez formando la garganta de Aranjuez de flancos fuertemente inclinados.

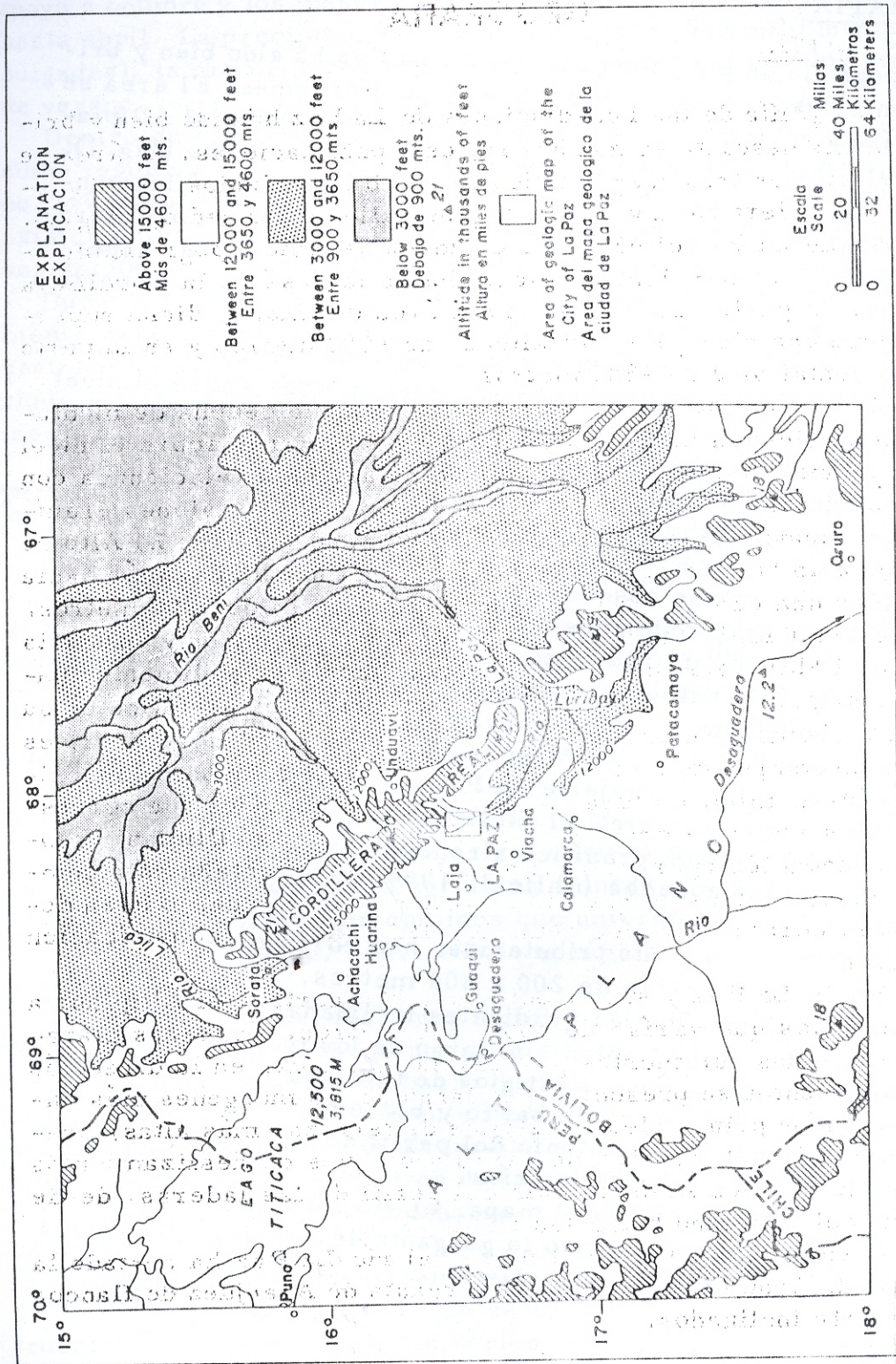


FIG.1- MAPA DE UBICACION Y RASGOS TOPOGRAFICOS DE LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA

FIG.1- LOCATION MAP AND TOPOGRAPHIC SETTING OF LA PAZ, BOLIVIA

DRENAJE

Los bordes occidentales de los valles que forman el sistema del río La Paz constituyen la división entre el drenaje que desemboca en el río Amazonas por el este y el drenaje interno del Altiplano hacia el oeste. La mayor parte del área estudiada es drenada por el río La Paz.

Las nacientes del río La Paz se encuentran en las faldas sudoccidentales de la Cordillera Real. Todos los tributarios de las cabeceras se juntan para formar el río de La Paz antes de llegar a la garganta de Aranjuez. Desde este punto el río corre hacia el sudeste paralelo al frente occidental de los Andes Orientales, por una distancia de 45 Kms. hasta juntarse con el río Luribay. Cerca de su confluencia con el río Luribay, el río La Paz cruza los Andes Orientales y corre hacia el noreste una distancia aproximada de 50 Kms. y luego tuerce hacia el norte hasta desembocar en el río Beni, uno de los afluentes del río Amazonas.

Hacia el oeste de La Paz las aguas superficiales del Altiplano forman ríos que desembocan en el lago Titicaca o en el río Desagüadero.

Los tres ríos más importantes que se muestran en el mapa son el Choqueyapu, Chuquiaguillo e Irpavi, a los cuales se denomina colectivamente como el valle superior de La Paz, porque contribuyen en su mayor parte con un caudal permanente al río La Paz, o simplemente valle de La Paz porque comprende la ciudad y sus alrededores. Sus principales fuentes de alimentación provienen de las precipitaciones, vertientes y deshielos en la Cordillera Real.

CLIMA

El clima de La Paz es transitorio entre el clima seco y semiárido del Altiplano y el área de mayor precipitación cerca de la Cordillera Real. Las lluvias se originan debido a los vientos alisios sudorientales que sobrepasan los Andes Orientales (Taborga 1948, p. 24). La precipitación es mayor en los flancos orientales que en los occidentales de las altas cordilleras (Bowman, 1916, p. 163). Los datos climatéricos presentados en este informe se han tomado de los registros del Observatorio del Colegio San Calixto en La Paz.

Para el período entre 1918 y 1929 la temperatura media fue de 9.5°C (49°F) con un máximo medio de 26.4°C (77.5°F) y un mínimo medio de 0.1°C (33.9°F). Los meses invernales se extienden desde

mayo a octubre y los meses de verano comprenden desde noviembre hasta abril. La precipitación media anual es de 563 milímetros (22 pulgadas), la mayor parte de la cual se registra durante los meses de verano.

Dentro de ciertos límites la temperatura varía con la altura y como resultado se tiene que La Paz es más templada que el Altiplano, y Calacoto, a su vez, es más templada que La Paz. Aunque no existen datos climatéricos sobre el particular, la precipitación y vegetación verifican esta aseveración.

Durante los meses de invierno, cuando el aire es considerablemente seco y frío, la evaporación excede a la precipitación. La cantidad de evaporación es también mayor que la precipitación durante el verano, pero la diferencia es mucho menor que en el primer caso y aún esta proporción puede invertirse.

POBLACION Y DESARROLLO URBANO

El primer censo conocido de la ciudad de La Paz data de 1586, el que registra 6080 habitantes (Taborga, 1948). Los censos entre 1854 y 1902 señalan algunas fluctuaciones, pero desde 1909 el número de habitantes ha aumentado constantemente. Un cálculo aproximado para 1955, incluyendo los barrios de Obrajes, Calacoto y El Alto, indica una población de 325.000 habitantes (comunicación personal del Sr. J. L. Gutiérrez Granier, Alcalde de La Paz.)

A fines del siglo pasado la ciudad de La Paz ocupaba sólo los márgenes del río Choqueyapu hacia el norte del actual barrio de San Pedro. Miraflores, Obrajes y Calacoto, eran centros rurales cuya principal actividad era agrícola y minera. Recién en años posteriores se construyeron caminos que unieron estos distritos con el centro de la ciudad, convirtiéndose rápidamente en barrios residenciales.

En el lado este del río ChuquiagUILlo, al sud y este de Miraflores, el desarrollo urbano no ha tenido mucho éxito debido a que los periódicos torrentes de barro destruyen las fundaciones de edificios y aún calles. Actualmente las únicas áreas en el valle superior de La Paz que no han alcanzado desarrollo urbano se encuentran al este de Calacoto, cerca de la desembocadura del río Irpavi. En este sector pueden aprovecharse, con fines de urbanización cerca de 3 Kms. cuadrados.

Las actividades industriales están incrementándose alrededor de El Alto en el Altiplano, que es la única área donde las construcciones no corren peligros serios aunque presenta ciertas desventajas climatéricas.

GEOLOGIA DESCRIPTIVA

INTRODUCCION

El área del levantamiento geológico comprende una parte del valle superior del río La Paz que está situado entre el Altiplano, al oeste, y los Andes Orientales al este; valle donde está ubicada la ciudad de La Paz y sus barrios. Las rocas sedimentarias que afloran en el sector del área mapeada consisten de depósitos cuaternarios poco consolidados, una secuencia no diferenciada de rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior y pizarras del Devónico Inferior. Los depósitos cuaternarios yacen sobre las pizarras devónicas o sobre rocas cretácicas o terciarias que forman una hoya intermontañosa alargada paralelamente a la Cordillera Real. Las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior tienen un contacto tectónico con las pizarras del Devónico Inferior.

Las pizarras del Devónico Inferior afloran en las partes bajas de las pendientes de la Cordillera Real al noreste de La Paz. Entre las partes bajas y la cresta de esta Cordillera afloran rocas paleozoicas anteriores al Eodevónico y consisten de areniscas, cuarcitas, pizarras y lutitas cortadas por algunas venas de cuarzo. Muchos de los picos más elevados, que forman la cresta de la Cordillera Real, consisten de un núcleo granítico que Ahlfeld consideraba de edad Miocena (Ahlfeld, 1946). Determinaciones posteriores realizadas por J.E. Evernden, mediante el método K-Ar, asignan una edad jurásica para tales intrusiones.

Hacia el sud de La Paz, a la altura de la angostura de Aranjuez, afloran rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior y pizarras del Devónico Inferior. Al sudoeste y con una dirección noroeste afloran pizarras devónicas en una pequeña colina. Al noreste de esta colina las rocas devónicas y cretácicas o terciarias están cubiertas por extensos depósitos glaciales, mientras que al oeste existen rocas continentales del Terciario Medio a Superior en contacto de falla con rocas del Devónico Inferior. Estas rocas terciarias alcanzan un espesor aproximado de 7000 metros y constituyen el grupo Corocoro, denominado según el famoso distrito cuprífero (Ahlfeld, 1946, p. 230). Rocas del grupo Corocoro no afloran en el valle superior de La Paz.

ROCAS DEL DEVONICO INFERIOR

En el sector sudoriental del área estudiada existe un afloramiento

de rocas pertenecientes al Devónico Inferior, que consiste de pizarras grises oscuras a negras, deleznales e intensamente fracturadas. Hacia el este, las rocas devónicas están en contacto de falla con unas capas rojas y al oeste yacen en discordancia sobre ellas los depósitos cuaternarios. Las rocas devónicas posiblemente infrayacen una extensión mucho mayor de lo que indica este afloramiento. Cerca de 2 Kms. al noroeste del afloramiento ya descrito se encuentra un deslizamiento de terreno con abundancia de bloques más o menos grandes de pizarras negras posiblemente también devónicas. Esto indicaría que la cubierta detrítica es de muy pocos metros de espesor.

Ahlfeld (1946, p. 127) afirma que las rocas del Devónico Inferior tienen un espesor mínimo de 1000 metros y se refiere a ellas como a las "pizarras de la Cordillera Real". El transcribe el trabajo paleontológico de Koslowski (1923) para asignarles una edad eodevónica.

ROCAS DEL CRETACICO SUPERIOR O TERCIARIO INFERIOR

En la serranía de Aranjuez, al sudeste del área estudiada, afloran rocas que posiblemente corresponden al Cretácico Superior o Terciario Inferior (Ahlfeld, 1945, p. 2). Estas rocas se componen de una secuencia de lutitas rojas claras algo calcáreas, areniscas y conglomerados, cuyo espesor máximo se estima en 1000 metros, Ahlfeld (1945, 1946) no les ha asignado un nombre formacional debido, probablemente, a la duda que implica su correlación; pero, Troll y Finsterwalder (1935, p. 445) Newell (1949, p. 71), Steinman (1929, p. 177) y otros se refieren a ellas como a la Formación Puca.

Los bancos de conglomerados contienen clastos de cuarcitas, pizarras y lutitas paleozoicas y algo de rocas ígneas y metamórficas. El espesor de los estratos varía de 3 a 15 metros. Estos estratos están inclinados y son más resistentes que las capas adyacentes. Su rumbo promedio es de N 60° O. Al noroeste de estos afloramientos estas rocas continúan, formando una colina cubierta por sedimentos más recientes. Cerca de 2 Kms. al sudeste del río La Paz, estos estratos desaparecen.

FORMACION LA PAZ

La Formación La Paz, de edad Terciaria y Cuaternaria, abarca ambos flancos de la serranía de Aranjuez e infrayace toda el área

estudiada al norte de la serranía. Se encuentra ampliamente expuesta en las partes inferiores de los valles principales.

En este informe se incluyen, bajo la denominación de Formación La Paz, a los sedimentos poco consolidados que yacen debajo de un drift, y donde éste está ausente, a los sedimentos debajo de un banco de ceniza volcánica. Descansan sobre rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior o sobre rocas del Devónico Inferior. La formación consiste de estratos lenticulares poco consolidados de limo, arcilla, arena, grava y algunas delgadas franjas de arcilla muy carbonácea. Los estratos individuales no pueden seguirse por más de 1 Km. El espesor máximo inferido de la Formación La Paz es no menos de 500 metros. Con el propósito de una descripción más detallada se ha dividido la formación en tres unidades: inferior, media y superior, aunque no se las ha mapeado separadamente.

UNIDAD INFERIOR - La unidad inferior, aproximadamente 130 metros de espesor, se compone de bancos alternados de arcilla limosa de color gris o canela, arcilla, arena y grava. Aflora en el valle de Achocalla, a lo largo de los ríos principales desde la angostura de Aranjuez río arriba hasta San Pedro y Miraflores y forma parte de la pendiente meridional de Pampajsi. Se pueden observar dos capas lenticulares distintivas de grava limosa de color rojo con un espesor de hasta 15 metros. La capa superior se ha elegido como límite superior de la unidad inferior.

Localmente la arcilla limosa y arcilla, están bien estratificadas aunque en partes tienen apariencia maciza con algunos clastos bien redondeados e irregularmente distribuidos de pizarra y granito. La arena y grava presentan localmente estratificación cruzada. La grava consiste de fragmentos bien redondeados de pizarra, lutita, cuarcita y granito.

Los dos bancos de grava limosa roja están separados por 30-40 metros de limo y arcilla limosa de color gris o canela. Están compuestos de clastos bien redondeados de granito, cuarcita, pizarra y lutitas. Al noroeste de Obrajes se presentan varias capas de arcilla limosa roja, limo, arena y grava arenácea cuyo espesor no pasa de los 6 metros y su extensión lateral es sólo de pocos cientos de metros. Hacia el sudeste de Obrajes se observa solamente una capa de grava limosa roja que posiblemente corresponde a la capa superior del este de Obrajes. Aunque el fallamiento y depósitos más recientes han ocultado las relaciones entre estos estratos, se asume que los pequeños afloramientos de capas limosas rojas a lo largo del río Choqueyapu, al oeste de Miraflores, se correlacionan

dimentos finos inferiores hacia los sedimentos de grano más grueso que caracterizan a esta unidad. Por lo general su límite superior está en la base de una capa de ceniza volcánica.

El espesor de los estratos de la unidad superior varían desde 1-10 metros. Los bancos de grava son más potentes en la parte superior y consisten de clastos bien redondeados de granito, pizarra, arenisca y cuarcita. En partes los clastos tienen hasta 10 cms. de diámetro. Los estratos de limo y arena están finamente laminados y localmente presentan estratificación cruzada. En el valle de ChuquiagUILlo, al sudeste de la finca del mismo nombre, afloran dos capas de arcilla carbonosa con un espesor medio de 1.30 metros. En el centro de cada una de estas capas se puede observar fragmentos de material lignítico.

Ciertas variaciones laterales, tanto en espesor como en litología, son características de la unidad superior. En la parte superior del valle ChuquiagUILlo los clastos que componen las gravas tienen un diámetro mucho mayor que aquellos de las gravas que se encuentran entre los cerros Killi-Killi y Calvario. Al sudoeste del acueducto de Milluni y alrededor de 25 metros debajo del techo de la formación existe una capa de 35 cms. de ancho que consiste de un cascajo de pizarras y granito blanco. En este punto la presencia de granito blanco es más abundante que en cualquier otro. La sección se compone de limo color canela, arcillas grises y algunos horizontes de gravas al sud del Kenko. En la serranía de Aranjuez, a unos 30 metros debajo del tope de la formación, Brannisa (1954, comunicación personal) encontró fragmentos de un glip-todonte que lo identificó como *Hoplophorus* sp.

El límite superior de esta unidad y en consecuencia de la Formación La Paz, se ha ubicado en la base de una capa de ceniza volcánica, excepto cerca de Patapatani donde se presenta un til entre la Formación La Paz y la cinerita. El contacto entre el til y la unidad superior de la Formación La Paz no aflora.

ORIGEN Y AMBIENTE DE DEPOSICION - En este informe se emplea el término de cuenca de La Paz para designar a la depresión topográfica en que se encuentran confinados los sedimentos de la Formación de La Paz y otros más recientes. Ahlfeld (1945, p. 2) se refiere a esta hoya como a la cuenca de La Paz.

La cuenca de La Paz tiene como límite occidental una serranía que se extiende desde el lago Titicaca, cerca de Aigachi, hasta cerca de 8 Kms. al oeste de Calamarca y está compuesta de rocas devónicas. El límite oriental se extiende a lo largo de la pendiente

occidental de la Cordillera Real, desde Puerto Pérez hasta más al sudeste de La Paz. La serranía de Aranjuez es un rasgo topográfico secundario dentro de la cuenca de La Paz y la divide en dos partes. La unidad inferior de la Formación La Paz termina contra la serranía mientras que los sedimentos posteriores la traspasan. Las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior de los alrededores de Vilaque pueden representar la continuación noroccidental de la serranía de Aranjuez. Al norte de Vilaque los depósitos fluvioglaciales y aluviales del Pleistoceno Superior ocultan el lineamiento de la cuenca de La Paz (Fig. 2) Muñoz Reyes (1959, comunicación personal) encontró algunos afloramientos similares a los de la Formación La Paz, a unos 14 Kms. al sud de la angostura de Aranjuez; lo que indicaría que la cuenca se extiende más al sudeste que lo que demuestra Ahlfeld (1946, Fig. 82)

Los sedimentos de la Formación La Paz se originaron en la Cordillera Real y fueron transportados hasta la cuenca La Paz por corrientes de gran caudal. Es también probable que existieron algunos lagos efímeros. Localmente los ríos pudieron haber rebalsado hacia el oeste hasta desembocar en el río Colorado de curso hacia el norte, como se ilustra actualmente en el caso de los ríos Pallina, Vilaque y el antiguo curso inferido del río Seguenca. Por otro lado los ríos que existían en el área actualmente drenada por los ríos Chuguiaguillo e Irapavi podían tener un curso similar al río Milluni que corre hacia el sudoeste hasta confluir con el río Pallina.

EDAD Y CORRELACION - La edad y origen de los sedimentos debajo de la capa de cinerita han sido objeto de interminables discusiones y su correlación con depósitos de localidades vecinas no ha sido definida.

D'Orbigny (1842, p. 120) pensaba que los depósitos sedimentarios de los alrededores de La Paz eran de origen diluvial e hizo notar que los estratos superiores se componen de clastos más gruesos que los inferiores. Ahlfeld (1946, p. 267) definió la Formación La Paz y la dividió en una unidad inferior compuesta de clastos finos y una unidad superior formada por granos más gruesos. Ambas unidades estaban separadas por una capa conspicua de ceniza volcánica. A la unidad superior se atribuía una edad pleistocena mientras que la inferior se la asignaba al Plioceno. Hauthal (1911, p. 110) y Douglas (1914, p. 48 y Fig. 1) pensaban que todos los depósitos de La Paz eran de origen glacial. Felsch (1919, p. 4 y 5) creía que los sedimentos debajo de la cinerita eran de edad miocena, 300 metros encima de la misma corresponderían al Plioceno y el resto al Pleistoceno.

con el estrato superior de grava limosa roja al noroeste de Obrajes.

La base de esta unidad no aflora en ningún sitio por lo que su espesor podría ser mayor de los 130 metros señalados. En la ladera occidental de la serranía de Aranjuez al norte del río La Paz, estos estratos descansan horizontalmente sobre una superficie de erosión de rocas cretácicas o terciarias que tienen una inclinación de 45°-65° al SO. Al sud del río La Paz los estratos de la unidad inferior están en contacto de falla sobre pizarras devónicas o rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior.

UNIDAD INTERMEDIA - La unidad intermedia se compone de una alternancia de estratos de arcilla limosa color gris o canela y limo con lentes delgados de arena, arcilla arenosa y grava. Aflo- ra al noreste de Obrajes en una pequeña colina que separa La Paz de Miraflores, a lo largo de la serranía de Aranjuez y en el valle de Achocalla. El límite inferior de esta unidad es la capa de grava limosa roja ya descrita. El límite superior se lo ha tomado arbi- trariamente a unos 150 metros encima del límite inferior y co- rresponde al nivel en que las gravas grises empiezan a predomi- nar en la sección.

El espesor de los estratos de arcilla limosa y limo de esta uni- dad varía desde 1-15 metros. Localmente contienen clastos redon- deados e irregularmente distribuidos de pizarra hasta de 1 cm. de diámetro. Las capas de arena y arena arcillosa varían en espesor de 1-50 cms. Un análisis por rayos X muestra la presencia de mica, una mezcla de mica-montmorillonita, cuarzo, feldespato y posible- mente algo de caolín (Botinelly, T, 1959, comunicación personal.)

El mejor afloramiento de la unidad intermedia de la Formación La Paz está en una colina entre Miraflores y La Paz donde se explo- ta la arcilla para la fabricación de ladrillos y tejas. Según informes de Posnansky en este punto se han localizado restos de vertebrados como el *Scelidothereum* y *Parahipparion* (Ahlfeld, 1945, p.5).

UNIDAD SUPERIOR - La unidad superior de la Formación La Paz, con un espesor aproximado de 230 metros, se compone de una alternación de estratos poco consolidados de arenas lenticulares de color gris a gris claro, limo, arcilla limosa, grava, y arcilla car- bonosa gris oscura a negra. Aflora a lo largo de las partes supe- riores de los valles de ChuquiagUILlo y Choqueyapu, al sud de Sopo- cachi Alto y en las partes superiores de la serranía de Aranjuez hasta la región del Kenko. El límite inferior de esta unidad se ha ubicado en el nivel donde se produce un cambio gradual de los se-

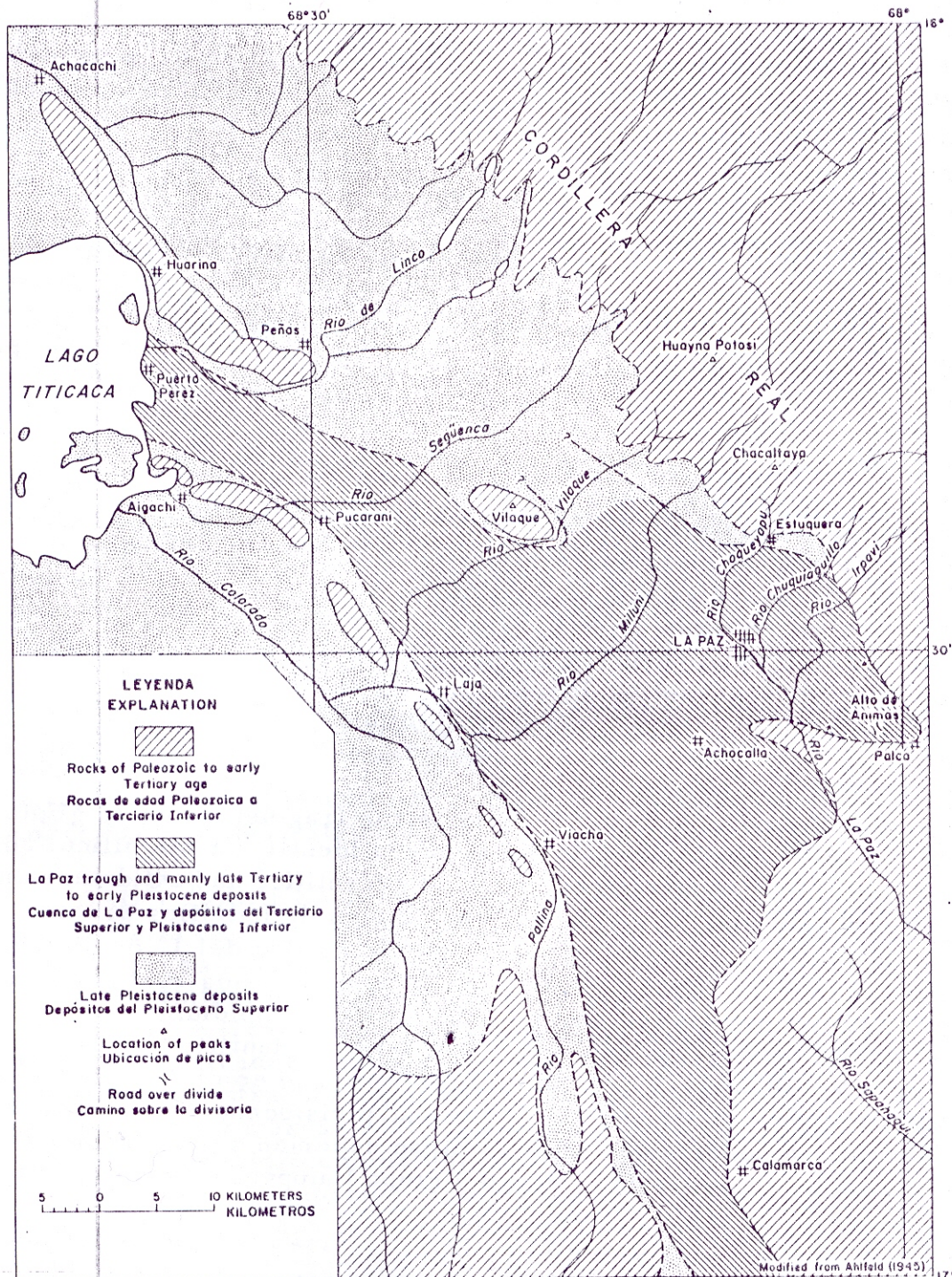


FIG 2-OUTLINE OF THE LA PAZ TROUGH IN RELATION TO MAJOR ROCK UNITS
FIG 2-DELIMITACION DE LA CUENCA DE LA PAZ Y SU RELACION CON UNIDADES ESTRATIGRAFICAS MAYORES

Ahlfeld (1946, p. 272) compara la Formación La Paz con los conglomerados Taraco que se extienden desde unos 15 Kms. al oeste de Viacha hasta el lago Titicaca. Este autor piensa que estos conglomerados son de origen pedemontano y les asigna una edad pliocena. Ahlfeld hace notar que los conglomerados Taraco están ausentes en la cuenta de La Paz y cree que son más antiguos que los sedimentos de la Formación La Paz. Este su razonamiento se basa en el hecho de que la Formación La Paz contiene clastos de granito provenientes de la erosión de los batolitos de la Cordillera Real, mientras que la ausencia de estos en los conglomerados Taraco indicaría que los batolitos todavía no afloraban durante la deposición de los conglomerados Taraco.

Ahlfeld (1946, p. 278) correlacionaba su unidad superior de la Formación La Paz con los estratos de Ulloma, situados a unos 120 Kms. al sudoeste de La Paz. Estos depósitos contienen una fauna de vertebrados descritos parcialmente por Huxley (1860), Seve (1914, 1915), Philippi (1893) y Pompechi (1905) y pertenecerían al Pleistoceno (Ahlfeld 1946, p. 348) en cuyo caso serían de la misma edad que la fauna encontrada en Tarija, en el extremo meridional de Bolivia (Oppenheim, 1943).

Las fotografías de los fragmentos fosilíferos encontrados por Branisa fueron mostrados a G. Edward Lewis del Servicio Geológico de los EE.UU., quién comentó:

"Todas las fotografías sólo muestran fragmentos de un gliptodonte, *Hoplophorus*, sp., el que puedo identificar sin dificultad. Ahlfeld (1945) menciona que Posnansky identificó un *Scelidotherium* y *Parahipparion* localizados en la fábrica de ladrillos próxima a Miraflores. Aún más, los periódicos de La Paz del 1° de diciembre de 1954 informan sobre el hallazgo de algunos restos de *Hoplophorus* o *Scelerocalyptus* y *Palaeolama* o *Hippidium*. No parece existir ninguna razón para no aceptar estas identificaciones".

"Actualmente el criterio más generalizado es el de considerar a los fósiles mencionados como de edad pleistocena. Por tanto, los sedimentos donde éstos se encuentran deberían ser correlacionados con una de las formaciones del grupo Pampeano de la República Argentina".

Los vertebrados encontrados por Branisa han sido localizados en depósitos que pueden representar a los sedimentos fluvioglaciales originados en el glaciar que ha depositado el til sobre la Formación La Paz en la región de Patapatani. Los fósiles mencionados por Posnansky son también de edad pleistocena. Tales evidencias indicarían que la unidad intermedia de la Formación La Paz es

de edad pleistocena inferior y no pliocena superior. Las evidencias paleontológicas están de acuerdo con lo observado en el terreno de que no existe interrupción de deposición entre el lecho de la unidad inferior de la Formación La Paz y la ceniza volcánica. En consecuencia, las dos unidades superiores de la Formación La Paz son probablemente de edad pleistocena, mientras que la unidad inferior correspondería al Plioceno Superior. Si el truncamiento de los estratos infrayacentes a las capas de limo rojo de la unidad inferior pudieran considerarse como evidencia de un cambio en el ciclo de deposición en vez de una deposición fluvial normal, entonces esta parte de la sección puede representar el contacto entre el Plioceno y Pleistoceno.

Por falta de evidencias más definitivas y en base a las inferencias indicadas se asigna provisionalmente una edad pliocena superior a la unidad inferior de la Formación La Paz. En la misma forma se atribuye una edad pleistocena inferior a las unidades media y superior, las mismas que pueden representar materiales depositados en gran parte por glaciares existentes en la Cordillera Real. En resumen, la Formación La Paz incluye depósitos que varían de edad desde el Plioceno Superior al Pleistoceno Inferior.

DEPOSITOS CUATERNARIOS

DEPOSITOS PLEISTOCENOS

La mayor parte de los depósitos correspondientes al Pleistoceno Medio e Inferior consisten de drift e incluyen además de til, arenas y gravas fluvioglaciales, limo y lignito glacio-lacustres y cinerita. El drift y sedimentos fluvioglaciales han sido depositados durante el avance y retroceso de tres sucesivos glaciales pedemontanos, seguidos por un glacial de valle que ocupó dos veces la parte superior de los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo (Fig. 3).

Todos son de edad pleistocena; pero el conocimiento actual no permite asignarles, con cierto grado de precisión, etapas del Pleistoceno como se hace en Europa y Norteamérica.

El espesor de los depósitos pleistocénicos incluyendo las unidades superiores de la Formación La Paz, pero excluyendo los depósitos de drift que ocupan los valles actuales, es de cerca de 700 metros (2300 pies). De acuerdo a una sección medida, los depósitos pleistocénicos que yacen sobre la Formación La Paz tienen un espesor máximo de alrededor de 340 metros. En la Fig. 4 se muestra la ubicación y correlación de estos depósitos. La descripción de tales secciones aparece en el apéndice A.

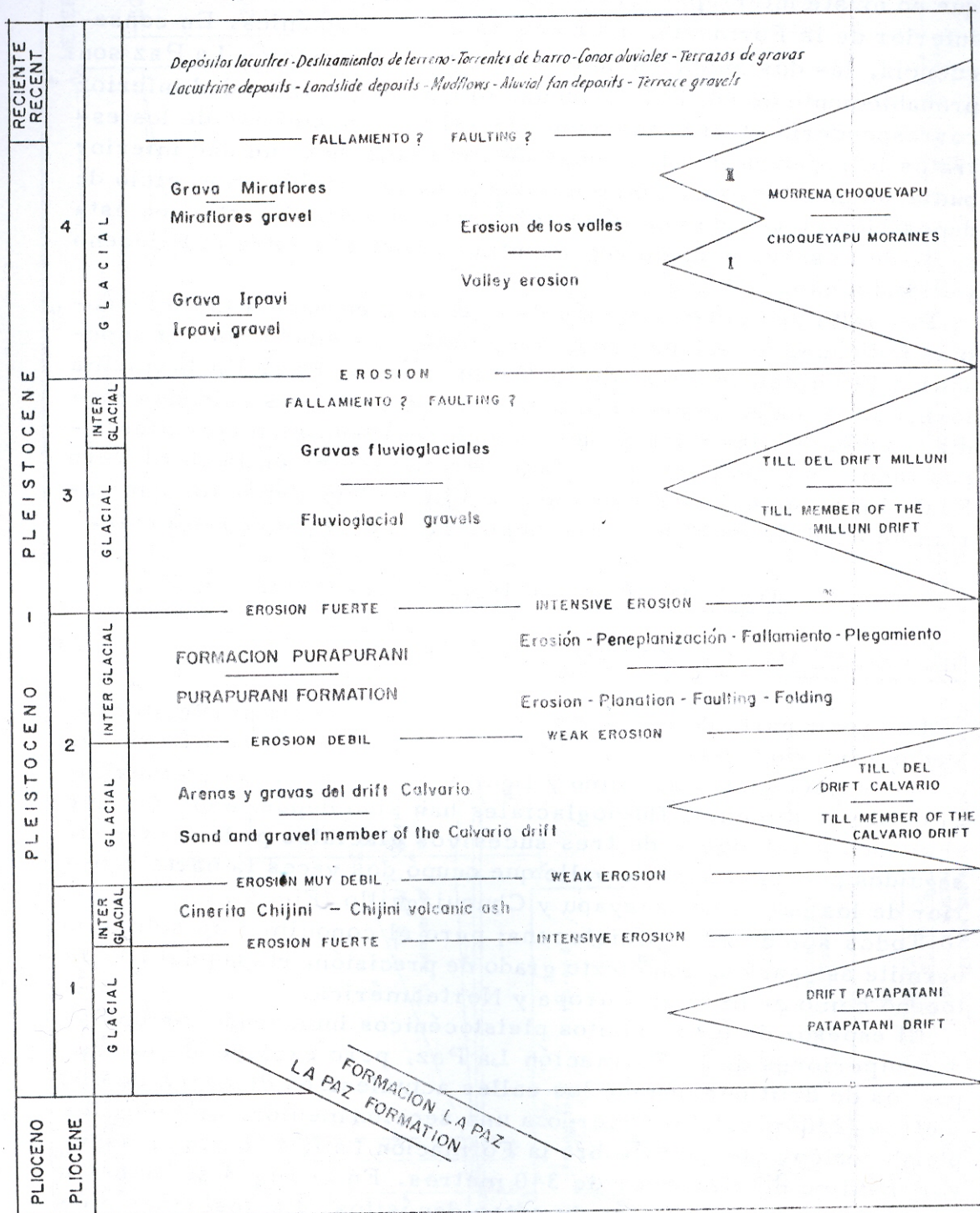


FIG. 3- SECUENCIA PLEISTOCENICA EN LOS ALREDEDORES DE LA PAZ, BOLIVIA
FIG 3- PLEISTOCENE SEQUENCE IN THE VICINITY OF LA PAZ, BOLIVIA

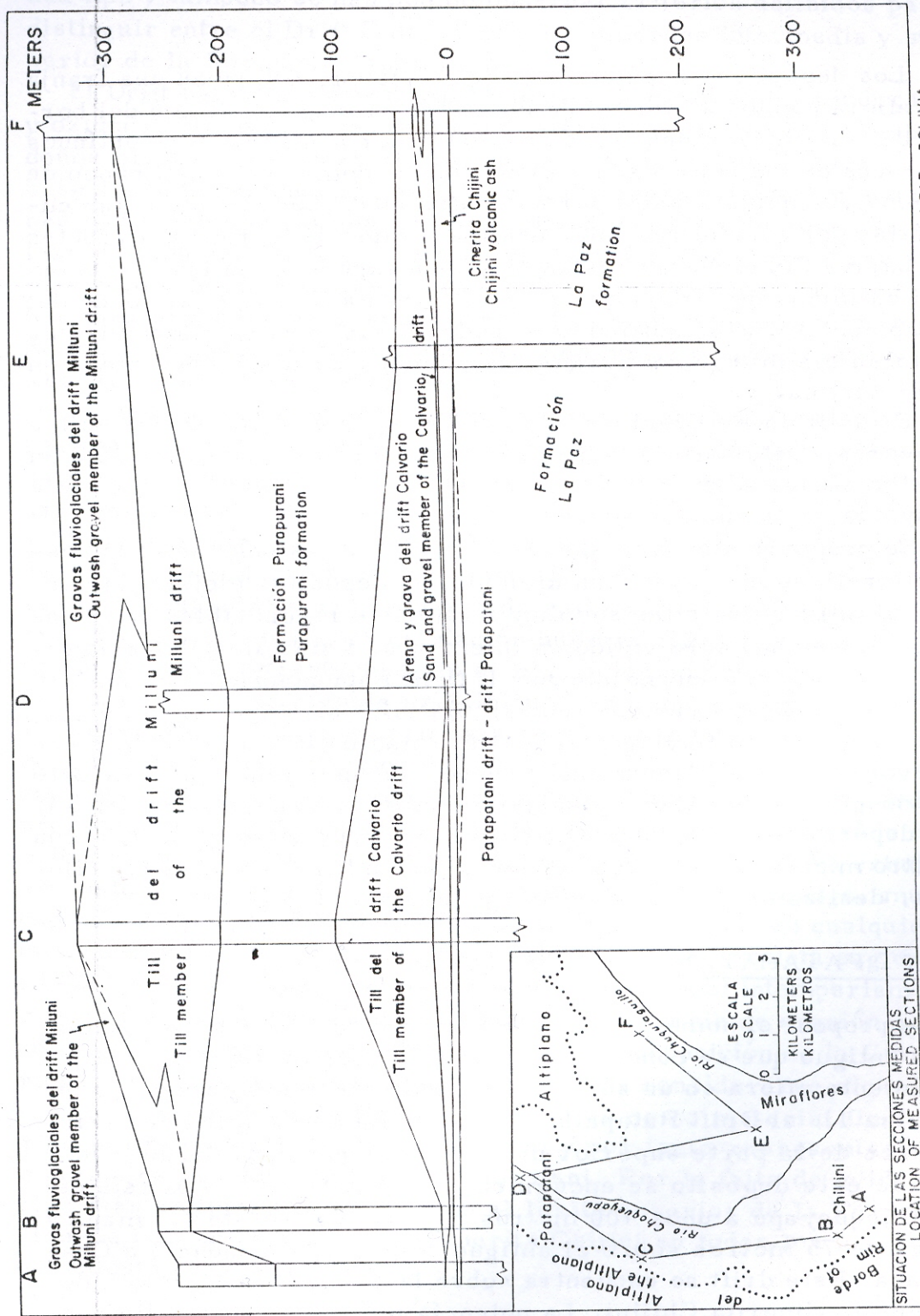


FIGURA 4: SECCION ESQUEMATICA MOSTRANDO LA CORRELACION DE LOS DEPOSITOS PLEISTOCENICOS EN EL VALLE SUPERIOR DE LA PAZ, BOLIVIA
FIGURE 4: DIAGRAMMATIC SECTION SHOWING CORRELATION OF PLEISTOCENE DEPOSITS IN THE UPPER LA PAZ VALLEY, BOLIVIA

Los depósitos pedemontanos del Pleistoceno forman una franja de afloramientos a lo largo de los valles principales debajo del borde del Altiplano. Aunque los diferentes horizontes no son continuos a través de toda el área, la secuencia que comienza con el banco de ceniza volcánica resalta por su continuidad. Localmente están cubiertas por coluvio reciente, deslizamientos de terreno y torrentes de barro. Sin embargo, están muy bien expuestas en los reentrantes en forma de circos que se encuentran a lo largo del borde del Altiplano. Desgraciadamente se pudo observar estos afloramientos sólo en los márgenes porque las paredes de los reentrantes son casi verticales.

El drift de los glaciares de valle ocupan el fondo de los valles mayores. Estas acumulaciones varían mucho en espesor. Sólo en partes alcanzan un espesor igual a 100 metros mientras que en la mayoría se reducen a pocos metros.

Se proponen nuevos nombres para seis de las ocho unidades estratigráficas en que se han dividido los depósitos pleistocénicos. Los límites entre ellas son muy fácilmente reconocibles. Algunas unidades se han subdividido en miembros. Estas unidades estratigráficas en forma ascendente son: 1) Drift Patapatani (nombre nuevo); 2) Cinerita Chijini (nombre nuevo); 3) Drift Calvario, con un miembro de til y otro fluvio-glacial; 4) Formación Purapurani (nombre nuevo); 5) Drift Milluni (nombre nuevo) con un miembro de til y otro fluvio-glacial; 6) Grava Pampajsi (nombre nuevo); 7) Grava Irpavi, un depósito en terraza; y 8) Drift Choqueyapu (nombre nuevo) con cuatro miembros cuyas subdivisiones son un til, las gravas Miraflores, deslizamiento de Laicacota y depósitos lacustres.

DRIFT PATAPATANI

Se propone el nombre de Drift Patapatani para el depósito glacial más antiguo que se conoce en los alrededores de La Paz. Aunque solamente aflora en un sólo lugar, límite septentrional del mapa (lámina 1), el Drift Patapatani se presenta como un til en varios lugares de la parte superior del valle Choqueyapu. La localidad tipo de este depósito se encuentra en una estribación al este del río Choqueyapu a unos 400 metros al norte del límite del mapa y cerca de 75 metros sobre el antiguo camino que conducía a Chacaltaya. Este drift se encuentra sobre la Formación La Paz y debajo de la Cinerita Chijini. La potencia máxima del Drift Patapatani es de 7 metros. En aymará la palabra Patapatani significa "una cosa encima de otra" y se emplea como una referencia geográfica

de toda el área. El til no aflora nuevamente río abajo de la localidad tipo y tampoco se han podido observar criterios definidos para distinguir entre el Drift Patapatani y las unidades intermedia y superior de la Formación La Paz.

El Drift Patapatani consiste principalmente de un til bien indurado y oxidado. El color varía desde un café rojizo oscuro en el techo, donde predomina el cemento ferruginoso hasta un café claro en la base donde la cementación es menor. La mayor parte de los pedrones que lo componen son granito subredondeados de color gris a blanco. Los pedrones y guijos de esquistos y pizarras grises son más raros. Solamente algunos de ellos están estriados. Los pedrones más grandes que se han observado son de medio metro en su diámetro mayor. El matrix del til se compone de grava no clasificada, arena, limo y arcillas.

El contacto entre la Formación La Paz y el Drift Patapatani está cubierto por coluvio. Donde quiera que aflora el contacto entre el drift y la ceniza volcánica superior, éste es ondulado, aunque no hay indicios de que sea un contacto muy irregular.

Las evidencias en favor de un origen glacial para el material ya descrito son: La ausencia de una clasificación según el tamaño de sus constituyentes y la presencia de estriaciones en los pedrones más pequeños. Aunque la estriación hubiera sido originada por la acción del hielo durante un ciclo de glaciación anterior la otra evidencia para una glaciación pre-Chijini sería todavía válida.

El término drift es mucho más general que til y su empleo se debe a que la parte superior de la Formación La Paz, tal como se demuestra en el mapa, puede incluir gravas fluvioglaciales que más propiamente pertenecerían al Drift Patapatani. Aunque el grado de oxidación de este depósito no prueba precisamente que haya estado expuesto a la intemperie por mucho tiempo, es, sin embargo, mucho más profundo y completo en el Drift Patapatani que en cualquier otro depósito glacial posterior. Esta oxidación más completa sugiere que el Drift Patapatani era una superficie expuesta al intemperismo, y por su posición topográfica también una superficie de erosión por un lapso de tiempo bastante largo antes de la deposición de la Cinerita Chijini. Si esto sería evidente, podrían considerarse algunas capas superiores de la Formación La Paz como material fluvioglacial proveniente del til Patapatani y por tanto representarían materiales erodados del Drift Patapatani. Por la falta de evidencias más definidas se ha tomado el límite superior de la Formación La Paz en la base de la Cinerita Chijini en todos los lugares donde está ausente el til.

El Drift Patapatani puede considerarse como un depósito acumulado por glaciares pedemontanos que se extendieron hacia el oeste de las partes más elevadas de la Cordillera Real.

CINERITA CHIJINI

Se propone el nombre de Cinerita Chijini para una capa prominente de ceniza volcánica que ha sido objeto de la atención de investigadores anteriores. Se trata de la única capa de ceniza volcánica en la columna estratigráfica del área de La Paz; aún más, está notablemente expuesta en las paredes de los valles principales. Esta capa de cinerita constituye un excelente horizonte guía y cuyo origen es intrigante. Forbes (1861) y Hettner (1887) la han denominado toba-traquita, Gregory (1913, p. 145) la llamó ceniza volcánica dacítica; Felsch (1919) se refirió a la ceniza volcánica como una liparita; Troll y Finsterwalder (1935, p. 449) la llamaron simplemente toba y por último Ahlfeld (1946, p. 250) toba rhyo-dacita.

El nombre de Chijini se ha tomado de uno de los barrios de la ciudad de La Paz (Lámina 1) donde la cinerita se halla muy bien expuesta en las partes inferiores de las laderas occidentales del río Choqueyapu. En la mayor parte de sus afloramientos el banco de cinerita tiene un espesor entre 2 y 4 metros, aunque su variación máxima es de 1 a 15 metros. La Cinerita Chijini yace sobre el Drift Patapatani y donde éste está ausente se encuentra descansando sobre la Formación La Paz. El contacto inferior de la Cinerita Chijini es poco ondulada pero no se han observado cauces de corrientes reconocibles. A través de toda el área la cinerita infrayace al Drift Calvario.

Los afloramientos de la cinerita clara forman una franja distintiva en las partes superiores de las paredes de los valles. En el lado occidental del valle del Choqueyapu aflora en forma casi continua desde el Alto de Sopocachi hasta El Alto. Entre El Alto y Patapatani se halla cubierta en su mayor parte por coluvio; debajo del Calvario del Norte, la capa de cinerita circunda la serranía entre los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo. En la pared oriental del valle Chuquiaguillo la cinerita aflora desde la finca Chuquiaguillo hasta cerca de 1 Km. al sudoeste del pico de Pampajsi. Muñoz Reyes (comunicación escrita, 1959) encontró la cinerita "insitu" en el valle de La Paz a 14 Kms. al sud de la angostura de Aranjuez.

En muchos afloramientos las dos terceras partes inferiores de la cinerita es de color blanco o gris claro y contiene algunos clastos redondeados de granito, lutitas, pizarras, esquistos y cuarcitas.

En cambio la tercera parte superior es de un color rosado claro y por lo general está libre de material no volcánico. En ciertos lugares la cinerita es suave y deleznable y en otros forma salientes muy conspicuas. Localmente la parte inferior presenta una estratificación horizontal con láminas de alrededor de 1 cm. de espesor, pero por lo general es maciza. Esta unidad está cortada verticalmente por diaclasas espaciadas de 4 a 6 metros una de la otra.

La cinerita es similar en toda el área tanto petrográfica como químicamente. El análisis de las muestras recogidas de las capas rosadas en la parte superior del valle Chuquiaguillo es casi idéntica al de las muestras provenientes del valle Choqueyapu, cerca del afloramiento del Drift Patapatani. Aproximadamente 90% del material consiste de esquirlas de vidrio fresco con algunos microfragmentos de piedra pómez y otros de rocas sedimentarias; el 10% restante consiste de biotita primaria, plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y algo de hornblenda e hiperstena.

El material tiene alto contenido de silicio, aluminio, sodio y potasio como se muestra en el cuadro del análisis químico en la tabla 1.

Un análisis espectrográfico semicuantitativo muestra trazas de los siguientes elementos: boro, berilio, cerio, cromo, cobre, galio, tantalio, niobio, plomo, estroncio, vanadio, itrio y zirconio (tabla 2).

La Cinerita Chijini pertenece al Pleistoceno Inferior o Medio. No se la incluye en la parte inferior de la Formación La Paz (Ahlfeld, 1946, p.270); interpretación con la cual Ahlfeld está de acuerdo (1955, comunicación personal). La Cinerita Chijini del valle de La Paz ha sido correlacionada con afloramientos de un material similar cerca de Achacachi, Calamarca y Patacamaya, tabla 3, (Ahlfeld, 1946, p.270). El análisis cuantitativo de muestras recogidas en el lugar tipo del Drift Patapatani y de otros afloramientos al oeste y sudoeste del área estudiada es similar. La evidencia de la semejanza en los análisis y el hecho de que sólo se presenta un banco de cinerita en el valle de La Paz respaldan la correlación sugerida por Ahlfeld (1946, p.270).

La Cinerita Chijini probablemente es el resultado de una redistribución local del material transportado por el aire y originado en una sola erupción. No se conoce la ubicación exacta de los volcanes de los cuales proviene, pero puede haber sido del volcán Tacora, en el límite con la República de Chile cerca del ferrocarril a Arica; como lo sugiere Muñoz Reyes (comunicación personal, 1959).

Tabla 1. Análisis químico de la Cinerita Chijini

	P-1 1/	C-1 2/
SiO ₂	71.76	71.41
Al ₂ O ₃	13.35	13.65
Fe ₂ O ₃	1.66	1.04
FeO	.39	.14
MgO	.38	.33
CaO	1.00	.94
Na ₂ O	3.03	3.41
K ₂ O	5.26	4.65
H ₂ O ^L	2.66	3.18
H ₂ O ^T	.58	.51
TiO ₂	.19	.19
P ₂ O ₅	.04	.04
MnO	.05	.06
CO ₂	.01	.01
Cl	.08	.10
Flu	.04	.04
Sub Total	99.48	99.70
Menos 0	.04	.05
Total	99.44	99.65

1/ P-1, Muestra de la localidad tipo del Drift Patapatani, sección medida, Localidad D, Fig. 4.
 2/ C-1, Muestra del lado norte del valle Chuquiaguillo, al este del puente del ferrocarril que cruza el río Minas; unidad 26 de la sección medida, Localidad F, Fig. 4.

Tabla 2. Análisis espectrográfico semiquantitativo de la Cinerita Chijini.

	P-1 ^{1/}	C-1 ^{2/}		P-1	C-1
B	.0015	.00015	La	.003	.003
Ba	.07	.03	Nb	.0015	.0015
Be	.00015	.00015	Pb	.0015	.003
Ce	d	.015	Rb	-	-
Cr	.00015	.0003	Sr	.03	.03
Cs	.0003	.0003	V	.0015	.0015
Cu	.0003	.0003	Y	.0007	.0007
Ga	.0015	.0015	Zr	.015	.007

Los análisis químicos de Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn, Cl, y F están dados en la Tabla 1.

Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Dy, Er, Eu, Gd, Ge, Hf, Ag, Ho, In, Ir, Li, Lu, Mo, Nd, Ni, Os, Pd, Pr, Pt, Re, Rh, Ru, Sb, Sc, Sn, Sm, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tm, U, W, Yb, y Zn fueron buscados sin encontrarlos.

Las cifras se refieren al número más próximo en las series 7, 3, 1.5, 0.7, 0.3, 0.15, etc. en por ciento. Estos números representan puntos medios de grupos de datos en una escala geométrica.

Comparaciones de este tipo de resultados semicuantitativos con datos obtenidos por métodos cuantitativos ya sean químicos o espectrográficos muestran que los grupos asignados incluyen el valor cuantitativo en más o menos 60 por ciento del tiempo.

Los símbolos usados son: * = no buscados.

d = indicios y concentración incierta.

^{1/} P-1, Muestra cercana a la sección tipo del Drift Patapatani en el valle superior Choqueyapu.

^{2/} C-1, Muestra cercana a una sección medida en el valle superior ChuquiagUILlo.

Tabla 3 - Análisis espectrográficos cuantitativos de la Cinerita Chijini

	P-11/	C-12/	23/	34/	4-A5/	4-B6/	87/	98/
Ag	.00005	.00005	.0002	.00006	.00005	.00005	.0002	.00005
B	.006	.004	.006	.006	.004	.005	.005	.005
Ba	.055	.048	.047	.044	.040	.038	.039	.035
Be	.0004	.0004	.0003	.0003	.0003	.0004	.0004	.0005
Co	.0001	.0001	.0001	.0001	.0002	.0001	.0001	.0001
Cr	.0001	.0001	.0002	.0002	.0001	.0001	.0003	.0002
Cu	.0003	.0001	.0004	.0005	.0003	.0002	.0008	.0004
Fe	.71	.64	.75	.72	.74	.64	.90	.58
Ca	.0026	.0023	.0024	.0025	.0025	.0024	.0026	.0024
La	.005	.003	.008	.005	.006	.006	.005	.004
Mg	.11	.08	.11	.20	.17	.07	.13	.07
Mn	.033	.032	.030	.034	.031	.022	.028	.019
Nb	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
Ni	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0003	.0002
Pb	.004	.003	.004	.004	.004	.004	.004	.004
Sc	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003
Sa	.0003	.0003	.0004	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003
Sr	.021	.015	.015	.014	.014	.011	.014	.009
Ti	.14	.12	.22	.16	.18	.19	.19	.15
V	.0004	.0003	.0005	.0006	.0004	.0002	.0006	.0003
Y	.001	.001	.002	.001	.001	.001	.001	.001
Yb	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
Zr	.010	.009	.013	.010	.011	.012	.011	.010
Σ			.03	.04	.02	.02	.02	.02
Cl			.11	.11	.11	.06	.11	.03

Buscados pero no detectados: As, Au, Bi, Cd, Ge, In, Mo, Pt, Sb, Ta, Th, Tl, U, W, y Zn.

Nota: Los resultados anteriores tienen una exactitud total de más o menos 15% excepto que son menos exactos cerca a los límites de detección, donde solamente se registró un dígito.

2³/ Muestra del área tipo de la Cinerita Chijini, sección medida en la localidad B, Fig. 5.

3⁴/ Muestra del afloramiento de la Cinerita Chijini señalada en el mapa geológico (Lámina 1) en el valle superior de Choqueyapu.

4-A5/ Muestra del afloramiento de la Cinerita de Chijini (estratos blancos inferiores) cerca de 500 metros al oeste de Achocalla.

4-B6/ Muestra del afloramiento de la Cinerita Chijini (estratos rosados superiores) cerca de 500 metros al oeste de Achocalla.

8⁵/ Muestra del afloramiento de la Cinerita Chijini camino a Laja a 14.3 Kms. al oeste del camino al Lago Titicaca.

9⁶/ Muestra del afloramiento de la Cinerita de Chijini a 16.6 Kms. al sudoeste de El Alto en el camino a Oruro.

Sin duda su origen fué en los Andes Occidentales, los cuales han sido volcánicamente activos en forma intermitente. La ceniza volcánica se asentó uniformemente sobre una superficie similar a la del Altiplano actual.

DRIFT CALVARIO

Se propone el nombre de Drift Calvario para aquel depósito que se encuentra sobre la Cinerita Chijini y por debajo de la Formación Purapurani. El Drift Calvario aflora debajo del borde del Altiplano desde las proximidades de Tacabua hacia Patapatani y rodea la divisoria entre los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo. El Drift Calvario no está presente en los bordes meridional y oriental del río Choqueyapu donde la Formación Purapurani descansa directamente sobre la Cinerita Chijini. La denominación para este drift se ha tomado del Santuario del Calvario del Norte y de una estación de triangulación próxima. La localidad tipo del Drift Calvario se encuentra al norte de la línea férrea en el borde occidental del valle Chuquiaguillo donde tiene un espesor de unos 35 metros. En otros puntos su espesor varía desde 0 hasta 100 metros. El Drift Calvario se subdivide en un miembro inferior de arena y grava y otro superior de til, los cuales en muchos lugares parecen interdigitarse. Tales miembros no se han diferenciado en el mapa geológico.

MIEMBRO DE ARENAS Y GRAVAS - El miembro compuesto de arenas y gravas es fácilmente identificable en toda el área en que ésta presenta el miembro superior de til. Este miembro aflora en las paredes del valle Choqueyapu al norte de Llojeta y a lo largo del borde septentrional del valle Chuquiaguillo. Su espesor varía entre 1 y 16 metros. Localmente, este miembro es tan delgado, como ocurre en la localidad tipo, que no siempre se la reconoce fácilmente. En el borde occidental del valle Choqueyapu, arriba de la planta eléctrica, este miembro adquiere un espesor de cerca de 16 metros. Las características más sobresalientes de esta unidad son su marcada variación lateral en espesor, en composición y textura.

En muchas localidades este miembro está compuesto de alternaciones lenticulares de arena, con estratificación cruzada y gravas. Estos lentes varían en espesor desde 5 a 40 cms. y puede seguirse longitudinalmente por 10 a 100 metros. En algunos lugares están presentes estratos de partículas del tamaño de la arcilla. La estratificación cruzada de algunos estratos individuales se halla

truncada por estratos suprayacentes. La estratificación cruzada no es tan nítida en sedimentos más gruesos. Las capas de arena tienen un color café claro a canela y están compuestas de granos de cuarzo finos a gruesos, uniformemente clasificados. Las capas de grava son de un color café oscuro a gris y están compuestas de fragmentos redondeados de granito, pizarra, cuarcita, arenisca de grano fino y lutitas purpúreas. El diámetro de estos fragmentos varía desde una fracción de milímetro hasta 3 cms.

Hacia el este de Tacahua y El Alto el miembro de arenas y gravas se halla truncado por el miembro superior de til. Cerca de El Alto el miembro de arenas y gravas es un cascajo de cerca de 2 metros de espesor y que está compuesta en su mayor parte de fragmentos de pizarra gris a negra. Los clastos son tabulares, elípticos o circulares y bien redondeados. Su dimensión varía de 1 a 3 cms, y su grosor es cerca de $1/3$ de la longitud mayor.

El miembro de til superior es de unos 5 metros de espesor cerca del extremo noroccidental del afloramiento, extendiéndose sólo unos 100 metros hacia el sud. En las proximidades de Tacahua, este miembro tiene un espesor de 9 metros. Estas relaciones se interpretan como el resultado del desbordamiento del hielo que ha depositado el til suprayacente.

En el valle al noroeste de la finca Chuquiaguillo el miembro de arenas y gravas parece estar en interdigitación con el til del drift Calvario. (Localidad F, sección medida, en el apéndice). Este es el único afloramiento conocido donde el til contiene una capa de grava. La secuencia estratigráfica, comenzando de la Cinerita Chijini hacia arriba, es como sigue: cubierto 7.5 metros; til 3.6 metros; gravas, 6 metros; til 8 metros.

Aproximadamente a 200 metros al noroeste de la sección indicada, aflora un banco de grava de 1.20 metros de espesor y otro de arcilla verde de 1.60 metros de espesor, ocupando el lugar del til no localizado a 7.5 metros encima de la Cinerita Chijini. La capa de arcilla, de probable origen lacustre, contiene algunos clastos angulares. Estas relaciones permiten inferir que por lo menos la parte superior del miembro de arenas y gravas interdigita con la parte inferior del miembro de til. Estas inferencias parecen garantizadas aunque gran parte de la sección se halla cubierta por coluvio o bloques de deslizamiento de terreno.

TIL DEL DRIFT CALVARIO— El til del Drift Calvario se compone de pedrones angulares a subangulares en un matrix no clasificado de arena, limo y arcillas. Los fragmentos de una lutita marrón que

están distribuidos algo regularmente a través de toda la sección imparte un color morado a esta unidad. El til se presenta en los flancos del valle Choqueyapu, desde cerca de El Alto, y en el borde noroccidental del valle Chuquiaguillo. El espesor del til varía desde 1 a 85 metros.

Alrededor del 75 a 85% del volumen del til se compone de limo y arena fina, un 2% es arcilla y 15-20% consiste de gravas y pedrones. Sólo muy pocos pedrones tienen un diámetro mayor a medio metro. Esta unidad contiene clastos de granito blanco, pizarra gris a negra, cuarcita, arenisca y lutita dura marrón. El tinte morado de este miembro se reconoce más fácilmente a distancia que en el mismo afloramiento. En la mayoría de sus afloramientos, la mitad inferior es gris a gris purpúreo, mientras que la mitad superior es de color canela a pardo impartida por oxidación. En los puntos donde la sección se halla bien expuesta el contacto que separa ambas zonas es una línea bien definida y poco ondulada.

El til se encuentra al noroeste de la línea que une el Alto de Potosí con el valle Chuquiaguillo; al sudeste de esta línea no se ha reconocido el til.

El contacto con la Formación Purapurani que la suprayace, es muy regular y forma un plano ligeramente inclinado al sudoeste.

La tercera o mitad superior del til se halla oxidada sólo en aquellos lugares donde su espesor varía entre 60 y 85 metros. El número de secciones medidas es muy pequeño como para verificar que la profundidad de oxidación varíe con el espesor de la unidad. Sin embargo, la parte inoxidada inferior del til se extiende mucho más al sudeste que la parte superior oxidada. Esta observación conduciría a la conclusión de que el til estuvo expuesto a la intemperie ocurriendo la oxidación hasta una profundidad de 40 metros; posteriormente a su oxidación, la superficie fué truncada.

CORRELACION Y ORIGEN DEL DRIFT CALVARIO - El miembro de arena y grava del Drift Calvario puede interpretarse como una deposición efectuada por corrientes de moderada pendiente al frente de un glaciar que se movía hacia el sudoeste. Estos ríos desembocaban en lagos poco profundos donde se depositaron sedimentos lacustres. Los lagos estaban ubicados en una amplia planicie con ligera pendiente hacia el oeste. En determinados lugares la arena y grava se hallan truncadas por el glaciar en avance. La interdigitación de esta unidad con el til indica la contemporaneidad en la deposición de por lo menos parte de ambas unidades.

El til del Drift Calvario es un depósito de material no clasificado

acumulado por un glaciar pedemontano que se extendía hacia el sudoeste de la Cordillera Real. La interdigitación del til con la arena y grava infrayacente indica que la extensión del glaciar coincide aproximadamente con la distribución areal del til tal como se muestra en el mapa geológico (lámina 1). Gran parte del hielo que se extendió hacia el centro del Altiplano fuera de su área de acumulación, pudo haber sido disipado directamente por sublimación y no por deshielo.

Luego de su deposición el til fué expuesto por bastante tiempo a la intemperie produciéndose su oxidación hasta una profundidad aproximada de 40 metros. Posterior a su oxidación el til fué erosionado por corrientes que corrían sobre su superficie con dirección hacia el sudoeste. Tales corrientes removieron la zona oxidada y algo de la parte inferior no oxidada del til en su borde sudoccidental. Las corrientes excavaron canales que en partes alcanzan a los 3 metros.

FORMACION PURAPURANI

Se propone el nombre de Formación Purapurani para aquellos depósitos de pedrones, grava, arena, limo y delgadas capas de lignito que se encuentran encima del Drift Calvario y debajo del Drift Milluni. Esta designación reemplaza al de "Gravas de Granito Blanco" empleado en informes preliminares y citada en publicaciones más recientes. Purapurani es el nombre de un distrito de la ciudad de La Paz que se encuentra al sud de la planta eléctrica en el lado occidental del río Choqueyapu y donde las rocas indicadas anteriormente están típicamente expuestas. La Formación Purapurani aflora debajo del borde del Altiplano a lo largo de las paredes de los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo. Dentro de los límites del mapa geológico su espesor varía entre 50 y 245 metros.

En el extremo septentrional del área levantada, la Formación Purapurani consiste esencialmente de pedrones y gravas gruesas bien redondeadas de granito blanco. Hacia el sud la formación es de grano más fino y existe una predominancia de lentes de arena, arcilla y lignito. Donde se hallan presentes los lentes de grava tienen una gran variedad de rocas tales como clastos de cuarcita gris a café, gneiss granítico, pizarra negra, pizarra micácea y arenisca gris a café.

En la pared occidental del valle Choqueyapu hacia arriba de la planta eléctrica, la formación tiene cerca de 100 metros de espe-

sor y está compuesta casi en su totalidad de pedrones y guijos bien redondeados de granito blanco. Los pedrones tienen un diámetro hasta de 1/2 metro; los demás fragmentos varían de 5 a 15 cms. de diámetro. Hacia el norte de Munaypata, a lo largo de los cortes de la línea ferroviaria, la sección es de color canela a gris y contiene principalmente clastos bien redondeados de granito blanco cuyo diámetro varía entre 3 y 8 cms., sin ningún plano visible de estratificación. No se pueden distinguir variaciones laterales en la sección entre el norte de Munaypata y el este de El Alto porque la mayor parte de la misma se halla completamente cubierta.

Los depósitos son similares entre el monumento del Corazón de Jesús cerca de El Alto y Tacabua. En la parte inferior los depósitos consisten de gravas grises a color canela de estratificación cruzada, arena y arcilla grisácea en estratos hasta de 1 metro de espesor. En la parte media la sección consiste de capas alternadas de arcilla, arena y gravas grises, arcillas carbonosas y ligníticas cuyo espesor varía desde 0.50 a 2 metros. Se han tomado algunas muestras de lignito turboso de esta parte de la sección que contienen polen bien conservado de la familia Asteroides, Artemisia (salvia), cf. Sonchus (cardo), Quercus (roble) y gramíneas (pasto) (E. B. Leopold, U.S.G.S., comunicación escrita, 3/1/59). Una determinación por el método del carbón, realizada con las mismas muestras de las que se ha extraído el polen, da una edad de 32,000 B.P., lo que representa la edad máxima que puede determinarse por este método. (La determinación se realizó en el laboratorio del Servicio Geológico de los EE.UU. en Washington y la muestra tiene el número W-949). Estos depósitos se consideran que son más antiguos de 32,000 años.

La parte superior de la sección consiste de bancos potentes de gravas grises a color canela de granito y capas más delgadas de limo gris a pardo-amarillento; las capas de grava son lenticulares y presentan estratificación cruzada, varían en espesor desde 1 a 9 metros y están compuestas de cuarcita gris a café, gneiss granítico, pizarra negra, pizarra micácea y arenisca gris a café.

En el norte de la finca Chuquiaguillo la Formación Purapurani se reduce a un sólo miembro macizo de alrededor de 245 metros de espesor y consiste de guijos bien redondeados de granito en un matrix de limo. Los guijos más grandes son de 40 cms. de diámetro y consisten de cuarcita blanca a café, pizarra gris y negra, arenisca gris y café y algo de granito blanco.

El contacto entre la Formación Purapurani y el Drift Milluni está expuesto en pocos lugares. Al norte de Munaypata, donde se

encuentra superpuesta por el til Milluni, el metro superior de grava está teñido de pardo y toda la sección, de cerca de 50 metros, está oxidada.

En el anfiteatro de la parte superior de la reentrante del valle al este de El Alto, el sector superior de la Formación Purapurani ha sido acanalado hasta una profundidad de 5 metros. Esta evidencia indica que si se ha desarrollado una zona de suelo sobre la Formación Purapurani ha sido más tarde removida por erosión.

En el sector norte del área la Formación Purapurani ha sido depositada por corrientes pedemontanas de gradientes bastante pronunciadas, mientras que en la parte meridional las corrientes tenían una gradiente más moderada. Las corrientes corrían con dirección al sudoeste desde las cordilleras y tributarios desviados que alternativamente formaban su cauce y luego depositaban su carga. Arenas, arcillas y materiales carbonosos fueron acumulados en los flancos de meandros y en lagos efímeros.

Se infiere que la Formación Purapurani sea de carácter interglacial por varios factores. La superficie del Drift Calvario estuvo expuesta a la intemperie y su material fué profundamente oxidado. Posterior a la oxidación esta superficie fué erodada por corrientes degradantes. Finalizada la erosión las corrientes se convirtieron en acumuladoras y depositaron la potente Formación Purapurani. La sucesión de tales eventos pudo haber sido rápida, pero implican un lapso de tiempo en el cual los glaciares no estaban presentes en el área. Se cree que la erosión del Drift Calvario se realizó en el comienzo de una etapa interglacial mientras que la deposición de la Formación Purapurani ocurrió hacia el final de la misma. Las causas que transformaron las corrientes degradantes en acumuladoras están relacionadas a deformaciones en la región.

DRIFT MILLUNI

Se propone el nombre de Drift Milluni para el til y gravas fluvioglaciales que se superponen a la Formación Purapurani. Se ha dado este nombre según el acueducto de Milluni que se encuentra hacia el oeste del valle Choqueyapu y cerca de la planta eléctrica. La superficie superior del Drift Milluni por lo general coincide con la superficie del Altiplano donde presenta una gran extensión. El drift tiene una potencia que varía entre 30 y 100 metros. Se distingue el Drift Milluni de los Drifts Patapatani y Calvario por su posición estratigráfica.

La superficie del Drift Milluni tiene una ligera inclinación hacia

el sudoeste desde el pie de la Cordillera Real, se extiende por una distancia de 10 a 30 Kms. y linda con ella por cerca de 90 Kms. En determinados lugares, las acumulaciones glaciales posteriores se han localizado en márgenes abruptas de los valles como en el área de Patapatani. En otros lugares, como al norte y oeste del área mapeada, el Drift Milluni está cubierto por depósitos originados en glaciares posteriores que se extendieron a lo largo de valles pedemontanos poco profundos o por depósitos aluviales más recientes que se presentan como franjas estrechas alargadas según el curso de corrientes. El Drift Milluni se divide en un miembro de til y otro de gravas fluvioglaciales.

TIL - El til del Drift Milluni es una mezcla no clasificada de limo gris a color canela, arcilla, arena, grava y pedrones. Su espesor varía de 0 a 100 metros. Localmente se presenta un suelo delgado. Este miembro aflora en muchas de las tierras altas en la mitad septentrional del área mapeada.

Por lo general el til es gris claro a color canela. Predominan las partículas del tamaño del limo y las de arcilla son constituyentes menores. Los pedrones y guijos están compuestos de fragmentos redondeados y angulares de cuarcita gris a café, granito blanco, areniscas gris a café, pizarra micácea y pizarra negra.

El suelo gris claro desarrollado encima del til es por lo general un limo pedregoso con algo de arcilla; tiene un espesor aproximado de 25 cms. y contiene escasa vegetación de hierba. A lo largo de los cursos de corrientes más o menos amplios y terrenos pantanosos extensos del Altiplano el suelo es orgánico, negro, y con un espesor de cerca de 1 metro. En los cortes de la línea de ferrocarril en las proximidades de Munaypata, el til está superpuesto por gravas y los 20-30 cms. superiores consisten de un suelo pedregoso, parduzco ligeramente ácido. Este suelo contiene cuarzo, capas de mezclas de mica-montmorillonita, mica-vermiculita y capas de mezclas de vermiculita-montmorillonita según los análisis de rayos X (Botinelly, 1959, comunicación escrita).

La superficie del til coincide con aquella del Altiplano en la mayor parte del borde de la pared oeste del valle Choqueyapu al norte y oeste de El Alto; sólo en algunos lugares está superpuesto por depósitos aluviales muy delgados desarrollados en amplios canales ocupados por corrientes intermitentes. Un buen ejemplo constituye los canales que se encuentran en el extremo noroccidental del mapa; el canal más oriental de todos ha sido capturado por el río Choqueyapu y ahora se encuentra colgando. Este canal, como los demás del sistema, en la actualidad sólo lleva escorrentía local y drena hacia el sudeste.

El contacto irregular entre el til y las gravas fluvioglaciales del Drift Milluni está marcado por un escarpe discontinuo, no mayor de 3 metros de alto que se encuentra aproximadamente a 1 Km. al norte de El Alto.

En el lugar donde el acueducto de Milluni desciende por el flanco occidental del valle Choqueyapu hasta la planta eléctrica, el til tiene un espesor de 100 metros. Entre El Alto y el monumento del Corazón de Jesús, a lo largo de la abrupta cabecera del valle tributario al río Choqueyapu, el til se adelgaza hasta desaparecer.

Al norte de El Alto, sobre el camino y ferrocarril que baja a la ciudad, se encuentra un lente de grava de 4 metros de potencia dentro del til. Aunque no se ha podido seguir la capa de grava hasta las gravas fluvioglaciales del Drift Milluni, se infiere que representa la deposición al frente del glaciar Milluni durante un pequeño retroceso del hielo y una deposición parcialmente contemporánea de los dos miembros.

El til del Drift Milluni se reconoce a lo largo del borde septentrional del mapa, en la parte superior de la amplia divisoria entre los valles Choqueyapu y ChuquiagUILlo. El til no aflora en el extremo meridional de Huari Pampa; pero se deduce que las rocas debajo de esta superficie sea un til debido a que se han observado varios pedrones grandes en la superficie de los alrededores; pero no así entre el extremo de Huari Pampa y el borde norte del mapa. El til ocupa también la cresta de una estrecha colina que se extiende al norte del pico de Pampajsi entre los valles de Irpavi y ChuquiagUILlo.

GRAVAS FLUVIOGLACIALES - El miembro fluvioglacial del Drift Milluni tiene una superficie regular con ligera pendiente al sud y este. Esta superficie coincide con la superficie del Altiplano y en muchos lugares se halla cubierta por una delgada capa de suelo pedregoso. Esta unidad consiste de una interestratificación de limo, arena, grava y algo de arcilla. Su espesor varía de 0 a 80 metros. Las gravas fluvioglaciales afloran en el Altiplano, al oeste del valle Choqueyapu y en las partes superiores de la planicie entre los valles Choqueyapu y ChuquiagUILlo.

Las gravas fluvioglaciales están expuestas en el lado occidental del valle Choqueyapu desde El Alto hacia el sud hasta el valle de Achocalla y a lo largo del borde septentrional de éste último. Esta unidad se compone de una alternancia de estratos de grava, algo de arena y delgadas capas de limo. Las capas de grava son de color café claro a amarillentas y grises, pobremente clasificadas y con-

sisten de pedrones y guijos de cuarcita gris a café, arenisca gris, café y marrón y algo de granito gris a blanco en un matrix predominantemente limoso. Las capas arenosas presentan estratificación cruzada y su espesor varía de 1 a 10 metros. Localmente éstas contienen lentes de arcilla limosa gris y limo pardo amarillento cuyo espesor es hasta de 1 metro.

Los suelos formados en la planicie fluvio-glacial, al oeste del valle Choqueyapu, son generalmente limosos, pedregosos y su espesor varía de 5 a 15 cms. El suelo lleva una vegetación de paja brava, cactus, y otras plantas. En ciertos lugares se encuentran franjas de depósitos aluviales que descansan sobre el til y el suelo formado sobre éstos es hasta de 1 metro de espesor y tiene alto contenido orgánico, de color negro, y muy pedregoso.

La planicie de Huari Pampa es una amplia divisoria entre los valles Choqueyapu y ChuquiagUILlo y se encuentra hacia el norte del mapa. Esta superficie tiene una inclinación hacia el sudoeste con una gradiente y altura similar a la del Altiplano; se halla bordeada por paredes muy abruptas lo que le da una apariencia de mesa. Los depósitos que se encuentran debajo de esta superficie se hallan totalmente cubiertos, pero el detritus que hace de cubierta es parecido a los depósitos que se encuentran al oeste del valle Choqueyapu hacia el sud de El Alto. El suelo desarrollado sobre la superficie de Huari Pampa es similar a la del Altiplano. Tales características conducían a pensar que esta superficie era un remanente del Altiplano y del cual había sido separado por erosión regresiva del río Choqueyapu.

ORIGEN DEL DRIFT MILLUNI - El til del Drift Milluni es un depósito originado por un glaciar pedemontano que se extendía desde la Cordillera Real con dirección al sudoeste. En su etapa de máximo avance sus márgenes alcanzaron la altura de El Alto y se extendía en arco hacia Huari Pampa y luego al este desde el norte del pico de Pampajsi.

A medida que el glaciar se alejaba de la Cordillera Real fué acarreado gravas excepto cerca de los márgenes del til cerca de El Alto donde sobrepasó las gravas fluvio-glaciales por una corta distancia. Las gravas fluvio-glaciales fueron clasificadas por las aguas del deshielo y depositadas al frente del glaciar o donde éste empezó a consumirse, aquellas fueron acumuladas sobre el til. En la parte oriental del glaciar las aguas del deshielo pudieron haber drenado hacia el río La Paz de erosión regresiva. La mayor parte del agua

del deshielo ocurrido cerca de El Alto de Lima desembocaba hacia el sistema de drenaje del lago Titicaca. Poco después de que el glaciar llegó a su máxima extensión, el agua acumulada entre Pampajsi y El Alto de Lima comenzó la excavación de los valles Chuquiaguillo y Choqueyapu. Las gravas que se encuentran debajo de la zona de Munaypata pueden representar materiales de río depositados cuando las aguas del deshielo drenaron hacia el río La Paz. Posteriormente estos depósitos fueron removidos por la vigorosa erosión del río Choqueyapu. Durante y poco después de que las gravas habían sido depositadas en la zona de Munaypata, las corrientes superficiales sobre el til drenaron el agua remanente del glaciar que se encontraba ya en retroceso. El extremo oriental de uno de estos canales en la esquina noroccidental del mapa, fué parcialmente destruido por la captura del río Choqueyapu.

La vegetación ha sido siempre muy exigua en las amplias superficies del drift. Los procesos de formación de los suelos han sido muy lentos, excepto en áreas bien protegidas. Gran parte de los suelos es denudada por las violentas tormentas de corta duración que caracterizan el área. Por tales factores el espesor del suelo no es una indicación confiable sobre el lapso de tiempo transcurrido desde que esta superficie estaba cubierta por hielo. Sin embargo, se puede indicar que el frente occidental de la Cordillera Real no fué cubierto por posteriores glaciares pedemontanos, aunque algunos valles fueron cubiertos por glaciares de valle en una etapa posterior.

GRAVA PAMPAJSI

La Grava Pampajsi se encuentra debajo de una superficie aproximadamente 2.5 Kms. de largo por 0.5 Kms. de ancho, que tiene una ligera inclinación hacia el sud y localizada entre los valles Chuquiaguillo e Irpavi. Esta superficie fué descrita como una terraza de río (Troll y Finsterwalder, 1935, p.447; Ahlfeld, 1945, p.7). La Grava Pampajsi varía en espesor desde 0 hasta 20 metros o más y contiene principalmente clastos subredondeados a redondeados de cuarcita, pizarra, arenisca y granito. Localmente predomina el limo. La superficie de erosión sobre la cual descansan estos depósitos ha biselado la parte inferior de la Formación Puraपुरani y la parte superior de la Formación La Paz.

El perímetro de la planicie debajo de la cual se encuentra la Grava Pampajsi está limitado por paredes abruptas que caen casi verticalmente en un desnivel aproximado de 80 metros. La pen-

diente de esta superficie disminuye desde cerca de 200 metros por kilómetro en la parte norte hasta alrededor de 80 metros por kilómetro en la parte sud.

La Grava Pampajsi fué depositada por un río que pudo haberse originado en el agua de deshielo en el glaciar Milluni. Con referencia a edad, la Grava Pampajsi puede ser más o tan antigua como la grava que se encuentra debajo de la zona de Munaypata.

GRAVA IRPAVI

La Grava Irpavi se encuentra debajo de las terrazas remanentes en los flancos orientales y occidentales de la planicie de Pampajsi. Este nombre fué primeramente empleado por Troll y Finsterwalder (1935, p. 447) para designar la terraza que forma un arco irregular alrededor del lado occidental del valle de Irpavi a unos 5 Kms. al norte de la desembocadura del río Irpavi. En este informe se emplea el término en forma más amplia e incluye a la pequeña y poco definida terraza que se encuentra al lado occidental de la planicie de Pampajsi y que corresponde al drenaje del Chuquiaguillo. Este último depósito se incluye a la terraza de grava de Troll porque parece estar mejor relacionada en altura, topografía y composición a la terraza de Irpavi que a cualquier otro rasgo similar del valle Chuquiaguillo.

La Grava Irpavi es un cascajo que contiene más arena, limo y arcilla que la grava fluvio-glacial del Drift Milluni que se encuentra en la planicie de Pampajsi. Los clastos son subangulares a redondeados y consisten de cuarcita, pizarra, arenisca y granito. La grava tiene un espesor que varía hasta 30 metros.

La estratificación no está bien definida.

La Grava Irpavi fué depositada por ríos afluentes del río La Paz. La mayor parte de la grava en el lado nororiental de la planicie de Pampajsi fué aportada por un río de dirección noroeste. Sin embargo, el resto del material se originó en las cabeceras del valle Irpavi.

DRIFT CHOQUEYAPU

Se propone el nombre de Drift Choqueyapu para una serie de depósitos diferentes que se presentan en la parte superior de los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo. El nombre se ha tomado del río Choqueyapu donde tales depósitos están mejor desarrollados. Estos se han clasificado según su origen y cada miembro diferenciado

en el mapa geológico es designado con un nombre que denota algo del ambiente de deposición. Las unidades son las siguientes: 1) Un til que se representa como morrenas de valle en las partes superiores de los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo; 2) las gravas fluvio-glaciales que están expuestas a lo largo de estos ríos y más abajo de las morrenas; 3) un bloque de deslizamiento de terreno inactivo que forma una colina entre ambos ríos, más arriba de su confluencia; 4) y depósitos lacustres río arriba de la morrena terminal en el valle Choqueyapu. En este informe se refiere al til como el til del Drift Choqueyapu, pero las gravas fluvio-glaciales se designan Gravas Miraflores, según el término empleado por Troll (Troll y Finsterwalder, 1935, p. 447). El deslizamiento de terreno se refiere como el deslizamiento del cerro Laikakota. No se ha dado ningún nombre especial a los depósitos lacustres. Todos estos se incluyen bajo el nombre de Drift Choqueyapu principalmente porque su origen está estrechamente relacionado y son casi de la misma edad.

TIL - El til del Drift Choqueyapu que se presenta como una morrena de valle ha sido reconocido y estudiado hacen ya varias décadas (Hauthal, 1911, Troll y Finsterwalder, 1935). El lugar tipo para este depósito se encuentra en la parte superior del valle Choqueyapu, en el área de Patapatani, donde se presenta en la forma de una morrena terminal típica y cuya extensión es considerable. En el valle Chuquiaguillo también se ha depositado una morrena terminal pero su tamaño es menor que el del anterior. Existe alguna evidencia para pensar que la potente acumulación de til en los alrededores de Patapatani pueda representar depósitos dejados por dos diferentes avances de glaciares de valle y que éstos tenían sus frentes estáticos aproximadamente en el mismo lugar del valle Choqueyapu. Sin embargo, tales evidencias en favor de dos avances diferentes en el valle Chuquiaguillo están ausentes.

MORRENA TERMINAL EN EL VALLE CHOQUEYAPU - La morrena terminal en la parte superior del valle Choqueyapu es una mezcla no clasificada ni consolidada de clastos cuyo tamaño varía desde arcilla, limo, arena y grava hasta pedrones erráticos cuyo diámetro mayor tiene hasta 2 metros. Los fragmentos varían desde bien redondeados hasta muy angulares y consisten de granito blanco, arenisca, cuarcita, pizarra y lutitas. La mayor parte de los pedrones son de granito blanco y son más angulares que los fragmentos menores. La morrena puede tener un espesor máximo de 200 metros.

Los límites de la morrena están bien definidos y su topografía es muy irregular. Los rasgos más típicos de la morrena son las depresiones sin drenaje, lagos marmita, pequeños terraplenes de material no clasificado y algunos barrancos. El frente de la morrena es abrupto y se halla cortado por pequeños valles de gradiente pronunciada que forman los cursos de drenaje durante la estación lluviosa. La superficie del til varía en altura desde 3920 hasta 4275 metros sobre el nivel del mar. Hacia el este del río Choqueyapu la morrena se eleva hasta alcanzar un nivel promedio de 4050 a 4150 metros; mientras que hacia el oeste del río su nivel promedio es de 4225 a 4275 metros.

En determinados lugares se presenta un suelo gris, ácido, de pocos centímetros de espesor y su vegetación es escasa. Sin embargo, en lugares más protegidos, tales como en los alrededores de los lagos marmita el suelo es más oscuro, más grueso y su vegetación consistente de hierba es más densa; pero aún en tales sitios, los pedrones sobresalen de su superficie.

La topografía del valle Choqueyapu, arriba y abajo de la morrena, tiene diferencias de detalle muy significativas en la interpretación de la historia del valle. Aguas arriba de la morrena, el valle tiene la forma de U muy bien definida, cuyo ancho es aproximadamente de 1 Km. y un desnivel, con relación al borde del Altiplano, de 200 a 250 metros. Todos los tributarios del valle principal tienen también la forma de U y muchos de ellos son valles colgantes con un desnivel hasta de 50 metros sobre el piso del valle Choqueyapu. Aguas abajo del valle Choqueyapu tienen la forma de V, con un ancho de cerca de 3 Kms. y una profundidad, también desde el borde del Altiplano, de 400 metros.

Entre El Alto y la morrena terminal se proyectan algunas estribaciones con promontorios muy sobresalientes. Tres de estas estribaciones que se encuentran al oeste del valle, tienen un cierre topográfico hasta de 40 metros. Estos promontorios de las estribaciones se interpretan como remanentes del piso de un valle de un río originado en deshielo a un nivel mayor de la morrena terminal.

MORRENA TERMINAL EN EL VALLE CHUQUIAGUILLO - En la parte superior del valle ChuquiagUILLO el til del Drift Choqueyapu es una morrena terminal que pasa gradualmente a una morrena lateral hacia el lado noroccidental del valle. El río ha erosionado el fondo hasta una profundidad de 30 metros debajo de la base de la morrena terminal que se extendía de flanco a flanco del valle. La

base de la morrena se encuentra a 3920 metros y su techo a 4020 metros y tiene un espesor máximo de 40 metros. La superficie de esta morrena es bastante regular y se la reconoce como una morrena más por su composición que por sus caracteres topográficos.

La morrena terminal pasa hacia una morrena lateral en el flanco noroccidental del valle. Esta última tiene un ancho de cerca de 200 metros y se extiende más allá del límite este del mapa. Su topografía es algo irregular con relieve que varía hasta en 5 metros. No se han observado depósitos de til a mayores alturas y los promontorios en las estribaciones, tan característicos en la morrena terminal del valle Choqueyapu, son menos prominentes en el valle Chuquiaguillo.

La morrena del valle Chuquiaguillo consiste esencialmente de fragmentos de granito blanco, aunque también otras rocas como arenisca, cuarcita, pizarra y lutita están presentes. Los clastos son angulares a redondeados y varían hasta 1 metro en su diámetro mayor.

Arriba y debajo de las morrenas del valle Chuquiaguillo se han efectuado trabajos de explotación de aluviones auríferos durante los últimos cuatro o cinco siglos. En el curso de estas operaciones se ha profundizado el lecho del río exponiendo la base del til.

GRAVA MIRAFLORES - La Grava Miraflores es un sedimento fluvioglacial depositado debajo de las morrenas terminales de los valles Chuquiaguillo y Choqueyapu. Esta unidad infrayace a una extensa terraza entre ambos valles y está constituida esencialmente de clastos de granito blanco. Precisamente gran parte de la ciudad de La Paz se halla construida sobre esta terraza. Tiene una inclinación moderada hacia los ríos principales y su gradiente es menor a la de los ríos actuales. Cerca de las morrenas el lecho de los ríos actuales se encuentra de 30 a 60 metros debajo de la superficie de la terraza, pero este desnivel aumenta hasta 100 metros debajo de la angostura de Aranjuez.

Los flancos de los ríos son abruptos y bien definidos, mientras que los bordes adyacentes a los valles son más difíciles de ubicarlos debido a que se hallan ocultos por conos aluviales y torrentes de barro o están cortados por deslizamientos de terreno.

Hacia el este del río Chuquiaguillo y a una altura de cerca de 4020 metros se encuentran dos remanentes de terrazas a las cuales infrayacen unas gravas no diferenciables de las de Miraflores. En el lado occidental del río, sobre la morrena y extendiéndose a lo largo

de los flancos de un tributario se encuentra otra terraza cuya superficie varía en altura desde 3980 hasta 4080 metros. Debido a la similaridad en composición del material que se encuentra debajo de esta superficie inclinada se la incluye en la Grava Miraflores. En el valle Choqueyapu y sobre la parte inferior de la morrena terminal se encuentra una cuña de Grava Miraflores. Más abajo de la angostura de Aranjuez no se ha reconocido la Grava Miraflores.

La Grava Miraflores está constituida por una sola capa bien expuesta cerca de 2 Kms. río arriba de la confluencia de los ríos Choqueyapu y Chuquiaguillo. Aguas abajo de este punto la unidad puede dividirse en tres partes, cuya porción inferior consiste de grava; la parte media de una arcilla arenosa a limosa, y la porción superior nuevamente de grava. Tanto la parte inferior como superior son gravas fluvio-glaciales mientras que el intermedio consiste de material retrabajado proveniente del deslizamiento del cerro Laikakota.

DESLIZAMIENTOS DE TERRENO EN LAIKAKOTA - El cerro Laikakota se encuentra aproximadamente en el centro del mapa geológico y se trata de un bloque de deslizamiento de terreno que descansa sobre los estratos de la Formación La Paz. Esta colina de dirección norte-sud está ubicada a unos 2 Kms. aguas arriba de la confluencia de los ríos Choqueyapu y Chuquiaguillo. Tiene una longitud de aproximadamente 600 metros, un ancho de 150 metros, se eleva unos 40 metros sobre el nivel promedio de Miraflores y sus paredes son muy abruptas. En el lado occidental de la colina el socavamiento del río Choqueyapu produce un continuo desprendimiento del material del bloque. Hacia el este, el bloque está en contacto con la Grava Miraflores, mientras que hacia el norte el bloque descansa sobre sedimentos de la Formación La Paz.

El bloque consiste de grandes masas de Cinerita Chijini y til Calvario. Asociados a estas unidades identificables se encuentran inclusiones no reconocidas de limo, arena y grava. La relación en detalle que existe entre el bloque de deslizamiento del cerro Laikakota y los materiales adyacentes no está definida, aunque las características mayores resaltan a la vista.

DEPOSITOS LACUSTRES - Los depósitos lacustres del Drift Choqueyapu ocupan un área irregular situada a un kilómetro aguas arriba de la morrena terminal en el valle Choqueyapu. Estos depósitos infrayacen a una planicie lacustre de 1 Km. de largo por 700 metros de ancho. El espesor máximo de tales depósitos es de

alrededor de 10 metros.

En la porción meridional los depósitos lacustres consisten de limo, arcilla, arena, grava y algo de turba bien estratificados. En la parte septentrional, donde la superficie de la planicie lacustre se eleva suavemente, los depósitos forman un delta. Bordeando la parte sud de la planicie se encuentran algunas terrazas angostas y poco definidas que en el mapa se han incluido con el til Choqueyapu porque en gran parte se encuentran encima del til o de depósitos lacustres muy delgados.

La planicie lacustre es un rasgo topográfico muy característico. El contacto entre los depósitos lacustres y el til está definido por un cambio en pendiente en vez de una diferencia entre sus materiales constitutivos.

Cerca del centro de la planicie el río Choqueyapu ha cortado los depósitos lacustres hasta una profundidad de 10 metros. No está expuesta toda la sección pero probablemente su espesor no es mayor de 15 metros.

Debajo de toda la extensión de la planicie lacustre se encuentra un limo gris bien estratificado en láminas cuyo espesor varía de 1 a 4 metros. Debajo de éstas se encuentra una estratificación alternada de capas de arena, limo, arcilla y grava cuyo espesor varía de 5 a 20 cms. Localmente también se presentan capas de 2 a 5 cms. de turba limosa o arenosa. Las capas de limo y arcilla son de color gris, y su estratificación es muy delgada y se parte fácilmente en dirección horizontal. Las capas de arena y grava están compuestas de fragmentos bien redondeados de arenisca roja, granito blanco, pizarra y cuarcita negra; localmente tienen un matrix carbonoso. En general estos depósitos tienen una granulometría más gruesa aguas arriba y más fina aguas abajo. Un análisis de radiocarbono realizado en una muestra con el máximo contenido de material carbonoso dió una edad de 9200 - más o menos 200- años para estos depósitos. Esta determinación se efectuó en la oficina del Servicio Geológico de los EE.UU. en Washington.

RELACIONES ENTRE LOS MIEMBROS DEL DRIFT CHOQUEYAPU - El til del Drift Choqueyapu ha sido depositado por un glaciar de valle cuyo frente permaneció estacionario el tiempo suficiente para dar lugar a una acumulación de unos 200 metros de escombros no clasificada. Este gran espesor del til puede representar los depósitos dejados por dos glaciares diferentes lo cual estaría evidenciado por los dos niveles que se encuentran sobre la superficie de la morrena terminal en el valle Choqueyapu como

también por los promontorios que se hallan sobre las estribaciones del mismo valle. El primer glaciar habría depositado el til que infrayace al nivel superior de la morrena terminal, mientras que los promontorios serían remanentes del piso del valle sobre el cual se han acumulado los depósitos fluvioglaciales del primer glaciar. La erosión subsecuente habría eliminado estos depósitos y ahondado el piso del valle hasta alcanzar el nivel de la Grava Miraflores.

La Grava Miraflores representaría depósitos fluvioglaciales del segundo glaciar de valle. Este habría depositado también el til que infrayace el nivel inferior de la morrena terminal. Debido a que la Grava Miraflores se encuentra encima de una parte del til en el valle Choqueyapu se puede inferir que ha sido depositada durante las últimas etapas de la desaparición del hielo.

Aproximadamente en la mitad del tiempo en que fué depositada la Grava Miraflores se desprendió el bloque de deslizamiento de Laikakota y se colocó cerca de la confluencia de los ríos Choqueyapu y Chuquiaguillo. Gran parte de este material fué retrabajado por los ríos dando lugar a una división en tres partes de la Grava Miraflores.

Posterior al retroceso del segundo glaciar se formó un lago en la depresión detrás de la morrena terminal. Los sedimentos lacustres acumulados en este lago pueden ser aproximadamente de la misma edad que la parte superior de la Grava Miraflores ya que ambos yacen sobre un til. Si esta conclusión es correcta entonces la determinación de edad en 9200 -más o menos 250- años puede considerarse como el tiempo que han tomado los ríos para socavar sus cauces en una profundidad de unos 100 metros debajo del nivel de la superficie de la Grava Miraflores.

DEPOSITOS RECIENTES

Algunos de los depósitos descritos anteriormente son de edad esencialmente pleistocena, aunque la acumulación de otros, tales como los depósitos lacustres y la Grava Miraflores, pueden haber continuado hasta tiempos postglaciales. De acuerdo a las determinaciones del radiocarbono se puede considerar que la edad reciente se ha iniciado hace 9000-8000 años atrás. Bajo este capítulo se describirán los deslizamientos de terreno, torrentes de barro, sedimentos lacustres, coluvio, abanicos aluviales, terrazas recientes y depósitos de llanura aluvial. Todos estos depósitos formados después del último retroceso del glaciar de valle que ocupaba los valles Choqueyapu y Chuquiaguillo.

Durante la época histórica, es decir, posterior a la fundación de La Paz, pudieron haberse producido torrentes de barro y deslizamientos de terreno de tal magnitud que su ocurrencia ya se menciona en la literatura histórica del área. Sanjinés (1948, p. 30-31) hace referencia a la completa desaparición de la localidad de Hanko-Hanko ubicada entre Llojeta y el Kenko.

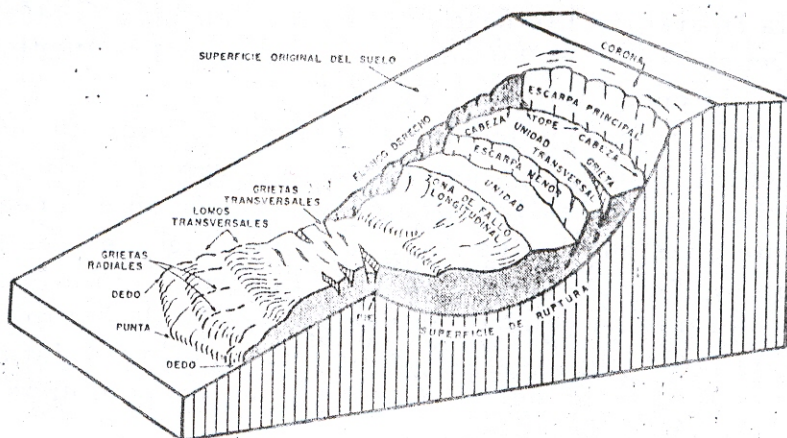
Otras catástrofes que pueden mencionarse son: un movimiento de tierra en el Illimani que ha dejado una gran cicatriz observable desde la ciudad, un deslizamiento de terreno en el área de Santa Bárbara que ocasionó la desaparición de un lago, el deslizamiento de terreno de Tembladerani en 1837 destruyó completamente la comunidad del mismo nombre en esa área. Uno de los movimientos más recientes del deslizamiento de Tembladerani data de 1945, durante el cual el lecho del río Choqueyapu ascendió unos 8 metros en pocos días (Ahlfeld, 1945, p. 8).

La ocurrencia de torrentes de barro, reactivación de viejos deslizamientos y formación de otros nuevos, bloqueo temporal de los ríos y otras formas de erosión son procesos activos que pueden continuar en el futuro.

DESLIZAMIENTOS DE TERRENO

Bajo este capítulo pueden incluirse todos los bloques desprendidos de los sedimentos terciarios o cuaternarios que forman las paredes de los valles. Aunque el tipo de movimiento en el desprendimiento de tales bloques ha sido esencialmente de deslizamiento y asentamiento, existen también varios depósitos que han resultado de la combinación de deslizamientos de terreno y torrentes de barro. Los movimientos ocurren a lo largo de uno o más planos de deslizamiento, diferenciándose así de los movimientos por fallas que generalmente son fracturas profundas. (Para la nomenclatura sobre deslizamientos de terreno empleada en este informe referirse a la Fig. 5). Ninguno de los deslizamientos de terreno observados en el área se ha movido como un solo bloque sin fracturas. Por el contrario, cada uno posee varios planos de deslizamiento y el movimiento es de tipo diferencial a lo largo de tales planos. El fracturamiento es más intenso en las partes inferiores de los deslizamientos que en sus partes superiores.

Los deslizamientos de terreno son esencialmente activos durante las estaciones lluviosas, es decir, de noviembre a abril. Su intensidad aumenta considerablemente durante el final de la época de



MAIN SCARP- A steep surface on the undisturbed ground along the periphery of the slide, caused by movement of slide material away from the undisturbed ground. The projection of the scarp surface under the disturbed material becomes the surface of rupture.

MINOR SCARP- A steep surface on the disturbed material produced by differential movements within the sliding mass.

HEAD- The upper parts of the slide material along the contact between the disturbed material and the main scarp.

TOP- The highest point of contact between the disturbed material and the main scarp.

FOOT- The line of intersection (sometimes buried) between the lower part of the surface of rupture and the original ground surface.

TOE- The margin of disturbed material most distant from the main scarp.

TIP- The point on the toe most distant from the top of the slide.

FLANK- The side of the landslide.

CROWN- The undisturbed material adjacent to the highest parts of the main scarp.

ORIGINAL GROUND SURFACE- The slope that existed before the movement which is being considered took place. If this is the surface of an older landslide, that fact should be stated.

LEFT AND RIGHT- Compass directions are preferable in describing a slide, but if right and left are used they refer to the slide as viewed from the crown.

LANDSLIDE DEFINITION- The term landslide denotes downward and outward movement of slope forming materials composed of natural rock, soils, artificial fills, or combinations thereof.

Landslides move along surfaces of separation by falling, sliding and by flowing. Parts of a landslide may move upward while other parts move downward. The lower limit of the rate of movement of landslide material is restricted in this book by the economic aspect to that rate of movement which provokes correction or maintenance.

ESCARPA PRINCIPAL- Una superficie empinada en el suelo impertrubado, a lo largo de la periferia del deslizamiento, originada por el movimiento del material de deslizamiento al alejarse del suelo impertrubado. La proyección de la escarpa principal por debajo del material perturbado resulta la superficie de ruptura.

ESCARPA MENOR- Una superficie empinada sobre el material perturbado producida por movimientos diferenciales dentro de la masa de deslizamiento.

CABEZA- Las partes superiores del material de deslizamiento, a lo largo del contacto entre el material perturbado y la escarpa principal.

TOPE- El punto de contacto más elevado entre el material perturbado y la escarpa principal.

PIE- La línea de intersección (algunas veces oculta) entre la parte inferior de la superficie de ruptura y la superficie del suelo original.

DEDO- El borde del material perturbado más alejado de la escarpa principal.

PUNTA- El punto del dedo más alejado a partir del tope del deslizamiento.

FLANCO- El lado del deslizamiento de terreno.

CORONA- El material impertrubado adyacente a las partes más elevadas de la escarpa principal.

SUPERFICIE ORIGINAL DEL SUELO- El talud que existió antes de que tuviera lugar el movimiento que está considerándose. Si ésta es la superficie de un deslizamiento de terreno antiguo, este fenómeno deberá mencionarse.

IZQUIERDA Y DERECHA- Para describir un deslizamiento es preferible emplear las direcciones de la brújula; pero si se usa derecha e izquierda, éstas se refieren al deslizamiento visto desde la corona.

DEFINICION DE DESLIZAMIENTO DE TERRENO- El término deslizamiento de terreno denota movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que forman el talud compuesto de roca natural, suelos, rellenos artificiales o combinaciones de los mismos.

Los deslizamientos de terreno se mueven a lo largo de superficies de separación por fallas, deslizamiento y fluidez. Partes de un deslizamiento de terreno pueden moverse hacia arriba mientras que otras se mueven hacia abajo. En este libro, el límite inferior de la velocidad de movimiento del deslizamiento de terreno está restringido, por razones económicas, a la velocidad de movimiento que puede provocar problemas de corrección o mantenimiento.

FIG. 5- DIAGRAM AND NOMENCLATURE OF THE PARTS OF A LANDSLIDE
(FROM LANDSLIDES AND ENGINEERING PRACTICE, HIGHWAY RESEARCH BOARD,
SPECIAL REPORT 29, PLATE 1-1)

FIG. 5- DIAGRAMA Y NOMENCLATURA DE LAS PARTES DE UN DESLIZAMIENTO DE TERRENO

lluvias. Se presentan a lo largo de las paredes de los valles principales debajo de las morrenas terminales del Drift Choqueyapu. En general, los deslizamientos de terreno son más extensos y mayores en las partes inferiores de los valles donde el relieve entre el fondo de los ríos y el Altiplano es mayor.

Algunos deslizamientos de terreno están aparentemente relacionados con ciertas unidades estratigráficas. Muchos de aquellos que ocurren en las partes inferiores de los valles son pequeños y resultan del socavamiento en los flancos de los ríos. Los deslizamientos que se presentan en los lados superiores de los valles son mayores y resultan por la diferencia en estabilidad de las unidades estratigráficas y la concentración de aguas subterráneas. En este informe, los deslizamientos de terreno se han agrupado como sigue: 1) Aquellos que se presentan en las partes inferiores de los valles donde las escarpas principales han sido falladas en la Grava Miraflores; 2) aquellos que se inician en las partes superiores de los valles y cuyas escarpas han sido cortadas en el Altiplano exponiendo la Cinerita Chijini; 3) aquellos que se presentan en la mitad de las laderas que descienden a los valles.

DESLIZAMIENTOS DE TERRENO QUE CORREN A LO LARGO DE LOS RÍOS CON ESCARPAS EN LA GRAVA MIRAFLORES - Existen muchos deslizamientos que pueden incluirse bajo este tipo pero no se los discutirá individualmente. Estos están localizados adyacentes a los ríos principales y resultan por el socavamiento de los bordes de los ríos. Generalmente son alargados y sus escarpas son paralelas al curso de los ríos. Localmente el drenaje de alcantarillado no canalizado y otras fuentes de aguas superficiales contribuyen a la inestabilidad de las gravas. En el valle de Chuquiaquillo el socavamiento de los bordes de los ríos han sido acentuados por el trabajo de los aluviones auríferos.

DESLIZAMIENTOS DE TERRENO QUE SE INICIAN EN LAS PARTES SUPERIORES DE LOS VALLES Y CUYAS ESCARPAS CORTAN EL ALTIPLANO - Los deslizamientos de este tipo se presentan en el lado oeste del río Choqueyapu, al este de la planicie de Pampajsi y en el valle de Achocalla. Las escarpas de estos deslizamientos que llegan hasta el Altiplano, forman recortes semicirculares. En la mayoría de tales escarpas se expone la Cinerita Chijini. Existen vertientes y manantiales que son muy comunes encima de la cinerita y tales aguas se infiltran en las cabezas de los deslizamientos. Los deslizamientos más grandes que

se discutirán en este informe son los de Tembladerani y Sopocachi. Aunque en su dedo estos deslizamientos se confunden, se los describirá individualmente.

El deslizamiento de terreno de Tembladerani se extiende desde cerca del borde del Altiplano al sud del Alto de Sopocachi hasta el río Choqueyapu. Tiene una longitud máxima de 3.5 Kms. y su ancho varía desde 0.5 Kms. hasta cerca de 2 Kms. Su escarpa principal tiene un delineamiento semicircular y en sus paredes abruptas se expone la parte superior de las gravas fluvioglaciales del Drift Milluni. La cabeza del deslizamiento está a unos 80 metros debajo de la superficie del Altiplano. La superficie de ruptura está oculta por una delgada capa de derrubio originada en la escarpa principal. Existen otras pequeñas escarpas menores orientadas aproximadamente paralelas a la escarpa principal. Las escarpas menores están cortadas casi perpendicularmente por arroyos de paredes abruptas o por zanjas de irrigación que producen un reticulado muy crudo de bloques separados. La superficie de tales bloques está cultivada pero no se han construido edificios en estos bloques. En el dedo del deslizamiento el material se halla intensamente removido y sólo pueden reconocerse pedrones aislados de la Cinerita Chijini. El río Choqueyapu se halla canalizado cuya pared occidental tiene sus fundaciones en el dedo del deslizamiento.

Durante cada estación lluviosa el deslizamiento de terreno de Tembladerani se halla activo en algún grado. En 1945, cuando se registró una estación lluviosa de gran precipitación, el dedo del deslizamiento se movió adelante y hacia arriba formando una presa que tapó el curso del río por un corto período (Ahlfeld, 1945, p. 8). Se había formado un canal al oeste del dedo del deslizamiento. Cuando cesó el movimiento la base del canal abandonado había subido unos ocho metros con relación a su altura cuando empezó el movimiento.

El deslizamiento de terreno de Sopocachi es de 0.5 a 1.0 Km. de ancho y cerca de 2.5 Kms. de largo. La masa de este material inestable consiste de varios derrumbes que se sobreponen unos a otros. La escarpa principal está cortada por arroyos profundos que nacen en las gravas fluvioglaciales del Drift Milluni. A lo largo de la escarpa y las paredes de los arroyos están expuestas la Formación Purapurani, Cinerita Chijini y la Formación La Paz. Pequeñas vertientes y manantiales emergen de la parte superior de la Formación La Paz. La cabeza del deslizamiento se encuentra de 140 a 160 metros debajo de la superficie del Altiplano.

Entre la cancha del "Club The Strongest" y el Montículo el des-

lizamiento de terreno se halla oculto por construcciones residenciales y calles pero el movimiento y la inestabilidad estructural del material infrayacente es notoria. El Montículo es un conjunto de bloques de deslizamiento de terreno en cuyos lados oriental y meridional se han practicado algunos cortes para la construcción de un camino y es en tales cortes donde se pueden reconocer algunas unidades estratigráficas. Los bloques se hallan completamente removidos y mezclados con materiales originados en torrentes de barro. En su porción sudoriental el deslizamiento de terreno de Sopocachi es contiguo al deslizamiento de Tembladerani.

Durante las estaciones lluviosas grandes porciones del deslizamiento de Sopocachi son activas. Los puntos donde se registran los mayores movimientos son cerca de su cabeza, a lo largo de su margen meridional, la parte sud del Montículo y a lo largo de su margen oriental. Las partes norte y central parecen ser más estables probablemente debido a que las construcciones residenciales han contribuido a un desagüe más rápido eliminando las infiltraciones de agua. Las vertientes que emergen de las paredes de la cabeza ceden la mayor cantidad de agua y el peso que esta ejerce es posiblemente el factor más crítico causante del desplazamiento.

La mayoría de los deslizamientos que se inician en las paredes de los valles y cuyas escarpas principales cortan el Altiplano tienen dos características en común: 1) sus escarpas principales forman anfiteatros en forma de circos, y 2) su presencia está relacionada a la textura de las unidades estratigráficas. Los anfiteatros en forma de circo formados en la pared occidental del valle Choqueyapu fueron descritos en detalle por Troll y Finsterwalder (1935, p. 447). Ellos puntualizan que la Formación La Paz está compuesta por materiales de grano más fino con relación a la de los depósitos que se superponen a ésta, que las cabezas de los deslizamientos están en o cerca de la Formación La Paz y que a medida que aumenta el espesor de los depósitos superiores a la Formación La Paz en dirección al Alto de Sopocachi, las cabezas de los deslizamientos se hallan más alejados del borde del Altiplano. No se refuta la tesis de Troll en el sentido de que los anfiteatros son el resultado de deslizamientos y no de circos glaciales, aunque algunos campos de nieve pudieron haber ocupado los anfiteatros, la acción del hielo no los modeló.

Sin embargo, la diferencia en el tamaño de los granos de la Formación La Paz con relación a la de los otros depósitos no es el único factor que ha contribuido a los deslizamientos. También tienen gran influencia las vertientes perennes o intermitentes que

se originan en la base de los sedimentos gruesos que descansan sobre la Formación La Paz, algunas de estas vertientes proveen de tal cantidad de agua que se las emplea constantemente como agua potable en el barrio de Chijini. Aparte del socavamiento de las paredes de los valles, el agua también aumenta peso a los materiales poco coherentes y lubrica la masa que ha empezado a moverse hacia abajo.

DESLIZAMIENTOS DE TERRENO EN LA MITAD DE LAS LADERAS DE LOS VALLES - Se han producido muchos deslizamientos en las paredes de los valles que son intermedios entre aquellos que cortan la Grava Miraflores y aquellos que cortan el Altiplano. Tales deslizamientos no están relacionados claramente a ninguna unidad estratigráfica. En este informe se discutirán tres deslizamientos de terreno principales, que son: el deslizamiento al norte de Purapura en el lado este del río Choqueyapu; el deslizamiento al este de la planicie de Pampajsi; y el deslizamiento cubierto entre Chijini y Purapura. El complejo de deslizamiento del Parque Central, Santa Bárbara y Villa Pabón, que se extiende desde el sud del cerro Killi-Killi hasta el río Choqueyapu se ha levantado en detalla a una escala mayor y se describirá separadamente en un capítulo posterior.

El deslizamiento de terreno al norte de Purapura, en el lado oeste del río Choqueyapu, es aproximadamente 2.5 Kms. de largo, paralelo al valle; y alrededor de 1 Km. de ancho. Está compuesto de varias partes diferentes. Su parte sud ocupa una colina, no posee cabeza ni escarpa y está separada de la porción norte por un abanico aluvial que parece descansar sobre material de deslizamiento.

En la parte central la cabeza del deslizamiento está de 260 a 280 metros debajo del Altiplano. La escarpa principal no se extiende hasta el Altiplano. En la escarpa principal emerge una vertiente permanente de la Formación La Paz. Su dedo se extiende hasta la superficie de la Grava Miraflores.

En la parte septentrional, la cabeza del deslizamiento se encuentra a 260 metros debajo del Altiplano. Lo que queda de la escarpa principal son remanentes de su destrucción por una corriente intermitente originada en la ladera debajo del Altiplano y que corre sobre el deslizamiento al río Choqueyapu.

A lo largo de las paredes del valle y encima del deslizamiento, están expuestos el til del Drift Calvario y las gravas Purapurani. El dedo del deslizamiento se extiende hasta el río.

El deslizamiento de terreno al este de la planicie Pampajsi es alrededor de 2 Kms. de largo, paralelamente al río Irpavi, y cerca de 1 Km. de ancho. En la escarpa principal de éste se exponen las

Gravas Irpavi. En el cuerpo principal del deslizamiento se pueden reconocer bloques de la Formación La Paz, aunque ésta no aflora en la escarpa principal. El dedo se extiende hasta el río Irpavi.

Otro deslizamiento de terreno puede encontrarse infrayaciendo la reentrante entre Chijini y Purapura (Troll y Finsterwalder, 1935, p. 447). Actualmente esta superficie se encuentra cubierta por abanicos aluviales confluentes. El abanico aluvial que divide el deslizamiento, cerca de Purapura, ilustra el comienzo del recubrimiento de los deslizamientos a medida que éstos alcanzan cierta estabilidad cuando el valle se ensancha y las pendientes se hacen más suaves.

TORRENTES DE BARRO

La mayor parte de los movimientos de tierra son una combinación de la acción de deslizamientos de terreno y torrentes de barro y en muchos lugares la línea divisoria es necesariamente arbitraria. Se han incluido bajo deslizamientos aquellas áreas donde están presentes escarpas y donde el material desplazado en bloques puede ser identificado como parte de una unidad estratigráfica, aunque tales áreas incluyen invariablemente algo de material que se ha movido por flujo. Mientras tanto que aquellas áreas donde están ausentes las escarpas y su masa está constituida por pocos bloques de materiales correspondientes a unidades estratigráficas identificables, se incluyen como torrentes de barro.

Los torrentes de barro son una mezcla heterogénea de arcilla, limo, arena y grava depositada por corrientes saturadas de escombros. En los torrentes de barro pueden estar presentes fragmentos de algunos o todos los materiales que se encuentran "in situ" pendiente arriba de la ladera del valle.

Localmente el material está clasificado aunque no es raro encontrar un matrix de limo arenoso o arcilloso en el cual están distribuidos irregularmente clastos conspicuos de otras rocas. Cuando el material está seco se mantiene en paredes bastante abruptas; al humedecerse se disgrega fácilmente y cuando está saturado puede fluir si se encuentra sobre una superficie inclinada.

Los torrentes de barro están localizados en pendientes inclinadas y generalmente concuerdan con los valles actuales. La apariencia global de la superficie representada en un mapa de escala 1:15.000 con líneas de nivel cada 10 metros, es suave y regular, pero en su aspecto más detallado la superficie está cortada por quebradas de paredes abruptas, por fracturas de desecación profundas o huecos verticales llamados tubos, y pueden encerrar pequeñas depresiones sin desagüe.

En el mapa geológico (Lam.1) se muestran cuatro torrentes de barro presentes en los valles de Achocalla y La Paz. El más extenso de éstos es el torrente de Achocalla y el valle de La Paz, al sud de la angostura de Aranjuez. Los otros están ubicados al oeste de la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu al este del río Chiquiguillo, aproximadamente a 1 Km. aguas arriba de su confluencia con el río Choqueyapu, y a lo largo de los tributarios occidentales del río Choqueyapu, al norte de Purapura. La parte superior del torrente de barro al oeste de la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu, está cubierta por sedimentos lacustres más recientes.

TORRENTE DE BARRO DE ACHOCALLA - Sin duda el torrente de barro más extenso y espectacular del área es el originado en el valle de Achocalla y que se extiende hasta el valle de La Paz, más abajo de la angostura de Aranjuez, en una distancia de por lo menos 18 Kms. (Lam. 2).

Este torrente bloqueó el curso del río La Paz y el lago originado por la acumulación del agua se lo denomina lago Calacoto. El lago Calacoto tenía una profundidad máxima de 150 metros y los sedimentos depositados en este lago se describen en el capítulo de depósitos lacustres.

A lo largo del valle de Achocalla pueden observarse escombros de los torrentes de barro. Los ríos han lavado en gran parte estos materiales y localmente pueden observarse las rocas que infrayacen a tales depósitos. En las cabeceras de las corrientes los torrentes y deslizamientos de terreno son considerablemente extensos, particularmente en los anfiteatros. Estos se hacen muy activos durante las épocas lluviosas. Se tiene evidencia de la destrucción completa de la línea del ferrocarril, abandonada en 1928, que entraba al valle de Achocalla por el oeste de Kenko, cruzaba la serranía de Aranjuez a través de un túnel y descendía a la ciudad por la parte superior de Sopocachi.

Al sud del río Mallasa y hacia el oeste, hasta un punto debajo del borde del Altiplano, la mayor parte del valle de Achocalla está cubierta por escombros provenientes del torrente de barro. Más o menos a 5 Kms. al sudeste de la comunidad de Achocalla se encuentra una franja de terreno de 1.5 Kms. de longitud con topografía típica de torrentes de barro, su superficie es irregular y sobre ella se encuentran algunos lagos sin drenaje, pilares bajos y bloques de la Cinerita Chijini desplazados hasta tres metros como sombreros en los pilares. En otros lugares, los bloques de cinerita están distribuidos irregularmente en todos los detritus del torrente de barro.

En el valle de La Paz, aproximadamente a 2 Kms. aguas abajo de Mecapaca, se encuentran cerros aislados del torrente de Achocalla cuyas elevaciones alcanzan hasta 40 metros. Entre este punto y otros 5 kilómetros más abajo existen pequeños remanentes de torrente que no han sido eliminados por la erosión ya que se encuentran en tributarios más o menos protegidos. La elevación máxima de tales remanentes es de 75 metros sobre el nivel del río. Más abajo de estos residuos no se han observado evidencias del torrente de barro de Achocalla.

No se conoce una sola sección donde esté expuesta la potencia total del torrente de barro de Achocalla. Al sud de Lipari, cerca de la confluencia de los ríos de Mallasa y La Paz, el torrente tiene un espesor aproximado de 100 metros, posee un color canela y localmente está estratificado. En la base del torrente, donde se superponen a las lutitas del Devónico Inferior, se encuentra una grava estratificada que contiene fragmentos de granito, cuyo diámetro alcanza hasta 10 cms. Localmente se observan lentes de arena y grava cerca del centro del torrente. La parte superior está compuesta esencialmente de limo y arena muy fina. Bloques y fragmentos de la Cinerita Chijini están distribuidos muy irregularmente a lo largo de todo el torrente, aunque son más comunes en su superficie.

El hecho de que el torrente de barro de Achocalla representa un solo movimiento de tierra superficial está evidenciado por la continuidad de los escombros del torrente, la superficie regular que desciende con una gradiente uniforme y por la presencia de estratos lacustres arriba de la angostura La Paz. El fenómeno ocurrió un tiempo después de la deposición del torrente de barro al oeste de la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu ya que los sedimentos lacustres del lago Calacoto descansan sobre parte de su superficie. El torrente al oeste de la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu descansa sobre la Grava Miraflores, la que por correlación con los sedimentos lacustres del Drift Choqueyapu tiene una edad de 9000 años (determinación por radio carbono). Por tanto la edad máxima del torrente de barro de Achocalla es menor de 9000 años.

TORRENTE DE BARRO AL OESTE DE LA CONFLUENCIA DE LOS RÍOS IRPAVI Y CHOQUEYAPU - El torrente de barro al oeste de la confluencia de los ríos Irpavi y Choqueyapu se halla dividido en dos partes por una encañada. En la porción sud el torrente tiene una longitud de 700 metros y un ancho de 300 metros. Su parte inferior descansa sobre la Grava Miraflores. Los estratos depositados en el

lago Calacoto yacen sobre el torrente de barro. En la parte superior de la pendiente al oeste del torrente afloran rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior. El torrente tiene un espesor máximo de 40 metros y se halla compuesto principalmente de limo gris, arena y arcilla aunque también están presentes algunos clastos de arenisca. El torrente al norte de la encañada es algo circular y tiene unos 150 metros de diámetro, descansa sobre la Grava Miraflores y su parte superior está cubierta por coluvio.

El torrente es estable donde se halla superpuesta por arcillas lacustres. La composición del material indica que la mayor parte de éste provino de la parte inferior de la Formación La Paz y otra parte de las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior. El origen se encontraba probablemente en la pendiente al noroeste del torrente.

TORRENTE DE BARRO AL ESTE DEL RIO CHUQUIAGUILLO- Este torrente se encuentra más o menos a 1 Km. aguas arriba de la confluencia con el río Choqueyapu y por su forma triangular se asemeja a un cono aluvial. Tiene una longitud aproximada de 1.3 Kms. y se extiende alrededor de 800 metros desde su margen occidental hasta el vértice, donde el torrente está sobrepuesto parcialmente por gravas. Un deslizamiento de terreno que estaba activo durante las dos últimas décadas ha tallado una escarpa circular en su margen oriental. En esta escarpa el torrente tiene un espesor de 15 metros y adelgaza hasta menos de 1 metro tanto hacia el norte como al sud.

Porciones de este torrente se hallan activas durante las épocas lluviosas lo que no permitió un desarrollo industrial ni urbano en el área.

TORRENTES A LO LARGO DE LOS TRIBUTARIOS OCCIDENTALES DEL CHOQUEYAPU AL NORTE DE PURAPURA - Se pueden observar varios torrentes de barro a lo largo de los tributarios occidentales del río Choqueyapu al norte de Purapura. Están compuestos de material proveniente de las paredes y cabeceras de los valles. Debido a que se encuentran grandes fragmentos de rocas derivadas del Drift Calvario se asemejan a un til. El torrente más grande de éstos tiene una longitud de alrededor de 500 metros y de 10 a 100 metros de ancho.

DEPOSITOS LACUSTRES

Se pueden observar depósitos lacustres de edad reciente en los alrededores de la angostura de Aranjuez. Todos estos depósitos fueron acumulados en el lago Calacoto. Tales depósitos pueden subdividirse según el lugar de deposición en sedimentos de playa, de fondo y deltaicos. Los depósitos de playa afloran a unos 800 metros al oeste de la confluencia de los ríos Choqueyapu e Irpavi. Los depósitos de fondo están expuestos a unos 700 metros al norte de la misma confluencia, en la Florida y a lo largo de las paredes de la angostura de Aranjuez. Los depósitos deltaicos afloran en la parte inferior de la quebrada de Alpacoma (Lámina 2).

Estos depósitos lacustres contienen arcilla roja o parda, limo, arena y grava bien estratificada. La porción de grava y arena incluye areniscas rojas provenientes de rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior, cuarcitas, granito, areniscas y pizarras retrabajadas de los depósitos pleistocenos. Muchos estratos presentan uniformidad en el tamaño de los granos. Otros constan de fragmentos gruesos bien redondeados contenidos en un matrix de limo y arcilla. El espesor máximo de tales depósitos es de 45 metros. Los estratos individuales varían de 1 a 10 cms. de espesor.

La parte inferior de los depósitos de playa, al oeste de la confluencia de los ríos Choqueyapu e Irpavi, descansan sobre escombros de torrentes de barro; mientras que la parte superior descansa sobre rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior. Están constituidos por una alternancia de capas de 2-10 cms. de limo rojo a grisáceo con capas del mismo grosor compuestas de clastos angulares de areniscas rojas en un matrix de limo y arena roja grisácea.

El afloramiento en la Florida se compone de limo gris laminado y limo arcilloso. Entre las láminas se encuentra material muy negro, posiblemente carbonoso. En toda la sección se encuentran clastos bien redondeados de cuarcita, arenisca, granito irregularmente distribuidos. El espesor máximo es de 20 metros.

Los depósitos lacustres al norte de la confluencia de los ríos Choqueyapu e Irpavi están parcialmente cubiertos por rellenos modernos, torrentes de barro y deslizamientos de terreno. Sin embargo se infiere que su espesor máximo sea de 15 metros. Su composición, estructura y textura es similar a los depósitos de la Florida.

Los depósitos lacustres a lo largo de las paredes orientales de la angostura de Aranjuez se presentan como remanentes desconectados, hacia el norte, y como terrazas cortadas hacia el sud. Su espesor varía de 1 a 35 metros. Se compone de láminas hasta de 1 cm. de

grosor de limo grisáceo y arcilla limosa. Descansa sobre una superficie de erosión fuertemente inclinada de rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior. Cerca del contacto los estratos tienen una inclinación de 15° hacia el río; pero a unos cuantos metros fuera del contacto las capas son horizontales.

Los depósitos deltaicos, en la porción inferior de la quebrada de Alpacoma, están cortados por el río principal y pequeños tributarios que forman meandros. Estos depósitos se hallan intensamente erodados dando como resultado una topografía de "bad lands". Su espesor varía desde 0.5 metros hasta un máximo inferido de 45 metros. Tales depósitos consisten de una alternancia de láminas de 2 o 3 hasta 15 cms. de limo y arcilla limosa de color gris claro con láminas de 2 a 15 cms. de espesor de arena limosa y arcillosa y grava. La fracción de arena y grava incluye clastos redondeados con diámetros hasta de 4 cms., de granito, areniscas rojas originadas en las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior y fragmentos de la base de la Formación La Paz.

Los depósitos lacustres fueron depositados en el temporario lago Calacoto formado por el torrente de barro de Achocalla que bloqueó el curso del río La Paz. De acuerdo al afloramiento más alto de los depósitos de playa se infiere que la superficie del lago llegaba hasta una altura de 3360 metros. Se extendía desde la presa natural hasta medio kilómetro más allá de la confluencia de los ríos Choqueyapu y Chuquiaguillo y hacia el valle Iripavi. Si la topografía era similar a la actual es posible que hayan sobresalido algunas islas hacia el sud de Obrajes. Luego de que el río La Paz fué bloqueado por el torrente de barro, el reservorio natural así formado se llenó de agua; aunque, poco tiempo después, la presa se rompió, con lo que el río La Paz rehizo su cauce en un curso un tanto diferente del que tenía previamente.

Los depósitos superiores de playa se derivaron principalmente de las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior que afloran en las pendientes superiores. Estos fueron acumulados en esta área particular debido a la plataforma formada por la superficie regular del torrente de barro. Es posible que se encuentren otros depósitos similares dentro de los límites del lago ya que seguramente estos existen. Su presencia puede estar indicada por las arenas y gravas clasificadas y localmente asociadas con deslizamientos de terreno hacia el sudoeste de Obrajes, y cuyo origen se desconoce. La mayor parte de los depósitos superiores de playa pueden haber sido eliminados por la erosión post-lagunaria.

Los depósitos lacustres de fondo son materiales de grano fino a

coloidales aportados por los ríos. Estos depósitos ocuparon las partes inferiores de los valles hasta una profundidad máxima de 45 metros. El depósito en la Florida tiene el delineamiento de un delta subaéreo en el que los clastos diseminados al azar pueden representar la introducción de tales fragmentos durante las épocas de crecientes o avenidas. Este depósito fué protegido de la erosión post-lagunaria por un pequeño cerro localizado en su extremo norte. La pendiente en la estratificación de los sedimentos de fondo puede atribuirse a la mayor compactación en la porción más potente de estos depósitos comparado con el menor espesor de los mismos cerca de las pendientes pronunciadas. El hecho de que estos sedimentos fueron depositados por corrientes turbulentas está señalado por la superficie casi horizontal de los depósitos y porque los sedimentos lacustres no se han conservado sobre los extensos afloramientos de la Grava Miraflores al oeste y noroeste de la confluencia de los ríos Choqueyapu e Irpavi, las mismas que estaban de 10 a 80 metros bajo agua.

COLUVIO

Coluvio se halla presente en las paredes de todos los valles de los ríos principales y de muchos tributarios del valle de La Paz. Se trata de una densa cubierta de material superficial que oculta las unidades estratigráficas infrayacentes en forma tan efectiva que en la mayor parte de los casos su presencia no puede ser determinada. Tal como se representa en el mapa geológico el coluvio incluye dos tipos de depósitos que tienen diferentes orígenes. El primer tipo está constituido de gravas imperfectamente clasificadas, arena, limo y arcilla; el segundo es una mezcla de material no clasificado que se mueve pendiente abajo por efecto de la gravedad.

La extensión areal del coluvio clasificado es muy reducida en comparación con la extensa cubierta de coluvio no clasificado. El coluvio clasificado se encuentra localmente debajo del borde del Altiplano desde el alto de Sopocachi hasta el extremo septentrional del mapa, también en las escarpas y cabezas de los deslizamientos de terreno, en las estribaciones y a lo largo de la línea de ferrocarril en el valle de ChuquiagUILlo. Tales depósitos están compuestos de cualquiera de los materiales superficiales o infrayacentes que se presentan en las partes superiores de las pendientes de los valles. Su espesor varía de 1 a 20 metros. Los estratos tienen una potencia de 0.10 a 1 metro y los planos de estratificación concuerdan con la inclinación de las pendientes. Estos materiales se presentan como bancos en las paredes de los valles donde fueron depositados por corrientes

de agua que disminuyeron su velocidad por el cambio de pendiente. En ciertos lugares se mezcla con derrubio del cual sólo puede diferenciarse con los afloramientos que muestren su buena clasificación.

El coluvio no clasificado se presenta en las paredes de todos los valles. En el valle Choqueyapu constituye un manto casi continuo desde el alto de Sopocachi hasta Purapurani. Al sudoeste del alto de Sopocachi, junto al coluvio, se presentan pequeños deslizamientos y torrentes de barro. Se compone del material originado en las partes superiores de los valles. Su espesor varía desde un manto delgado de pocos centímetros hasta varios metros. Tales materiales se presentan en pendientes hasta de 35° . Su erosión se halla localmente acentuada debido al cultivo que se practica en su superficie.

La gravedad desempeña un papel más importante que el agua en la acumulación del coluvio no clasificado. Rocas sueltas y tierra se mueven pendiente abajo debido a la gravedad aunque ayudadas por el agua. Este fenómeno se produce tanto en estaciones secas como lluviosas. En el primer caso hay cierta liberación de los materiales gruesos por el encogimiento que sufren las arcillas y limos; mientras que en el segundo caso el peso del agua y su carácter lubricante acelera el movimiento de tierra.

DEPOSITOS DE ABANICOS ALUVIALES

Los abanicos y conos aluviales forman rasgos topográficos muy prominentes en las pendientes más bajas del valle La Paz y aguas arriba de la confluencia de los ríos Chuquiaguillo y Choqueyapu; al sud de este punto se reconocen muy pocos de tales depósitos y la mayoría son tan pequeños que no se los ha incluido en el mapa. Los depósitos de abanicos aluviales se componen de grava gruesa en su parte superior, de grava y arena en el medio, y arena y arcilla en la parte inferior. Su material se origina en las partes superiores de los valles, su composición refleja la litología de los depósitos atravesados por las corrientes sobre los abanicos.

Los abanicos aluviales son rasgos muy prominentes en los valles Chuquiaguillo y Choqueyapu debido a que las terrazas en la Grava Miraflores constituyen la base sobre la cual el material acarreado por ríos intermitentes puede ser desparramado. Más arriba de Purapura y la finca Chuquiaguillo los abanicos aluviales se han abierto paso a través de las gravas Miraflores extendiéndose hasta los ríos que han erosionado las partes marginales de los abanicos.

En el barrio de Chijini se encuentran pequeños bloques de desli-

zamiento de terreno junto a los abanicos aluviales; lo que indicaría que la sedimentación de los abanicos aluviales fué más o menos contemporánea al deslizamiento de tales bloques. Los abanicos aluviales infrayacen o se superponen a algunos bloques de deslizamiento y por tanto se los ha incluido en el mapa como depósitos de abanicos aluviales. En la zona de Purapurani se han incluido junto a los abanicos aluviales algunas gravas que pueden pertenecer a terrazas aluviales.

TERRAZAS DE GRAVAS

Las Terrazas de Gravas recientes bordean el río Choqueyapu entre la morrena terminal arriba de la planta eléctrica y la base del abanico aluvial al oeste del Calvario del Norte. La parte media de los ríos Chuquiaguillo y Choqueyapu no poseen terrazas. Sin embargo, las terrazas son muy prominentes debajo de la junta de ambos ríos y a lo largo del río Irpavi. En muchos lugares forman una superficie desprovista de vegetación pero cubierta por clastos bien redondeados de granito, cuarcita y areniscas hasta de 30 cms. de diámetro; en otros lugares puede estar cubierta por un manto que puede alcanzar hasta 1 metro de espesor compuesto de limo gris o café y arcilla limosa en los cuales pueden estar incluidos algunos fragmentos gruesos. El espesor máximo inferido se ha calculado en 15 metros.

Se han notado algunas características de las Terrazas de Gravas recientes según se encuentren aguas arriba o aguas abajo. Por ejemplo, la diferencia de gradiente entre la superficie de las Terrazas de Gravas recientes y de la Grava Miraflores aumenta aguas abajo; en la parte superior del valle Choqueyapu la superficie de las terrazas recientes está a unos 10 metros debajo de la superficie de la Grava Miraflores, mientras que en la parte inferior del valle, al sud de Obrajes, la diferencia entre ambas es cerca de 80 metros. De aguas arriba hacia aguas abajo las terrazas recientes de gravas descansan sobre estratos cada vez más jóvenes, aunque con algunas excepciones. Los depósitos aguas arriba son generalmente más antiguos que los depósitos aguas abajo.

Cerca de Obrajes se pueden diferenciar las Terrazas de Gravas de los depósitos de llanura aluvial reciente por una escarpa lateral de corriente que varía de 3 a 10 metros en altura y desciende hasta la llanura aluvial del río; esta escarpa está cortada completamente en las Terrazas de Gravas recientes de donde se infiere que el espesor de este depósito sea alrededor de 15 metros. La superficie de la Grava Miraflores que se encuentra en las cercanías está de 60 a 80 metros más arriba de la superficie de las terrazas recientes. En

la Florida la parte posterior de la terraza está limitada por un pequeño escarpado cortado en los sedimentos de fondo del lago Calacoto y se infiere que el contacto entre éstos sea vertical. Entre Obrajés y la angostura de Aranjuez no hay cambio brusco de pendiente entre las Terrazas de Grava y los depósitos de llanura aluvial, por lo que el contacto entre éstos se ha marcado en forma bastante arbitraria. En la angostura de Aranjuez la escarpa en las terrazas recientes es de unos 4 metros de alto y se observa que las gravas descansan sobre rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior. Algunos sedimentos de fondo del lago Calacoto descansan sobre la parte superior de las terrazas recientes y por tanto son parcialmente más jóvenes que estas últimas.

Las gravas de las terrazas recientes fueron depositadas por ríos anteriores al lago Calacoto y esta evidencia ya se ha señalado más arriba. Sin embargo, también se presentan gravas posteriores al lago como lo indica el contacto entre éstas y los sedimentos de fondo en la Florida. Parte de estas gravas pudieron haber sido depositadas como un delta en un lago temporal, aunque actualmente se hallan tan retrabajadas que no se puede verificar su origen deltaico.

DEPOSITOS DE LLANURA ALUVIAL

Los depósitos de llanura aluvial están compuestos de materiales que han sido acarreados por las corrientes de los ríos actuales y ocupan el fondo de los cursos principales. Estos depósitos descansan ya sea sobre rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior, la Formación La Paz, escombros de deslizamientos de terreno o sobre las terrazas de gravas. En la mayoría de los casos se los distingue de las terrazas recientes porque los depósitos de la llanura aluvial presentan bancos de sólo 2 a 3 metros de alto. Sin embargo, en otros casos, como ocurre en Calacoto, estos depósitos pasan imperceptiblemente hacia las terrazas recientes por lo cual el contacto se ha marcado arbitrariamente.

Los depósitos de llanura aluvial consisten mayormente de gravas, arena, limo y arcilla, pero localmente incluyen pedrones de granito, cuarcitas y areniscas, algunos de los cuales son hasta de 0.50 metros de diámetro. Estos depósitos varían desde mantos muy delgados hasta bancos con un espesor máximo de unos 7 metros. Se extienden desde la angostura de Aranjuez hacia el norte hasta los valles del Choqueyapu y Chuquiaguillo.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la parte superior del valle de La Paz se pueden reconocer tres etapas de plegamiento y fallamiento. La primera deformación ha afectado las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior y las rocas del Devónico Inferior. La próxima deformación afectó incluso la Formación Purapurani y la última incluye el Drift Milluni. La dirección predominante del plegamiento y fallamiento durante las tres etapas es de noroeste-sudeste. Aparentemente parte de las deformaciones posteriores representan la reactivación a lo largo de los pliegues y planos de fallas de deformaciones anteriores. Desde luego, no todos los eventos de la historia estructural de los Andes Centrales se hallan representados en el área a que se refiere este informe y en consecuencia se ha tenido que recurrir al trabajo de otros geólogos (Lámina 3) para correlacionar las estructuras de esta área al de un ámbito más regional.

ESTRUCTURAS DE LAS ROCAS DEL CRETACICO SUPERIOR O Terciario Inferior y Devónico Inferior

Las evidencias del primer período de deformación se limitan a la esquina sudoriental del área, donde la serranía de Aranjuez constituye la representación topográfica de un anticlinal de dirección N. 65° 0. compuesto de rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior y del Devónico Inferior. Esta estructura tiene un ancho aproximado de 1 Km. y se extiende dentro del área levantada en una distancia de unos 3 Kms. En el flanco nororiental del anticlinal los estratos buzan hacia el este con 45° a 65°, mientras que en el flanco sudoccidental el buzamiento es de 35° a 50° hacia el sudoeste. Algunas fallas de pequeño desplazamiento cortan el anticlinal paralelamente a su eje. Al sud del río La Paz las rocas rojas del Cretácico Superior o Terciario Inferior se encuentran en contacto tectónico sobre las rocas del Devónico Inferior. Esta falla tiene una dirección de N. 55° 0. y una inclinación de 70° al NE. Cruza el río La Paz y se extiende hacia el noroeste debajo de sedimentos más jóvenes donde posiblemente su rumbo cambia a N. 70° 0. como puede inferirse por algunos fragmentos de lutitas negras incluídas en un deslizamiento de terreno. En el sector meridional del área y en el flanco sudoriental del anticlinal las capas rojas están en contacto con las rocas del Devónico Inferior según una falla cuyo buzamiento es hacia el sudoeste. (Ahlfeld, 1946, mapa geológico de Bolivia).

Este anticlinal y las fallas relacionadas a él se ha denominado anticlinal de Aranjuez.

PLIEGUES Y FALLAS QUE SE EXTIENDEN HASTA LA FORMACION PURAPURANI

Dentro de los límites del área estudiada se pueden reconocer algunos tipos de deformación que han afectado incluso la parte inferior de la Formación Purapurani. Estos son pliegues y fallas que se extienden desde el pico de Pampajsi hasta un punto a 1 Km. al sud de Obrajes y un graben (fosa tectónica) cerca de la finca Chuquiaguillo que probablemente continúa hacia el noroeste pero que se encuentra cubierto por depósitos aluviales. La Cinerita Chijini es un excelente horizonte guía para determinar el carácter de las estructuras. Más o menos a 1 Km. al sudoeste del pico de Pampajsi se encuentran grandes bloques de cinerita correspondientes a una zona de disturbación producida por una falla cuyo buzamiento es de 45° a 50° al NE. En el borde de la terraza de Pampajsi su dirección es de N. 50° O, pero a unos 700 metros al noroeste de la terraza cambia a N. 80° O. y pasado este punto ya no es reconocible. A 1.5 Kms. al sudoeste del pico de Pampajsi aflora un bloque considerable de Cinerita Chijini en forma de una gran cuña. Sin embargo, su relación con estructuras subyacentes es indeterminada debido a que gran parte del sector se halla cubierto por derrubio. De cualquier manera, el tamaño del afloramiento es muy grande para considerarlo como un desprendimiento.

La mayoría de estas fallas son de gran ángulo con el bloque levantado hacia el noroeste y el buzamiento de los planos varía de 65° a 80° al SO., aunque cerca del centro del arco hay una falla cuyo plano se inclina al SO. con sólo 10° . Los estratos tienen un buzamiento hasta de 45° NO.; aproximadamente, a 1 Km. al norte y oeste de la zona de falla los estratos son horizontales. En la mayoría de los casos los estratos al sudeste de la zona de falla buzan al nor-este, aunque también pueden observarse algunos estratos invertidos que evidencian el tipo de plegamiento existente al sud de Obrajes, donde el flanco norte de un anticlinal, de dirección este-oeste tiene un buzamiento de 20° y el flanco sud, de 32° .

El graben en la parte superior del valle Chuquiaguillo es un rasgo estructural diferente. Tiene un ancho máximo de 1 Km. y se infiere que se extiende hasta el valle Choqueyapu debajo de la morrena terminal. En el valle Chuquiaguillo, el lado meridional del graben está limitado por dos fallas normales presentes en la pared oriental del valle; estas fallas se extienden hasta la Formación Purapurani a unos 50 metros encima de la Cinerita Chijini; más arriba de este punto no se ha notado ningún desplazamiento. La falla que se encuentra

más al sud tiene un desplazamiento de unos 30 metros; mientras que la próxima, hacia el norte, tiene un desplazamiento de unos 40 metros como puede inferirse con bastante precisión empleando la Cinerita Chijini como horizonte guía. No se han reconocido las fallas de este graben en la parte superior del valle ChuquiagUILlo, pero la diferencia de elevación de la Cinerita Chijini en el lugar en que se halla rodeada por el til del Drift Choqueyapu, que es de 4130 metros con relación a su altura cerca de la planta eléctrica que es de 3970 metros, puede ser explicada extendiendo el graben del valle ChuquiagUILlo hasta el valle Choqueyapu. El hecho de que la morrena terminal esté situada a una corta distancia aguas arriba del graben puede ser más una coincidencia que estar morfológicamente relacionada con esta estructura.

DEFORMACION POSTERIOR AL DRIFT MILLUNI

La evidencia más significativa de la deformación posterior a la deposición del Drift Milluni es un horst (pilar tectónico) localizado cerca del Kenko, entre 1 y 2 Kms. al sudoeste del Alto de Sopocachi, es decir, que tiene un ancho de 1 Km. El horst forma una loma llana limitada por escarpas muy bajas pero muy distintivas. La escarpa nororiental tiene una altura de 2 a 4 metros y su dirección es de N. 65° O.; mientras que la escarpa sudoccidental posee una dirección de N. 45° O. y su altura es similar a la de la anterior. Aproximadamente a 1.5 Km. al noroeste del borde del Altiplano estas escarpas se confunden para formar una sola zona de falla de dirección N. 65° O. y se extiende por unos 9 Kms. Estos rasgos en el Altiplano se han reconocido e interpretado en fotografías aéreas que se han tomado después de haberse concluido el trabajo de campo. La falla que limita al borde sudoccidental del horst y el flanco truncado de un anticlinal se ha observado en el terreno debajo del borde del Altiplano y se lo ha registrado en un mapa de escala menor al geológico que acompaña este informe. Sin embargo, sólo con la ayuda de las fotografías aéreas se ha determinado las relaciones estructurales del horst. El mapa geológico se ha extendido más hacia el sudoeste a fin de incluir estas estructuras y permitir la discusión de las fallas más jóvenes reconocidas en el área.

La traza de la zona de falla en las gravas fluvio-glaciales del Drift Milluni está marcada por fracturas y escarpas bajas cuya longitud varía entre 200 y 500 metros, pero donde la zona de falla pasa al til del mismo drift, a unos 4.5 Kms. al noroeste del borde del Altiplano, su expresión superficial está dada por una sola escarpa

muy baja, con frente hacia el sudoeste. Las fracturas y escarpas en las gravas fluvioglaciales forman una estructura escalonada cuya orientación aproximada es este-oeste aunque la dirección de la falla es N. 65° O.

Debajo del borde del Altiplano la falla que forma el flanco sudoccidental del horst tiene una traza cuya dirección es de N. 15° O. y su inclinación varía de 10° a 40° al O. Aunque la parte de la Formación La Paz, implicada en el desplazamiento, no puede ser correlacionada con los estratos al este de la serranía de Aranjuez, se supone que los estratos del bloque levantado en el lado noreste de la falla corresponden al tercio inferior de la sección y aquellos del bloque hundido pertenecerían a la parte inferior del tercio superior de la sección, por lo cual se infiere que esta falla tendría un desplazamiento máximo de unos 200 metros.

Al sudoeste de la falla, que constituye el límite sudoccidental del horst se encuentra el flanco de un anticlinal cuyos estratos buzcan al SO. con un ángulo máximo de 40° y su dirección es de N. 50° O. Entre la falla y el punto donde la Cinerita Chijini está truncada por el Drift Milluni, los estratos del anticlinal tienen una inclinación de sólo 15°. Se infiere la existencia del flanco nororiental del anticlinal por los buzamientos medidos, hasta de 20°, al sudeste del alto de Sopocachi. Sin embargo, esta evidencia no es suficiente ya que tales inclinaciones pueden ser el resultado de una compactación diferencial en la serranía de Aranjuez.

Se pueden indicar dos tipos de evidencias que sugieren que la zona de falla, que forma el límite noreste del anticlinal, continúa al sudeste con la misma dirección. Primero, la proyección de su dirección promedia coincide con el valle que forma el lado sudoriental de la serranía de Aranjuez. Segundo, al sudeste del río La Paz y sobre la misma dirección se encuentra el contacto de falla entre las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior con las del Devónico Inferior (Ahlfeld, 1946, mapa geológico). Por tales razones se considera a esta falla como la principal que forma el horst referido.

La topografía del horst y la zona de falla al noroeste del Altiplano son evidencias de la reactivación de antiguas zonas de falla. El primer movimiento a lo largo de la falla principal probablemente ocurrió durante el Terciario Inferior cuando se han formado las fallas y el anticlinal de Aranjuez. El desplazamiento mayor durante el Pleistoceno se produjo después de que se había depositado la Formación Purapurani ya que los sedimentos de esa época y otros más antiguos habían sido erodados del tope del horst y se hallan truncados en el flanco del anticlinal por las gravas fluvioglaciales del Drift Milluni.

De acuerdo a evidencias disponibles, no se puede determinar con exactitud la secuencia de los movimientos ni la magnitud de los desplazamientos. La curvatura suave de la escarpa noroccidental del horst indicaría que el movimiento que lo produjo fué anterior al movimiento a lo largo de un ramo de la falla que es bastante abrupto. Sin embargo, es posible que el intervalo de tiempo entre ambos movimientos haya sido muy corto y aún puede ser más aparente que real.

La última etapa de deformación es posterior a la deposición del Drift Milluni y anterior a las actividades agrícolas en el Altiplano. Se supone que hayan existido una o más escarpas en la gradiente inferior del abanico aluvial donde la zona de falla cruza las gravas fluvio-glaciales hacia el til del Drift Milluni. Probablemente estas escarpas fueron destruidas mucho antes de que se inicie el cultivo en el abanico aluvial. Considerando la frescura de la escarpa de falla y las fracturas no sería del todo imposible que el último movimiento hubiera sido el causante para el torrente de barro de Achocalla que se produjo después que el Drift Choqueyapu había sido depositado y antes de que el valle sea habitado por el hombre.

OROGENESIS DE LOS ANDES CENTRALES

Los pliegues y fallas observados dentro de los límites del mapa geológico adjunto (Lámina 1) y en especial la gran elevación promedio (4000 metros) de la región han sido producto de una orogénesis cuya evidencia debe buscarse en áreas adyacentes y aún en países vecinos. En la Lámina 3 se presentan las opiniones de algunos autores, tales como: Ahlfeld, 1946; Steinmann, 1929; Newell, 1949; McLaughlin, 1924; Walker, 1949; Weeks, 1947.

Existe cierto acuerdo entre los varios autores en que los Andes Centrales han sido un cinturón orogénico activo desde cerca del final del Cretácico hasta el presente. A pesar de que existen potentes depósitos de rocas paleozoicas es muy difícil interpretar las orogénesis más antiguas, ya que el intenso diastrofismo del Terciario ha destruido las evidencias correspondientes o éstas se hallan ocultas por sedimentos más recientes. Generalmente se reconocen tres o cuatro movimientos principales desde el Terciario Inferior y se las denomina "Orogénesis Andina". Los movimientos principales se subdividen todavía en fases.

Durante el primer ciclo de erosión o peneplanicie Puna, como lo define Bowman (1909), se ha producido el truncamiento de los pliegues más antiguos. Esta peneplanización se inició en una etapa post-mesozoica y concluyó durante el Plioceno Superior. Entre el Plio-

ceno Superior o Pleistoceno Inferior esta superficie sufrió un rápido solevantamiento epeirogénico hasta una altura promedio de 4500 metros sobre el nivel del mar. La superficie del Altiplano no es parte del primer ciclo de erosión descrito por Bowman; aunque al este del área levantada las dos superficies pueden confundirse en algún punto entre los valles Chuquiaguillo y Hampaturi.

El solevantamiento cuaternario, posterior a la elevación de la superficie Puna, se refiere también a esta superficie. Las amplias terrazas de río pueden representar las pausas en el solevantamiento y las paredes abruptas de los valles pueden ser indicaciones del solevantamiento. El valle de La Paz no presenta una alternancia de terrazas y paredes abruptas en los valles que pudieran ser correlacionadas con alguna etapa glacial, a excepción del Drift Choqueyapu, y aún esta etapa no se reconoce debajo de la angostura de Aranjuez. Al intentar una correlación (Lámina 3) se ha empleado el siguiente procedimiento: 1) El tope de la unidad inferior de la Formación La Paz, se lo ha colocado entre el Plioceno y Pleistoceno; 2) los depósitos recientes naturalmente se han colocado en el tope de la columna; y 3) los depósitos glaciales entre estos dos puntos. Por este método resulta una correlación que puede estar en error por no más de una etapa de erosión de valle.

En la pequeña área a que se refiere este informe no se puede demostrar ningún solevantamiento epeirogénico, aunque se puede relacionar con las etapas glaciales el fallamiento posterior, plegamiento y erosión. El anticlinal de Aranjuez probablemente se ha formado durante la primera y segunda fases de la tercera orogénesis andina como lo define Ahlfeld (1946, p. 272 y 1956, p. 185). Siguiendo el fallamiento pre-pleistoceno, la región pudo haber sido solevantada epeirogénicamente. No existen evidencias concluyentes que indicarían una erosión hasta después de la deposición del Drift Patapatani cuando la región fué nuevamente solevantada.

Un nuevo fallamiento y plegamiento se produjo durante la parte media y el final de la etapa interglacial representada por la Formación Purapurani. El último período de fallamiento es sin duda post-Milluni y puede ser posterior a la glaciación del valle Choqueyapu.

GEOLOGIA HISTORICA

La mayor parte de la información presentada en este capítulo sobre la historia del período anterior al Cuaternario primitivo, e está tomada del trabajo de otros autores y se halla resumida en la lá-

mina 3. La Formación La Paz está discutida en la sección del período anterior al Cuaternario primitivo porque incluye depósitos que corresponden al Plioceno y Pleistoceno. Los períodos Pleistoceno y Reciente están interpretados casi exclusivamente de observaciones realizadas en los alrededores de La Paz donde el registro es quizás más completo que en ninguna otra parte de Bolivia.

PERIODO ANTERIOR AL CUATERNARIO PRIMITIVO

Los sedimentos marinos en Bolivia fueron depositados durante el Paleozoico Inferior en cuencas alargadas, groseramente paralelas a la forma que el sistema andino de Sudamérica se presenta en la actualidad.

En la última parte del Paleozoico estas cuencas fueron desplazadas hacia el oeste y recibieron una mezcla de sedimentos continentales y marinos. En el área comprendida por este informe, los sedimentos paleozoicos están representados por pizarras marinas de color negro, que pertenecen al Devónico Inferior.

El fin del Paleozoico en Bolivia se caracteriza por ligeros plegamientos; levantamiento de una plataforma de tierra en el lugar que ahora ocupan los Andes Centrales y Orientales y por una subsidencia entre el área plegada y el Escudo Brasileño.

Los sedimentos continentales del Pérmico Superior y el Triásico Inferior fueron depositados en un sinclinal entre los Andes Orientales y el Escudo Brasileño.

Al no conocerse depósitos jurásicos y cretácicos más antiguos que el Aptiano en Bolivia, se presume que esta área era una masa de tierra positiva durante aquellos períodos.

Sedimentos cretácicos, en su mayoría continentales que sin embargo incluyen algunos sedimentos marinos, fueron depositados desde el Aptiano hasta por lo menos el Senoniano Inferior en cuencas orientadas de noroeste a sudeste. El plegamiento del Cretácico Superior, Inter-Senoniano de Ahlfeld y Laraminiano de Newell, forzó el retiro de las aguas marinas. No hay indicios de que existieron condiciones marinas en Bolivia después del Cretácico Superior.

Los eventos más significativos durante el Terciario están registrados en el Altiplano Boliviano y contenido en el "Grupo Corocoro" de Ahlfeld (1956, p. 181). Estos depósitos se correlacionan en parte con el grupo Puno del Perú de Newell (1949, p. 70-71), en el área del lago Titicaca.

El primer movimiento orogénico de los Andes, que comenzó en el Paleozoico Superior y pudo haber continuado hasta el Oligoceno, no es evidente en Bolivia; aunque durante ese período pudo haber ocurrido la subsidencia que produjo la depresión del Altiplano. Las capas del grupo Corocoro fueron depositadas en la depresión del Altiplano más o menos en forma continua desde el Terciario Inferior hasta por lo menos el Pleistoceno Medio (Ahlfeld, 1956).

Cerca del final del Oligoceno y continuando en el Mioceno hubo intenso plegamiento en la zona subandina y plegamiento débil en el Altiplano. Durante el Mioceno Superior se produjo un fallamiento en bloques escalonados en el Altiplano. La erosión de estos bloques ha dado lugar a las unidades B y C del "Grupo Corocoro".

De acuerdo a Ahlfeld, la primera y segunda fases del tercer movimiento orogénico andino tuvieron lugar en el Plioceno. Estos movimientos estuvieron separados por períodos de erosión. Los elementos tectónicos de los Andes actuales fueron formados por la primera fase orogénica que está marcada por la disturbancia del grupo Corocoro y por el plegamiento de las rocas del Cretácico Superior o Terciario Inferior.

La erosión posterior dió lugar a los conglomerados Taraco. Seguidamente a su deposición estos conglomerados fueron plegados en la segunda fase del tercer movimiento orogénico de los Andes. La peneplanización que siguió al débil plegamiento de los conglomerados Taraco dió lugar a la bien conocida superficie Puna.

Esta peneplanización pudo ya haber empezado, en algunos lugares, en el Mioceno Inferior (Newell, 1949) y llegado a su fin en el Plioceno Superior con la iniciación del sollevamiento epeirogénico de la región de los Andes Centrales que cerró el episodio definido por Bowman (1909, p. 381) como el primer ciclo de erosión. En la parte más superior del Plioceno o Pleistoceno Inferior los Andes Centrales sufrieron un sollevamiento epeirogénico que alcanzó a 4500 metros (McLaughlin, 1924, p. 624).

Un comentario de Newell (1949, p. 90) parece a propósito en este punto con relación a la geología histórica de los Andes Centrales. "En vista de la evidencia de dos movimientos orogénicos y de dos épocas de nivelación de base en la época post-Puna, más el sollevamiento epeirogénico y formación del Altiplano, me parece que una cantidad sorprendente de geología histórica debe ser añadida al Plioceno y períodos posteriores... Obviamente, se necesita con urgencia de una reinvestigación del grupo Puno basada en una evidencia paleontológica nueva".

"El arqueamiento epeirogénico del Plioceno Superior o Pleistoceno Inferior, que es causa de la presente elevación de los Andes, pudo haber causado indirectamente fallas hacia abajo del borde nor-este del Altiplano hasta formar la cuenca del lago Titicaca" (Newell, 1949, p. 90).

Se sugiere un origen similar para la cuenca de La Paz. La cuenca de La Paz se debe haber desarrollado muy rápido porque no se observa evidencia que indique que su formación fuera contemporánea con su relleno, por lo menos en las capas inferiores de la Formación La Paz, expuestas a lo largo de la serranía de Aranjuez.

Los materiales de erosión de las montañas recién formadas se depositaron en la parte más baja de la cuenca de La Paz. Pronto la parte más baja de la cuenca principal se llenó y los sedimentos rebalsaron hacia el valle al oeste de la serranía de Aranjuez.

Una disturbancia menor que tuvo lugar después de que se había depositado la unidad inferior de la Formación La Paz alteró el régimen de corrientes agradantes de modo que éstas se convirtieron en degradantes cortando sus cauces. Este cambio, bastante pequeño, en la secuencia de deposición es la única evidencia para indicar la separación entre los sedimentos del Plioceno y el Pleistoceno.

PLEISTOCENO

Siguiendo la deposición de la Formación La Paz pudo haberse producido un sollevamiento regional. Con certeza hubo un cambio climatológico que alteró el carácter de los sedimentos fluviales a sedimentos glaciales y depósitos asociados al hielo. Dentro de los límites del área a que se refiere este informe (Lámina 1), existe evidencia completa de cuatro avances y cuatro retrocesos de glaciares (Fig. 3) que se discuten como períodos glaciares e interglaciares.

PRIMERA ETAPA GLACIAL - El primer avance mayor de los hielos de los Andes Orientales de Bolivia está representado por el Drift Patapatani. Hasta la fecha sólo se conoce este pequeño afloramiento de til que probablemente no es sino sólo parte del depósito.

El Patapatani fue un glaciar predemontano que pudo haberse extendido desde el frente de montaña hasta el alto de Lima. Durante el período de existencia del glaciar Patapatani, se presentaba un valle donde el Choqueyapu de hoy tiene sus cabeceras en el frente de

montaña. Sin embargo, ese valle no tenía la profundidad del valle actual. Durante esta misma época los Andes Orientales no fueron tan altos como en una etapa posterior aunque probablemente fueron ya tan accidentados como ahora. Al mismo tiempo empezó a ser socavado el granito blanco que ahora está expuesto de 15 a 10 Kms. hacia arriba del valle del Choqueyapu, más allá del límite del mapa.

La lutita marrón que constituye el material diagnóstico del til Calvario fué también recién expuesta. Probablemente hacia el oeste, más allá del alto de Lima, se depositaron las gravas fluvioglaciales.

PRIMERA ETAPA INTERGLACIAL - Los depósitos de la primera etapa interglacial están representados por la Cinerita Chijini. Después del retiro del glaciar Patapatani, siguió un período de erosión que eliminó la mayor parte del til y retrabajó las gravas fluvioglaciales. La superficie fué suficientemente expuesta como para oxidar el til Patapatani; las cenizas volcánicas se depositaron encima de esta superficie erosionada. La superficie era ondulada y contenía depresiones que a veces se llenaban de agua. Los arroyos desgastaron algo de las cenizas volcánicas que se habían originado en alguna fuente de la frontera entre Bolivia y Chile.

SEGUNDA ETAPA GLACIAL - La segunda etapa glacial está representada por el Drift Calvario. La dura lutita marrón en el lado oeste del cerro de Chacaltaya fué ampliamente expuesta y la mayor parte del til fué arrastrada de esa localidad. En la parte superior del valle ahora ocupado por el río Choqueyapu el granito blanco fué arrancado por el glaciar y acarreado hacia el Altiplano. En el movimiento desde su origen el glaciar Calvario sobrepasó la cubierta de gravas fluvioglaciales. Durante el retiro del glaciar la superficie del til Calvario fué uniformemente aplanada por el agua. El suelo que se hubiera formado sobre el til, fué removido más tarde. En muchos lugares la parte superior del til fué oxidada.

SEGUNDA ETAPA INTERGLACIAL - La segunda etapa interglacial está representada por la Formación Purapurani. Después de que la superficie del til Calvario fué aplanada por el agua derretida de los glaciares en retirada y oxidada, las corrientes empezaron a depositar las gravas de la Formación Purapurani. Cerca a la mitad de este período de deposición la cuenca de La Paz fué estructuralmente deformada. Como sucedió durante los anteriores períodos de deformación las montañas fueron más intensamente deformadas que las planicies.

El plegamiento y fallamiento fueron más o menos paralelos a la Cordillera Real. En general, los bloques escalonados entre las fallas fueron inclinados hacia el este con el resultado final de que los bloques más cercanos a las montañas eran más altos que los de los planos. Algunos bloques sufrieron hundimientos para formar un graben.

En el área del Kenko la compresión formó un anticlinal que al ser cortado por fallas se produjo un horst que pudo llegar a proyectarse hasta más de 100 metros por encima de la superficie. Fué al final de este período de deformación que los Andes Orientales probablemente alcanzaron su mayor altura.

El paisaje al frente de las montañas no permaneció mucho tiempo como una serie de colinas de bloques fallados, anticlinales bajos, sinclinales y horsts. Con el mayor levantamiento de los Andes, las corrientes se hicieron más activas, acarreando, en consecuencia, mayor cantidad de gravas gruesas de granito blanco a las depresiones, llenandolas y ayudando a aplanar las proyecciones de los bloques de falla y las montañas plegadas. Al final de la segunda etapa interglacial la superficie fué otra vez reducida a un amplio plano inclinado hacia el oeste.

TERCERA ETAPA GLACIAL - La tercera etapa glacial está representada por el Drift Milluni. El glaciar Milluni se extendía sobre un plano inclinado hacia el oeste. Al frente del hielo fué depositada una planicie bien definida de gravas fluvioglaciales que en la primera parte de esta etapa erosionaron el horst del Kenko. Durante la tercera etapa glacial el río La Paz cortó su valle hacia las cabeceras hasta posiblemente más abajo de la actual ubicación de Mallasilla. Al fin de esta etapa pudo haber existido una caída de agua en la serranía de Aranjuez. El agua derretida continuó corriendo al oeste desde El Alto hacia la depresión del Altiplano, pero aproximadamente al este de esa ubicación corría hacia el río La Paz.

TERCERA ETAPA INTERGLACIAL - La tercera etapa interglacial está representada por las gravas de Pampajsi e Irpavi. El trabajo erosivo del río La Paz y sus tributarios socavaron pronto la llanura dejada por el Drift Milluni.

Es posible que a lo largo de la tercera etapa interglacial los glaciares quedaran en las montañas más altas contribuyendo sólo con algo de agua de deshielo al sistema de drenaje de La Paz. Por la parte superior de la finca Aranjuez muchos grandes tributarios que fluyen hacia el oeste de las montañas tuvieron y todavía tienen sus

orígenes en los glaciares de valles ubicados a mayor altura.

En la primera parte de este ciclo de erosión el río Irpavi pudo haber contribuido con la mayor parte del agua que corría hacia el río La Paz. Al tiempo que el Choqueyapu alargaba su valle, captaba más y más el agua del área de Milluni hasta que llegó a ser la corriente dominante. Todos los valles actuales existían ya hacia el final de la tercera etapa interglacial. Cerca del final de esta etapa fueron depositadas las gravas de Pampajsi e Irpavi.

CUARTA ETAPA GLACIAL O DE GLACIARES DE VALLE - La cuarta etapa glacial constituida por glaciares de valle, está representada por el Drift Choqueyapu y por erosión.

Los glaciares de la cuarta etapa no fueron tan grandes como los de etapas anteriores, ocuparon los valles de corrientes ya existentes. Es dudoso que el hielo se extendiera sobre los planos en frente de los Andes Orientales, tan extensamente como para formar los glaciares pedemontanos. Hubieron dos grandes avances de los glaciares de valle y asociadas con ellos se produjeron varias fluctuaciones menores. La actividad principal durante esta etapa fué erosión y ahondamiento del valle de La Paz. Como existe evidencia que durante la cuarta etapa glacial hubieron por lo menos dos avances grandes de los glaciares de valle se tratará este período bajo tres subtítulos, a saber: 1) La primera sub-etapa glacial; 2) la primera sub-etapa interglacial; y 3) la segunda sub-etapa glacial.

Durante la primera sub-etapa glacial los hielos avanzaron hacia amplios valles cuyos niveles de piso eran casi equivalentes a la cima de la terraza de Irpavi. Los glaciales depositaron el til en la parte superior del valle Choqueyapu y el agua de deshielo profundizó el valle al nivel de las prominencias de las serranías.

Durante la primera sub-etapa interglacial el frente de los glaciares se retiró y los ríos profundizaron los valles hasta unos 300 metros. Con la profundización de los valles y formación de laderas empinadas, los deslizamientos y torrentes de barro constituyeron una forma común de erosión. Durante esta sub-etapa la serranía de Aranjuez fué desgastada intensamente. Una vez que se hubo establecido el curso a través de la serranía de Aranjuez ya no había una barrera fuerte pero pudieron existir rápidos a pesar de la pesada carga acarreada por el río La Paz.

Los glaciares de la segunda sub-etapa glacial avanzaron bajando por los principales tributarios del sistema de drenaje de La Paz donde depositaron el til del nivel inferior en el valle superior del

Choqueyapu y la morrena en el valle de ChuquiagUILlo. Las aguas de deshielo ensancharon los valles y depositaron la Grava Miraflores. Durante esta sub-etapa el movimiento de una gran masa de material se desplazó de la angosta divisoria del Calvario norte, distrito de Killi Killi y dió lugar al bloque de deslizamiento en el cerro de Laikakota y a la unidad de torrente de barro contenida en el miembro de la Grava Miraflores. La época reciente comenzó al derretirse este glaciar.

RECIENTE

La actividad dominante en la historia del área de La Paz durante la época Reciente fué la de erosión en forma de un ensanche y profundización de los valles, tal como fué al principio de la tercera etapa interglacial.

Durante el Reciente los cauces de los ríos fueron profundizados del nivel de la Grava Miraflores a su posición actual. También el ensanchamiento de los valles, por la modificación de las laderas, fué acentuada. Los principales procesos de erosión que ocurrían en las laderas de los valles estaban relacionados entre sí y formaban depósitos tales como deslizamiento de terreno, torrentes de barro, y abanicos fluviales.

Algunos de los mayores deslizamientos, tales como el de Tembladerani fueron intermitentemente activos durante la época Reciente. Sus escarpas se extendieron hacia las cabeceras ensanchando por lo tanto el valle, mientras que sus dedos fueron eliminados por las corrientes al llegar a los ríos. Este proceso, por el que se añade nuevo material a la cabeza y se elimina los materiales de soporte en la base de los deslizamientos de terreno ha perpetuado la actividad de estas áreas de deslizamiento. El torrente de barro de Achocalla pudo haber sido ocasionado por un movimiento renovado a lo largo de la falla del Kenko. El torrente de barro al oeste de la Florida entró en actividad poco antes de que la parte inferior del valle de La Paz fuera estancada por el torrente de barro de Achocalla. Posteriormente fue cubierto por los sedimentos depositados a lo largo de la playa del lago Calacoto.

El lago formado por el torrente de barro de Achocalla pudo haberse llenado en uno o dos años. Fué luego drenado en un período de pocos años a medida que los restos del torrente de barro eran cortados por el río La Paz. Episodios similares de bloqueo de ríos en menor escala ocurrieron sin duda varias veces.

GEOLOGIA APLICADA A LUGARES ESPECIFICOS

Hasta aquí este informe se ha ocupado de la descripción de las rocas, algunas teorías relacionadas con su origen y algunos principios o leyes concernientes con los procesos geológicos. Sin embargo, a continuación se hará una discusión general de los mayores problemas implicados en un adecuado control de los terrenos inestables en sitios determinados de manera que el planeamiento para el desarrollo de la ciudad pueda encararse con una mejor comprensión de los hechos necesarios para respaldar una decisión y la forma en que pueden adquirirse mayor información con esta misma finalidad.

PROBLEMAS DE MOVIMIENTO DE TIERRA SUPERFICIAL

Los problemas de movimientos de tierra superficial son ubicuos en el valle de La Paz. Tales movimientos dañan las construcciones realizadas por el hombre, sean estas calles, acueductos o edificios. Estos movimientos se producen por la actividad de deslizamientos de terreno antiguos o nuevos, por torrentes de barro y por asentamiento de las áreas de relleno artificial. En general los movimientos más perjudiciales han sido los torrentes de barro. Los deslizamientos de terreno no han tenido el mismo efecto porque su movimiento es más lento. La destrucción debida al asentamiento de áreas de relleno se ha producido sólo en una etapa relativamente reciente dentro del crecimiento de la ciudad.

Se dice que un edificio o cualquier otra estructura se halla fallida cuando ha sido fracturada o inutilizada para realizar sus objetivos. Si el daño se produce por el movimiento del material sobre el cual descansan las fundaciones, se considera que el material también ha sido fallido; esto es particularmente evidente donde se hacen visibles fracturas tales como las desarrolladas en un deslizamiento de terreno.

Los intentos de controlar los movimientos superficiales de tierras se halla ejemplificados por los parajes donde se han plantado árboles de eucaliptus. Estas plantaciones se han realizado por el año 1900 y algo después a fin de evitar los movimientos superficiales (Muñoz Reyes, 1955, comunicación personal). En muchos casos estas plantaciones coinciden con lugares con mayor tendencia a deslizamientos o torrentes de barro. En cierta medida estos árboles han evitado una mayor erosión del suelo pero han tenido muy

poco efecto en estabilizar los deslizamientos. Otros métodos de control han sido la desviación o completo abandono de tales parajes.

DESLIZAMIENTOS DE TERRENO

Los deslizamientos indicados en la lámina 1, son fenómenos definitivamente superficiales y con un equipo apropiado podrían determinarse sus límites en el subsuelo. En casi cada uno de los deslizamientos estudiados el agua ha sido el factor que mayormente ha influido en el fallo. Hasta cierto punto esto es muy afortunado ya que entre todos los constituyentes de un deslizamiento, el agua es el único factor, bajo condiciones favorables, que puede ser anulado o controlado.

El agua en un deslizamiento contribuye al movimiento o fallo porque aumenta el peso del bloque inestable. En algunos deslizamientos que han sido estudiados en detalle se ha determinado que el agua constituye el 25% o más del peso total de la masa inestable.

En general, el método más eficaz para controlar los deslizamientos ha sido el de eliminar parte del contenido de agua (Baker y Marshall, 1958, p. 169). Sería ilusorio pensar que puede extraerse toda el agua de un deslizamiento de terreno. Sin embargo, si se elimina suficiente cantidad de agua y se evita su ingreso en mayor cantidad se podrá mantener estable la masa del deslizamiento.

Los métodos empleados para controlar los deslizamientos incluyen varios tipos de drenaje superficial, los que desvían el agua del área inestable; y drenaje interno para eliminar el agua ya contenida. Uno de los métodos más importantes en el control de deslizamientos es evitar la infiltración de las aguas superficiales mediante canales de desviación; sin embargo, este método sólo se mencionará aquí. Una clase de drenaje interno es abriendo orificios casi horizontales en la masa inestable y otro perforando pozos verticales. En el primer caso el agua fluye por acción de la gravedad. Se puede obtener el mismo efecto por medio de túneles. Algunos deslizamientos pueden ser desaguados instalando pozos y extrayendo el agua por medio de bombas.

Antes de intentar el drenaje interno de los deslizamientos debe estudiarse el área en detalle. Se aconseja, dentro de lo posible, localizar los sitios de mayor contenido de agua dentro de un deslizamiento de terreno y las fuentes de tales aguas para determinar la localización de los planos de deslizamiento y si los estratos sub-

yacentes, al deslizamiento de terreno son porosos y lo suficientemente secos como para absorber el agua rápidamente. Algunos deslizamientos de terreno contienen grandes inclusiones de materiales altamente porosos y se convierten en acuíferos ocultos. Otros reciben su agua de fuentes subterráneas. Por medio del drenaje interno se intenta extraer el agua de: 1) Acuíferos ocultos; 2) fuentes subterráneas antes de que el agua llegue a la masa inestable; 3) del cuerpo de deslizamiento a fin de reducir el peso.

El método de drenaje horizontal consiste en perforar orificios casi horizontales dentro de la masa de deslizamiento. Luego de que se ha alcanzado el material saturado se introduce una cañería perforada que servirá de dren siempre que el flujo de agua sea lo suficientemente fuerte para impedir la obstrucción de la cañería. Algunas veces los pozos verticales perforados para investigación pueden servir también de drenes siempre que las rocas subyacentes al deslizamiento de terreno puedan absorber el agua o en su defecto servirán como conductores para bombear el agua hasta la superficie. Si por medio de los pozos exploratorios se ha constatado que estos mismos pueden emplearse para el drenaje, será necesario introducir cañerías perforadas a fin de evitar que las perforaciones se tapen. Sin embargo, es posible que los pozos exploratorios no sean suficientes para un drenaje adecuado debido a su pequeño diámetro en cuyo caso será necesario perforar pozos adicionales de un diámetro mayor.

El levantamiento geológico ha dado a luz muchos datos sobre todos los deslizamientos de terreno en La Paz. Pero sólo se ha mapeado en detalle y discutido separadamente el complejo de deslizamientos que abarcan el Parque Central-Santa Bárbara-Villa Pabón, con el objeto de tener una idea del tipo de investigaciones que pueden realizarse en otras áreas. Los demás deslizamientos de terreno están indicados en el mapa y en el texto con relación a las condiciones de terreno. (Láminas 4 y 5).

TORRENTES DE BARRO

Aunque generalmente los torrentes de barro se producen cerca del final de la época de lluvias resulta difícil predecir el año y el lugar en que se producirán. A lo largo de las líneas ferroviarias de Oruro a Cochabamba y de Potosí a Sucre se han estudiado los torrentes de barro o "mazamorras" con bastante detalle y como resultado se han determinado algunos métodos para su control. Sin embargo, tales métodos sólo desvían pero no eliminan las "mazamorras".

En lo que se refiere al desarrollo urbano, los conocimientos actuales sólo recomiendan evitar las construcciones en áreas en que se produzcan los torrentes de barro. Las construcciones deben también evitarse en valles fluviales y abanicos aluviales debajo del punto en que cambia la gradiente. El área más peligrosa y por tanto el que debe obligatoriamente evitarse, es la parte alta del barrio de Sopocachi (ver Lámina 4, unidad IVd.). Se podrá utilizar parte de la superficie del torrente de barro al este de la porción inferior del río Chuquiaguillo (Lámina 4, unidad IIIb) siempre que se provea de una vía para el flujo del barro.

ASENTAMIENTO SOBRE AREAS DE RELLENO

Por falta de un adecuado registro de la historia urbana en la ciudad es un poco difícil diferenciar las áreas con relleno artificial de las áreas con relleno natural. Por referencias con mapas antiguos y explicación de los ingenieros de la Municipalidad como también de algunos vecinos se ha podido delinear algunas áreas de relleno. Tales áreas se encuentran en la parte central de la ciudad o más propiamente allá donde el río Choqueyapu pasa a través de un conducto, cerca de la zona de San Pedro y en los arroyos profundos próximos al mismo río (Láminas 1, 4 y 6). Los métodos de relleno observados en los años 1954-55 eran muy peligrosos porque consistían de materiales no compactados y no existía ningún plan definido para un desarrollo futuro ya que la mayor parte de los materiales eran residuos de las excavaciones realizadas en otros lugares de la ciudad.

Si el material empleado para el relleno no está bien compactado, se asentará con el transcurso del tiempo. Una construcción realizada sobre relleno no será dañada siempre que la compactación sea uniforme aunque resultarán averiadas las instalaciones hidráulicas. Las estructuras construidas en parte sobre relleno inestable y en parte sobre roca firme pueden dañarse por asentamiento diferencial.

El asentamiento producido por las construcciones puede ser prevenido sólo compactando apropiadamente el material. En general, los problemas relacionados con el asentamiento del terreno deberán estudiarse separadamente y en cada caso aplicar las recomendaciones más aconsejables. Las experiencias hasta el presente han demostrado que la corrección de los fallos sobre áreas de relleno profundo es muy costoso; es decir, no existe todavía ningún método fácil ni barato.

CONDICIONES DE TERRENO EN LA PAZ Y SUS ALREDEDORES

En los alrededores de La Paz, tales como el Altiplano y a lo largo de los valles principales en la parte superior del río La Paz, existen extensas áreas de terreno estable (Láminas 4 y 5). Sin embargo, los terrenos estables en los valles se restringen a terrazas que descansan sobre potentes depósitos de gravas.

En este informe se emplea el término de "estable" para significar el terreno que no es susceptible de sufrir desplazamientos por deslizamientos de terreno o torrentes de barro, que está libre de inundaciones periódicas por aguas superficiales y que posee un buen drenaje interno.

En el Altiplano existen cientos de kilómetros cuadrados de terreno estable que puede ser empleado para la expansión industrial y urbana; sin embargo, hasta 1955 sólo se habían desarrollado unos 8 Kms. cuadrados. Por contraste, las áreas que más intensamente se han desarrollado son terrazas adyacentes a los ríos cerca del centro de la ciudad y laderas arriba del valle por encima de las zonas planas.

En 1955 existía todavía bastante terreno estable susceptible de mayor desarrollo, en la parte superior del valle Chuquiaguillo, en el valle de Irpavi incluyendo algunas áreas de Calacoto y en la planicie de Pampajsi. Hasta esta fecha no se había iniciado ningún trabajo de desarrollo industrial ni urbano en la planicie de Pampajsi debido a su superficie relativamente pequeña y a que el camino que la unía con el centro de la ciudad tenía serios problemas en su mantenimiento. Seguramente por las mismas causas no se incluyó la planicie de Pampajsi en el mapa de las diferentes zonas de la ciudad que la Municipalidad preparó en 1956 (Zalles, 1956).

El mapa de las condiciones de terreno de La Paz y sus alrededores (Lámina 4), es una interpretación basada esencialmente en el mapa geológico (Lámina 1), aunque también incluye otras observaciones realizadas exclusivamente con este objetivo. Se han diferenciado las variadas clases de las condiciones de terreno en base a los factores que se detallan en la lámina 4. Estas son: estipulaciones para fundaciones, topografía, hidrología, composición y unidades geológicas. Para cada una de las condiciones de terreno se han indicado algunos de los problemas existentes como también se han hecho algunas sugerencias que permitan adoptar alguna solución para dichos problemas.

El primer factor que debe ser considerado con respecto a las

fundaciones es su resistencia para sostener un edificio. En consecuencia, las condiciones de una fundación pueden calificarse como: excelente, buena, débil y mala. Los otros factores se utilizan como base para la subdivisión de las clases principales. Por tanto, no es raro que exista una cierta superposición en las subdivisiones y aún entre éstas y las clases principales.

INFORME SOBRE EL AREA DE DESLIZAMIENTOS DE TERRENO DEL PARQUE CENTRAL, SANTA BARBARA Y VILLA PABON

INTRODUCCION

En el centro de La Paz, el área de deslizamiento de terreno ha estado por muchos años intermitentemente activa. El área fallida por deslizamiento de terreno a que nos referimos, se encuentra en las zonas del Parque Central, Santa Bárbara y Villa Pabón. (Lámina 6). Algunos rasgos distintivos de los deslizamientos de terrenos probablemente ya existían cuando se fundó La Paz. Sin embargo, no fué sino posteriormente (en la historia de la ciudad) cuando el desarrollo urbano fué obstaculizado o dañado, que adquirió importancia para la expansión de la ciudad la inestabilidad del terreno. Los movimientos dentro de la masa inestable cobraron importancia porque, cuando eran grandes, causaban la ruptura de los servicios públicos tales como las cañerías de agua y líneas de corriente eléctrica; se desplazaron calles y algunas casas fueron destruidas temporal o definitivamente.

Las zonas indicadas en el plano no tienen límites definidos; partes del mismo deslizamiento de terreno se extienden de una a otra zona. En la parte meridional del área, en la zona del Parque Central, existen varios sitios fallidos que son: 1) material de relleno que cubre la parte inferior del valle del río San Pedro y su confluencia con el río Choqueyapu; 2) un bloque inactivo de deslizamiento de terreno que ocupa el cerro de Laikakota; 3) un deslizamiento de terreno activo al sudeste del cerro de Laikakota y que se extiende a través de la avenida del Ejército; y 4) la parte inferior de un deslizamiento de terreno en el Parque Roosevelt. En la zona de Santa Bárbara, se halla la parte superior de un deslizamiento de terreno que se extiende hacia el sur entrando al área del Parque Central. El deslizamiento de terreno de Villa Pabón, en el que están situados los manantiales, históricamente famosos, denominados Agua de la Vida, cerca de su escarpa principal supe-

rior; está en la parte septentrional del área mapeada.

Por varias razones, se ha elegido esta localidad de deslizamiento de terreno en el corazón de La Paz como un sitio de estudio demostrativo. Económicamente hablando, el área es importante para el resto de la ciudad porque a través de ella pasan servicios públicos tales como cañerías de agua, líneas de corriente eléctrica y rutas importantes de comunicación. A base de lo que se sabe, constituye el área de deslizamiento de terreno más variado y complejo -aunque no el más grande- en La Paz y sus alrededores. Por estas razones, se eligió el área para que sirva de ejemplo para el procedimiento que ha de seguirse al reunir datos que conduzcan a conclusiones sobre medidas de control.

HISTORIA Y TRABAJOS ANTERIORES

Si bien es sabido que la localidad considerada es un área de deslizamiento de terreno, se han conservado pocos datos concretos. En el pasado se hicieron inspecciones una vez producido el daño, mas éstas rara vez fueron estudiadas mediante observaciones sistemáticas. De charlas con viejos paceños sobre la historia del conjunto del deslizamiento de terreno, salieron muchos informes valiosos y también alguna información errada.

Con referencia al testimonio más antiguo sobre edificaciones referentes al área, Sanjinés (1948, p. 50-52) afirma que en 1868 el Presidente Melgarejo ordenó que parte del Ejército Boliviano construyese un camino a través de la serranía que separa La Paz de la zona llamada hoy Miraflores. El resultado de este trabajo fué la Avenida Frías. Los materiales excavados se usaron para hacer adobes. Sin embargo, no parece que todo el material excavado por gran parte del Ejército Boliviano, pudiera haberse usado para hacer adobes y tejas en todo un año. Por los residuos de muchas tejerías y por los restos de la mezcla de teja y ladrillo con piedra se deduce que los alrededores de la Avenida Frías han sido por mucho tiempo el lugar de extensas excavaciones en busca de material de construcción y también el sitio de fábricas para acabado de ladrillos. Allí mismo ha continuado la industria de ladrillos desde antes de 1868 hasta el presente. También hubo construcción continua de calles y casas al avanzar la expansión urbana en la zona de Santa Bárbara.

Koslowski hizo un estudio del deslizamiento de terreno en lo que hoy es el parque Roosevelt. Aunque hemos visto referencias de un informe hecho por Koslowski, publicado en 1923, no pudo encontrarse tal informe en las bibliotecas locales.

Los datos más valiosos y dignos de confianza acerca de estudios del área de deslizamientos de terreno, se obtuvieron del señor Jorge Muñoz Reyes, actualmente profesor de geología de la Universidad de San Andrés en La Paz. En 1931, siendo entonces geólogo-jefe de la Dirección General de Minas y Petróleo de Bolivia, Muñoz Reyes investigó detalladamente el área de deslizamiento de terreno. Desgraciadamente, el informe presentado al Gobierno Boliviano se perdió o destruyó durante los varios traslados de las oficinas del Departamento de Minas. Sin embargo, el señor Muñoz Reyes estaba presente y pudo consultársele personalmente. Recorrió el terreno con el autor, explicándole ciertos cambios topográficos que se habían producido desde 1931. Una vez hecho el plano adjunto del área, él señaló la serie de pozos que aparecen en el margen oriental. Para comprobar que el agua que -más abajo del Parque Roosevelt- brotaba como manantial, ahora tapado, provenía de la zona Agua de la Vida, Muñoz Reyes introdujo fuxina, una tintura de anilina, en los manantiales cercanos a Villa Pabón. A los tres días, el colorante apareció en un manantial existente entonces más abajo del Parque Roosevelt.

El plano topográfico hecho por Troll y Finsterwalder (1935) muestra que el relleno del valle inferior del río San Pedro ya había empezado alrededor de 1920. Aparentemente el rellenamiento fué un proceso continuo de muchos años. En los años 1954 y 1955, el material de relleno era una mezcla no consolidada de desperdicios parcialmente quemados, latas, restos en general y desechos terrosos procedentes de los sitios en edificación.

El material de relleno que se halla adyacente y por debajo de una parte de la Avenida del Ejército, fué colocado allí por el año 1931 (Calderón, 1955, comunicación personal). El material provino del corte de camino hecho en el cerro de Laikakota. A través de la mayor parte de su extensión, el material de relleno descansa sobre material inestable de deslizamiento de terreno. Gran parte de la superficie fallida, a lo largo de la Avenida del Ejército ha tenido lugar en el relleno, la cual probablemente estuvo sujeta a fallos debido al débil material del deslizamiento de terreno sobre el que se lo había colocado.

METODO DE INVESTIGACION

Las características mostradas en la lámina 6, fueron observadas primero en el terreno y luego registradas en fotografías aéreas. Para observar los vacíos no abarcados por el vuelo del año 1951,

se usó un plano hecho desde el aire en 1948 entre las FF.AA. de Bolivia y de los EE.UU., cubriendo toda el área en escala más o menos 1:10.000. El vuelo de 1951 lo hizo el Instituto Geográfico Militar, siendo las fotos a una escala de 1:5.000 más o menos. Los dos vuelos demuestran que en el área han tenido lugar algunos cambios por obra humana entre los años 1948 y 1951.

Los datos obtenidos en las fotografías aéreas fueron pasados al mapa base, empleando un instrumento de replanteo (sketchmaster). El control horizontal del mapa base es muy bueno como lo indica el hecho de que las fotografías aéreas pudieron adaptárselas fácilmente. Los informes que de tal modo fueron pasados al mapa base fueron los siguientes: 1) Descripción de las diferencias mayores en calidad del material superficial; 2) las fracturas halladas que atraviesan calles y casas; 3) manantiales; y 4) rumbo e inclinación.

PLANO TOPOGRAFICO BASE

El plano topográfico base que fué usado para delinear las características del terreno en el área de estudio, fué levantado en 1950 por el Instituto Geográfico Militar originalmente en escala de 1:1.000. Para los fines de este informe sería incómodo usar el mapa en escala mayor. Sin embargo se recomienda el plano en escala de 1:1.000 para el estudio posterior de los deslizamientos de terreno aislados y como base para registrar datos importantes como ser pozos de sondeo.

Dos cambios por obra humana de mayor importancia se han producido desde que el plano base fué recopilado. Uno de ellos es el camino recién construido que comienza en la zona de Villa Pabón y atraviesa en arco el afloramiento de depósitos coluviales, hacia la zona de Caiconi. El pequeño lugar de material de relleno, cerca a la base del deslizamiento de terreno de Villa Pabón, fué colocado al construirse el camino. El otro cambio, es una nueva alineación del canal de mampostería del río Choqueyapu. Debido al movimiento de un deslizamiento de terreno que destruyó el canal antiguo, el nuevo se halla más arriba del puente de la Avenida del Ejército al sudoeste de la posición indicada en el plano. Las excavaciones hechas a lo largo de algunos frentes de risco con el fin de obtener material de ladrillo y adobe, han modificado en algo la topografía.

Al plano base se le agregó la posición aproximada del río San Pedro según el mapa de 1902 de José Bastide (Fig. 6). El plano original de Bastide está en escala de 1:2.000. En este informe se incluye una reducción de una parte de este plano a escala 1:5.000.

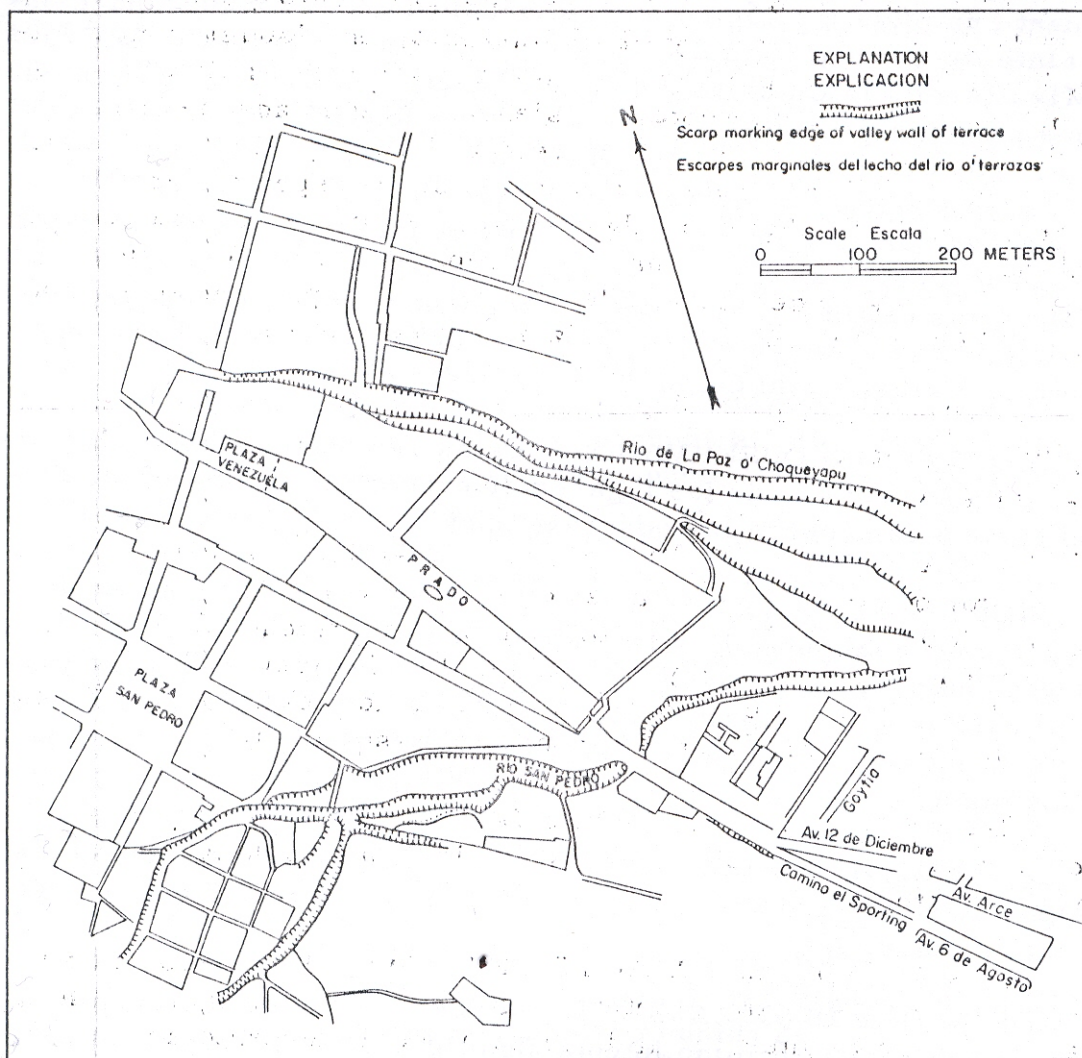


FIGURE 6.- COPY OF THE 1902 TOPOGRAPHIC MAP BY JOSE BASTIDE IN THE VICINITY OF THE CONFLUENCE OF THE SAN PEDRO AND CHOQUEYAPU RIVERS. REDUCED FROM SCALE 1:1000 TO 1:5000

FIGURA 6.- COPIA DEL PLANO TOPOGRAFICO DE 1902 POR EL ING. JOSE BASTIDE DE LOS ALREDEDORES DE LA CONFLUENCIA DE LOS RIOS SAN PEDRO Y CHOQUEYAPU REDUCIDO DE LA ESCALA 1:1000 A LA ESCALA 1:5000

LAS UNIDADES MAPEADAS

El plano del área del deslizamiento de terreno no es precisamente un plano geológico aunque señale muchos rasgos fundamentalmente geológicos. En algunos lugares se observan la Grava Miraflores, la cinerita y el til Calvario, en bloques más o menos grandes de material coherente que los diferencia de los escombros del deslizamiento. No siempre puede hacerse con seguridad una distinción entre el material "insitu" y el que se ha movido levemente en la superficie. Esto ocurre especialmente con la Formación La Paz que, en algunos lugares, presenta tanto una deformación estructural profunda, relacionada con el último levantamiento de los Andes Orientales, como un desplazamiento de superficie clasificado como deslizamiento de terreno.

CONTACTOS OBSERVADOS - Estos representan los contactos que, en la mayoría de los lugares, fueron claramente reconocidos al tiempo de hacerse las observaciones.

CONTACTOS INFERIDOS - Estos representan los contactos que no fueron observados directamente pero que se encuentran cerca del lugar indicado en el plano. Por ejemplo, se reconoció el material de relleno como constituyente del talud de la Avenida del Ejército por el sud, pero el contacto entre el relleno y el material de deslizamiento de terreno no es claramente distinguible.

PLANOS DE DESLIZAMIENTO DE TERRENO - Esta denominación se refiere a planos en cuya superficie han tenido lugar los desplazamientos.

DEDO DEL DESLIZAMIENTO DE TERRENO - Tal como se usa en el plano, este término intenta significar el desplazamiento hacia arriba y hacia afuera en la base de un deslizamiento de terreno. Dos desplazamientos de esta índole se ven más bajo del Parque Roosevelt. Son dos por ser el resultado de movimientos separados que presentan formas similares. El superior representa el dedo de un deslizamiento de terreno más pequeño dentro de otro más grande.

MANANTIALES OBSERVADOS - Se observaron varios manantiales en el curso de la investigación. Son guías importantes para conocer el lugar y la posición del nivel freático. El manantial que se

muestra en la cabeza de la escarpa más baja al sudoeste de la letra N de Villa Pabón fué registrado algunos meses antes de que se emprendiera la obra en el terreno para el plano adjunto. Se notó, en el tiempo transcurrido, que el manantial había sido cubierto por un terraplén delgado al construirse un camino. No se observó la instalación de drenaje que desviara la dirección de la corriente fuera del deslizamiento de terreno. De esta observación se presume que otros manantiales han sido tapados en forma similar por edificaciones.

No se observó el manantial al norte de la calle Corrales. Su existencia fué informada y localizada en el plano por el señor Jorge Crespo. El manantial se hallaba descubierto cuando en 1941 se excavaron en ese sitio los cimientos poco profundos para una casa. Como no se necesitaba el agua del manantial, su corriente fué dirigida a un tubo de drenaje abierto adyacente.

POZOS - Todos los pozos indicados en el plano se anotaron conforme a datos facilitados por el señor Muñoz Reyes. Por lo que se pudo comprobar, todavía existen estos pozos, aunque puede que algunos de ellos ya no se usen. Al final de este informe en una hoja aparte adjunta, hay una descripción de cada pozo, hecha de memoria por Muñoz Reyes.

SIMBOLOS DE RUMBO E INCLINACION - Se han registrado estos símbolos en la pequeña área de Santa Bárbara donde aflora claramente la Formación La Paz y donde puede observarse una estratificación característica. En otros lugares donde aflora bien la Formación La Paz, los estratos son horizontales, inclinándose en tan poco ángulo que no pueden medirse con exactitud, ni tampoco distinguirse la inclinación formativa de los lentes.

BLOQUES RECONOCIDOS DE UNIDADES ESTRATIGRAFICAS DESPLAZADAS E INCORPORADAS EN DESLIZAMIENTOS DE TERRENO Y DEPOSITOS COLUVIALES: Qvg - CINERITA; Qtc - TIL CALVARIO.

En la parte meridional del plano, sobre la serranía de Laikakota, el material de deslizamiento de terreno inactivo incluye grandes bloques de cinerita (Qvg) y del til Calvario (Qtc). En la parte septentrional del plano, en el área de Villa Pabón los depósitos coluviales comprenden grandes bloques de cinerita. Hay también inclusiones menores de ésta y otras unidades reconocidas, pero no

se las anota por ser demasiado pequeñas. Su presencia es significativa porque indica desplazamientos de grandes volúmenes de material siendo un criterio indicador de deslizamientos de terreno.

FORMACION LA PAZ - La unidad consiste de lentes estratificados de arcilla gris clara a ocre, limo, arena y grava. En el área de Villa Pabón, la fracción de material grueso llega al 50% del material componente. En el área de Santa Bárbara, el material consiste en su mayor parte de arcilla y limo. Donde están los símbolos rumbo e inclinación, el material se halla bien laminado, y parece haber sido el resultado de deposición en una extensión de agua. Aunque poco se sabe con seguridad sobre la secuencia estratigráfica y los cambios laterales de esta pequeña área, parece muy probable según observaciones hechas aquí y en otros lugares del valle de La Paz, que si se perforara un pozo profundo en el área de Villa Pabón, éste revelaría que por sobre la curva de nivel de los 3650 metros, el material es generalmente grueso y de textura abierta; mientras que el material por debajo de ese nivel es generalmente de grano fino e impermeable, conteniendo sin embargo, algunos lentes delgados de grava bien redondeada.

La Formación La Paz también varía lateralmente. Hacia el noroeste, cerca de su origen, adyacente a las montañas, es de textura gruesa. Hacia el suroeste, cerca al centro de su cuenca de sedimentación, es de textura fina. El plano adjunto abarca un área que media entre los dos extremos de textura.

Con excepción de los tres sitios indicados en la zona de Santa Bárbara, las capas son horizontales o casi horizontales.

GRAVA MIRAFLORES - La Grava Miraflores, que está expuesta en la parte meridional y oriental del área, se compone de rodados, arena, limo y algo de arcilla. La grava consiste en su mayor parte de clastos de granito blanco que varía en tamaño desde guijarros de 1 cm. de diámetro a pedrones de 1 metro y medio. Para los problemas que ofrece esta área, la arcilla arenosa - originada en un torrente de barro - tiene poca importancia; pero en otras áreas cobra importancia por su papel de miembro impermeable dentro de una unidad que, de otro modo, sería bastante permeable.

Por su compacidad, buen drenaje interno y estabilidad general, la Grava Miraflores es el terreno más conveniente para edificaciones en el valle de La Paz. Puede que ceda a lo largo de empinadas riberas de valle; pero estos fallos generalmente ocurren cuan-

do en los bancos han sido excavados paredones verticales, y aún entonces su frente puede protegerse eficazmente mediante muros de contención. En muchos lugares, las corrientes principales han cortado sus canales por debajo de la base de la grava de la terraza y han expuesto la Formación La Paz. Cuando las corrientes socavan sus bancos, se producen fallos incluso en la Grava Miraflores. En el área del Parque Roosevelt, al norte del río Choqueyapu, esta grava se ha deslizado por sucesivos desplazamientos sobre planos de deslizamiento en la Formación La Paz y han sido removidos en gran parte por la corriente del río.

MATERIAL DE DESLIZAMIENTO DE TERRENO INACTIVO - Este material forma la parte superior del cerro Laikakota. Incluye til, cinerita, grava, limo y arcilla. En forma de quilla, la cinerita y el til Calvario forman la parte oriental de la serranía donde están invertidos e inclinados fuertemente hacia el oeste. Al este de la Avenida del Ejército, en el corte del camino, estas mismas unidades están expuestas en secuencia normal e inclinadas hacia el este. Se reconocieron bloques menores de cinerita pero no están representados en el plano. Entre y encima de las exposiciones de cinerita y til, adyacentes y en parte debajo de ellas, existen capas disturbadas de grava, limo y arcilla.

Laikakota es una palabra aymará que significa "lago embrujado". La leyenda nos dice que este nombre se daba a lagos efímeros que solían drenarse a veces rápidamente. Es bastante probable que los deslizamientos de terreno formaban pequeños lagos temporales que se drenaban rápidamente al formarse cavidades o conductos de corriente que llevaban el agua a niveles inferiores. Tales cavidades podían obstruirse en poco tiempo y, al destaparse, vaciaban los pequeños lagos en una noche, dando así a esos lagos un carácter aparentemente misterioso.

DEPOSITOS COLUVIALES - Los depósitos coluviales, en este lugar, consisten principalmente de grava con algo de limo, arcilla, y en algunas partes, bloques incluidos del material proveniente de las partes más altas. La fuerza de gravedad jugó papel decisivo llevando el material talud abajo. El material de tal origen se llama también escombros (slope wash).

MATERIAL DE DESLIZAMIENTO DE TERRENO ACTIVO - Esta unidad incluye todo material que se ha movido pendiente abajo como deslizamiento de terreno. Dentro de su masa hay grava, arena,

limo, arcilla y relleno, incluyendo algunos bloques que muestran la clasificación y estratificación originales. En otros lugares, usualmente cerca a la base de un deslizamiento de terreno, los materiales han sido mezclados por flujo plástico. Cuando está seco, el material es duro y estable; pero cuando está saturado es débil, esponjoso y no tiene resistencia estructural. En relación con los deslizamientos de terreno -aunque no siempre observables- están los planos de deslizamiento, escarpas y dedos que marcan los límites de los deslizamientos de terreno. La mayoría de los planos de deslizamiento más profundos están en la Formación La Paz.

MAMPOSTERIA O RIPIOS DE CONSTRUCCION - Se refiere a los desechos concomitantes con la construcción de edificios, casas y calles. En algunos lugares incluye depósitos coluviales y material de origen no identificado. Como el área del plano abarca la parte más vieja de la ciudad, quedan pocas construcciones originales. Durante la reconstrucción se esparcieron adobes y ladrillos de las paredes viejas, tal vez también parte de las mismas casas, todo ello alrededor de los nuevos edificios, dejando allí una capa que cubre la superficie. En algunas localidades, se halló material que fué indicado en el plano como mampuesto, o sean ripios de construcción, cuyo origen no pudo definirse claramente. Pudo haberse colocado por obra del hombre o también depositado por procesos naturales. Sin embargo, ya que no es más que una delgada cubierta se la puso en esta unidad para los propósitos del mapeo.

RELLENO ARTIFICIAL - Generalmente el material se compone de limo, arcilla, grava y pedrones sacados de sitios de excavación. En algunos lugares contiene desperdicios, latas y otra clase de desecho. El área más grande de relleno se encuentra al noreste de la Universidad donde cubre el valle del río San Pedro en su confluencia con el río Choqueyapu. Parte de la Avenida del Ejército se ha construido sobre relleno artificial.

PRINCIPALES AREAS FALLIDAS

Se hace hincapié en que las delineaciones sobre características de deslizamientos de terreno indicados en el plano (Lam.6), son únicamente el resultado de observaciones superficiales. Aunque estas observaciones indican que existen varios deslizamientos de terreno separados, no puede establecerse con seguridad que el área aparentemente estable de la Formación La Paz entre Santa Bárbara

y Villa Pabón no esté también comprendida en algún leve movimiento superficial conexo con los deslizamientos de terreno.

Para fines de exposición, se hace necesario esbozar los varios deslizamientos de terreno denominándolos separadamente. Allí donde un deslizamiento de terreno se funde con otro, se ha trazado arbitrariamente la línea de separación a lo largo de un rasgo característico que existe ahora. De las cinco áreas fallidas que hay que tratar, cuatro se encuentran en y cerca del Parque Central, en la parte meridional del área del plano, y una en Villa Pabón en la parte septentrional del área del plano. Ellas son: 1) El área fallida del teatro al aire libre, al sud del río Choqueyapu; 2) el deslizamiento de terreno en la Avenida del Ejército al sud del cerro Laikakota y al norte del río Choqueyapu extendiéndose hacia la curva sur de la Avenida del Ejército; 3) el bloque de deslizamiento de terreno inactivo del cerro Laikakota; 4) el deslizamiento de terreno de Santa Bárbara al norte del río Choqueyapu, que va desde la Avenida del Ejército hacia el norte a través de la Avenida Frías; dentro de este deslizamiento de terreno queda incluido todo el Parque Roosevelt; y 5) el deslizamiento de terreno de Villa Pabón.

AREA FALLIDA DEL TEATRO AL AIRE LIBRE - El sitio deriva su nombre del teatro al aire libre, designado con una T en el plano. Se ha construido el teatro sobre un grueso relleno que cubre la parte más baja del río San Pedro en su confluencia con el río Choqueyapu. El relleno se extiende hacia arriba del valle San Pedro, hasta más allá del margen oriental del plano. Una delgada capa de relleno se extiende también a lo largo del flanco sur del río Choqueyapu. El relleno sobre el lado sud del valle del Choqueyapu, cubre el contacto entre la Grava Miraflores y la Formación La Paz, pero la línea que representa el contacto está aproximadamente en su posición correcta.

El agua del río San Pedro pasa ahora debajo del relleno por una alcantarilla de hormigón. No se conoce la ubicación de la alcantarilla con respecto al canal original de la corriente. Comparando con el mapa de José Bastide, se concluye que al menos la parte inferior del curso original del canal no coincide con la alcantarilla. La dirección de la alcantarilla está al norte del curso original de la corriente. El relleno se ha colocado en el valle entre alguna fecha después del año 1902 y el presente, y aún sigue colocándose. El material, al colocarse, no es ni ha sido compactado. El proceso de relleno fué y es lento, produciéndose así un poco de consolidación natural a lo largo de los años. Desgraciadamente esta conso-

lidación continúa aún. Los fallos como resultado de la compactación, están ilustrados por las resquebrajaduras de los edificios al noreste de la calle Capitán Ravelo y también por las áreas hundidas en la intersección de la calle Federico Zuazo y la Avenida del Ejército.

La serie de rajaduras al noreste de la calle Capitán Ravelo, va paralela a la traza del anterior flanco del río San Pedro. Tal vez el asentamiento por compactación no sea la única causa de agrietamiento. Es posible que estas rajaduras sean el resultado del movimiento del deslizamiento de terreno. Esto no pudo comprobarse mediante observaciones que se hicieron en el curso de esta investigación, debido a que grandes cantidades de relleno se han colocado al norte de las rajaduras desde que se hizo el plano topográfico. Sin embargo, los moradores del lugar indicaron que existe algo de movimiento hacia afuera y hacia arriba que es cosa típica para el movimiento de la parte inferior de un deslizamiento de terreno. La presencia del manantial adyacente a la serie de rajaduras mayormente observadas al norte, indica otra causa probable de fallo.

En junio de 1955, el manantial arrojaba más de 20 litros de agua por minuto. A una distancia de 10 metros desde la fuente, toda el agua desaparece por infiltración y evaporación. A primera vista de un manantial tan pequeño, no se considera grande su flujo de agua. Sin embargo, en la proporción estimada de infiltración de más o menos 20 litros por minuto, el aditamento de agua al material de relleno debajo del manantial, resulta cosa de 28,800 litros diarios. El aditamento de agua por infiltración continúa año redondo. Si se calcula la cantidad de agua y el peso que así se añade al material inestable a largo plazo, resulta una cifra sumamente elevada que debe tomarse en cuenta al juzgar los deslizamientos de terreno. Por su peso y efecto al causar compactación así como posible erosión subterránea formando cavidades, el agua es un factor más que contribuye a los fallos.

Los terrenos hundidos en la intersección de la calle Federico Zuazo y la Avenida del Ejército, han sido rellenados desde la fecha de este estudio. Las depresiones eran casi circulares con diámetro de uno a cuatro metros; y el borde de la ceja que marcó el asentamiento, tenía una altura de 5 a 20 cms. La forma de estas depresiones es bastante típica en fallos de asentamiento en áreas de relleno, y especialmente cuando la parte inferior del relleno está saturada de agua. Tres clases de pruebas indican que existe agua libre en la parte inferior del relleno. Una es la presencia del manantial antes mencionado; la segunda es la forma de las depresiones;

la tercera es la relación del relleno con el contacto entre la Grava Miraflores y la Formación La Paz. En muchos lugares, a lo largo de los ríos Choqueyapu y Horcoahuiria, se observó que brotaban manantiales en el lugar de contacto entre la Grava Miraflores, de textura gruesa y la Formación La Paz de textura fina. Probablemente proviene de esa fuente la mayor cantidad del agua de la parte inferior del relleno. Mientras que toda prueba de superficie indica la existencia de agua libre en la parte inferior del relleno, debería comprobarse su presencia mediante perforaciones. En la suposición de hallarse agua, la perforación de sondeo servirá también para determinar la altura a la que se encuentra el agua; y, si se hacen periódicamente las mediciones, se tendrá a mano un registro de la fluctuación para determinar la ubicación del drenaje subterráneo que ha de sugerirse posteriormente en este informe.

Por lo que se pudo comprobar los cimientos del teatro al aire libre están por entero en relleno. Según la última observación, el fallo no era todavía tan grande como para no usarse el teatro. Sin embargo, si se deja continuar el proceso de rellenamiento al sudoeste del teatro hacia la Avenida del Ejército, se repetirá el movimiento dentro del relleno porque el peso adicional en la parte superior del deslizamiento de terreno desequilibrará el estado actual de equilibrio; el movimiento renovado dañará entonces el teatro en mayor grado.

En un informe anterior se han tratado las causas para el movimiento de los deslizamientos de terreno y los métodos a emplearse para su control. Allí se hizo hincapié en que un buen drenaje en los deslizamientos de terreno generalmente da como resultado la estabilización. Un método de control de los deslizamientos de terreno no mencionado, es el de cargar el área del dedo. Sin embargo, tal procedimiento, no parece práctico en esta parte de la ciudad porque va contra el plan de desarrollo urbano. Aún allí donde se intentó cargar la parte inferior del deslizamiento de terreno, se obtuvieron mejores resultados cuando a la vez, se disponía de drenaje.

En el área de relleno que se encuentra al sur del río Choqueyapu nada pudo hacerse hasta ahora en lo que se refiere a aumentar la compactación del material que ya está allí; pero el drenaje del subsuelo puede ayudar a controlar los deslizamientos de terreno. Una perforación de gran diámetro, o un túnel que se coloque entre el contacto de la Grava Miraflores y la Formación La Paz, más o menos paralela a la superficie de drenaje a lo largo del lado este de la Avenida del Ejército, impedirá eficazmente que entre el

agua del subsuelo al relleno en este lugar. El túnel o la perforación del sondeo puede emprenderse más o menos en la curva de nivel de 3542 metros, allí donde se indica en el plano el contacto entre la Grava Miraflores y el material de relleno. La abertura debe prolongarse dentro del relleno, hacia la intersección de las calles Federico Zuazo y General Zapata. Antes de que se haga la perforación de sondeo o el túnel, debe hacerse un pozo de ensayo o perforación para ubicar exactamente la altura del contacto.

En el área de fracturas paralelas al norte de la calle Capitán Ravelo, tal vez sea poco práctico perforar un túnel. Se sugiere que, cerca de la base de las gradas, por encima del manantial, se hagan perforaciones casi verticales, tendidas hacia la base de la Grava Miraflores, las que eliminarían bastante agua para estabilizar esa parte del relleno. En caso de hacerse perforaciones, deben perforarse varios orificios desde el mismo centro general hacia afuera, en forma de abanico. La perforación en el material de relleno no ha de resultar difícil.

DESLIZAMIENTO DE TERRENO DE LA AVENIDA DEL EJÉRCITO - Este nombre se ha tomado de la Avenida del Ejército que atraviesa la parte norte del deslizamiento de terreno. En su extensión noroeste el deslizamiento de terreno de la Avenida del Ejército, no puede distinguirse del deslizamiento de terreno de Santa Bárbara. La línea arbitrariamente trazada que separa estos dos deslizamientos de terreno es la proyección sur del límite este del deslizamiento de terreno de Santa Bárbara. El relleno a lo largo de la Avenida del Ejército está incluido en el deslizamiento de terreno.

La mayoría del material comprendido en el deslizamiento de terreno de la Avenida del Ejército proviene del cerro Laikakota. Hasta que se canalizara el río Choqueyapu se hizo cada vez más activo el deslizamiento de terreno a medida que la corriente rebajaba la base. Se cree que el afloramiento de la Formación La Paz en la escarpa al sud de la Avenida del Ejército está "in situ" y que probablemente debe su existencia a un antiguo meandro del río Choqueyapu.

El relleno que provenía del corte en el cerro Laikakota y que fué colocado a lo largo de parte de la Avenida del Ejército, ha cedido porque el material subyacente no ha podido sostener el aumento de peso. A lo largo de la carretera parece que sólo el relleno hubiera cedido, pero las observaciones hechas por debajo del camino demuestran que existen fracturas de desplazamiento en el material

de deslizamiento de terreno subyacente. Se observó que las zanjas de drenaje superficial en el lado norte de la avenida no funcionaban por encontrarse obstruídas. Se sugiere que se instale en el borde norte del camino un dren de la clase descrita en el informe sobre Villa Fátima. El dren puede extenderse desde la curva donde el relleno está en contacto con el material de deslizamiento de terreno detenido, hasta cerca de la fractura del dedo del deslizamiento de terreno, allí donde el camino tuerce hacia el sud. Antes de llegar a la fractura del dedo del deslizamiento de terreno, el dren debe conducirse al otro lado de la carretera para dejar que llegue el agua a la superficie en el lado sud de la avenida. La estabilización del material que se encuentra al oeste del principio de la curva sud de la Avenida del Ejército, depende de otras medidas de control que se tratarán más tarde.

BLOQUE DE DESLIZAMIENTO DE TERRENO INACTIVO DEL CERRO LAIKAKOTA - Laikakota es el nombre de un punto de triangulación que aparece en un plano levantado por el Instituto Geográfico Militar. El nombre se empleaba antes comúnmente para circunscribir la serranía que separa lo que hoy se llama Parque Central, de la región de Miraflores que se ve en el lado occidental del plano. Su prolongación hacia el norte ha sido por mucho tiempo el lugar de excavación intensa en busca de material de construcción. Al desaparecer su prominencia como serranía, ha caído en olvido general el término Laikakota.

El cerro Laikakota es, en gran parte, un bloque de deslizamiento de terreno. Se estableció en su posición actual cuando se depositó la Grava Miraflores. La parte central de este deslizamiento de terreno se ha mantenido estable por mucho tiempo. En su lado sud suministra el material para el deslizamiento de terreno en la Avenida del Ejército. Se trazó el contacto entre estos dos deslizamientos de terreno en la escarpa mal circunscrita de rumbo norte la cual marca el borde de fallos recientes. Parte de este deslizamiento descansa probablemente sobre un antiguo bloque de deslizamiento de terreno. Ya que la parte central del bloque de deslizamiento de terreno inactivo de Laikakota se ha mantenido estable por mucho tiempo, no se lo tratará más.

DESLIZAMIENTO DE TERRENO SANTA BARBARA - El deslizamiento de terreno de Santa Bárbara no abarca toda la región de Santa Bárbara, pero los fallos de terreno se asocian en forma tan general con esta región, que el nombre empleado aquí sugiere inme-

diatamente la idea de terreno inestable. El movimiento dentro del área del deslizamiento ha causado más daño en la propiedad que ningún otro mencionado en este informe. Las calles y los edificios que están dentro del área de deslizamiento de terreno, entre las avenidas Libertador Bolívar y Frías respectivamente, tienen un aspecto deteriorado. En muchos lugares están descuidadas, y el valor de la propiedad es bajo. Evidentemente no puede haber ningún desarrollo importante en edificaciones en este lugar, mientras no se haya controlado eficazmente el deslizamiento de terreno.

En su prolongación sudeste, no puede distinguirse claramente el deslizamiento de terreno de Santa Bárbara del deslizamiento de terreno de la Avenida del Ejército. Su límite sudoeste está claramente definido por el río Choqueyapu, donde el movimiento de la parte inferior del deslizamiento de terreno ha empujado el canal del río hacia el sud.

La parte superior del deslizamiento de terreno está al norte de la Avenida Frías. Muñoz Reyes (1955, comunicación personal) estableció que la escarpa que está al norte de la Avenida Frías tenía un desplazamiento de más o menos 8 metros y que los espejos de fricción estaban bien formados en 1931. También estableció que allí donde la escarpa dobla al sur, una casa estaba partida a lo largo de una fractura, y que las dos partes estaban separadas entre sí por varios metros. Muy distinta es la parte oriental del deslizamiento de terreno desde la Avenida Frías hasta un punto al sur donde corta la Avenida Libertador Bolívar. Se caracteriza por el desplazamiento de la acera de hormigón, del empedrado de la Avenida y de una senda que sube al norte de la avenida. La senda sirve también de drenaje superficial y de evidente alcantarilla abierta. Al costado oriental, el borde del deslizamiento de terreno está algo oculto. Se observó que la serie de fracturas que está más al oeste no pasan al norte de la calle Castro. La serie de fracturas fué determinada por desplazamiento en calles, edificios y paredes que encierran propiedades privadas.

En la parte sudoeste del deslizamiento de terreno, al norte del muro de contención del río Choqueyapu, hay un afloramiento artificial de la Formación La Paz. La estratificación horizontal indica que aquí la Formación La Paz pueda estar en su sitio. La excavación que puso al descubierto estas rocas, fué hecha por Ivan Krsul, contratista de La Paz, al preparar la construcción de un edificio alto. Los dos manantiales brotan de dos entradas separadas de un solo túnel. El túnel se había perforado a lo largo del contacto que está entre las gravas y la Formación La Paz con el propósito de

reunir y deshacerse del agua subterránea para que estén más seguros los cimientos del edificio. Más abajo se indicará un sistema para eliminar el agua subterránea que se encuentra cerca de la superficie en un área mucho más grande. Los manantiales fluyen a razón de 65 litros por minuto en la estación seca, y de 75 a 85 litros por minuto en la estación de lluvias. Como hay tan poca fluctuación con respecto a las caídas pluviales según la estación, la mayor parte del agua de los manantiales debe provenir de otras fuentes.

Otras fuentes de agua de los manantiales fuera de la infiltración directa de las caídas pluviales, son las que tienen su origen en los manantiales de Agua de la Vida y en la Formación La Paz. La serie de pozos registrados por Muñoz Reyes, demuestra que el nivel freático queda más o menos paralelo a la superficie del talud. No pudo obtenerse información acerca de la profundidad a la que se encuentra el agua, pero se presume que la profundidad media varía de 4 a 8 metros. La prueba con colorante hecha por Muñoz Reyes, da un excelente testimonio de que el agua que entra en el suelo por debajo de los manantiales de Agua de la Vida, emergen en la extremidad inferior del deslizamiento de terreno de Santa Bárbara. Probablemente los manantiales de Agua de la Vida, obtienen su agua de estratos de grava de textura gruesa dentro de la Formación La Paz. Hacia el este, la Formación La Paz es mucho más gruesa que en este lugar. Se supone que el agua de la Formación La Paz se insume en el terreno a varios kilómetros al norte y al este del área del plano, y que luego pasa hacia el sur en los estratos de textura gruesa. El agua llega a la superficie en el flanco del río Choqueyapu allí donde los estratos gruesos se hacen de grano más fino y delgado. Aunque la Formación La Paz tiene una granulación más fina en la sección vertical por debajo de la Avenida Frías que por encima de ese punto, ello no excluye la posibilidad de que se hallen cortados por el plano de deslizamiento de terreno uno o más lentes de material de textura gruesa. Si las rocas subyacentes tienen tal secuencia de textura, es muy probable que gran parte del agua que brota como manantiales de superficie, cerca de la base del deslizamiento de terreno, se ha infiltrado por debajo de la superficie. Mediante varias perforaciones verticales de sondeo, se puede comprobar esta supuesta fuente de agua adicional.

Tales sondeos deben hacerse para determinar: 1) la altura de los estratos acuíferos; 2) la composición y textura del material; 3) la correlación de una unidad con otra; y 4) la gradiente del nivel freático. Teniendo en mano estos datos, puede determinarse el mejor método

para eliminar el agua ya que en base de la información existente, sería un desatino recomendar el sitio preciso para los trabajos de drenaje. Sin embargo, la experiencia de otros estudios de deslizamientos de terreno enseña que el terreno inestable se seca y cesan los movimientos subsiguientes, una vez que se ha determinado la ubicación del agua y que se ha desviado la mayor parte de ella fuera del deslizamiento de terreno.

Los métodos para eliminar el agua pueden consistir en la construcción de túneles; en hacer perforaciones casi verticales; o si el volumen de agua lo permite se puede extraer mediante bombeo de pozos y usarse como abastecimiento auxiliar de agua para la ciudad. Si se usan bombas, éstas deben funcionar a su capacidad máxima durante la estación lluviosa. Deben colocarse dos pozos de sondeo en el afloramiento de la Formación La Paz, entre la avenida Frías y la calle Yungas por encima de la escarpa del deslizamiento de terreno; uno debe quedar en la parte oriental del afloramiento y el otro en la parte occidental. Una tercera perforación de sondeo debe hacerse en la ladera del valle, entre la avenida Frías y la calle Corrales.

DESLIZAMIENTO DE TERRENO VILLA PABON - Toda la urbanización en la zona de Villa Pabón ha tenido lugar desde 1931 (Muñoz Reyes, 1955, comunicación personal). Como los taludes que están por debajo de la escarpa principal del deslizamiento de terreno son muy empinados, las calles señaladas son solamente para el tránsito de peatones. La calle sin nombre que pasa por el manantial a la altura de la escarpa más baja del deslizamiento de terreno, se ha usado para automóviles. En 1953, un fallo de la escarpa dividió la calzada paralelamente a su dirección longitudinal. Lo que quedó de la calle, resultó demasiado estrecho para el paso de vehículos. En 1955 se reparó la calle colocándose relleno y plantándose árboles para estabilizar el talud.

El sitio de la calle reconstruida fue antes el comienzo del camino de herradura a los Yungas. A comienzos de este siglo, los manantiales de Agua de la Vida surgían a la superficie exactamente al norte de este camino y se usaba el sitio como abrevadero para las bestias de carga (Muñoz Reyes, comunicación personal). En 1931, los manantiales alcanzaron la superficie más al norte donde se ve el signo de diamante. Más o menos en el lugar del signo de diamante, se encuentra el sitio donde Muñoz Reyes introdujo el colorante. Cuando se hizo la investigación para este informe quedó como único vestigio de los manantiales denominados Agua de la Vida, entonces

importantes, el área bastante pequeña de la parte norte del deslizamiento de terreno.

La causa para el fallo más reciente de la parte inferior del deslizamiento de terreno que formó una escarpa en medio de la calle sin nombre, fué el hecho de que el talud sud se hizo demasiado abrupto o empinado a causa de la excavación vertical en demanda de material para hacer ladrillos y adobes. Junto a este sitio existen otros frentes empinados como resultado del mismo proceso de excavación. Con el tiempo, ellos también pueden ceder.

Se han perforado vertederos o agujeros de desagüe (weep holes) en el muro de contención de la calle reconstruida. Tales vertederos constituyen drenes eficaces y es preciso hacerlos; pero no pueden drenar el agua que está debajo del muro de contención. En este sitio, el agua del manantial cubierto fluye probablemente a lo largo del contacto entre el plano de deslizamiento de terreno y la Formación La Paz subyacente, la que se encuentra de 1 a 5 metros debajo de la base del muro de contención. Para impedir que entre el agua en el deslizamiento de terreno y el material de relleno, debe interceptarsela directamente al llegar a un punto que esté debajo del costado norte de la calle. Se sugiere que se instale un dren del tipo ilustrado en la figura 9 y debe colocarse a una profundidad aproximada de 2 metros de manera que su base esté sobre la Formación La Paz. Su orificio para la salida del agua debe estar al este, donde la calle tiene una gradiente empinada.

Puede que todo lo necesario para estabilizar esta parte del deslizamiento de terreno, sea la instalación y el funcionamiento apropiado del dren indicado. Sin embargo, si existen otras capas acuíferas a mayor profundidad, la cantidad de agua desviada del deslizamiento de terreno mediante drenes tal vez no sea suficiente para mantenerla bajo control. Por esta razón se sugiere que se haga una perforación de sondeo en la cercanía del manantial, para determinar la presencia o ausencia de capas acuíferas a profundidad. La perforación debe llegar a una profundidad que se encuentre por debajo del brocal de las perforaciones realizadas en la avenida Frías.

Se posterga las sugerencias para el control inmediato del deslizamiento de terreno debajo de la escarpa que pasa entre las letras A y B de Pabón, hasta disponer de mayor información acerca del subsuelo. Tal información adicional que debe obtenerse, es la que darían las perforaciones por hacerse en la calle encima de la escarpa. Una perforación debe estar en la calle comenzando junto a la letra P de Pabón, y la otra cerca del extremo sudeste de la mis-

ma calle.

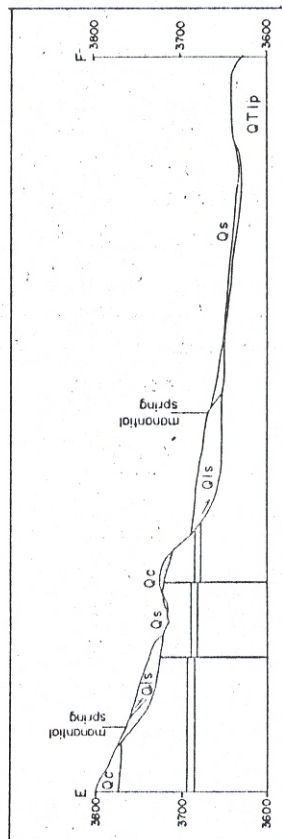
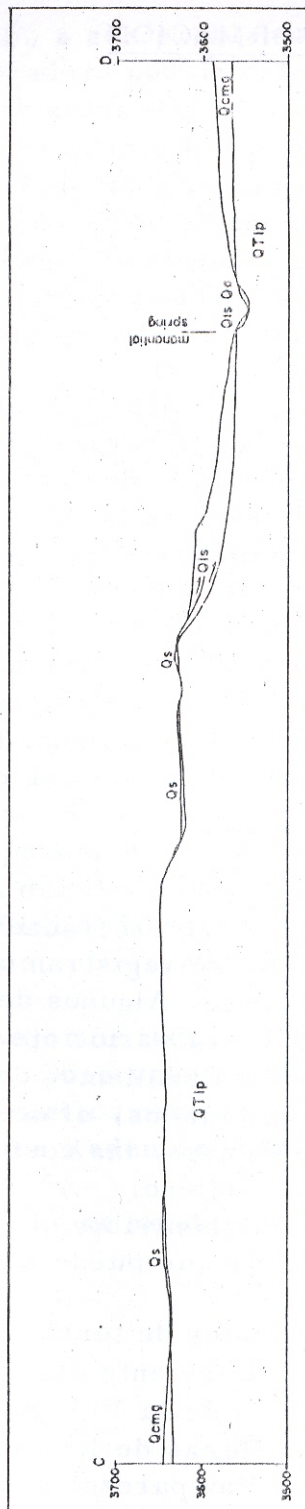
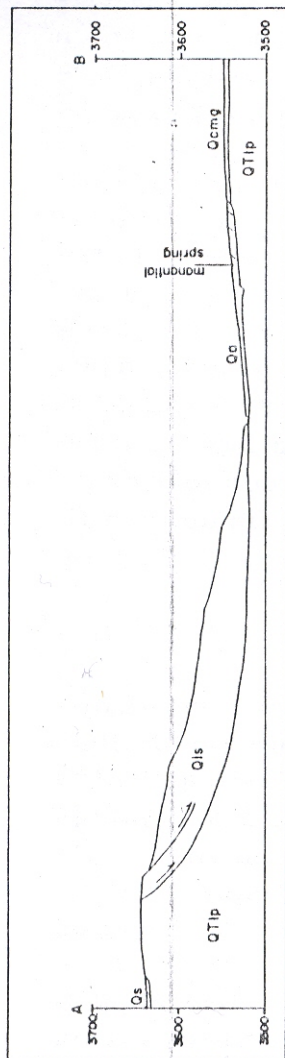
Si se sigue el consejo de hacer perforaciones, uno de los primeros problemas que deben resolverse, será cómo guiar la perforación a los sitios preferentes. Las calles son tan empujadas que se necesitan gradas, y algunas son tan angostas que no puede pasar un vehículo. Aunque no sean de la incumbencia de este informe, estos problemas llevan a otra pregunta muy realista: Sería una necesidad el desarrollo (urbano) de esta área?

EXPLICACION DE LOS CORTES TRANSVERSALES

Los cortes transversales de la figura 7 se trazaron para dar una idea de las relaciones litológicas a profundidad. Se recalca que sólo la superficie presenta hechos conocidos. Las partes de los diagramas que están debajo de la superficie, son conjeturas que más o menos se ajustan a hechos generales conocidos acerca de la posición de los planos de deslizamientos de terreno.

En la mayoría de los cortes transversales, se conocen dos puntos críticos del deslizamiento de terreno, éstos son: la escarpa principal y el dedo. No todos los deslizamientos de terreno se ajustan en detalle al croquis del diagrama ya que existe una conformación general entre los deslizamientos con la clase de terreno y por tanto hay diferencias particulares. Tales diferencias son especialmente frecuentes en un área como ésta, donde ha habido tanta alteración del estado natural a causa de la extracción del material como también por construcciones inherentes al desarrollo urbano.

En la sección E-F de la figura 7 se muestran esquemáticamente dos fallas de la Formación La Paz deducidas de observaciones que sugieren la existencia de fallas de pequeño desplazamiento. Las líneas horizontales que están desplazadas hacia abajo en las fallas y se extienden hacia el plano de deslizamiento, indicarían la existencia de una capa acuífera a lo largo de la cual el agua podría migrar de izquierda a derecha debajo de la superficie y hacia el plano de deslizamiento de terreno. En otras partes de este informe, se trata de la importancia del control del agua del subsuelo que puede dirigirse en forma de capas acuíferas hacia el plano de deslizamiento de terreno. Se observa un error de cota al lado izquierdo del corte transversal E-F de la figura 7, pero tiene poca importancia para el propósito del diagrama.



APPROXIMATE SCALE 1:7500 - ESCALA APROXIMADA 1:7500

FIG. 7 - CROSS SECTIONS FROM MAP OF PARQUE CENTRAL, SANTA BARBARA, VILLA PABON AREA
FIG. 7 - SECCIONES TRANSVERSALES DEL MAPA DEL AREA DEL PARQUE CENTRAL, SANTA BARBARA, VILLA PABON

NECESIDAD DE MAYOR INFORMACION

Se requiere de mayor información antes de que se pueda finalizar un programa unificado que encare la estabilización de los deslizamientos de terreno. La mayor parte de tal información puede obtenerse mediante perforaciones de sondeo. Para su uso más eficaz, deben tomarse testigos o muestras de suelo. La recuperación de testigos de los lentes de grava será pequeño, pero donde la Formación La Paz presenta grano fino, la recuperación será mucho mayor.

Los datos específicos que se necesitan son los siguientes: 1) ubicación de los planos de deslizamiento; para tal fin se podrán perforar dos o tres pozos de sondeo en cada uno de los deslizamientos de terreno principales; 2) debe comprobarse la existencia de capas acuíferas ya que pueden haber uno o más lugares bajo la superficie donde se encuentre agua; debe calcularse la cantidad de agua producida por cada estrato; 3) debe ubicarse, con mayor grado de seguridad, el borde del valle del río San Pedro y el contacto entre la Grava Miraflores y la Formación La Paz, para poder determinar con más exactitud el origen del agua que entra en el relleno, con el fin de planificar el proyecto de control.

CONCLUSIONES

1. Los deslizamientos de terreno son activos durante la última parte de la estación lluviosa. No se registran movimientos de mayor escala durante la estación seca. Algunos de los deslizamientos de terreno permanecen inactivos por varios años. Las causas principales para el movimiento de deslizamientos de terreno en el valle de La Paz, son los taludes empinados, el material poco consistente, el agua, y, en algunos lugares, las costumbres erróneas en construcciones y colocación de relleno.

2. De los varios factores que contribuyen a los deslizamientos de terreno, el agua es el factor que puede controlarse en forma más económica.

3. El agua en los deslizamientos de terreno del área en estudio llega al material inestable directamente de las lluvias, desde los manantiales denominados Agua de la Vida que están cerca de la superficie y de las capas acuíferas de la Formación La Paz.

4. Aunque la Formación La Paz parezca estable, partes de ella están también involucradas en los deslizamientos de terreno.

RECOMENDACIONES

1. Deben hacerse más investigaciones por medio de perforaciones de sondeo, para determinar la ubicación de los planos de deslizamientos de terreno, la aparición y la posición de capas acuíferas en la Formación La Paz y el límite de relleno en el valle del río San Pedro.

2. En base a los resultados obtenidos debe drenarse el agua antes de que llegue a los deslizamientos de terreno. El tipo de drenaje por instalarse, puede ser: túneles, orificios verticales o pozos de bombeo.

3. Durante y después de cada movimiento del deslizamiento de terreno deben hacerse observaciones y registrarse. Ya que por lo menos parte de esta área es importante para la conservación de los servicios urbanos, debe levantarse un nuevo plano topográfico para registrar en él las muchas alteraciones que se han producido desde que se hiciera el plano de la lámina 6. En este nuevo plano deben agregarse las mismas características de los deslizamientos de terreno que se ilustran en este informe.

OBSERVACIONES FINALES

Puede ser que los ingenieros de la Municipalidad se sientan desilusionados ante este informe por contener éste más recomendaciones de un programa de perforaciones, que indicaciones que lleven a medidas de control directas. Si se produjera tal decepción, debe recordarse que el autor de este informe no puede ver tampoco a mayor profundidad del suelo que los otros mortales. Un programa de perforaciones, según se lo esboza, puede reportar beneficios para la ciudad los que compensarían con creces el gasto inicial. Es posible que se ponga al descubierto una fuente de agua subterránea virtualmente desconocida. La potencia de abastecimiento de esta agua subterránea puede, de un modo concebible, aumentar substancialmente el abastecimiento de agua para la ciudad.

Después de trabajar con los ingenieros de la Municipalidad por un año, y llegando a familiarizarme con sus problemas en cuanto afectan a las condiciones del terreno, es obvio que se necesita una perforadora. Este equipo es necesario para dos fines diferentes pero relacionados entre sí: el uno es hacer perforaciones con fines de información, y el otro para proveer de drenaje en las partes críticas de los deslizamientos de terreno. Se requiere tanta información acerca del subsuelo dentro de la ciudad de La Paz y fuera

de ella -con relación a sus problemas de diques y conducción de agua, que una perforadora podría estar en continuo funcionamiento por muchos años.

Si se considera seriamente la adquisición de un equipo de perforación, debe pensarse en el trabajo que de él se espera. La mayor parte de las perforaciones dentro de la Formación La Paz, pueden hacerse con una máquina liviana; pero las perforaciones en la Grava Miraflores u otros horizontes de grava gruesa, requerirán una máquina pesada. Si se quiere usar la máquina para hacer perforaciones casi horizontales, se necesitará una con cabeza rotatoria.

LISTA DE POZOS REGISTRADOS POR EL
PROFESOR JORGE MUÑOZ REYES AL 1931

- Pozo N° 1.- Casa del Dr. Antezana, calle Ballivián, casi esquina Loayza. Observados en 1931. El agua se halló a 6.00 metros de profundidad aproximadamente.
- Pozo N° 2.- Pozo dentro de un convento. No se permitió la entrada.
- Pozo N° 3.- Dos pozos, uno a cada lado de la calle contigua a la casa del Dr. J. M. Camacho. Observado en 1931. Profundidad aproximada de 4.00 a 8.00 metros.
- Pozo N° 4.- Pozo no observado, pero anotado como existente en 1931.
- Pozo N° 5.- El mejor de todos, casa antigua del Dr. César Salinas. Observado en 1931. Profundidad hasta el agua 8.00 metros más o menos.
- Pozo N° 6.- Padres Redentoristas. Observado en 1931. En uso en 1955.
- Pozo N° 7.- Anotada su existencia en 1931.

INFORME SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUELO DEL SOLAR DESTINADO A LA IGLESIA DE LA VIRGEN DE FATIMA EN EL DISTRITO DE CAICONI

INTRODUCCION

La investigación de las condiciones del suelo, haciendo hincapié sobre el agua subterránea del solar de la iglesia de la Virgen de Fátima en el distrito de Caiconi, originalmente fué solicitada por el Sr. Federico Castillo Nava, Coordinador de los Servicios Técnicos Municipales de la ciudad de La Paz. Dicha solicitud fué nuevamente planteada por el Sr. Humberto Lozada por parte de la Municipalidad cuando se hizo cargo de la vacancia dejada por el Sr. Castillo Nava.

El terreno fué donado por la Municipalidad a un grupo local representado por el Comité de Villa Fátima, con el propósito de construir un edificio religioso. El comité de Villa Fátima colaboró en la excavación de pozos de ensayo. Por negligencia, se cerró el pozo sin instalarse antes el tubo destinado a medir los niveles del agua. Esta omisión es importante, ya que a causa de ello, sin contar con los datos que hubiésemos obtenido por medio de medidas directas, los niveles del plano freático que se muestran en el plano y que son discutidos en el informe deben emplearse a criterio personal.

Aunque se han visto los planos de construcción de la iglesia, ellos no contienen informaciones acerca de la profundidad de excavación para las fundaciones. Al conversar en el lugar con la gente a cargo de la construcción, se nos manifestó que la situación de la iglesia podía variarse a lo más 4 metros respecto a la ubicación que se ve en el plano. (Fig. 8). Esta ubicación fué realizada en base a los datos suministrados cuando se hizo el plano en la primera semana de abril de 1955. Sin contar con datos definitivos, las conclusiones son solamente generalizaciones.

Los dibujos deducidos están basados en observaciones hechas desde el mes de octubre de 1954 hasta el mes de abril de 1955. Como se nos informó haber sido excepcionalmente seca la última estación lluviosa, desde diciembre hasta abril, es muy probable que durante los años normales o en los años más lluviosos, el nivel freático puede que esté a mayor altura que el que se muestra en las figuras 9 y 10.

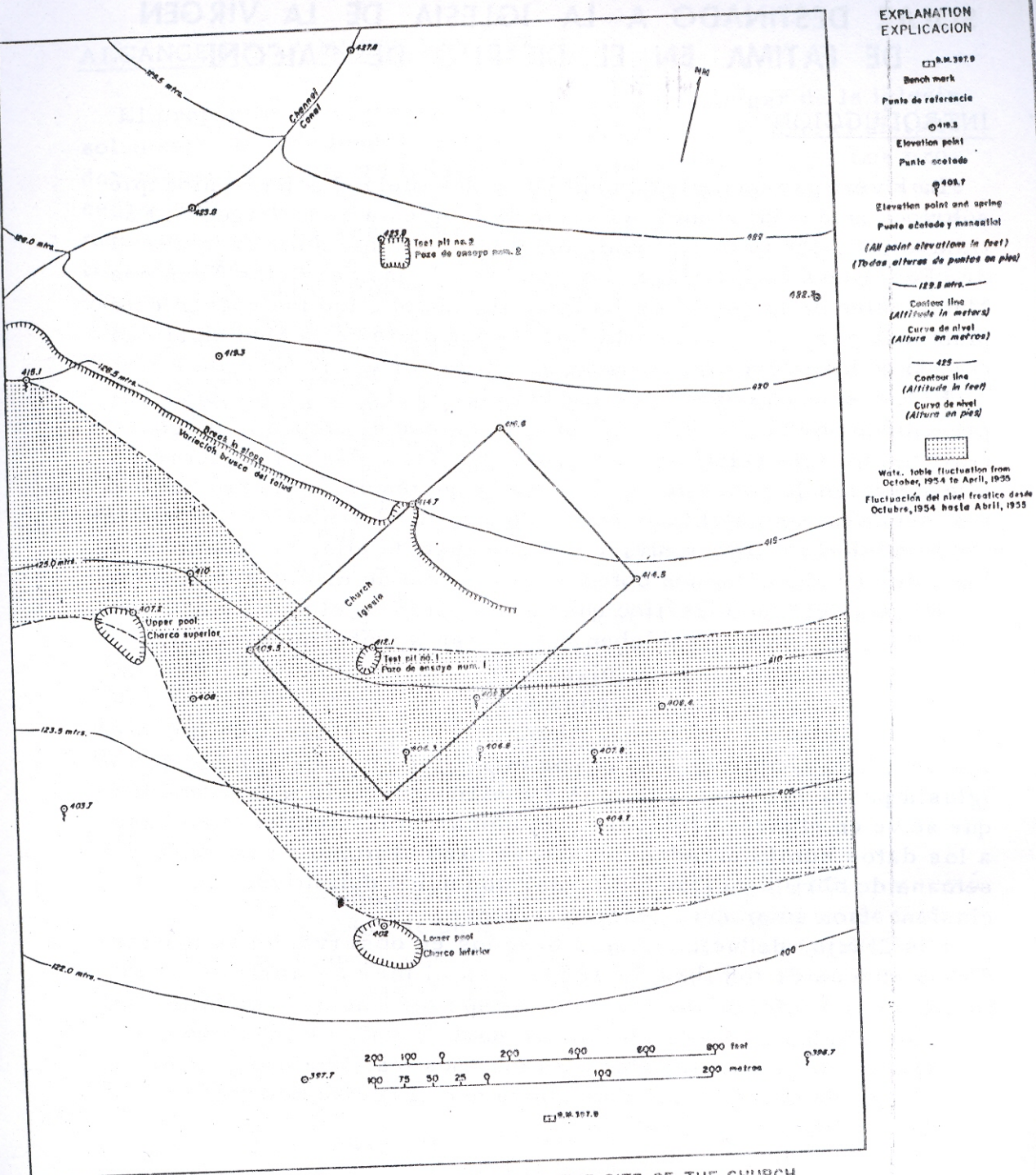


FIGURE 8-MAP OF TOPOGRAPHY AND SPRINGS AT THE SITE OF THE CHURCH
OF THE VIRGIN OF FATIMA

Contour interval 1.5 meters-5 feet

FIGURA 8-PLANO DE LA TOPOGRAFIA Y MANANTIALES DEL LUGAR DE LA IGLESIA
DE LA VIRGEN DE FATIMA

Diferencia entre curvas de nivel 1.5 metros-5 pies

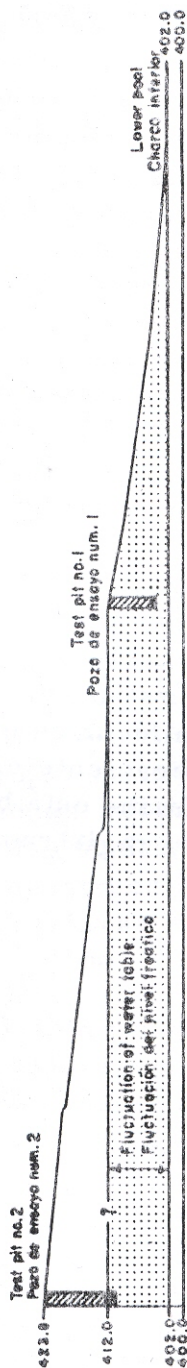


FIGURE 9-GROUND PROFILE FROM TEST PIT NO. 2 THROUGH TEST PIT NO. 1 TO LOWER POOL, SHOWING WATER TABLE FLUCTUATION BETWEEN OCTOBER 1954 AND APRIL 1955

FIGURA 9-CORTE DESDE EL POZO ENSAYO NUM. 2 PASANDO A TRAVES DEL POZO NUM. 1 HACIA EL CHARCO INFERIOR, MOSTRANDO LA FLUCTUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO ENTRE LOS MESES: OCTUBRE DE 1954 Y ABRIL DE 1955

NOTE: The water table level may have been higher at test pit no. 2 than is shown in diagram

NOTA: El nivel del plano freático pudo estar a mayor altura en el pozo de ensayo num. 2 que lo observado en el diagrama

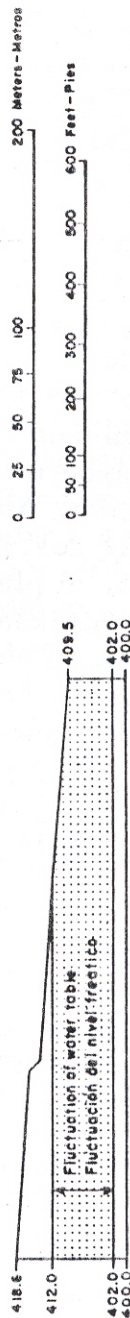


FIGURE 10-GROUND PROFILE ALONG N.W. SIDE OF CHURCH SHOWING WATER TABLE FLUCTUATION BETWEEN OCTOBER 1954 AND APRIL 1955

FIGURA 10-CORTE A LO LARGO DEL LADO N.O. DE LA IGLESIA MOSTRANDO LA FLUCTUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO ENTRE LOS MESES: OCTUBRE DE 1954 Y ABRIL DE 1955

ALCANCE DE LA INVESTIGACION

El propósito de este estudio era investigar el lugar de la iglesia solamente. De una manera general, el desarrollo de todo el distrito de Caiconi se encuentra todavía en la etapa de formación. Los procedimientos para estudiar el área total pueden interpretarse de modo que ellos pueden seguirse en el curso de varios años a partir de ahora en que el desarrollo es más inminente. En efecto, el propósito de este estudio era investigar las condiciones del agua subterránea para determinar lo que debía hacerse, a fin de convertirlo en terreno útil para el desarrollo urbano.

En el mes de octubre de 1954 el solar de la iglesia fué visitado con Castillo Nava y otros ingenieros de la Municipalidad. En ese entonces fué determinada la ubicación de los pozos de ensayo. Los pozos de ensayo fueron inspeccionados varias veces y registrados durante su excavación. Aproximadamente en abril, poco después que se observó que los manantiales comenzaban a aflorar en las cotas inferiores, el plano adjunto de dicha superficie fué hecho con una plancheta y alidada. Como el instrumento empleado estaba calibrado en pies, la mayoría de las cotas están referidas a este sistema. Una semana después, a partir de la fecha en que los datos para el plano fueron tomados, se visitó nuevamente el lugar para observar la bajada del nivel freático. El informe está basado solamente en los hechos que fueron observados y registrados entre los meses de octubre de 1954 y abril de 1955.

UBICACION

El lugar propuesto para la iglesia de la Virgen de Fátima, está sobre la parte inferior de un abanico aluvial en el distrito de Caiconi, al lado del camino que va a los Yungas. El distrito de Caiconi está al norte de Miraflores alto, al lado oeste del río Chuquiagui-llo.

TOPOGRAFIA

Los datos de alturas de control fueron proporcionados por el Sr. José Fabre Viscarra. Las alturas (cotas) no están referidas al nivel del mar. El punto de referencia en base al cual varios puntos fueron establecidos, es una placa metálica al nivel del suelo, en la entrada de la pared que rodea el solar de la iglesia.

El solar ocupa solamente una porción del gran abanico aluvial, el

cual se junta con otros ubicados al noroeste y sudeste. En vista de la magnitud del abanico, la forma del mismo se percibe sólo vagamente por las curvas de nivel. La superficie tiene un talud más o menos uniforme hacia el sud de aproximadamente 6°. Pasando a través del solar de la iglesia, en la dirección este-oeste y ligeramente hacia el norte a partir del centro, se encuentra un declive aproximadamente vertical, que constituye una variación brusca del talud. Como se indica en el plano, el declive debido a la variación brusca del talud presenta su superficie dirigida al sur. En su prolongación occidental próxima al canal, la diferencia de cotas entre la parte superior e inferior de la variación brusca del talud es aproximadamente un metro. En su extensión oriental, donde ha sido destruido por la construcción, la escarpa es menor a medio metro de alto.

En la parte noroccidental del área se encuentra un pequeño canal. En éste se observó la escorrentía solamente por un corto tiempo después de las lluvias. El agua de este canal no contribuyó directamente por corriente superficial a los dos charcos de agua permanente que se presentan en la parte meridional y occidental del área. Otras vertientes adyacentes a los charcos de agua permanente en la parte meridional del área, fluyen solamente durante y poco después de la estación lluviosa.

CONDICIONES DEL SUELO

Los materiales del lugar, son típicos depósitos de abanicos aluviales. Están constituidos de lentes estratificados de arena y grava, con algo de arcilla y limo. Los lentes tienen una inclinación de 5 a 6 grados hacia el sur. Al norte, hacia el vértice del abanico aluvial, los materiales son más gruesos. Hacia el sur los materiales son de grano más fino que el del solar. El agua atraviesa fácilmente aquellos materiales de texturagruosa hasta alcanzar la parte inferior del abanico donde los sedimentos de grano más fino y de textura compacta, determinan que el agua alcance la superficie en forma de manantiales.

Es sabido que el solar está ubicado en un área de manantiales activos. Durante el último período de la estación seca, desde el mes de mayo hasta el mes de diciembre, proveen agua sola y continuamente los manantiales inferiores. El charco superior provee sólo suficiente humedad como para mantener la hierba verde. No hay registro que indique haber cesado alguna vez el escurrimiento en alguna estación seca. Durante la estación lluviosa, muchos manantiales temporales forman una zona más o menos continúa en

forma de arco que se encuentra por encima o debajo de la curva de nivel correspondiente a los 125 metros (410 pies) del abanico aluvial.

Al final de la estación seca el charco superior permanente era mucho más chico del que se muestra en la Fig. 8. El charco inferior materialmente no era diferente respecto a su forma y tamaño. Estos charcos son manantiales permanentes y en el plano se los ha diferenciado de los manantiales temporales. Los datos reunidos durante el período de observación indican que al oeste de la iglesia el nivel freático intercepta la superficie a una altura mucho mayor que hacia el sud y oeste de la iglesia. Este hecho es importante porque significaría que la altura del nivel freático es mayor que la representada en el confín norte del perfil, donde se carece de control. Durante una próxima estación lluviosa, la posición superior del nivel freático podrá ser determinada con mayor precisión que la que fué posible realizar durante los años 1954 y 1955.

Durante la estación seca no se han observado los otros manantiales pero a medida que avanzaba la estación lluviosa, éstos se hicieron evidentes en la superficie. Algunos aparecieron a una altura inferior que los charcos y otros a una altura superior. Aquellos que afloraron desde los puntos inferiores se hicieron más notorios debido a la cantidad de agua que cubrió la superficie del suelo. Los lugares donde se ven los manantiales más elevados representan la mayor altura aproximada alcanzada por ellos. Observaciones hechas posteriormente mostraron que los manantiales afloraban a alturas inferiores, a medida que progresaba la estación seca.

El agua subterránea que alcanza la superficie del solar de la iglesia es obtenida de dos fuentes, la una es agua subterránea proveniente de la Formación Purapurani expuesta al norte del solar. El otro origen es el de las lluvias locales que caen dentro de la línea divisoria del abanico aluvial. El agua proveniente de la Formación Purapurani pasa subterráneamente a las gravas de los canales superiores y luego se infiltra dentro del abanico aluvial. Posteriormente, en el área del solar el agua alcanza la superficie en la parte inferior del abanico aluvial. De esta manera se originó el agua de los charcos permanentes. El agua de lluvia que cae dentro del ámbito del abanico aluvial contribuye a los manantiales de dos maneras: una parte del agua de lluvia se insume al cuerpo del abanico aluvial por infiltración directa desde la superficie; la parte restante del agua se insume al abanico por infiltración cuando los canales drenan el agua de escurrimiento llevándola por la superficie. En esta forma se origina el agua que causa la fluctuación

por encima del nivel al que se encuentran los charcos.

PROBLEMAS DE CONSTRUCCION

Los problemas de construcción en el solar corresponden a dos categorías principales que están relacionadas mutuamente, ellos son: la resistencia del terreno y el efecto que puede tener el agua en la fundación del edificio. No se hicieron ensayos para determinar la resistencia del suelo ya que no se contó con los datos necesarios que pudieran indicarnos las cargas que puede soportar. Sin embargo, edificios del tamaño y peso aproximados al de la iglesia han sido construídos en el área de La Paz sobre materiales similares sin que el suelo haya cedido.

En sitios conocidos donde las estructuras descansan en materiales de igual composición, la superficie de asiento de las fundaciones está siempre en suelo permanentemente saturado o permanentemente seco. La saturación y disecación alternada en toda la profundidad del material alrededor de las fundaciones debilitará la resistencia del suelo debido a la expansión producida en la arcilla cuando se humedezca y a su contracción cuando se seque. Si se controla el nivel freático de modo que permanezca por debajo del lugar donde se encuentra la fundación, el suelo probablemente soportará la estructura.

Aparte del problema de la resistencia del material de la fundación, existe el del agua que entra a la iglesia. Si el piso de la iglesia está a una altura de 410 pies, o algo más, el agua probablemente entrará a la iglesia a través del piso. Esto no quiere decir que la parte inferior del edificio estará completamente cerrada de modo que cuando suba el nivel freático del suelo no entre el agua.

Para aumentar la resistencia del suelo y para impedir la entrada del agua al piso de la iglesia deberá controlarse el nivel freático por medio de un drenaje efectivo en el subsuelo.

CONCLUSIONES

1. La fluctuación del nivel freático en el solar de la iglesia está originada principalmente por la lluvia. Los manantiales y charcos permanentes reciben el agua subterránea de la Formación Purapurani y la altura a la cual el agua se mantiene en ellos representa el límite inferior de la fluctuación del nivel freático.

2. En épocas más lluviosas es probable que el límite superior de fluctuación del nivel freático esté a mayor altura que el mostrado

en la Fig. 9. En los próximos años pueden hacerse observaciones para determinar con mayor precisión el límite superior de la fluctuación del nivel freático.

3. En estados permanentemente secos o húmedos los materiales del lugar pueden tener suficiente resistencia para soportar el peso de la iglesia.

4. El nivel freático debe ser controlado, de modo que el suelo cerca a la fundación se mantenga seco a fin de evitar que el agua no entre al piso de la iglesia.

5. Puede conseguirse el control del nivel freático del suelo colocando alrededor de la iglesia un sistema de drenajes subterráneos.

RECOMENDACIONES PARA EL DRENAJE INTERNO

No hay más que una recomendación, y se refiere a que la fundación que rodea el solar de la iglesia, deberá protegerse del levantamiento del nivel freático instalándose un sistema efectivo de drenaje interno. Al escoger la clase de drenes a usarse, hay dos consideraciones de vital importancia. Los drenes deben colocarse de modo que colecten el agua y funcionen continuamente por un largo período. La clase de sistema de drenaje que se sugiere para el solar de la iglesia es el mismo que se encontró ser efectivo en carreteras y en trabajos de construcción urbana en los Estados Unidos de Norteamérica. Los drenes sugeridos para este solar serán tratados primero, en cuanto se refiere a la clase y segundo, a su ubicación. La razón para instalar drenajes interiores, es interceptar el escurrimiento natural del agua y conducirlo bajo control fuera del área que debe mantenerse seca. La clase de dren que recomendamos se ilustra en la Fig. 11.

En corte, las partes de la clase de dren sugerido son: una excavación, un tubo perforado y material de relleno seleccionado. Las uniones entre las piezas de tubería que conducen el agua fuera del área que debe ser protegida no se indican en el esquema; sin embargo, serán mencionadas. La excavación usualmente es más o menos de 1/2 metro de ancho y varía desde casi 1 metro hasta cualquier profundidad deseada que se estime necesaria, de acuerdo a las condiciones locales del suelo. Usualmente la profundidad no es más de 2 metros y 1/2. Después de haberse hecho la excavación o zanj, se coloca una pequeña cantidad de relleno en el fondo para formar una base continua sobre la cual descansa el tubo perforado. El tubo empleado más frecuentemente tiene perforaciones aproximadamente de 2 cms. de diámetro espaciadas cada 10 cms. en ambos lados

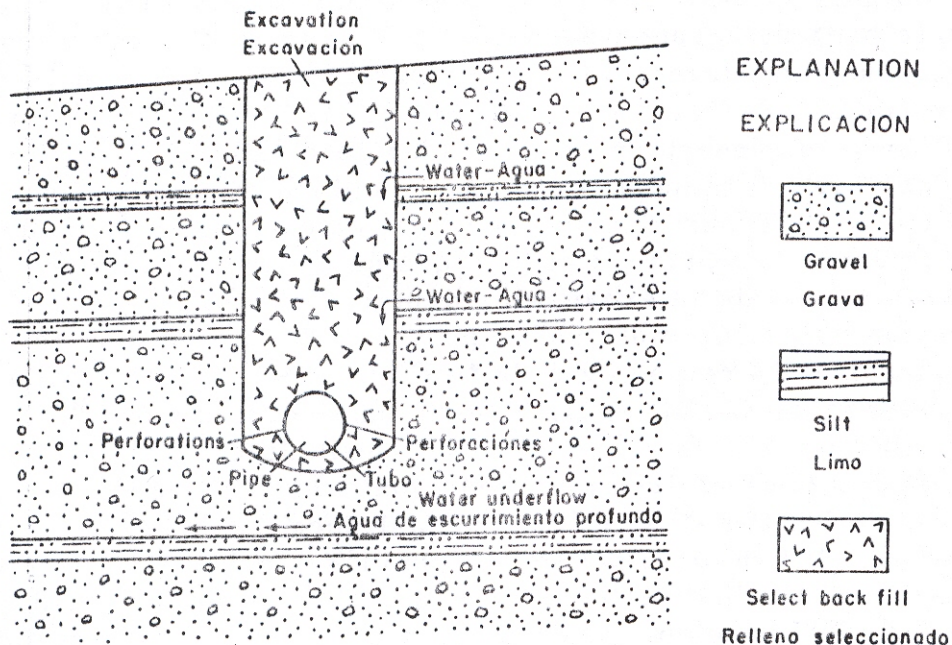


FIGURE 11 - CROSS SECTION SHOWING PARTS OF RECOMMENDED DRAIN AND DIAGRAMMATIC SKETCH OF GROUND CONDITIONS AND FLOW OF WATER

FIGURA 11 - CORTE MOSTRANDO PARTES DEL DRENAJE RECOMENDADO CON CROQUIS ESQUEMATICO DE LAS CONDICIONES DEL SUELO Y ESCURRIMIENTO DEL AGUA

opuestos del conducto. Para las grandes cantidades de agua que deben extraerse por el tubo de drenaje en el solar de la iglesia, se recomienda un diámetro mínimo de 20 cms. El tubo se coloca lo más verticalmente posible.

Luego la zanja se rellena con arena y grava. La arcilla es usualmente eliminada en un material de relleno seleccionado. El agua que llega al material de relleno es desviada hacia el tubo perforado y luego fluye libremente en el tubo en dirección a la salida. En un sistema de drenes, los tubos conectados deberán tener una pendiente bastante grande para sacar el agua rápidamente desde el lugar donde lo intercepta hasta la salida. La pendiente mínima usada no es menor de 1:100 metros. Los tubos perforados de la clase descrita, se encuentran en longitudes desde 2 hasta 12 pies y pueden cortarse al tamaño requerido. También existen codos y uniones en T. En la instalación las partes de cañería están ordinariamente unidas enchufando el tubo que se encuentra a mayor altura sobre el talud de la excavación dentro del inferior próximo, tapando la unión con material impermeable como el asfalto. En las esquinas, tales como E y F de la Fig. 12 se emplea un codo. Las conexiones B, C, D, G, H, e I, se hacen con uniones T.

En la Fig. 12 el dren que rodea la iglesia desde A hasta E, de E a F y de F a K es el dren principal; los drenes que conectan desde D a G, de C a H y de B a I se llaman drenes transversales. Se sugiere que el dren principal se coloque más o menos a 1 metro y 1/2 a partir del borde de la iglesia. Puede estar a metro y medio más abajo que la fundación. Desde el punto más elevado hasta cerca a la salida, generalmente puede seguir una línea paralela a la superficie, excepto cerca a la salida, donde la excavación para el dren debe ir disminuyendo en profundidad hasta interceptar con la superficie. Se hace hincapié en que las salidas deben ser inspeccionadas periódicamente y mantenerse limpias porque una de las principales razones para el mal funcionamiento de los desagües es la obstrucción de las salidas (Keene y Horner, 1951, p.5).

La profundidad de excavación para los drenes secundarios está controlada por la ubicación de los drenes principales. Aquellos son necesarios porque el agua al correr hacia el sur por medio del dren principal desde E a F escurrirá hacia la fundación en las cercanías de H o I a menos que esté interceptado por el dren transversal DG o CH. Los drenes transversales seguirán el contorno de la superficie con una ligera inclinación a partir del dren principal AE al dren principal FI. Los drenes transversales podrán estar espaciados de modo que el agua de escurrimiento profundo desde el dren más ele-

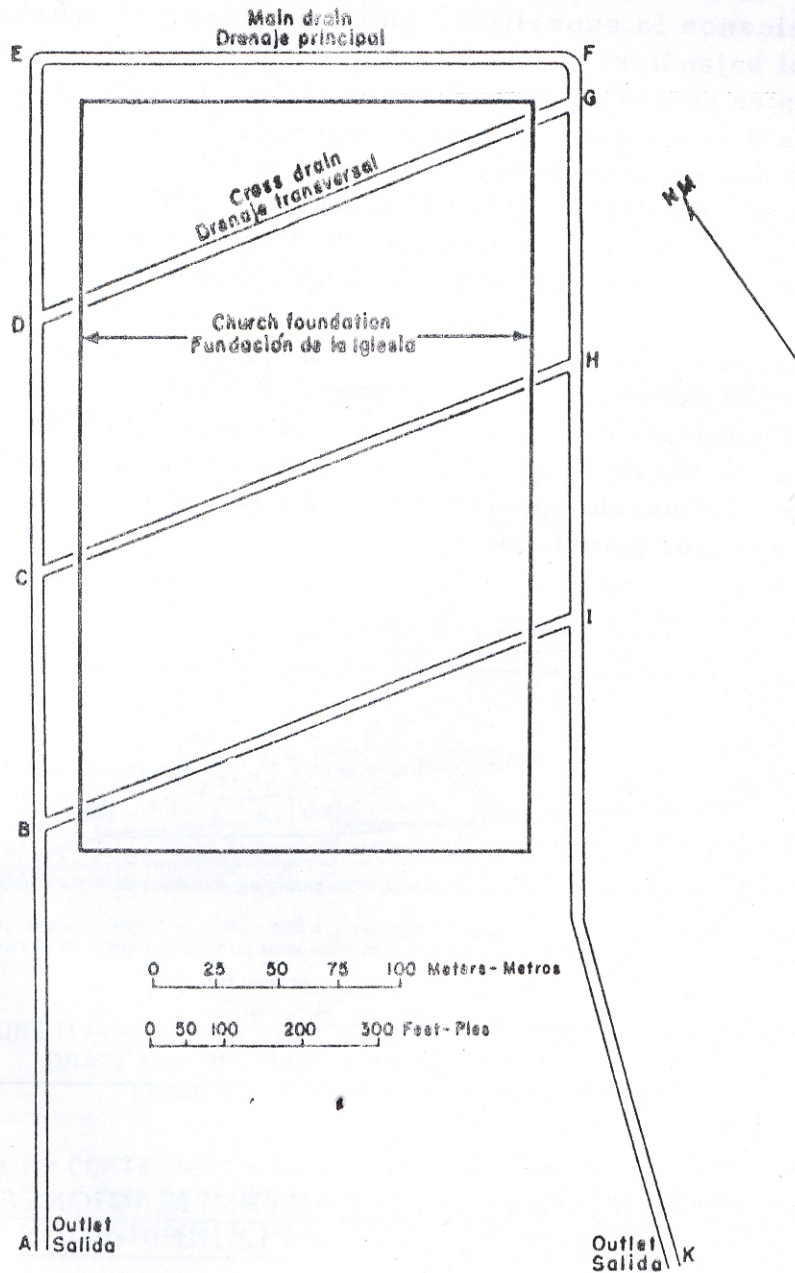
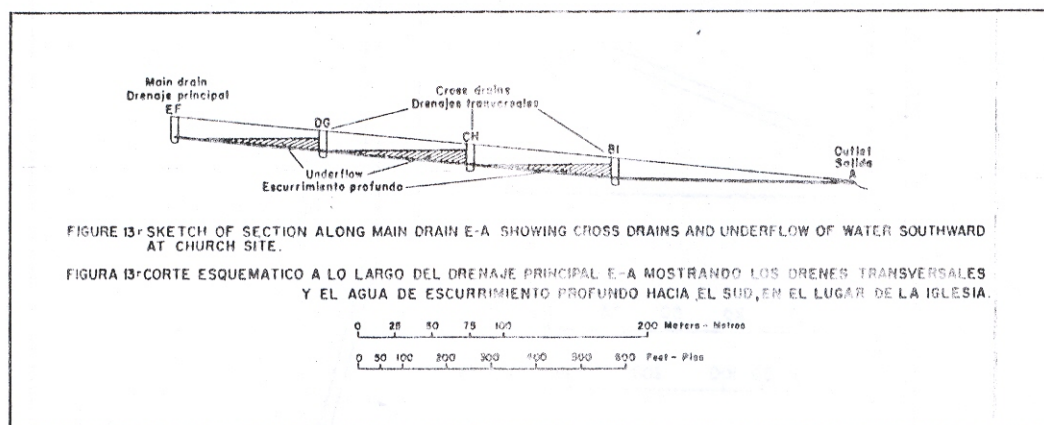


FIGURE 12- PLANE VIEW SKETCH SHOWING DRAINS AROUND CHURCH

FIGURA 12- PLANTA ESQUEMATICA MOSTRANDO EL DRENAJE ALREDEDOR DE LA IGLESIA

vado, no alcance la superficie, antes de llegar al próximo dren transversal bajando el talud. Si los drenes principales se colocan de 4.5 a 5 pies debajo de la superficie, el dren transversal DG debe colocarse a más o menos 33 pies a partir de E de modo que cerca de 1.5 pies del suelo seco estará encima del dren DG. Bajo estas condiciones el dren transversal CH estará a 33 pies de DG y el dren transversal BI estará a 33 pies de CH. Si los drenes principales estarían más profundos se necesitarían drenes transversales.

Las Figs. 12 y 13 son solamente croquis esquemáticos y se incluyen a fin de presentar una idea de la disposición del sistema de drenajes del subsuelo, antes que un diseño sobre el cual se base la instalación misma de los drenes. Cuando se determine definitivamente la posición de la iglesia y la profundidad de las fundaciones puede que sea necesario añadir más drenes transversales o colocar los drenes a mayor profundidad.



RECOMENDACIONES PARA HACER INVESTIGACIONES EN EL DISTRITO DE CAICONI CON FINES DE PLANIFICACION

Debe levantarse un plano similar al de la Fig. 8 de este informe para toda el área. Se recomienda emplear una escala de más o menos 1:500 lo que permitirá colocar la información necesaria; en especial la que se refiere a la situación y altura de todos los manantiales, tanto al comienzo como al final de cada estación lluviosa. Con este objeto se excavarán pozos y perforarán orificios en las intersecciones de todas las calles propuestas.

Son preferibles los pozos perforados a los pozos excavados, aunque una combinación de ambos resultaría también conveniente. Si se hacen excavaciones, cada pozo debe registrarse en la forma en que los pozos de ensayo Nos. 1 y 2 de este informe están registrados. Debe instalarse una cañería en la excavación antes de cerrarla de modo que permitan hacer mediciones y registros periódicos del nivel freático. Las excavaciones deben ser lo suficientemente profundas para cortar el nivel freático superior. Los pozos perforados cortarán el nivel freático inferior, y éste se medirá periódicamente. Después de las lluvias se medirá, o estimará, la cantidad de agua superficial cerca del punto donde las corrientes pasan por debajo de la línea del FF. CC. En la parte inferior de los abanicos, se determinará la fluctuación del agua superficial que entra a las cunetas a lo largo del camino a los Yungas.

Si estas observaciones y medidas son llevadas a cabo por varios años, los datos acumulados indicarán los procedimientos que pueden ser más efectivos para preparar el suelo para los fines de desarrollo urbano.

REGISTRO DE LOS POZOS DE ENSAYO

Pozo de ensayo N° 1.

60 cms., arena muy fina y algo de arcilla. Aparece algo humedecida y tiene la textura de un suelo.

140 cms., lentes estratificados de arena y grava muy fina a gruesa, en parte, más o menos de 10 cms. de espesor.

20 cms., lentes estratificados de grava y arena gruesa.

NOTA: El pozo de ensayo fué excavado a fines de noviembre. Se encontró agua en su base. En pocas horas el agua se elevó 20 cms.; luego, aproximadamente a las 24 horas llenó toda la profundidad del pozo. No se elevó otra vez hasta el mes de marzo al terminar las lluvias, estación en la cual se llenó completamente de agua y comenzó a fluir hacia afuera.

Pozo de ensayo N° 2.

20 cms., arena y arcilla. Algo humedecida de acuerdo a la textura del suelo.

130 cms., lentes estratificados de arena fina y gruesa en unidades de 10 cms. de espesor más o menos. Se presenta algo de arcilla, en los lentes de arena. Esta unidad es seca.

120 cms., lentes estratificados de arena fina y gruesa en unidades de más o menos 10 cms. de espesor. Presenta algo de ar-

cilla. Húmedo en la parte superior de la unidad, pero no contiene agua libre.

105 cms., arena fina y gruesa estratificada en unidades de más o menos 10 cms. de espesor. Contiene más arcilla que la unidad anterior. No hay agua libre.

NOTA: Este pozo de ensayo se terminó el 8 de diciembre de 1954. Se convino en que el tubo se colocaría antes de que se cierre la excavación. Sin embargo, como esto no se efectuó no fué posible determinar la gradiente del nivel freático. Casi todos los lentes individuales de las tres unidades inferiores, tienen una inclinación de 6 grados hacia el sud.

AGUAS SUBTERRANEAS

POR H.E.Thomas

En toda comunidad el agua es un recurso cuyo valor parece que se reconoce sólo en proporción a su escasez. En regiones áridas, donde la precipitación es insuficiente para satisfacer la demanda, la cantidad de agua proveniente de corrientes superficiales o fuentes subterráneas constituye un factor que restringe las actividades humanas, tales como: irrigación, cría de animales, comercio e industria. En cambio, en regiones de abundante precipitación se contará con suficiente agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas para satisfacer las necesidades de las grandes ciudades. Por cierto, que el agua en algunos lugares o en determinadas épocas puede constituir un serio detrimento, como ocurre en áreas de insuficiente drenaje o en áreas de grandes inundaciones. Por lo general, los habitantes de regiones áridas tienen más conciencia del valor de los recursos de agua que la gente que habita regiones húmedas.

La ciudad de La Paz se asemeja a otras comunidades de regiones áridas en que tiene una precipitación pluvial relativamente pequeña, baja humedad y ciertos claros gran parte del año todo lo cual contribuye a un clima agradable. También posee algunas ventajas de aquellas comunidades con un abastecimiento abundante de agua, ya que la demasía de agua originada por la precipitación en las montañas circundantes llega y atraviesa el valle de La Paz. El flujo promedio de agua a través del valle de La Paz es probablemente mayor que las necesidades previstas; dicho de otro modo, si los recursos de agua pudieran ser controlados y regulados eficazmente, se dispondría de una cantidad de agua más que suficiente para las necesidades de todos sus habitantes. Pero el caso es que tales recursos no se hallan regulados y por tanto en la historia de La Paz se han tenido que lamentar períodos de inundaciones perjudiciales o períodos de sequía. En los alrededores de La Paz existen áreas en que el agua es tan remota que probablemente puede obtenérsela sólo a costos prohibitivos; y otras áreas, como hemos visto, donde el agua ocasiona deslizamientos de terreno y problemas de drenaje.

Se puede anticipar que la demanda de agua en La Paz aumentará en el futuro, debido al aumento de población y la expansión indus-

trial y como en otras grandes ciudades aumentará la dependencia y el suministro total de agua.

Actualmente el abastecimiento de agua para La Paz proviene enteramente de fuentes superficiales. Otras instalaciones adicionales serán, sin duda, más costosas que otras similares y anteriores debido a que la captación se deberá hacer en fuentes más remotas, además de que la mayor demanda podrá satisfacerse solamente por un caudal más uniforme del que provee la naturaleza lo cual requerirá de la construcción de reservorios adecuados para el almacenamiento de agua. Los ingenieros de la Municipalidad de La Paz han realizado estudios limitados de fuentes superficiales de agua durante varias décadas. Con el fin de seleccionar las fuentes e instalaciones más confiables en el futuro, es recomendable extender el programa de observaciones del río La Paz y varios de sus tributarios al estudio de las relaciones entre la escorrentía con la precipitación y derretimiento de las nieves; como también averiguar el efecto de los avances y retrocesos glaciales sobre la escorrentía. Tales estudios hidrológicos estaban fuera del objeto de esta investigación.

En muchos lugares de La Paz y sus alrededores el agua subterránea puede constituir una fuente alternativa que es más económica que el agua superficial. Esto sería especialmente el caso de áreas alejadas de corrientes y siempre que existan acuíferos que podrían ser captados por pozos. También los pozos pueden proveer caudales confiables sin la necesidad de construir instalaciones de almacenamiento artificial, debido al almacenamiento natural que es característico de muchas formaciones acuíferas.

Desgraciadamente la hidrología de aguas subterráneas no ha sido estudiada, ni siquiera en forma de reconocimiento y por tanto no existe información sobre la que puedan hacerse predicciones en cuanto a la localización, cantidad y calidad de las aguas subterráneas.

Existen pocos pozos en esta área. Se está bombeando agua de dos pozos en Calacoto. También existen otros pozos en otras localidades pero como su caudal era tan bajo se los ha abandonado. Un pozo cerca de la finca Caiconi, arriba de Miraflores, se ha abandonado por su contenido de bacterias. Todo esto constituye una información muy pobre para un área tan extensa.

Actualmente toda la información disponible y relacionada con aguas subterráneas se basa en la interpretación del mapa geológico general de la ciudad de La Paz y sus alrededores.

En la tabla y mapa adjuntos (láminas 7 y 8) donde se muestra

las condiciones de aguas subterráneas en La Paz y alrededores, las unidades geológicas están principalmente clasificadas de acuerdo a su permeabilidad inferida y luego según su posición geomorfológica y topográfica. Así, la clase I incluye formaciones compuestas casi en su totalidad de gravas y por tanto se presume una excelente permeabilidad. La clase II incluye también formaciones de grava pero con un contenido mayor de limo y arcilla y por tanto menos permeable. Luego la clase III incluye las unidades geológicas con suficiente material fino y cuya permeabilidad puede clasificarse como regular.

En las formaciones incluídas en las clases IV a VI existe predominancia de arcilla, limo y materiales pobremente seleccionados caracterizándose por ser relativamente impermeables. Finalmente la clase VII incluye el "bedrock" cuya permeabilidad es desconocida pero se presume que sea muy baja.

Desde luego, la permeabilidad es una indicación del agua potencial cedida por formaciones geológicas, siempre que las rocas estén saturadas. Por falta de información referente al grado de saturación, la posición del nivel acuífero o las superficies piezométricas de acuíferos limitados, o aún la profundidad del agua en pozos de áreas específicas, no es posible predecir dónde y cuánta agua se encontrará en perforaciones exploratorias. Sin embargo, las subdivisiones de cada clase, las cuales se basan en rasgos geomorfológicos y posición topográfica, provee de ciertas indicaciones del grado de saturación de las formaciones. Así, la clase IA incluye las gravas infrayacentes del Altiplano, donde se presume que el nivel acuífero sea profundo debido a la posibilidad de que el agua se moverá hacia los bordes del Altiplano. La clase IB, incluyendo las grandes pendientes en estos bordes, puede contener agua a gran o poca profundidad, dependiendo de la posición topográfica del lugar donde se realice la exploración.

La mayor parte de las ótras clases están igualmente divididas de acuerdo a caracteres fisiográficos.

Esta clasificación, según la permeabilidad y geomorfología, no tiene relación con la posibilidad económica de desarrollo; como se demostrará por una comparación del mapa geológico con un mapa que muestra la distribución de población e industria, o las necesidades de agua de la región.

Algunas de las formaciones más permeables están alejadas de las áreas de demanda y parecen contener agua sólo a profundidades considerables debajo de la superficie, de manera que el desarrollo para su uso resultaría muy costoso. Sin embargo, la lámina 7 mues-

tra la permeabilidad relativa de algunas rocas en algunas áreas cuyas necesidades adicionales podrían satisfacerse a costos económicos; si esas áreas son generalmente impermeables, el mapa indica también la distancia hasta condiciones más favorables para aguas subterráneas. El mapa señala sólo condiciones relativas, y no se debe tomar como una base para predecir ya sea la cantidad o calidad de agua que podría extraerse mediante pozos.

En el área del mapa las unidades favorables para un contenido de agua, comprende partes de: 1) la Formación La Paz; 2) Formación Purapurani; 3) la Grava Miraflores; 4) abanicos aluviales; y 5) terrazas recientes de grava.

Algunas de estas unidades garantizan una perforación exploratoria más extensa que otras. El término perforación exploratoria, tal como se emplea aquí, significa perforación en áreas favorables con objeto de probar o eliminar la presencia de suficiente agua potable que servirá como una base para decidir si el acuífero deberá explotarse o no.

FORMACION LA PAZ

No existe evidencia de que la Formación La Paz sea productora de grandes cantidades de agua, aunque algunos pozos perforados en la parte oriental del área pueden contener agua de los sedimentos gruesos de la formación. Los sedimentos en la parte occidental se consideran como muy finos para ceder suficiente agua y por tanto no garantizan más que un examen superficial.

FORMACION PURAPURANI

La Formación Purapurani es el acuífero más significativo en los alrededores de La Paz debido a que existen evidencias que indican que esta unidad puede contener grandes cantidades de agua potable y por tanto merece una investigación detallada. Desde luego, todavía se desconocen ciertos hechos relativos a la Formación Purapurani, tales como: transmisibilidad del agua y espesor de los sedimentos saturados. Sin embargo, no hay duda de que la formación contiene grandes cantidades de agua. Todos los manantiales en la ladera occidental del valle del río Choqueyapu, desde el acueducto de Milluni hasta el alto de Sopocachi fluyen desde la parte inferior de la formación, y aunque los manantiales fluctúan algo en volumen, estos fluyen el año entero y contribuyen a la corriente del río Choqueyapu. Como se halla indicado por la presencia de

manantiales a diferentes alturas en la ladera del valle el agua llega a la superficie desde diferentes zonas dentro de la Formación Purapurani, la que contiene muchos lentes discontinuos de limo, arcilla y turba lignítica. Estos lentes son menos permeables que el resto de la unidad y por tanto pueden crear cuerpos temporales y locales de agua subterránea estancada, desde los cuales el agua es descargada por los manantiales de diferentes alturas donde las paredes del valle cortan los lentes. En algunos lugares el agua puede filtrarse a través o alrededor de los lentes menos permeables; sin embargo, entra muy poca agua al til Calvario el cual actúa como una barrera para una mayor migración hacia abajo.

El origen del agua para los manantiales desde el alto de Sopocachi hasta el alto de Lima es esencialmente la precipitación sobre el Altiplano. El suelo en el Altiplano, al oeste del valle, es muy delgado y hay poca correntía; la mayor parte del agua de lluvia se insume en el subsuelo convirtiéndose éste en parte del reservorio de aguas subterráneas.

El área de recarga para los manantiales se extiende 2 a 3 Kms. al oeste del borde del valle hasta la estructura del Kenko. Parte del agua que cae al oeste de las fallas cerca del Kenko se convierte en agua subterránea que luego reaparece en la superficie como manantiales hacia el norte y oeste del valle de Achocalla.

Parte del agua de los manantiales entre el Alto de Lima y el acueducto de Milluni puede originarse cerca del frente montañoso, donde la Formación Purapurani se encuentra cerca de la superficie. Esta es una conjetura que puede probarse sólo determinando la posición del nivel acuífero, y tal determinación podrá hacerse sólo cuando existan pozos que faciliten su estudio.

En el lado norte de muchos de los valles en el área de Palomera, se han observado pequeños manantiales y vertientes. El hecho de que no se han observado estos mismos en el lado sud de estos valles de ríos, indica que el agua en la Formación Purapurani tiene un gradiente hacia el sud y se origina mucho más al norte del Altiplano. Por lo menos parte del agua que llega a la superficie en forma de manantial en la parte inferior de los abanicos aluviales cerca de la finca Caiconi tiene este origen. El agua probablemente se mueve desde la Formación Purapurani hasta los abanicos aluviales donde cruzan el miembro del til Calvario y formaciones inferiores, y luego aparece en la superficie en las partes inferiores de los abanicos aluviales.

GRAVA MIRAFLORES

Algunos manantiales surgen de la base y el techo de la capa de arcilla limosa, de la Grava Miraflores. El manantial más grande observado está en el lado nororiental de la curva del camino en el valle Choqueyapu hacia el sudoeste del Estado Mayor; existen otros manantiales, a través del río Choqueyapu, en el área de deslizamiento de terreno hacia el noreste de la Universidad y a lo largo del río ChuquiagUILlo desde la finca Caiconi. Usando estas observaciones como una primera base, se puede estimar que los pozos darían suficiente agua para usos domésticos individuales, pero no para satisfacer la demanda en la ciudad.

ABANICOS ALUVIALES

El agua probablemente se encuentra en los extremos alejados de los abanicos aluviales por lo menos durante una parte del año. El agua de los abanicos aluviales resultante de manantiales darán agua mientras fluya el manantial. Los abanicos aluviales que ceden el agua de lluvia o de corrientes intermitentes no darán agua durante las estaciones secas. Existen dos localidades donde mayores investigaciones pueden ser prometedoras, éstas son las vecindades de la finca Caiconi y Chijini.

El distrito de Caiconi se había descartado como una fuente de agua potable debido al contenido de bacterias encontradas en algunas muestras tomadas de vertientes cerca de la base de un gran abanico aunque el contenido químico se encontraba dentro de las limitaciones específicas permisibles. Sin embargo, el distrito debe investigarse aún más, ya que el contenido bacteriológico puede resultar por contaminación superficial introducida no lejos del punto de brote de las vertientes. En el curso de la exploración para determinar la cantidad de agua, es probable que se encuentre la fuente de contaminación. Si se prueba la existencia de una constante y suficiente cantidad de agua, puede resultar económicamente posible eliminar o controlar la contaminación responsable del alto contenido bacteriológico.

Los depósitos gruesos del abanico aluvial en el área de Chijini -entre los ríos San Pedro y Aquinalla- pueden dar un flujo constante de agua, originada en las vertientes permanentes de la Formación Purapurani.

Los pozos perforados en las gravas de las terrazas recientes del área de Calacoto han dado suficiente agua para uso doméstico; pero la mayor parte de las viviendas se abastecen del sistema de distribución de la ciudad, la que obtiene su agua de corrientes superficiales. Se cree que en otras áreas las gravas de las terrazas recientes son, o muy impermeables o muy cortas en extensión para merecer un estudio más detallado.

CONTROL DE LA EROSION FLUVIAL

Uno de los ingenieros de la Municipalidad empleó la expresión: "Mi lucha con los ríos" para referirse a las tantas estructuras que había diseñado y construido para controlar la erosión fluvial. Los ríos que corren a través de la ciudad de La Paz están ahondando continuamente su lecho y socavando sus flancos. A medida que éstos se hacen más abruptos son más susceptibles a desmoronarse y éstos son los problemas que tiene que encarar el ingeniero aludido más arriba.

El control de la erosión fluvial puede intentarse de diferentes maneras y éstas incluyen presas de contención, canalización o confinamiento de los ríos por medio de conductos o muros de contención. Las estructuras de control empleadas en los tributarios tienen un objetivo algo diferente de las usadas en los ríos principales.

En algunos de los afluentes de los ríos principales se han construido pequeñas presas de contención de mampostería que se extienden de flanco a flanco y poseen una altura de 2 a 4 metros. Ocupan preferentemente el lugar donde se produce el cambio de gradiente y descansan sobre material "in situ" debajo de las gravas aluviales. Su objetivo es retener la carga, controlar el desgaste y desparramar el flujo de agua. En algunas de las zanjás más profundas y angostas arriba del punto del cambio de gradiente se han instalado otras presas y muros de contención para evitar una mayor erosión y proteger las hoyas de desagüe de concreto o mampostería diseñadas para reunir el agua de las vertientes y poder ser empleada como agua potable antes de que se enturbie durante su recorrido. Estas presas tienen fundaciones poco profundas debido a que las zanjás no son mayores de 1 metro de ancho y poseen una delgada cubierta de aluvión, no mayor de 10 cms. La gradiente de tales zanjás es tan abrupta más arriba que las presas, algunas hasta de 5 metros de alto, no pueden distinguirse de los muros de contención instala-

dos para prevenir los lodazales en el centro de los cursos de agua.

A lo largo de los valles entre Chijini y el alto de Potosí se emplean muchas de tales presas y muros de contención. Los canales de los ríos tributarios están limitados entre paredes de piedra que se extienden desde el lugar en que cambia de gradiente hasta la parte inferior de algunos abanicos aluviales donde el agua entra directamente desde el canal al río principal. En la actualidad se emplean los canales limitantes de mampostería sobre los abanicos aluviales sólo donde éstos se extienden hasta los ríos principales como ocurre al noroeste de Purapurani, en el borde oriental del río Choqueyapu. Sin embargo, en años venideros este método de control podrá ser aplicado en los abanicos cuyos extremos inferiores se encuentran sobre terrazas situadas encima de los ríos principales. En los lugares donde se ha observado el confinamiento por medio de canales el desgaste del río ha llegado hasta más abajo de la base de los muros de contención. Si la altura de los ríos principales permanecería constante, el fondo de los canales de confinamiento de los abanicos aluviales pueden ser rellenados, durante algunas estaciones, hasta sobrepasar la base expuesta de los muros de contención. Por el contrario, si la altura del río principal baja, el canal sobre el abanico aluvial profundizará más.

Se ha intentado el control de la erosión de los ríos principales por medio del confinamiento de segmentos cortos en conductos de concreto de gran diámetro por canalización de otros segmentos del curso de los ríos y aún mediante la construcción de una serie de pequeñas presas de contención. La canalización de los ríos principales puede ser muy exitosa si ambos lados del valle están sobre depósitos no disturbados. Pueden observarse algunos ejemplos de tales condiciones aguas arriba del río Choqueyapu, desde Obrajes hasta el área de deslizamiento de terreno en las proximidades de la Universidad y más abajo de Obrajes hasta la confluencia de los ríos Choqueyapu e Irpavi. Por otro lado, la canalización no será efectiva si uno o ambos lados del valle están constituídos por material de deslizamientos de terreno. Como ejemplo se tiene el deslizamiento al oeste de Obrajes que destruirá cualquier estructura en cuanto el material inestable empieza a moverse como lo hizo en 1945 (Ahlfeld, 1945).

Las estipulaciones necesarias para determinar la localización de las presas de contención son similares que para las de canalización. En los ríos que fluyen a través de la ciudad se están construyendo tales presas no sólo para controlar el caudal de agua sino también para formar una planicie de inundación por medio de la

detención de la carga de los ríos. En la primera etapa de este proceso el tope de la represa aguas abajo tiene la misma altura que las fundaciones de la próxima aguas arriba. Con el transcurso del tiempo la altura de las presas aumentará hasta alcanzar una elevación total de 6 o 7 metros. Una crecida del río rellenará los pequeños reservorios con sedimentos sobre los cuales el río seguirá corriendo. A medida que las presas se eleven, los depósitos asentados en un reservorio actúan como paredes de contención al frente de la próxima presa más elevada.

En el sistema de control por medio de las presas de contención la última presa aguas abajo es la estructura clave. Si ésta cede, las demás aguas arriba también cederán poco después. La ruptura aguas arriba de la estructura clave ocurrirá porque los depósitos del último reservorio detrás de la última presa aguas abajo ha sido acarreada rápidamente por la corriente, eliminando así la influencia de contención de los depósitos al frente de la próxima presa aguas arriba. De tal manera que si ocurre la ruptura de la estructura clave al iniciarse la estación lluviosa y haya imposibilidad de hacer las reparaciones necesarias es muy probable que también las otras presas aguas arriba cedan.

Los conglomerados y areniscas del Cretácico Superior o Terciario Inferior que se encuentran en la angostura de Aranjuez constituyen la mejor localización para una estructura clave. A pesar de que pueden existir infiltraciones, éstas no son de importancia en este tipo de presas mientras no contribuyan a la ruptura de la estructura. En 1955 se estaba construyendo una estructura clave en este lugar.

Los depósitos acumulados en la parte inferior de los reservorios de las presas de contención pueden denominarse "carga muerta" ya que permanecerán estáticos; mientras que la parte superior de los depósitos es transitoria. Una vez que el reservorio se ha llenado, la carga trasladada por las corrientes será la misma que antes de haberse construido la presa. Es decir que la arcilla, limo, arena, gravas y aún pedrones acarreados por el agua desgastarán las superficies de todas las estructuras que encuentren a su paso. En consecuencia, a fin de preservar y mantener en buen funcionamiento tales estructuras será necesaria una inspección sistemática y reparación continua de las superficies desgastadas; en realidad una incesante "lucha con los ríos".

REFERENCIAS

- Ahlfeld, Federico, 1954, *Reseña Geológica de la Cuenca de La Paz*: Instituto Boliviano de Ingeniería de Minas y Geología.
- 1946, *Geología de Bolivia*, Revista del Museo de La Plata: Sección Geología, Tomo III, p.5-370.
- 1954, *Los Yacimientos Minerales de Bolivia*: Bilbao, España, p.7-277.
- 1956, Chapter on Bolivia: in *Handbook of South America Geology*: Geol. Soc. America Mem. 65, p.169-186.
- Baker, R. F., and Marshall, H. E., 1958, Control and correction, Chapter 8: in *Landslides and engineering practice*, E. B. Eckel, editor: Highway Research Board, spec. rept. 29, p.150 - 187.
- Berry, E. W., 1932, *Sketch of the Geology of Bolivia*: Pan Am. Geol.; v. 57, pp.241 - 262.
- Bowman, Isaiah, 1909a, *Physiography of the Central Andes*, Part I The Maritime Andes: Am. Jour. Sci., v.28, p.197-217.
- 1909b, *Physiography of the Central Andes*, Part II The Eastern Andes: Am. Jour. Sci., Series 4, p.373 - 402.
- 1916, *The Andes of Southern Peru*: New York Am. Geog. Soc., spec. pub. 1, p.336.
- Dobrovolsky, E., 1956, *Geología del Valle Superior de La Paz, Bolivia*: H. Alcaldía Municipal de La Paz, Bolivia.
- Douglas, J. A., 1914, *Geological sections through the Andes of Peru and Bolivia; I-From the coast at Arica in the north of Chile to La Paz and the Bolivian Yungas*: Geol. Soc. London Quart. Jour., vol. 70, pp. 1-53.
- D'Orbigny, 1842, *Voyages dans Amerique Meridionale*: Tomo III, Partie 3, p.120, Chez P. Bertrand, Paris.
- *Encyclopedia Britannica*, 1951, v.1, p.735.
- Felsch, Johannes, 1919, *Reconocimiento Geológico de las Aguas Subterráneas en los Alrededores de La Paz*: Junta Impulsora de Aguas Potables de La Paz - República de Bolivia, 11p. Typewritten file copy, Municipalidad, La Paz Bolivia.
- Forbes, D., 1861, *Report on the Geology of South America*, Part I, Bolivia and Southern Peru; with notes on the fossils by Huxley, Salter, and Jones: Geol. Soc. London Quart. Jour. v. 17, p.7 - 62.
- Foster, M. B., 1950, *Puya, The Pineapple's Andean Ancestor*: Natl. Geog. Magazine, vol. 98, pp.463 - 480.
- Gregory, H. E., 1913, *The La Paz (Bolivia) Gorge*: Am. Jour. Sci., v.36, p.141 - 150.

- Harrison, J.V., 1943, The Geology of the Central Andes in part of the province of Junin, Peru: Geol.Soc.London Quart.Jour.v. 99, p.1 - 36.
- Hauthal, R., 1911, Reisen in Bolivien und Peru - Leipzig: Duncker y Humbolt Picture No.46, p.125.
- Hettener, A., 1887, Field notebooks, quoted by Troll, 1935, p.449 and 452.
- Huxley, T., 1860, On a new species of *Macrauchenia*: Geol. Soc. London Quart. Jour., v.17, p.73 - 84.
- Keene, Philip, and Horner, S.E., 1951, Subsurface Drainage: Highway Research Board Bull. No.45.
- McLaughlin, D.H., 1924, Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, Dept. of Junin and Lima, Geol.Soc.America Bull., v. 35, p.591 - 632.
- Morum, S.F.W., 1936, The Treatment of Mud-Runs in Bolivia: Inst. of Civil Eng. Jour., v.1, No.3, p.426 - 453.
- Newell, N.D., 1949, Geology of the Lake Titicaca Region, Peru and Bolivia: Geol. Soc. America Mem. 36.
- Ogilvie, A.G., 1922a, Geography of the Central Andes: Am. Geog. Soc., Map of Hispanic America, Publ. No.1, p.240, New York.
- 1922b, Geography of the Central Andes: Map of Hispanic America: Am. Geog. Soc., pub. No.1.
- Oppenheim, Victor, 1943, The fossiliferous beds of Tarija, Bolivia: Jour. Geology, v.51, p. 548 - 555.
- Osborne, Harold, 1954, Bolivia, A Land Divided Royal: Inst. of Internat. Affairs, London and New York, Oxford University Press, London, Chatham House, St. James' Square, S.W. 1 New York 345 East 46th St., N. York 17 N.Y.
- Philippi, R.A., 1893, Vorlaeufige Nachricht ueber fossile Saeugetierknochen von Ulloma: Zeitschr. Geol.Ges.v.44, p.87 - 96.
- Pompecki, S.F., 1905, Mastodon-Reste aus dem interandinen Hochlande von Bolivien: Palaeontographica v. 52, Stuttgart, p. 17 - 56.
- Sancho, Pedro de la Hoz, 1534, Relación para S.M. de lo sucedido en la conquista y pacificación de estas provincias de la Nueva Castilla: (Lime, 1917) English translation by P.A.Means (New York, 1917) p. 163 - 165.
- Sanjinés, Alfredo G., 1948, Síntesis Histórica de la Vida de la Ciudad, 1548 - 1948: 1° premio de la Alcaldía, La Paz Bolivia, 86 p.
- Sefve, I., 1914, Ueber eine Art der Gattung *Macrauchenia* aus Ulloma: Bolivia Geol. Inst. Upsala 12, p.205 - 256.

- 1915, Scelidotherium - Reste aus Ulloma, Bolivia; Bolivia Geol. Inst. Upsala 13, pp. 61 - 92.
- Steinman, Gustav, 1929, Geologie von Peru; Carl Winters Universitätsbuchhandlung Heidelberg.
- Troll, Carl, and Finsterwalder, Richard, 1935, Die Karten Der Cordillera Real und das Talkessel von La Paz (Bolivien) und die Diluvial geschichte der zentralen Anden Hannover: Pétermanns Mitteilungen v. 81, pp. 393 - 399, 445 - 455.
- Taborga, Carlos Gregorio, 1948, Reseña Geográfica de la ciudad de La Paz; in "La Paz en su IV Centenario", 1548-1948: Monografía I.Ed. del Comité Pro IV Centenario de la Fundación de La Paz, Bolivia.
- Walker, E.H., 1949, Andean uplift and Erosion surfaces near Uncía, Bolivia; Am. Jour. Sci., v. 247, No. 9.
- Weeks, L.G., 1947, Paleography of South America: Am. Assoc. Petroleum Geologists, Bull. Vol. 31, p. 1198.
- Zalles, Trigo Arturo, and Gutiérrez G., Juan Luis, 1956, Reglamentos de Parcelación y zonificación: Municipalidad de La Paz, Oficina del Plan Regulador.

APENDICE "A" Secciones Medidas

LOCALIDAD A - SECCION ENTRE EL ALTO DE POTOSI Y TACAHUA

Número de la unidad	Descripción	Espesor (metros)
	Gravas fluvioglaciales del Drift Milluni.	
23	Grava, gruesa, gris.	40
22	Grava, limosa, color canela.	1
21	Grava, gruesa, gris.	44
	Formación Purapurani.	
20	Grava y limo, color canela.	14
19	Grava y limo interestratificados, color canela, bien clasificadas.	43.3
18	Limo con trazas de lignito turbáceo, color canela a gris.	1.5
17	Grava y limo interestratificados, color canela a gris; la grava con guijos bien redondeados se presenta en capas hasta de 9 metros y el limo en capas hasta de 0.5 metros.	33
16	Arcilla, limosa, gris.	1.1
		a 2.2
15	Lignito, turboso, limoso, gris.	0.1
		a 1.5
14	Grava y arcilla, gris.	6.8
13	Lignito, turboso, limoso, gris a negro; lenticular.	1.7

12	Arcilla, arenosa en la parte superior, gris.	1.2
11	Lignito, turboso, limoso, gris a negro, lenticular.	1.1
10	Arcilla, arenosa en la parte superior, gris.	1.7
9	Lignito, turboso, mezclado con arcilla, gris a negro.	1
8	Arcilla y grava interestratificada, gris; la mayoría de los clastos tienen unos 0.4 cms. de diámetro y están bien redondeados.	22.2
7	Arcilla con clastos de grava bien redondeados, color gris.	4.6
6	Parcialmente cubierto; en la parte inferior grava gruesa; en la parte superior arcilla limosa color canela a café; el tope más o menos 1.0 metro es grava con fragmentos hasta de 5 cms. de diámetro.	13
	Drift Calvario.	
5	Arena, fina a gruesa con algo de arcilla y grava, de color gris; en los 4 metros inferiores presenta estratificación cruzada con gravilla pizarreña, que pasa hacia arriba a una arena canela ligeramente estratificada.	10
4	Grava, con matrix de arcilla arenosa, color gris; los guijos están bien redondeados, chatos e imbricados.	1
3	Cinerita Chijini, forma una capa conspicua de color blanco a rosado muy	

claro; el contacto inferior es regular mientras que el contacto superior es ondulado con crestas conformes separadas a 1 metro y artesas de 0,2 metros de profundidad.

3.5

Formación La Paz.

2

Interestratificación de arcilla limosa, arena gruesa y arcilla color gris acanala; se presenta en capas lenticulares de 0.5 a 1.5 metros de espesor; la arcilla y arcilla limosa hace 3/4 partes de la unidad.

25.5

1

Arcilla, limosa a arenosa, de color gris; están presentes algunos bancos lenticulares de arena con 0.5 metros de espesor.

10.7

LOCALIDAD B -

SECCION ENTRE EL MONUMENTO DEL CORAZON DE JESUS Y EL CE- MENTERIO

Número de
la unidad

Descripción

Espesor
(metros)

Gravas fluvioglaciales del Drift Milluni.

19

Grava, arenosa a limosa, de color café claro a amarillo; pobremente clasificada; muchos fragmentos con un diámetro de 10 cms., algunos hasta 30 cms. de diámetro, consistentes de cuarcita gris a café, arenisca gris y granito blanco.

28

Formación Purapurani.

18

Interestratificación de grava, arena y limo, generalmente pardo amarillento; las gravas se presentan en bancos

- de 10 a 20 metros de espesor y contienen clastos redondeados a subredondeados de cuarcita, pizarra gris, arenisca y granito blanco, que tienen hasta 20 cms. de diámetro; las capas de arena y limo son de 1 a 3 metros de espesor, lenticulares y con estratificación cruzada. Discordancia entre las unidades 18 y 19. 161.7
- 17 Grava, con algunas capas lenticulares de arcilla hasta de 30 cms. de espesor con muchas pelotas de arcilla, color gris; los 20 cms. superiores son de una arcilla carbonosa y localmente lignítica. 6.7
- 16 Interestratificación de arena y limo con algunas capas de grava y arcilla de color café; emergen muchos manantiales y filtraciones del tope de la unidad. 11.2
- 15 Arcilla y grava, color café; grava limosa y arenosa en la parte inferior; arcilla en la parte superior; localmente carbonosa y limosa. 2.5
- 14 Arcilla y lignito turboso; la arcilla es carbonosa y gris; el lignito está en la parte superior de la unidad y es lenticular con un espesor máximo de 10 cms. 1.2
- 13 Grava, matrix limosa y arenosa, de color gris con el 1/2 metro inferior de color café amarillento. 9.1
- 12 Grava y arena, color amarillento; alguna interestratificación de limo con capas hasta de 20 cms. de espesor. 9

11	Arcilla, carbonosa, gris a gris oscuro.	1.1
10	Arena, limosa, muy fina, de color gris a café.	2.4
9	Interestratificación de arena y grava; la mayor parte cubierto.	15
8	Til, limoso a arenoso, con algo de arcilla, algunos fragmentos de granito blanco, pizarra gris, esquistos y arenisca marrón con un diámetro hasta de 15 cms.; color café a café marrón.	7.6
7	Grava, gris; el cascajo contiene lascas aplanadas y redondeadas.	2.2
6	Cinerita Chijini, color blanco; forma bordes.	6.8
	Formación La Paz.	
5	Interestratificación de arena y arcilla, la mayor parte cubierto.	16
4	Grava, fragmentos bien redondeados de granito blanco, esquisto y arenisca con un diámetro promedio de 5 cms.	2
3	Arena, fina, bien estratificada; localmente contiene fragmentos diseminados de granito blanco.	2.8
2	Arcilla, dura, gris; contiene algunos guijos.	0.8
1	Mezcla de grava y arcilla, gris; pobremente clasificada con lineación aparente; mal expuesta.	1

LOCALIDAD C -

ACUEDUCTO DE MILLUNI - PLAN-
TA ELECTRICA

Número de la unidad	Descripción	Espesor (metros)
21	Ripios de construcción.	5
	Til del Drift Milluni.	
20	Til, limoso, de color gris a canela; cubierto por suelo parduzco de 15 cms. de espesor; la unidad está mal expuesta.	125
	Formación Purapurani.	
19	Grava, con fragmentos casi entera- mente de granito blanco, subredon- deados a bien redondeados; su tama- ño varía desde partículas pequeñas hasta pedrones de 1/2 metro de diá- metro; predominan los fragmentos de 5 a 15 cms. de diámetro.	100
	Drift Calvario.	
18	Til, localmente contiene pedrones de granito blanco hasta de 1/2 metro de diámetro; pedregoso en la parte supe- rior; limoso de color gris a gris ma- rrón en la parte inferior.	84
17	Interestratificación de arena y grava con lentes no clasificados.	16
16	Cinerita Chijini, forma bordes; su- perficie superior irregular.	6.5
	Formación La Paz.	
15	Grava, lenticular.	1.4

14	Arcilla, arenosa, color parduzco.	0.6
13	Grava y arena, gris; grava en matrix de arena fina a gruesa.	7.1
12	Arena, alternación de arena fina y gruesa en lentes de 1/2 metro de espesor y algunos lentes de grava de granito blanco hasta de 10 cms. de espesor; cerca del centro un lente consiste de arena fina con 5 cms. de espesor con fragmentos que pueden ser de vidrio volcánico.	7
11	Arcilla, lenticular, gris; parcialmente cubierta.	0.7
10	Grava, fragmentos de granito blanco bien redondeados.	1.5
9	Arena, fina a gruesa, color gris; alternando con capas de 0.3 a 0.5 cms. de espesor; a 1.5 metros debajo del tope hay un lente delgado arenoso con algunos fragmentos que pueden ser de vidrio volcánico.	6.5
8	Arena, fina a gruesa, color gris; algunas partes están intensamente teñidas con limonita.	0.7
7	Arcilla y algunos granos diseminados de arena y grava cerca de la base, color gris.	1
6	Grava, gris a negra; el cascajo está compuesto de discos planos de pizarra.	0.4
5	Alternación de capas de arena, grava y arcillas grises con un espesor hasta de 20 cms.	7.9

4	Arena y grava, alternando en capas de 10 a 20 cms. de espesor; contiene clastos de granito blanco bien redondeados que varían entre 3 y 8 cms. de diámetro.	7
3	Arcilla, compacta, gris.	0.1
2	Alternación de arena y arcilla, gris a gris verdusco; las capas de arena tienen 0.5 a 1 metro de espesor y los bancos de arcilla de 0.1 a 0.3 metros.	11
1	Arcilla, café a café amarillento; contiene clastos bien redondeados de granito blanco en la parte inferior.	0.9

LOCALIDAD D - SECCION MEDIDA EN LA LOCALIDAD TIPO DEL DRIFT PATAPATANI; MEDIDA EN EL FLANCO ESTE DEL VALLE CHOQUEYAPU, APROXIMADAMENTE A 400 METROS AL NORTE DEL LIMITE SEPTENTRIONAL DEL MAPA (Lámina 1). LA PARTE DE LA SECCION ENCIMA DE LA BASE DEL DRIFT CALVARIO FUE MEDIDA CON UN BAROMETRO; LAS UNIDADES ESTAN MAYORMENTE CUBIERTAS.

Número de la unidad	Descripción	Espesor (metros)
	Til del Drift Milluni.	
6	Til.	55
	Formación Purapurani.	
5	Grava, con predominancia de granito blanco.	112

	Drift Calvario.	
4	Til.	68
3	Grava, gris marrón, estratificación cruzada; fragmentos redondeados con un diámetro hasta de 4 cms. consistentes de granito blanco, arenisca y cuarcita.	1.5
	Cinerita Chijini.	
2	Ceniza volcánica, blanca.	6.5
	Drift Patapatani.	
1	Til, mezcla no clasificada de grava, arena, limo, arcilla y pedrones; indurada y oxidada. La parte inferior es de color canela; el primero a 3 metros superiores es café oscuro y está teñido con limonita. Los pedrones son angulares a redondeados, consisten de granito blanco y tienen un diámetro hasta de 0.5 metro; algunos pedrones de esquisto gris están estriados. La base está cubierta por coluvio.	7

LOCALIDAD E - SECCION ENTRE EL CERRO KILLI KILLI Y EL CALVARIO DEL NORTE

Número de la unidad	Descripción	Espesor (metros)
	Formación Purapurani	
13	Grava, limosa, color canela; predominan los clastos redondeados de granito blanco; estratificada.	4.5

Drift Calvario.

12	Til, con fragmentos redondeados a subangulares de granito blanco, pizarra negra, cuarcita y lutita dura marrón en un matrix no clasificado de grava, arena, limo y arcilla; las 2/3 partes inferiores de la unidad es gris claro marrón; la 1/3 parte superior está oxidada a un color canela.	35
11	Arena y grava, no clasificada; color gris marrón.	1
	Cinerita Chijini.	
10	Ceniza volcánica, blanca.	13.5
	Formación La Paz.	
9	Interestratificación de limo, arena y grava en bancos que varían en espesor desde 0.5 a 1 metro; color gris.	77
8	Arcilla, arenosa y limosa con algo de grava, color gris.	28
7	Interestratificación de limo, arena y grava en capas de 0.5 a 1 metro de espesor; color canela.	21
6	Interestratificación de limo, arena y grava en capas de 0.5 a 1 metro de espesor; color gris oscuro.	45
5	Interestratificación de arena, limo y grava en capas de 0.5 metros de espesor; color gris.	12
4	Arena, limosa y arcillosa, con algunas delgadas capas lenticulares de grava;	

	todas las unidades son lenticulares y algunas están truncadas por capas superiores.	15
3	Arena, limosa, con alguna interestratificación lenticular de gravas con guijos de granito blanco con diámetro hasta de 5 cms.	15
2	Arena, limosa, con algo de arcilla; color gris, algunas vertientes emergen del tope de la unidad.	3
1	Arena, limosa, gris; con algunas capas lenticulares de grava.	12

LOCALIDAD F -

SECCION COMPUESTA EN LA PARTE NORTE SUPERIOR DEL VALLE CHUQUIAGUILLO, CERCA DE LA FINCA DEL MISMO NOMBRE. LAS UNIDADES 1 A 25 FUERON MEDIDAS A LO LARGO DEL FLANCO SUD DEL VALLE. LAS UNIDADES 26 A 35 FUERON MEDIDAS EN EL FLANCO NORTE, EMPEZANDO AL ESTE DEL PUENTE DEL FF.CC. SOBRE EL RIO MINAS.

Número de la unidad	Descripción	Espesor (metros)
	Gravas fluvioglaciales del Drift Milluni.	
35	Limo, arenoso con algo de grava; color amarillento (espesor estimado).	10
34	Grava, gruesa, color canela (espesor estimado).	30
33	Limo, algo de arena, grava y pocos pedrones de granito blanco.	20.3

Formación Purapurani.

32	Grava, gruesa, color canela a amarillo; con fragmentos redondeados de esquisto, pizarra, cuarcita y algo de granito blanco en matrix de limo y arena limosa; los pedrones tienen un diámetro hasta de 40 cms.; la unidad está expuesta en las paredes verticales del cañón.	246
	Drift Calvario.	
31	Cubierto.	6
30	Til, mezcla no clasificada de limo, arcilla, arena, grava y pedrones; color gris marrón; los fragmentos son angulares a redondeados de granito blanco, arenisca, pizarra y lutita.	8
29	Grava, arenosa y limosa, color gris a gris marrón; con fragmentos redondeados de granito blanco.	6
28	Til, similar a la unidad de arriba.	3.6
27	Cubierto.	7.5
	Cinerita Chijini.	
26	Ceniza volcánica blanca.	7
	La sección siguiente fué medida al sud del río Chuquiaguillo.	
	Cinerita Chijini.	
	Ceniza volcánica blanca (espesor estimado).	15
	Formación La Paz.	

25	Grava con varias capas lenticulares de limo, con capas hasta de un metro de espesor; color canela, la grava contiene clastos de pizarra, granito blanco, arenisca y lutita dura.	60
24	Arcilla, lenticular; próxima a la mitad incluye lentes de grava hasta de 30 cms. de espesor; color gris.	3.5
23	Interestratificación de grava y limo; color canela; las capas de limo tienen hasta 1 metro de espesor.	6.5
22	Arcilla, color canela a gris; próxima a la mitad de la unidad hay una capa lenticular de grava de 0.5 metros de espesor; compuesta esencialmente de clastos de pizarra negra.	6.5
21	Interestratificación de grava y limo de color canela; los lentes de grava tienen hasta 1 metro de espesor, las capas de limo 0.5 metros; la unidad forma una escarpa vertical.	7.5
20	Limo, arenoso y arcilloso, color marrón a canela.	4
19	Interestratificación de grava y limo, color canela a marrón; las capas de grava varían de 2 a 5 metros de espesor y las de limo de 0.5 a 1 metro.	22
18	Arcilla, arenosa, color gris; con trazas de lignito turboso.	1.3
17	Gravas con lentes de limo, marrón.	6.8
16	Arcilla, con algunos clastos aislados de pizarra y granito blanco, hasta de 5 cms.	1.1

15	Grava, gruesa, limosa, con clastos redondeados a subredondeados de pizarra y arenisca, hasta de 7 cms.	2.6
14	Arcilla, lenticular; color gris a canela claro.	1.4
13	Grava, gruesa, algo limosa, lenticular, con clastos redondeados de pizarra, arenisca y esquisto con diámetro hasta de 10 cms.	2-4
12	Grava y arcilla; muy cubierto.	21
11	Arcilla, limosa, de color gris amarillento, lenticular.	2.6
10	Grava, con fragmentos bien redondeados de pizarra y esquisto cuyo diámetro varía de 5 a 10 cms; se encuentran en un matrix limoso muy deleznable.	11.8
9	Arcilla, carbonosa; lenticular, con algunos clastos diseminados; se presenta una capa de lignito turboso cerca del medio de la unidad.	1.3
8	Grava, gruesa, con clastos bien redondeados de pizarra, esquisto y arenisca, cuyo diámetro varía de 5 a 10 cms.	11.7
7	Arcilla, gris.	1.5
6	Grava, similar a la unidad 8.	6
5	Cubierto, probablemente grava.	2
4	Grava, similar a la unidad 8.	6
3	Arcilla, limosa.	2.2
2	Grava, limosa, gris; vertiente en la base.	2.6

1

Arcilla, limosa, con algunos clastos
diseminados del tamaño de una grava;
color gris.

2