

Fotointerpretación y Observaciones de Campo del Flujo de Escombros de Noviembre 13 de 1985 en Armero (Tolima, Colombia)

GUILLERMO UJUETA & JAIRO MOJICA

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 14490, Santa Fe de Bogotá

GUILLERMO UJUETA & JAIRO MOJICA (1995): Fotointerpretación y observaciones del flujo de escombros de Noviembre 13 de 1985 en Armero (Tolima, Colombia).- GEOLOGIA COLOMBIANA, 19, pgs.5-25, 7 Figs., 8 Fotos, Santa Fe de Bogotá.

Palabras claves: Colombia, Tolima, Flujo de escombros, Armero-Tolima.

RESUMEN

La llanura de Armero colinda con un abrupto frente montañoso, casi rectilíneo (=pie oriental de la Cordillera Central), que ha permitido que, durante períodos recurrentes de deshielo en la región del Parque Nacional de los Nevados, en especial del Volcán Nevado del Ruiz, por erosión y transporte repentinos de grandes volúmenes de materiales (flujos de escombros) acarreados por el sistema fluvial Lagunilla-Azufrado, se hayan acumulado y superpuesto sucesivos abanicos como los registrados, en tiempos históricos en marzo de 1595, febrero de 1845 y noviembre de 1985.

El último abanico, formado el 13 de noviembre de 1985 se ha delimitado, de manera precisa, mediante la interpretación de fotografías aéreas tomadas días después de ocurrido el evento, que atrajo la atención del mundo debido a la destrucción del casco urbano de Armero y al elevado número de muertos (aproximadamente 25000), heridos (cerca de 5000) y de damnificados directos e indirectos con pérdidas económicas cuantiosas.

La fotointerpretación, en corcordancia con los relatos de los sobrevivientes, indica que el evento ocurrió en tres fases (oleadas) principales, con características hidrodinámicas diferentes, lo cual concuerda con los resultados de observaciones sistemáticas prolongadas, llevadas a cabo en otras partes del mundo. Así, en primer término se dio una corta inundación, que afectó ante todo los sectores más bajos, aledaños al curso del Río Lagunilla; luego vino un flujo extremadamente denso (hipersaturado de sólidos), de velocidad relativamente baja y variable que dio lugar en el sector proximal, a una cubierta continua con espesor variable (controlado por la topografía), de hasta más de 3 m de altura y radio de aproximadamente 2.5 km. El avance y empuje de esta masa, que incluía los bloques de mayor tamaño, causó el barro de las construcciones, pero su efecto fue diferencial ya que el daño fue menor en zonas levemente más altas, en las cuales el flujo de escombros invadió las edificaciones sin derribarlas,

inyectándose por puertas, ventanas y techos; la alta densidad de esta fase permitió que el flujo se detuviera en algunas calles con marcada pendiente y que otras quedaran intactas.

A este primer depósito siguieron pulsos menos densos y más veloces, con alta capacidad erosiva, que disecaron amplias franjas del primer abanico imprimiéndole así un aspecto aterrazado y generando nuevos canales de distribución, entre los que se destacan el del cauce del Río Viejo (= Acequia Grande) y el de la Acequia de Maracaibo; esta última con dirección al N, hacia el Río Sabandija. Entre tanto el cauce habitual del Río Lagunilla debió encontrarse colmado y obstruido, siendo recuperado sólo hacia el final del evento y dando lugar al transporte y distribución de sedimentos en una estrecha franja, por un tramo de unos 10 km.

Como resultado de los procesos descritos, en el lapso de 1 a 11/4 horas, resultaron afectadas 3450 hectáreas del valle, se desorganizaron totalmente los sistemas de riego, se interrumpieron las vías de comunicación, desapareció prácticamente la ciudad de Armero y se semisepultó con sedimentos el caserío de Santuario, 18 km al oriente de Armero. Así, y de acuerdo con lo conocido de las narraciones históricas de los flujos de 1845 y 1595, se concluye que la llanura de Armero constituye un área no apta para los asentamientos humanos y que las construcciones que se adelanten en él estarán sujetas al riesgo de nuevos flujos de escombros (o "avalanchas"); empero, y en virtud de que el período de recurrencia puede abarcar centenares de años, luego de cada flujo y una vez recuperados los suelos, el terreno afectado se torna apto para la agroindustria.

ABSTRACT

The photointerpretation, using aerial photographs recorded from the Armero's Debris Flow, few days after it took place, in agreement with survivors reports, indicate that the event occurred in three principal pulses,

each one with different hydrodynamic characteristics, as has been observed in other places of the world. In the first place there was a preceding muddy flow that only affected the shallower places such as the closer ones to the Lagunilla River; the first pulse was an extremely dense flow supersaturated with solids with a variable and relatively low velocity that resulted in a continuous debris sheet that covered the flat lands with a thickness of up to 3 meters height and a radius of 2.5 km. The push and advance of this flow which included the biggest blocks was the responsible of the destruction of Armero. The effect of this flow was differential, as in higher zones the debris flow did not demolish houses and was injected through doors and windows. The high density of this flow was one of the main reasons that it did not affect some streets with high slopes.

The second pulse consisted of high velocity turbulent running water, loaded with pebbles and gravels, which generated a high erosion capacity that stripped off the former fan, providing a terrace aspect and producing new distributary water channels. The third pulse was a low level water flow with a high concentration of gravel, sand and mud, which took place for several hours.

It was concluded, from the photointerpretation, that the Armero's Debris Flow according to its hydrodynamic characteristics, reached the flatter topography and overflowed the Lagunilla's riverbed at different places.

INTRODUCCION

El flujo de escombros que destruyó la ciudad de Armero el 13 de noviembre de 1985 tuvo como causa primaria las emisiones piroclásticas del Volcán del Ruiz, ocurridas a través del Cráter Arenas y nuevos focos fumarólicos concéntricos con él (Fig. 1). Esta actividad piroclástica causó, a su vez, el deshielo del 6 al 9% del volumen del glaciar. Este deshielo se convirtió en la primera y principal fuente de agua para alimentar el flujo. La segunda fuente de agua para alimentar el flujo, la constituyó la intensificación apreciable de las lluvias generadas por la emisión de cenizas (ESLAVA 1985: 165). Tal pluviosidad elevó, en consecuencia, el nivel freático de las aguas de la región, y los flujos de escombros son impulsados, precisamente, por la existencia de una alta mesa de agua en el fondo de los valles (OKUDA *et al.* 1980: 143). La tercera fuente de agua provino de la erupción misma (aguas juveniles). El repentino aporte de grandes cantidades de agua, en pendientes tan fuertes como las del flanco oriental del Volcán Nevado del Ruiz y su posterior canalización y conducción por los Ríos Azufrado y Lagunilla y sus tributarios (Fig. 1), permitió la incorporación de un apreciable volumen de material sólido, derivado de las emisiones del 13 de noviembre de 1985, de emisiones antiguas, de rocas meteorizadas en las laderas del volcán, de depósitos presentes en el fondo de los canales y de fragmentos desprendidos de las paredes de los mismos, en el momento del flujo.

La Fig. 2 muestra el cuadro detallado del área comprendida entre Guayabal-Lérida y Armero-Santuario, tal como se

presentaba inmediatamente después del flujo de escombros de noviembre 13 de 1985. Para la fotointerpretación se utilizaron las fotografías aéreas a escala 1:20.000 correspondientes al vuelo C-2229, del 24 de noviembre de 1985, tomadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

De la fotointerpretación (Fig. 2) se nota cómo el flujo de escombros al salir del cañón del Río Lagunilla aparece dividido en tres brazos cuando invade áreas de pendiente suave. Tales áreas no son otra cosa que superficies de flujos de escombros antiguos (V. Figs. 2 y 3), que se han denominado en la Fig. 2 como abanicos de Armero. De estos abanicos se conoce en un corte reciente (enero de 1986), hecho en la Granja Experimental de la Universidad del Tolima, cuatro superficies. De la observación del corte se nota que los espesores de algunos de tales abanicos son mayores que el espesor del abanico del 13 de noviembre de 1985.

El brazo septentrional sigue la Quebrada Santo Domingo hasta alcanzar el Río Sabandija cerca de la población de Guayabal; el brazo central, que es el de mayor tamaño y el que causó la casi total destrucción de la población de Armero, llegó hasta la Inspección de Santuario, 18 km al este; el brazo meridional sigue por 10 km aguas abajo, prácticamente el mismo cauce anterior del Río Lagunilla, con algunos desbordamientos sin mayor importancia (Fig. 2).

Como consecuencia de la avenida del flujo de escombros se sucede una sedimentación rápida, seguida casi inmediatamente de erosión fuerte en algunas partes, y en general por el corte de nuevos canales en los sedimentos recién depositados, como veremos más adelante.

El área total cubierta por los tres brazos del flujo, que es de 3450 Ha., fue delimitada y medida a partir de las fotografías aéreas arriba mencionadas.

Tal como es de esperarse, es la configuración del terreno la que ofrece protección natural contra el avance del flujo de escombros. La bifurcación del flujo de escombros, luego de la salida del cañón del Río Lagunilla a la parte plana en los denominados aquí, brazos norte y central, es la misma configuración que se presentó en los flujos ocurridos en 1595 y 1845 (MOJICA *et al.* 1985: Figs. 20, 22 y 23). La bifurcación tiene como causa principal la existencia de un espolón topográfico orientado en dirección aproximada E-O y que puede trazarse entre la parte de Armero que quedó en pie (Barrio Vallecito, Cementerio, Hospital) y el sitio del Molino San Lorenzo (Fig. 4). Las rocas que constituyen el mencionado espolón pertenecen al Grupo Honda (Foto No. 1).

EL FLUJO DE ESCOMBROS

a. Generalidades

La geología del área en consideración puede dividirse en las siguientes zonas: una occidental, de piedemonte con pendientes fuertes y límite recto, controlada por fallas y conformada por rocas ígneas y metamórficas (Fig. 2); hacia

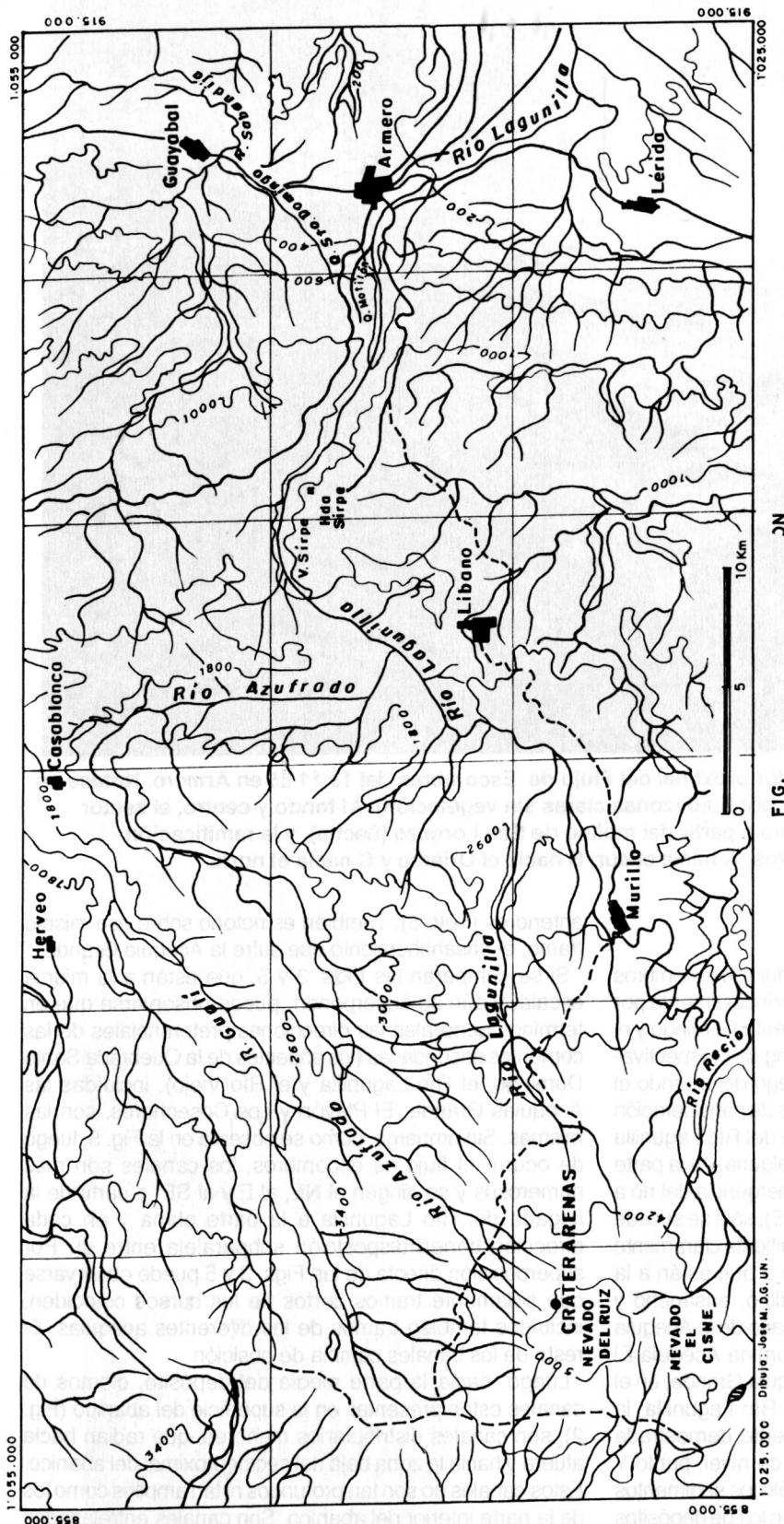


FIG. 1. Mapa de localización

el oriente una segunda zona de afloramientos discontinuos de 4 a 5 km de ancho, de rocas del Grupo Honda, en contacto con la zona anterior y una tercera más al oriente y al norte del Río Viejo (comprendida entre la línea Guayabal-Armero y la Falla de Honda (Fig. 2), cubierta por sedimentos de la Formación Mesa.

La topografía de los sedimentos terciarios (Grupo Honda y Formación Mesa), que alcanza alturas hasta de 400 m en la Cuchilla de Peñas Blancas y Lomas de Campoalegre (Fig. 2), ha impedido el avance de los sedimentos de los diferentes abanicos aluviales. En realidad los flujos de escombros han alcanzado cotas levemente superiores a 390 m en el ápice y a 200 m en la parte distal. El resto del área, con excepción de las Lomas de Santo Tomás (Fig. 2), 10 km al SE de Armero, es la superficie resultante de la acumulación de los abanicos anteriores.

En términos generales, una vez sucedido el evento, podían reconocerse dos fases de actividad sobre el área de topografía suave: una antigua, anterior a noviembre de 1985, inactiva, y cubierta por vegetación o cultivos y otra nueva, posterior a noviembre de 1985, activa, más estrecha, clara y limpia de vegetación y cultivos. Las dos fases reflejan períodos de deshielo, erosión y transporte de materiales por el canal principal en el área de topografía abrupta y descarga de esos materiales sobre el área de topografía suave (Ver carátula de este número).

Es obvio que las fotografías aéreas tomadas inmediatamente después de ocurrida la avenida han permitido la delimitación rápida y precisa de las áreas afectadas por el flujo de escombros; así mismo, la interpretación de estas fotografías ayuda a evaluar los procesos fluviales, como lo haremos en este artículo.

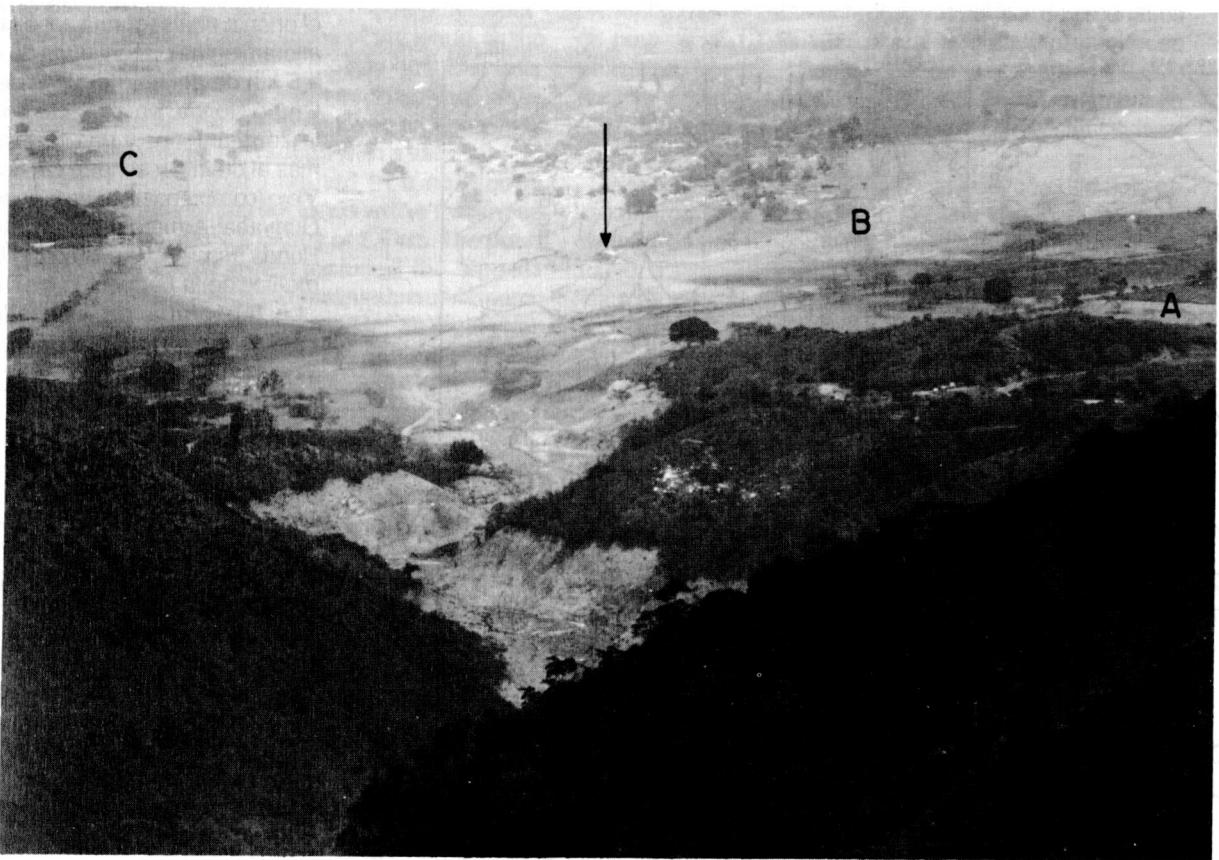


Foto No.1. Vista Panorámica del sector proximal del Flujo de Escombros del 13.11.85 en Armero. Nótese en primer plano la altura alcanzada por flujo (zonas claras sin vegetación). Al fondo y centro, el sector conservado del casco urbano a partir del molino de San Lorenzo (flecha), y la ramificación del flujo en tres brazos, A hacia el sur, B hacia el Oriente y C hacia el norte.

b. Drenaje

El área de relieve bajo antes de ocurrir el flujo de escombros de noviembre de 1985, estaba drenada principalmente por los Ríos Lagunilla y Viejo, la Quebrada Santo Domingo y el Río Sabandija, corrientes que estaban dirigidas respectivamente hacia el SE, E y NNE (Fig. 1); luego de ocurrido el flujo de escombros no se registran cambios de consideración sobre las corrientes principales. El curso del Río Lagunilla en toda la trayectoria no sufre alteración alguna; en la parte superior del abanico, desde el sitio de emergencia del río a la parte plana y hasta el punto X (Figs. 3 y 5), sólo se sucede la profundización del canal, la cual se manifiesta claramente al comparar su anchura en las Figs. 3 y 5 que están a la misma escala. No obstante, el flujo utilizó, ensanchó y profundizó drenajes anteriores, como el caso de la Acequia Grande que en la parte oriental se denomina Acequia El Playón (Fig. 3). En la iniciación de la Acequia Grande, en el punto de derivación de aguas desde el Río Lagunilla, la profundización del canal queda claramente demostrada por el fino espaciamiento de las curvas de nivel, punto Y (Fig. 6). Aquí la incisión (10 m) corta no sólo los sedimentos depositados por el último flujo, sino también los de depósitos

anteriores (Foto 8). También es notorio sobre ese mismo tramo, el ensanchamiento que sufre la Acequia Grande.

Si se comparan las Figs. 3 y 5, que están a la misma escala, y aún se superponen, puede observarse que en términos generales las direcciones preferenciales de las corrientes secundarias (los afluentes de la Quebrada Santo Domingo, el Río Lagunilla y el Río Viejo), incluidas las Acequias Grande, El Playón y Los Cosecheros, son las mismas. Sin embargo, como se observa en la Fig. 5, luego de ocurrir el flujo de escombros, los canales son más numerosos y se dirigen al NE, al E y al SE; a partir de la llegada del Río Lagunilla a la parte plana y en cada dirección tienen disposición subparalela entre sí. Por superposición directa de las Figs. 3 y 5 puede observarse que solamente tramos cortos de los cursos coinciden, incluidos también tramos de las diferentes acequias. El resto de los canales cambia de posición.

Luego, hacia la parte media del depósito, cientos de canales están presentes en la superficie del abanico (Fig. 2); son canales distributarios menores, que radian hacia afuera y hacia la zona baja del sector proximal del abanico. Estos canales no son tan profundos ni tan amplios como los de la parte interior del abanico. Son canales entrelazados

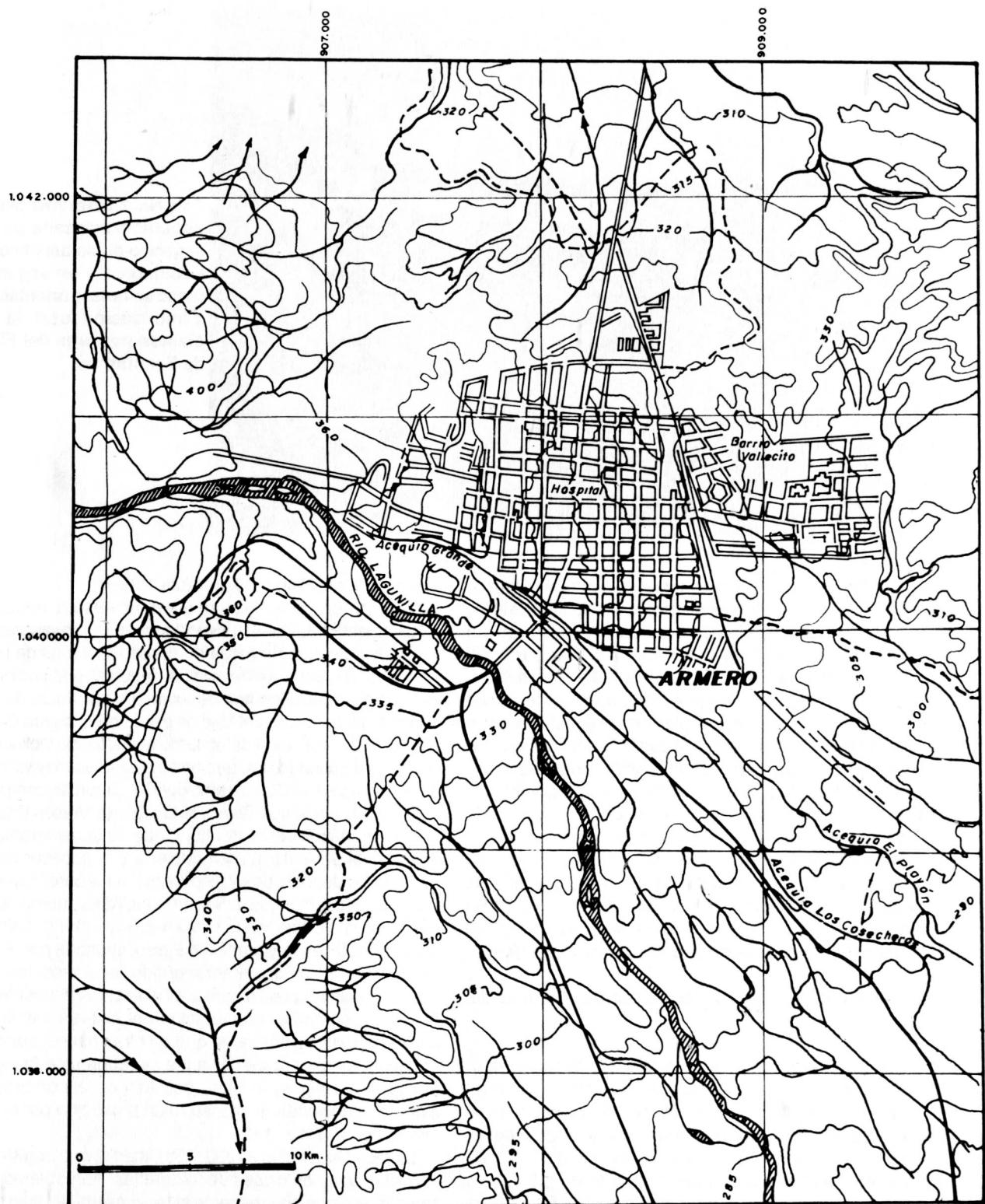


Fig. 3. Mapa Topográfico de la ciudad de Armero y alrededores antes del 13 de Noviembre de 1985. Escala 1:25.000 (Escala original 1:10.000) tomado del IGAC. Nótese en las curvas de nivel la forma de la superficie denominada "Abanicos de Armero".



Foto No. 2. En primer plano, superficie arrasada por el segundo pulso del Flujo de Escombros y en segundo plano se nota la orientación e imbricación local de los clastos mayores del Flujo de Escombros.

que pueden juntarse, abrirse y juntarse de nuevo abanico abajo. Estos canales son inestables y pronto se ajustarán a las nuevas condiciones geomórficas e hidrológicas. La abundancia de canalillos indica que en esta parte del abanico, la matriz del depósito es de carácter limoarcilloso.

Hay una tercera zona, al borde exterior del abanico, donde los canales son menos abundantes y menos profundos aún que los anteriores; son realmente zonas de inundación, con gradientes extremadamente bajos, donde deben esperarse depósitos granulares finos, de forma laminar y difícilmente distinguibles de las facies lacustres (Fig. 2).

El modelo distributario de drenaje, propio de los abanicos, permite el aporte de aguas hacia sus bordes y establece las aquí llamadas zonas de inundación. La inundación en este caso, parece haber sido poco profunda ya que sufrió rápida evaporación (las zonas menores de inundación que se muestran en la Fig. 2, ya no aparecen en julio de 1986).

c. Clasificación y características del movimiento del flujo

El flujo de escombros es un flujo saturado de agua (ya se ha señalado en la introducción de este trabajo, cuáles fueron las fuentes de alimentación de agua) que se caracteriza por una amplia variedad en el tamaño de las partículas que acarrea (OKUDA *et al.* 1980: 152); los fragmentos pueden variar entre varios m de diámetro y unos pocos micrones. En estos depósitos no se muestra estratificación; hay gran cantidad de matriz de tamaño de arcilla, arena y grava; contienen clastos que localmente muestran alguna imbricación (Foto No. 2). Las características anteriores fueron observadas en el campo y se ajustan claramente a la clasificación de "Flujo de Escombros"

presentada por SMITH (1986, tabla 1:2).

Los flujos de escombros pueden moverse a velocidad relativamente "rápida" y transportan arenas, gravas, cantos y grandes bloques de rocas de varias toneladas de peso (Foto No. 3), además de suelos, árboles, edificaciones, etc., es decir, sedimentos depositados por flujos de alta energía. La velocidad del flujo de escombros, según OKUDA *et al.* (1980: 143), varía de acuerdo al ángulo de inclinación del canal de conducción, que en este caso es muy variable y bajo (4%) para el último tramo del Río Lagunilla, comprendido entre la Hacienda Sirpe y la Quebrada Motilón (Fig. 1), y a la magnitud misma del flujo, que es considerable en Armero, de acuerdo al área cubierta y al espesor de los sedimentos depositados y, finalmente, a los constituyentes del flujo. Otro factor que incide en la facilidad y aumento del movimiento del flujo, según OKUDA & SUWA (1980: 182), es la aceleración en la vibración del piso, causada por el flujo de escombros. La vibración del piso se manifiesta como un ruido considerable que en otras partes, como en el Japón, sirve para alertar a los moradores de la región afectada. Testigos, al paso del flujo de escombros de Armero, mencionan el intenso ruido producido por el flujo (MOJICA *et al.* 1985: 113).

También OKUDA *et al.* (1980: 158), mediante el registro de sensores y varias clases de fotografías, han obtenido los siguientes datos con respecto al movimiento del flujo en el Valle del Río Kamikamihori:

- Una zona de aceleración que tiene lugar principalmente en las partes más altas y que debió ocurrir en las cabeceras de los Ríos Lagunilla y Azufrado.
- Una zona de desaceleración, pero todavía de alta



Fig. 4. Interpretación tomada directamente de las fotografías aéreas. Escala aproximada 1: 20.000

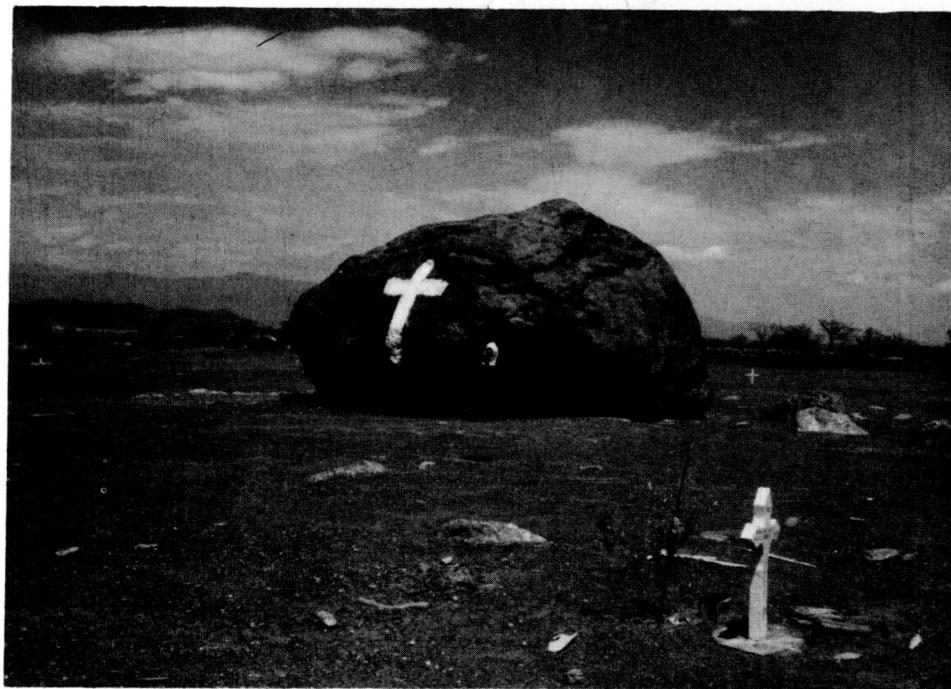


Foto No. 3 Un Flujo de Escombros puede transportar desde arenas hasta grandes bloques de rocas como el que aquí se ilustra. Este bloque llegó hasta el sur de la plaza principal de Armero.

velocidad, que tiene lugar también en las partes más altas.

- Una zona de velocidad aproximadamente constante, que tiene lugar en la parte media.
- Una zona de desaceleración y parada que tiene lugar en la parte baja y en el abanico.

OKUDA *et al.* (1980: 158) mencionan que en los casos estudiados por ellos, la velocidad en el abanico rara vez excede los 5 m/s (18 km/h). Sin embargo, las observaciones anteriores han sido efectuadas sobre flujos de menor magnitud que el ocurrido en Armero, en cursos bastante rectos y con sedimentación de parte de la carga a lo largo del curso del río. A diferencia del ejemplo anterior, no se presenta sedimentación alguna a lo largo de los cursos de los Ríos Lagunilla y Azufrado, responsables de conducir el flujo de escombros de Armero. Por el contrario, el flujo aumentaba el volumen de fragmentos a medida que avanzaba. Por otra parte, las pendientes en los Ríos Lagunilla y Azufrado no son constantes. El Río Azufrado corre por 21 km aproximadamente en dirección N60°E con pendiente del 12%, cambia a dirección N15°E y recorre un tramo de 6 km con pendiente reducida ahora al 2.5%, hasta encontrar cerca a la población de Casabianca un recodo fuerte (Fig. 1), que obliga al río a correr en dirección norte-sur en un trayecto aproximado de 12 km, trayecto en el cual debió amortiguar y rebajar la velocidad hasta allí alcanzada por el flujo. El flujo corre en este último trayecto de 12 km sobre una pendiente que no sobrepasa el 3%, para chocar luego, casi perpendicularmente, contra el curso del Río Lagunilla al cual confluye. Desde la cabecera, el Río Lagunilla corre por 9 km en dirección N70°E con pendiente del 16.7%, cambia por un tramo de 11 km a dirección general O-E, con pendiente del 7%, y luego otro recodo fuerte obliga al río a

correr en dirección N30°E por un trayecto aproximado de 8 km y pendiente del 7.5% hasta la confluencia con el Río Azufrado.

Después de la confluencia de los Ríos Lagunilla y Azufrado se sucede, en la Vereda Sirpe, un nuevo cambio de dirección. Así pues, en este caso, curvas fuertes a lo largo de los canales de los Ríos Lagunilla y Azufrado, han jugado papel importante al ejercer resistencia hidráulica que debió traducirse en la disminución de la velocidad del flujo. Además, hay disminución de velocidad por el efecto combinado de: 1) el bajo gradiente (4%) del Río Lagunilla en el último tramo antes de salir al valle de Armero y 2) reducción de la velocidad valle abajo, debido al aumento continuo del volumen de fragmentos, es decir, al aumento en la densidad del flujo, así como también a la acción de la fricción ejercida al paso del flujo.

En Armero, la depositación repentina de los sedimentos se logra por el cambio de pendiente del Río Lagunilla al dejar el frente montañoso, donde en el último tramo era del 4%, para pasar a la superficie suave de los abanicós depositados anteriormente (parte proximal) que de acuerdo a la Fig. 3 tenían pendiente de sólo el 1.6%. De manera que, aquí también, se sucede una nueva reducción en la velocidad del flujo, relacionada primero con la emergencia misma del canal y combinada con la menor pendiente presente en la superficie de los abanicós anteriores.

Pero, sin embargo, según OKUDA *et al.* (1980: 158), la velocidad del frente del flujo parece depender de la escala del flujo (altura de frente) y del contenido de detritus, que a su vez, controlan la viscosidad del flujo. En cuanto a la altura del frente del flujo de escombros de Armero, se sabe que el flujo en el tramo final estuvo encauzado en el canal del Río Lagunilla, donde alcanzó altura promedio de 36 m

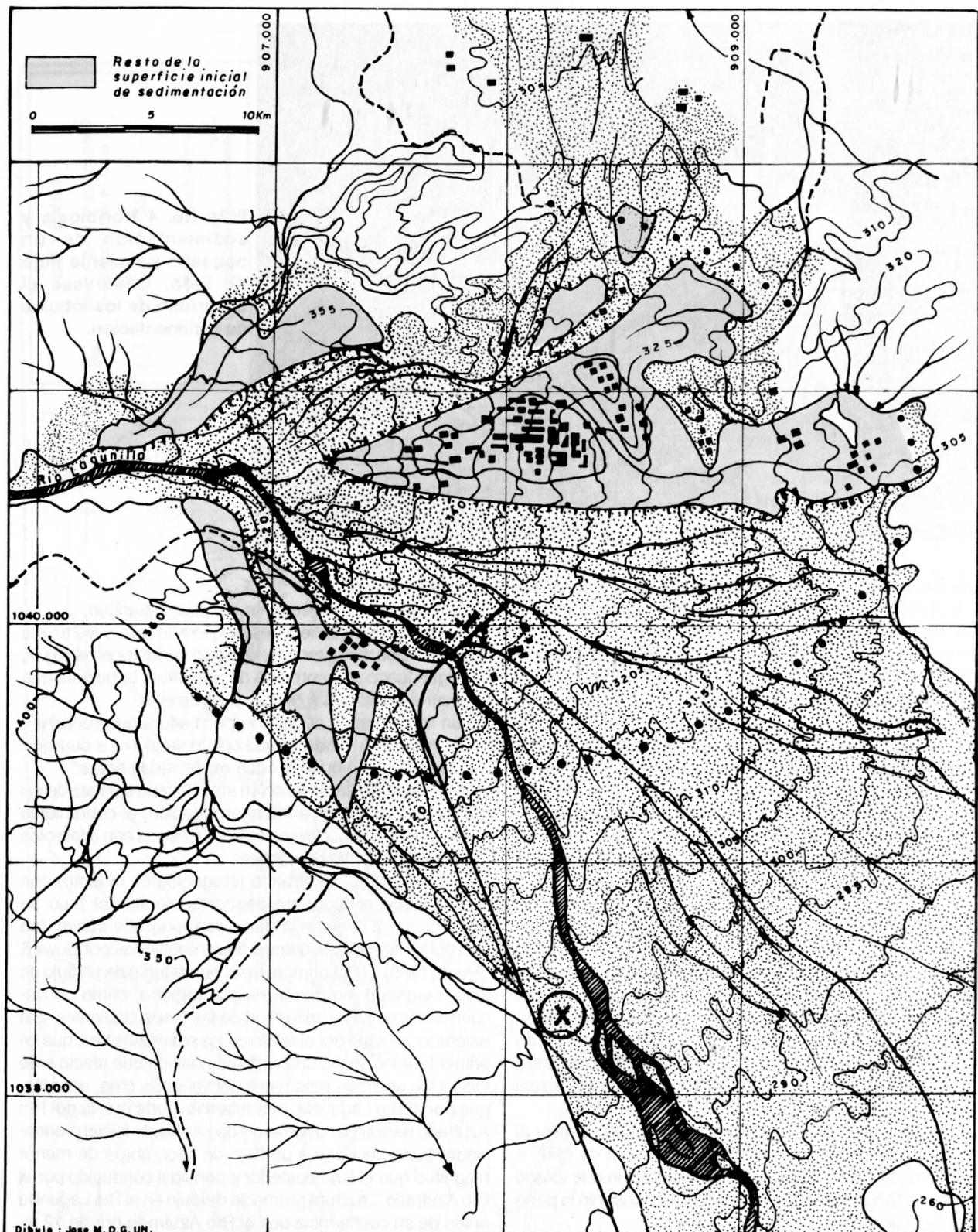


Fig. 5 Mapa Topográfico de la misma área representada en la Fig. 3, elaborado por el IGAC después del 13 de Noviembre de 1985. Escala 1:25.000 (Escala original 1:10.000). La parte sombreada corresponde a los sedimentos recién depositados que, de acuerdo a las curvas de nivel, configuran un nuevo abanico. Note y compare el drenaje con el de la Fig. 3.



Foto No. 4 Morfología y sedimentación de un pequeño y reciente flujo de lodo. Obsérvese el desarrollo de los lóbulos de sedimentación.

sobre el nivel del río, como se ilustra en el perfil F de MOJICA *et al.* (1985: Fig. 3), que es el perfil medido del Río Lagunilla más cercano a la salida al valle de Armero.

Si consideramos que la emisión piroclástica más importante, tuvo lugar entre las 21:08 y las 21:30 h, que el flujo de escombros llegó a Armero a eso de las 22:45 h y que el recorrido mayor (72 km) se hace por el Río Azufrado, podríamos, mediante un cálculo sencillo, conocer la velocidad "promedio" del flujo. Sin embargo, son muchos los factores que intervienen en el cálculo de la velocidad del flujo, de tal manera que el cálculo se hace complejo. A manera de ejemplo, LOWE *et al.* (1986: 51) calcularon en 11.9 m/s la velocidad media del flujo de escombros, 1 km antes de la boca del cañón.

d. Sedimentación

Sobre el último tramo recto del Río Lagunilla, que tiene dirección N77°E, y desde 700 m antes de su salida al valle de Armero, tuvo lugar el desbordamiento y la sedimentación de la mayor parte de la carga, en una superficie continua de hasta 3 m de espesor y radio de 2.5 km, comprendida entre la Quebrada de Santo Domingo al norte y el cauce actual del Río Lagunilla, al sur.

La Foto 4 muestra un fenómeno, en miniatura, similar al que tuvo lugar en Armero el 13 de noviembre de 1985 e ilustra muy bien la superficie de sedimentación que existió allí momentáneamente, de la cual sólo se conservó la parte coloreada de la Fig. 5.

SUWA & OKUDA (1985: 4) con base en observaciones sistemáticas sobre estos fenómenos, iniciadas a partir de 1970, describen el carácter físico del movimiento del flujo de escombros y encuentran que este consta, al paso por un

sitio determinado, de:

- 1) un flujo lodoso precedente, de poca magnitud,
- 2) un frente que contiene los bloques de roca y los trozos de árboles más grandes, tal como se ilustra en la Fig. 7,
- 3) sigue luego una corriente de agua muy turbulenta que acarrea guijarros y gravas y, finalmente,
- 4) un flujo de agua de relativa poca altura que contiene grava, arena y lodo en alta concentración. La duración de este último flujo de agua es de varias horas.

De acuerdo con la descripción anterior, con el relato de los sobrevivientes y con la fotointerpretación, el cubrimiento del área afectada ocurrió en fases sucesivas con diferentes características hidrodinámicas.

Particularmente, el estudio fotogeológico muestra con claridad que el lugar de desbordamiento del flujo de escombros, al llegar a la parte de topografía suave, fue diferente para las tres últimas fases señaladas por SUWA & OKUDA (1985). De la primera fase, por tratarse de un flujo de poca magnitud, no queda ningún registro, como consecuencia de la mayor magnitud de las fases siguientes. Sin embargo, se sabe por el relato de los sobrevivientes, que en primer término se dió una corta inundación que afectó ante todo a los sectores más bajos del valle. Se cree, además, que por el Río Lagunilla, una ruta más corta que la del Río Azufrado para llegar a Armero y de pendiente inicial pronunciada, pudo sucederse un flujo de escombros de menor magnitud que el flujo posterior y principal conducido por el Río Azufrado. La altura promedio del flujo en el Río Lagunilla antes de su confluencia con el Río Azufrado era de 12 m, mientras que en el Río Azufrado las alturas promedio fueron de 35 m y 60 m en el costado externo de las curvas fuertes (MOJICA *et al.*, 1985).

El lugar de desbordamiento correspondiente al frente del

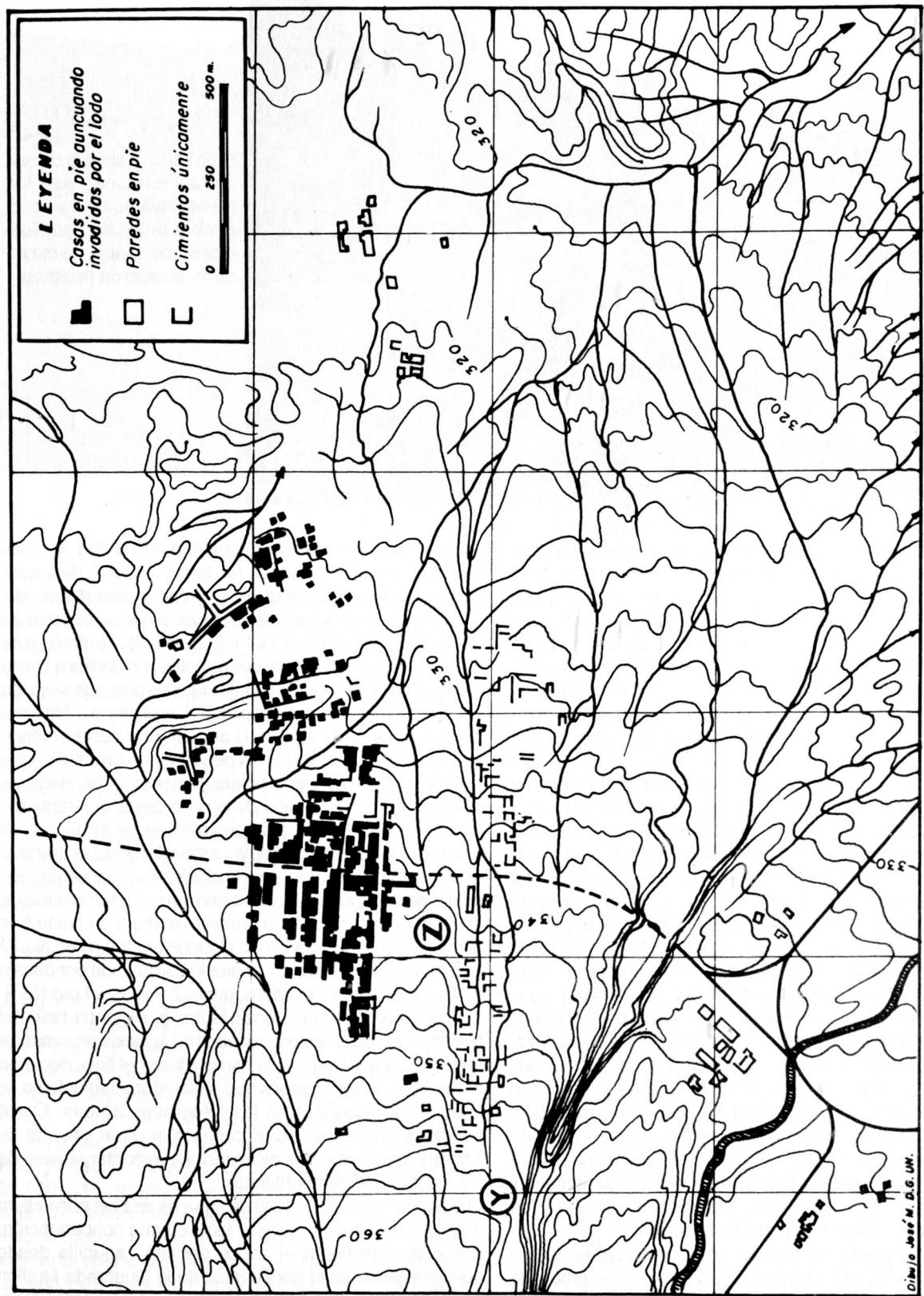


FIG. 6. Mapa Topográfico de aproximadamente el perímetro urbano de Armero, después del 13 de Noviembre de 1985. Escala 1: 12.500 (Escala original 1:5.000). Note en Y la ampliación y profundización del canal. Note en Z la tremenda erosión que solo dejó los cimientos de las casas.



Foto No. 5. Aspecto de una calle inclinada, parcialmente invadida por el lodo. Note cómo las edificaciones del fondo, de mayor cota, quedaron intactas.

flujo de escombros, que contenía los fragmentos más grandes, ocurrió aproximadamente 700 m al oeste de la confluencia de la Quebrada Motilón (Figs. 1 y 4). Como evidencia del sitio de iniciación del desbordamiento aparecen, en el extremo izquierdo de la Fig. 4, los restos aterrazados del depósito, que se han señalado con la letra A. Este frente estableció, al sedimentarse, una cubierta continua, similar a la que se ilustra en la Foto 4, destruyó la mayor parte del drenaje secundario preexistente y al menos taponó momentáneamente el drenaje principal, incluido el Río Lagunilla. Es decir, no respetó topografía alguna y en su desplazamiento ejerció la enorme acción de empuje y barrido que destruyó a Armero. OKUDA *et al.* (1980: 158) señalan que han establecido por observación directa que la terrible acción destructiva de los flujos de escombros está concentrada en el frente del mismo (Fig. 7). Así, pues, en Armero la acción destructiva se llevó a cabo por el arrastre (frotación) de los bloques de mayor tamaño que actuaron como una cuchilla sobre la superficie preexistente. Aquí hay que destacar que la topografía fue responsable de la acción erosiva diferencial causada por el flujo de escombros (Figs. 2, 3, 5 y 6). El flujo hizo menos daño en las zonas levemente más altas. Como consecuencia del cambio de cotas, se redujo también la altura del frente del flujo, la velocidad y por ende su acción destructiva. Así, puede afirmarse que, el sector de Armero que quedó en pie, aunque en parte invadido por el lodo (Foto No. 5) sólo fue afectado por esta primera fase. Este sector, Barrio Vallecitos, Cementerio y Hospital (Fig. 4), actuó en la práctica como una isla y fue precisamente allí donde más gente se salvó.

Luego del frente del flujo de escombros sigue, según OKUDA *et al.* (*op. cit.*), una corriente de agua muy turbulenta cargada de guijarros y gravas, que en nuestro caso desbordó

el cauce del Río Lagunilla desde el punto B (Fig. 4). Esta corriente turbulenta de agua fue la responsable de erodar la sedimentación lograda en el primer pulso (frente del flujo), de acuerdo al aspecto aterrazado que se observa en las fotografías aéreas (Fig. 4 y Foto No. 6). También esta segunda fase se bifurcó en dos ramales principales a causa del espolón de topografía levemente más alta, que se dirige del sector del Barrio Vallecitos - Cementerio - Hospital hasta el lugar del Molino San Lorenzo. El espesor erodado en la cubierta precedente es de 2-3 m en promedio, que permite, sobre la parte erosionada, observar esparcidos los bloques de mayor tamaño de la parte basal del frente del flujo. Ocasionalmente, aparecen bloques de hasta 7 m x 5 m x 4 m. Este pulso contribuyó, probablemente en parte, a la reapertura del curso del Río Lagunilla que había sido previamente taponado en un tramo largo. La turbulencia de esta segunda fase explica también la altura de hasta 5 m que las aguas alcanzaron en algunos puntos (Foto No. 7) y en buena parte, también, la erosión alcanzada por debajo de los cimientos de las casas, punto Z (Fig. 6) y Foto No. 8.

Los sedimentos transportados por la segunda fase del flujo, más los sedimentos erodados de la facies proximal del abanico, sedimentada en la primera fase del flujo, debieron formar lóbulos secundarios que desafortunadamente no se pueden individualizar en las fotografías aéreas. Quizá debido a que, como en el caso de la parte oriental de Armero, los sedimentos alcanzaron a remontar la base de la Cuchilla de Peñas Blancas.

La tercera fase, es un flujo de agua de relativa poca altura que contiene grava, arena y lodo en alta concentración, desborda levemente el cauce del Río Lagunilla desde aproximadamente la confluencia de la Quebrada Motilón en el Río Lagunilla pero, sin embargo, el desbordamiento

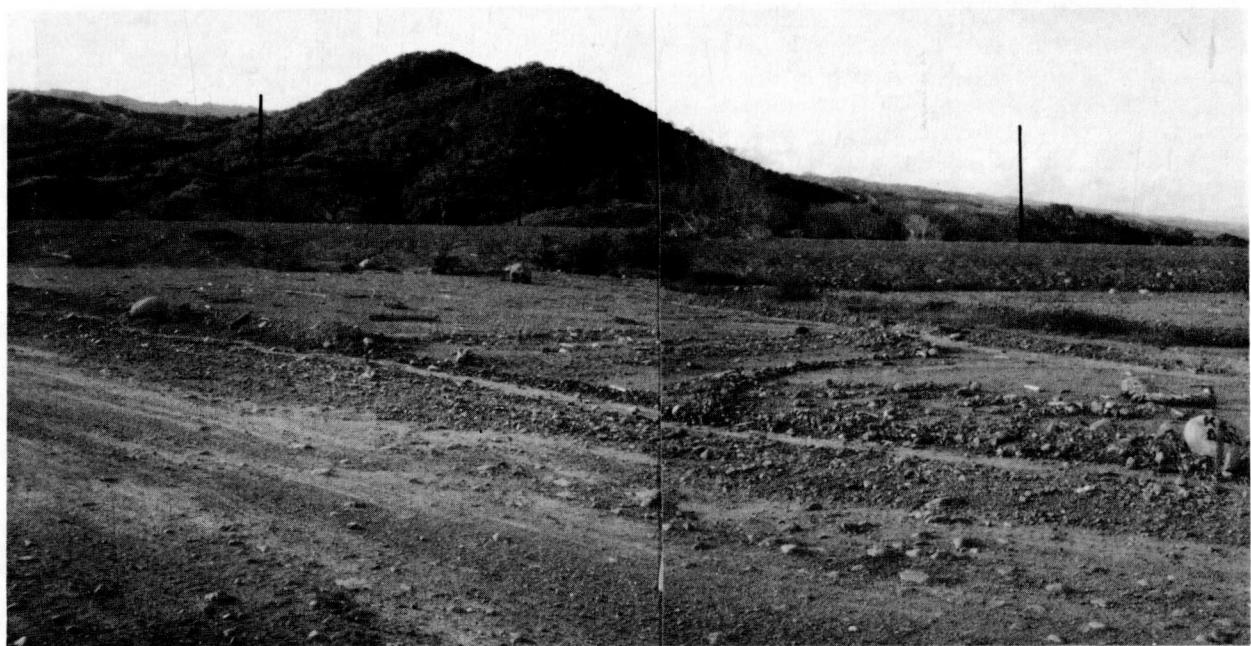


Foto No. 6. Obsérvese, en primer plano, la superficie de erosión dejada por el paso del segundo pulso del Flujo de Escombros y en segundo plano (flechas), el nivel y aspecto aterrazado de la sedimentación lograda en el primer pulso.

es de menor magnitud que el del codo que hace el Río Lagunilla al cambiar de dirección N77°E, a dirección S27°E, en el sitio de captación de aguas para la Acequia Grande (punto C, Fig. 4). La evidencia de la acción de esta tercera fase sobre la sedimentación hasta entonces lograda, queda establecida en el segundo nivel aterrazado que se indica en la Fig. 4. Este flujo de agua fue el causante de la profundización y ensanchamiento de la cabecera de la Acequia Grande (punto C, Fig. 4) y quizás, también el responsable del destaponamiento total del Río Lagunilla. Hay que recordar que este flujo tiene duración de varias horas y que de acuerdo a la versión de los habitantes de Tres Esquinas, el Río Lagunilla estuvo allí seco el día 14 de noviembre de 1985.

e. Daños causados

La Fig. 2 ilustra el efecto superficial total del flujo sobre el área en consideración, así como los depósitos dejados sobre áreas de cultivos y sobre áreas habitadas. Para una rápida visualización de los daños causados por el flujo de escombros, se presenta en la Fig. 3 el Mapa Topográfico a escala 1: 25.000 del perímetro urbano de la ciudad de Armero y áreas aledañas, antes del flujo y para comparación directa, el Mapa Topográfico de la Fig. 5, también a escala 1: 25.000, de la misma área de la Fig. 3, después de ocurrido el flujo de escombros de noviembre de 1985. Además, en escala mayor, 1: 12.500, se muestra en la Fig. 6 aproximadamente sólo el perímetro urbano de Armero, después de ocurrido el flujo de escombros. En las figs 4.5 y 6 puede observarse cómo casas, carreteras y tierras cultivadas

fueron invadidas y destruidas por las diferentes fases del flujo de escombros y las áreas levemente más altas fueron cubiertas parcialmente o rodeadas por los depósitos del flujo.

El daño causado por el flujo de escombros tiene que ver tanto con el espesor, como con su amplia extensión. Como ya hemos visto, la configuración del terreno tiene un efecto importante de control sobre el comportamiento del flujo de escombros y sobre el daño causado, especialmente en localidades bien definidas, tal como sucedió en la destrucción diferencial de la ciudad de Armero (Figs. 4 y 5).

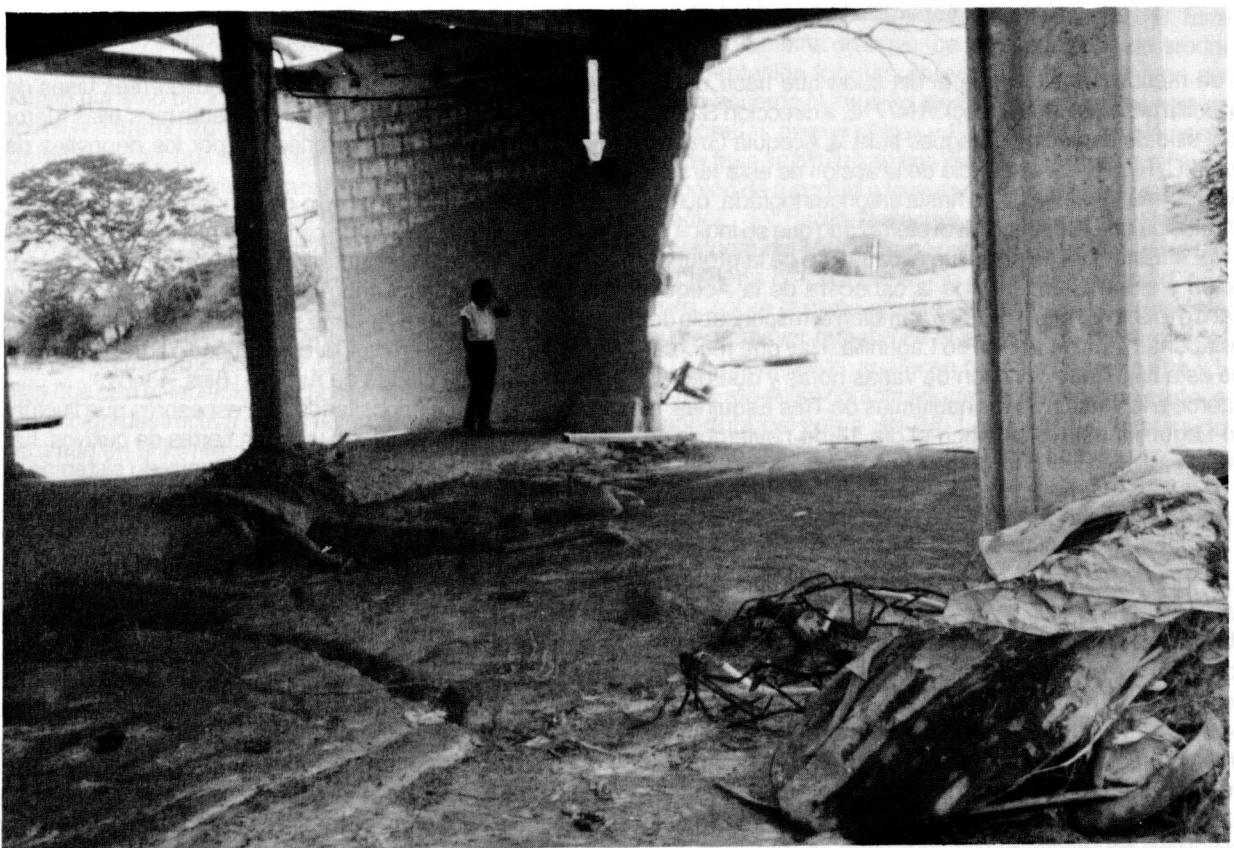
Los sedimentos depositados, con espesores que fluctúan entre 0 y 3 m, han cubierto valiosas tierras de cultivos, han invadido caseríos, destruido o desorganizado sistemas de riego e interrumpido vías de comunicación. La carretera de Armero a Lérida fue cubierta en longitud aproximada de 5.2 km (Figs. 3 y 5); las líneas del ferrocarril desde el N de Armero hasta la estación de Santuario, quedaron cubiertas en longitud aproximada de 16.5 km (Figs. 2, 3 y 5). Las acequias de riego, denominadas Acequia Grande, Acequia El Playón, Acequia Los Cosecheros, Acequia El Triunfo y Acequia Lavapatas, fueron rellenadas casi en su totalidad, por el flujo de escombros.

El puente en concreto sobre el Río Lagunilla, en la Hacienda El Puente, fue sobrepasado por las aguas y solamente perdió las barandas (punto D, Fig. 4), pero el puente sobre la Acequia Grande fue arrasado totalmente (Punto E, Fig. 4).

Asimismo, el registro histórico demuestra que el área invadida por los flujos de 1985, 1845 y 1595, no es apta para asentamientos humanos, sino para cultivos. Las construc-



A



B

Foto No. 7. Nótese en las paredes del Molino San Lorenzo (Fotografía A) situado en la parte más occidental de Armero, cómo la turbulencia del segundo pulso del Flujo de Escombros sobrepasó la altura del edificio (± 5 m) y cómo en la Fotografía B, Desmotadora de algodón, situada hacia el norte de Armero, sobre la vía a Guayabal, aún la altura del flujo (flecha) alcanzaba ± 25 m.



Foto No. 8. La turbulencia del segundo pulso del Flujo de Escombros erodó, por debajo de los cimientos (C) de las edificaciones, y destapó flujos anteriores (Punto Z, Fig. 6).

ciones que se levanten en estos terrenos estarán sujetas al riesgo de nuevas avenidas. No es posible determinar para cada evento el área afectada, pues su extensión depende de sucesos originados en el Volcán Nevado del Ruiz, 50 km en

línea recta al oeste, no siempre de iguales proporciones.

La capa superficial de los flujos de escombros está compuesta de limos, arenas y gravas que están provistas de un gran número de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, es de esperar en ellos una fertilidad alta a desarrollarse en el mediano y largo plazo (v.FRYE, 1986). Sin embargo, al comienzo esos depósitos son estériles, entre otras causas por la alta salinidad y fuerte acidez que los caracteriza. Por tal razón, los depósitos acumulados en 1985 no sólo causaron la muerte de la vegetación existente, sino que retardaron el crecimiento de nueva vegetación. Se cree que para la recuperación de tales depósitos, para el uso en agricultura, se requieren decenas de años. Sin embargo, según los resultados obtenidos de investigaciones llevadas a cabo por profesores de la Universidad del Tolima (El Espectador, 4 de mayo de 1988), los tratamientos a base de cal, lavado continuado y adición de suficiente materia orgánica permiten reducir, notablemente, el tiempo de recuperación de tales depósitos.

f. Conclusiones

Es evidente que las fotografías aéreas son una herramienta importante para la evaluación de los daños causados por eventos tan catastróficos, como el flujo de Armero, en las construcciones, en los cultivos, en los puentes, en las carreteras y en la cubierta forestal.

Mediante la combinación de observaciones de campo, llevadas a cabo inmediatamente después de ocurrido el flujo de escombros de Armero, de la interpretación de las fotografías aéreas tomadas después de ocurrido el evento y de los relatos de los sobrevivientes, ha sido posible clasificar y delimitar con precisión el evento y determinar, en cuanto ha sido posible, el carácter dinámico del flujo de escombros y su efecto geomorfológico.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten corroborar las observaciones sistemáticas prolongadas, llevadas a cabo en otras partes del mundo y especialmente en el Japón, sobre eventos similares. Sin embargo, se requiere aún mucha más información científica acerca del comportamiento de los flujos de

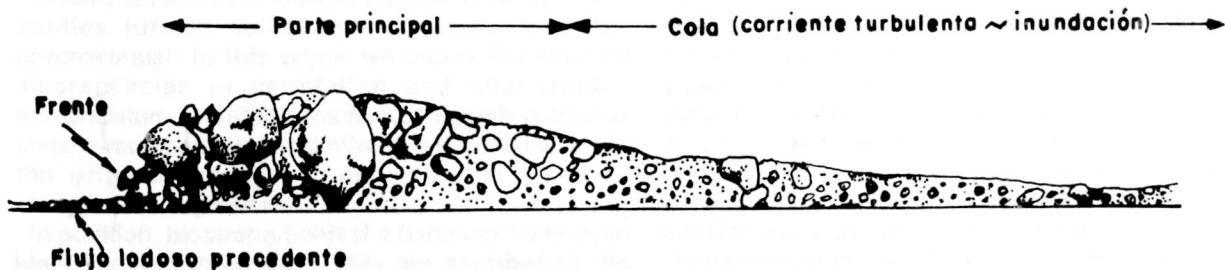


Fig. 7. Perfil longitudinal de un Flujo de Escombros (Tomado de SUWA & OKUDA 1985, Fig. 4).

escombros, que permita establecer una prevención efectiva contra eventos de tal naturaleza.

REFERENCIAS CITADAS

- 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 Ruiz el 13 de Noviembre de 1985.- Geología Colombiana 14, p. 165-173, Bogotá.
- FRYE, A. (1986): El Suelo y los Desastres Naturales. Características de los depósitos del Nevado del Ruiz. En: Palomino, G.(Ed.): Ecología de un desastre, pp.72-96.- SENA, Regional Tolima, Ibagué.
- INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI" (1985): Vuelo C 2229 de Noviembre 24 de 1985 y Mapas Topográficos Escalas:1:10.000 y 1:5000 elaborados después del Flujo de Armero, Bogotá.
- LOWE, D.R. WILLIAMS, S.N., LEIGH, H., CONNOR, C.B., GEMMELT, J.B.(1986): Lahars initiated by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia.- Nature, v.324, p. 51-53.
- 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.- Geología Colombiana 14, p.107-140. Bogotá.
- OKUDA, S. SUWA, H. OKUNISHI, K., YOKOYAMA, K. & NALANO, M. (1980): Observations on the motion of a debris flow and its geomorphological effects.- Z. Geomorph. N.F., Suppl.- Bd. 35, p.142-163. Berlin- Stuttgart.
- SMITH, G.A. (1986): Coarse-grained nonmarine volcaniclastic sediment: Terminology and depositional process.- Geological Society of America Bulletin, v. 97, p. 1-10.
- SUWA, H. & OKUDA, S (1985): Measurements of Debris Flows in Japán.- Proc. IVth International Conference and Field Workshop on Landslides, p. 1-10, Tokyo.
- SUWA, H. & OKUDA, S (1980): Dissection of valleys by debris flows.- Z. Geomorph. N.F., Suppl., Bd. 35, p. 164-182, Berlin, Stuttgart.

Manuscrito recibido, Marzo de 1995.