

1274



ANEXO

Artículos elaborados por Profesores del Departamento de Geociencias, Universidad Nacional, Bogotá, con motivo de las erupciones del volcán Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985.

CONTENIDO

1. Nota explicativa de la Comisión Editora.....
2. Características del Flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el Valle de Armero (Tolima-Colombia). Historia y comentarios de los flujos de 1595 y 1845. J. Mojica, F. Colmenares, C. Villarroel, C. Macía & M. Moreno..... ✓
3. Observaciones preliminares sobre flujos de lodo cuaternarios relacionados con la actividad del Volcán Nevado del Ruiz en la región de Armero-Guayabal-Mariquita (Departamento del Tolima, Colombia). J. Mojica, J. Brieva, C. Villarroel, F. Colmenares & M. Moreno..... ✓
4. Consideraciones sobre los aspectos meteorológicos y aspectos relacionados con la dispersión de fragmentos y gases emitidos por el Volcán Arenas del Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985. J. A. Eslava. ✓

NOTA EXPLICATIVA DE LA COMISION EDITORA

Jorge Brieva*, Jairo Mojica*, Carlos Villarroel*

El presente número de Geología Colombiana ha debido aparecer a finales de 1985. Sin embargo los trágicos acontecimientos derivados de las erupciones del Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985 obligaron a mantener en suspenso la impresión de la revista, pues la Comisión Editora consideró que los sucesos fueron lo suficientemente graves para el país e importantes para la comunidad geológica nacional e internacional, que bien valía la pena un retraso de varias semanas que permitiera la inclusión de algunos artículos sobre los temas que, relacionados con el estudio de la catástrofe, adelantó (y continúa adelantando) el Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede de Bogotá. Al respecto, vale la pena recordar que durante varios años, el área del Nevado del Ruiz fue, para profesores y estudiantes del Departamento de Geociencias, sitio obligado de visitas. La facilidad de acceso, el tipo de rocas expuestas, los rasgos geológicos y geomorfológicos presentes, así como la cercanía a la ciudad de Manizales, hacían de las excursiones al Nevado, acontecimientos de común ocurrencia. Varias generaciones de estudiantes realizaron en dicha zona de la Cordillera Central Colombiana sus prácticas de Geología Física y de Petrografía, así como algunos elaboraron allí sus trabajos de tesis.

La situación fue normal hasta finales de 1984. En noviembre de ese año la actividad fumarólica y sísmica en el cráter Arenas del Volcán del Ruiz se incrementó notablemente. El 22 de diciembre se produjo un sismo de magnitud 3 a 4 en la escala de Richter el cual, acompañado de otros de menos magnitud, causó alarma en los moradores de las áreas vecinas al Nevado.

En marzo de 1985, por solicitud de la Seccional de la Universidad en Manizales, se hizo un reconocimiento por parte de dos profesores (J. Mojica & C. Macía) del Departamento, de la zona del Nevado. En el informe de esta visita, se reconocía la reactivación, en profundidad, de la actividad magmática y se recomendaba "la instalación de instrumentos geofísicos adecuados, acompañada de muestreos sistemáticos de los gases y la observación continua de la región adyacente al cráter del Ruiz".

La actividad sísmica y fumarólica en el Nevado persistió durante los meses siguientes. Por parte de las entidades correspondientes del Estado Colombiano, se dieron los primeros pasos tendientes a la observación sistemática del Ruiz, instalando una red de Sismógrafos portátiles, e iniciando la elaboración de un mapa de riesgo volcánico y geológico. El Departamento de Geociencias, por intermedio de sus geofísicos, tuvo a su cargo la parte sísmológica del estudio correspondiente.

El 11 de septiembre de 1985, a las 14:00 horas, tuvo lugar una emisión de cenizas que cubrió gran parte del Nevado y alcanzó sitios como Manizales y Chinchiná, a más de 25 km de distancia del cráter; inmediatamente después, flujos de lodo cerraron el paso por la carretera que conduce de Manizales a la localidad de Murillo, al oriente del Nevado.

* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

El 13 de noviembre de 1985, en las horas de la tarde, se produjo una emisión de material piroclástico (cenizas y lapilli) que afectó a las poblaciones ubicadas al oriente del volcán; las cenizas alcanzaron distancias considerables, informándose de su presencia en los Llanos Orientales y en la frontera con la República Venezolana. Hacia las 23:00 horas, una mezcla de agua y material heterogéneo (piroclastos y aluviones), la primera proveniente en gran parte de la fusión de los glaciares que cubren el Nevado, se deslizó principalmente por el valle del río Azufrado hasta su desembocadura con el río Lagunilla donde, uniéndose con el torrente que bajaba por el cauce de este río, dió lugar al gran flujo de lodo que destruyó la ciudad de Armero. Destrozos menores pero no menos dramáticos, se produjeron por una acción semejante de torrentes que ocuparon los valles de los ríos Claro y Gualí y que afectaron a las poblaciones de Chinchiná, al occidente del Ruíz; y a Mariquita y Honda, al nor-oriente. La acción conjunta de estos flujos de lodo produjo cerca de 25.000 muertos, unos 5.000 heridos y cerca de 200.000 damnificados, directos e indirectos.

En las horas siguientes a la tragedia de Armero, la Universidad Nacional movilizó sus recursos al área afectada para colaborar en las tareas de salvamento. Junto a los equipos médicos y paramédicos, viajaron dos profesores (J. Mojica & F. Colmenares) del Departamento de Geociencias con el fin de realizar un reconocimiento geológico de los sedimentos depositados por el flujo, se determinaron sus características generales, y se calculó el probable volumen de los sedimentos acumulados y las áreas promedios de las secciones transversales afectadas por los torrentes en los cauces de los ríos Lagunilla y Azufrado. Así mismo, se pudo establecer que el proceso de inundación y destrucción de Armero no fue instantáneo sino que debió durar aproximadamente unas dos horas. En el informe correspondiente se propuso un nuevo reconocimiento de la parte norte de la zona (poblaciones de Mariquita y Honda). Esta visita se efectuó del 23 al 25 de noviembre de 1985; las conclusiones señalaban el peligro de ocurrencia de nuevos desprendimientos de nieve y sedimentos en las cabeceras de los ríos que descienden del Nevado del Ruíz y se proponían recomendaciones tendientes a minimizar el riesgo en el que se encontraba el área.

Paralelamente a los estudios de riesgo geológico efectuados en Armero, Mariquita y Honda, una comisión de dos profesores y estudiantes del postgrado de Geofísica viajaron el sábado 16 de noviembre a la ciudad de Manizales y al área del Nevado, con el fin de participar, con grupos de geofísicos nacionales y extranjeros, en las decisiones a tomar para el estudio sistemático y detallado del volcán; dicho personal participó igualmente en la instalación de equipos traídos por personal extranjero al área.

Días después, del 30 de noviembre al 2 de diciembre, profesores de Geología viajaron otra vez a Armero con el fin de complementar las observaciones y resultados obtenidos en las dos excursiones previas, y poder precisar así las características dinámicas, dimensionales y capacidad destructiva de los flujos de lodo; así mismo, se buscó establecer la magnitud de los destrozos ocasionados en las vegas de los ríos afectados y estimar las alturas máximas del torrente en diferentes lugares. Estos datos podrían ser útiles para la evaluación de riesgos geológicos, en el caso de futuros flujos que bajen por los ríos que nacen en el Nevado del Ruíz.

Transcurridas algunas semanas de la tragedia, el gobierno colombiano dió los pasos correspondientes con el fin de reubicar en un área adecuada, libre de riesgos, a los sobrevivientes de Armero. En esta actividad, el trabajo desarrollado por los geólogos del Departamento fué determinante, ya que el sitio del nuevo asentamiento fue escogido atendiendo las recomendaciones y estudios previos señalados. La información obtenida fue complementada con una nueva inspección al área (20 y 21 de diciembre de 1985) y la evaluación de los daños producidos por el río Gualí a la ciudad de Honda; también, en tal informe, se propuso un área para el nuevo asentamiento de Armero. Posteriormente la propuesta fue adicionada con un sitio alternativo en la población de Lérica, en donde, finalmente, se reubicará a los damnificados.

Dos excursiones posteriores al área han permitido la medición de columnas estratigráficas en el cuaternario, donde se hace evidente la existencia de anteriores flujos de lodo.

En el aspecto geofísico, desde diciembre 13 hasta enero 26 se mantuvo por lo menos un profesor y un estudiante graduado en la ciudad de Manizales. La labor de este personal fue la de colaborar en

la vigilancia sismológica y discutir criterios acerca del mejor uso de la información obtenida, a partir de la cual se elaboraron curvas de energía acumulada y de la frecuencia de eventos para tratar de establecer aspectos premonitorios de la actividad volcánica. Adicionalmente, se realizaron perfiles de gravimetría y magnetometría tendientes a desarrollar modelos de la estructura interna del volcán. De otra parte, el grupo de geofísicos colaboró en el entrenamiento de personal local para el manejo de los programas básicos de cálculo de parámetros sísmicos.

Los trabajos que se presentan a continuación son el resultado de algunas de estas observaciones y estudios de la zona afectada. Se trata de; a) Un análisis meteorológico de la dispersión de los productos volcánicos (gases y materiales piroclásticos) en ciertas áreas centrales del país, en el momento de la erupción y en días sucesivos; b) Las características geológicas e hidrodinámicas del flujo que destruyó a la ciudad de Armero; c) El estudio geológico y sedimentológico general de los flujos antiguos y recientes en la zona. Debido al corto tiempo disponible para publicación, estos trabajos tienen carácter preliminar, pero se presentan como una contribución pronta al estudio de fenómenos de tipo geológico no conocidos en el país durante el presente siglo, y cuyo análisis es indispensable, como ya se dijo, para prevenir sus riesgos y minimizar sus efectos, así como para el avance del conocimiento geológico a nivel nacional e internacional.

Sea esta la ocasión para agradecer al personal de la Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia, en especial a su Sub-Gerente Administrativo, Doctor Germán Durán Falla, por su meticulosa labor de impresión, paciencia y comprensión que hicieron posible la inserción de este anexo en la Revista.

CARACTERISTICAS DEL FLUJO DE LODO OCURRIDO EL 13 DE NOVIEMBRE DE 1985 EN EL VALLE DE ARMERO (TOLIMA, COLOMBIA). HISTORIA Y COMENTARIOS DE LOS FLUJOS DE 1595 Y 1845.

Jairo Mojica*, Fabio Colmenares*, Carlos Villarroel, Carlos Macía* & Manuel Moreno*

MOJICA, J., COLMENARES, F., VILLARROEL, C., MACIA, C. & MORENO, M. (1985): Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de Noviembre de 1985 en el valle de Armero (Tolima, Colombia). Historia y comentarios de los flujos de 1595 y 1845. —Geol. Colomb., No. 14, pp. 107-140, 23 Figs., Bogotá.

RESUMEN

El 13 de noviembre de 1985 ocurrió una reactivación importante del Volcán Nevado del Ruíz (situado a 5.200 m s.n.m., en la mitad septentrional de la Cordillera Central Colombiana), que dió lugar a varias erupciones —acompañadas de numerosos sismos— que arrojaron a la atmósfera grandes cantidades de material sólido (piroclastos) y de gases; los últimos fueron expulsados a través del cráter principal (Cráter Arenas) y de nuevos focos fumarólicos con arreglo concéntrico alrededor de él.

La acción conjunta de dichos procesos (a los cuales se sumaron lluvias torrenciales) causó rápidos deshielos de una parte, estimada en un 10% de los glaciares que cubren el volcán y alimentan los nacimientos de los Ríos Lagunilla, Azufrado, Gualí, Claros y Molinos, generándose en cada uno de ellos avenidas de escombros rocosos y vegetales que limaron hasta la roca viva las paredes de los cauces utilizados, destruyeron los puentes y viviendas encontrados a su paso y, que a la salida de las zonas planas, arrasaron la ciudad de Armero, causaron graves destrozos en Chinchiná y algo más leves en Mariquita y Honda.

El evento que afectó a Armero —y que aquí se describe— fué en verdad el resultado de la conjunción de dos flujos casi simultáneos que descendieron por los cauces de los Ríos Azufrado y Lagunilla, los cuales confluyen a unos 23 km al W de Armero, en las proximidades de la población de Líbano. El material acarreado (lodo, arena, grave, cantos, bloques, raíces, troncos y ramas) provino en mayor proporción del cauce del Río Azufrado, en el cual alcanzó alturas de hasta 40 m (cerca a Casabianca); en el Río Lagunilla, unos 2 km antes de la confluencia con el Azufrado, el flujo alcanzó apenas unos 10 m de altura. De acuerdo con la información existente, se calcula que el flujo avanzó hasta el Valle de Armero con velocidad promedio cercana a 40 km/hora.

Las observaciones de campo adelantadas por los autores permitieron establecer que el flujo que destruyó a Armero ocurrió en forma de pulsos sucesivos, que comenzaron cerca de las 22:45 hora local y terminaron horas más tarde. Su efecto sobre el casco urbano fue desigual, arrasando por las bases el sector central y cubriendo de lodo denso algunos sectores laterales. Es así, que al llegar a la

* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

región plana la avenida rebosó el cauce normal del Río Lagunilla y se dividió en tres brazos. El de mayor dimensión se proyectó por el cauce antiguo del río ("Río Viejo"), hasta unos 18 km al E, donde se encontraba el caserío de Santuario; el segundo sobrepasó una baja divisoria de aguas y siguió hacia el Norte por el valle de la Quebrada Santo Domingo, hasta alcanzar el Río Sabandija, causando un temporal represamiento en él, frente a Guayabal; el tercero y más discreto avanzó por el cauce habitual del Río Lagunilla por un tramo de unos 10 km.

El área cubierta por los sedimentos fue de 3.387 hectáreas (33,87 km²); el volumen total del material transportado hasta el Valle de Armero, incluidas las fases líquida y sólida, se estima en cerca de 80 millones de metros cúbicos; según cifras oficiales la catástrofe de Armero causó entre 22.800 y 25.000 muertos, de 4.500 a 5.000 heridos y unos 7.100 a 9.000 sobrevivientes ilesos pero sin vivienda, en tanto que los daños materiales (vías, cultivos, contaminación de aguas, destrucción de distritos de riego) sobrepasarían los 30.000 millones de pesos.

De acuerdo con los relatos históricos, el Valle de Armero fue afectado también por flujos de lodo, de mayores proporciones que el de noviembre de 1985, en marzo 12 de 1595 y febrero 18 de 1845.

Los resultados del estudio de las propiedades del evento del 13 de noviembre de 1985 han servido para identificar con certeza anteriores flujos de lodo en la parte baja del extremo NE del Departamento del Tolima y para Evaluar el riesgo geológico correspondiente en dicha región.

ABSTRACT

On November 13, 1985, an important reactivation occurred of the necado del Ruíz Volcano, located at 5.200 m o.s.l. in the Northern half of the Central Cordillera of Colombia. This reactivation gave way to various eruptions accompanied by numerous seismos, the eruption releasing quantities of pyroclasts and gases into the atmosphere. The gases were expelled through the principal crater — Arenas Crater, as well as through new fumarolic points found in a concentric arrangement around the crater.

The combined action of these processes (to wich were added torrential rains) caused rapid melting of an estimated 10% of the glaciers wich cover the volcano and wich feed the sources of the Lagunilla, Azufrado, Gualí, Claro and Molino Rivers. Each of there rivers thus became flow-ways of debris-flow composed of rock and vegetation wich scraped soil, sediments and vegetation from the walls of the river valleys. The catastrophic flows destroyed the bridges and homes in its path and, arriving in the flatlands at the base of the Cordillera, took with it the city of Armero. Very serious damage was suffered by the town of Chinchiná as was lesser damage inflicted on Mariquita and Honda.

The event which destroyed Armero was the result of the conjunction of two nearly simultaneous flows which descended along the Azufrado and Lagunilla river valleys. The confluence of the two rivers is located some 23 Km to the W of Armero, near the town of Líbano. The transported material (consisting of mud, sand, gravel, blocks, roots, trunks and branches) for the most part came from the Azufrado river valley, in which it reached a hight of as much as 40 m (near the town of Casabianca). In the Lagunilla River, at a point some 2 km before its confluence with the Azufrado, the maximum altitud of the flow was just 10 m. In accord with the information obtained, it is calculated that the flow reached the Armero Valley with an average velocity of 40 Km/h.

The field observations permitted the conclusion that the flow which destroyed Armero occurred in sucessive pulses which began at around 22:45 local time and ended several hours later. Its effect on the city varied greatly from place to place, ripping the center of the city from its base while covering some lateral sectors with dense, viscous mud. Upon its arrival in the flatlands, the avalanche overflowed the banks of the Lagunilla river and divided into three branches. The largest of these travelled over the river's old bed (Río Viejo) reaching the hamlet of Santuario, some 18 kim to the E. The second branch overflowed a low watershed and continued North through the valley of the Santo Domingo ravine, reaching the Sabandija River and causing it to be temporarily dammed just before Guayabal. The third and least destructive branch flowed via

the habitual riverbed of the Lagunilla for a distance of some 10 Km. The area covered by the sediments is 3.387 hectares (33.87 Km²). The total volumen of the material including the liquid and solid phases, is estimated at approximately 80-100 million cubic meters. According to official statistics, the Armero catastrophe caused between 22.800 and 25.000 deaths, 4.500-5.000 wounded, and 7.100 to 9.000 homeless. With respect to material damages (roads, crops, contamination of water supply, destruction of irrigation installations) its cost would exceed 30 billion pesos (200,000.000 dollars).

According to historical documents, the Armero valley was affected by even worse mudflows (than that of November 13, 1985) on March 12, 1595 and February 18, 1845, this last being the most serious of the three events.

The study of the properties of the event of November 13, 1985 has permitted the certain identification of earlier mudflows in the lower part of the extreme NE of the Department of Tolima (Colombia) and has facilitated the evaluation of the geological risk to this region.

KURZFASSUNG

Am 13. November 1985 fand eine heftige Reaktivierung des an der nördlichen Hälfte der Zentral Kordillere Kolumbiens gelegenen, vergletscherten Ruíz Vulkanes statt. Es handelte sich um einige von zahlreichen Erdbeben begleitete Eruptionen, die grosse Mengen von Pyroklastika und Gasen in die Luft setzten. Die Gase traten durch den Haupt-Krater ("Arena Krater") und neue, um ihm angeordnete Fumarolen aus.

Die Zusammenwirkung solcher Vorgänge (starke Gewitter miteingeschlossen) verursachte rasche Abschmelzung eines Teils (ca. 10%) der Gletscher, die den Vulkangipfel (5.200 m u.m.s.) bedecken und die Ursprünge der Flüsse Lagunilla, Azufrado, Gualí, Claros und Molinos speisen. Infolgedessen wurden in allen genannter Flüsse Schlammströme induziert, welche die Schluchtwände bis zum unverwitterten Gestein abschleifeten, sowie Brücken und einige Häuser zerstörten. Am Ausgang der Schluchte in die tief gelagerten Ebenen wurden die Städte Armero (völlig), Chinchiná (teilweise), Mariquita und Honda (gering) zerstört.

Die hier beschriebene Armero-Katastrophe war in Wirklichkeit das Resultat von zwei etwa gleichzeitigen konvergierenden Schlammströmen entlang der Flüsse Lagunilla und Azufrado, welche sich ca. 23 km. W Armero, nicht weit von Líbano vereinen.

Das abtransportierte Material (Schlamm, Sand, Kies, Gerölle und Blöcke, Wurzeln, Stämme und Zweige) stammt zum grössten Teil aus der Azufrado Schlucht, wo der Schlammstrom bis zu 40 m Höhe erreichte (nähe Casabianca) im Gegensatz dazu erreichte derjenige im Lagunilla Fluss, 2 km vor seiner Mündung in den Azufrado erst 10 m Höhe. Die Bisherigen Untersuchungen lassen auf eine Geschwindigkeit der Schlammströme von etwa 40 km/St schliessen.

Die Geländebeobachtungen deuten auch darauf hin, dass der Schlammstrom der Armero zerstörte in Form von sucseziven Pulsen, die gegen 22:45 Ortszeit begannen und einige Stunde später endeten, erfolgte. Die Auswirkungen in den verschiedenen Stadtteilen waren nicht gleich, da einige Vierteln total abrasiert und andere mit bis 3 m höheren Schlammbedeckt wurden. Als die Schlammströme Armero erreichten, haben sich drei Arme gebildet: der erste und grösste nahm ein altes Flussbett ("Río Viejo"), bewegte sich etwa 18 km nach Osten und hielt nach der Ortschaft "Santuario"; der zweite mittlerer Grösse überquerte eine Kleine Wasserscheide, floss nach Norden, entlang dem Santo Domingo Bach und mündete in den Sabandija Fluss, wo sich kurzfristig ein Damm bildete; der dritte, kleinste folgte dem gegenwärtigen Bett des Lagunilla Flusses und verursachte mässige Überschwämmungen bis in eine Entfernung von 10 km.

Die von Sediment bedeckte Fläche Betrug 33,87 km²; das gesamte Volumen der Schlammströme, eingeschlossen Wasser und eingeschwammtes Material, wird auf ca. 80 millionen m³ geschätzt. Nach offiziellen Zahlen hinterliess die Katastrophe etwa 23.000 Tote, 4.500 Verletzte

und 8.000 Obdachlose. Die materiellen Schäden (an Strassenverbindungen, Brücken, Wasserverschmutzung, zerstörung von Wasserkanälen) durften zusammen über 30.000 Millionen kol. Pesos (ca. U.S. \$200 Millionen) betragen.

Historischen Erzählungen nach, wurde das Armero Tal am 12. März 1595 und am 18 Februar 1845 von ähnlichen aber grösseren Schlammströmen ubrschwemmt. Die Erforschung der Ereignisses vom 13. November 1985 ist für die Identifizierung von älteren Schlammströmen und die Abschätzung des geologischen Risiko in diesem Gebiet von grossem Nutzen geworden.

“Ce qu’il y a d’étonnant, c’est qu’ aucun des habitants de ces villages batis sur la boue solidifiée d’anciens éboulements n’a jamais soupconné l’origine de ce vaste terrain...”

Joaquín Acosta, 1950
 (“Sur les montagnes de Ruiz et Tolima...”)

INTRODUCCION

El Municipio de Armero se localiza en el nororiente del Departamento del Tolima y comprende: a) Una región cálida y baja, que hace parte del extremo meridional del Valle Medio del Magdalena; está conformada por extensas y fértiles planicies cuaternarias (aledañas a los Ríos Lagunilla, Cuamo y Sabandija) y por colinas bajas, disectadas, con inclinación suave hacia el Este, desarrolladas sobre sedimentos blandos del Terciario Superior (Formaciones o Grupos Honda y Mesa; Raasveldt & Carvajal 1957, Porta 1966, Barrero & Vesga 1976). b) Una región escarpada (Vereda San Pedro), de clima algo más benigno, en el pie de la Cordillera Central, con drenajes profundos captados por los Ríos Lagunilla y Sabandija. El Río Lagunilla y su afluente principal, el Azufrado, nacen en la ladera oriental del Volcán Nevado del Ruíz (VNR) y se alimentan inicialmente de las aguas provenientes del deshielo de los glaciares respectivos. Por el contrario, el Río Sabandija no tiene conexión directa con los glaciares del Ruíz, ya que su nacimiento se encuentra a media pendiente de la vertiente E de la Cordillera Central, en el sector entre las poblaciones de Casabianca y Frías (Fig. 1).

Ya antes de 1895, a orillas del Río Lagunilla, existía el caserío de San Lorenzo. Este poblado estaba ubicado a 1.5 km al E del piedemonte de la Cordillera Central, a 335 m s.n.m. En esta región termina el cañón del Río Lagunilla, y es donde éste inicia su lento recorrido de 29 km por la llanura, hasta desembocar en el Río Magdalena. San Lorenzo constituyó el núcleo urbano inicial, a partir del cual se desarrolló la ciudad de Armero,

nombre recibido en 1930. El área ocupada por el casco urbano había sido escenario, en tiempos históricos, como se describe más adelante, de dos importantes avenidas de lodo (1595 y 1845), relacionadas con la actividad del VNR, que devastaron extensas áreas de los valles del Río Lagunilla y de la Quebrada Santo Domingo (afluente del Río Sabandija), y causaron la destrucción de cultivos y un gran número de pérdidas humanas. Además de los mencionados eventos catastróficos, la región ha sido afectada por esporádicas inundaciones, por ejemplo en abril de 1950, ocasionadas por lluvias intensas en la Cordillera Central.

En la noche del 13 de noviembre de 1985, relacionada con una nueva erupción del VNR, ocurrió otra avenida que causó la destrucción casi total del núcleo urbano de Armero y el arrasamiento de una amplia zona rural a ambos lados de los cauces viejo y actual del Río Lagunilla y de la Q. Santo Domingo. Según estimativos oficiales, la avenida habría causado entre 22.800 y 25.000 muertos y de 4.250 a 5.000 heridos, en tanto que unos 7.100 a 9.000 sobrevivientes ilesos habrían quedado sin vivienda.

EL AREA DE LOS NEVADOS

En la cima y el tercio intermedio de la Cordillera Central colombiana se tienen 4 volcanes nevados (Tolima, Quindío, Santa Isabel y Ruiz) que conforman el “Parque Nacional de los Nevados”. De ellos el Ruíz es el que se localiza más al Norte y el que alcanza la mayor altura. Se trata de un edificio volcánico complejo, con tres cráteres, llamados Arenas, la Olleta y la Piraña, de los cuales, el

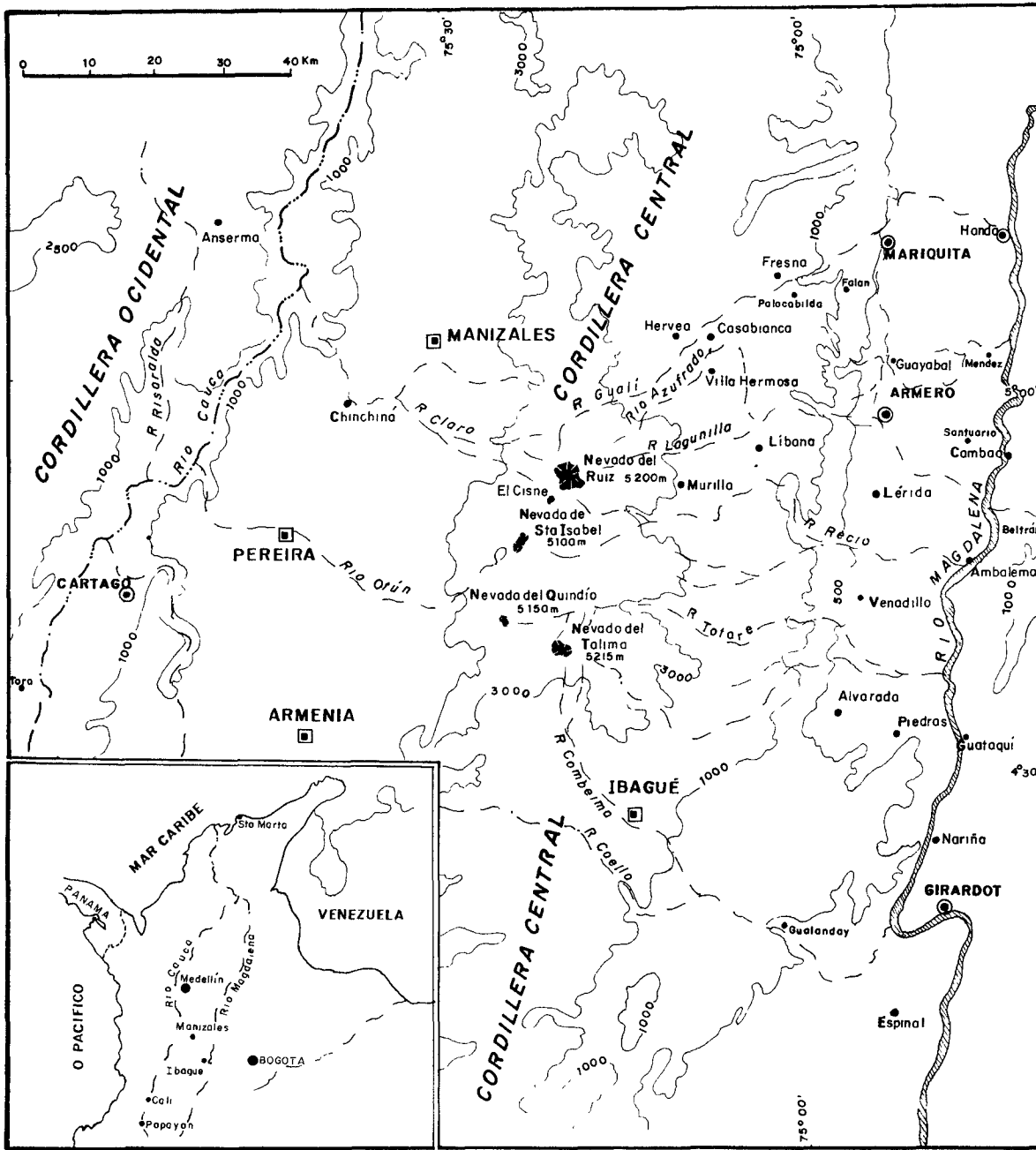


Fig. 1. Mapa de localización geográfica general.

primero es el único activo. De los nevados mencionados, el de mayor elevación es el Ruiz, con 5.200 m s.n.m., y está ubicado a $4^{\circ} 53' 22''$ de latitud norte y $75^{\circ} 19' 30''$ de longitud oeste. En la misma área, además de los anteriores, se tienen los Volcanes Machín, Páramo de Santa Rosa, El Cisne y Cerro Bravo, más bajos, sin nieves perpetuas y no activos en tiempos históricos. De los 4.800, hacia arriba, el Ruiz está cubierto por nieves perpetuas que ocupan un área de unos 17 km.² Directamente de los glaciares del Ruiz,

además del Lagunilla y del Azufrado, descienden también los Ríos Recio, Gualí, Molinos y la Quebrada Nereidas, afluentes del Chinchiná, desaguan hacia el occidente, es decir hacia el Valle del Cauca.

ANTECEDENTES

Tras un período de 139 años de relativa calma, el 22 de diciembre de 1984 presentó una sucesión de sismos locales que causaron alarma en los

maradores del área próxima al Nevado del Ruíz. Dichos movimientos sísmicos estuvieron acompañados de ruidos subterráneos, intensificación de la normal actividad fumarólica y cambios en la coloración de la nieve por precipitación de azufre. Estos procesos continuaron intermitentemente, con menor intensidad, hasta el 11 de septiembre de 1985 (13:30 hora local), fecha en la cual se produjo una notable emisión de material piroclástico, acompañada de intensas tempestades eléctricas sobre el Cráter Arenas. Hacia las 18.30 horas se inició un pequeño flujo de lodo que avanzó unos 8 km por el cauce del Río Azufrado e interrumpió la carretera Manizales-Murillo (Ingeominas 1985: 6). Los piroclastos emitidos en esa oportunidad alcanzaron las poblaciones de Manizales y Chinchiná, donde dejaron una delgada película de polvo. La actividad fumarólica y sísmica continuó, con altibajos, hasta el 13 de noviembre de 1985, cuando se inició la actividad eruptiva que afectó localmente los glaciares (fusión por actividad de nuevas fumarolas, deshielo por caída de piroclastos calientes, desprendimiento de grandes masas de nieve por efectos sísmicos) y desencadenó flujos de lodo por los Ríos Lagunilla, Azufrado, Gualí, Molinos y Quebrada Nereidas, causando la destrucción total de Armero, de algunos barrios de la ciudad de Chinchiná (Departamento de Caldas), de algunas casas en Mariquita y varios edificios en Honda. De acuerdo con las versiones de prensa y de numerosos testigos, ese día se presentó una primera emisión piroclástica hacia las 16 horas y otra más notable, acompañada de fuertes explosiones, hacia las 21:30 horas, que se continuó hasta aproximadamente las 23 horas.

La observación visual del Ruíz en la tarde y la noche del 13.11.85 se dificultó por la espesa nubosidad, que produjo torrenciales lluvias en sus laderas. Los primeros signos de las erupciones del Ruíz se percibieron en Armero hacia las 17:30 horas, cuando comenzó a caer ceniza volcánica del tamaño de arena gruesa. No obstante, al parecer, la precipitación de cenizas, algo más finas, había empezado a esc de las 16 horas, pero mezcladas con agua lluvia, por lo cual pasaron desapercibidas para la mayoría de la población.

EL FLUJO DE LODO DEL 13.11.1985

VALLES DE LOS RÍOS AZUFRADO Y LAGUNILLA

Teniendo en cuenta las observaciones en el terreno, los fenómenos meteóricos antedichos, así como las versiones periodísticas y de testigos,

puede postularse que la fase líquida del torrente de lodo resultó de la conjunción de aguas de diferente origen: del deshielo del casquete del nevado, de aquellas provenientes de la erupción (posiblemente freáticas y juveniles de altas temperaturas), de las captadas normalmente por los sistemas de drenaje de estos ríos y de aguas-lluvia resultantes de la persistente precipitación torrencial que acompañó el evento volcánico.

Estas aguas, captadas en las cabeceras de los ríos y a lo largo de su curso, incluyeron y arrastraron a su paso material heterogéneo proveniente de depósitos piroclásticos sueltos formados por erupciones antiguas (tefras, lahares, flujos de escombros, etc.), piroclastos incandescentes expulsados por la erupción del 13.11.1985, material acumulado en los valles de los ríos (aluviones, coluviones). A esta masa se adicionó además material arrancado de la cubierta vegetal, de los suelos y del sustrato rocoso mismo, como lo indica el arrasamiento observable en los sitios por nosotros estudiados (puente Villahermosa-Casabianca, represa del Sirpe, etc.) y a lo largo de todo el trayecto, según se constató en diversas inspecciones aéreas. Al respecto, el análisis macroscópico de la composición y algunas características texturales de los clastos y la matriz de la fase sólida del flujo de lodo, depositada un poco al S de la pista de aterrizaje de Armero, concuerda, según se deduce de la Fig. 2, con los diferentes tipos de rocas que atraviesan los ríos en su paso:

Fracción Gruesa. Composición:

- Esquistos verdes cloríticos	33.0%
- Andesita gris, porfirítica	22.5%
- Andesita negra porfirítica, fenocristales félsicos	12.7%
- Andesita rojiza porfirítica, fenocristales félsicos	12.2%
- Cuarzo lechoso	7.0%
- Esquisto gris oscuro	4.0%
- Granodiorita	2.8%
- Anfibolita	2.8%
- Filita verde	2.8%
- Esquistos negros, grafitosos	1.4%
- Andesitas con xenolitos de esquistos	1.4%

Redondez

- Granodioritas	Redondeadas
- Vulcanitas	Redondeadas a subredondeadas
- Metamorfitas	Angulares a subangulares (tabulares).
- Cuarzo lechoso	Angular a subangular

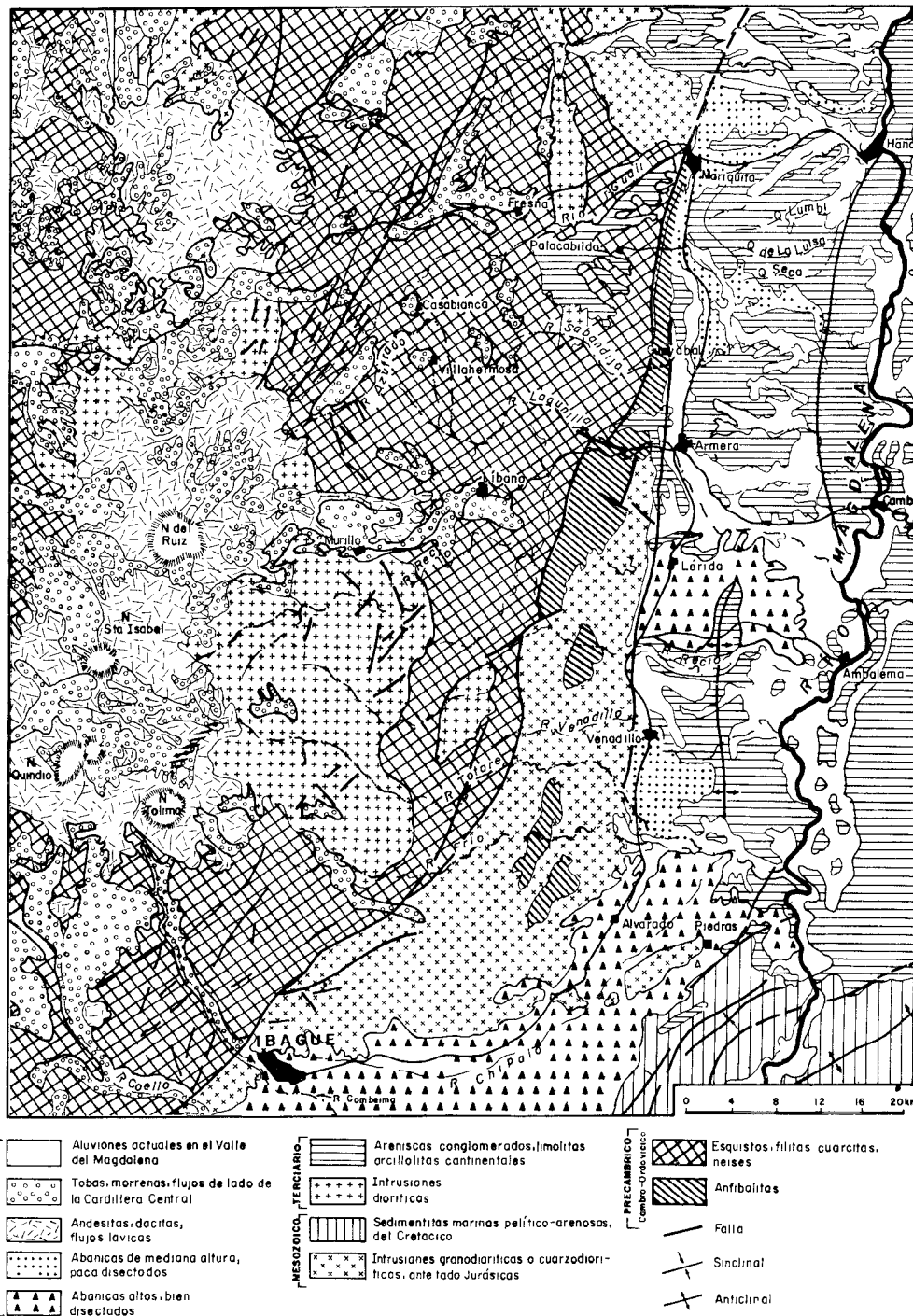


Fig 2. Mapa geológico que incluye el "Parque Nacional de los Nevados" y el extremo meridional del Valle Medio del Magdalena. Modificado de Kassem & Arango (1976).

Matriz

- Compuesta por grava, arena y limo (angulares). La selección es mala.

Algunas personas que observaron el paso del torrente de lodo hacen referencia al intenso ruido

("rumbidos") producido, así como al desprendimiento de chipas de fricción por el choque de los elementos de la carga, y de éstos contra las paredes del lecho rocoso, lo cual evidencia la enorme capacidad erosiva de la masa fluida. De acuerdo con lo anterior se puede asumir que el flujo fue desde las cabeceras de los ríos una mezcla

densa, heterogénea, que incluyó detritos de arcilla, limo, arena, grava y bloques rocosos de decímetros a metros de diámetro, con grandes volúmenes de escombros vegetales.

El nivel de arrasamiento en uno y otro flanco a lo largo de los valles es desigual, lo que refleja el carácter turbulento del flujo de lodo; esta situación está especialmente marcada en las curvas, donde por efecto de la fuerza centrífuga, el nivel máximo del flujo alcanzó alturas mayores en el flanco externo, formando peraltes de hasta 30° de inclinación (Figs. 3B, 19).

La avalancha que destruyó a Armero, resultó de la unión de dos flujos separados que descendieron por los Ríos Azufrado y Lagunilla, los cuales nacen en los flancos NE y E, respectivamente, del Volcán Nevado del Ruíz. El Azufrado, luego de 49.3 km de recorrido, desemboca en el Lagunilla, cuyo curso total hasta su desembocadura en la zona plana del Valle del Magdalena, a la altura de Armero, es de 72.5 km. De acuerdo con referencias de pobladores que habitan cerca de la confluencia del Azufrado con el Lagunilla, aproximadamente 4 km al NNW del Líbano, el flujo que descendió por el cauce del Azufrado fue mucho más voluminoso que el del Lagunilla. En la Fig. 3 se ilustran las características geométricas y dimensiones de las secciones transversales que fueron ocupadas por el flujo en los valles de los ríos mencionados. Estas secciones, medidas con brújula y cinta, muestran que el torrente del Río Lagunilla utilizó un área aprox. de 320 m² (puente sobre la vía Líbano-Villahermosa), lo que representa apenas una sexta parte de la ocupada por el flujo del Río Azufrado, que alcanza aprox. 1.900 m² (puente sobre la carretera Villahermosa-Casabianca), Fig. 4). Otras secciones de cauce, medidas aguas abajo de la confluencia de estos ríos arrojan resultados que corresponden en general a la suma de los aportes de ambos:

- 200 m aguas abajo de la confluencia: 2.238 m²
- Boca del cañón del Lagunilla, al W de Armero: 2.200 m²
- Represa natural de El Sirpe, Santa Cruz: 3.711 m²: en esta sección, 1.095 m² corresponden al área de la represa y aproximadamente 400 m² al salto del lodo, como consecuencia de que la represa actuó de rampa o trampolín. Las versiones obtenidas en diferentes sitios indican que el torrente de lodo no fue un evento único, sino que transcurrió de manera intermitente, como pulsos sucesivos o "bombadas" durante cerca de dos horas y media, lo que se debía seguramente a los

represamientos momentáneos que tuvieron lugar por angostamiento de los valles y bloqueo del cauce con material sólido acumulado en el frente y a lo largo del flujo. La hora en que se inició la avalancha no ha sido establecida con precisión; sin embargo, algunos pobladores del Líbano y de regiones aledañas a los valles de los ríos, así como los informes de prensa sobre la erupción en el Cráter Arenas, concuerdan en indicar que el evento se inició entre las 20.30 y las 21.00 horas del 13 de noviembre. Considerando este hecho y el trayecto de 72 km que existe entre el Nevado del Ruíz y Armero, y de la llegada del torrente a esta población a las 22.45 horas, se puede calcular una velocidad promedio de 40 km/hora para el flujo.

Algunos sobrevivientes de Armero y algunos habitantes de Guayabal mencionan que el flujo de lodo era "tibio a caliente". Informes del personal médico de la Universidad Nacional que atendió a la emergencia señalan lesiones por quemaduras de 2° grado en pacientes rescatados de Armero. Esto permite sugerir temperaturas de 60°-70°C. El calor pudo deberse a la presencia de aguas calientes producidas por la erupción y secundariamente a la exotermia generada en reacciones químicas entre los ácidos (principalmente H₂SO₄) y el agua.

Destrozos ocasionados a lo largo de los valles

La fuerza y la magnitud inusitada del torrente ocasionó daños a lo largo de los flancos de los valles; ellos están representados por la destrucción de vegetación, cultivos, algunas viviendas (entre ellas tres casas a la altura del puente Villahermosa-Casabianca), de puentes (en la vía Villahermosa-Casabianca, daños en el de la vía Líbano-Villahermosa y de unos 16 puentes menores, de tránsito rural) y arrasamiento total de la represa natural del Sirpe.

Armero

Al abandonar el cañón del Río Lagunilla (Figs. 5, 6, 18, 19), el torrente de lodo se dividió en brazos que avanzaron en tres direcciones (Fig. 20):

- El de mayor dimensión se proyectó sobre el centro de Armero, arrasando las construcciones por las bases (Fig. 7), y enrumbó por el cauce antiguo del río ("Río Viejo"), hasta unos 18 km al E, donde alcanzó el caserío de Santuario que quedó cubierto de lodo areno-gravoso, hasta alturas entre 1.3 y 1.5 m.

- El septentrional sobrepasó una baja divisoria de aguas y siguió, por unos 8 km, hacia el Norte, por

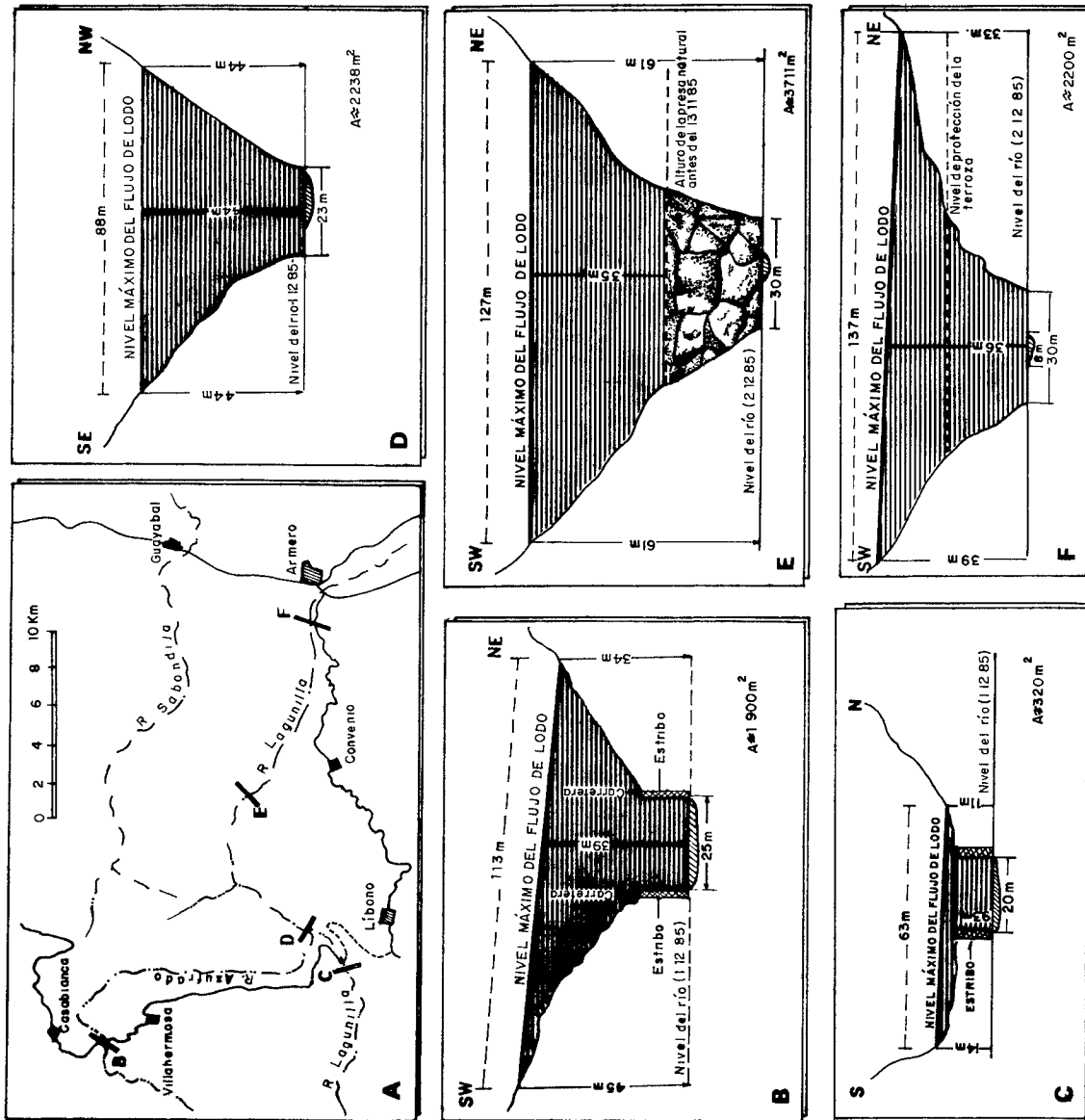


Fig. 3. Secciones transversales investigadas a lo largo de los Ríos Lagunilla y Azufrado, luego del flujo de lodo del 13.11.85. A: localización; B a F: perfiles transversales con indicación de las alturas máximas alcanzadas por el torrente en cada sitio; en los cortes, abajo a la derecha, se indica el área (A) ocupada por el flujo en cada sección. Detalles en el texto.

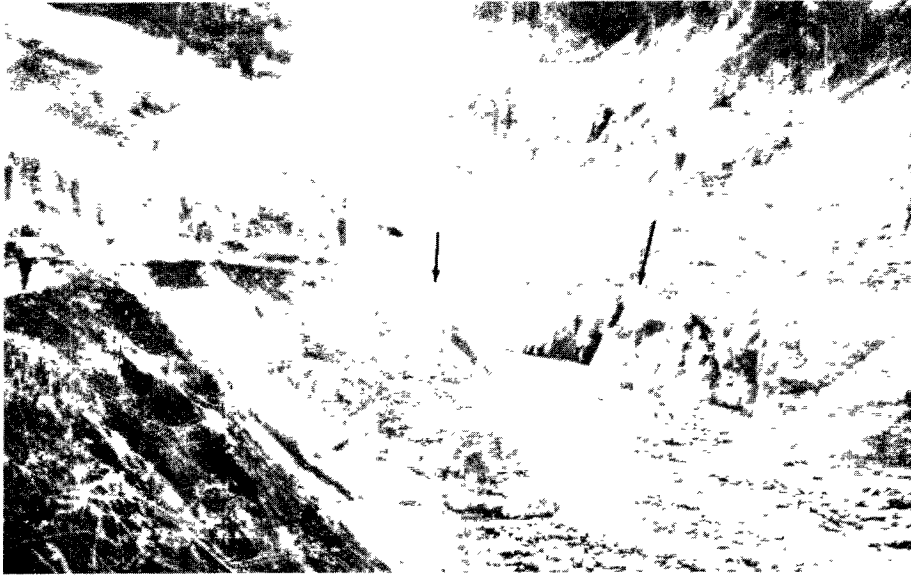


Fig 4 Vista del cauce del Río Azufrado, donde se observan los restos de los estribos del puente (flechas) entre Villahermosa y Casabianca. Se aprecia también claramente la altura que alcanzó el flujo (a modo de escala, la altura del estribo del puente está a 12 m sobre el lecho del río). Se nota también el total arrasamiento de la capa de suelo y la cubierta vegetal



Fig 5. Aspecto del cauce del Río Lagunilla, 20 días después del flujo de lodo del 13.11.1985, en un punto situado a unos 600 m arriba de su salida al Valle de Armero. La diferencia de altura entre el nivel de las aguas y los bordes de arrasamiento de la vegetación varía entre 25 y 30 m. Las terrazas que forman los taludes del cauce son antiguas y fueron erodadas, en parte, por el flujo.



Fig. 6. Toma frontal en la boca del cañón del Río Lagunilla. En primer plano se observa la terraza de la ribera septentrional, situada a unos 15 m. Sobre el cauce del río, y que fue sobrepasada por el flujo de lodo. Al fondo, en la ribera meridional, puede verse una altura mayor de arrasamiento (flecha). Foto tomada hacia el W.



Fig. 7 Vista general que muestra los efectos devastadores del brazo principal del flujo de lodo del 13.11.1985 (caracterizado por el poder erosivo, debido a su poca viscosidad y rapidez) que afectó la parte central y sur de Armero. Se observan algunos cimientos de las construcciones, además de los cortes, en forma de pequeños escalones, excavados sobre antiguos flujos, sobre los cuales se había construido la ciudad de Armero.

el valle de la Q. Santo Domingo, hasta alcanzar el Río Sabandija, causando represamiento temporal (unas 8 horas) en él, en el lugar del puente de la vía Armero-Guayabal.

- El tercero y más discreto avanzó por el cauce habitual del Río Lagunilla, por un tramo de unos 10 km, hasta la Hda. La Vuelta.

El área afectada por el flujo de lodo alcanzó una extensión aproximada de 3.387 ± 10 Ha. El volumen del material acarreado (sedimentos más agua) por la avenida hasta el Valle de Armero se ha calculado en unos 80 a 100 millones de metros cúbicos. Para ello se emplearon dos métodos: a) A partir de las cifras del área cubierta por el lodo, el espesor promedio (≈ 1.5 m) de los sedimentos depositados y las marcas dejadas por las fases más líquidas en los árboles y las construcciones (Figs. 13, 14, 17); b) Teniendo en cuenta las longitudes de los cauces afectados por los flujos (49.3 km en el río Azufrado, 35 km en el Río Lagunilla antes de la confluencia con el anterior, 23 km en el Río Lagunilla luego de la confluencia con el Azufrado), el espesor promedio del material erodado de las paredes de los cursos (≈ 1 m), la altura de los flujos en cada uno de los ríos (Fig. 20), el volumen estimado de sedimentos arrancados del fondo de los cauces —profundizados en general entre 4 y 5 m—, la cantidad de nieve desprendida o fundida de los glaciares correspondientes (unos 35 Mm), los detritos involucrados por la nieve fundida en la parte inicial de las cuencas, y la lluvia de piroclastos y agua que se sumaron al agua de deshielo. Empero, los detalles con respecto a la cuantificación de los diferentes parámetros serán motivo de una publicación posterior.

La densidad, la velocidad, la duración del paso del flujo, y las diferencias topográficas, además de "obstáculos artificiales", como un molino de arroz (fig. 8) situado al W de la población, determinaron que la región resultara afectada de distinta manera en sus diferentes sectores:

- A partir del Molino de Arroz san Lorenzo, en el sector que comprende la Iglesia del Carmen, el Hospital y el surtidor de gasolina de "Terpel", una fase espesa escurrió en forma envolvente e intermitente (según testimonio de sobrevivientes), produciendo principalmente un efecto de relleno parcial de calles y plantas bajas de edificaciones hasta una altura aproximada de 2 m (Figs. 9, 10). El torrente de lodo estaba compuesto principalmente de carga sólida con una pequeña fracción líquida; esta última sólo ascendió hasta unos 50

cm. por encima del primero. Las características de esta masa viscosa permiten explicar razonablemente el relato de sobrevivientes que narran que el lodo se desplazaba como una muralla con movimiento lento e irregular; el mismo hecho permitió que pequeños sectores quedaran exentos de cubrimiento del lodo (Fig. 11), como fue el caso de algunas calles al E del surtidor de gasolina de Terpel.

- El Centro y Sur de Armero (zona comercial, bancos, catedral, etc.) fue totalmente destruido, ya que el torrente de lodo que fluyó por este sector fue mucho más violento, rápido y seguramente de menor viscosidad; las edificaciones fueron arrasadas desde los cimientos (Figs. 7, 12). Es así como en un punto puede observarse bajo los cimientos de una edificación, 1.20 m del espesor de un antiguo flujo de lodo sobre el que se construyó Armero. En este sector, en árboles que permanecieron en pie puede observarse que el torrente alcanzó alturas de hasta 5 m (Fig. 17), de las cuales los tres inferiores seguramente arrastraban carga gruesa (bloques de decímetros a metros de diámetro), que descortezó los tallos hasta esa altura. El residuo sólido se depositó en espesores muy variados, entre unos centímetros y 1.70 m; estos últimos en forma de barras con bloques que llegan hasta 1 m de diámetro; localmente se observa imbricación en los clastos. En el sector donde se emplazaba la parte central y comercial del pueblo se encuentran varios bloques con diámetros entre 4 y 5 m (aprox. 250 a 300 toneladas), que seguramente fueron arrastrados unos 2.5 km a partir de la boca del cañón del Lagunilla. En su parte distal, sector de Santuario, el depósito se caracteriza por lodo con predominio amplio de matriz arcillo-limosa, sobre una pequeña carga de clásticos de centímetros de diámetro. Aquí el flujo alcanzó alturas del orden de 2.1 m, con un residuo sedimentado de 1.2 m, luego de la separación de la fase líquida (Figs. 13, 14).

- El que fluyó hacia el Norte, en dirección de Guayabal, alcanzó unos 4 m por encima de la superficie, con un depósito residual de hasta 1.5 m. Considerando los aspectos de viscosidad y rapidez, el torrente de lodo de este brazo se comportó con características intermedias entre los correspondientes al denso que "inundó" el sector hospital-surtidor de gasolina-molino de arroz, y el que arrasó la parte central y sur de la población. Es así como algunas edificaciones a pesar de la destrucción de algunos muros dispuestos perpendicularmente a la dirección del flujo, lograron mantenerse en pie (hospital psiquiátrico, desmo-

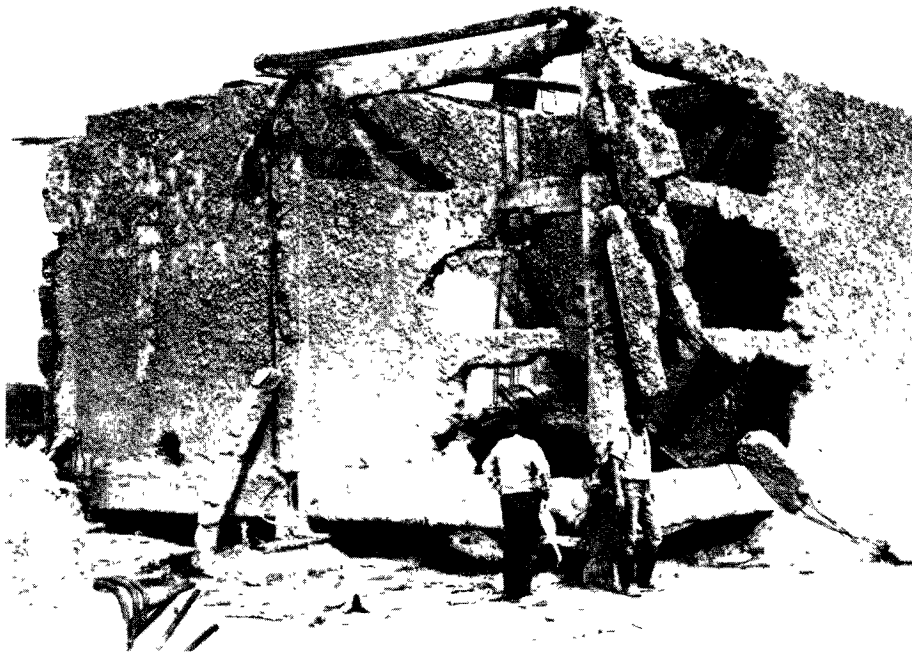


Fig. 8. Vista de los restos del molino de arroz "San Lorenzo" Esta edificación se encontraba en el extremo W del sector de la población afectado por la fase espesa y viscosa. Puede observarse que, si bien el depósito de la fase sólida sólo cubrió la planta baja, el efecto destructor sobrepasó la altura total del edificio.



Fig. 9. Otra vista del sector afectado por la fase espesa del flujo de lodo. La edificación corresponde al hospital de Armero, situado al lado de la vía que atraviesa la población y que comunica a Ibagué con Honda. La carretera, limpiada hasta el nivel del asfalto, permite apreciar bien la altura del lodo, en este punto cercana a 2 m.

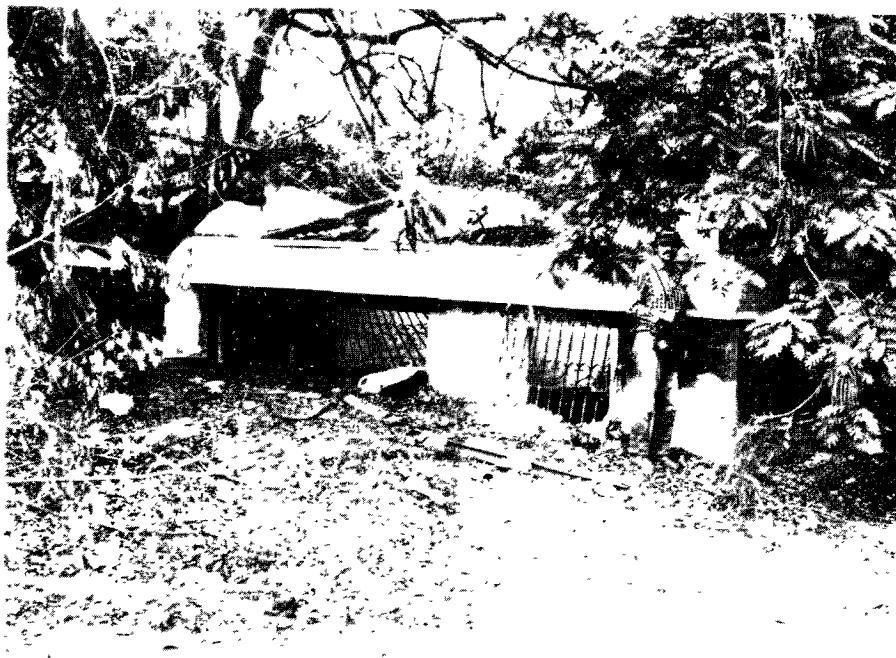


Fig. 10. Vista de una casa afectada por una fase viscosa del flujo de lodo en el sector septentrional de Armero, cerca de la estación de gasolina de Terpel. En este caso el lodo, que vino del norte, empujó e hizo ceder la puerta del garaje y las ventanas, y alcanzó una altura desigual, entre 1.2 y 1.6 m.



Fig. 11. La naturaleza viscosa del lodo que cubrió un sector de Armero permitió que parte de unas pocas calles quedara intacta; en la figura se muestra una de ellas. Al fondo puede apreciarse la destrucción ocasionada (árboles caídos, postes derrumbados) y los despojos arrastrados (flecha).

tadora de algodón, etc.). Empero, la corriente lodosa tuvo energía suficiente para arrancar localmente los rieles de la vía férrea (Fig. 16).

- El que fluyó a lo largo del cauce actual del Río Lagunilla fue el menos destructivo y se extendió como un angosto brazo. Fue predominantemente líquido y seguramente tuvo lugar en las etapas finales del proceso, una vez que el torrente de lodo arrasó a Armero y las últimas fases líquidas se reencauzaron por el curso habitual del río.

Considerando todo lo expuesto anteriormente y sopesando la información disponible, resulta difícil reconstruir el evento en todas sus etapas y características; sin embargo, es posible concluir que:

- El Torrente sobre Armero no se produjo como una sola avenida, sino como oleadas sucesivas ("bombadas") que fluyeron durante un tiempo largo, quizás de varias horas.

- En algunos sectores, a decir de los sobrevivientes la avenida se presentó primero en forma de una fase eminentemente acuosa, a manera de inundación (sector central y comercial).

- El comportamiento diferencial del torrente sobre el área afectada parece estar controlado, principalmente, por la ocurrencia de sucesivos pulsos de lodo de diferente viscosidad y por las variaciones topográficas presentes antes de la avalancha (diferencias de sólo unos pocos metros). De esta forma, el torrente espeso que cubrió el sector al Este del molino de arroz, y que resultó el menos afectado, se sitúa sobre una loma baja, orientada según un eje E-W, mientras que el flujo violento que arrasó el sector central y comercial, que seguramente ocurrió después del más viscoso, aprovechó la parte topográficamente más baja.

REVISION HISTORICA Y COMENTARIOS

Por considerarlo de interés científico y práctico, a continuación se transcriben y analizan algunas de las narraciones sobre flujos de lodo en la región de Armero, ocurridas en tiempos históricos, o sea luego del descubrimiento de América. Dichas narraciones, aunque por lo general poco precisas, permiten dilucidar las características y dimensiones de tales eventos y constituyen herramienta valiosa para efectos de la comprensión y comparación del flujo de lodo del 13 de noviembre de 1985 con los precedentes. Así mismo el examen de la información contenida en ellas facilita la

cuantificación del riesgo geológico a que está sometido este sector del Valle del Magdalena (Figs. 20 a 23) ante eventuales avenidas de lodo por el Río Lagunilla, relacionadas con repentinos deshielos en el área del VNR.

Vale la pena anotar aquí que, reproducciones fragmentarias o completas de los relatos históricos, de por sí de difícil consulta en las fuentes originales, aparecen en diversas obras o artículos, entre los que se tienen: Ramírez (1975), Goberna (1985), Calvache et al. (1985), Hermelín et al. (1985), Forero Benavides (1986).

Para facilitar la lectura de las narraciones que nos ocupan, a continuación se dan las equivalencias actuales de las unidades castellanas de medida utilizadas por los autores respectivos:

1 legua = 5.572,7 m

1 legua cuadrada = 3.105,5 hectáreas

1 vara = 83,5 cm

1 pie = 28 cm

1 estado = 7 pies = 1,96 m

EL FLUJO DE LODO DE 1595

Fray Pedro Simón, clérigo español llegado al Nuevo Reino de Granada en 1604, describe en 1625 el evento que afectó el VNR y el valle del Río Lagunilla el 12 de Marzo de 1595. Es claro, sin embargo, que dicho autor tuvo que utilizar para ello testimonios y documentos ajenos. Se trata de dos relatos; uno según la versión de personas que observaron el fenómeno desde el poblado de Toro, situado en el valle del Río Cauca, en el pie oriental de la Cordillera Occidental, a unos 90 km en línea recta del Ruíz; otro, siguiendo la descripción de observadores anónimos de los hechos desde la ciudad de Mariquita. El primer relato dice así:

Sucedió, pués, que el día, mes y año dichos. (12 de marzo de 1595), habiendo salido el sol muy claro y despabilado, a dos horas de su luz, que sería como a las ocho, salió de este volcán un tan valiente, ronco y extraordinario trueno, y tras él otros tres no tan recios, que se oyeron en distancia de más de cuarenta leguas en su circunferencia, y mucho más a la parte que soplaban el viento: tras los cuales comenzaron a salir tan crecidos borbollones de cenizas...y comenzó a caer envuelta con piedra pómez, tan menuda como arena, que fué acrecentándose poco a poco, hasta ser como menudo granizo, y que hacía el mismo ruido que en los tejados. Duró esto como dos horas, habiéndose aclarado



Fig. 12. Sector marginal del flujo rápido que destruyó el centro de Armero en Noviembre de 1985. En primer plano parte del área arrasada por las bases; el canalillo fue formado por esorrentía de aguas superficiales. En segundo plano un depósito en forma de barra longitudinal, que alcanza hasta 15 m de altura; la barra se compone principalmente de bloques poligénicos, subredondeados, mal seleccionados y con imbricación evidente. La corriente fluyó de derecha a izquierda. Vista tomada hacia el sur, a unos 200 m al SE del lugar donde se encontraba el "Banco de Colombia".



Fig. 13. Aspecto de los destrozos causados por el tramo distal del flujo de lodo del 13.11.1985 en el caserío de Santuario. Nótese la ausencia de material grueso en la superficie, las marcas del flujo de lodo en las paredes y las grietas de desecación. Algunas paredes, perpendiculares a la dirección de la corriente cedieron al empuje de la avenida; los muros paralelos al flujo permanecieron intactos. Foto tomada hacia el oriente, el 25 de Enero de 1986.

algo el aire, hasta que después de ellas tornó a oscurecerse con un nubarrón tan espeso que no se podía leer una carta, con ser casi medio día, prosiguiendo siempre el llover la ceniza y piedra pómez hasta las dos del día con aquella oscuridad, porque aclarando entonces, quedó el horizonte como día nublado. No cesó de llover de esta ceniza en toda la noche, de suerte que a la mañana estaba toda la tierra cubierta de más de una cuarta de piedra pómez y ceniza, que bajando pegajosa con la humedad que debía de tener el volcán de donde salía, se pegaba mucho a donde quiera que caía; y así se descubrió al otro día la tierra tan triste y melancólica, cubierta de ceniza, árboles y plantas, sembrados, casas y todo lo demás, que parecía un día de juicio. Los ganados bramaban por no hallar que comer; las vacas no daban leche a sus becerros; las legumbres de las huertas no se parecían y como por la mayor parte es toda esta tierra de montañas y arboledas, que todo el año están frescas, verdes y alegres a la vista, se acrecentaba la melancolía de verlas hechas montes y árboles de ceniza que se extendió tanto hacia la parte del occidente, a donde debiera de correr el viento, que llegó hasta la ciudad de Toro, que está de la Cartago veintiocho leguas, que con las ocho que hay de volcán a la ciudad de Cartago, vienen a ser más de treinta y seis las que voló, con gran daño de esta ciudad de Toro, pues acertando a estar tiernos los maíces todos los derrumbó. Los ríos y quebradas corrían espesos, de suerte que los peces que tenían huían de una parte y otra sin saber a donde; muchos de ellos saltaban a tierra buscando socorro contra el raudal de la ceniza. Acudió al del cielo la ciudad de Cartago con procesiones, sacrificios y otras plegarias a Dios que fué servido con su acostumbrada piedad usarla en esta ocasión, enviando tan abundantes aguaceros, jueves y viernes siguientes, que lavaron todos los árboles y tierra, dejándola alegre y regada, de que estaba harto necesitada, por estar muy seca antes que sucediera tempestad. La cual conocieron algunos caminantes que yendo de la ciudad de Mariquita a Cartago, tres días antes tuvieron lugar grandes temblores y bramidos de tierra, que entendieron perecer, y el estado en la noche antes del domingo que llovió esta ceniza, vieron estos españoles que arrojaba el volcán gran número de piedras pómez, tan grandes como huevos de avestruz; de allí para abajo hasta gruesos de huevos de paloma, tan encendidos

chispeando, como sale el hierro de la fragua, que parecían estrellas erráticas; daban algunas sobre ellas y sobre sus caballos, que no los inquietaban poco. La parte que este cerro mira al oriente, que es la de la ciudad de Mariquita, por una pequeña abra, por donde salía tanta agua como una naranja, reventó con tan gran fuerza que hizo una abertura de más de trecientos pasos en ancho, y de doscientos estados en hondo (de suerte que se hubo de echar el camino real que iba por allí, por otra parte), y por la que salía la poca agua comenzó a salir grueso de dos bueyes, dura hasta hoy, con que creció en aguas el río Gualí, que es el que riega los cimientos de la ciudad de Mariquita; el cual y otro su compañero, que corre al sur, que llaman el de la Lagunilla, y se originan ambos de la nieve que se derrite de este cerro, corrían tan cuajados de ceniza que más parecía mazamorra de cernada que agua.

Salieron ambos de madre, dejando la tierra por donde derramaron tan quemada que en muchos años después no producía la tierra ni aún pequeñas hierbas; los pescados de ambos ríos, que por ser muy grandes tienen muchos, no pudieron huir de la tempestad encenizada que los traía antecogidos, parecían entre aquel barro cenizoso, que llegando así ambos ríos al de la Magdalena, donde entran, no dejaron de turbarle algo sus aguas, aunque son tantas.

Otra parte de aquella orilla abajo, y llegando a aquel volcán que allá en las entrañas está ardiendo, como se conoce en el fuego y humo que echa de cuando en cuando, con la contradicción del agua y fuego le hizo vomitar aquella ceniza y piedra pómez por donde pudo (al modo que se levanta la ceniza cuando se le hecha el agua al fuego), y reventando ella por la parte más flaca, vino a salir aquel borbotón de agua tan grande y a durar sin cesar, por durar el origen de donde viene...”

Comentario.

Es claro que el evento del 12 de marzo de 1595 se debió a una notable erupción del VNR, ya que las explosiones principales se escucharon hasta unos 100 km al W del volcán, dirección en la cual soplabla el viento. Dado que la caída de ceniza, con espesor cercano a 20 cm, sobre Toro y Cartago persistió durante el día y la noche de la erupción, y que en su tamaño varió entre el de “menuda

arena” y “menudo granizo” que causaba ruido en los tejados, se deriva que la emisión de piroclastos en el Ruíz duró varias horas y que la erupción fue en proporción mucho mayor que la acaecida el 13 de noviembre de 1985.

Al parecer, el suceso volcánico de 1595 estuvo precedido de temblores y ruidos subterráneos muy evidentes, y dió lugar a la precipitación de grandes e incandescentes bombas en las proximidades del cráter; “en la noche antes del domingo que cayó esta ceniza” significa que los viajeros que iban de Mariquita a Cartago observaron algunas explosiones previas a las detectadas en el Valle del Cauca. La mención de un boquete formado por las explosiones en el costado oriental del Ruíz — con unos 250 m de diámetro y unos 400 m de profundidad, según se infiere del relato — indica sin duda una explosión lateral que indujo a la formación de grandes avenidas de lodo por los Ríos Gualí y Lagunilla, que “corrían tan cuajados de ceniza que más parecía mazamorra de cernada que agua”.

Es interesante anotar que el autor, además de la escueta descripción, intenta una interpretación de los acontecimientos ocurridos en el Ruíz, cuando señala que la erupción se debió a la “contradicción del agua y el fuego que le hizo vomitar aquella ceniza y piedra pómez”, lo cual alude, tal vez erróneamente, a una explosión de tipo freático-magmático.

En la segunda descripción dice Fray Pedro Simón que:

“Entre esta ciudad y el poniente, a diez y seis leguas de distancia, a donde parte términos con la de Cartago por partes montuosas y partes rasas, está un volcán, el más notable de este reino, el cual es un cerro redondo nevado, altísimo, que de pocas partes del reino se deja ver en tiempo sereno, por la nieve de que está cubierto toda la vida; por cuya cumbre, y entre aquella envejecida nieve, está siempre saliendo una pirámide de humo, que se ve algo encendida en las más oscuras noches. Los rastros de piedra pómez, azufre y arena menuda negra que hay a muchas leguas de sus contornos, en especial a la parte de esta ciudad de Mariquita hasta el Río Grande, dan claras muestras de haber en otros tiempos reventado este volcán por cumbre y sembrado todas estas cosas; pero la reventazón que con evidencia vieron y oyeron los de este reino fue a doce de marzo, domingo de Lázaro del año de mil quinientos

noventa y cinco (1595), como a las once del día, cuando dió tres truenos sordos como de bombardas, tan grandes que se oyeron más de treinta leguas por toda su circunferencia, causados de haber reventado este cerro por bajo de la nieve por el lado que mira al este y nace este río Gualí. Abrió de boca más de media legua, en que quedó descubierta mucha piedra azufre, y debió sin duda hacerse la reventazón por el lado y faldas que siempre las tenía abiertas por muchas partes a causa de que debe tener fuego muy profundo, y la boca de la cumbre angosta, y poder por allí vomitar tanta maleza como arrojó en esta ocasión. En la parte por donde reventó ahora tienen su principio dos famosos ríos, el que hemos dicho de Gualí, vecinos a esta ciudad, y otro mayor que él, a cinco leguas camino de la de Ibagué, que llaman el de la Lagunilla, ambos, como hemos dicho, de la nieve que se derrite de lo alto. Estos debieron atajarse con la tierra que arrojó la reventazón, y rebalsando algún tiempo sus corrientes, salieron después con tanto ímpetu, ayudado por ventura de nuevas fuentes que se abrieron en esta ocasión, que fue cosa de asombro sus crecientes, y el color del agua que traían, que más parecía que agua, masa de ceniza y tierra, con tan prestilencial olor de piedra azufre que no se podía tolerar de muy lejos. Abrasaba la tierra por donde se extendía el agua y no quedó pescado en ninguno de los dos que no muriese. Fue más notable esta creciente que en el río de Gualí, en la Lagunilla, cuya furia fue tal que desde donde desemboca por entre dos sierras para salir al llano arrojó por media lengua muchos peñascos cuadrados, en que se echó de ver su furia más que si fueran redondos, y entre ellos uno mayor que un cuarto de casa. Ensanchóse por la sabana más de media lengua de distancia por una parte y otra, mudando por la una de nuevo la madre, y anegando la inundación todo el ganado vacuno que pudo antecoger en cuatro o cinco leguas, que fue así extendido hasta entrar en el de la Magdalena, abrasando de tal manera las tierras por donde iba pasando, que hasta hoy no han vuelto a rebrotar sino cual y cual espartillo. No se sabe haber hecho otros daños”.

Comentario.

Esta versión es más clara y concisa que la anterior. La referencia a un volcán con forma de “cerro redondo, altísimo” concuerda con las



Fig. 14. Construcciones de bahareque (barro y madera) afectadas por el lodo en el caserío de Santuario. Se aprecia que las casas soportaron bien el empuje de la avenida que alcanzó aquí alturas de 1.9 m, evidenciadas por las marcas en las paredes. La capa de lodo, ya seco, tiene apenas unos 90 cm. El flujo avanzó aproximadamente de izquierda a derecha, según lo muestran los troncos orientados; en los muros se notan las huellas de impactos de la carga más gruesas, que descascararon las paredes hasta casi 1.6 m de altura. Foto tomada en enero 25 de 1986.

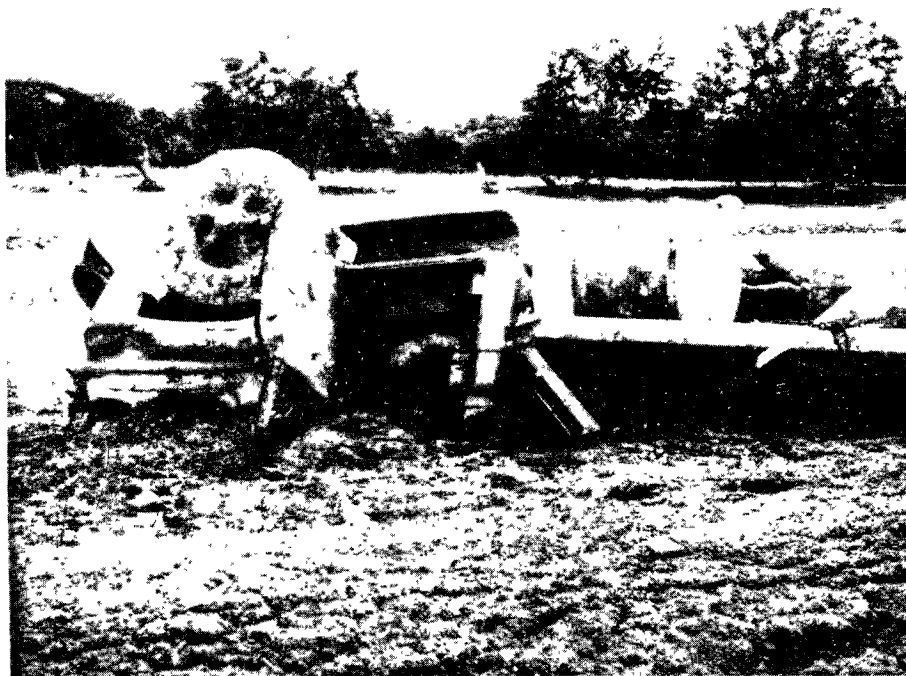


Fig. 15. Vista de los efectos producidos por el brazo del flujo que corrió hacia Guayabal, por el valle de la Q. Santo Domingo. Se trata, en este caso, de una corriente rápida y de viscosidad intermedia, que pudo volcar el camión mostrado, sin llegar a cubrirlo totalmente, y arrastrarlo por un tramo no establecido. Foto tomada el 24 de noviembre de 1985, cuando el sedimento se encontraba todavía húmedo y blando, sin señales de grietas de desecación.

características del Ruíz. "Por cuya cumbre está siempre saliendo una pirámide de humo, que se ve algo encendida en las noches más oscuras" da a entender que la actividad fumarólica, acompañada de discretas emisiones de ceniza, persistió por varios años en aquella época. "Los rastros de piedra pómez, azufre y arena menuda negra que hay a muchas leguas de sus contornos" (aludiendo a Mariquita) constituye una observación geológica avanzada que, con razón, conduce al narrador a la conclusión de que el Ruíz tuvo múltiples erupciones previas a las de 1595.

El acontecimiento de una explosión lateral, por la falda oriental del Ruíz es en este relato más evidente que en el precedente, ya que esta vez se especifica que las explosiones escuchadas en Mariquita (58 km en línea recta del VNR) fueron causadas por "haber reventado este cerro por debajo de la nieve, por el lado que mira al este y nace este Río Gualí"; lo anterior significa también que el material piroclástico no fue expulsado por el Cráter Arenas. El diámetro de la voladura en las cabeceras del Río Gualí sería de unos 2.800 m, en contraposición a los 280 m indicados en el primer relato.

La narración permite deducir, otra vez, que más que una gran inundación, los sucesos del 12 de marzo de 1595 generaron importantes flujos de lodo por los Ríos Gualí y Lagunilla, pero de mucha mayor magnitud en el último, puesto que con respecto a la villa de Mariquita, situada al borde del Gualí, no reporta daños en las viviendas. La violencia de la avenida por el Lagunilla se evidencia cuando el narrador dice que "al salir al llano arrojó por media legua muchos peñascos cuadrados, entre ellos uno mayor que un cuarto de casa"; como elemento de comparación recuérdese que el 13 de noviembre de 1985, bloques algo menores fueron arrastrados hasta unos 2,5 km de la boca del cañón del Lagunilla.

Por otra parte en el relato se postula que los Ríos Lagunilla y Gualí debieron represarse temporalmente y que sus corrientes salieron después "con tanto ímpetu, ayudadas por ventura de nuevas fuentes que se abrieron en esta ocasión (¿fuentes termales, fumarolas?) que fue cosa de asombro sus crecientes, y el color del agua que traían que más parecía que agua, masa de ceniza y tierra". La mención de que la "inundación" alcanzó el Río Magdalena y que "arrastró el ganado que pudo antecoger en cuatro o cinco leguas" indica que el evento de 1595 superó por mucho al de nuestra más cercana referencia, o sea el de noviembre de 1985.

EL FLUJO DE LODO DE 1845

seguramente la mayor catástrofe histórica producida en Colombia por avenidas de lodo fue la ocurrida en febrero de 1845. De este suceso se tienen descripciones bastante completas, entre las que se cuentan las del Coronel Joaquín Acosta (1846 y 1850) y las de José Manuel Restrepo (1954) y Gustavo Arboleda (1918).

El primer relato de Acosta, según la versión de Hermelín et al. (1985), dice:

"El 19 de febrero de 1845, hacia las 7 de la mañana, se oyó un gran ruido subterráneo en las orillas del Magdalena, desde Ambalema hasta Méndez. Este ruido subterráneo fué seguido por un temblor de tierra en una extensión menos considerable. Luego bajó del Nevado del Ruíz por el Río Lagunilla, un inmenso flujo de lodo espeso el cual, llenando rápidamente el lecho de este río, cubrió o arrastró los árboles y las casas, sepultando hombres y animales. Perekó toda la población de la parte superior y más estrecha del valle del Lagunilla. En la parte inferior, varias personas se salvaron huyendo lateralmente hacia las alturas; otros, menos afortunados quedaron aislados en los altos de montículos donde fué imposible socorrerlos a tiempo para salvarlos de la muerte.

Se evalúa en 1000 el número de víctimas; la mayoría agricultores dedicados al gran cultivo de tabaco de Ambalema.

Llegando a la llanura con ímpetu, la corriente de lodo se dividió en dos brazos: el más importante siguió el curso del Lagunilla, dirigiéndose así hacia el Magdalena; otro, después de haber franqueado una divisoria bastante alta, se apartó siguiendo una dirección formando un ángulo casi recto hacia el norte y recorrió el Valle de Santo Domingo, trastornando y arrastrando selvas enteras que fueron a precipitarse al río Sabandija, que quedó así detenido por una inmensa presa. El peligro de una inundación de las tierras situadas aguas arriba se volvía inminente. Afortunadamente una lluvia abundante que sobrevino durante la noche les dió a las aguas suficiente impulso para abrirse paso a través de ese amontonamiento de árboles despedazados, de arenas, de rocas y lodo fétido, mezclado con enormes bloques de hielo que habían bajado de la cordillera en una abundancia tal que después de varios



Fig. 16. Toma en el margen oriental del brazo del flujo de lodo que corrió hacia Guayabal. La foto, tomada cerca de la Granja Experimental de la Universidad del Tolima, muestra cómo la energía de las aguas fue suficiente para levantar y desplazar lateralmente los rieles del ferrocarril, incluidos los piolines.



Fig. 17. Arbol con restos de una cerca de alambre y ramas que lo envuelven por la base, marcando bien la dirección del flujo (izquierda a derecha). Aunque el sedimento depositado aquí no pasa de 1 m, las huellas de barro en el árbol indican que las aguas alcanzaron, en este punto, hasta unos 3,5 m de altura. Foto tomada el 15 de noviembre de 1985, en el kilómetro 1,5 de la vía Armero-Cambao.

días aún no se habían fundido enteramente, a pesar de las altas temperaturas (28-29 grados) de esos lugares. Ahora bien esta masa de hielo provenía de una altura de 4.800 m, límite inferior de las nieves perpetuas bajo esta latitud (4° 5'). Por primera vez los habitantes de las tórridas orillas del Magdalena vieron de cerca agua solidificada por el frío. Varias personas fueron congeladas, y fué un espectáculo extraño ver las tibias aguas del Magdalena acarreado bloques de hielo.

El terreno cubierto por escombros y lodo es de más de cuatro leguas cuadradas. Presenta el aspecto de un desierto o de una playa en la superficie de la cual surgen como islotes, amontonamientos de grandes quebrados que resistieron el impulso del torrente. El espesor de la capa de lodo varía mucho: es mayor hacia la parte superior, donde alcanza a menudo 5 a 6 metros. Un cálculo debajo de la realidad daría más de 300 millones de metros cúbicos de material acarreado o expulsado en forma de colada de los flancos del volcán Ruíz.

Se ignoran las causas de esta catástrofe pero según M. Degenhart (1843) ya existía un derrumbe muy considerable hacia el norte de la Mesa del Ruíz y es probable que el de 1845 tuvo lugar sobre la vertiente sur, porque allí es donde nace el Lagunilla. Como durante los grandes terremotos de 1828, se notaron en los ríos grandes cantidades de peces muertos."

Comentario.

Joaquín Acosta es uno de los primeros naturalistas colombianos que comprendió la importancia del estudio de los fenómenos geológicos y, sobre todo, de la publicación en revistas de circulación asegurada.

En esta narración queda claro que el flujo de lodo de 1845 se dividió en dos ramas principales, una de las cuales alcanzó y represó temporalmente el Río Sabandija, causando alarma en los pobladores del caserío de Guayabal; la otra rama siguió, como en 1595 y 1985 el cauce del Río Viejo. Así mismo es de suponer que una parte importante del torrente siguió el curso actual del Río Lagunilla.

Un aspecto novedoso, y seguramente insólito para muchos lectores, es la mención de grandes

bloques de hielo en el área cubierta por el lodo entre el Río Sabandija, Armero y el Río Magdalena. El hecho de que, a pesar del clima cálido local, tales bloques de hielo hayan permanecido por varios días indica que, en contraposición a noviembre de 1985, en aquella ocasión la temperatura del lodo fue bien baja; tanto que algunos sobrevivientes "murieron congelados". El que parte del hielo haya alcanzado el Río Magdalena señala la ocurrencia de pulsos ricos en fase líquida capaces de transportar el hielo a través de la zona plana.

El área de la zona afectada por el lodo en el valle, de más de "cuatro leguas cuadradas" (más de 12.000 hectáreas) representa un cubrimiento unas cuatro veces mayor que el del flujo de 1985; este estimativo es acorde con los espesores máximos de 5 a 6 m reportados por Acosta, en comparación con los 2.5 m, en el sector del hospital central, en 1985. Una deducción semejante se deriva de comparar el volumen total de material, de "más de 300 millones de metros cúbicos en 1845" contra apenas unos 80 millones de metros cúbicos en 1985.

El segundo relato de J. Acosta, según traducción selectiva de Carlos Villarroel, dice:

"Se acuerda, sin duda, de mi noticia insertada en el acta de la Academia de Ciencias de 27 de Abril de 1846, sobre los flujos de lodo que inundaron una vasta extensión de los bordes del Magdalena en el mes de febrero de 1845. He querido ver las huellas que aún permanecen de esta catástrofe y establecer su origen. Encontré que las arenas y lodos de la inundación, ya consolidados, no son sino un conglomerado traquítico de la misma naturaleza que el que constituye, sobre la orilla izquierda del Magdalena, una zona de 150 kilómetros de largo y 25 de ancho promedio, desde el río Guarinó, al N, hasta el Tuello (error de imprenta, léase Cuello), al S, que he recorrido y examinado.

Me ha llamado la atención la identidad de los fenómenos antiguos y modernos. Así el río Lagunilla (que se puede comparar de un modo general al *Oise*) ha cambiado varias veces de curso. El lecho más antiguo está rodeado de altos parapetos de conglomerado traquítico acumulados sobre la orilla izquierda, que es la más baja. En otro lecho que el río abandonó como consecuencia de nuevos descensos de lodo, comenzó a desarrollarse una selva cuyos árboles tiene hoy



Fig. 18. Vista panorámica de la salida del cañón del Río Lagumilla al Valle de Armero, y de gran parte del área cubierta por el lodo el 13 11. 1985. Se ve bien la bifurcación del flujo hacia Guayabal (izquierda) y hacia el centro de Armero. Nótese, en primer plano, el efecto de peralte del flujo en las curvas del río

varios siglos de edad. El Lagunilla siguió su curso actual durante muchos años, pero, en 1845, volvió en parte a su antiguo lecho. Los lodos, los bloques de rocas cristalizadas y los fragmentos de hielo que arrastró entonces, arrasaron los bosques, quebraron los árboles y cubrieron las casas y campos. Una parte del río sigue hoy el antiguo cauce. Tan pronto como en una garganta los árboles se acumulaban, formando un obstáculo, los lodos se extendían a ambos costados hasta que, por la fuerza del impulso de las corrientes, la barrera era traspasada y retirada, aunque solamente en parte, quedando protuberancias que varios años después eran cubiertas por otras inundaciones, de forma que, a menudo, se pueden observar 8 a 10 flujos lodo traquítico pudingiformes, sobrepuestos en los diferentes escalones de las laderas; el fenómeno es más evidente en las partes bajas de la llanura donde las corrientes habían perdido ya una parte de su fuerza, y donde era menos difícil detenerlas; es pues en las orillas del Magdalena donde los conglomerados han adquirido la forma de lomas más elevadas (100 metros). Sin embargo, la fuerza de los torrentes de lodo era suficiente como para atravesar el Magdalena en línea casi recta y formar las lomas de la margen opuesta. Vea el corte No. 3 que dibujé (*Peñón de Providencia*) frente a uno de los antiguos cauces del Lagunilla... En el último flujo los lodos eran fríos y los fragmentos de hielo flotaron hasta en el Magdalena, a una distancia de 50 kilómetros del punto de proyección, He medido el más grande de los bloques de roca diorítica que los lodos del Lagunilla han arrastrado hasta aproximadamente 2 kilómetros del pie de la cordillera; él tiene cerca de 500 metros cúbicos.

No obstante, algunas leguas más al S, en la llanura, y sobre todo en los alrededores de los cursos de agua (ríos *Recio, Totare, La China, Chipalo*) y de todos los barrancos y depresiones del terreno, se ven millones de bloques erráticos más pequeños, desde 1 decímetro hasta 4 y 5 metros cúbicos, de traquitas y sienitas dispersos y poco redondeados, reposando sobre el conglomerado traquítico, que los arrastró cuando estaba en estado pastoso. La contracción de los lodos luego de secados ha hecho aparecer bloques que se veían en estado fluido, así ellos permanecen en la superficie de la tierra, a la que pueden incluso cubrir casi completamente, como

ocurre en los alrededores del pueblo llamado *Piedras*. A menudo ocurren fuertes lluvias, que han debido ayudar a destapar los bloques cubiertos por el lodo; pero transcurrido más de un año de la ocurrencia del flujo, la matriz adquiere la consistencia de travertino o tufa sonora, llegando a ser poco permeable a la humedad, y en consecuencia árida. Es asombroso que ninguno de los habitantes de estos pueblos construidos sobre el lodo solidificado de antiguas avalanchas nunca ha sospechado el origen de este vasto terreno, que ocupa una superficie por lo menos igual a la del departamento del Rhone, aunque antiguas tradiciones testimonian los frecuentes diluvios de lodo sobre estos parajes...

Sin embargo, la existencia probada de antiguos glaciares que ahora han desaparecido, la inmensa extensión de terrenos erráticos procedentes de la cordillera, expandidos ahora en la llanura, son ya datos que pueden aclarar la cuestión. Será pues necesario agregar a las otras propiedades del ácido sulfúrico la de ser uno de los más grandes niveladores de la naturaleza, físicamente por la degradación de las rocas que constituyen el núcleo de la cordillera, económicamente porque todos los propietarios que, luego de varios años de trabajo han acumulado una fortuna para sus familias, ven perderse el fruto de las labores de algunas generaciones en una inundación de lodo que destruye las casas, las cosechas, los rebaños, y torna estéril la tierra durante una larga sucesión de años.

Una palabra más, antes de concluir, sobre la naturaleza volcánica de este grupo, que yo sólo he podido examinar del lado E y del N, donde no he percibido nada que me haga pensar en la existencia de un cráter antiguo o moderno. Es en el lado O donde se encuentran la solfataras y las aguas termales a una temperatura elevada; es en este flanco donde se asegura haber distinguido los humos, y aún la luz muy brillante en 1842. Es un punto que intentaré aclarar.

Olvidaba mencionarle que la diferencia de nivel entre el lugar donde desemboca el Lagunilla de la cordillera sobre la llanura y las orillas del Magdalena (distancia, 25 kilómetros) es de sólo 66 metros, y que la velocidad de las corrientes de lodo puede evaluarse por la circunstancia de que se ha visto

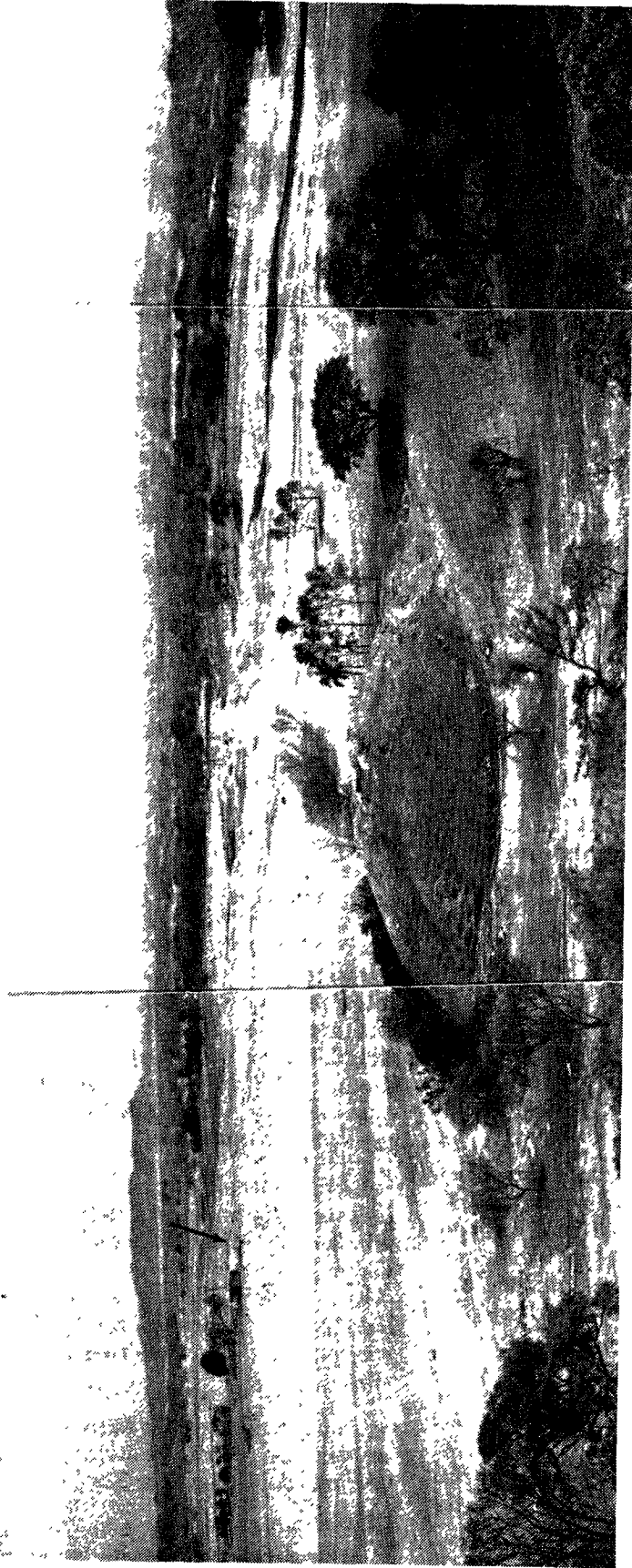


Fig 19 Composición de fotos tomadas cerca de la boca del cañón del Río Lagunilla. En primer plano se observa la parte proximal del flujo de lodo y una "isla" conformada por rocas de la Fm. Saldaña. A la derecha, como un surco oscuro, se ve el cauce actual del Río Lagunilla, profundizado y ampliado durante la avenida. Los restos del molino de arroz (flecha) se encuentran en el ápice del sector cubierto con lodo muy viscoso y lento, que sigue la línea de árboles en pie.

escapar de la muerte a algunas personas huyendo a toda carrera delante de la inundación, mientras que aquellas que quisieron escapar lateralmente fueron ahogadas. La fuerza de impulso de los lodos lanzados desde alturas cercanas a los 5.000 metros ha sido tan grande en todas las épocas que bastó para cubrir de bloques erráticos (algunos de varios metros cúbicos) la llanura hasta 25 kilómetros, y para atravesar y detener el gran río Magdalena, como es posible advertir viendo los regueros de conglomerados traquíticos dispuestos en forma de lomas sobre la otra orilla del Magdalena, al frente y en la dirección de las corrientes de agua que desembocan en la orilla derecha, como el *Cuello, Opia, etc., etc...*

No admito en el *Ruiz* otra acción química que la del ácido sulfúrico. Es fácil imaginarse que enormes fragmentos de roca desagregados, cubiertos de nieve y suspendidos sobre abismos, pueden perder el equilibrio, y precipitarse en aludes de nieve, de tierra, y que el conjunto, mezclado en las cañadas estrechas con pendientes rápidas, debe llegar a la planicie en estado pastoso, y con una gran fuerza de proyección, arrastrando bloques traquíticos de lo alto de la cordillera, y bloques de diorita y sienita de la base. Las dos noches que pasé cerca a la nieve no cesé de oír el ruido sordo de los aludes. Los guías me han asegurado que, en la estación de lluvias, estos ruidos son más frecuentes. El Lagunilla, el río Recio y todos los otros ríos son de un color amarillento en las partes altas de sus cursos, cerca a sus fuentes en el *Ruiz*.

Comentario.

Este texto, publicado en el Boletín de la Sociedad Geológica de Francia (1950), es el producto de dos cartas de J. Acosta al notable geólogo galo Elie Beaumont. Esta vez, Acosta presenta los resultados de sus observaciones en el terreno un tiempo después (tal vez hacia 1850) de ocurrido el evento de 1845.

La conclusión de que los materiales consolidados a partir del flujo de 1845 “no son más que un conglomerado traquítico de la misma naturaleza que el que constituye, en la orilla izquierda (occidental) del Magdalena, una zona de 150 km. de largo y 25 de ancho promedio...” representa una aplicación, temprana en nuestro

medio, del principio actualista, que enseña que el estudio de los procesos geológicos de hoy en día son la guía para la comprensión de los eventos pasados; la opinión de que el Río Lagunilla cambió varias veces su curso antes de 1845 ha de ser el resultado de la aplicación del mismo principio y de un examen minucioso del valle del río y de las laderas que lo limitan. No obstante, cuando el autor señala la presencia de 8 a 10 flujos de lodo en diferentes niveles de las lomas, se refiere a sedimentos más antiguos, del Terciario Superior a comienzos del Cuaternario (Fm. Mesa), que evidentemente debieron su origen a múltiples eventos como el investigado por Acosta. Se trata en este caso de flujos antiguos, bien consolidados, y ya basculados hacia el oriente por la tectónica subreciente, que se pueden ver muy bien, por ejemplo, en el sector aledaño al estribo occidental del puente sobre el Magdalena frente a Cambao; a tales materiales se ha de referir Acosta cuando menciona flujos de lodo en las “lomas más altas”, al otro lado del Magdalena “frente a antiguos lechos del Lagunilla”.

La ocurrencia de bloques de “cerca de 500 metros cúbicos” arrastrados por la avenida de lodo hasta “dos kilómetros aproximadamente del pie de la cordillera”, en comparación con bloques de apenas unos 100 m³ transportados a una posición semejante en noviembre de 1985, reafirma, una vez más, la interpretación, expresada en el comentario anterior, de un evento varias veces mayor en 1845 que en 1985.

En la segunda mitad del texto, Acosta abandona el marco puramente local y llega a sorprendentes interpretaciones del origen general de las planicies cuaternarias de este sector del Valle del Magdalena señalando que en su mayor parte son productos de flujos antiguos de lodo, lo cual a su paso implica una indicación tácita del riesgo geológico en tales áreas.

La información de que “se vió escapar a algunas personas que huyeron a toda carrera delante de la inundación, mientras aquellas que lo quisieron hacer lateralmente fueron ahogadas” permite deducir que, por lo menos localmente, el flujo de lodo de 1845 incluyó fases viscosas y lentas, similares a las descritas para el 13 de noviembre de 1985.

La narración de José Manuel Restrepo, autor de un extenso diario político y militar, y amigo personal del Libertador Simón Bolívar, dice:

“El 19 del corriente, a las 7 de la mañana, ha ocurrido una catástrofe lamentable en el río

Lagunilla, que corre del Poniente al este y desemboca en el río Magdalena. En dicha hora se oyó un gran ruido en la vega del río, y se sintió como un temblor de tierra. En breve apareció una inmensa inundación de lodo que cubrió y arrastró los bosques, las casas y los desgraciados habitantes que no huyeron: unos quedaron sepultados y algunos pocos se acogieron a los árboles que resistieron la fuerza del torrente.

Pocos de estos se pudieron salvar y los demás perecieron de hambre y de sed, pues ninguno les podía socorrer. Han muerto como 1.000 habitantes de la parte alta del valle de Lagunilla, y de 4 a 6 leguas cuadradas quedaron cubiertas de piedras, cascajo, arena y lodo de tierra no vegetal. Entre esto había grandes masas de nieve. La capa lodo era de cinco pies de espesor en lo más bajo.

Luego que aquel torrente salió de la estrechura de la cordillera, donde subía a 200 varas de altura, se dividió en dos corrientes. La una siguió el curso del antiguo cauce del Lagunilla hacia el Magdalena, y la otra invadió el valle de la quebrada de Santo Domingo arrastrando los bosques, lo mismo que si fueran de paja. Precipitóse en el río Sabandija, y los árboles, lodo y piedras le formaron una fuerte represa que amenazaba inundar todo aquel valle; felizmente una fuerte lluvia que cayera por la noche hizo crecer los tributarios del Sabandija y sus aguas rompieron la tapia que cerraba el curso del río.

Aún se ignora cuál fue la causa de este desastre. La opinión más probable es que una gran parte del nevado del Ruíz, de donde nace el Lagunilla, se derrumbó con la nieve y tapó el curso de las aguas; aumentadas estas con el deshielo de la nieve rompieron la tapa, arrastrando cuanto encontraron al paso y mezclando mucha nieve que aún no se había disuelto. Creen otros que acaso el Ruíz, que es un volcán, hizo alguna erupción de lodo, lo que prueban con el hecho de que aun el mismo río Magdalena tuvo sus aguas hediondas a azufre. Se ensuciaron tanto que no se podían beber, y los peces, medio muertos, huían a las orillas. El nevado del Ruíz está como a 10 leguas y todavía no han ido a registrar aquellos lugares para saber la causa de tamaña desgracia. El terreno cubierto

era muy fértil y con sementeras de tabacos. Si las tierras quedan estériles, la pérdida se calcula en 500.000 pesos”

Comentario.

En términos generales este autor coincide con J. Acosta, pero, de acuerdo con su estimación, el área arrasada por el lodo en 1845 (de “4 a 6 leguas cuadradas”) podría oscilar entre 12.420 y 18.633 hectáreas, o sea entre 4 y 5 1/2 veces más que en noviembre de 1985; así mismo el espesor mínimo del sedimento depositado en 1845, cercano a 1.5 m es reflejo de un evento de grandes proporciones. No obstante, la altura de “200 varas” (unos 167 m) del flujo en el cañón del Lagunilla resulta evidentemente exagerada, ya que ello daría lugar a secciones transversales ocupadas por el lodo en el cauce nó de 3 a 4, sino de 8 a 10 veces mayores que las observadas en noviembre de 1985. La altura esperada del lodo en el cañón en dicha ocasión podría ser de 80 a 100 m.

Por otra parte resulta curioso que tanto Acosta como Restrepo sostengan que no se supo con seguridad la causa del desastre; fuera de los ruidos y vibraciones del suelo — relacionados, como ya se sabe, al movimiento turbulento de la masa — que antecedieron el momento en que asomó la avenida sedimentaria en la planicie de la futura Armero, tales autores no mencionan proceso alguno visto o sentido en el VNR (como por ejemplo explosiones, fognazos, caída de ceniza). Sin embargo, ambos suponen, con bastante lógica, que tal vez grandes desprendimientos de nieve y represamientos temporales de la corriente originaron el proceso catastrófico. Al respecto hay que recordar que unas versiones consignadas por Gómez Picón (1945) señalan que antes del flujo de lodo del 18 de febrero de 1845 el Río Lagunilla estuvo “seco” por algún lapso de tiempo (v. también Acevedo, 1981):

“El señor Roberto J. Treffry, un inglés que por ese entonces se encontraba en aquellos contornos, geólogo e ingeniero, achacó lo ocurrido a alguna erupción subterránea combinada con un gigantesco deslizamiento de parte de la mole del Ruíz que obstruyó el alto cañón, pues a los temblores y ruidos subterráneos se agregó que el cráter principal del nevado arrojaba densa cantidad de humo. Se formó de este modo un gran lago del cual emergían uno que otro islote, enriquecido por el aporte de las aguas lluvias, que fueron intensas, y cuya duración fue de más de una semana. Las gentes de las partes media y baja de la hoya se mostraban abismadas de

la ausencia o desaparición del rochero río, hasta cuando este hizo su tremenda y espectacular salida, en la forma que se conoce. Uno de los brazos en que se dividió, al romper la formidable barrera que obstruyó su paso, tomó rumbo norte, por el pie de la cordillera, hasta llegar al Sabandija, en el que depositó los materiales transportados, formando a la vez amenazadora represa, que intranquilizó hasta lo indecible a los habitantes del pequeño poblado de Guayabal”.

Las anteriores narraciones históricas nos llevan a suponer entonces que el flujo de 1845 antes que a una erupción comparable con las de 1595 y 1985, se debió seguramente a actividad sísmica en el área del Ruíz y consecuente deslizamiento de parte apreciable de los glaciares del costado oriental; empero la anotación acerca de aguas “hediondas a azufre” sugiere una apreciable reactivación fumarólica o hidrotermal.

La descripción de Gustavo Arboleda dice:

“Al terminar la administración Herrán ocurrió una gran desgracia en la provincia de Mariquita, por una formidable creciente del río Lagunilla, que ocasionó muchas pérdidas de vidas y de intereses materiales. El 18 de enero hubo una gran erupción del Ruíz, que produjo un derrumbe desde la cima del nevado, que trajo en su caída toda la nieve que lo cubría, la cual fue a dar al arroyo del Chispeadero, afluente del mencionado río. En el lugar por donde este sale de la cordillera a explanada, alcanzaron las aguas una altura como de ciento sesenta pies sobre el nivel ordinario de ellas y se explayaron al llegar a llanura, que en una extensión de seis leguas convirtióse en inmenso arenal; las casas y caneyes fueron arrastrados y medio sepultados y los pocos árboles que quedaron embarrados hasta su copa, demostraban la inmensidad de la avenida. Hubo como cuatrocientas personas muertas; familias enteras perecieron sin librar un solo miembro de ellas; muchos individuos que escaparon por la causalidad vieron perecer a los suyos, resultando de repente solos en el mundo; una niña de dos años se salvó asida del brazo de su madre, que había perecido y estaba casi sepultada en el fango; otros evitaron la muerte en troncos de árboles de los que arrancó de cuajo la avenida y allí estuvieron alimentándose con cañas o plátanos que les arrimó la creciente, pasando algunos días entre ansias mortales. Por doquiera que, a raíz del cataclismo, iban los individuos que

con el gobernador de la provincia se dirigieron a prestar auxilio, había miembros separados de las distintas personas que se extinguieron al golpe de los árboles que arrebató el empuje de las aguas. Se perdieron las plantaciones casi todas de tabaco, cerca de un millón de matas, y los ganados. Los capitales destruidos no bajan de medio millón de pesos”.

Comentario.

Salta a la vista que la fecha señalada por Arboleda (18 de enero) no coincide con las de Acosta y Restrepo (19 de febrero). Así mismo, Arboleda habla de una “gran erupción del Ruíz”, pero no da prueba alguna al respecto.

La altura indicada del torrente a salir al valle (aprox. 45 m) es seguramente correcta (1 1/2 veces mayor que la del 13 de noviembre de 1985); la anotación de que “los árboles quedaron embarrados hasta la copa” significaría alturas de fluido, en el valle mismo, de 10 a 15 m, lo cual comparado con los 3 a 4 m. máximos de noviembre de 1985 resulta, sin duda, aún más impresionante.

CONCLUSIONES

Como complemento a las conclusiones expuestas sobre el flujo de lodo del 13.11.1985, y de acuerdo con los relatos históricos, se puede establecer que:

- a) Los flujos de lodo que han afectado el Valle del Río Lagunilla no son uniformes en cuanto a dimensión, alcance y propiedades físicas de los sedimentos depositados. El mayor evento en tiempos históricos ha sido el de 1845.
- b) Los flujos de 1595 y 1985 tuvieron estrecha relación (causa y efecto) con reactivaciones eruptivas del Volcán del Ruíz; por el contrario, el flujo de 1845 parece haber sido desencadenado por causas diferentes a eventos volcánicos comparables con los del 13.11.1985. Los aludes de nieve que generaron la avenida de 1845 se debieron tal vez más a desestabilización de los glaciares por efectos sísmicos y/o calentamiento del edificio volcánico.
- c) El volumen de material acarreado por los flujos históricos en el Valle de Armero ha oscilado entre 80-100 y más de 300 Mm.³. No obstante, la cifra para un posible evento máximo, en caso de deshielo total de los glaciares del sistema de los Ríos Lagunilla y Azufrado, sólo podrá ser

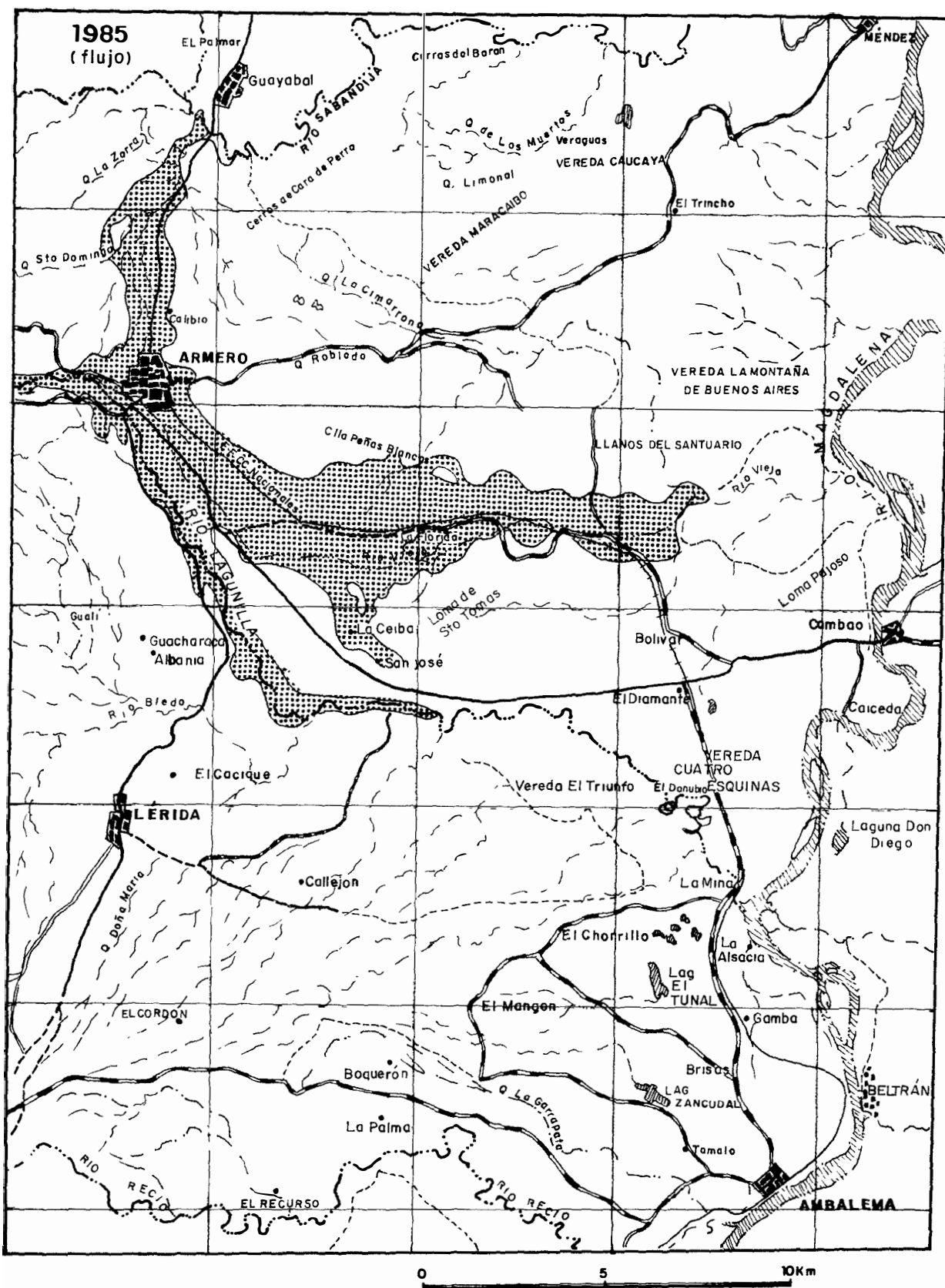


Fig. 20. Extensión abarcada por el flujo de lodo del 13.11. 1985.

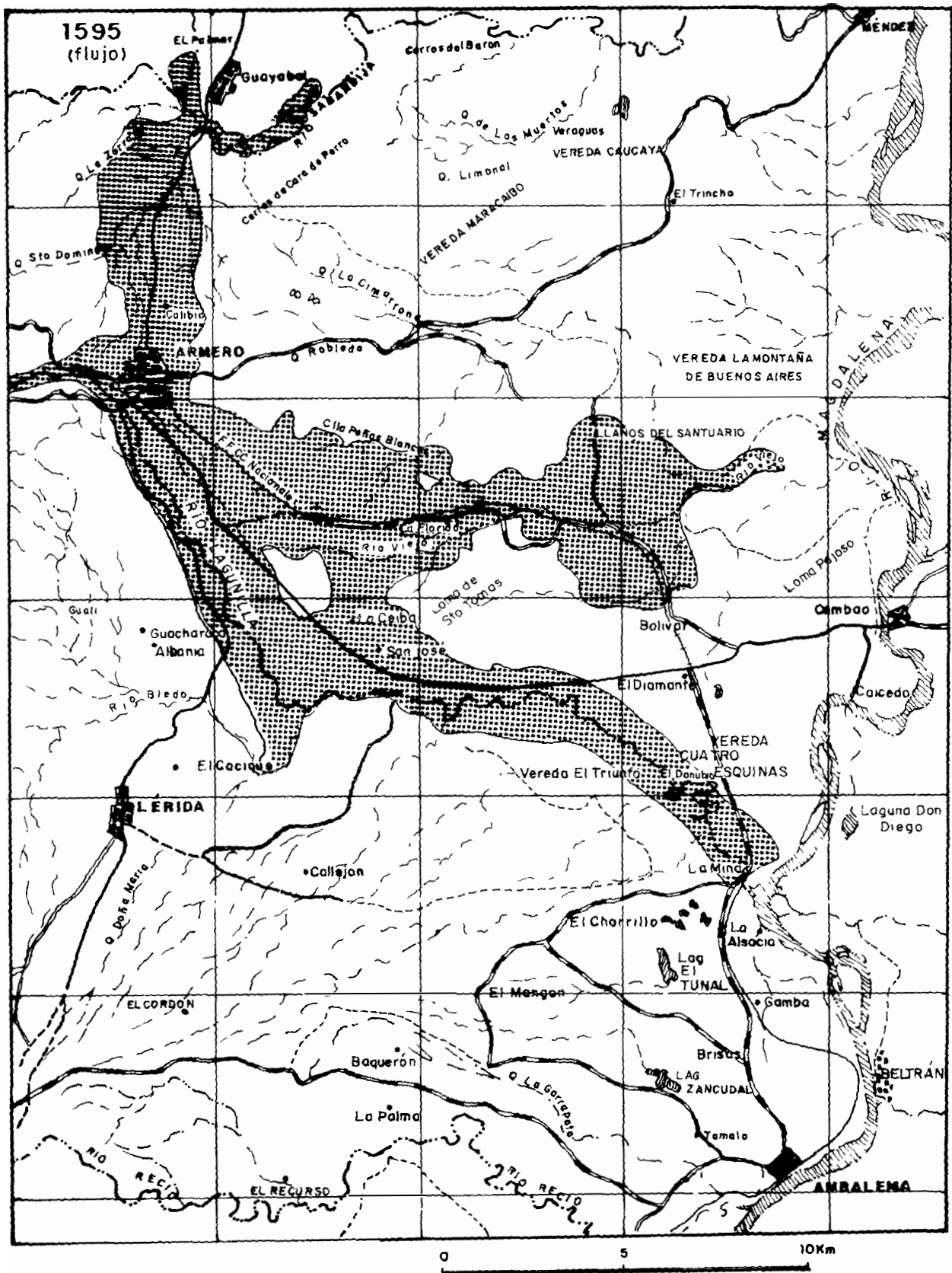


Fig. 23. Reconstrucción aproximada, con base en relatos históricos, del flujo de lodo de marzo de 1595.

definido con precisión una vez se tengan datos seguros derivados de investigaciones detalladas que definan el área de dichos glaciares y el espesor real del hielo disponible para cada cuenca; esta tarea implica perforaciones y estudios de sismica. Un proyecto en tal sentido ha sido comenzado conjuntamente por la Universidad Nacional, la Universidad de Osnabruck (R.F.A.) y el Ingeominas.

- 1) El registro histórico indica que los catastróficos flujos de lodo, de por sí de corta duración, están separados entre sí por periodos largos de calma. Empero, no hay certeza absoluta de una ocurrencia periódica.
- e) Para evitar o disminuir los daños materiales y la pérdida de vidas humanas, es necesario mantener en mente los eventos descritos, ya que la historia demuestra que las generaciones siguientes a los eventos de 1595 y 1845 habían olvidado los hechos y erigieron nuevos asentamientos en áreas arrasadas previamente por los flujos de lodo.
- f) La recuperación de los terrenos cubiertos por los lodos ocurre, en forma natural, en un período de varios años. La experiencia demuestra que los suelos desarrollados sobre los flujos son fértiles, y por lo tanto muy aptos para la agro-industria. Mediante el empleo de riego artificial y aplicación de fertilizantes y correctivos apropiados, el lapso de recupe-

ración de los suelos puede acortarse sensiblemente.

Agradecimientos.

La realización de este trabajo es consecuencia de las acciones inmediatas, en diferentes campos del saber (Medicina, Ciencias Sociales, Ingeniería, Geología), que, con motivo de las trágicas circunstancias que rodearon la reactivación eruptiva del VNR en noviembre de 1985, adelantó la Universidad Nacional de Colombia. La participación de los autores en la investigación de lo acontecido en las localidades de Armero, Mariquita y Honda se debe al entusiasmo y positivo estímulo de numerosas personas, entre ellas los doctores Guillermo Benavides, Alvaro León, Mario Garcés, Omar Agudelo y Antonio Ramírez (Decano), todos de la Facultad de Medicina.

Por el apoyo económico, logístico y demás ayudas recibidas debemos agradecer la permanente intervención e interés del señor Rector, Dr. Marco Palacio, del señor Vice-rector Académico, Dr. Luis H. Blanco, del Dr. Pablo Leyva (Decano Facultad de Ingeniería), del Centro de Medios Audiovisuales (Cemav) y de la Sección de transportes; a los colegas geólogos, Jorge Brieva, Jaime Mendoza y Rubén Llinás, del Departamento de Geociencias por su colaboración en las discusiones y el análisis del problema que nos ocupa.

REFERENCIAS CITADAS

- ACEVEDO, E. (1981): El Río Grande de la Magdalena.-Ed. Banco de la República, Biblioteca Luis Angel Arango, 131 pp., Bogotá.
- ACOSTA, J. (1846): Relation de L'éruption boueuse sortie du Volcán Ruíz et de la catastrophe de Lagunilla dans la Republique de la Nouvelle Grenada.— Compes Rendus. Acad. Scie. 22 (709-710), París.
- ACOSTA, J. (1850): Sur les montagnes de Ruíz et de Tolima Nouvelle Granade) et les eruptions boueuses de la Magdalena.-Bull. Soc. Geol. France. 489-496, París.
- ARBOLEDA, G. (1919): Historia Contemporánea de Colombia. -Ed. Arboleda & Valencia, T.I, pg, 490; T.II p. 474, Bogotá.
- BARRERO, D. & VESGA, C.J. (1976): Mapa Geológico del Cuadrángulo K-9 y parte Sur del J-9 La Dorada, Esc. 1: 100.000.-Ingeominas, Bogotá.
- CALVACHE, M.L., DUQUE, G., GARCIA, N., SALAZAR, J.E. & SALAZAR, B. (1985): Memorias del Seminario sobre Riesgo Volcánico del Ruíz, Univ. Nal. Marzo 26 de 1985. -Rev. Vías Transp. 12 (53), 1-114, Figs. sin núm., Univ. Nal. Manizales.
- FORERO BENAVIDES, A. (1986): Temas Volcánicos.— El Tiempo, Enero 19 de 1986, Lecturas Dominicales, pp. 8-9. Bogotá.
- GOBERNA, J.R. (1985): La actividad volcánica del Nevado del Ruíz.- La Patria Julio 28 de 1985, Rev. Dominical, pp. 14-18, Manizales.
- GOMEZ PICON, R. (1945): Magdalena, Río de Colombia.-Ed. Santa Fé, 526 pp., Bogotá.
- HERMELIN, M., VELASQUEZ, A. & BUSTAMANTE, M. (1985): Depósitos Recientes (Lahares) derivados del Volcán Nevado del Ruíz, Revisión Histórica. Mscr. Inéd. Medellín.
- INGEOMINAS (1985): Texto explorativo del Mapa Preliminar de Riesgos Volcánicos potenciales del Nevado del Ruíz.-Instituto de Investigaciones Geológico-Mineras, 18 pp., Octubre 7 de 1985, Bogotá.

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

RESTREPO, J.M. (1954): Diario Político y Militar.-Bibli. Presidencia de Colombia, T.I, p. 403; T.II, p. 370; T.III, p. 742, Bogotá.

SIMON, Pedro (1625): Noticias historiales de las conquistas de la tierra firme en las Indias Occidentales.-Ed. Medardo Rivas, 376 pp., Capítulos VI y XLI, 1892, Bogotá. También en Biblioteca Autores Contemporáneos, Min. Educ. Nal., Edic. Rev. Bolívar, Ed. Kelly, T. IV y VI, 1953, Bogotá.

Manuscrito recibido, marzo de 1986.

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

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 subregionale 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 Cordillere 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

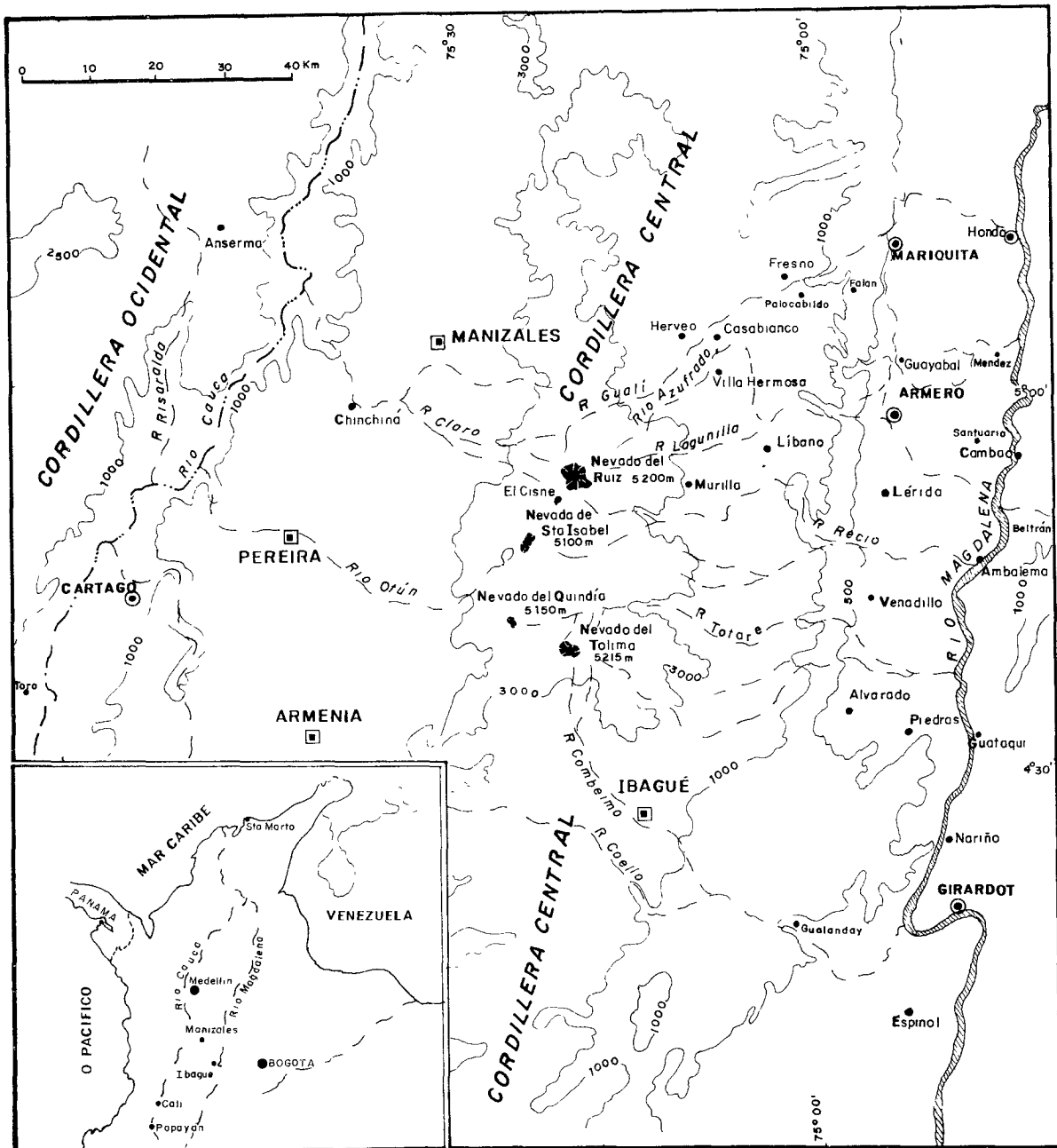


Fig. 1. Mapa de localización geográfica con los principales sitios mencionados en el texto.

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 veáse 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-

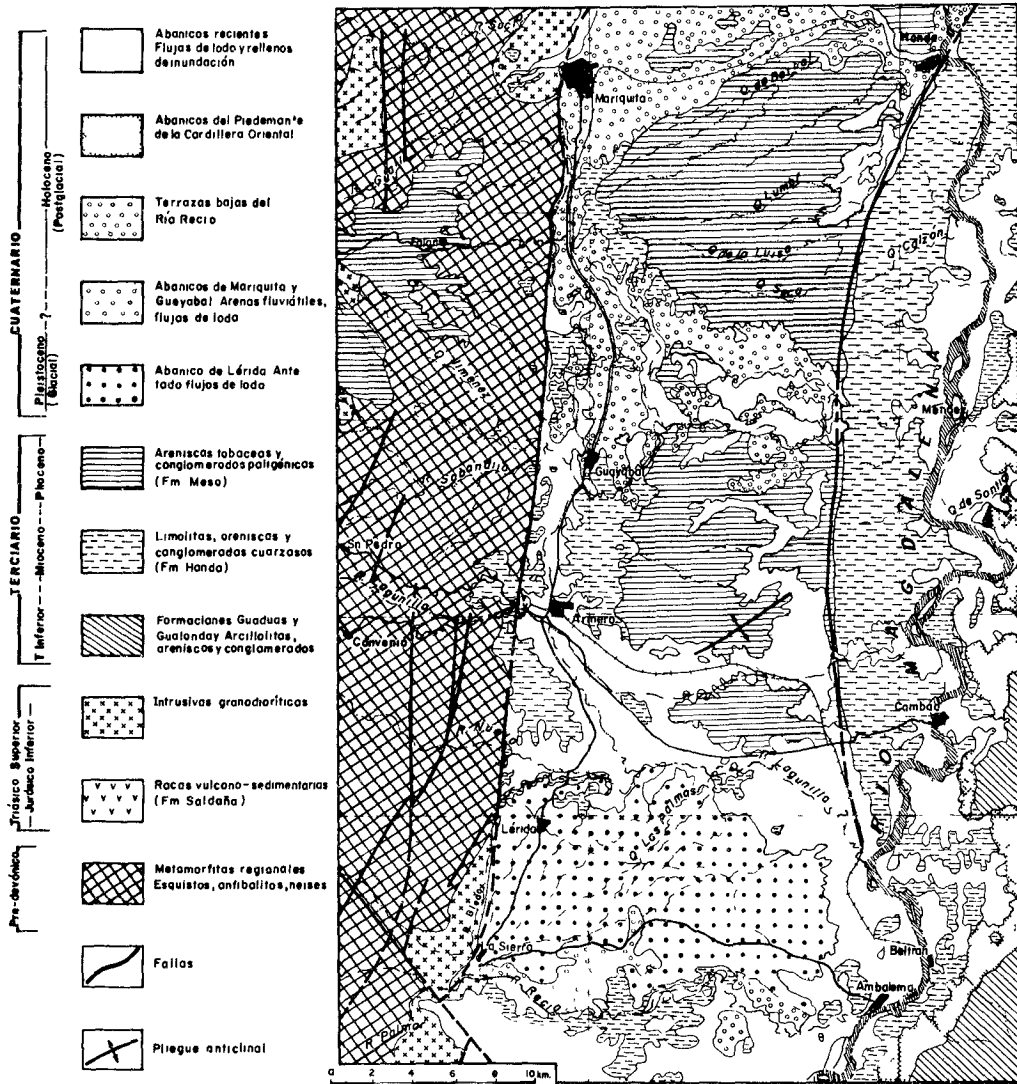


Fig. 2. Mapa geológico general del área de estudio y el piedemonte oriental de la Cordillera Central. Fuentes: Raasveldt & Carvajal (1957) y De Porta (1966).

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

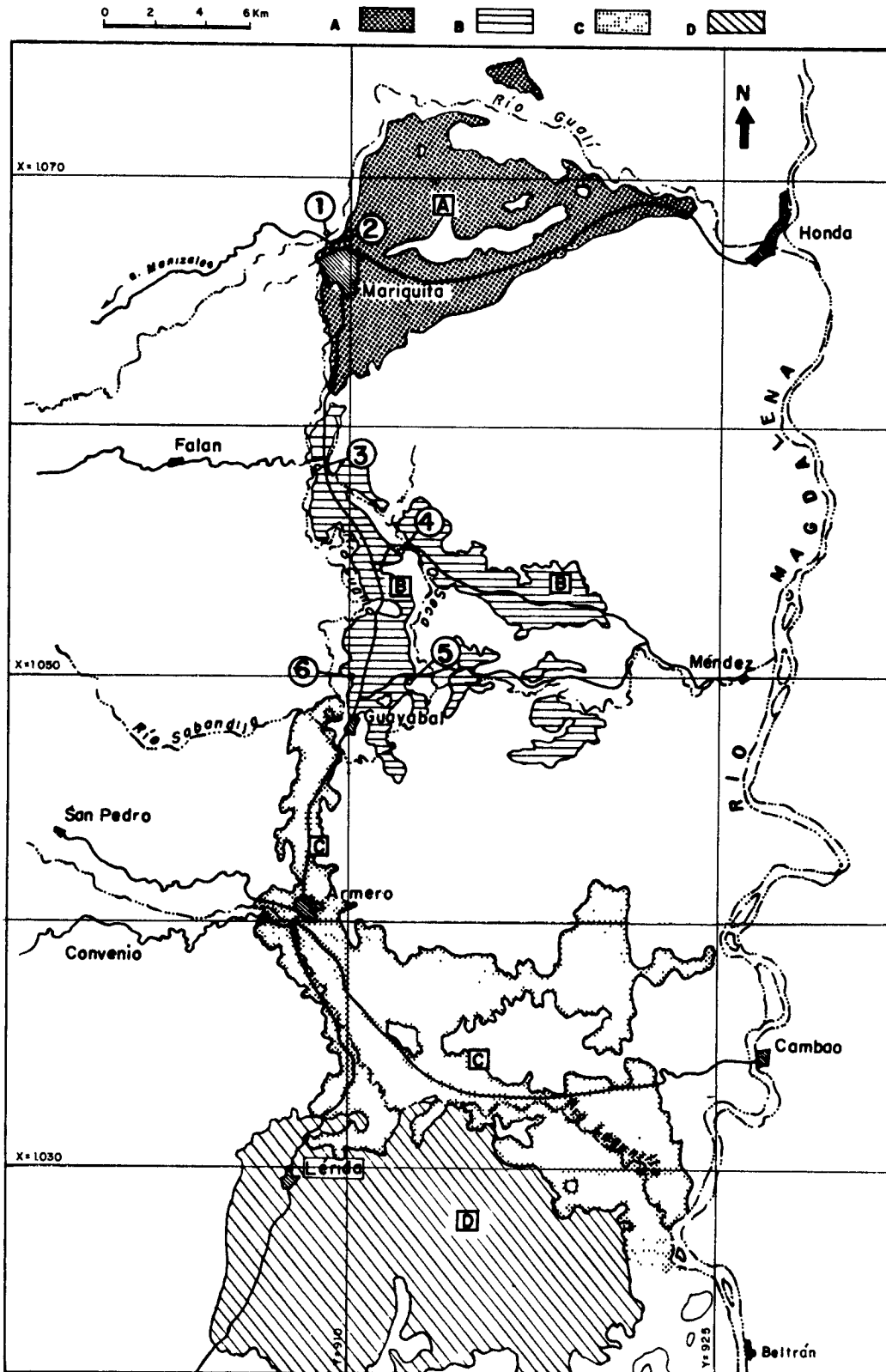


Fig. 3. Localización de los perfiles cuaternarios investigados entre Mariquita y Guayabal. A. Abanico de Mariquita; B, Abanico de Guayabal-El Rhin; C, Abanico de Armero; D, Abanico de Lérda.

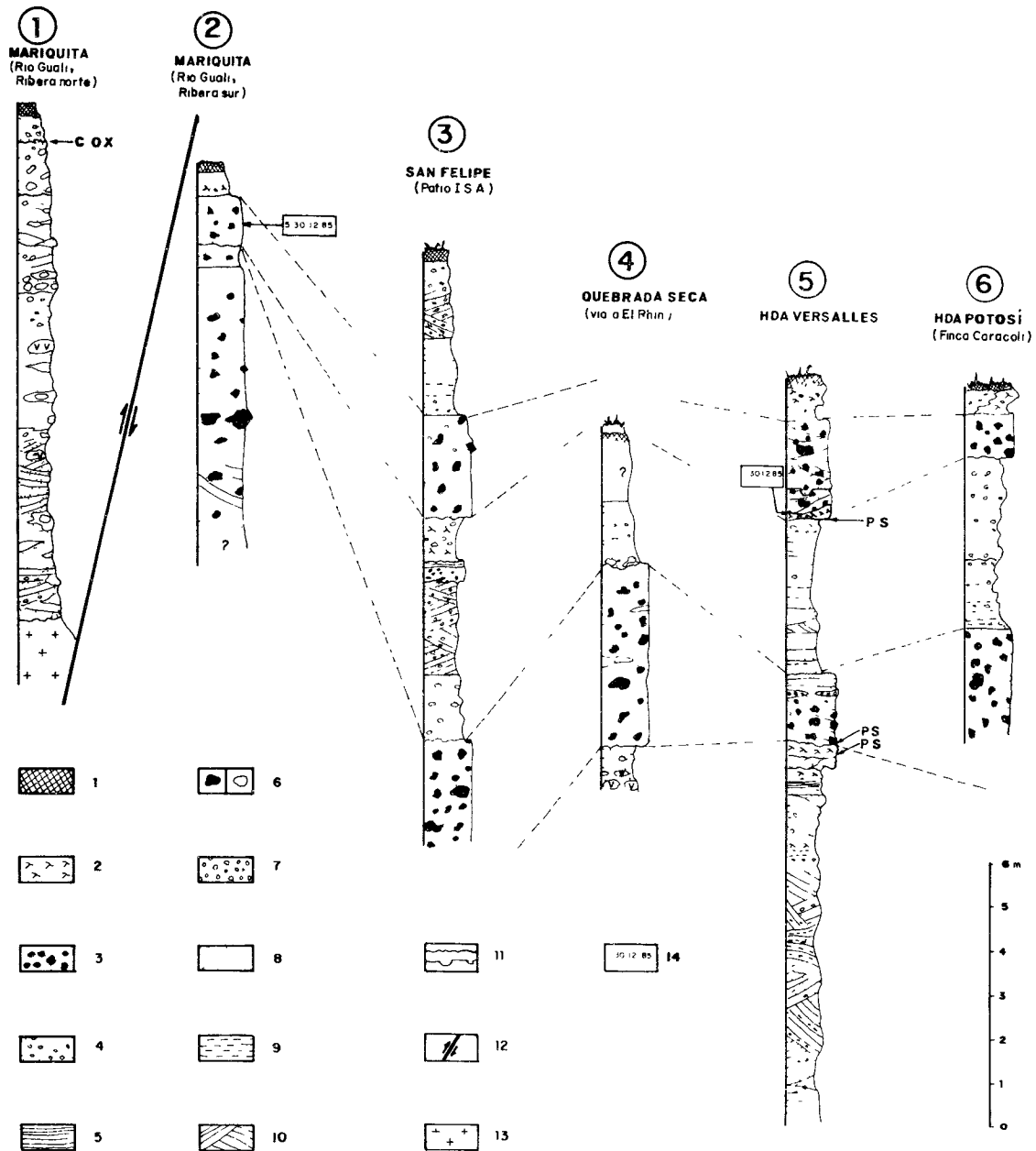


Fig. 4. Perfiles estratigráficos del Cuaternario estudiados entre Mariquita y Guayabal (Tolima), localización Fig. 3
 1: Suelo orgánico, actual, 2. capas tobáceas, 3 flujos de loeso, 4: arenas sueltas, conglomeráticas, 5 capas con estratificación paralela, 6: cantos angulares (en negro), cantos redondeados (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 buzcan unos 25° hacia el noroeste. La segunda, localizada

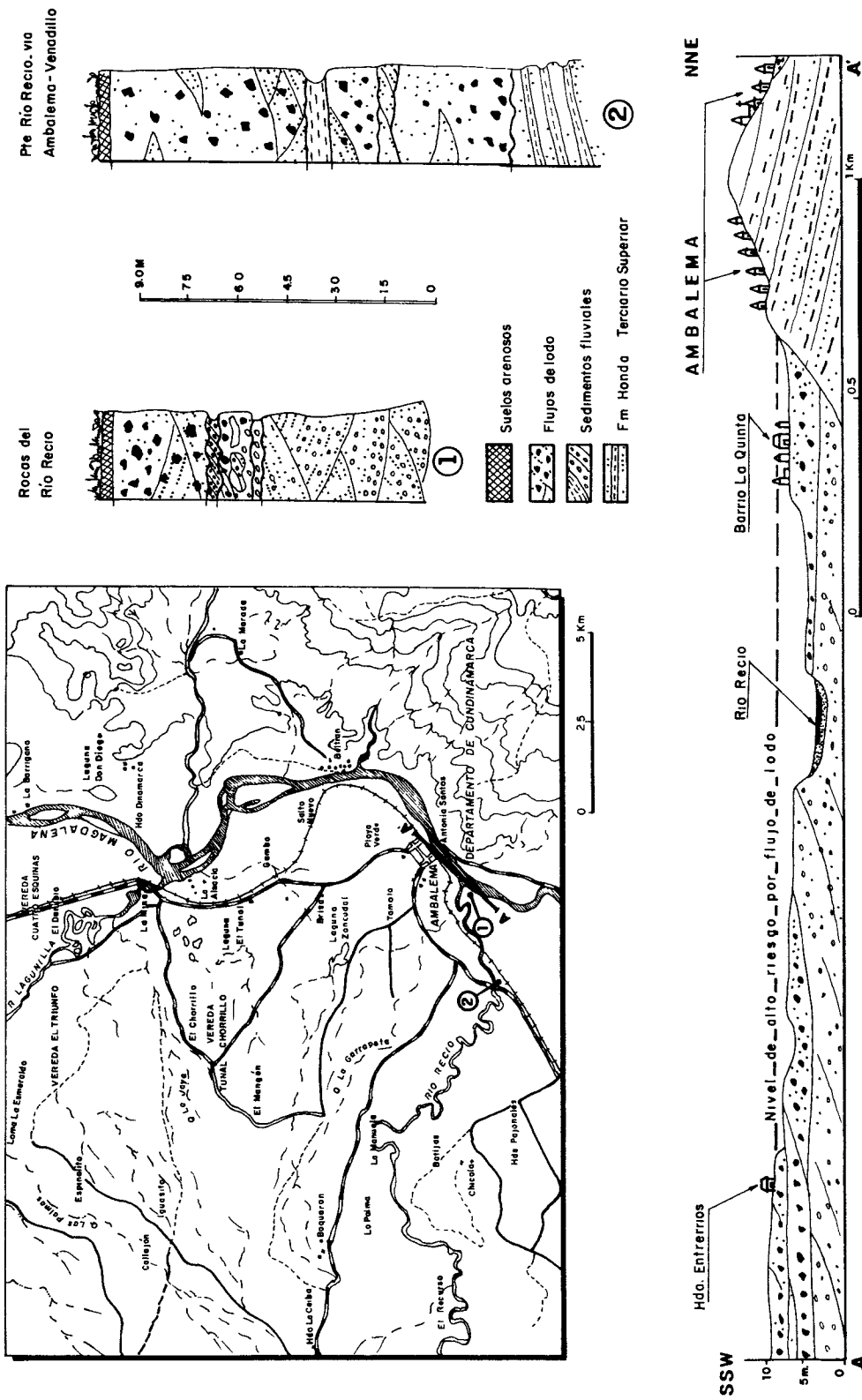


Fig 5 Mapa de localización, perfiles estratigráficos estudiados en el Valle del Río Recio, y corte esquemático entre Ambalema y el Río Recio, con estimación del nivel crítico de riesgo por Flujos de lodo provenientes de dicho río



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. Nótense 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.

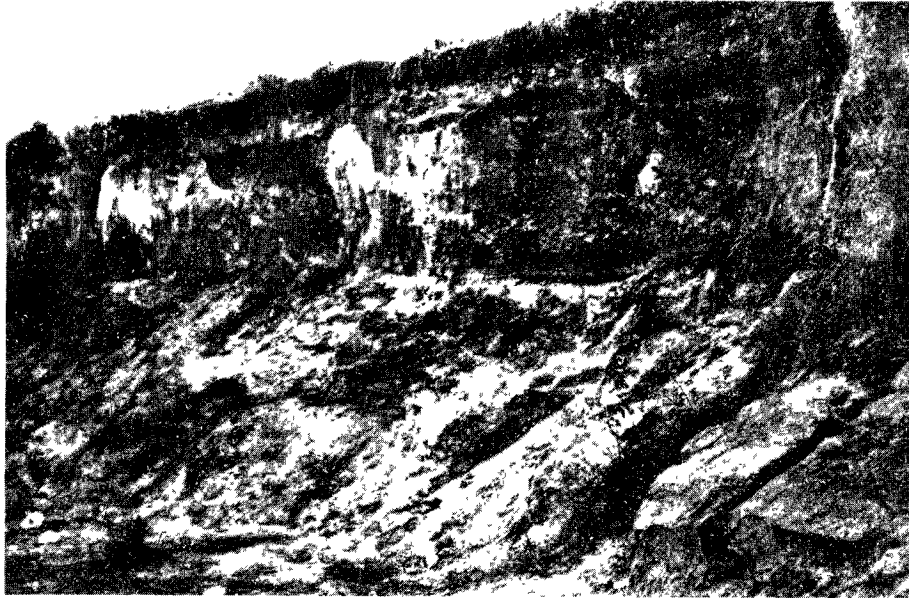


Fig. 10. Afloramiento en la ribera occidental del valle de la Q. Seca (Finca Versailles) 2 km al N de Guayabal. En la parte baja se aprecia una secuencia areno-conglomerática, muy suelta, con estratificación cruzada a grande y mediana escala, depositada por corrientes acuosas de baja densidad, en la 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

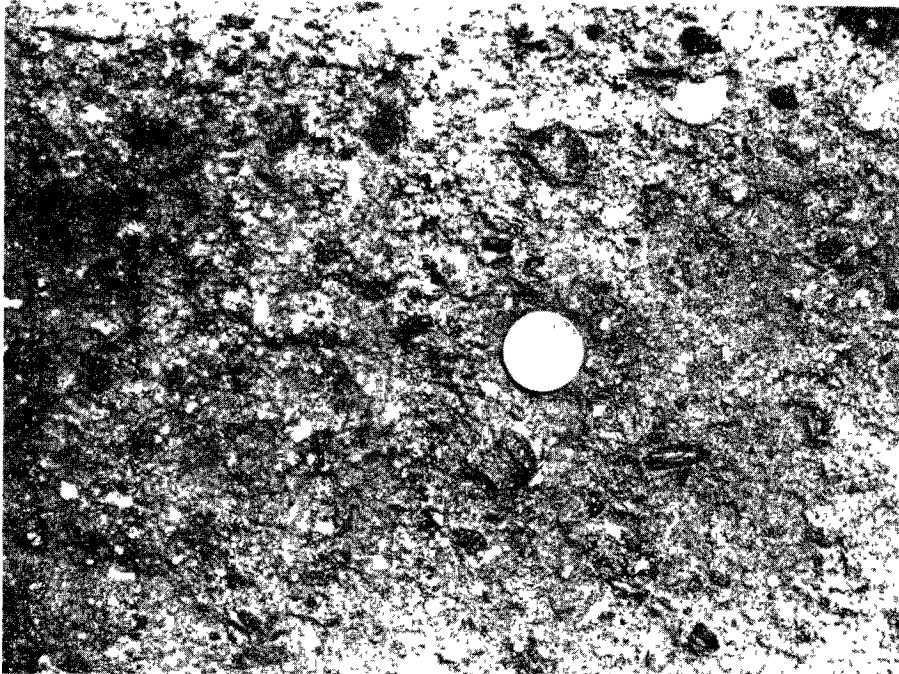


Fig. 11 Aproximación del flujo de lodo ilustrado en la Fig. 10. Nótese la mala selección, la angulosidad de los fragmentos, el carácter poligénico de los clastos, evidenciado por los diferentes tonos, y el aspecto caótico y compacto de la roca. El tamaño general de los clastos indica, en este caso, una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

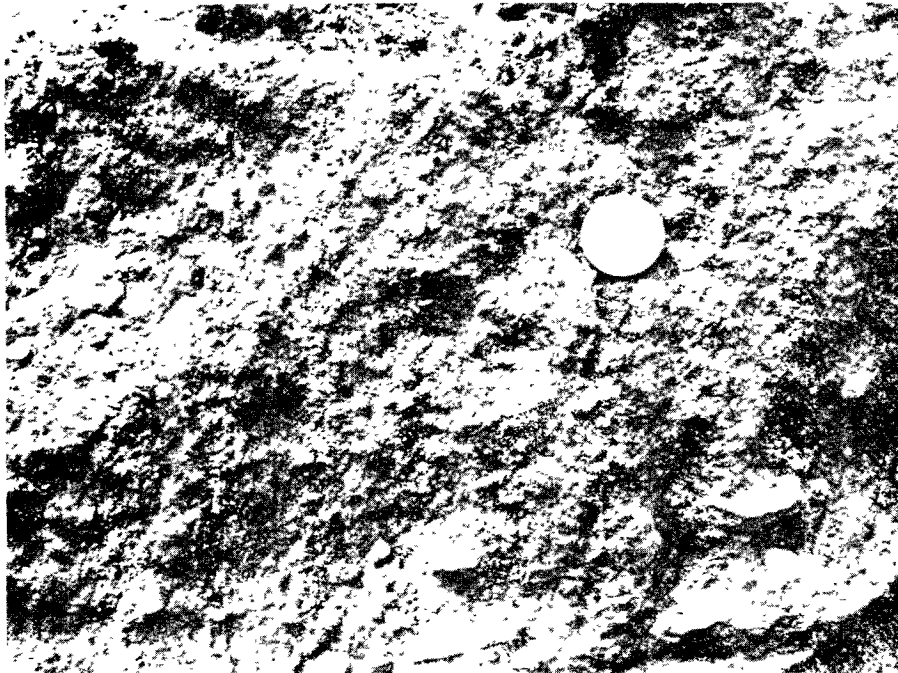


Fig. 13. Detalle del flujo más bajo mostrado en la Fig. 12. Se evidencian la mezcla caótica del material y la angularidad de los clastos, compuestos esencialmente de restos de vulcanitas andesíticas, filitas y esquistos grises y verdosos, y gránulos de cuarzo lechoso. Diámetro de la escala: 2,5 cm.

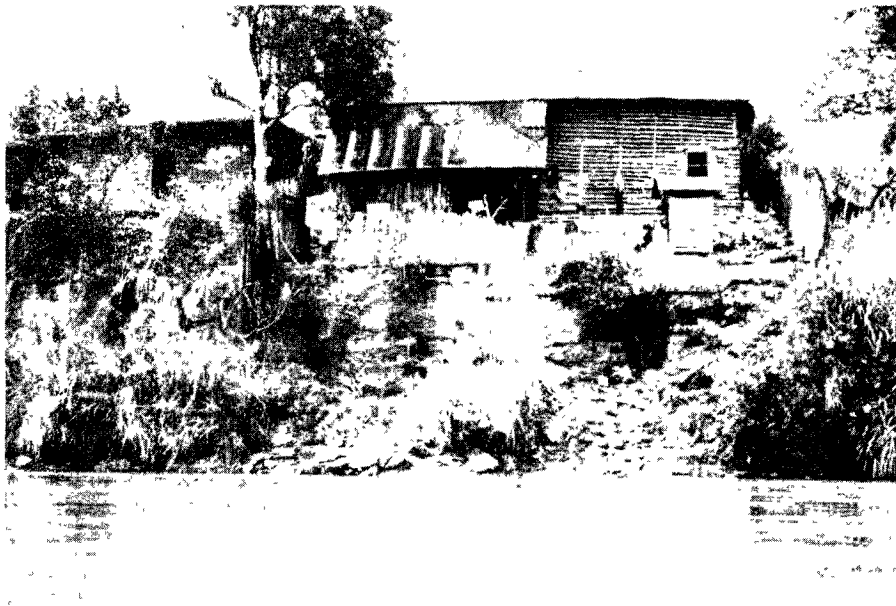


Fig 14 Ribera occidental del Río Magdalena, unos 600 m aguas abajo de las bocas del Río Recio. Se observan casas del barrio la Quinta de Ambalema, construidas sobre flujos de lodo (provenientes del Río Recio) que se expresan aquí por el talud vertical. Las edificaciones se encuentran amenazadas por la 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 "terrace" 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 explanación 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 carretable 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 carretable 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.

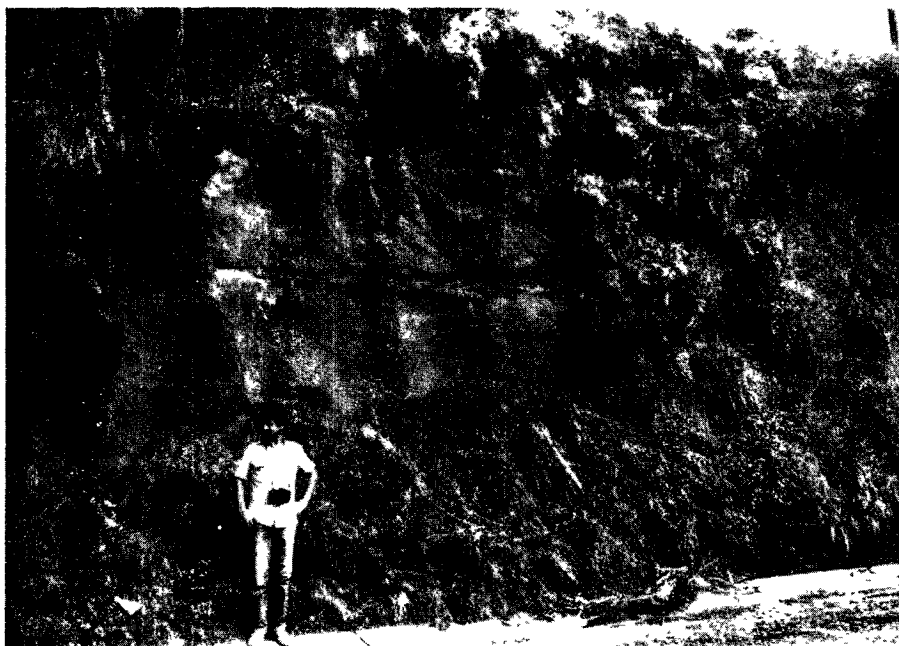


Fig. 18. Afloramiento en el km 5 de la vía Girardot-Nariño. Aparecen tres flujos de lodo, distales, provenientes del Río Coello y por ende, originados por deshielos en el Nevado del Tolima. Se tiene aquí el registro de eventos de grandes proporciones que han traspasado el cauce del Río Magdalena y alcanzado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

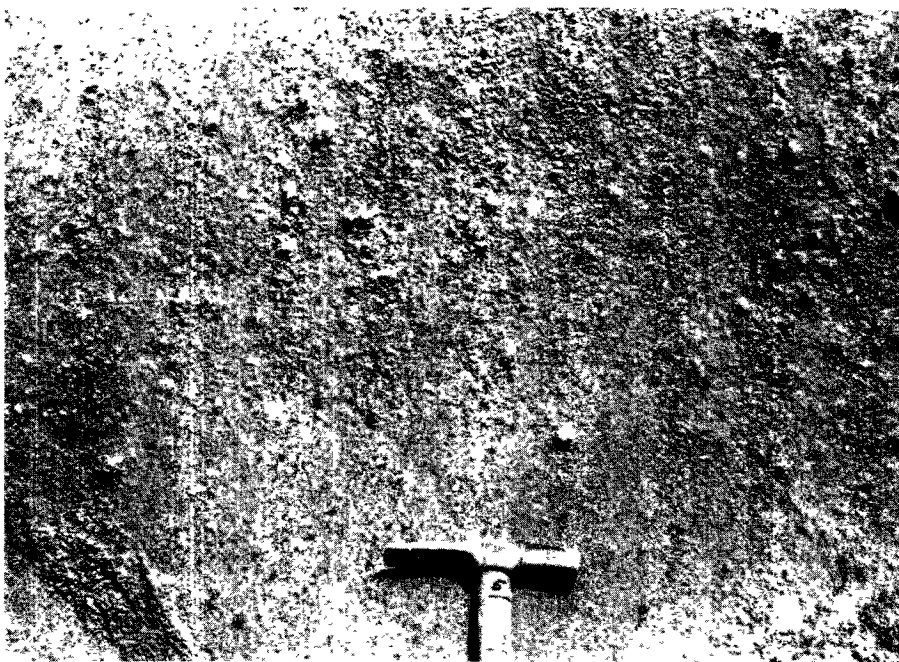


Fig. 19. Detalle del nivel bajo mostrado en la Fig. 18. Se aprecian bien los clastos angulares (gránulos y gravas) que conforman aquí un 30% del volumen; es evidente también la pobre selección de tamaños y la mezcla desordenada del material. El tamaño relativamente pequeño de los clastos ratifica el 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.

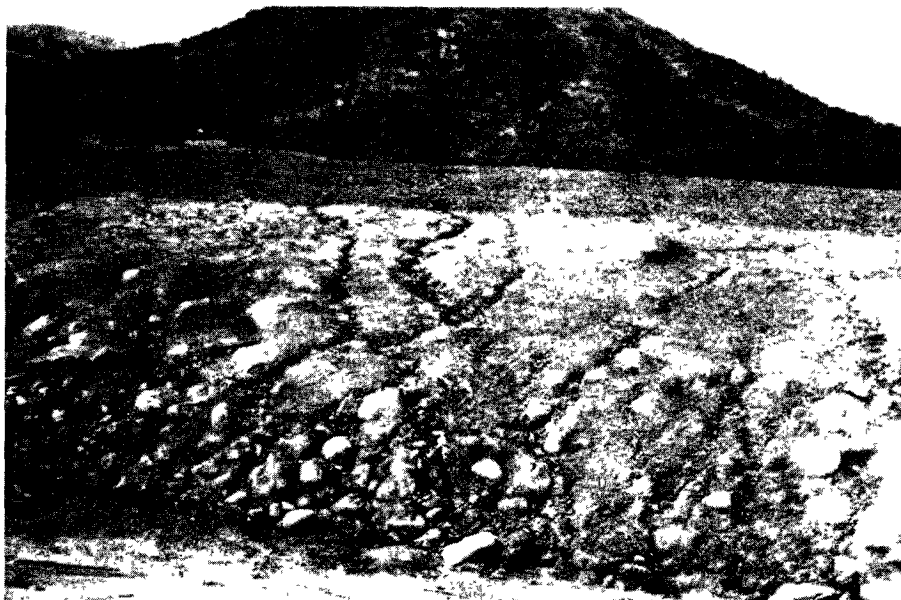


Fig. 21. Corte natural, por corrientes postreras y posteriores la facies proximal del flujo de lodo del 13.11.85 en Armero, a unos 400 m al E de la boca del cañón del Río Lagunilla. Se trata de un sector lateral de flujo, que hacia la base contiene abundantes cantos redondeados, con alguna imbricación.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

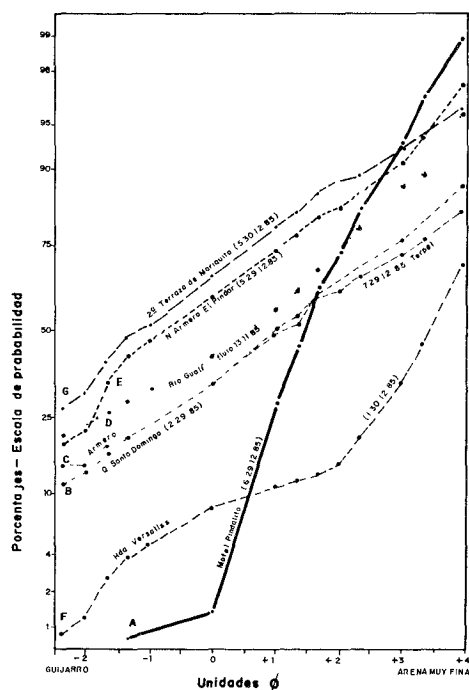


Fig. 24. Curvas acumulativas de frecuencia de siete muestras de flujos de lodo, recolectadas en el área. A: muestra recogida a la entrada Norte de Armero, cerca al aeropuerto y sitio del Motel El Pindal. B: Quebrada Santo Domingo, cerca al puente férreo. C: Armero, al borde de la carretera. D: Río Gualf, flujo de lodo del 13 de Noviembre de 1985. E: Norte de Armero, cerca al Motel El Pindal. F: Flujo antiguo, Hacienda Versalles. G: flujo antiguo, Mariquita, terraza superior (el tamaño del grano decrece hacia la derecha).

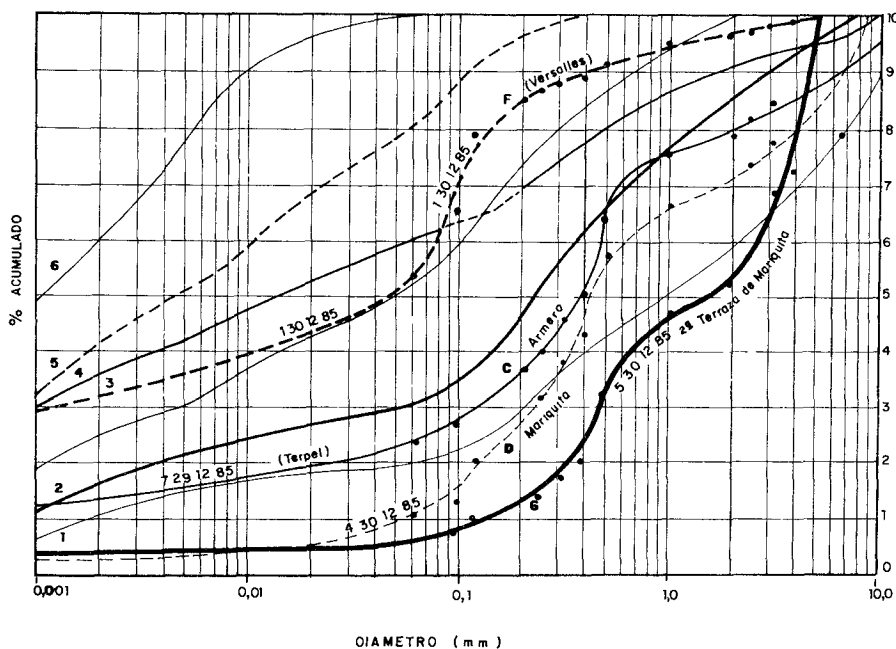


Fig. 25. Gráficos de distribución de tamaño en depósitos recientes de flujos de lodo (1 a 6) (modificado de Bull, 1963), comparados con las distribuciones de flujos antiguos y recientes en Hacienda Versalles y Mariquita; C y D: Flujos recientes en Armero y Mariquita (Río Gualf). Se indica el número de la muestra y la fecha de recolección (el tamaño del grano decrece hacia la izquierda).

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 buen 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-Camboia (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 Guali 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 Versailles 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 (decímetros 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 Versailles y Río Guali 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-

ducto también de esporádicas avenidas de lodo que han llegado hasta su confluencia con el Río Magdalena, en tiempos holocenos. Así, la historia del Valle del Río Recio es en buena parte comparable con la del Valle del Lagunilla. Dado que los nacimientos de ambos ríos se alimentan de glaciares colindantes en el Ruíz, resulta curioso que los sucesos de 1595, 1845 y 1985 no hayan ocasionado flujos de lodo por el Río Recio, y sí por el Lagunilla; la causa de ello debe estar ligada con la situación y comportamiento de dichos glaciares y efectos locales o dirigidos de la actividad del Nevado del Ruíz.

- 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

CONSIDERACIONES SOBRE LOS ASPECTOS METEOROLOGICOS Y EFECTOS RELACIONADOS CON LA DISPERSION DE FRAGMENTOS Y GASES EMITIDOS POR EL VOLCAN ARENAS DEL NEVADO DEL RUIZ EL 13 DE NOVIEMBRE DE 1985

Jesús A. Eslava R.*

ESLAVA, J.A. (1985): Consideraciones sobre los aspectos meteorológicos y efectos relacionados con la dispersión de fragmentos y gases emitidos por el volcán Arenas del Nevado del Ruíz el 13 de noviembre de 1985. Geol. Colomb. 14, pp. 165-173, 4 Figs., Bogotá.

RESUMEN

En el presente trabajo, se analiza la relación que existió entre la dispersión de fragmentos y gases expulsados a la atmósfera durante la erupción del cráter Arenas del Nevado del Ruíz ocurrida el 13 de noviembre de 1985, con el movimiento general del aire y las circulaciones locales; así mismo se consideran los efectos que se observaron sobre la atmósfera y la superficie de la tierra.

Los diferentes aspectos considerados, y especialmente los relacionados con los movimientos del aire, permiten concluir la posibilidad de prever con alguna anticipación, para eventos similares, la zonas que podrían ser afectadas y los efectos que se pueden esperar.

ABSTRACT

The purpose of this work is to analyse the relation ship between the dispersion of fragments and gases expelled by the Arenas Crater (Nevado del Ruíz Volcano) during the eruption of the 13th of November 1985 and the general air movement and local air circulations. At the same time, the effects observed on the atmosphere and the earth surface have also been considered.

The diferent aspects taken into account, and especially those related to air movement, show that it is posible, for similar future events, to predict the dispersion of the ejected material and its effects on localities in the danger zone.

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit, werden die Beziehungen zwischen den Windrichtungen der allgemeinen und "örtlichen Zirkulation und der Verbreitung von Feststoffen un Gasen, die durch den Ausbruch des Kraters Arenas des Vulkan Nevado del Ruíz am 13 November 1985 verursacht wurden, dargestellt. Damit werden die Ereignisse die in der Atmosphäre und auf der Erdoberfläche abliefen in Zusammenhang gebracht.

* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Die festgestellten Wechselwirkungen, insbesondere ihre Abhängigkeit von den Windrichtungen, erlauben die Vorhersage für mögliche zukünftige Ereignisse. Dadurch können die Regionen der Gefährdung und wahrscheinliche Auswirkungen frühzeitig erkannt werden.

1. INTRODUCCION

La contaminación de la atmósfera, y de los otros elementos que conforman la Tierra, ocasionada por los gases y materiales fragmentarios expulsados durante una erupción volcánica, puede ser considerada como la más fuerte y dramática de las contaminaciones naturales; su importancia se manifiesta, especialmente en los cambios transitorios del tiempo y, cuando esas erupciones son de carácter masivo, del clima.

Entonces, el estudio de la distribución de los productos volcánicos contaminantes, arrojados a la atmósfera en una actividad eruptiva, y los efectos que ellos pueden producir, se convierte en tarea importante como un medio de contribuir a futuros análisis integrados y para que, en caso de probables eventos similares, puedan preverse las diferentes situaciones y se tomen las medidas adecuadas.

En este trabajo, resultado de las investigaciones que en el área de Meteorología desarrolla el Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional, se analiza la erupción del cráter Arenas del Nevado del Ruiz, ocurrida el 13 de noviembre de 1985, tratando de establecer una relación lógica entre la dispersión del material fragmentario y gases expulsados a la atmósfera con el movimiento general del aire y las circulaciones locales; también se analizan los fenómenos meteorológicos relacionados y los efectos colaterales conocidos.

2. GENERALIDADES

El Nevado del Ruiz esta localizado en los $4^{\circ}53'$ de latitud N y $75^{\circ}19'$ de longitud W a una altitud aproximada de 5.400 m. Se ubica dentro del llamado Parque de los Nevados, en la mitad del ramal central de la cordillera de los Andes, en el centro de Colombia. El 13 de noviembre de 1985 la actividad del cráter Arenas se inició entre las 15 y 16 horas con una erupción de gases, ceniza, lapilli y pequeñas bombas volcánicas, que llegaron a más de 5.000 m. de altura sobre el nivel del cráter, dentro de una atmósfera saturada de humedad. la nube o penacho de gases, ceniza y pequeñas piedrecillas expulsada por la erupción, se enrumbó hacia el E guiada por los vientos superiores provenientes del W, que predominaban en ese

momento y a esas altitudes; la corriente no fue perturbada en su trayectoria por los movimientos superficiales locales del aire, que en ese momento se dirigían de los valles aledaños hacia el Nevado, puesto que a esa hora disminuían su fuerza y comenzaban el proceso de invertir su dirección.

El lapilli y la ceniza gruesa de esta primera explosión, se depositaron en el sector oriental del cráter y cubrieron una vasta zona del norte del Tolima (Mariquita, Armero, etc.), lo hicieron casi inmediatamente atraídos por la fuerza de la gravedad, débilmente obstaculizada por la acción de las bajas velocidades del movimiento local ascendente del aire; estas precipitaciones de lapilli y cenizas fueron acompañadas de lluvias, normales en esta época, que en esta ocasión fueron intensificadas por la actividad volcánica.

La emisión de ceniza y gases continuó durante toda la tarde y comienzo de la noche y se intensificó a partir de las 20:30, cuando una explosión arrojó, además de ceniza, material fragmentario de cerca de 3 cm. de diámetro en distancias de 20 Km. en el sector oriental del cráter (Ej: Murillo a 17 Km. del Nevado del Ruiz). Alrededor de las 21:30, después de varios temblores vigorosos y erupciones, se produjo la segunda gran explosión que arrojó bombas volcánicas y lapilli en las cercanías del cráter (inclusive en el flanco occidental del volcán, por ejemplo en El Refugio a 2 Km al NW); se encontró piedra pomez de 15 cm de diámetro cerca del cráter y lapilli de 1 cm. a 18 Km. de distancia. Sobre la cresta del Nevado del Ruiz se alzó un penacho de 9.000 a 10.000 m. de altura, que avanzó hacia el ENE empujado por su propia energía y por el impulso que le dió el aire que, a esas altitudes y en esta época del año, proviene predominantemente del sector oeste.

3. DISPERSION DEL MATERIAL FRAGMENTARIO

Las bombas volcánicas (material fragmentario con diámetro mayor de 10 cm.), siguieron trayectorias balísticas dirigiéndose hacia el sector oriental, aledaño al cráter, aún cuando algo del material de esta clase alcanzó el sector occidental. Estas bombas volcánicas, junto con los fragmentos del tamaño lapilli y las cenizas gruesas que

descendieron atraídas por la fuerza de la gravedad y ayudadas por los vientos locales (en este momento fuertes y con dirección del Nevado hacia los valles aledaños), desencadenaron una precipitación de piedra y ceniza sobre las poblaciones y zonas del sector oriental próximas al Nevado del Ruiz y ubicadas en el norte del Tolima (Ej: Casabianca, Villahermosa, Fresno, Herveo, Líbano, Mariquita, Armero, Murillo, Santa Teresa), que quedaron cubiertas por las cenizas casi inmediatamente después de la erupción; simultáneamente, una intensa tempestad con fuertes lluvias, intensificadas por los efectos volcánicos, ocasionó un brusco descenso de la temperatura, que en Armero se estimó entre 10° y 15°C.

En la fig. 1. se ha delineado la posible forma cónica del penacho de cenizas que se originó principalmente como consecuencia de la inyección en la atmósfera de los productos o materiales fragmentarios expulsados por la erupción de las 21:30, y que en realidad es la sumatoria de los penachos que se produjeron como consecuencia de las diferentes erupciones y/o emanaciones ocurridas a partir de las 15 horas del 13 de noviembre de 1985. El eje del penacho o de dispersión y, por supuesto, de mayor concentración de materiales fragmentarios, se encuentra orientado del WSW al ENE: ésto refleja claramente la dirección predominante del viento en alturas superiores a los 5.000 m (en el momento de las erupciones) y que es opuesta a la que se presentaba en los niveles inferiores, en los cuales el viento provenía predominantemente del E. Como es lógico, la concentración y tamaño de los materiales fragmentarios decrece desde el cráter hacia el ENE, así como simétricamente a uno y otro lado del eje del penacho.

En la misma Fig. 1., la línea de trazo discontinuo, que bordea los lados del penacho, representa las posibles áreas sobre las cuales se dispersaron pequeñas cantidades de cenizas muy finas que, por lo mismo, en la mayor parte de los casos, no fueron reportadas o lo fueron como de muy poca o casi nula densidad (Cúcuta), siendo, en algunos casos, decantadas o lavadas por las lluvias (Bogotá). No necesariamente se presentó precipitación de cenizas en todas las áreas cubiertas por el penacho, puesto que las circulaciones locales pudieron haber impedido el descenso de las mismas o, en otros casos, pudieron haber contribuido a que ella fuera mayor como sucedió al norte de Cundinamarca, Boyacá y sur de Santander. Se considera que aproximadamente

en 60.000 kilómetros cuadrados hubo presencia de ceniza en la superficie del suelo.

En la Fig. 2. sobre un corte transversal esquemático (W-E), desde la Costa Pacífica hasta los Llanos Orientales, se muestra el movimiento del aire que influyó en la dispersión de los materiales fragmentarios, caracterizado por la dirección predominante y la velocidad media del viento durante el período 12 a 14 de noviembre (los datos de dirección y fuerza del viento, necesarios para realizar el análisis, fueron obtenidos por el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras -HIMAT).

En la Fig. 3. sobre el mismo corte transversal de la Fig. 2., se esquematizan las circulaciones locales Valle-Montaña (diurnas) y Montaña-Valle (nocturnas) que influyeron en la depositación de las cenizas, sea porque impidieron u obstaculizaron esa depositación (zona con movimiento ascendente), sea porque la favorecieron (movimiento descendente), teniendo en cuenta para ello el momento en el cual el penacho llegaba a cada sitio.

Esas características de la atmósfera según las condiciones locales de ubicación u orografía, y que ocasionan o modifican las circulaciones o movimiento locales del aire, han sido analizadas por muy variados autores, en Colombia por ejemplo Trojer (1954), Ramírez & Herrera (1968) y los del autor publicados por el HIMAT en el calendario meteorológico correspondiente al año 1978.

Las cenizas más finas llevadas hasta las capas más altas de la atmósfera, fueron transportadas por los vientos mucho más allá de la frontera con Venezuela (Santa Ana, Rubio, Merida) e inclusive fueron reportados vestigios de ellas en Trinidad. En su trayectoria de esa noche, las cenizas se vieron afectadas (atraídas o rechazadas) por los sistemas locales de viento (Fig. 3.), que obstaculizaban su descenso especialmente en los sectores centrales de los valles grandes y las atraían hacia los sectores aledaños a las cordilleras. Es así, como las mayores descargas o depósitos de ceniza con granos de tamaño medio y fino se presentaron esa misma noche en el altiplano de Boyacá y Cundinamarca y la Sierra Nevada del Cocuy (Fig. 2.).

El movimiento predominante del aire en esta época del año (Fig. 4), impidió que la ceniza se desplazara hacia el flanco occidental de la cordillera central, y aún en sitios tan cercanos

como Manizales, la ceniza no se hizo presente. La Fig. 4. se elaboró, utilizando principalmente los análisis efectuados por Riehl (1954), Trojer (1954), Mera (1981) y los datos obtenidos por el HIMAT en sus estaciones meteorológicas ubicadas en el Aeropuerto El Dorado (Bogotá) y Gaviotas (Vichada); en ella se esquematiza la distribución temporal y altitudinal de las direcciones predominantes y velocidades medias del viento para la zona central colombiana localizada alrededor de los 4° y 5° de latitud N. Los valores predominantes y los promedios que se indican en la figura por provenir de un número relativamente escaso de datos constituyen sólo aproximaciones tentativas; además, representan resultados generales que no involucran situaciones momentáneas, que podrían llegar a ser radicalmente opuestas, relacionadas con la existencia de sistemas móviles de bajas presiones que ocasionalmente se presentan en las capas superiores.

Un análisis general de la Fig. 4. también muestra que, en casi todas las capas (excepto la más alta) y en casi todos los meses, el movimiento predominante del aire proviene de direcciones que tienen componente E (E, SE, ESE, NE, ENE) aún cuando algunos valores individuales presentan direcciones con componente opuesta. Obviamente todos los fenómenos que ocurran en la atmósfera se verán influenciados por esos vientos predominantes, según la época en que ocurran y la altitud que alcancen.

Por lo tanto, la Fig. 4. podría utilizarse, junto con las otras, para prever con alguna anticipación, para eventos similares, la dispersión más probable de las cenizas, las zonas que podrían ser afectadas y los efectos que se pueden esperar. Por ejemplo, si una erupción ocurriera a mediados de marzo y la ceniza alcanzara un altitud de máximo 8.000 m, esta se dispersaría preferentemente hacia el WNW (sector occidental de la cordillera Central) empujada por los vientos predominantes que, en ese mes y a esas altitudes, vienen del ESE; si la columna supera los 8 Km de altitud, además de la dispersión hacia el WNW, la ceniza también se difundirá hacia el E influenciada por los vientos que, a más de 8.000 m, provienen del W.

En términos generales, supuestas condiciones activas de los movimientos predominantes del aire, la ceniza emitida a la atmósfera en estos eventos, que ocurran entre marzo y octubre, se dispersará con mayor probabilidad hacia sectores ubicados en el flanco occidental; solo entre noviembre y marzo lo hará hacia el flanco oriental, y si la columna supera los 10 Km de altitud en

abril, julio, agosto o septiembre, la ceniza se difundirá hacia ambos sectores.

4. DISPERSION DE GASES

Los datos tomados por el satélite Nimbus 7, que pasó por Colombia el 14 de noviembre a las 11:51, analizados por Arlin Krueger de la NASA (en Smithsonian Institution, 1985), muestran valores muy altos de SO₂ distribuidos en una nube irregular en forma de arco que se extendió entre 200 Km al S y 900 Km al NE del cráter, de 0° a 11°N y de 65° a 77°W, con altas concentraciones en sitios ubicados a 550 Km al ENE y 140 Km al SW. Krueger estimó que la nube contenía cerca de 0.5 x 10⁶ toneladas de SO₂, lo cual equivale al doble del producido en la erupción del volcán Santa Helena, pero solo representa la décima parte de lo producido en El Chichón en Méjico.

Parte de los productos gaseosos, junto con una finísima ceniza que logró dirigirse hacia el flanco occidental del Nevado, ocasionó una densa, pero momentánea, niebla que cubrió el centro de la ciudad de Cali antes del mediodía del 14 de noviembre.

5. EFECTOS EN LA SUPERFICIE Y EN LA ATMOSFERA

5.1. Efectos en la Superficie.

Las cenizas cubrieron grandes áreas cultivadas y potreros destinados a la ganadería de leche ubicados al norte de Cundinamarca y Boyacá, principalmente. Esas cenizas si bien no quemaron las plantas ni los pastos, al caer se depositaron sobre ellos cubriéndolos en forma de capa, que impidió la absorción de la energía solar, el desarrollo del proceso de fotosíntesis y la transpiración; este hecho pudo haber ocasionado su muerte, pero las lluvias que se presentaron posteriormente hicieron que la ceniza se incorporara al suelo y se convirtiera en un abono fertilizante, para las áreas de cultivo. Sin embargo, las frutas de algunas zonas comenzaron a descomponerse rápidamente a partir de pequeñas manchas de color gris, así mismo los piroclásticos caídos en los alrededores del cráter causaron daños en los bosques y cultivos de la región (Ej.: Herveo y Casabianca). También los depósitos naturales y artificiales de agua recibieron sedimentos azufrados que los afectaron; se observaron fenómenos de turbidez y otros relacionados que obligaron a que algunos

conductos locales se abastecieran con las reservas de los tanques cubiertos.

En la región del Cocuy (Boyacá), distante 150 km al NE de Tunja, las cenizas tornaron grises las nieves de la Sierra Nevada del Cocuy. Este cambio repentino en el color de la cubierta de sus cumbres, modificó sustancialmente la capacidad de absorber energía solar de esa cobertura y la aptitud para efectuar el proceso de licuefacción o deshielo. Lo anterior se aprecia claramente si se tiene en cuenta que la nieve fresca tiene una capacidad de absorción de radiación solar entre el 5% y el 25%, mientras que la de los suelos grisáceos oscila entre 65% y 75%, lo cual conlleva un aumento neto de más del 200% en la cantidad de energía disponible para efectuar el deshielo de esa área, hecho que paulatinamente se presentó.

5.2. Efectos en la Atmósfera.

5.2.1. Efectos sobre la Lluvia:

El principal efecto fue la producción de torrenciales aguaceros en todo el norte del Tolima y sectores aledaños y la intensificación de las lluvias en los sitios en que ese fenómeno ya estaba presente. Las informaciones registradas en la estación meteorológica del HIMAT ubicada en el Aeropuerto de Mariquita, muestran que las lluvias en este sitio comenzaron aproximadamente 3 horas después del inicio de la actividad volcánica, con una intensidad relativamente fuerte que produjo 5 milímetros de precipitación en un período de 35 minutos (18:25-19:00); en las dos siguientes horas sólo se registraron 4 mm, posteriormente con la erupción explosiva de las 20:30 las lluvias se intensificaron notablemente y registraron una intensidad máxima de 18.9 mm/hora, en el período de las 21:28 a las 22:40; las lluvias continuaron con regular intensidad hasta el mediodía del 14 de noviembre. En total, en el período comprendido entre las 18:25 del 13 de noviembre y las 07:00 del 14, las lluvias alcanzaron un valor de 34.7 mm.

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica y altitud de Mariquita con respecto a todo el conjunto del flanco oriental de la cordillera central, las zonas de ladera y las altitudes donde preferentemente se recostó la nubosidad, en el área afectada, es de suponer que en casi todo el norte del Tolima las precipitaciones alcanzaron valores que superaron ampliamente a los de Mariquita, en un 50% - 100%.

En conclusión, el efecto neto de las cenizas fue actuar como núcleos higroscópicos que obligaron a condensar y precipitar casi todo el vapor de agua, presente en ese momento, en forma intensa y durante un período relativamente corto.

5.2.2. Efectos sobre la temperatura del aire.

Los efectos se manifestaron de dos formas:

a) Las cenizas expulsadas por el cráter formaron una cubierta en la atmósfera en toda la zona norte del Tolima, desde los comienzos de la actividad (15 a 16 horas), ello obstaculizó el paso de la energía solar en el resto de esa tarde. Este hecho unido a las constantes y fuertes lluvias ocasionó, según los testimonios, descensos entre 10° y 15°C en la temperatura del aire superficial.

Este efecto perduró durante los días siguientes y aún se presentaba el 17 de noviembre, día en el cual prácticamente oscureció a las cinco de la tarde por la presencia de densas nubes que cubrían la vertiente oriental de la cordillera central, desde el Libano hasta las proximidades de la cumbre del Nevado del Ruíz.

b) La energía liberada durante las erupciones, ascendió en la atmósfera hasta alturas superiores a la Tropopausa, ubicada cerca a los 17.000 m de altitud, y afectó la parte inferior de la Estratósfera.

El efecto neto fue aumentar la temperatura en los niveles de presión menores a 100 mb (altitudes superiores a los 16.500 m) en valores del orden de 4°C a 5°C sobre áreas como Bogotá, y de 5°C a 10°C en las áreas por encima del Nevado del Ruíz y alrededores del eje de dispersión de las cenizas; este efecto perduró inclusive hasta el día 16 de noviembre. En niveles altitudinales inferiores a los 16.500 m, este efecto no se hizo notorio.

5.3. Otros Efectos:

Las cenizas volcánicas que cayeron en el Departamento de Boyacá, provocaron varios corto-circuitos en el sistema de aisladores de la red de energía eléctrica, ya que las partículas se convirtieron en conductores de energía, lo que obligó a apagar las plantas mientras los sistemas eran lavados. Fueron necesarias frecuentes interrupciones del fluido eléctrico, que aún se presentaban el 21 de noviembre, las que ocasionaron trastornos en las actividades comerciales e industriales.

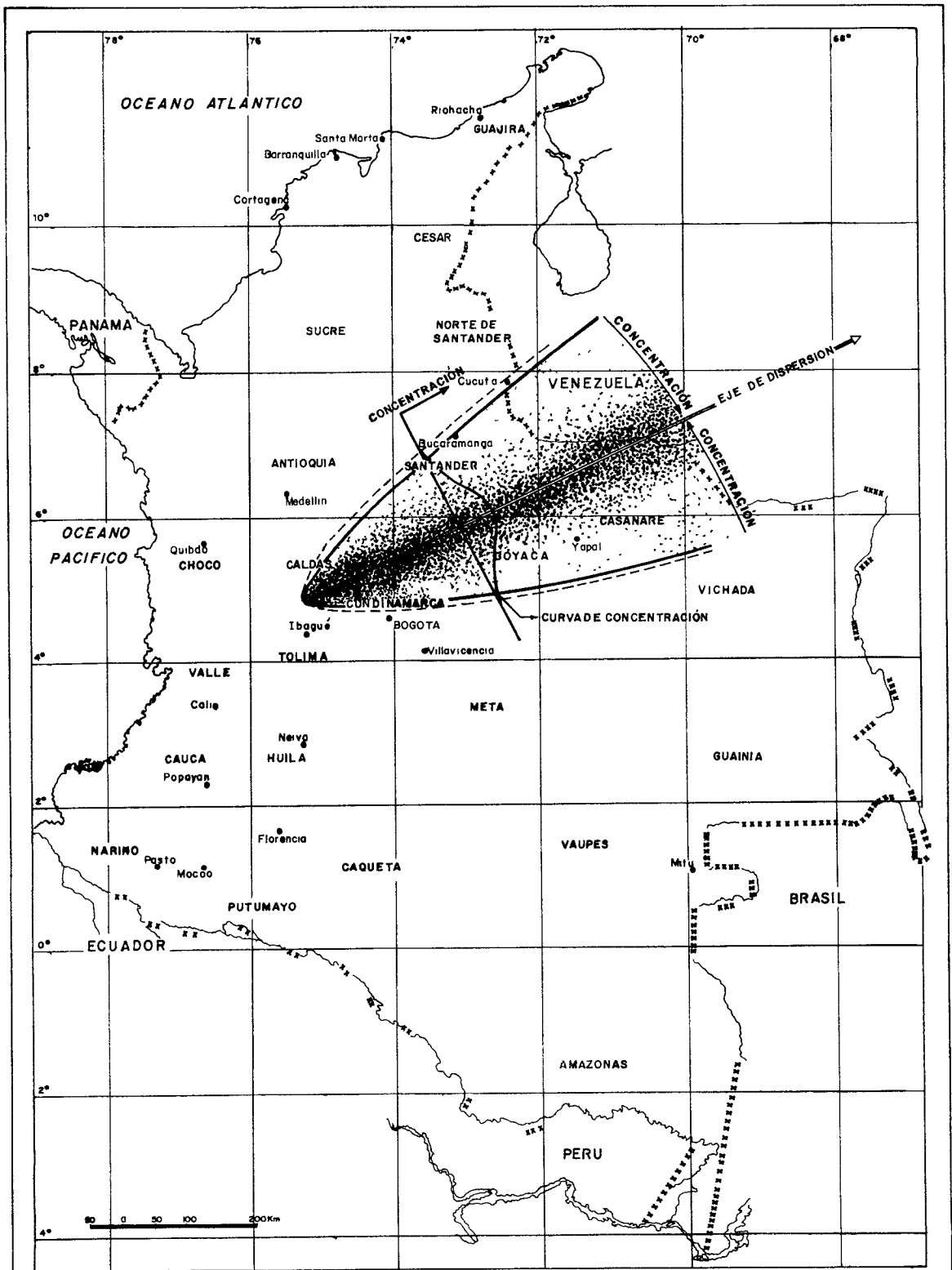


FIG. 1 Penacho que muestra la distribución de la ceniza originada en las erupciones del Cráter Arenas el 13 de noviembre de 1985.

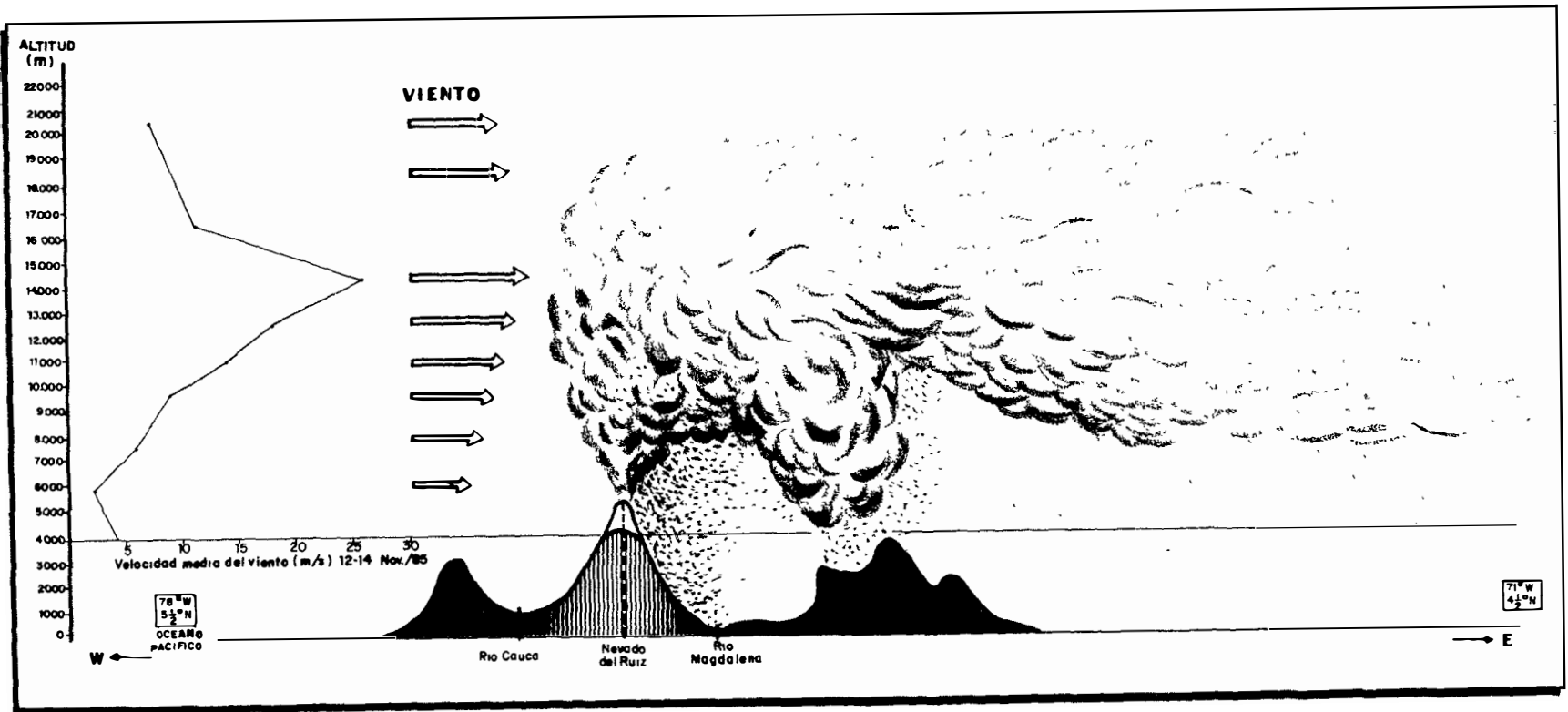


FIG. Nº 2. Corte transversal esquemático (W-E) desde la costa Pacífica hasta los Llanos. Muestra el movimiento del aire que influyó en la dispersión de las cenizas (13-11-85).

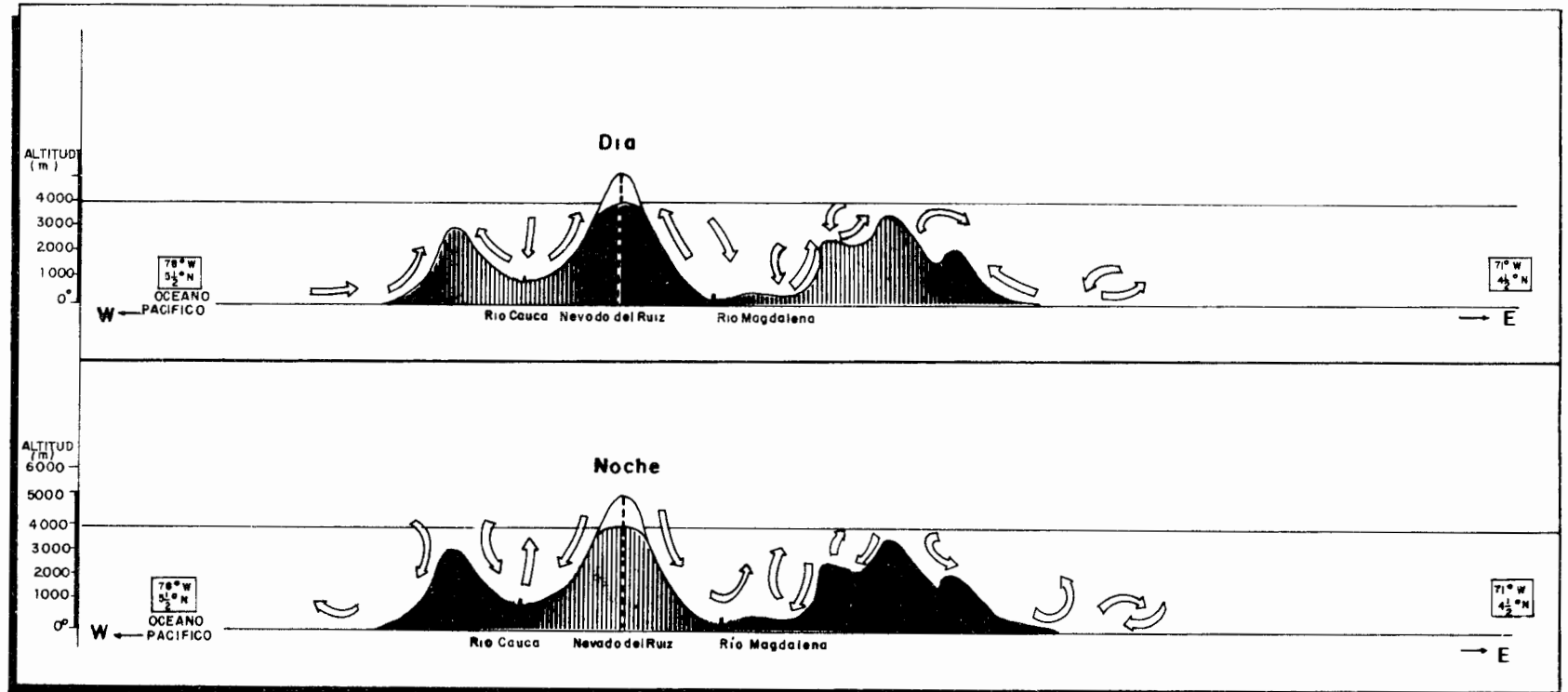


FIG Nº 3 Corte transversal esquemático (W-E) desde la Costa Pacifica hasta los Llanos Muestra las circulaciones locales Valle-Montaña, Montaña-Valle que influyeron en la deposición de las cenizas.

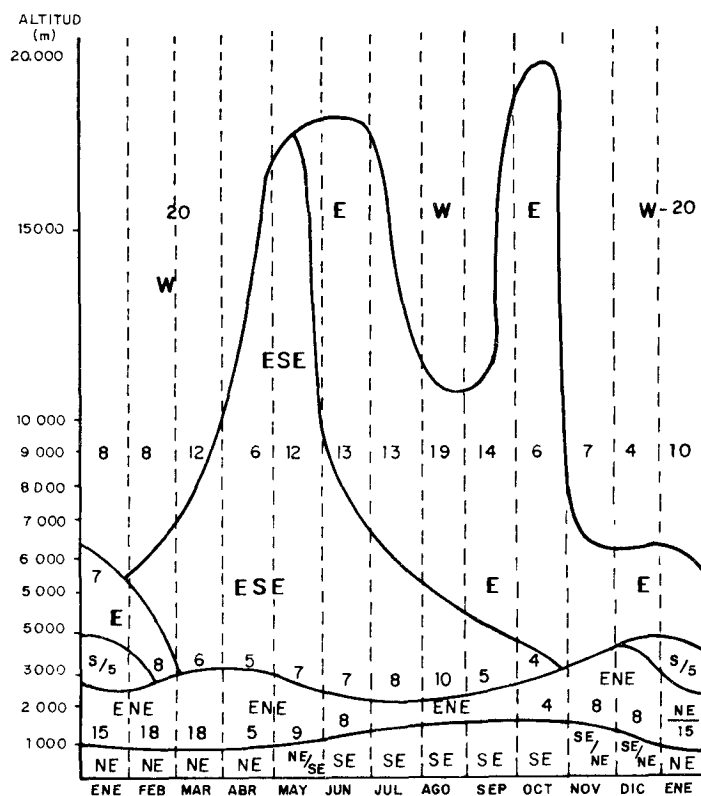


FIG Nº 4 Distribución predominante de los vientos
 (Sector central de COLOMBIA, latitudes 4 A 5° N)
 - Los números indican la velocidad media del viento en m/s
 - Las letras indican la dirección predominante de donde viene el viento

BIBLIOGRAFIA

FRERE, M., RIJKS, J.Q. & REA, J. (1978): Estudio agroclimatológico de la zona andina —297 pp. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.

INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS (HIMAT) (1978): Calendario Meteorológico. —PE-AM-005. 248 pp., HIMAT, Bogotá.

MERA, C. (1981). Pronóstico de precipitaciones, tormentas eléctricas y viento en la Sabana de Bogotá. —Publicación Aperiódica 43 44 pp., HIMAT, Bogotá

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA) Y ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL (OMM) (1978). Vigilancia del medio ambiente en relación con el clima. — 63 pp. (Mscr), OMM, Ginebra.

RAMIREZ, J.M. & HERRERA, A. (1968): Comportamiento de la Tropósfera y Estratósfera de la Sabana de Bogotá y su relación con la climatología de la Sabana.—Tesis de Grado. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, 131 pp. (Mscr), Bogotá.

RIEHL, H. (1954): Tropical Meteorology. —392 pp. Mc. Graw-hill Book Company, New York.

SMITHSONIAN INSTITUTION (1985): Ruiz Volcano, Colombia. Sean Bulletin Vol. 10-10, pp. 2-4 y 25-35 (Mscr). Washington.

TROJER, H. (1954): El tiempo reinante en Colombia (sus características y su desarrollo).-Boletín Técnico CENICAFE. Vol. II, 13. pp. 31-43, Chinchiná (Caldas).

Manuscrito recibido en febrero de 1986

Jesús A. Eslava R.
 Departamento de Geociencias
 Universidad Nacional de Colombia
 Apartado 14490
 Bogotá-Colombia

**EN LA EMPRESA EDITORIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SE TERMINO LA IMPRESION DE ESTA OBRA
EN JUNIO DE 1986**