

OBSERVACIONES PRELIMINARES SOBRE FLUJOS DE LODO CUATERNARIOS RELACIONADOS CON LA ACTIVIDAD DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ EN LA REGION DE ARMERO-GUAYABAL-MARIQUITA (DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA).

Jairo Mojica*, Jorge Brieva*, Carlos Villarroel*, Fabio Colmenares*, & Manuel Moreno*.

MOJICA, J., BRIEVA, J., VILLARROEL, C., COLMENARES, F. & MORENO, M. (1985): Observaciones preliminares sobre flujos de lodo cuaternarios relacionados con la actividad del Volcán Nevado del Ruíz en la región de Armero-Guayabal-Mariquita (Departamento del Tolima, Colombia). -Geol. Colombiana, No. 14, pp. 141-164, 25 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Con motivo de las erupciones ocurridas el 13 de noviembre de 1985 en el Volcán Nevado del Ruíz y los destrozos causados por los consecuentes "flujos de lodo" (en realidad flujos de escombros, o "debris flows") a lo largo de los cauces de los Ríos Lagunilla y Gualí, se emprendió un estudio regional para evaluar el riesgo geológico de las partes bajas del extremo nororiental del Departamento del Tolima (mitad occidental de la zona meridional del Valle Medio del Río Magdalena).

Los diferentes perfiles estratigráficos investigados señalan que los valles de los Ríos Lagunilla y Recio, así como las planicies de Mariquita y Guayabal, constituyen conos de deyección (abanicos) formados en mayor proporción por efecto de flujos de lodo transportados por los ríos que descienden directamente del Volcán Nevado del Ruíz (Lagunilla, Recio y Gualí).

Dichos flujos de lodo representan eventos catastróficos generados por repentinos desprendimientos y/o fusión parcial de los glaciares de la vertiente oriental de la Cordillera Central, en el área correspondiente al Parque Nacional de los Nevados que incluye los Volcanes del Ruíz, Santa Isabel, El Cisne, Quindío y Tolima.

Los resultados obtenidos del estudio de las propiedades generales de los sedimentos acumulados el 13 de Noviembre de 1985 en Armero y Mariquita han permitido identificar con certeza flujos anteriores que se caracterizan por:

- a) Su relativa alta cohesión, que da origen al desarrollo de taludes verticales.
- b) La mezcla caótica de materiales poligénicos de muy diversos tamaños.
- c) La combinación frecuente de clastos angulares (casi siempre predominantes) y subredondeados a redondeados.
- d) La pobre expresión de las estructuras primarias internas.

* Universidad Nacional de Colombia

Además de los flujos de lodo, en las columnas estratigráficas aparecen con frecuencia importantes espesores de sedimentos grises y deleznales, areno-conglomeráticos, depositados por aguas fluviales de mediana energía; se tienen también delgadas capas piroclásticas (ceniza y lapilli) que atestiguan anteriores explosiones de los volcanes de la Cordillera Central, no datadas hasta el momento.

ABSTRACT

With reference to the eruption of the Nevado del Ruíz Volcano on November 13, 1985, and the destruction caused by subsequent mudflows (debris flows s.e.) along the length of the banks of the Lagunilla and Gualí Rivers, a regional study has been undertaken in order to evaluate the geological risk for the lower parts of the extreme NE (NE end) of the Departamento del Tolima, Colombia (in the western half of the southern end of the Middle Magdalena Valley).

The present study of the stratigraphic sections indicates that the Lagunilla and Recio river valleys, as well as the flatlands of Mariquita and Guayabal, are constituted by accumulations of successive alluvial fans, which were formed, for the most part, as a result of mudflows along the riverbeds which descend directly from the Nevado del Ruíz volcano (Lagunilla, Recio and Gualí).

Such mudflows represent catastrophic events generated by sudden slides and/or partial melting of the glaciers of the eastern slope of the Central Cordillera, in the area corresponding to the National Park of the Nevados which includes the Ruíz, Cisne, Santa Isabel, Quindío and Tolima volcanoes.

The present study of the general sedimentological properties of the sediments accumulated on November 13, 1985 in Armero and Mariquita has allowed a clear identification of older mudflows in the region. These flows share the following characteristics: the chaotic mixture of polygenic materials of varied sizes; the frequent combination of angular clasts (almost always predominant) with subrounded to rounded clasts; and, finally the poor expression of their primary internal structures.

In the stratigraphic columns there appear not only the mudflows, but frequently also important banks of gray sandy-conglomeratic sediments, which thin pyroclastic beds, constituted by ashes and lapilli, which testify the previous explosions of the volcanoes of this sector of the Central Cordillera. At the present time, these pyroclastic beds have not been dated.

KURZFASSUNG

Infolge von Schlammströmen entlang der Flüsse Lagunilla und Gualí am 13.11.85 wurden die Städte Armero (vollständig) Mariquita und Honda (teilweise) zerstört. Anlässlich dieses Ereignisses hat man subregional Untersuchungen durchgeführt um das damit verbundene geologische Risiko im nordöstlichen Teil des Departamento Tolima festzustellen.

Die bearbeiteten stratigraphischen Profile weisen darauf hin, dass die Täler der Lagunilla und Recio Flüsse, sowie die Ebenen von Mariquita und Guayabal Schuttkegel darstellen, welche zum grossen Teil durch Schlammströme entlang der Flüsse mit direkter Verbindung mit dem Ruíz Vulkan entstanden sind.

Die genannten Schlammströme stellen Katastrophenartige Ereignisse dar, die auf Grund rascher Abstürze und/oder partieller Abschmelzung der Gletscher im östlichen Hang der Zentral Kordillere im Gebiet des "Parque Nacional de los Nevados", wo die Vulkane Ruíz, Santa Isabel, El Cisne, Quindío und Tolima liegen, entstanden.

Die Untersuchung der allgemeinen Merkmale der am 13.11.85 in Armero und Mariquita abgelagerten Sedimente diente einer zuverlässigen Identifizierung von älteren Schlammströmen. Diese sind gekennzeichnet durch:

- a) Relativ hohe Bindung der Komponenten, wodurch die Entwicklung vertikaler Wände verursacht wird.
- b) Inhomogene Mischungen von polymiktischen Materialien ganz unterschiedlicher Grösse.
- c) Die häufige Kombination eckiger (im allgemeinen), und abgerundeter Gerolle.
- d) Schlecht erkennbare intern-sinsedimentäre Strukturen.

In den stratigraphischen Profilen findet man auch Abfolgen von mächtigen, gräulichen, lockeren, sandig bis konglomeratischen Sedimenten, die im wasserreichen Milieu abgesetzt wurden; geringmächtige pyroklastische Schichten sind ebenfalls vorhanden, welche von älteren, undatierten Ausbrüchen der Vulkane im Bereich der Zentral-Kordillere zeugen.

INTRODUCCION (Fig. 1)

Como consecuencia de las erupciones ocurridas el 13 de noviembre de 1985 en el Volcán Nevado del Ruíz (VNR) y los flujos de lodo desencadenados por el deshielo parcial de los glaciares que alimentan los nacimientos de los Ríos Lagunilla, Azufrado, Gualí y Molinos, se produjo el arrasamiento de la ciudad de Armero y destrozos parciales en las poblaciones de Chinchiná, Mariquita y Honda. Días después, por solicitud de las autoridades universitarias, los autores de este trabajo acometieron el estudio de las características y origen del Cuaternario del extremo nororiental del Departamento del Tolima (Municipios de Lérica, Ambalema, Armero, Mariquita y Honda), con el fin de determinar la localización y extensión de las áreas expuestas a eventuales nuevas avenidas de lodo e inundaciones como las observadas en noviembre de 1985. Para ello, se estudiaron, en primer término, los rasgos sedimentológicos de los materiales depositados, en esa fecha, por los flujos que descendieron por los Ríos Lagunilla y Gualí y, en segundo término, algunos perfiles estratigráficos del Cuaternario de las zonas bajas.

Los resultados que aquí se presentan son el producto de diferentes excursiones llevadas a cabo entre la segunda mitad de noviembre de 1985 y enero de 1986. Para una mejor y rápida comprensión del texto y de los procesos descritos, se ha procurado incluir abundante material gráfico, por otra parte, debemos expresar que, dado el arraigo que ha tomado el término "flujos de lodo" en los medios de comunicación y la comunidad interesada por las geociencias, se ha optado por mantenerlo aquí, aclarando eso sí que se trata en realidad de flujos de alta densidad, compuestos por material rocoso y vegetal, que comprende lodo (arcilla y limo), arena, grava, cantos y bloques, raíces, troncos, ramas y hojas.

Así, el término más apropiado sería tal vez "flujos de escombros" ("debris flows") o "flujos de alta densidad".

LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área de estudio ocupa una franja de unos 50 km. de largo por unos 20 km de ancho en el costado occidental del Valle del Río Magdalena, la depresión geomorfológica que separa las Cordilleras Central y Oriental colombianas. Se trata de una región de topografía variada en la que alternan colinas y serranías de hasta 700 m de altura, planicies menos elevadas (e.g. Abanicos de Lérica y Guayabal) y valles amplios, relativamente más bajos, relacionados de manera directa con los Ríos Recio, Lagunilla y Gualí. Así el sector estudiado va desde el piedemonte oriental de la Cordillera central —marcado aproximadamente por la curva de nivel de 400m— hasta el curso actual del Río Magdalena. Las poblaciones de interés para este trabajo, con excepción de Lérica, se hallan en zonas bajas, cerca de las riberas de los ríos mayores.

Dado que en el área que nos ocupa predominan las pendientes hacia el Río Magdalena, el drenaje general corre hacia el oriente y nororiente, con excepción de los Ríos Bledo y Cuamo y la Quebrada de Santo Domingo. El primero se dirige hacia el norte bordeando el talud occidental de la planicie de Lérica; el segundo nace en las proximidades de Mariquita y fluye hacia el sur, para caer en el Río Sabandija, al W de Guayabal; la Q. Santo Domingo, que nace cerca de Armero, corre hacia el norte y desagua en el Río Sabandija, unos 400 m. al sur de Guayabal. Vale la pena anotar aquí, que aunque los Ríos Bledo, Cuamo y Sabandija no tienen conexión directa con el Nevado del Ruíz, los dos últimos pueden recibir y conducir grandes avenidas por desborde de los Ríos Gualí y Lagunilla; ello se debe a que su

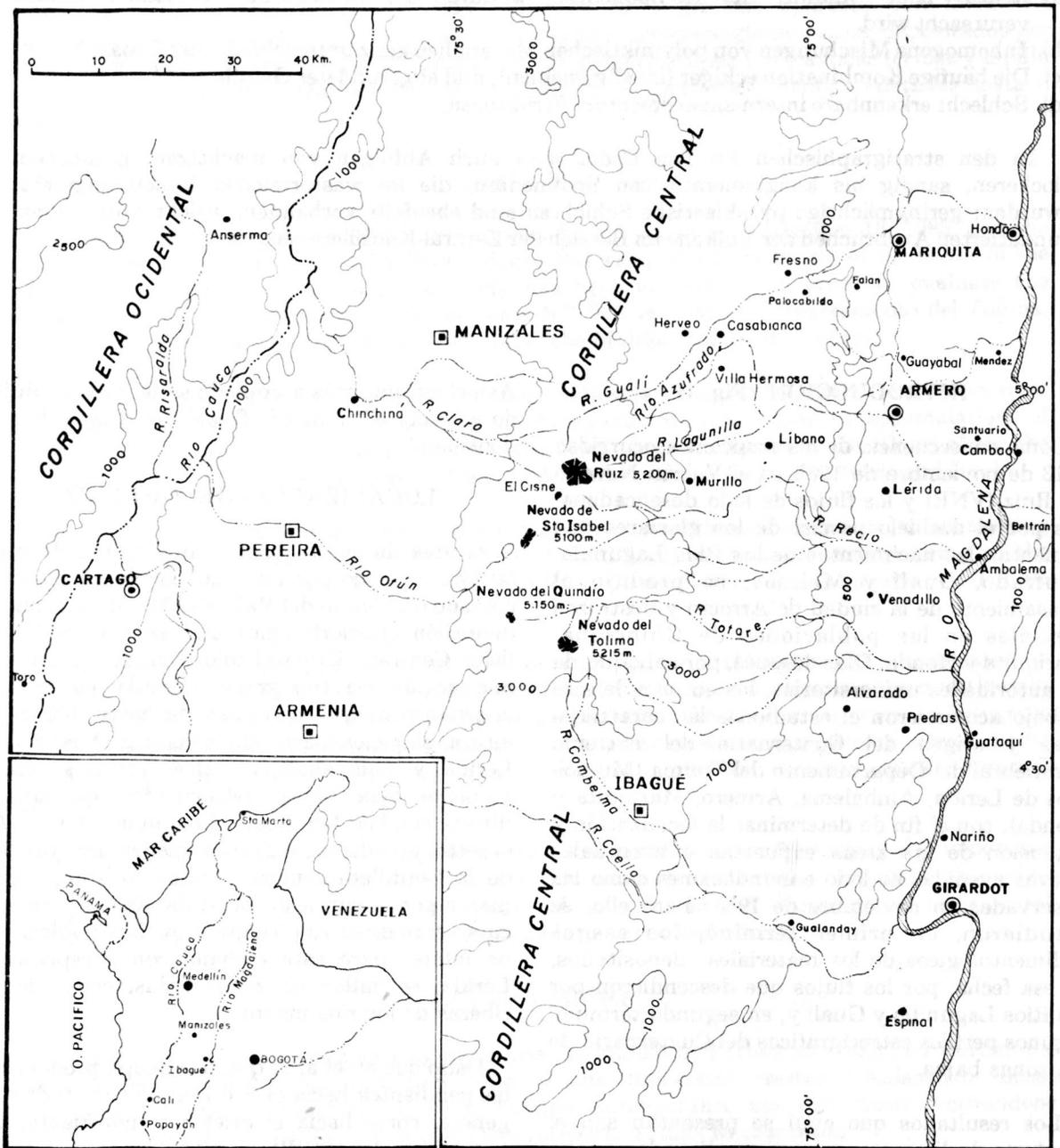


Fig. 1. Mapa de localización geográfica con los principales sitios mencionados en el texto.

confluencia se encuentra en una depresión geomorfológica con diferencia de alturas de 234 m con respecto a Mariquita y de 80 m con relación a Armero.

MARCO GEOLOGICO (Fig. 2)

Aún cuando, en ningún momento se pretende adelantar una descripción detallada de la geología del área (para ello véase De Porta 1966), con el

ánimo de brindar una visión de conjunto, a continuación se presenta el marco geológico general del área investigada, la cual, según se aprecia en las cartografías de Raasveldt & Carvajal (1957), Kassem & Arango (1974) y Barrero & Vesga (1976), está constituida por dos conjuntos geológicos mayores:

- a) El piedemonte de la Cordillera Central -limitado al oriente por un sistema de fallas in-

versas (Fallas de Mulato o Mutatá) que corre aproximadamente en la dirección N-S, un poco al occidente de las poblaciones de Mariquita, Armero, Lérica y La Sierra-, conformado por metamorfitas (anfíbolitas, esquistos grisoscuros y grisverdosos) al parecer precámbricas y paleozoicas, plutonitas mesozoicas (e.g. Stock de Mariquita, Batolito de Ibagué), rocas vulcanoclásticas jurásicas (Fm. Saldaña, justo al W de Armero) y escasos remanentes de sedimentos del Terciario Superior (v. más adelante).

- b) El Valle del Magdalena, en donde afloran sedimentos del Terciario Superior -representado por el Grupo Honda y la Fm. Mesa-, el Pleistoceno (Abanico de Lérica), el Pleistoceno?-Holoceno temprano (Abanico de Mariquita y Guayabal) y el Holoceno joven (valles de los Ríos Recio, Lagunilla y Gualí). El Terciario Superior es fácilmente reconocible, ya que da lugar a las colinas y sierras que limitan las unidades cuaternarias; se trata de sedimentos poco consolidados, basculados hacia el oriente y por lo común bastante disectados por la erosión.

La Falla de Honda, orientada en buena parte de norte a sur, corre por el borde W del río Magdalena, causa una repetición parcial del Terciario Superior y da lugar a una barrera topográfica que desvía buena parte del drenaje y limita localmente la extensión oriental del Cuaternario más joven; así mismo, tal barrera da lugar a estrechamientos y rápidos en las corrientes que la atraviesan (Río Viejo).

El Grupo Honda, de vasta extensión en el Valle del Magdalena, se presenta aquí en forma de colinas bajas, con drenaje denso, y se compone de espesas capas de arcillolitas multicolores, areniscas sucias, y conglomerados ricos en cuarzo lechoso y chert negro. El Grupo Honda puede considerarse en términos amplios como Mioceno (De Porta, 1966).

La Fm. Mesa ocupa grandes superficies del área de trabajo y se distingue con facilidad porque da lugar a las colinas y sierras más elevadas, caracterizadas por taludes escalonados y topes, o "mesas". Esta unidad, cuyo nombre no está ligado a ningún sitio geográfico sino a sus rasgos geomorfológicos, constituye una sucesión de varios centenares de metros de limolitas grisáceas, areniscas inmaduras y poco consolidadas, y conglomerados poligénicos; las areniscas exhiben persistente carácter tobáceo y matriz arcillosa,

caolinítica, en tanto que los conglomerados compactos y mal seleccionados resulta ser en parte producto de corrientes de alta densidad (flujos de lodo). Los conglomerados contienen, en orden de abundancia, cantos subangulares a subredondeados, de andesitas grises y verdosas, vulcanitas pardo-rojizas, pumita gris y blanca, filitas y esquistos grises y verdosos, anfíbolitas, cuarzo lechoso, y plutonitas granodioríticas. De Porta (1974: 405) divide la Fm. Mesa en tres miembros (Las Palmas, Bernal y Lumbí, de más bajo a más alto) y considera que su edad comprende el Mioceno?-Plioceno; empero, Dueñas & Castro (1981) señalan que el Miembro Las Palmas contiene, en las proximidades de Falan, palimorfos indicativos del Plioceno Inferior, lo cual indica que la Fm. Mesa representa en gran parte, si no en su totalidad, el Plioceno.

El Abanico de Lérica es una altiplanicie con suave inclinación hacia el E y NE, notablemente disectada en sus contornos, conformada por múltiples flujos de lodo, que incluyen ante todo segmentos proximales, con abundantes cantos y bloques con diámetros que varían entre centímetros y decímetros. El espesor total, derivado de las diferencias de altura entre la base y el tope, puede alcanzar hasta unos 80 m. El material del abanico, acarreado por el Río Recio desde las partes altas de la Cordillera Central, consiste de clastos mal seleccionados con redondeamiento desigual (desde angular hasta redondeado), que comprenden restos de vulcanitas andesíticas, pumitas, esquistos, anfíbolitas, plutonitas de composición intermedia y cuarzo lechoso. Aun cuando, por ahora, no se cuenta con datos seguros sobre la edad, la altura a que se encuentra la superficie, la profunda disección alcanzada por los cauces de los Ríos Recio y Bledo (unos 80 m en el primer caso, hasta unos 40 m en el segundo), el buen desarrollo del drenaje superficial y la persistencia de los flujos de lodo en la columna estratigráfica sugieren que el Abanico de Lérica ha de representar el Pleistoceno, o sea el tiempo de las grandes glaciaciones a nivel mundial, cuando la línea de nieves "permanentes" pudo descender, durante cada glaciación, hasta alturas cercanas a 3.200 m, de tal manera que la cantidad disponible de agua proveniente de los deshielos era muy superior a la de la actual época post-glacial, en la cual sólo se tienen nieves perpetuas a partir de los 4.800 m sobre el nivel del mar.

Las planicies de Mariquita y Guayabal (en realidad también abanicos), con una disección mucho menor que la del Abanico de Lérica, resultan sin duda más jóvenes que éste, y en

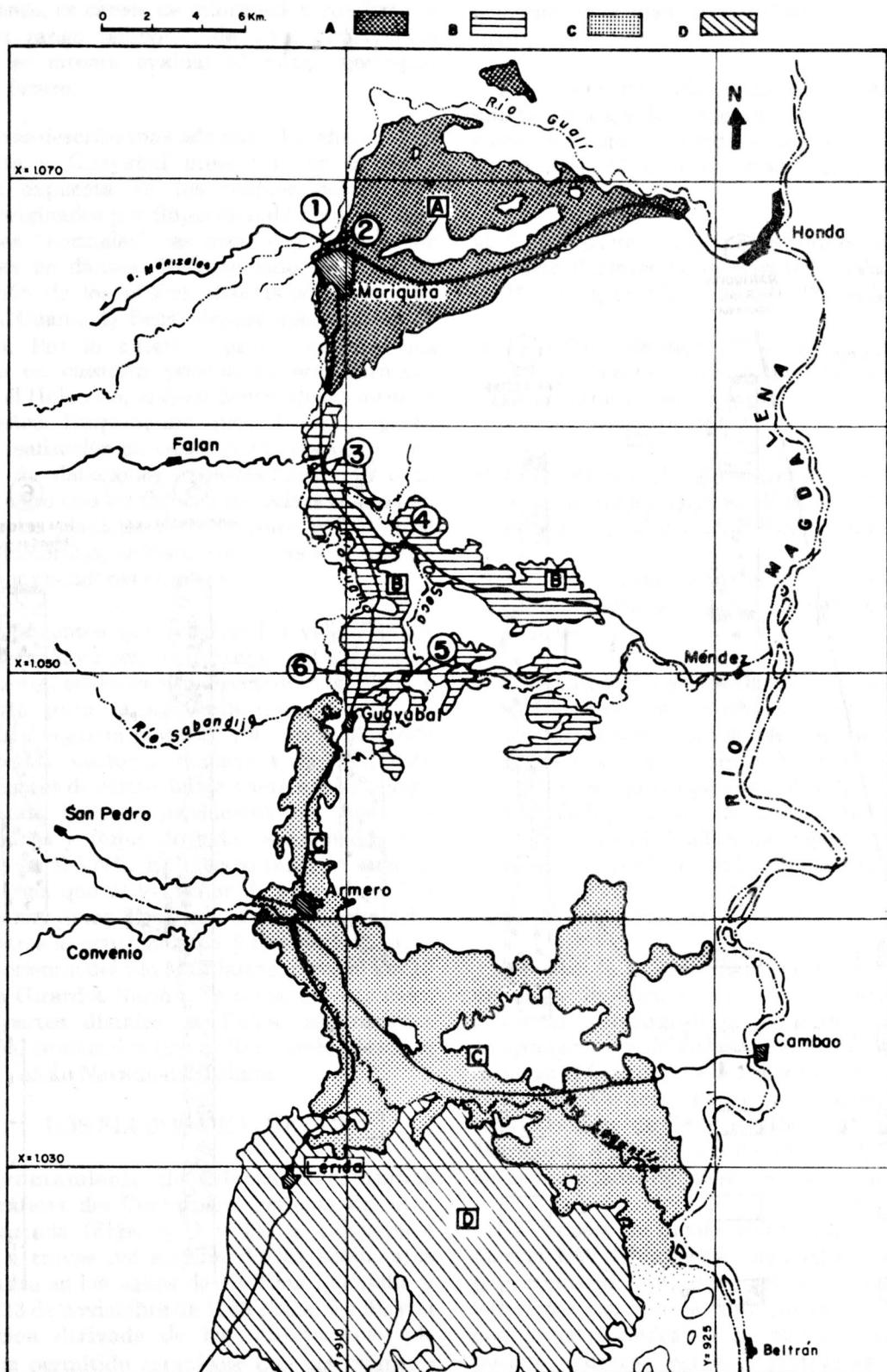


Fig. 3. Localización de los perfiles cuaternarios investigados entre Mariquita y Guayabal. A. Abanico de Mariquita; B, Abanico de Guayabal-El Rhin; C, Abanico de Armero; D, Abanico de Lérica.

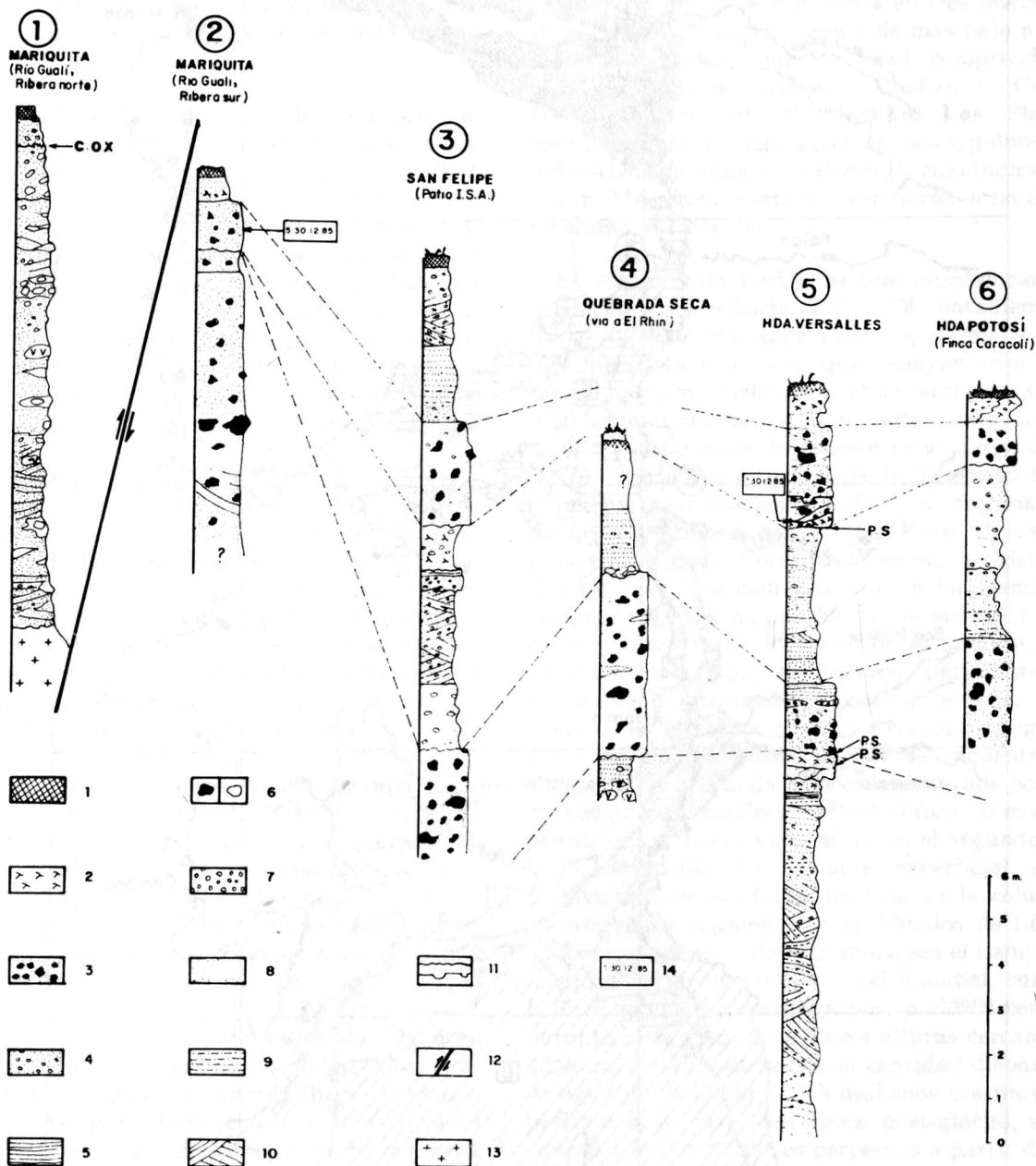


Fig. 4. Perfiles estratigráficos del Cuaternario estudiados entre Mariquita y Guayabal (Tolima); localización: Fig. 3.
 1: Suelo orgánico, actual; 2: capas tobáceas; 3: flujos de lodo; 4: arenas sueltas, conglomeráticas; 5: capas con estratificación paralela; 6: cantos angulares (en negro), cantos redondeados (en blanco); 7: gravas redondeadas; 8: arenas; 9: limos; 10: capas con estratificación cruzada; 11: límites erosivos; 12: falla inversa; 13: intrusivos granodioríticos; 14: muestras analizadas sedimentológicamente. P.S.: Paleosuelos; C.O.X: Costra de oxidación.

promedio quizás menos potentes. No obstante, por el momento, se carece de información confirmada sobre su rango temporal, de vital importancia cuando se intenta evaluar el riesgo geológico actual y futuro.

Según se describe más adelante, los abanicos de Mariquita y Guayabal presentan, en la parte superior expuesta en los perfiles estudiados, niveles originados por flujos de lodo y sedimentos fluviales "normales", es decir depositados por corrientes no densas. De otro lado, el nivel de excavación de los cauces más importantes (R. Gualí, R. Cuamo, Q. Seca) alcanza apenas entre 15 y 20 m. Por lo anterior, parece ser que los abanicos en cuestión pueden haberse formado durante el Holoceno, es decir dentro de los últimos 10.000 años. Empero, una precisión al respecto exige la realización de estudios más detallados, en especial de dataciones radiométricas. En todo caso, es claro que los flujos más recientes que han afectado las planicies de Mariquita y Guayabal son pre-históricos, es decir anteriores a la llegada de los conquistadores españoles.

Los sedimentos que rellenan los valles de los Ríos Lagunilla y Recio, constituyen el Cuaternario más reciente, escasamente disectado, más llano y más apto para la agroindustria. Según lo evidencia el registro histórico (Mojica et al. 1986) -incluidos los eventos de noviembre de 1985, y los relevamientos de campo hasta ahora adelantados-, se trata de llanuras producidas por repetidas inundaciones y flujos de lodo, relacionados con deshielos en el VNR. Es preciso tener en cuenta, sin embargo, que de los flujos de lodo por el Río Recio no hay datos históricos. Por otro lado, debe mencionarse la ocurrencia de flujos de lodo en el costado oriental del Río Magdalena, cerca al km 10 de la vía Girardot-Nariño. Se trata, en este caso, de las partes distales de flujos, seguramente holocenos, conducidos por el Río Coello, desde el área del Volcán Nevado del Tolima.

LOS FLUJOS DE LODO

El levantamiento de diferentes columnas estratigráficas del Cuaternario reciente del área aquí abarcada (Figs. 3, 4 y 5), la experiencia lograda a través del estudio de los sedimentos depositados en los valles de los Ríos Lagunilla y Gualí el 13 de noviembre de 1985 (Figs. 6 a 9), y la información derivada de las observaciones de campo ha permitido establecer que las planicies adyacentes a los ríos que descienden directamente del VNR constituyen el nivel actual de relleno de las zonas bajas, como producto de flujos de lodo,

sedimentos acumulados por corrientes acuosas y esporádicas lluvias de piroclastos (ante todo cenizas).

Los flujos de lodo antiguos -o sea aquellos anteriores a los de noviembre de 1985, utilizados como elemento de comparación-, como se ilustra en las Figs. 10 a 20, se caracterizan y reconocen por:

- a) Su compactación (cementación) notable que da lugar al desarrollo de paredes verticales (Figs. 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21 y 23).
- b) La pobre selección (Figs. 8, 11, 13, 21) que permite la presencia simultánea de arcilla, limo, arena, grava, cantos y bloques, mezclados de manera desordenada.
- c) La combinación de clastos angulosos, por lo general predominantes (Figs. 11, 13, 19, 22), con cantos redondeados (Figs. 8, 9, 21).
- d) La abundancia de material poligénico (vulcanitas, metamorfitas, plutonitas, cuarzo lechoso).
- e) La apariencia masiva y la poca expresión de las estructuras sinsedimentarias, que comprenden estratificación cruzada de grande escala, límites inferiores erosivos (Figs. 10, 12, 15, 20, 22), bolsones conglomeráticos (Fig. 9), estratificación gradada en los tramos más superiores y, raras veces, huellas de organismos excavadores, en los planos sedimentarios (Fig. 17).

Perfiles estratigráficos

Además de la identificación de las diferentes unidades litológicas, el levantamiento de las columnas estratigráficas permitió también la comprobación de fallas inversas, muy jóvenes, que dislocan el Cuaternario colindante con el pie de la Cordillera Central, como se desprende de la comparación de los perfiles estudiados en Mariquita, a lado y lado del río Gualí (Fig. 5), en las proximidades del puente sobre la vía a Fresno.

La primera de dichas columnas, situada en el margen NW del río, está compuesta íntegramente por areniscas gravosas, grises y sueltas, con lentejones espesos de conglomerados poligénicos con cantos redondeados de vulcanitas andesíticas, pumita, cuarzo lechoso, plutonitas granodioríticas, anfibolitas, filitas y esquistos oscuros; el espesor aflorante alcanza 15 m y las capas buzan unos 25° hacia el noroeste. La segunda, localizada



Fig. 6. Flujo de lodo del 13.11.85 en Armero, cerca del cañón del Río Lagunilla (flecha). Fase lodosa, lateral y tardía en el margen N del abanico. Nótese los cantos gruesos (color gris claro) hacia la base. Foto tomada hacia el SSW; distancia a la boca del cañón: unos 500 m. El talud del primer plano se debe a remoción mecánica para reabrir una vía. El espesor acumulado en este sector es de unos 2 m. Fecha de la toma: enero 26 de 1986.



Fig. 7. En primer plano, grietas de desecación sobre fase lodosa del flujo de lodo del 13.11.85 en Armero. En la parte central de la foto se nota un canal de escorrentía formado por las aguas lluvias. Los objetos del plano de fondo son sacos de algodón. Lugar de la foto: vía Armero-Guayabal, cerca de la Granja Experimental de la Universidad del Tolima. Fecha de la toma: diciembre 29 de 1985.



Fig. 8. Flujo de lodo del 13.11.85 el sector occidental de Armero (salida hacia Guayabal). Nótese la mezcla de bloques, con diferente grado de redondez, y material lodoso, evidenciado por la remoción del sedimento para reabrir la vía. El espesor depositado aquí alcanza unos 1,2 m, lo cual se nota bien en la casa del fondo, cuyo primer piso fue anegado y rellenado hasta cerca de la mitad de las puertas. La toma, del 29 de diciembre de 1985, corresponde aproximadamente al lugar de divergencia de la corriente hacia el Este (en dirección al cementerio de Armero) y hacia el Norte ("brazo de Guayabal", por la Q. Santo Domingo).



Fig. 9. Barra longitudinal de grandes bloques, con imbricación notable, en la parte central del flujo del 13.11.85 en Armero. Los bloques, en su mayoría redondeados constituyen la carga de fondo del flujo en el sector proximal, aquí a unos 2.5 km al E de la boca del cañón del Río Lagunilla. Se trata, sin duda, de material arrancado del lecho de dicho río y transportado por kilómetros hasta el valle. Este lugar corresponde al sector donde el torrente desarrolló la máxima energía y por el cual pasaron la mayoría de las oleadas ("bombadas"). El canal del primer plano es producto de aguas de escorrentía durante los últimos momentos del flujo y drenaje de aguas lluvias posteriores, que a su vez, han lavado y destacado la superficie de los bloques, Foto tomada el 26 de enero de 1986, en dirección al Sur. Dirección del flujo en la foto: de derecha a izquierda.



Fig. 10. Afloramiento en la ribera occidental del valle de la Q. Seca (Finca Versailles) 2 km al N de Guayabal. En la parte baja se aprecia una secuencia areno-conglomerática, muy suelta, con estratificación cruzada a grande y mediana escala, depositada por corrientes acuosas de baja densidad; en la parte superior se encuentra un flujo de lodo unos 2,3 m. de espesor (pared vertical), con aspecto homogéneo, resistente a la erosión. En el techo del perfil se tienen estratos arenosos y capas piroclásticas sobre los cuales se desarrolla el suelo. Más detalles en el texto.



Fig. 11. Aproximación del flujo de lodo ilustrado en la Fig. 10. Nótese la mala selección, la angulosidad de los fragmentos, el carácter poligénico de los clastos, evidenciado por los diferentes tonos, y el aspecto caótico y compacto de la roca. El tamaño general de los clastos indica, en este caso, una facies distal. Diámetro de la moneda: 2,5 cm.

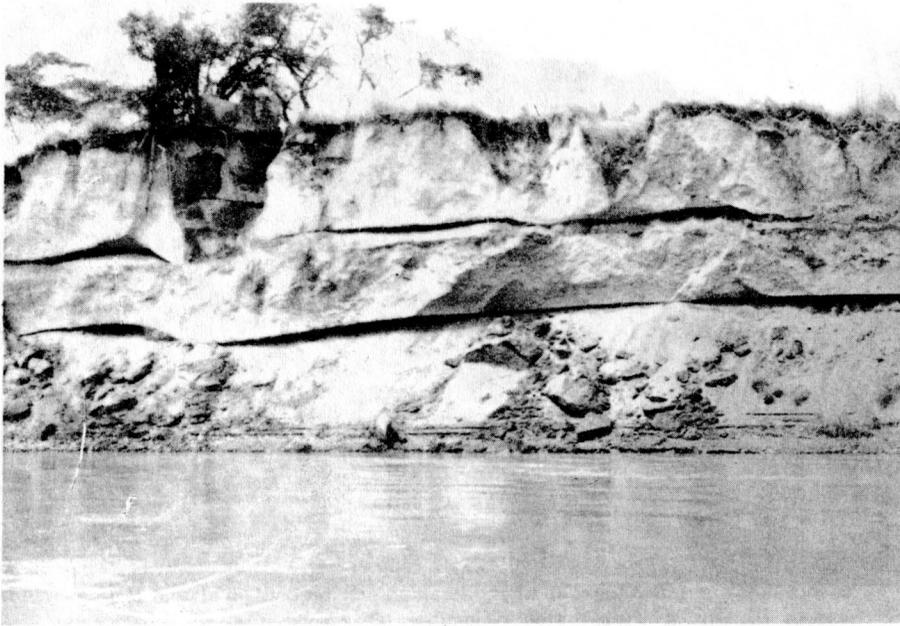


Fig. 12 Afloramiento en la ribera occidental del Río Magdalena, 1 km. al Sur de las bocas del Río Recio. En el talud se observan tres conjuntos: en la parte baja sedimentos fluviales, grisáceos, sueltos, areno-conglomeráticos, con gravas y cantos bien redondeados y marcada imbricación; en el centro y arriba dos flujos de lodo, con límites inferiores erosivos y paredes verticales. Bajo los árboles se alcanzan a notar los restos de una vivienda destruida por derrumbes del talud, aquí con una altura total de unos 9 m. Nótese la inclinación de los flujos de lodo hacia la izquierda de la foto, tomada en dirección al E.



Fig. 13. Detalle del flujo más bajo mostrado en la Fig. 12. Se evidencian la mezcla caótica del material y la angularidad de los clastos, compuestos esencialmente de restos de vulcanitas andesíticas, filitas y esquistos grises y verdosos, y gránulos de cuarzo lechoso. Diámetro de la escala: 2,5 cm.

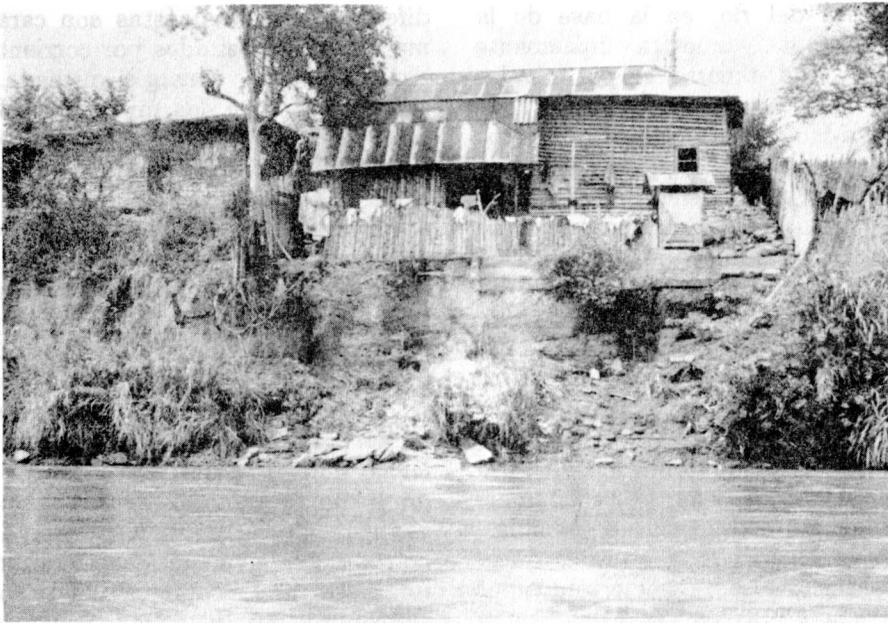


Fig. 14. Ribera occidental del Río Magdalena, unos 600 m. aguas abajo de las bocas del Río Recio. Se observan casas del barrio la Quinta de Ambalema, construidas sobre flujos de lodo (provenientes del Río Recio) que se expresan aquí por el talud vertical. Las edificaciones se encuentran amenazadas por la erosión lateral del Río Magdalena, habiéndose derrumbado ya el área de los patios.

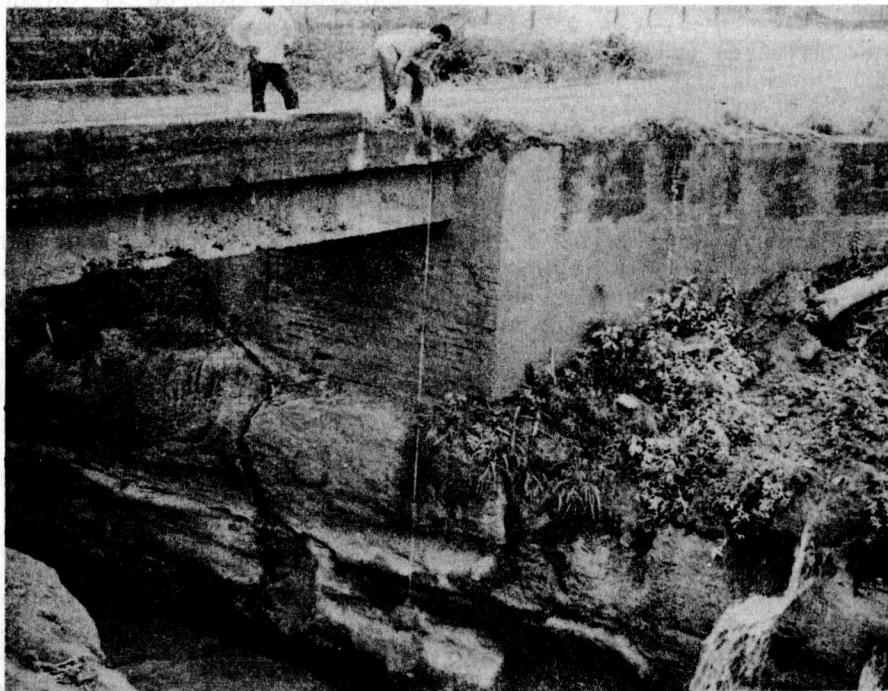


Fig. 15. Puente sobre el Río Lagunilla en la vía Ambalema-Cambao. Directamente bajo las bases del puente se aprecian tres sucesivos flujos de lodo, resistentes a la actividad de las aguas, con paredes verticales y límites inferiores erosivos. De la base del puente hacia arriba afloran unos 10 m. de arenas sueltas, limos y arcilla rojiza limno-fluviátiles.

en la orilla opuesta del río, en la base de la "terrazza" de Mariquita, muestra únicamente flujos de lodo, separados entre sí por niveles tobáceos, mal expuestos. Puesto que por la carretera Mariquita-Honda, principalmente en los zanjones que atraviesa, se ven exposiciones persistentes de flujos de lodo, se deriva que la situación mostrada por la segunda columna no representa eventos restringidos al Río Gualí, sino que involucran en gran parte la planicie.

El perfil estratigráfico de la ribera oriental del Río Cuamo, por la vía a Falan (Fig. 4), muestra dos flujos de lodo antiguos provenientes, según lo indican la forma e inclinación general del Abanico de Guayabal -El Rhin, del área de Mariquita (río Gualí). Separando los flujos, y aun por encima del superior, se encuentran sedimentos deleznales, areno-conglomeráticos, grises en general, depositados por corrientes acuosas, caracterizados por la redondez marcada de las gravas y los cantos mayores, la expresión clara de estratificación cruzada y la forma lenticular de los conjuntos conglomeráticos. En la base del flujo superior se encuentra una capa tobácea de unos 80 cm de espesor. El tercio alto de la columna pudo ser mejor investigado, ya que con la explicación para una futura subestación del sistema nacional de interconexión eléctrica, se produjo un talud de 300 m de largo y 2 m de alto.

En la margen occidental de la Q. Seca, por el carreteable hacia la Hacienda El Rhin y el poblado de Méndez, se tiene un perfil que comienza por un conjunto areno-conglomerático con grandes bloques redondeados, poco cementado y al parecer producto de corrientes fluviales, seguido de un importante flujo de lodo que incluye cantos de vulcanitas de hasta 50 cm de diámetro. En la parte superior de la columna aparecen areniscas grises y sueltas, con esporádicos cantos redondeados, depositadas a partir de fases acuosas y de energía moderada.

En los terrenos de la Hacienda Verdalles, por un carreteable que conduce a Méndez, en el talud occidental del valle de la Q. Seca (en este sector bastante amplio), se encuentra el perfil más completo y continuo de los investigados en el Abanico de Guayabal. En la parte basal ocurre una secuencia areno-conglomerática, muy semejante a la descrita en la columna 1, al W de Mariquita. Se trata de sedimentos deleznales, altamente susceptibles a la erosión regresiva, con estratificación cruzada a mediana y grande escala, bolsones conglomeráticos de cantos poligénicos bien redondeados, y límites erosivos entre los

diferentes estratos; éstas son características de materiales depositados por corrientes acuosas de baja densidad y energía mediana. El tope del conjunto incluye dos niveles piroclásticos y dos paleosuelos (2 y 10 cm de espesor). A continuación y separado por una superficie de erosión sigue un tramo compacto de unos 2 m de espesor, areno-gravoso y brechoide, con estratificación cruzada, interpretado como un flujo de lodo. Sigue un paquete de 3.5 m de sedimentos sueltos (Fig. 10), areno-conglomeráticos, con propiedades comparables a las de la unidad inferior del perfil; en el tope aparece un paleosuelo poco desarrollado, con restos de vegetales in situ, deformados por la acción del flujo de lodo que recubre el paleosuelo. Dicho flujo (Fig. 10), con unos 2.3 m de espesor promedio, presenta una estratificación cruzada de gran escala, superficies erosivas internas y bolsadas conglomeráticas concentradas en el tercio central. La columna remata con una capa de arena poco consolidada y un horizonte piroclástico poroso, sobre el cual se desarrolla el suelo actual. El horizonte piroclástico tiene gran importancia pues, visto en detalle, se compone de tres niveles: el primero de cenizas finas (abajo) y gruesas (arriba) el segundo de cenizas gruesas y lapilli; el tercero de cenizas gruesas, para un total cercano a 50 cm. Se trata del registro de erupciones consecutivas, procedentes seguramente de los volcanes del "Parque de Los Nevados", una de las cuales tuvo energía muy superior a las ocurridas el 13 de noviembre de 1985.

En la Finca Caracolí (sur de la Hda. Potosí, unos 2.5 km al NNW de Guayabal), por el costado oriental del valle del Río Cuamo se tiene el último de los perfiles investigados entre Mariquita y Guayabal. En sector, la erosión lateral y regresiva ha producido un talud bien desectado que permite observar dos flujos de lodo, separados por un paquete areno-conglomerático, no consolidado, típicamente fluvial, de aguas de mediana energía, como aquellos descritos en las columnas anteriores. En la parte alta, por encima del segundo flujo de lodo, se encuentran capas piroclásticas y sedimentos arenosos.

Con respecto a los demás flujos de lodo observados en el área (Figs. 12 a 23), consideramos que su estudio pormenorizado, previsto para el futuro próximo, puede ser la clave para determinar el verdadero alcance del riesgo geológico en las zonas bajas del extremo noreste del Departamento del Tolima; su ocurrencia en lugares tan distantes del piedemonte de la Cordillera Central como las desembocaduras de los Ríos Recio y Lagunilla, y aún en el costado



Fig. 16. Afloramiento en el km. 2,3 de la vía Ambalema-Venadillo, margen septentrional del valle del Río Recio. Se observa un espeso flujo de lodo con paredes verticales diaclasadas y manifiesta estratificación paralela a cruzada. Frente al observador se aprecia un límite subvertical (tono oscuro) que representa una estructura de corte y relleno en los sedimentos colindantes, que resultan ser otro flujo de lodo.

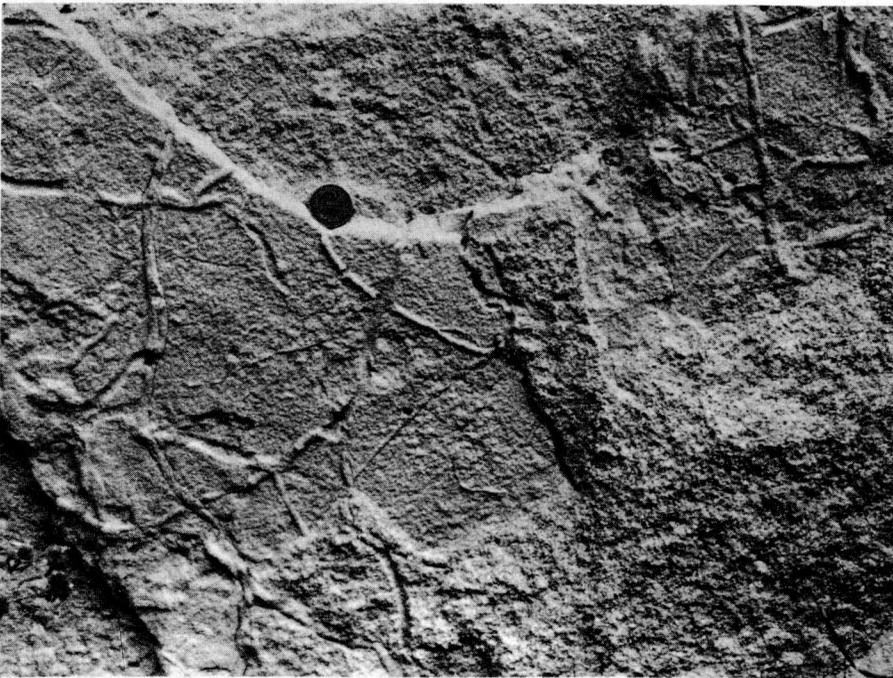


Fig. 17. Estructuras sedimentarias producidas por organismos excavadores en la base de una intercalación arenosa del flujo de lodo de la Fig. 16: las huellas se encuentran en un bloque caído de la parte alta del talud ilustrado en dicha figura. Diámetro de la escala: 2,3 cm.

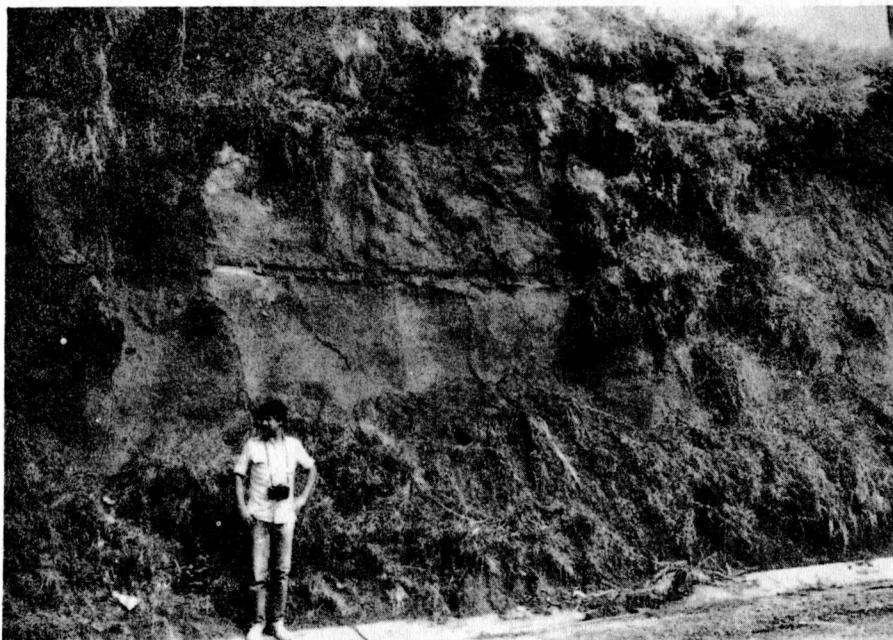


Fig. 18. Afloramiento en el km 5 de la vía Girardot-Nariño. Aparecen tres flujos de lodo, distales, provenientes del Río Coello y por ende, originados por deshielos en el Nevado del Tolima. Se tiene aquí el registro de eventos de grandes proporciones que han traspasado el cauce del Río Magdalena y alcanzado la ribera oriental, ya en el Departamento de Cundinamarca. Nótese la verticalidad del talud y la difusa estratificación cruzada en el conjunto más bajo.

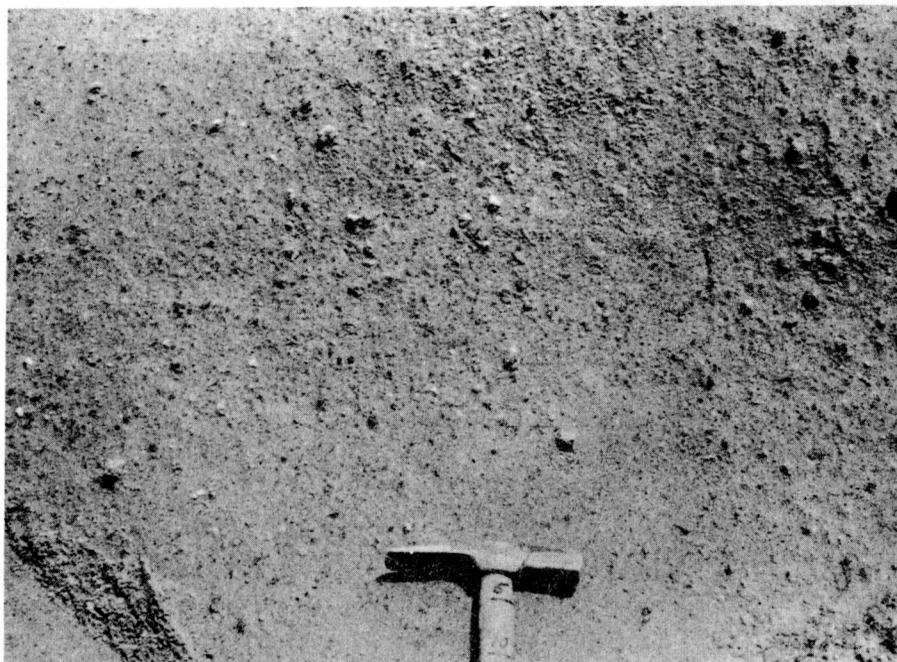


Fig. 19. Detalle del nivel bajo mostrado en la Fig. 18. Se aprecian bien los clastos angulares (gránulos y gravas) que conforman aquí un 30% del volumen; es evidente también la pobre selección de tamaños y la mezcla desordenada del material. El tamaño relativamente pequeño de los clastos ratifica el carácter distal del sedimento. Compárese con el mostrado en la Fig. 21. Los números en el martillo indican longitud en centímetros.



Fig. 20. Margen oriental del Río Lagunilla en la concentración escolar de El Danubio, 3 km al SW de la desembocadura en el Río Magdalena. En la parte baja se aprecian sedimentos arenosos sueltos, recubiertos por un delgado flujo de lodo (pequeño talud vertical), cuyo límite inferior es claramente erosivo. La erosión regresiva, causada aquí por un canal de "cosecheros y desechos", amenaza con destruir las construcciones. El afloramiento se encuentra a unos 100 m del cauce actual del Río Lagunilla.



Fig. 21. Corte natural, por corrientes postreras y posteriores la facies proximal del flujo de lodo del 13.11.85 en Armero, a unos 400 m al E de la boca del cañón del Río Lagunilla. Se trata de un sector lateral de flujo, que hacia la base contiene abundantes cantos redondeados, con alguna imbricación. El espesor del depósito aquí es de unos 1.6 m. Compárese con la Fig. 19.



Fig. 22. Base del flujo de lodo ilustrado en la Fig. 10. Nótese el límite erosivo y las plantas in situ (flecha) dobladas en dirección de la corriente. La unidad subyacente consiste de conglomerados con cantos bien redondeados, poligénicos y areniscas deleznable, de origen fluvial.



Fig. 23. Detalle del flujo de lodo mostrado en la Fig. 16. Nótese la estratificación fina y las concentraciones lenticulares de grava fina.

oriental del Magdalena (hasta ahora comprobada únicamente entre Girardot y Nariño; Figs. 18 y 19), es clara evidencia de que eventos de este tipo han desarrollado en el pasado proporciones mucho mayores que las registradas durante los flujos del 13 de noviembre de 1985 en Armero.

El reconocimiento rápido de las condiciones geológicas en el sector terminal y las bocas del Río Recio (Figs. 5, 12, 13, 14, 16, 17 y 23) indica que los flujos de lodo por dicho río han llegado hasta el Magdalena, pero no es claro si han alcanzado la ribera opuesta, es decir el lado condinamarqués, y si sus efectos han causado represamientos importantes del último.

Según se muestra en el corte de la Fig. 5, en el caso de nuevos flujos por el Río Recio, de la población de Ambalema sólo estaría en peligro inminente el Barrio La Quinta, situado en el sector SW del casco urbano, sobre una terraza constituida en la parte alta por los flujos de lodo antiguos (Fig. 14). Así mismo, ante un eventual represamiento del Río Magdalena, correrían riesgos únicamente las construcciones aledañas al cauce del mismo; el resto de la población se encuentra a alturas superiores a 15 m con respecto al Magdalena, lo cual brinda un bien margen de seguridad, puesto que los reflujos tenderían a extenderse hacia la margen oriental, más baja y sin talud natural de protección. Por otra parte, según se desprende de algunas observaciones puntuales, la planicie inmediatamente al norte de Ambalema es producto de sedimentos acumulados por migraciones del cauce, e inundaciones, del Río Magdalena, sin que se evidencien en la superficie antiguos flujos de lodo provenientes del Río Lagunilla; los más cercanos se encontraron sólo en el cauce de dicho río, bajo el puente de la vía Ambalema-Camboá (Fig. 15), donde se tienen tres flujos de lodo, cubiertos por unos 10 m de arenas, limos y arcillas de color rojizo a café, de origen limno-fluvial.

Características sedimentológicas

Se realizaron análisis preliminares de algunas características sedimentológicas, tanto de los flujos antiguos presentes en las secuencias sedimentarias estudiadas, como de muestras obtenidas de los flujos actuales. Estas características incluyeron color, tamaño de las partículas y morfología.

El material depositado por el flujo en la localidad de Armero (Figs. 6, 7, 8, 9, 21) presenta un color gris oscuro de tonos verdosos en estado

húmedo y gris rojizo amarillento en estado seco. En los afloramientos, los flujos antiguos presentan una matriz de color gris oscuro, con cantos de tonos grises, verdosos y rojizos, producto de los diversos tipos de roca presentes. El tamaño del material varía desde bloques de hasta 5 m de diámetro hasta lodo menor de 60 micrones. Para el análisis de tamaños se recolectaron muestras, tanto del flujo en la localidad de Armero, como del flujo en el Río Gualí su paso por Mariquita; para efectos comparativos y de caracterización de los flujos en toda la zona, se escogieron muestras de flujos antiguos, procedentes de la Hacienda Versalles al NE de la localidad de Guayabal y de la terraza sobre la que se asienta Mariquita; estas muestras incluyen material de tamaño arena y lodo. El material más grueso, de gravas a bloques, se encuentra tanto en la parte inferior de las masas de arena y lodo, en forma de una capa subhorizontal, extensa e irregular, de espesor variable (décímetros a metros), como en los canales formados por las corrientes de agua, al ser ésta expulsada de la masa del flujo. Estas características aparecen en los flujos antiguos, en donde las secuencias caóticas de material se hallan asociadas a depósitos de corrientes. Adicionalmente, la viscosidad varía en diferentes zonas del flujo en Armero, en donde los depósitos pasan, de capas delgadas extensas, a cuerpos lobulados gruesos con márgenes inclinadas. En el material grueso se observa imbricación de los cantos y gravas por acción de las corrientes (Fig. 9). Al solidificarse el material, las masas con mayor cantidad de lodo se contraen y forman grietas de disecación en su superficie (Fig. 7).

En la Fig. 24 se presenta, para fines comparativos, el análisis parcial de tamaño de siete muestras de material recolectado; sólo figuran las clases de guijarro a limo grueso. Las curvas F y G son de flujos antiguos (Hacienda Versalles y Río Gualí respectivamente). La muestra A, colectada en Armero, cerca al aeropuerto, representa probablemente una zona marginal del flujo, con buena selección ($S_o = 1.40$), sin material grueso (grava) y con pequeña cantidad de arcilla (1%); el sedimento se formó seguramente por una corriente típica de tracción. Todas las demás curvas se caracterizan por su pobre selección ($S_o = 3.0$ a 5.4) y presencia de arcilla; en algunas muestras (p.e. muestra F) la arcilla alcanza más de un 25% del total.

En la Fig. 25 se comparan depósitos modernos de flujos de lodo (Bull, 1963) y flujos antiguos y recientes en el área de Armero y Mariquita; el tamaño oscila entre guijarros y arcilla media; es

notorio en las muestras del área un aumento en la cantidad de arena presente, reflejo del material disponible en las áreas de origen y a la acción de lavado por el agua. El amplio rango de tamaños y la mala selección del material son característicos de este tipo de depósitos (Sharp & Nobles, 1953); el coeficiente de selección, S_o , para los cuatro flujos en el área alcanza un promedio de 4.5ϕ ; para las muestras de comparación (1 a 2) se calculó $S_o = 5.3 \phi$.

Morfología de los clastos.

Se analizó la morfología de los sedimentos sometidos al análisis de tamaños. Las gravas son angulares, aunque algunas, especialmente los fragmentos volcánicos, muestran redondeamiento incipiente por agua; la esfericidad es alta, aunque en estos tamaños se encuentra menos de la mitad de los fragmentos elongados. En tamaños de arena, los granos son angulares a subangulares, con muy pocos subredondeados; la esfericidad es alta, aunque existen fragmentos y cristales elongados (menos del 50%), estos últimos de anfíboles y piroxenos. El limo y arcilla son igualmente angulares, con esfericidad alta y porcentaje bajo (menos del 50%) de granos elongados. Aunque el tamaño de las partículas disminuye hacia las partes distales de los flujos, la angularidad y la esfericidad se conservan (Fig. 19); en los depósitos por corrientes asociados, los clastos tienden a ser mejor redondeados, ya que han sido sometidos a desgaste por colisiones de unos granos con otros.

CONCLUSIONES

Los resultados anteriores permiten concluir, entre otras cosas, que:

- a) Las planicies o abanicos de Mariquita, Guayabal-El Rhin y Armero han sido escenario de repetidos flujos de lodo, provenientes de los Ríos Gualí y Lagunilla. En el caso de los Abanicos de Mariquita y Guayabal-El Rhin, se trata al parecer de eventos holocenos; una precisión al respecto sólo se obtendrá mediante dataciones radiométricas de los paleosuelos y los niveles piroclásticos. El abanico de Armero, más bajo que los anteriores es, sin duda, holoceno y ha sufrido tres flujos de lodo en tiempos históricos: 1595, 1845 y 1985.
- b) A pesar de que por el Río Recio no se han presentado flujos de lodo desde el tiempo de la conquista, el registro obtenido en el campo indica que el relleno del valle correspondiente es pro-
- c) El Abanico de Lérida, bastante más disectado y elevado, es más antiguo que los mencionados en a y b; su génesis está relacionada seguramente con la época de las glaciaciones del Pleistoceno. La diferencia de altura con respecto a los valles adyacentes de los Ríos Recio y Lagunilla garantiza que, ante eventos semejantes a los de 1595, 1845 y 1985, y aún mucho mayores, la meseta de Lérida no será afectada.
- d) La evaluación detallada del riesgo geológico actual en distintos sectores de los valles de los Ríos Lagunilla, Recio y Gualí depende en gran medida de la realización de trabajos pormenorizados que permitan determinar el verdadero alcance y extensión de los flujos holocenos. Las narraciones históricas y las reconstrucciones intentadas en las Figs. 20 a 23 indican que las dimensiones y la extensión afectada por los diferentes flujos es bien variable.
- e) El riesgo por nuevas avenidas de lodo a corto y largo plazo permanecerá mientras el VNR sea activo y tenga cubierta de nieve. Así, la seguridad de las poblaciones y de los habitantes de la región depende de la apropiada ubicación de los asentamientos y viviendas rurales, en lugares exentos de peligro. Empero, la construcción de obras civiles apropiadas (e.g. muros de contención, canales) encaminadas a encauzar o desviar los flujos de lodo podrían disminuir enormemente el riesgo potencial de algunas áreas, como el valle de la Q. Santo Domingo, el sector de Mariquita próximo al Río Gualí, y por ende, del Abanico de Guayabal-El Rhin.
- f) La presencia de flujos de lodo antiguos al W de Girardot, en este caso relacionados con el área del Nevado del Tolima, prueba que en ocasiones las avenidas conducidas por el Río Coello han sobrepasado (y represado temporalmente) el Río Magdalena. Dataciones radiométricas de paleosuelos y materiales piroclás-

ticos no retrabajados son indispensables para establecer una posible edad holocena.

g) La comprobación de dislocaciones tectónicas cuaternarias en el sistema de fallas que limita el pie cordillerano, a lo largo de la línea Mariquita-Armero-Lérida, indica que se trata de fallas activas que conllevan un riesgo sísmico a tener en cuenta para las construcciones de nuevos asentamientos en la región. Es así que, según lo consignado en Ramírez (1975: 99-101), Mariquita y Honda fueron devastadas por un terremoto el 16 de junio de 1805, sin que se sepa con certeza la localización del hipocentro; al respecto, Ramírez (op. cit.) opina que se trató de un sismo somero, localizado tal vez en "alguna de las fallas de la Cordillera Oriental, frente a Honda". El mismo autor reporta otros sismos en Mariquita en 1697, 1824, así como sacudidas en Lérida (12.12.1965), La Sierra (22.06.1965) y Venadillo (03.04.1973). Por lo anterior, debemos llamar la atención sobre la necesidad de adelantar estudios detallados para una evaluación confiable del riesgo sísmico del área aquí descrita.

h) El estudio de las características generales de las avenidas del 13.11.1985, y en especial de los sedimentos depositados de los valles de los Ríos Gualí y Lagunilla, ha mostrado ser una herramienta valiosa para la identificación y entendimiento de los flujos antiguos. No obstante, dada la complejidad de los procesos involucrados en la generación de los flujos de lodo y su distribución areal al llegar a los valles, debe considerarse que los resultados obtenidos reflejan apenas un estado incipiente de la investigación.

Agradecimientos.

Los autores desean reconocer aquí la colaboración recibida de diferentes personas y dependencias de La Universidad Nacional y agradecen en especial la ayuda de: a) La Vicerrectoría Académica que, a través del Dr. Luis H. Blanco, proporcionó los medios para la realización de las excursiones; b) El Centro de Medios Audiovisuales (Cemav) que preparó las fotografías (tomadas todas ellas por el primero de los autores de este artículo); c) El señor José Miguel Rodríguez, a quien se debe la versión final de los dibujos; d) Los colegas Carlos Macía, Jaime Mendoza y Rubén Darío Llinás por su participación en las discusiones y algunos trabajos de oficina; e) Los Alcaldes de Honda, Mariquita y Guayabal, que con su comprensión e interés

facilitaron las labores de campo; f) Los señores Decanos Pablo Leyva (Fac. de Ingeniería) y Antonio Ramírez (Fac. de Medicina) por su permanente preocupación por la participación de los geólogos en las labores relacionadas con la investigación de la catástrofe de Armero y la evaluación del riesgo geológico en el NE del Tolima.

REFERENCIAS CITADAS

BARRERO, D. & VESGA, C.J. (1976): Mapa Geológico del Cuadrángulo K-9 parte Sur del J-9 La Dorada, Esc. 1:100.000. -Ingeominas, Bogotá.

BULL, W.B. (1963): Alluvial fan deposits in western Fresno County, California. - *Journal of Geology*, Vol. 71, pp. 243-251.

DUEÑAS, H. & CASTRO, G. (1981): Asociación Palinológica de la Formación Mesa en la región de Falan, Tolima, Colombia. - *Geol. Norandina*, No. 3, 27-36, 4 Figs. 2 láms., Bogotá.

KASSEM, T. & ARANGO, J.L. (1974): Mapa Geológico generalizado del Departamento del Tolima, Esc. 1: 250.000. -Ingeominas, Bogotá.

MOJICA, J., COLMENARES, F., VILLARROEL, C., MACIA, C. & MORENO, M. (1986): Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 al Valle de Armero, Tolima, Colombia. - *Geol. Colombia*, No. 14, 20 Figs., Bogotá.

PORTA, J. de (1966): La Geología del Extremo S del Valle Medio del Magdalena. - *Bol. Geol.* No. 22, 1-347, 37 Figs., 48 fotos; No. 23: mapas y láminas, Univ. Industr. Santander, Bucaramanga.

PORTA, J. de (1974): Colombie (deuxième partie). - *Lexique Stratigr. Internat.*, V, 46: 1-689. Centre Nat. Rech. Sci., Paris.

RAASVELDT, H.C. & CARVAJAL, J.M. (1957): Mapa Geológico de la República de Colombia, Plancha K-9 "Armero", Esc. 1:200.000. - *Serv. Geol. Nal.*, Bogotá.

RAMIREZ, J.E. (1975): Historia de los terremotos en Colombia. - *Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"*, 250 pp. 2a Edic., Bogotá.

SHARP, R.P. & NOBLES, L.H. (1953): Mud flow of 1941 at Wrightwood, southern California. - *Bull. Geol. Soc. of America*, Vol. 64, pp. 547-560.

Manuscrito recibido en marzo de 1986

Dirección de los autores:
Depto. de Geociencias
Universidad Nacional
Apartado 14490
Bogotá, Colombia