

GEOLOGIA GLACIAL DEL ALTO RIO SANTO DOMINGO

ANDES VENEZOLANOS

por

Carlos Schubert



Fig. 1. Mapa índice.

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Apartado 1827
Caracas, Venezuela

RESUMEN

Los rasgos glaciales que se encuentran en la Sierra de Santo Domingo incluyen rasgos erosionales: aristas, agujas, valles glaciales, rocas aborregadas, circos, estrías y surcos; y rasgos deposicionales: morrenas, bloques erráticos y terrazas y depósitos fluvio-glaciales. Las morrenas consisten de "till" sin escogimiento, con tamaños de granos desde arcilla hasta cantos, cuya composición refleja aquella de las rocas en la Sierra: el Grupo Iglesias, una secuencia precámbrica (?) de gneises y esquistos, intrusionados por diques y vetas graníticas. La fábrica interna del "till" refleja el movimiento de los glaciares. Se hallaron dos niveles de terrazas fluvio-glaciales dentro de un valle morrénico, las cuales fueron depositadas por agua torrenciales producto de la fusión de los glaciares, posteriormente al retiro de los mismos. La discordancia entre las dos terrazas probablemente se debió a movimientos a lo largo de la falla de Boconó, la cual corta algunas de las morrenas.

La edad de los rasgos glaciales se determinó por comparación con otras regiones (Andes colombianos) y fechamiento por radiocarbono de sedimentos post-glaciales ricos en material orgánico. Los depósitos glaciales probablemente son más antiguos que 10.000 años antes del presente (A.P.) y más jóvenes que 18.000 años A.P.

INTRODUCCION

Este informe trata sobre la geología glacial del alto valle del río Santo Domingo en los Andes venezolanos. El área estudiada se encuentra en la parte noreste del Estado Mérida (Figura 1), y sus coordenadas geográficas son aproximadamente: $8^{\circ} 46,8'$ a $8^{\circ} 49,7'$ de latitud norte y $70^{\circ} 46,5'$ a $70^{\circ} 50,4'$ de longitud oeste. Las elevaciones varían entre 2900 y 4000 m sobre el nivel del mar.

El trabajo formó parte de un proyecto multidisciplinario en los Andes patrocinado por la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (ASOVAC) a principios de 1970. La geología de las regiones adyacentes fue descrita por Schubert (1968 y 1969) y Kovisars (1969). Se preparó un mapa geológico (Figura 2) y se estudiaron los sedimentos y estructuras glaciales a lo largo de la carretera Santo-Domingo-Mérida y a lo largo de las quebradas y caminos. Los afloramientos no son frecuentes y la meteorización es intensa.

La geología glacial ha sido descuidada consistentemente por la mayoría de los geólogos que han trabajado en los Andes y todas las descripciones son muy someras. Este informe es un intento de estudiar los depósitos glaciales en más detalle para demostrar sin duda alguna la acción de las glaciaciones pleistocenas en los Andes venezolanos. Al mismo tiempo, se espera que estimule el interés en este tipo de geología en los países tropicales.

Un resumen de este informe fue presentado ante el Primer Congreso Latinoamericano de Geología, Lima, Perú (Noviembre de 1970).

TRABAJOS ANTERIORES

Entre los primeros que informaron sobre los efectos glaciales en los Andes venezolanos está Sievers (1888, p. 163-166). Este autor describió depresiones parecidas a circos y lagunas en las partes altas de las sierras, así como también el contraste entre la topografía abrupta en las partes altas con respecto a las elevaciones medias. Esto lo atribuyó a la probable acción glacial basado en comparaciones con la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). Sievers no encontró evidencias fuertes de glaciación, pero opinó que estudios más detallados los hallarían. Postuló un origen glacial para las lagunas altas y un posible origen asociado para las extensas terrazas conglomeráticas en los Andes. De acuerdo con este autor, el límite de las nieves durante los tiempos glaciales estaba probablemente entre 400 y 500 m por debajo de su posición actual.

En parte siguiendo las sugerencias de Sievers, Jahn (1925 y 1931) realizó un levantamiento de los altos Andes venezolanos y describió abundantes evidencias de glaciaciones anteriores. Entre ellas menciona morrenas, rocas estriadas y pulidas, rocas aborregadas y bloques erráticos. También describió los glaciares más importantes que todavía existen en los Andes y menciona que en 1910 el límite de las nieves se encontraba entre 4500 y 4700 m de elevación. En todos los valles por encima de los 3500 m hay evidencias de glaciación y este autor opina que los glaciares pleistocenos alcanzaron elevaciones de 3500 a 3600 m (1000 m por debajo del límite actual de las nieves). También menciona que los habitantes de esas regiones han observado un retroceso en los glaciares durante los últimos 80 años. Entre las razones para el retroceso glacial, Jahn menciona el enfriamiento de la Tierra, la cual produce condiciones atmosféricas de sequía, esto agravado por las actividades agrícolas del Hombre. En sus trabajos, Jahn revisa trabajos anteriores sobre glaciares y glaciación en los Andes que hoy en día son de difícil acceso.

Más recientemente, Royo y Gómez (1956 y 1959) informó sobre los rasgos glaciales de los Andes venezolanos, especialmente aquellos en el alto valle del río Santo Domingo, entre los cuales se encuentran los descritos en este informe. Este autor consideró que los glaciares pleistocenos alcanzaron elevaciones por debajo de los 3000 m, y postuló dos glaciaciones: una más antigua, que alcanzó elevaciones entre 2700 y 3000 m, y una más joven que alcanzó elevaciones de 3500 a 3600 m (reconocida ya por Jahn 1925). Las terrazas presentes en el valle del río Santo Domingo fueron consideradas por Royo y Gómez como productos de la actividad fluvio-glacial. Describió la morfología de las Morrenas Victoria y Mucubají (designadas formalmente en el presente informe) y mencionó las morrenas terminales secundarias de este última. Este autor correlacionó los depósitos glaciales de los Andes venezolanos con aquellos de los Andes colombianos, creyó que eran equivalentes a la glaciación Würm o Wisconsin y consideró que su edad varía entre 70.000 y 8700 años antes del presente (A.P.). Sin embargo, no presentó evidencias para esta supuesta edad.

Finalmente, Cárdenas (1962) informó sobre los rasgos glaciales en el alto río Chama, al noroeste de la región descrita aquí. En su descripción geomorfológica, menciona la existencia entre otros rasgos, de circos, rocas aborregadas, rocas estriadas, morrenas y bloques erráticos. Este autor consideró que durante el último avance, el glaciar alcanzó los 3000 m de elevación, con una longitud de 19 km.

En otras partes de los Andes septentrionales la geología glacial ha recibido más atención. Notestein (1939), Gansser (1955) y Raasveldt (1957) informaron sobre rasgos glaciales de naturaleza similar en la Sierra Nevada de Santa Marta. Oppenheim (1941, 1945 y 1951) publicó trabajos sobre la glaciación en la Cordillera Oriental de Colombia y en el Perú. Este autor (Oppenheim, 1937) también mencionó algunas evidencias de glaciación en los Andes venezolanos. La geología y el clima de la Sabana de Bogotá y otras áreas de la Cordillera Oriental de Colombia fueron investigadas extensamente por van der Hammen (1966), van der Hammen y González (1960a, 1960b y 1964) y González y otros (1965). Sus informes son de gran importancia en la subdivisión del Cuaternario en esas regiones y sus correlaciones con América del Norte y Europa. Un informe general sobre el clima glacial en el norte de los Andes fue publicado por Wilhelmy (1957).

En el resto de América del Sur la geología glacial ha sido estudiada con más detalle en Argentina. Polanski (1965) publicó una recopilación recientemente. Informes más detallados han sido publicados, entre otros, por Flint y Fidalgo (1964 y 1969). La geología del Cuaternario de Chile fue revisada recientemente por Segerstram (1964). Finalmente, un informe general sobre observaciones glaciales en América del Sur fue publicado por Heim (1951), el cual enfatizó la importancia de los movimientos tectónicos en el origen de las glaciaciones andinas.

FISIOGRAFIA

El área descrita en el presente informe se encuentra dentro del flanco norte de la Sierra de Santo Domingo (Figuras 1 y 3), la cual representa la extensión meridional de la Sierra Nevada de Mérida. El punto más alto de la Sierra de Santo Domingo es el Pico Mucufuque con una elevación de 4672 m. Las partes más elevadas de la Sierra, aproximadamente por encima de los 4000 m, forman una serranía larga y angosta, muy abrupta, y con numerosos picos pequeños. Contiene ejemplos típicos de aristas y de agujas pobremente desarrolladas. Las empinadas paredes descienden formando circos, de los cuales la Laguna Negra (Figura 3) es un ejemplo excelente. La mayoría de los circos contienen lagunas, las cuales son remanentes de los glaciares que los rellenaban. Debajo de los circos y comenzando en sus desagüaderos, la topografía está dominada por las morrenas. Estas forman colinas largas, curvas, con forma de herradura, cuya elevación llega a 100 m sobre el nivel de los valles internos, los cuales son planos y pantanosos. Se establecieron cinco complejos morrénicos en la zona del mapa (Figuras 2 y 3): las Morrenas Victoria (nombrada por primera vez por Royo y Gómez, 1959, p. 332), La Canoa, Canoita, Mucubají y Zerpa. La figura 4 muestra un ejemplo típico, la Morrena Zerpa, con sus morrenas laterales y terminales.

Todas las morrenas contienen quebradas que fluyen dentro del valle central formando lagunas, turberas y pantanos, excepto la Morrena Canoita, la cual contiene una quebrada intermitente. Dentro de los valles se encuentran numerosas morrenas más pequeñas, las cuales indican el retroceso de los glaciares. Dentro de la Morrena Zerpa se encontraron terrazas de depósitos fluvio-glaciales (Figura 9), con elevaciones de hasta 25 m. Allí se hallan expuestos dos niveles de terrazas, los cuales, probablemente, representan períodos de elevación de la cordillera, o quizá períodos de precipitación y deposición aluvial más abundantes. Los flancos de las morrenas y las áreas entre ellas, estas últimas consistentes de depósitos fluviales y glaciales mezclados, se hallan cubiertos por numerosos bloques erráticos, algunos de los cuales llegan a tener 20 m, ó más, de diámetro. Valle abajo de las morrenas terminales se encuentran abanicos fluvio-glaciales consistentes en su mayoría de gravas, las cuales frecuentemente forman terrazas.

Las fotografías aéreas demostraron ser de gran utilidad en el levantamiento de las morrenas y otros rasgos glaciales. Se encuentran buenos ejemplos de estas estructuras en las fotografías aéreas N° 173, 174 y 175 de la Misión A-34 (Cartografía Nacional, Caracas).

La falla de Boconó, uno de los rasgos estructurales más importantes de los Andes venezolanos (Rod, 1956; Rod y otros, 1958; Schubert, 1969), corta algunas de las morrenas. El desplazamiento post-glacial a lo largo de esta falla fue medido recientemente (Schubert y Sifontes, 1970) y resultó ser de aproximadamente 66 m en sentido transcurrente dextral. También se hallaron evidencias de movimiento vertical (normal) en escala menor.

SEDIMENTOS GLACIALES

Till morrénico. Se estudió en detalle el till de las Morrenas Victoria y Zerpa. Se recolectaron muestras alrededor de las morrenas terminales en cortes de la carretera debido a que en estas localidades los sedimentos son frescos, el material orgánico es menos abundante y la cobertura vegetal no interfirió con el muestreo.

La Sierra de Santo Domingo consiste de rocas del Grupo Iglesias, de edad precámbrica (?), el cual fue nombrado por primera vez por Kündig (1938 p.22). Las rocas del Grupo Iglesias en regiones adyacentes fueron descritas por Schubert (1968, p. 189-196; 1969, p. 445-446) y Kovisars (1969). En la región de Santo Domingo, al noreste, el grupo fue subdividido en unidades litológicas, una de las cuales, el Gneis bandeado de la Mitisús (Schubert, 1968, p. 190-192), representa las rocas que afloran en la Sierra de Santo Domingo y que, probablemente, es la unidad más antigua del Grupo Iglesias. En esta región existe una secuencia, de espesor desconocido, de gneises y esquistos, con las siguientes asociaciones minerales típicas: biotita-muscovita-cuarzo, biotita-almandino, silimanita-almandino-biotita, hornblenda-plagioclasa-biotita y anfibolitas, todas estas comunmente intrusionadas por diques y vetas graníticas (aprita y pegmatita) y cuarcíferas. Estos tipos de rocas se encuentran en forma de bandas con espesor variable (desde unos centímetros hasta unos metros) y están intensamente plegadas. La composición mineral indica que el grado de metamorfismo de estas rocas llegó a la facies de anfibolita almandínica del metamorfismo regional. Debido a que todas las morrenas están asociadas a valles glaciales que se originan en la Sierra de Santo Domingo, la composición de los tills morrénicos refleja la composición de las rocas que afloran allí.

El till de las Morrenas Victoria y Zerpa consiste de una mezcla sin escogimiento cuya granulometría varía entre arcilla y cantos, sin estratificación aparente (Figura 5). El color de los afloramientos frescos es gris claro. El espesor de los depósitos morrénicos llega a medir 100 m ó más.

Junto con las mediciones de la fábrica descritos más abajo, se determinó el tamaño, la forma, la redondez y la litología de cada uno de los cantos medidos (Tabla 1). Se usaron los tipos de forma descritos por Wentworth (1936, p. 89) y los valores de redondez se usaron aproximadamente en el sentido definido por Pettijohn (1957, p. 59).

La Tabla 1-A muestra la distribución de formas en los cantos del till. Las formas más comunes son la prismoidal y tabular. Los cantos prismoidales varían desde prismas bastante bien definidos hasta formas casi elipsoidales. Los cantos tabulares pueden ser redondos, cuadrados, pentagonales e irregulares. En aproximadamente el 6.3% de todos los cantos se encuentran facetas bien desarrolladas y aproximadamente el 2.5% muestra estrías o surcos. En todos los casos, estas marcas eran paralelas o subparalelas al eje máximo de los cantos. Este porcentaje de cantos estriados es parecido al hallado por otros autores (Wentworth, 1936, p. 95; Flint, 1957, p. 117; Denton y Armstrong, 1969, p. 1127). La mayoría de los cantos son subangulares como lo muestra la Tabla 1-B. Esto es razonable debido a la presencia de facetas y a la distancia relativamente corta de transporte. La litología más comunmente representada en los cantos estudiados es el gneis (Tabla 1-C).

Este gneis varía entre bien bandeado y masivo, granítico, y oscila también entre grano fino o grueso. El esquisto es el segundo tipo litológico más común, y varía entre esquisto biotítico o muscovítico y esquisto cuarzo-micáceo. El granate es un mineral accesorio muy común. Todos estos tipos litológicos son típicos del Grupo Iglesias, descrito arriba. Las litologías de la Tabla 1-C son similares a las del Gneis Bandedo de la Mitisús. En la Figura 6 se muestra un grupo representativo de cantos de las Morrenas Victoria y Zerpa en el cual se puede apreciar buenos ejemplos de cantos facetados.

Las muestras de till morrénico fueron tamizadas y las curvas de frecuencia se muestran en la Figura 7. Existe en ellas poco material más fino que la arena (generalmente menos del 5% por peso). Los análisis granulométricos realizados por otros autores, por ejemplo, Krumbein (1933, p. 389), indican que los tills contienen pocos tamaños predominantes, pero sí pequeños porcentajes de todos los tamaños (frecuentemente con distribuciones polimodales). Esta carencia relativa de material más fino en nuestras muestras probablemente indica que ese material fue removido por drenaje durante la deposición.

Fábrica del till. La fábrica del till se estudió en dos morrenas que presentan relativamente buenos afloramientos: las Morrenas Victoria y Zerpa. Las orientaciones preferentes de los ejes máximos de cantos escogidos al azar se midieron en seis localidades siguiendo el método de Holmes (1941 p. 1304-1310). Se limpió un área de aproximadamente 2 por 2 m sobre el afloramiento (cortes de la carretera en todos los casos) y se midieron y describieron 100 cantos (Tabla 1).

Las orientaciones (rumbo y buzamiento) del eje máximo de cantos de las Morrenas Victoria y Zerpa se muestran en la Figura 8. Los datos se presentan como diagramas de frecuencia; los puntos fueron transportados al hemisferio inferior de la esfera de proyección y las curvas representan la densidad de los puntos. Los rumbos más prominentes se representan con flechas cerca de cada localidad. Holmes (1941, p. 1350), en un estudio detallado de la fábrica de tills, concluyó entre otras cosas, que la orientación de los cantos dentro de un till representa evidencias independientes de la dirección del flujo de los glaciares. Son comunes dos orientaciones, una paralela y una transversal, y ese autor discutió el origen de cada una en detalle. Recientemente, Lindsay (1970) y Lindsay y otros (1970) publicaron análisis de fábricas de cantos en diamictitas y tilitas, y llegaron a conclusiones similares. También mencionan estos autores las implicaciones de estas fábricas sobre las condiciones endoglaciales y subglaciales. Los datos presentados aquí son insuficientes para realizar un análisis detallado comparable, pero las orientaciones medidas pueden ser usadas como indicaciones de la dirección del flujo de los glaciares. Las flechas en la Figura 8 indican las orientaciones más prominentes y se puede observar que son paralelas o subparalelas a la dirección inferida del flujo de los glaciares, basado en relaciones topográficas. Como estas morrenas son los efectos de glaciares de montaña, la dirección de flujo es fácil de determinar. Las orientaciones de los ejes máximos de los cantos medidos en las Morrenas Victoria y Zerpa son una evidencia más de la dirección del flujo de sus glaciares.

Till no-diferenciado. Entre los complejos morrénicos (Figura 2) existen grandes áreas cubiertas por un manto de sedimentos glaciales. El carácter estos sedimentos es similar al del till morrénico, o sea una mezcla sin escogimiento de material que varía entre arcilla y cantos. Esto probablemente se debe a erosión prolongada de las laderas empinadas, suponiendo que este till es más antiguo que aquel de las morrenas. El mayor grado de meteorización y erosión es evidencia en favor de esto último. Una parte de estos sedimentos consiste de depósitos fluvio-glaciales y aluvionales. La falta de afloramientos buenos y la cobertura vegetal impidió el estudio detallado de estos depósitos. La presencia de cantos estriados indica que son, en parte, por lo menos de origen glacial.

SEDIMENTOS FLUVIO-GLACIALES

Dentro de los valles morrénicos se encuentran depósitos de sedimentos fluvio-glaciales (Figura 2), especialmente bien desarrollados en la Morrena Zerpa (Figura 9). Estos sedimentos forman dos terrazas con elevaciones diferentes: 6 a 10 m y 20 a 25 m. En la figura 10 se muestran dos secciones a través de una parte de la terraza inferior (6 a 10 m). La secuencia expuesta consiste de limos y arcillas, arenas y conglomerados. La parte superior de todas las secuencias está cubierta por un conglomerado sin estratificación ni escogimiento, cuya granulometría varía entre limo y cantos. Estos últimos tienen una redondez regular a bien desarrollada, y se encuentran cantos facetados. La litología de la sección expuesta se muestra en la Figura 10. La secuencia tiene un rumbo general de 70 a 100° y un buzamiento de 10 a 25° NE. Son comunes los lentes conglomeráticos, las estructuras de erosión y relleno y la estratificación cruzada. La parte superior de la sección de la Figura 10 muestra una discordancia angular leve. Los estratos horizontales se incluyen dentro de la terraza superior (20 a 25 m), ya que esta terraza está formada por capas horizontales. La terraza superior consiste de arenas y conglomerados arenosos interestratificados en la base, y la parte superior de una capa gruesa (10 a 15 m) de conglomerado de cantos. La secuencia inferior comúnmente presenta estratificación cruzada y contiene numerosos lentes arenosos. También abunda el fallamiento intraformacional con desplazamientos de 10 a 50 cm. La secuencia superior también contiene lentes arenosos; además, muestra estructuras imbricadas en los cantos.

La Figura 11 muestra los diagramas de frecuencia de los diferentes tipos de sedimentos que se encuentran en las terrazas. Las arenas y los conglomerados fueron tamizados. La granulometría de las arenas, limos y arcillas fue determinada por tamizado y el método de pipeta (siguiendo a Folk, 1961, p. 36-39) y las dos curvas de frecuencia granulométrica obtenidas se combinaron según el método de Griffiths (1952, p. 207). En base a estas curvas, se calcularon los tamaños promedio gráficos (graphic mean size) y las desviaciones normales (standard deviation); los valores se encuentran en la Tabla 2. Una comparación entre la clasificación verbal de Folk (1961, p. 45) y los valores de esta tabla indica que los conglomerados arenosos están pobremente escogidos ($\phi = 1,00$ a $1,30$) y las arenas, limos y arcillas están pobre o moderadamente escogidos ($\phi = 0,75$ a $1,40$). Las curvas de frecuencia de las arenas y conglomerados (A en la Fig. 11) se

aproximan más a una distribución normal que las arenas, limos y arcillas (B en la Figura 11); esto probablemente se debe a la diferencia entre los métodos de análisis (tamizado y por pipeta). El escogimiento pobre probablemente refleja la corta distancia de transporte de los sedimentos. La fuente de ellos, que son los sedimentos glaciales valle arriba, se encuentra aproximadamente a 1 km. de la situación actual de los sedimentos fluvio-glaciales.

La leve discordancia angular entre las dos terrazas se interpreta aquí como resultado de movimientos a lo largo de la falla de Boconó. Esta falla corta la Morrena Zerpa en la parte inferior del valle de Los Zerpa (Figs. 2, 4 y 9) y todavía está activa. El desplazamiento transcurrente dextral, con movimiento vertical menor asociado, ha sido medido recientemente (Schubert y Sifontes, 1970). Durante estos movimientos, el bloque sur probablemente se inclinó produciendo la discordancia. Un buzamiento inicial de las capas también puede ser en parte responsable de la discordancia.

El tipo de sedimentos y sus estructuras indica que fueron depositados por corrientes fluviales, probablemente torrenciales. La presencia de cantos facetados y estriados dentro de los conglomerados es evidencia de que los sedimentos fueron derivados de sedimentos glaciales río arriba (probablemente morrenas) y que fueron depositados por corrientes producidas por la fusión del hielo glacial.

En los otros valles morrénicos las terrazas no son rasgos comunes (Figura 2). Las quebradas en esos valles descubren secuencias irregulares de arcillas, arenas y conglomerados a lo largo de sus márgenes. Estas representan los drenajes antiguos de las quebradas. Encima de todas las márgenes se encuentran capas de suelos, los cuales cubren el fondo de los valles. Algunas de estas alcanzan espesores de 1 a 1,5 m.

MODELADO Y EROSION GLACIALES

Los ejemplos más prominentes de modelado glacial que se encuentran en la región bajo estudio son los valles glaciales, circos, aristas y agujas. En la Figura 3 se ilustran la mayor parte de estos rasgos.

Los valles que drenan el flanco noroeste de la Sierra de Santo Domingo son cortos y muy empinados. El alto valle del río Santo Domingo, el cual contiene las lagunas Negra y Los Patos (Figuras 2 y 3), cae 800 m en 2 km. aproximadamente. Los otros valles tienen pendientes similares. Son angostos y escalonados; los escalones probablemente representan circos y son depresiones circulares con paredes muy empinadas que generalmente contienen lagunas. Otras depresiones pueden ser debidas a la erosión, como explica Flint (1957, p. 93). En perfil, estos valles tienen en general una forma en U, aunque en algunos casos está preservado el carácter joven de la topografía, especialmente en las partes más altas. También existen ejemplos de valles tributarios colgantes, las cuales pueden estar a 100 m ó más por encima de los valles principales. Las partes más altas de los valles permanecieron libres de hielo, como lo demuestra la topografía abrupta y la ausencia de evidencias de erosión glacial.

Los circos son estructuras muy prominentes en las cabeceras de los valles (Figura 3). Son rasgos semicirculares con paredes muy empinadas y una apertura en forma de escalón río abajo. Frecuentemente contienen lagunas (Lagunas Negra, Los Patos, Migue-Miste; Figuras 2 y 3). Su diámetro llega a medir 500 a 600 m. El origen de los circos fue tratado, entre otros, por Flint (1957, p. 98-100) y White (1970, p. 123-126). Existen dos procesos que probablemente son responsables de la formación de circos: meteorización por las heladas y erosión glacial. Evidencias de la primera son las grandes cantidades de derrubios de roca que se observan en algunos de los circos descritos aquí; el segundo se refleja en las señales de erosión glacial, tales como las rocas pulidas, estriadas y con surcos, y las rocas aborregadas que se encuentran dentro de los circos y valles glaciales.

En las partes más altas de la Sierra de Santo Domingo, las aristas y, en menor grado, las agujas son rasgos prominentes. La cresta angosta de la Sierra (Figura 3) consiste de una superficie muy abrupta de rocas fracturadas y acuñadas, las cuales son producto de erosión por heladas, no por erosión glacial. La persistencia de las aristas es evidencia de que los glaciares no cubrieron la sierra. Se estima que los glaciares no actuaron por encima de aproximadamente 4000 m.

Las evidencias de erosión glacial son escasas; sin embargo, se hallaron en suficiente número para establecer la acción glacial fuera de toda duda. Entre ellas están las estrías, los surcos, las rocas pulidas y las rocas aborregadas. La escasez de estas evidencias probablemente se debe a la dureza de las rocas: gneises, esquistos, cuarzo-micáceos y anfibolitas; también a la distancia relativamente corta de transporte glacial (de 3 a 5 kms, como lo demuestra la posición de las morrenas terminales). Todo este impidió la producción en gran escala de estructuras glaciales en los fragmentos. No obstante, los glaciares transportaron grandes cantidades de material como lo demuestran los potentes arcos morrénicos.

Se hallaron estrías y surcos en varias localidades: partes altas de las quebradas Mucubají y Los Zerpa (Figura 2). También se encontraron numerosos cantos y guijarros estriados dentro del till (Figura 12), como ya se mencionó antes. Los mejores ejemplos se hallaron en la primera localidad, cerca del límite inferior del valle glacial y donde comienza la morrena (Morrena Mucubají). Allí las paredes del angosto valle muestran estrías y surcos que buzan río abajo con ángulo bajo. No se reconocen fácilmente estas estructuras debido a la naturaleza foliada y bandeada de las rocas, pero se encontraron varios ejemplos (Figura 13). Los surcos que se muestran en esta fotografía miden aproximadamente de 3 a 5 cm de ancho y de 1 a 2 cm de profundidad. Las estrías, no visibles en la fotografía, también son abundantes.

En todos los valles glaciales se hallaron rocas pulidas y, con más frecuencia, rocas semi-pulidas. La dureza de la roca no permitió que este se desarrollara bien. Las rocas aborregadas se encontraron principalmente en la quebrada Mucubají superior. Allí forman colinas pequeñas y redondas, con una parte pulida mirando valle arriba, y una parte abrupta y fragmentada mirando valle abajo. Estas estructuras se asemejan a aquellas ilustradas por Flint (1957, Figuras 5-6) y West (1968, Figuras 3.12 y p. 42). Estos rasgos junto con los surcos y las estrías, son evidencia del movimiento de los glaciares valle abajo en el flanco noroeste de la Sierra de Santo Domingo.

El espesor de los glaciares es difícil de estimar. Sin embargo, se observaron estrías y surcos en los valles glaciales que se encontraban a 100 m por encima del nivel actual de la quebrada. Esta evidencia, junto con la elevación comparable de las morrenas y la profundidad de los circos, indica que los glaciares probablemente tenían espesores similares.

EXTENSION Y EDAD DE LOS RASGOS GLACIALES

Las morrenas y los depósitos glaciales asociados a ellas, descritos anteriormente, son producto de la última glaciación y corresponden a aquellos descritos por Royo y Gómez (1959, p. 337) a elevaciones de 3500 a 3600 m. La evidencia principal es su relativa frescura y el hecho de que no fueron afectados por glaciaciones posteriores. Las numerosas morrenas terminales menores dentro de los complejos morrénicos principales (por ejemplo, dentro de la Morrena La Canoa, Figura 2) fueron producidas durante cortas etapas estacionarias en el retroceso de los glaciares.

Royo y Gómez (1959, p. 337) describió por primera vez las morrenas erosionadas y pobremente preservadas más arriba de la población de Santo Domingo (Figura 1), a elevaciones de 2700 a 3000 m. Este autor consideró que eran producto de una glaciación más antigua; por lo tanto, es posible que estén representadas dos glaciaciones en el alto valle del río Santo Domingo.

En los Andes colombianos también se han descrito varios niveles morrénicos. Oppenheim (1941, p. 54) halló tres niveles en la Cordillera Oriental: 3250 m, 3400 a 3500 m y 4000 a 4100 m. El primero es probablemente el nivel más antiguo porque está casi eliminado por la erosión. El segundo nivel es el más extenso y consiste de rasgos similares a los descritos en el presente trabajo. El tercer nivel está representado principalmente por modelado glacial y sus morrenas todavía están asociadas a glaciares existentes. Este nivel no está representado en la Sierra de Santo Domingo; sus glaciares se han fundido totalmente. Gansser (1955, p. 268) describió tres fases (Stadien) de una glaciación mayor reciente a subreciente en la Sierra Nevada de Santa Marta; no las consideró como glaciaciones separadas. Estas fases o niveles (de más antiguo a más joven) tienen las elevaciones siguientes: 2800 m, 3300 m y 4500 m. Los rasgos glaciales de la Sierra de Santo Domingo probablemente son equivalentes a la segunda fase de Gansser, la Fase Mamancanaca. Van der Hammen y González (1960, p. 306) también encontraron varios niveles morrénicos en el norte de Boyacá, Colombia: 3400 m, 3200 m y 3050 m. Al mismo tiempo mencionan la existencia de morrenas parcialmente destruidas a 2750 y 2800 m. Las primeras (3400 m) corresponden bastante bien con aquellas halladas por Royo y Gómez (1959) y el autor en el alto valle del Río Santo Domingo. Cuatro unidades de material glacial (de más antigua a más joven) fueron descritas por González y otros (1965, p. 164-165) en la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia. Las evidencias principales en el campo de la cronología relativa son el color (meteorización), la cobertura vegetal y la situación regional. Un fechamiento más exacto se basó en análisis de polen y radiocarbono.

Un problema difícil de resolver es la asignación (o no) de estos niveles morrénicos a épocas glaciales diferentes. El estado avanzado de erosión de las morrenas inferiores podría indicar una edad más antigua. En apoyo de esta idea se puede mencionar que en los Andes Colombianos se han hallado evidencias de, por lo menos, dos glaciaciones, Würm y Riss (Wisconsin e Illinois) (Wilhelmy, 1957, p. 287; van der Hammen y González, 1960, p. 315). Porter (1970, p. 1429) encontró evidencias que apoyan la suposición de que las morrenas deben ser progresivamente más antiguas a mayor distancia de los circos en sus cabeceras. Los depósitos glaciales descritos en el presente informe son producto de la glaciación Wisconsin (o Würm). Heim (1951, p. 180) sugirió que los movimientos tectónicos verticales en parte determinaron cuáles regiones de los Andes serían afectadas por las glaciaciones. Concluyó en su trabajo que los Andes tenían una elevación en 1000 m menor que la actual en el Pleistoceno Inferior; por lo tanto, solamente las partes más altas muestran evidencias de las glaciaciones más antiguas.

Van der Hammen y González (1960, p. 312), en un estudio detallado del clima y la vegetación de la Sabana de Bogotá durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno, pudieron establecer una tabla cronológica basándose en análisis de polen y fechamiento por radiocarbono. Esos autores concluyeron que la Pleniglacial II Würm (Wisconsin), el último avance glacial, terminó entre 16.000 y 14.000 años A.C., y que la Glacial Würm Superior finalizó en 8.100 A.C. Usando esta evidencia en la Sierra de Santo Domingo se podría estimar que los depósitos glaciales allí son más antiguos que 8.000 A.C. y, posiblemente, más antiguos que de 14.000 a 16.000 A.C.

Dentro del valle de la Morrena Victoria, a lo largo de las márgenes de la quebrada (río Santo Domingo), están expuestas capas de limo y arcilla ricas en materia orgánica (Figura 14). Estas capas infrayacen a la capa del suelo actual y suprayacen a conglomerados de origen fluvio-glacial. Estos se parecen a aquellos descritos por González y otros (1965, p. 163) en el valle de Lagunillas, Colombia, y probablemente, representan depósitos lacustres. Sólo se pueden haber formado después del retroceso del glaciar. Se recolectaron seis muestras a diferentes niveles en dos perfiles, las cuales fueron fechadas por radiocarbono (Tamers, en imprenta). Las fechas obtenidas están tabuladas en la Tabla 3. Estas fechas indican que aproximadamente 8.800 años antes del presente el glaciar dentro del valle de la Morrena Victoria había retrocedido por lo menos hasta la parte superior del valle y probablemente en forma total, dejando una laguna producida por la fusión del hielo glacial, la cual fue represada por la morrena terminal. Esta conclusión está de acuerdo con los datos presentados por van der Hammen y González, mencionados anteriormente.

Recientemente, Emiliani (1970, p. 822) publicó una curva de paleotemperaturas del Pleistoceno. En esta curva el máximo del último período frío fue, aproximadamente, hace 19.000 años. No está claro si este fue el avance glacial que produjo las estructuras de la Sierra de Santo Domingo. Podría representar el avance glacial que produjo las estructuras inferiores (2700 m; más antiguas?) y los rasgos estudiados por el autor podrían pertenecer a un período posterior. En cualquier caso, los datos existentes indican que la edad de las estructuras de la Sierra es probablemente mayor que 10.000 años y, seguramente, menor que 18.000 años A.P.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la cooperación de la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (AsoVAC) y de la C.A. de Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE), las cuales aportaron los gastos de campo en la región de Santo Domingo. La Dirección de Cartografía Nacional y la Creole Petroleum Corporation facilitaron las fotografías aéreas y los mapas topográficos. M.A. Tamers, del Laboratorio de Radiocarbono del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), realizó los fechamientos de muestras carbonáceas. Las fotografías fueron procesadas por el Departamento de Fotografía del IVIC y por Thea Sagall. Francisco Santamaría y Haydée Seijas obtuvieron algunas de las referencias sobre trabajos anteriores de difícil acceso para el autor, y sin las cuales este informe estaría incompleto.

Una versión en inglés de este manuscrito fue leído y criticado por R.F. Flint, Th. van der Hammen, E. González y E. Medina. Todas estas personas contribuyeron con sugerencias muy valiosas, pero sólo el autor es responsable de los conceptos emitidos.

REFERENCIAS

- Cárdenas, A.L. (1962), El glaciario pleistoceno en las cabeceras del Chama, Revista Geográfica (Venezuela), v. 3, p. 173-194.
- Denton, G.H. y Armstrong, R.L. (1969), Miocene-Pliocene glaciations in southern Alaska, Am. Jour. Sci., v. 267, p. 1121-1142.
- Emiliani, C. (1970), Pleistocene paleotemperatures, Science, v. 168, p. 822-825.
- Flint, R.F. (1957), Glacial and Pleistocene geology, New York, John Wiley and Sons, 553 p.
- Flint, R.F. y Fidalgo, F. (1964), Glacial geology of the east flank of the Argentine Andes between latitude 39° 10' S. and latitude 41° 20' S., Geol. Soc. America Bull., v. 75, p. 335-352.
- (1969), Glacial drift in the eastern Argentine Andes between latitude 41° 10' S. and latitude 43° 10' S., Geol. Soc. American Bull., v. 80, p. 1043-1052.
- Folk, R.L. (1961), Petrology of sedimentary rocks, Austin, Hemphill's, 154 p.
- Gansser, A. (1955), Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika), Schweiz.Min.Pet. Mitt., v. 35, N° 2, p. 209-279.
- González, E., van der Hammen, Th. y Flint, R.F. (1965), Late Quaternary glacial and vegetational sequence in Valle de Lagunillas, Sierra Nevada del Cocuy, Colombia, Leidse Geol. Med., v. 32, p. 157-182.
- Griffiths, J.C. (1952), Grain-size distributions and reservoir rock characteristics, Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 36, p. 205-229.
- Heim, A. (1951), On the glaciation of South America as related to tectonics, Eclogae Geol. Helv., v. 44, p. 171-182.
- Holmes, C.D. (1941), Till fabric, Geol. Soc. America Bull., v. 52, p. 1299-1354.
- Jahn, A. (1925), Observaciones glaciológicas en los Andes venezolanos, Cultura Venezolana, v. 18, N° 64, p. 265-280.
- (1931), El deshielo de la Sierra Nevada de Mérida y sus causas, Cultura Venezolana, N° 110, p. 5-15.
- Kovisars, L. (1969), Geology of the eastern flank of the La Culata Massif Venezuelan Andes, unpub. Ph.D. Thesis, Univ. of Pennsylvania.

- Krumbein, W.C. (1933), Textural and lithological variations in glacial till, Jour. Geol., v. 41, p. 382-408.
- Kündig, E. (1938), The Precretaceous rocks of the central Venezuelan Andes, with some remarks about the tectonics, Bol. Geol. y Minería (Venezuela), tomo 2, N° 2-4, p. 21-43.
- Lindsay, J.F. (1970), Clast fabric of till and its development, Jour. Sed. Petrology, v. 40, p. 629-641.
- Lindsay, J.F., Summerson, C.H. y Barrett, P.J. (1970), A long-axis clast fabric comparison of the Squantum "Tillite", Massachusetts, and the Gowganda Formation, Ontario, Jour. Sed. Petrology, v. 40, p. 475-479.
- Notestein, F.B. (1939), Geologic and physiographic notes, in Cabot, T., The Cabot Expedition to the Sierra Nevada de Santa Marta de Colombia, Geog. Rev., v. 29, p. 616-621.
- Oppenheim, V. (1937), Contribution to the geology of the Venezuelan Andes, Bol. Geol. y Minería (Venezuela), tomo 1, N° 2-4, p. 25-46.
- (1941), Glaciaciones cuaternarias en la Cordillera Oriental de Colombia, Ciencia (México), v. 2, p. 49-63.
- (1945), Las glaciaciones en el Perú, Bol. Soc. Geol. Perú, tomo 18, p. 37-43.
- (1951), Note on Andean glaciation and pre-Columbian man, in Tax S., Editor, The civilizations of ancient America, Proc. 29th Int. Cong. Americanists, v. 1, Chicago Univ. Press, p. 190-191.
- Pettijohn, F.J. (1957) Sedimentary rocks, New York, Harper and Brothers, 718 p.
- Polanski, J. (1965), The maximum glaciation in the Argentine Cordillera, Geol. Soc. America, Spec. Paper 84, p. 453-472.
- Porter, S.C. (1970), Quaternary glacial record in Swat Kohistan, West Pakistan, Geol. Soc. America Bull. v. 81, p. 1421-1446.
- Raasveldt, H.C. (1957), Las glaciaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, Rev. Acad. Colombiana Cien, Fis. y Nat., v. 9, N° 38, p. 469-482.
- Rod, E. (1956), Strike-slip faults of northern Venezuela, Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 40, p. 457-475.
- Rod, E., Jefferson, C., von der Osten, E. y Mullen, R. (1958), Round-table discussion- the determination of the Boconó Fault, Bol. Inform. Asoc. Venezolana Geol. Min. y Petróleo, v. 1, p. 69-100.
- Royo y Gómez, J. (1956), Quaternary in Venezuela, in Stratigraphical Lexicon of Venezuela (English Edition), Bol. Geol. (Venezuela), Pub. Especial N° 1, p. 468-478.

- (1959), El glaciario pleistoceno en Venezuela, Bol. Inform. Asoc. Venezolana Geol. Min. y Petróleo, v. 2, p. 333-357.
- Schubert, C. (1968), Geología de la región de Barinitas-Santo Domingo, Andes venezolanos surorientales, Bol. Geol. (Venezuela), v. 10, N° 19, p. 183-266.
- (1969), Geologic structure of a part of the Barinas mountain front, Venezuelan Andes, Geol. Soc. America Bull., v. 80, p. 443-458.
- Schubert, C. y Sifontes, R.S. (1970), Boconó Fault, Venezuelan Andes: evidence of postglacial movement, Science, v. 170, p. 66-69.
- Segerstrom, K. (1964), Quaternary geology of Chile: brief outline, Geol. Soc. America Bull., v. 75, p. 157-170.
- Sievers, W. (1888), Die Kordillere von Mérida nebst Bemerkungen über das Karibische Gebirge, Geog. Abhandl. (Penck), Band 3, Heft 1, 238, p.
- Tamers, M.A., Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas Radiocarbon Measurements, Radiocarbon (in press).
- van der Hammen, Th. (1966), The Pliocene and the Quaternary of the Sabana de Bogotá (the Tilatá and Sabana formations), Geologie en Mijnbouw, v. 45, p. 102-109.
- van der Hammen, Th. y González, E. (1960a), Upper Pleistocene and Holocene climate and vegetation of the Sabana of Bogotá (Colombia, South America), Leidse Geol. Med., v. 25, p. 261-315.
- (1960b), Holocene and Late Glacial climate and vegetation of Páramo de Palacio (Eastern Cordillera, Colombia, South America), Geologie en Mijnbouw, v. 39, p. 737-746.
- (1964), A pollen diagram from the Quaternary of the Sabana de Bogotá (Colombia) and its significance for the geology of the northern Andes, Geologie en Mijnbouw, v. 43, p. 113-117.
- Wentworth, C.K. (1936), An analysis of the shapes of glacial cobbles, Jour. Sed. Petrology, v. 6, p. 85-96.
- West, R.G. (1968), Pleistocene geology and biology, London, Longmans, Green and Co., 377 p.
- White, W.A. (1970), Erosion of cirques, Jour. Geol., v. 78, p. 123-126.
- Wilhelmy, H. (1957), Eiszeit und Eiszeitklima in den feuchttropischen Anden, Petermanns Geog. Mitt., Ergb. 262 (Machatschek Festschr.), p. 291-310.

TABLA 1. Distribución de formas redondez y litología en cantos de las Morrenas Victoria y Zerpa.

A. Forma	N° de Cantos	%
Prismoidal	377	62,8
Trapezoidal	16	2,7
Piramidal	26	4,3
Prismoidal alargado	40	6,7
Tabular	110	18,3
Triangular	26	4,3
Facetado Irregular	5	0,8
TOTAL.....	600	99,9
B. Redondez		
Subangular	436	72,7
Subredondeado	156	26,0
Redondeado	8	1,3
TOTAL.....	600	100,0
C. Litología		
Gneis	500	83,6
Esquisto	78	13,0
Gneis anfibólico	3	0,5
Gneis esquistoso	9	1,5
Granito	5	0,8
Cuarzo	3	0,5
TOTAL.....	598	99,9

TABLA 2. Tamaño promedio gráficos (M_z) y desviación normal (σ_G y σ_I) de sedimentos fluvio-glaciales, medidos en las curvas de frecuencia de la Figura 11 (usando las fórmulas de Folk, 1961, p. 44-45).
A. Arena-conglomerado. B. Arena-limo-arcilla.

	M_z (phi)	σ_G (phi)	σ_I (phi)
A	-1,43	1,30	-
	-1,10	1,00	-
B	2,83	-	0,75
	3,20	-	1,12
	3,27	-	0,88
	3,60	-	1,17
	6,07	1,40	-

TABLA 3. Fechas de radiocarbono de sedimentos orgánicos del valle de la Morrena Victoria (basadas en una edad media de $14C$ de 5568 años) 1.

	Muestra	Profundidad (cm)	%C	Edad por $14C$ (años antes del presente)
Perfil 1	IVIC-764	10-20	2,2	450±70
	IVIC-763	50-60	2,4	3920±90
	IVIC-762	80-90	0,98	5800±80
Perfil 2	IVIC-766	50-60	8,3	5360±90
	IVIC-767	70-80	8,7	5590±100
	IVIC-765	90-100	3,9	8790±120

1. Análisis por el Laboratorio de Radiocarbono, IVIC

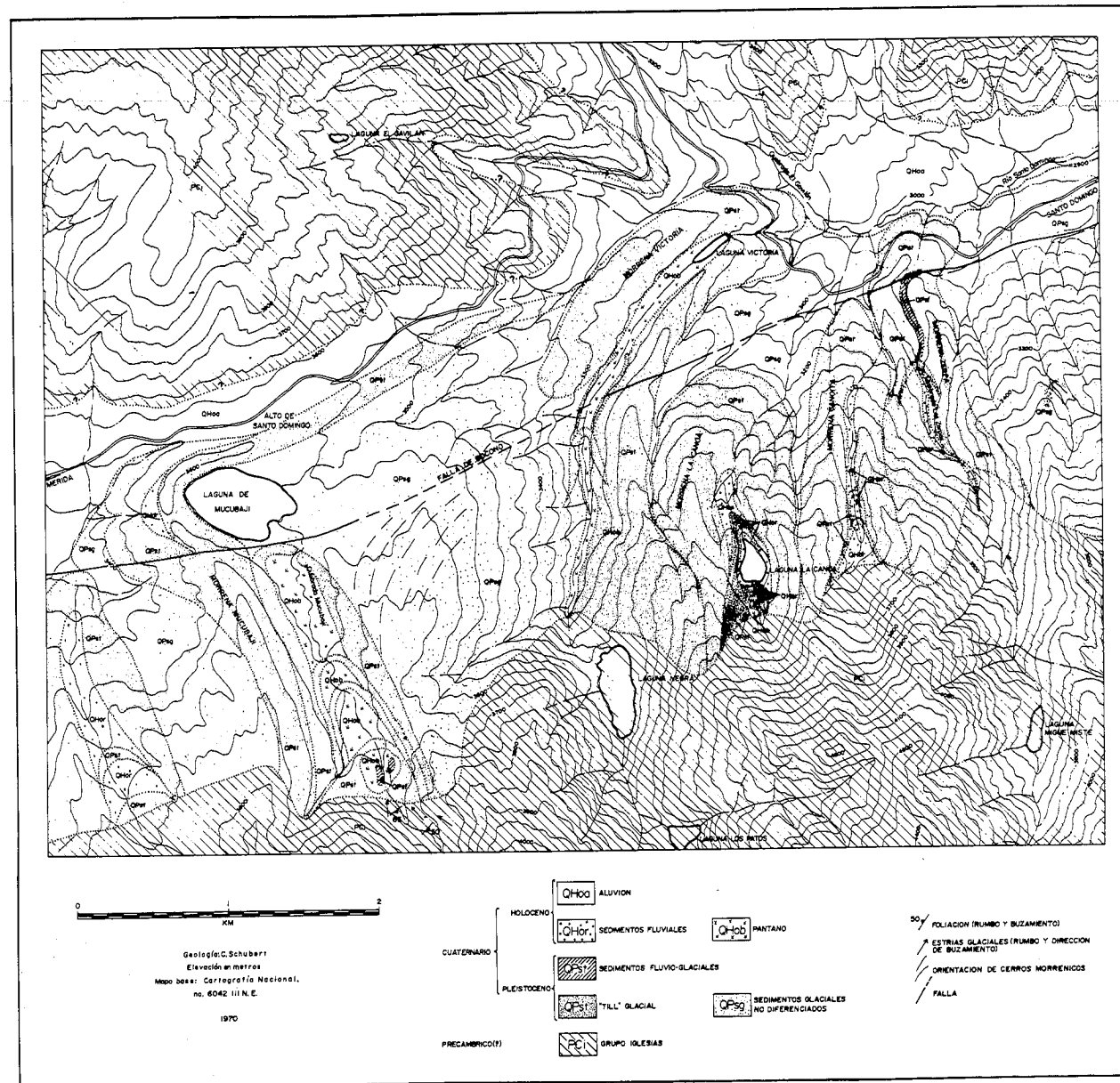


Fig. 2. Mapa geológico de una parte del flanco norte de la Sierra de Santo Domingo.



Fig. 3. Vista panorámica del flanco noroeste de la Sierra de Santo Domingo. Nótese los dos niveles de terrazas dentro de la Morrena Zarpa.

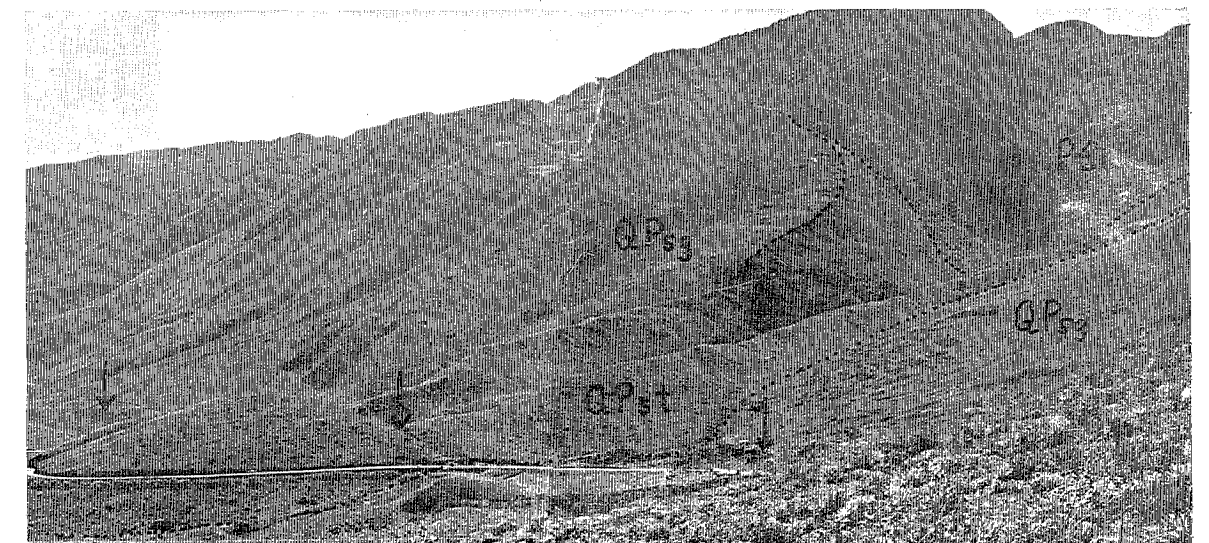


Fig. 4. Morrena Zarpa vista desde la Morrena Victoria (Fig. 2). La estructura tiene una longitud aproximada de 1,5 km.. Las flechas señalan la traza de la falla de Boconó. Nótese los bloques erráticos en los flancos de la morrena. (PGi: Grupo Iglesias; QPst: "till" glacial; QPsg: sedimentos glaciales no diferenciados).

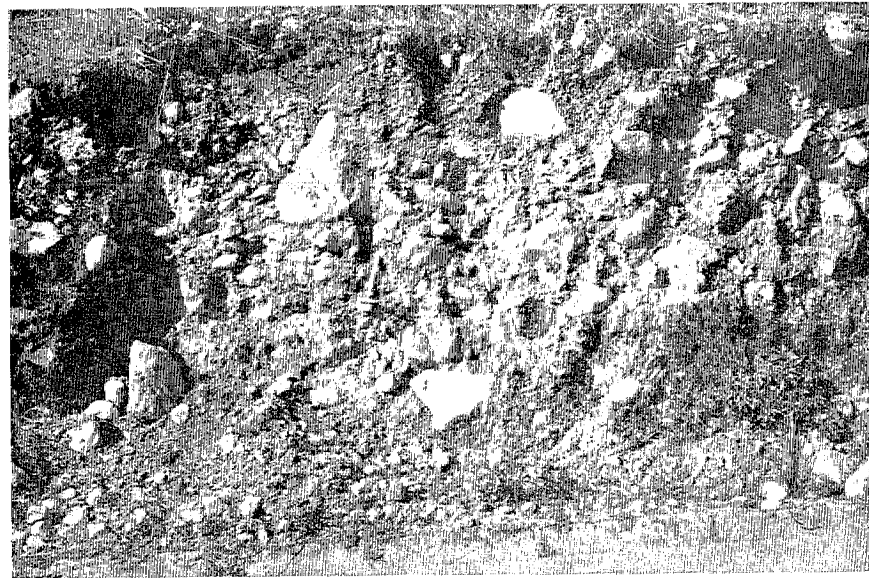


Fig. 5. Till de la Morrena Victoria, carretera Santo Domingo-Mérida. Nótese el martillo como escala.

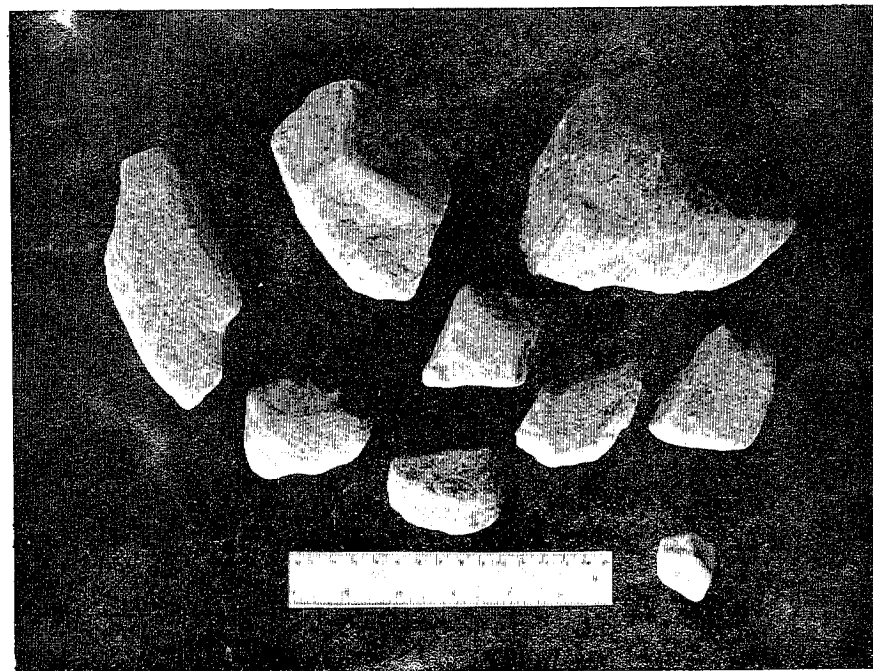


Fig. 6. Cantos facetados típicos de las Morrenas Victoria y Zerpa.

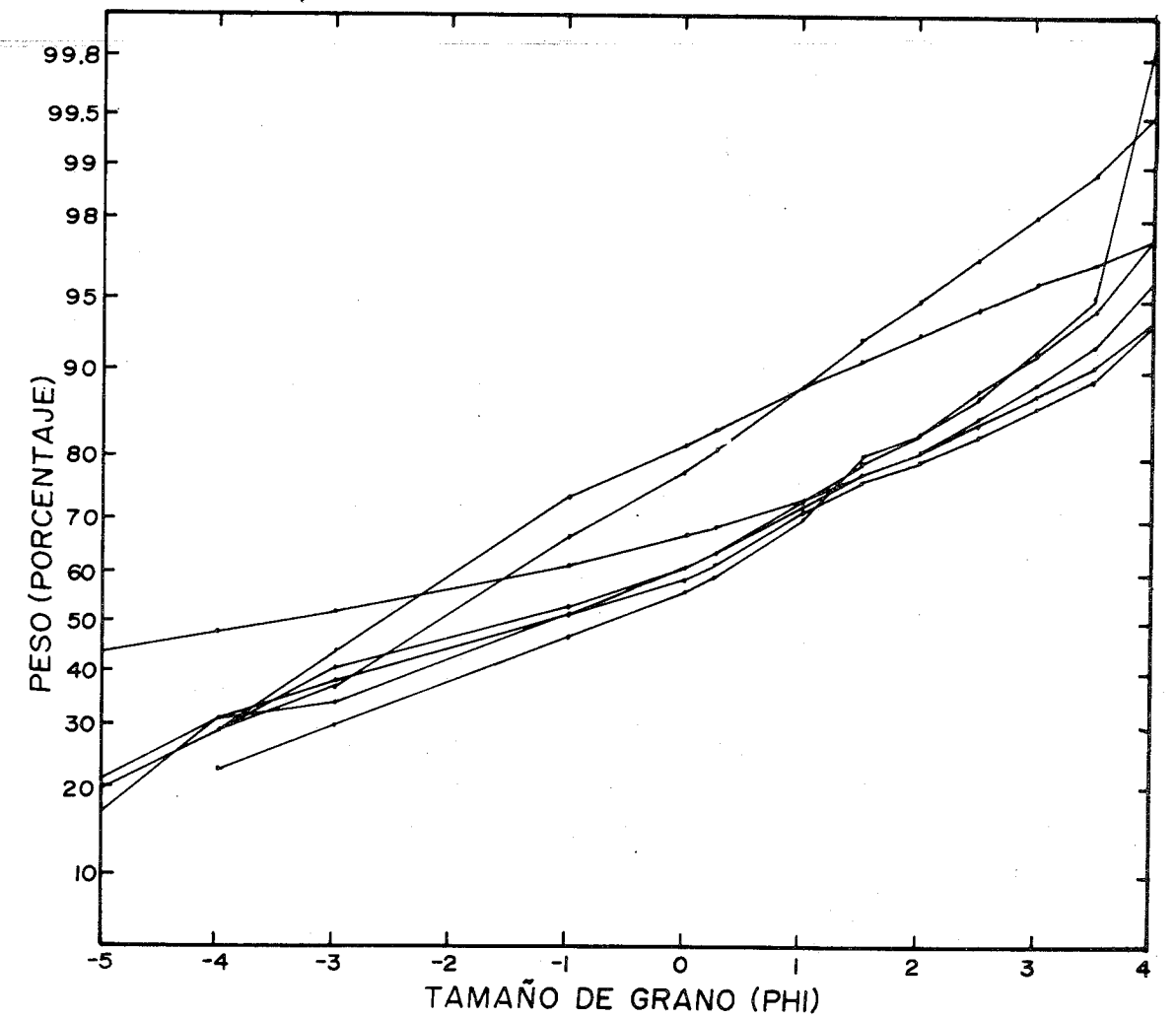


Fig. 7. Curvas de frecuencia de till de las Morrenas Victoria y Zerpa.

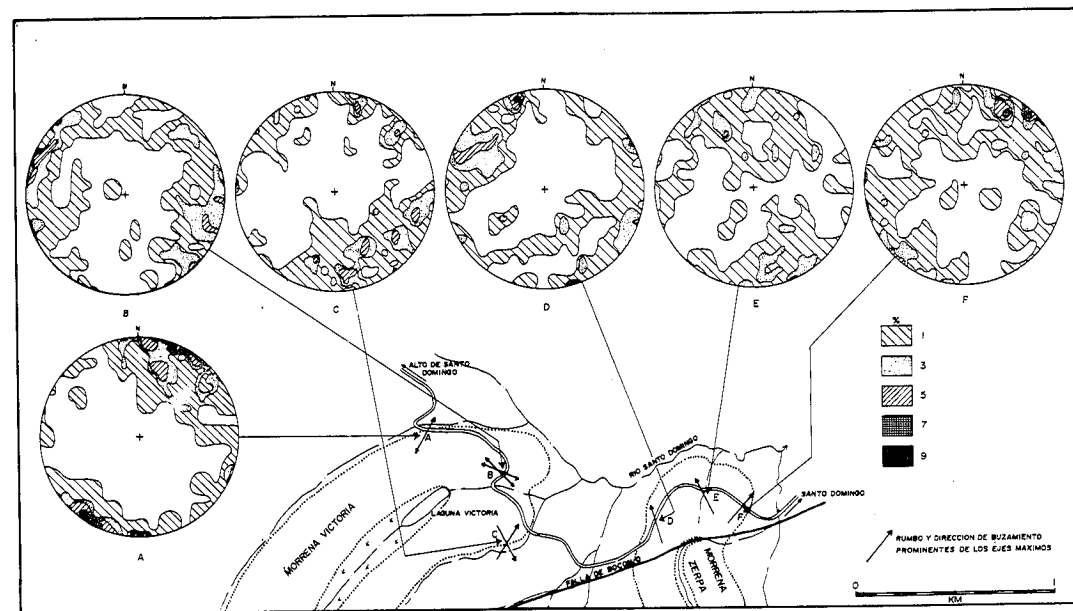


Fig. 8. Orientación de los ejes máximos de cantos en till de las Morrenas Victoria y Zerpa.

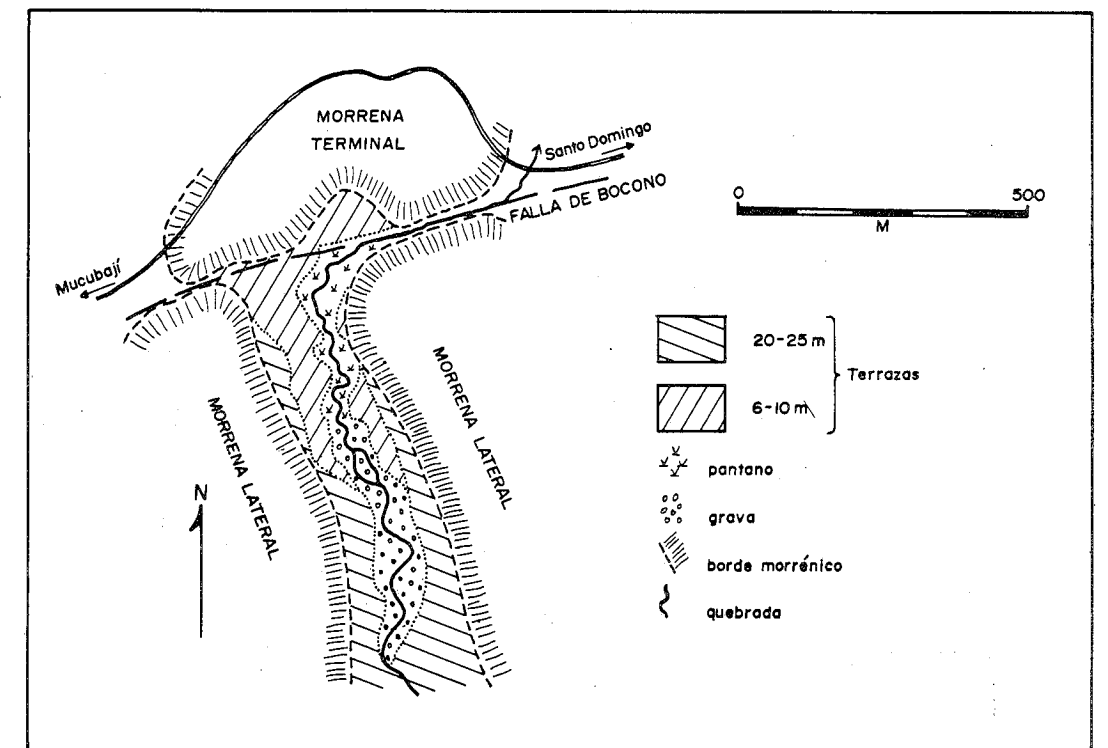


Fig. 9. Croquis geológico del valle de la quebrada Los Zerpa.

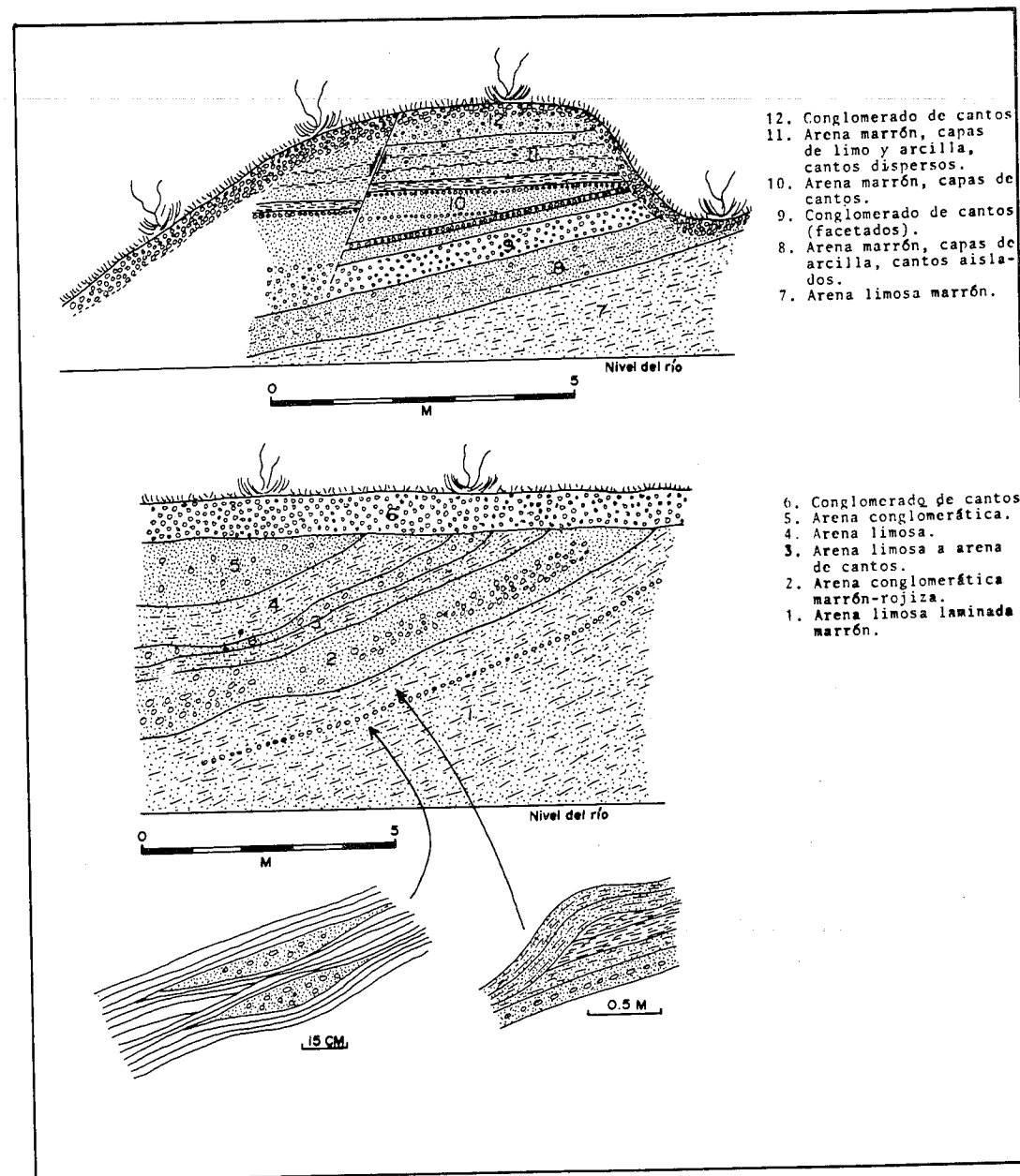


Fig. 10. Secciones a través de la terraza inferior (6 a 10 m) expuestas a lo largo de la quebrada Los Zerpa.

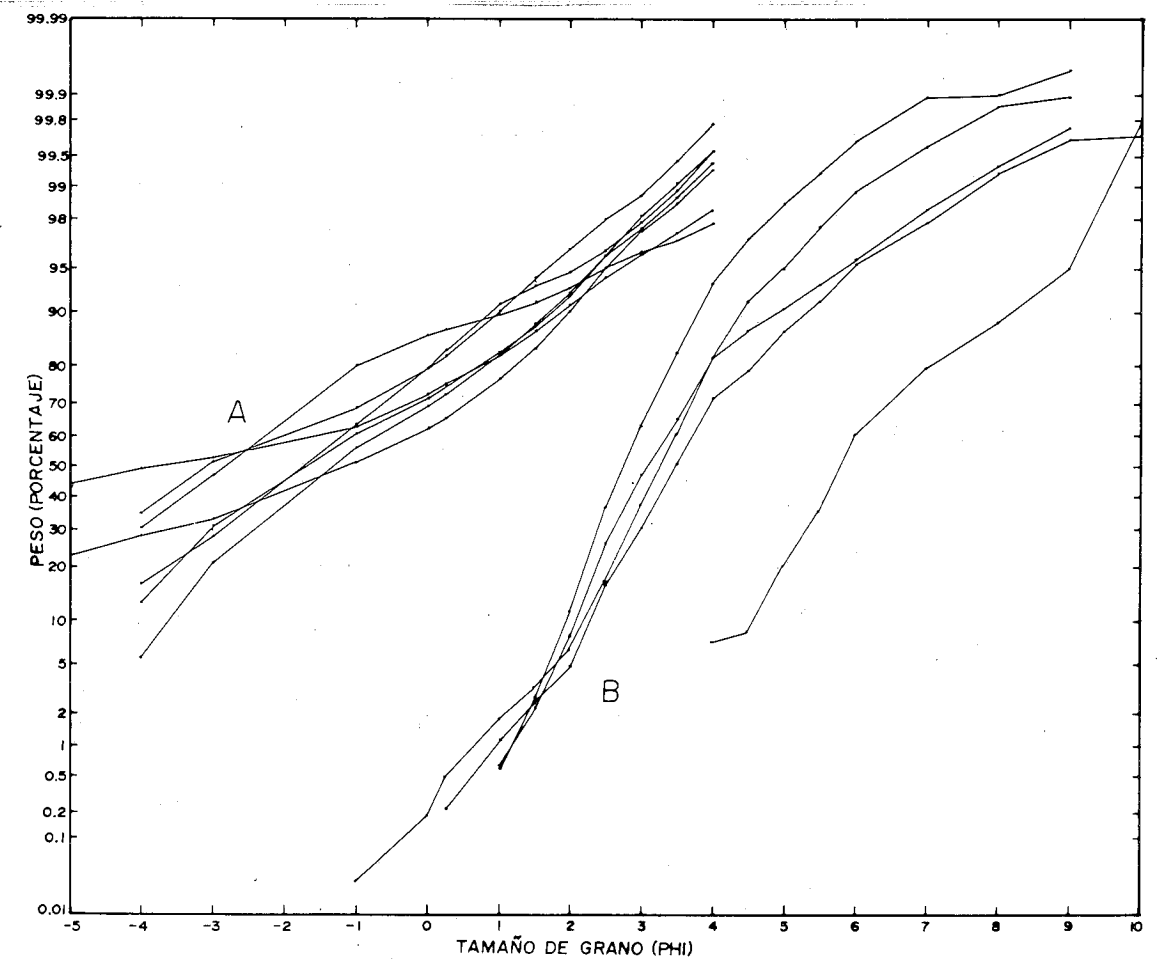


Fig. 11. Curvas de frecuencia de sedimentos fluvio-glaciales (Morrenas Victoria y Zerpa). A. Arena-conglomerado. B. Arena-limo-arcilla.



Fig. 12. Estriás glaciales en un canto gnéisico, Micubaji.

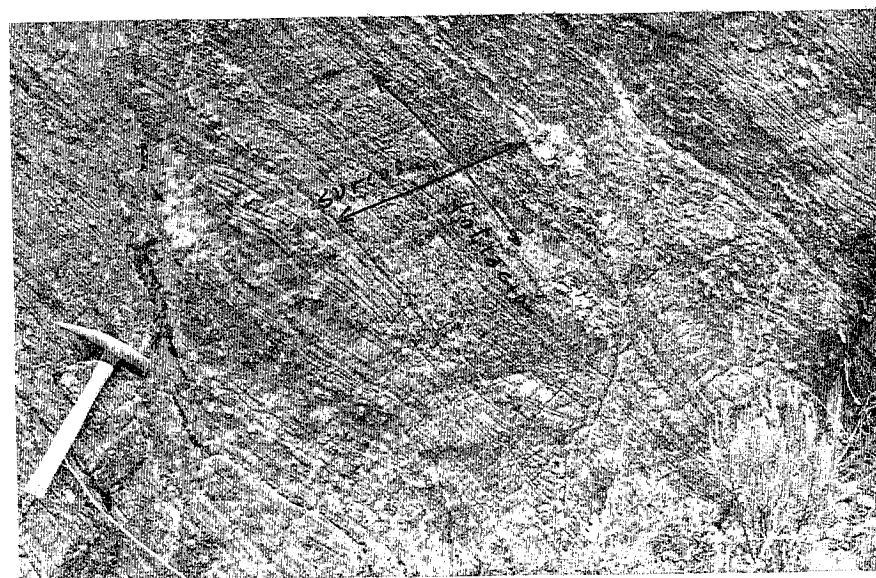


Fig. 13. Surcos de origen glacial en gneises, Quebrada Micubají superior.

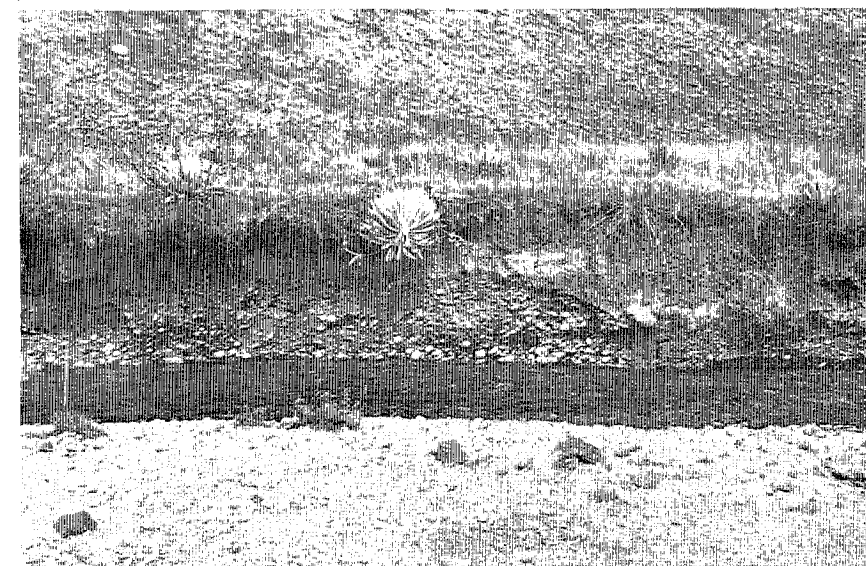


Fig. 14. Capas de grano fino ricas en material orgánico (Perfil 1) que yacen sobre sedimentos fluvio-glaciales, aflorando a lo largo de la orilla del alto Río Santo Domingo, dentro del valle de la Morrena Victoria (la elevación del banco es de aproximadamente 1,70 m).