

LAS CORRIENTES DE BARRO (« MUD-FLOWS ») DE « EL VOLCAN »

QUEBRADA DE HUMAHUACA, JUJUY

POR HORACIO J. HARRINGTON

En las altas montañas semiáridas del noroeste y oeste argentino se observa con frecuencia el peculiar fenómeno conocido con el nombre de corrientes o torrentes de barro (« mud-flows »). Muchos de los profundos valles que entallan aquellas regiones de abrupto relieve, terminan en conos de deyección, sobre los cuales bajan de cuando en cuando esas corrientes de barro, luego de las cortas y escasas pero violentas lluvias estivales.

El mayor y más famoso de estos « torrentes de barro » intermitentes se encuentra cerca de la estación Volcán, sobre la margen derecha de la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy. Las corrientes de barro, que todos los veranos descienden por el gran cono de deyección, han ocasionado serios perjuicios a la vía férrea tendida sobre el cono, enterrando largos tramos bajo varios metros de sedimentos conglomerádicos.

Las corrientes de barro de « El Volcán » fueron mencionadas por vez primera en la literatura geológica por Singewald, quien las describió brevemente en la discusión que sigue al conocido trabajo de Blackwelder sobre torrentes de barro (Singewald en Blackwelder, 1928, p. 481). Pocos años más tarde el « volcán »¹ fué descripto con cierto detalle por Pastore y Groeber, quienes publicaron algunas notables fotografías y un bosquejo geológico de la región (Pastore y Groeber, 1931, p. 1).

Mi conocimiento personal de « El Volcán » se remonta a 1938, pero casi todas las observaciones que se consignan en el presente trabajo fueron efectuadas durante una corta visita en julio de 1943.

¹ En el noroeste y oeste argentino las corrientes de barro son conocidas con el nombre local de « volcanes » o « volcancitos ». El nombre se deriva, probablemente, de una semejanza superficial entre estas corrientes y las coladas de lava.

1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE « EL VOLCÁN »

La Quebrada de Humahuaca es un gran valle longitudinal que se origina cerca de Tres Cruces y con rumbo Norte-Sud se extiende por más de 150 kilómetros hasta las cercanías de la ciudad de Jujuy.

De Norte a Sur la quebrada se profundiza gradualmente y los mayores desniveles entre vaguada y cumbre se alcanzan unos 50 kilómetros al Norte de Jujuy, donde llegan a ser hasta de más de 2.000 metros.

El relieve es muy abrupto y en la zona de máximos desniveles numerosas quebradas transversales de todos tamaños descienden hacia el gran colector longitudinal con pendientes muy pronunciadas. Casi todas ellas terminan en conos de deyección que se expanden dentro del gran valle de Humahuaca, y sobre estos conos se deslizan, de cuando en cuando, corrientes de barro originadas por las escasas pero intensas lluvias de verano. Conviene mencionar a este respecto que la zona se caracteriza por un clima semiárido, con precipitaciones prácticamente nulas, salvo durante el corto período estival.

« El Volcán » es el más grande de estos conos de deyección y está ubicado en la margen Oeste de la Quebrada de Humahuaca, entre las estaciones León y Volcán.

Un pequeño arroyo corre mansamente sobre su superficie, durante el invierno. Este arroyo, llamado del Medio, nace en la falda oriental del Cerro Peñorco, cuya cumbre se eleva hasta los 4.300 metros sobre el nivel del mar. El arroyo corre de Oeste a Este y tiene una longitud de 10 kilómetros, desembocando finalmente en el Río Grande de Jujuy, que se desliza por el fondo de la Quebrada de Humahuaca, en la cota de 2.000 metros.

La cabecera del torrente y el origen de las corrientes de barro. — El Arroyo del Medio nace en el fondo de un antiguo circo glacial, cuya primitiva morfología se halla hoy considerablemente destruída por erosión post-glacial.

El circo está tallado en filitas y cuarcitas proterozoicas y en pizarras y areniscas del Cámbrico superior, que tienen aquí rumbo general Norte-Sud y fuerte inclinación hacia el Este. Al menos en tres lugares se conservan todavía pequeños retazos de morenas pleistocenas, si bien que en proceso de rápida destrucción. Dos de estos remanentes se hallan más o menos precariamente colgados en las paredes del circo, mientras que el tercero se encuentra casi en el fondo de la gran cuenca.

El circo tiene la forma de medio embudo, abierto hacia el Sudeste. Su diámetro medio (en las cumbres), es de unos 2,5 kilómetros y las pen-

dientes son muy pronunciadas, descendiendo desde 4.200 metros hasta 2.900 en menos de 1,5 kilómetros. La inclinación de las laderas es, pues, de unos 40 grados.

Las laderas Norte y Noreste se caracterizan por farellones casi verticales de rocas cuarcíticas, que alternan con taludes de derrumbes sumamente inclinados. La pendiente de estos taludes se aproxima al ángulo teórico de reposo y todos ellos, desprovistos por completo de vegetación, se hallan aún en movimiento gravitacional hacia el fondo de la cuenca.

Las laderas Oeste y Sudoeste son también muy inclinadas. En muchos lugares están directamente formadas por lisos planos de estratificación de las capas cámbricas, inclinadas 75 grados hacia el Este. Grandes sectores de este tipo de laderas alternan aquí con taludes muy inclinados y con farellones subverticales de varios centenares de metros de altura.

A lo largo de las paredes del circo, y especialmente en las laderas Sud y Sudoeste, se producen constantemente derrumbes de rocas («rock-falls»), provocados por los fuertes vientos que predominan durante la seca época invernal. Durante los dos días que duró mi visita a la zona, nubes tras nubes de polvo se veían ascender por las empinadas laderas y remontarse por sobre el nivel de las cumbres, arrastradas por los fuertes vientos que suben del valle a la montaña. Vistas desde varios kilómetros de distancia, estas nubes blancas de polvo se asemejan notablemente a nubes de tenues vapores elevándose de un profundo cráter volcánico. Ocasionalmente, algunos grandes trozos de las morenas colgantes se deslizan también hacia abajo y caen al fondo del circo, donde se van acumulando todos los detritus sueltos.

Las nubes de polvo se originan, desde luego, a consecuencia de la fracturación de las rocas al caer desde alturas de muchos centenares de metros a lo largo de las faldas muy inclinadas ya descritas. El ruido que acompaña a estos derrumbes es a veces muy considerable.

A consecuencia de las lluvias sumamente intensas, pero de corta duración, que se registran en enero y febrero, se producen nuevas avalanchas y las aguas salvajes que se despeñan por las pendientes del circo, se colectan en el fondo de la cuenca con velocidad extraordinaria. Estas grandes avalanchas y derrumbes de rocas «mojados» («wet rock-falls») se deben a la rápida infiltración del agua en los inclinados taludes de derrumbes y en las morenas colgantes, que una vez empapados se hacen escurridizos y se deslizan por las empinadas laderas.

Lluvias súbitas provocan también derrumbes de los sedimentos macizos del Cámbrico en las laderas Sud y Sudoeste, al empapar ciertas camadas delgadas de pizarras y filitas altamente deformadas y molidas tectónicamente, intercaladas entre bancos resistentes de cuarcitas compactas, muy inclinadas hacia el Este.

Estos «derrumbes mojados» caen al fondo de la gran cuenca en

embudo sobre el colchón de detritus acumulados por los «derrumbes secos» durante los meses de escasas precipitaciones y toda la masa de materiales sueltos es a poco empapada por las aguas de lluvia que se colectan rápidamente en el fondo de la cuenca.

Un barro espeso, cargado de fragmentos de rocas de todos tamaños, se origina de esta manera y, por simple gravedad, comienza a deslizarse a lo largo de una angosta garganta que sirve de colector maestro de la cuenca ímbrica del torrente.

El canal de descarga. — En canal de descarga que une los dos extremos del aparato torrencial, tiene una longitud de 2,5 kilómetros y describe un suave arco cóncavo hacia el Noreste. La primitiva quebrada, labrada en épocas glaciales, nace en el fondo del circo dirigiéndose de Noroeste a Sudeste y tuerce luego lentamente hacia el Este. A 2,5 kilómetros de su nacimiento, se ensancha bruscamente al llegar al ápice del cono de deyección actual.

El fondo de la quebrada primitiva fué parcialmente rellenado por 70 metros de depósitos conglomerádicos gruesos que Pastore y Groeber han considerado como «conglomerados fluvio-glaciales». El arroyo actual corre por el fondo de una angosta garganta, de unos 50 metros de profundidad máxima, cortada a manera de gigantesca trinchera en estos «conglomerados fluvio-glaciales» y caracterizada por barrancas prácticamente verticales. Esta garganta constituye el canal de descarga del torrente actual.

La garganta pierde gradualmente profundidad hacia el Este, pero es independiente de la quebrada primitiva. No termina, como aquélla, al llegar al ápice del cono de deyección, sino que, por el contrario, se prolonga dentro de éste por unos 4,5 kilómetros hasta que, ya con profundidad de dos o tres metros, se pierde ramificándose en varios distributarios someros.

El cono de deyección. — El gran cono de deyección tiene unos ocho kilómetros de largo y anchura variable. Durante los cinco primeros kilómetros a partir de su ápice, se ensancha progresivamente hacia el Este hasta alcanzar 2,5 kilómetros. Luego, al llegar a la Quebrada de Humahuaca, se expande bruscamente y adquiere su anchura máxima de 9 kilómetros en el margen frontal.

El cono, pues, ha rellenado buena parte del gran valle longitudinal de Humahuaca y sus depósitos se adosan contra la ladera oriental del valle. El Río Grande de Jujuy, que corre por el fondo de la quebrada, ha sido desplazado hacia el Este y fluye, en la actualidad, a lo largo de una angosta garganta cortada en el borde exterior de los depósitos del cono y, en parte, ya sobre las rocas proterozoicas de la margen oriental del valle.

La superficie del cono es obviamente convexa, tanto en sentido longitudinal como transversal, y la pendiente de su superficie cerca del margen frontal alcanza a 17 en 1.000, o sea unos 5 grados.

El cono está formado por sedimentos depositados por aguas torrenciales y por sedimentos originados por corrientes de barro. El espesor máximo de los depósitos ha sido estimado por Pastore y Groeber en unos 300 metros y puede calcularse que la cantidad total de material acumulado llega a unos tres kilómetros cúbicos.

2. EL MOVIMIENTO DE LAS CORRIENTES DE BARRO

Por el canal de descarga y el cono de deyección bajan, varias veces cada verano, torrentes de agua o corrientes de barro luego de cada intensa lluvia.

Si la lluvia no es lo suficientemente fuerte o si sucede a otra muy violenta luego de breve intervalo de pocos días, el Arroyo del Medio aumenta enormemente de volumen y se convierte en un torrente de agua, más o menos cargado con material detrítico. Si, por el contrario, la lluvia ha sido torrencial o si otra lluvia anterior no ha barrido una parte apreciable del material acumulado por los derrumbes en el fondo del circo glacial, el torrente se sobrecarga con detritus y se produce una verdadera «corriente de barro» («mud-flow»). A veces estas corrientes de barro llegan hasta el Río Grande alcanzando la periferia del cono: tal ocurrió en 1923, 1930 y 1945, para citar solamente los años más famosos en que «El Volcán» produjo mayores daños a la vía férrea. Mas generalmente, sin embargo, las corrientes de barro se paralizan sobre la superficie del cono sin llegar a su borde exterior y solamente llegan a la periferia torrentes de agua o de barro sumamente líquido, que se derivan secundariamente de la corriente principal.

Las dos corrientes de barro de 1943 (una producida en enero y la otra en febrero), se hallaban admirablemente conservadas cuando tuve oportunidad de visitar la zona y podían ser examinadas en detalle.

La descripción que sigue sobre las características del movimiento de avance de estas corrientes se basa, en parte, sobre la evidencia que mostraban en julio de 1943 aquellas corrientes ya consolidadas y, en parte, en las descripciones que me hicieran varios pobladores del lugar. Es interesante consignar que estas descripciones, hechas independientemente por distintas personas, coincidían aún en detalles de menor cuantía.

Una brusca y fuerte lluvia, cayendo en la falda oriental del Cerro Peñorco, y especialmente en la zona del circo glacial ya descrito, origina «derrumbes de rocas mojados» que descienden al fondo de la gran

cuenca en embudo. Los materiales detríticos sueltos acumulados en el fondo del circo, son empapados por las aguas de lluvias que se despeñan por las laderas con ímpetu salvaje y se colectan rápidamente en el fondo de la cuenca. Un barro espeso, sobrecargado con una confusa mezcla de fragmentos de rocas desde pequeños trozos a bloques enormes, se origina de esta manera y se pone inmediatamente en movimiento.

La masa se desliza por simple acción gravitacional y se encauza por la angosta garganta del canal de descarga. El río de lodo fluye a lo largo de esta garganta hasta unos 5 ó 6 kilómetros de su nacimiento, es decir hasta haber avanzado unos tres kilómetros dentro del gran cono de deyección. En esta zona, la garganta, que progresivamente ha ido perdiendo profundidad, es ya sólo una zanja honda con barrancas de 5 ó 6 metros de alto. Como el río de lodo encauzado por el canal de descarga tiene un espesor o «profundidad» de 6 ó 7 metros, al llegar a esta zona la corriente es capaz de salirse de madre, desbordándose por sobre las barrancas, y al desbordarse lateralmente, la corriente da origen a lenguas secundarias que se extienden por sobre la superficie convexa del cono, ramificándose de la corriente principal que sigue encauzada por la zanja del Arroyo del Medio.

Las corrientes de 1943 continuaron por otros tres kilómetros más allá del lugar en que se produjo el desborde y finalmente se paralizaron a una distancia de unos 2 kilómetros de la periferia del cono, sin alcanzar el Río Grande.

La corriente principal, desde el punto de desborde hasta su terminación, tiene la forma de una larga y angosta lengua. Su longitud es, como ya se ha mencionado, de unos tres kilómetros y su anchura, muy uniforme, de unos 200 metros. Ha tapado por completo a la zanja a poco de desbordarla y una inspección superficial no revela que por bajo de su línea axial se encuentre un hondo canal relleno.

Una característica notable del canal de descarga, en la zona donde comienza el desborde de las barrancas, es la presencia de albardones laterales debidos a la acumulación marginal de detritus. Las corrientes construyen estos albardones al dejar a ambos lados del canal parte del barro espeso que desborda la zanja en la región donde la corriente todavía no es capaz de originar lenguas laterales, debido a la altura aun relativamente grande de las barrancas (lám. I).

La lengua principal se halla a su vez acanalada a lo largo de su línea mediana por otra zanja, mucho menos profunda que la primera. La zanja se debe a la erosión de la corriente de barro ya inmovilizada por las aguas torrenciales que bajaron por el mismo camino, y por sobre la superficie de la corriente de barro, después de haberse paralizado su movimiento de avance.

Esta segunda zanja alcanza apenas a dos o tres metros de profundidad

máxima y prosigue hacia el Este, más allá de la terminación en punta redondeada de la corriente de lodo, perdiendo rápidamente hondura a medida que se acerca al borde exterior del cono. A una distancia aproximada de un kilómetro de la terminación lingüiforme de la corriente de lodo, otra corriente secundaria ha desbordado esta segunda zanja, pero esta vez se trata de una corriente de barro muy líquido que puede considerarse casi como una corriente de agua cargada con materiales muy finos.

El origen de esta segunda zanja y de la corriente secundaria, parece deberse a que el agua sobrante cargada con barro fino, siguió fluyendo a gran velocidad luego de paralizado el movimiento de la corriente principal y cortó, por erosión retrógrada, la segunda zanja en los materiales aun no consolidados de su lecho. Luego de correr un cierto trecho a lo largo de esta segunda zanja, la corriente de agua cargada de barro fino, desbordó las barrancas de la misma en su extremo distal, saliéndose de madre y abriéndose en angosto abanico, alcanzando finalmente el Río Grande de Jujuy. Este tipo de corriente secundaria, mucho más líquida y casi sin fragmentos de rocas, originada en la terminación de una lengua de barro, no se observa en las corrientes laterales que se ramifican de la principal, debido sin duda a la mayor viscosidad del lodo en estas últimas.

De acuerdo con las observaciones de los pobladores de la zona, que año tras año han visto descender las corrientes de barro a que aludimos, *las corrientes avanzan rítmicamente*. Según mis informantes, progresan como «si fueran de alquitrán caliente» hasta que poco a poco pierden velocidad y se detienen lentamente. Luego de unos segundos o minutos, según los casos, se mueven bruscamente hacia adelante y este reavance parece tan súbito que me fué señalado como un «salto».

Este «salto» es descrito como un brusco avance de la corriente, que recorre de 5 a 10 metros en pocos segundos. El movimiento inicial fué siempre calificado como un verdadero «salto» y varios pobladores me afirmaron independientemente que los grandes bloques son bruscamente despedidos hacia adelante al mismo tiempo que la masa se pone otra vez en movimiento y corre rápidamente por unos 100 ó 200 metros. Luego disminuye poco a poco la velocidad y la corriente se detiene una vez más. Este avance y detención rítmica se repite varias veces durante el proceso de descenso del torrente, hasta que la corriente se paraliza definitivamente. La velocidad media fué estimada por mis varios informantes entre 10 y 15 kilómetros por hora, pero no sé qué confianza puede depositarse en este dato, ya que encontré una notoria incapacidad entre los habitantes de la zona para apreciar velocidades.

Las corrientes fueron siempre descritas como turbulentas. Todos mis informantes estaban acordes en afirmar que nunca se observan grandes

bloques «flotando como corchos» sobre la superficie sino que, por el contrario, aparecen y desaparecen continuamente, saliendo a la superficie y sumergiéndose de inmediato en la corriente.

El barro en sí fué descrito como muy viscoso y espeso, pero cada corriente difiere a este respecto de las otras. Todas las crecientes de verano, aun los «torrentes de agua» son realmente, de acuerdo con mis informantes, «corrientes de barro» más o menos líquido, que llevan escaso porcentaje de pequeños trozos de rocas. Desde este tipo hasta las grandes corrientes de barro muy espeso sobrecargadas con fragmentos de todos tamaños, existe toda una gama de variaciones.

3. LOS SEDIMENTOS RESULTANTES DE LA CONSOLIDACIÓN DE LAS CORRIENTES DE BARRO

Los términos «fanglomerado» y «cenuglomerado». — En 1913 Lawson propuso el término «fanglomerado» para denotar los depósitos conglomerádicos gruesos de los conos de deyección, incluyendo en este término a todos los depósitos caracterizados por inclusiones mayores de 5 milímetros (Lawson, 1913, p. 329). La definición de Lawson fué transcrita por Holmes en su *Nomenclature of Petrology* (Holmes, 1928, p. 97) y Wentworth ha definido a los «fanglomerados» como «acumulaciones sedimentarias endurecidas más gruesas que arenas, que se presentan en los conos de deyección» (Wentworth, 1935, p. 228), mencionando que el equivalente inglés (británico) es *brockeram*.

Lawson reconoció el carácter híbrido de la palabra y se anticipó a las objeciones que podrían hacérsele al respecto. Su definición de «fanglomerados», como así también las de Holmes y Wentworth, claramente demuestra que la palabra fué creada para distinguir todas las clases de depósitos conglomerádicos de conos de deyección. Lawson no intentó aplicar este término a los sedimentos que se derivan de la consolidación de corrientes de lodo. Por el contrario, es obvio que tenía en la mente sedimentos depositados por aguas corrientes cuando escribió la siguiente frase: «A typical talus or scree, whether cemented or not, should not be included under the term to designate fan deposits («fanglomerates»). The latter are transported and laid down by *running water* and are therefore sedimentary» (mis itálicas).

Si hemos de adherirnos a la definición original de Lawson, el término «fanglomerado» debe aplicarse a todos los depósitos conglomerádicos más gruesos que arenas que se presentan en los conos de deyección y el nombre debe aplicarse indiscriminadamente tanto a los depósitos sedimentados por aguas corrientes como a aquellos derivados de corrientes de barro.

Bajo el nombre de «cenuglomerados» (del latín *coenum*, barro, y *glomerare*, juntar o unir), se propone designar aquí a aquellos depósitos que resultan de la consolidación de corrientes de barro («mud-flows»).

«Cenuglomerado» es, pues, una roca sedimentaria que se origina por la consolidación de corrientes de lodo. Estos sedimentos representan una clase especial de fanglomerados y se encuentran, por lo general, en conos de deyección interestratificados con depósitos conglomerádicos gruesos acumulados por aguas torrenciales. Se los distingue fácilmente de estos últimos por su total ausencia de estratificación.

Cuando se observa estratificación en una serie de fanglomerados, es seguro que estos depósitos fueron acumulados por aguas torrenciales y no por corrientes de barro. Como los cenuglomerados generalmente alternan con fanglomerados depositados por aguas, toda la sucesión de capas en un determinado cono de deyección puede presentar estratificación bien desarrollada, pero ha de ser obvio que en esos casos la estratificación depende exclusivamente de la presencia de capas depositadas por aguas torrenciales y de la alternancia de estratos, pero no de las camadas individuales de cenuglomerados que, en sí, no tienen estratificación alguna.

4. LOS CENUGLOMERADOS ORIGINADOS EN 1943

Las dos corrientes de barro que descendieron en el verano de 1943, podían distinguirse muy bien en julio de ese mismo año, ya que estaban por entero desprovistas de vegetación y aparecían como conspicuas lenguas largas y angostas de color gris y crema claro. Estas corrientes pueden observarse con claridad en la fotografía panorámica de la lámina III.

Forma de las corrientes. — Hemos mencionado ya que las corrientes tienen aspecto lingüiforme. Son largas y angostas y su terminación es redondeada. Los bordes frontales de las corrientes principales, sin embargo, no son simples sino que están ondulados en lóbulos lingüiformes menores, anchos y cortos.

El frente de las corrientes es, por lo general, muy inclinado, formando una especie de escalón cortado casi a pico, con altura variable entre 0,50 y 2,00 metros en las distintas corrientes. En su línea axial éstas alcanzan espesores que oscilan entre cuatro y seis metros. La superficie no es, pues, plana, sino suavemente convexa en sentido transversal.

Matrix. — La matrix de los cenuglomerados de 1943 es un barro o tierra muy fino, de color gris claro hasta crema claro, que se hallaba, ya en julio de ese año, completamente endurecido, pero que era fácilmente

deleznable con la mano. La matrix, a simple vista, parece muy homogénea.

En los cenuglomerados antiguos, originados por corrientes muy anteriores a las de 1943, la matrix presenta las mismas características, pero se halla mucho más consolidada y endurecida.

Inclusiones. — Por lo general las inclusiones son muy abundantes y la matrix escasa, pero ocasionalmente se observa lentes delgadas donde estas relaciones se invierten y aparecen unos pocos fragmentos de rocas pequeños, desparramados en matrix muy abundante.

Como inclusiones se encuentran las siguientes rocas: 1) Cuarzitas proterozoicas de color verde oscuro; 2) Areniscas cuarcíticas cámbricas de color rosado y rojizo; 3) Filitas proterozoicas de color púrpura intenso y verde obscuro, y 4) Pizarras cámbricas de color púrpura rojizo.

Las inclusiones varían, en cuanto a tamaño, desde granos pequeños hasta bloques enormes que miden más de cinco metros de diámetro y sobrepasan las 20 toneladas de peso. Bloques de 10 toneladas son bastante frecuentes.

Las inclusiones son, por lo general, angulares-subredondeadas. Con esta expresión intento decir que, por lo común, no son filosamente angulosas, sino que las puntas y aristas agudas de los fragmentos son más o menos redondeados o desgastados. Muchas de ellas, sin embargo, suelen presentar caras de rotura fresca con aristas cortantes. Las caras, en todos los casos, son ásperas y rugosas, nunca pulidas ni lisas, salvo en las pequeñas láminas de pizarras y filitas cámbricas y proterozoicas. No me fué posible encontrar ninguna inclusión bien redondeada, a excepción de dos pequeños cantos rodados que, sin duda alguna, representan formas preexistentes y provienen de la destrucción de las morenas pleistocenas ya mencionadas.

La forma de las inclusiones es extremadamente variable e irregular y en todos los casos controlada por los planos de clivaje, de estratificación y de diaclasas de las rocas primitivas. Formas con diedros entrantes son frecuentísimas, especialmente en cuarcitas.

Es obvio que las formas se deben a fragmentación de rocas y no a desgaste de los rodados por transporte. Que se produce una cierta abrasión, sin embargo, es evidente por el hecho de que los ángulos y aristas agudos y cortantes se hallan, por lo común, más o menos subredondeados. Las inclusiones son, pues, más redondeadas que los fragmentos angulosos que se observan en los taludes de derrumbes, pero mucho menos redondeadas que las que caracterizan a los depósitos fluviales distales. A este respecto, pues, se las puede comparar con las que se observan en depósitos fluviales muy proximales, con escasísima abrasión por transporte.

El desgaste, de cualquier manera, es sólo incipiente, ya que muchos bloques de areniscas cámbricas muestran «ripple-marks» y huellas de *Cruziana* en algunas de sus caras que son, evidentemente, partes de superficies de estratificación. Estas estructuras no han sido dañadas en lo más mínimo por desgaste mecánico.

Durante más de cuatro horas me empeñé en buscar bloques o rodados pulidos y estriados, tanto sobre la superficie de las corrientes como a lo largo de los cortes naturales de las numerosas zanjas y barrancos que surcan el cono. Mi búsqueda fué por completo infructuosa, pese a que en ese intervalo debo haber inspeccionado rápidamente muchos miles de fragmentos de todos tamaños. No he podido, pues, hallar ni una inclusión con caras o facetas pulidas¹ y ni una encontré que presentara ni siquiera trazas de estriación, ni aun débiles o dudosas². La total ausencia de rodados pulidos y estriados es, en este caso, muy significativa ya que, teóricamente al menos, deben existir en los fanglomerados de «El Volcán», puesto que parte del material que los constituye se deriva de la destrucción de morenas pleistocenas.

En realidad estas morenas sólo originan una ínfima parte de las inclusiones que se encuentran en los fanglomerados y como aquellos depósitos glaciales sólo contienen apenas si un dos por ciento de rodados pulidos y estriados, la proporción de éstos dentro de los sedimentos del cono ha de ser casi nula.

Las inclusiones de los cenuglomerados, pues, se caracterizan por poseer formas pre-desarrolladas, controladas por los planos de estratificación, clivaje y diaclasas de las rocas madres, modificadas apenas por desgaste incipiente de las aristas y puntas agudas. Nunca se observan rodados ni remotamente comparables a los maduramente abradidos por acción glacial ni a los redondeados y lisos producidos por desgaste fluvial.

Por último, conviene señalar que no he visto ningún bloque, ni aun entre aquellos que durante largo tiempo han estado expuestos sobre la superficie del cono, que mostrara signos de exfoliación esferoidal. En nuestro caso particular es muy posible que ello se deba, ante todo, a las

¹ Desde luego que muchos fragmentos pequeños de pizarras y filitas afectan la forma de láminas chatas, con dos caras mayores lisas y subparalelas, pero en estos casos tales caras se deben obviamente al clivaje de la roca madre y no a abrasión durante el transporte.

² A veces se observan, sin embargo, algunos bloques o fragmentos (por lo general grandes) con uno que otro raspón sobre una cara rugosa y áspera. Estos raspones, que no merecen el nombre de estrías, se observan siempre sobre caras pre-desarrolladas, es decir, sobre caras no producidas por desgaste o abrasión durante el transporte (como es el caso de rodados fluviales o glaciales), sino preexistentes al transporte, desarrolladas sin duda durante los derrumbes en el circo glacial a consecuencia de fracturación de bloques y trozos mayores.

características de las rocas que los constituyen, que no se prestan para este tipo de destrucción.

Características estructurales. — Los cenuglomerados se hallan prácticamente desprovistos de estratificación. Las inclusiones, desde gránulos pequeños hasta bloques enormes, se hallan desparramadas al azar o entremezcladas en confuso hacinamiento sin que, por otra parte, presenten señales de orientación preferida. Esta última afirmación no puede, desde luego, considerarse como definitiva hasta tanto no se realicen estudios estadísticos detallados.

En los cortes naturales de los cenuglomerados, a veces profundos como en la barranca de 15 metros de altura cortada por el Río Grande en el frente del cono, se observa no solamente una ausencia total de estratificación, sino también de selección mecánica, como puede apreciarse en la fotografía de la lámina II.

Por lo general esta ausencia de selección mecánica se observa también al recorrer la superficie de las corrientes, pero en algunos casos notables se ha observado un tipo muy especial de selección que, en apariencia, afecta sólo a la parte superficial de las mismas. En efecto, algunas corrientes laterales están formadas, por lo menos en la superficie, por una cantidad inmensa de inclusiones de tamaño pequeño a mediano, angulosas y dispuestas como formando un verdadero pavimento. A simple vista es obvio que existe un tamaño de máxima frecuencia que es, por lo general, de unos 20 a 30 centímetros de diámetro.

En algunas de estas corrientes laterales, y especialmente cerca ya de sus terminaciones lingüiformes, se observa, además, una orla o faja de bloques mayores a cada lado de las mismas. En corrientes que tienen unos 20 metros de ancho, 3 metros de espesor máximo en su línea axial y 1,5 metros en sus bordes, estas orlas que se asemejan a veredas laterales, alcanzan entre 1,5 y 2 metros de anchura. Mientras la parte central de la corriente se caracteriza por un «pavimento» de fragmentos menores (entre 20 y 30 centímetros de diámetro), las fajas laterales están compuestas por bloques que alcanzan hasta 60 y 70 centímetros. La diferencia entre parte central y orlas laterales es, pues, muy evidente.

Esta peculiar selección mecánica probablemente se debe, en última instancia, a la viscosidad del barro.

En un canal recto, la línea de máxima velocidad de una corriente de agua se halla en el centro de la misma y a un tercio de su profundidad por debajo del pelo de agua. La tendencia general de los filetes líquidos, suprimiendo la complicación del movimiento turbulento, es a moverse paralelamente a los lados del canal.

En el caso de una corriente de barro, si bien la mayor velocidad



Fig. 1. — Superficie de una corriente principal de 1943. Obsérvese la selección mecánica del material, en el cual predomina un tamaño de máxima frecuencia. Un gran bloque de 4 m de diámetro se observa, incluido en primer plano, en el corte natural de una zanja. En último plano, en el centro izquierda, se observan las laderas blanquecinas y muy inclinadas del circo glacial donde se originan las corrientes de barro,

se registra sin duda en su parte axial (de otro modo su terminación no sería lingüiforme), existe además una tendencia al movimiento desde el eje de la corriente hacia sus lados, normalmente a la dirección general de la misma. Esto se debe a que las corrientes de barro, a diferencia de las de agua, tienen superficie convexa en sentido transversal a consecuencia de la viscosidad del lodo. La tendencia al movimiento lateral se origina, pues, por simple efecto de la gravedad, ya que el barro tiende a fluir desde la línea media, más elevada, hacia los bordes de la corriente, siguiendo su convexidad y normalmente a su eje. Es evidente, por otra parte, que esta tendencia es superficial y ha de afectar solamente a la parte superior de la corriente.

La componente de las dos direcciones antedichas es una línea oblicua, desde el centro de la corriente hacia adelante y afuera. Los bloques mayores tienen tendencia a seguir esta dirección y poco a poco son llevados hasta los bordes y como allí la velocidad general disminuye rápidamente hasta anularse, son «dejados atrás» en dos largas filas laterales, mientras por el centro sigue fluyendo con gran velocidad la masa de barro. La selección mecánica se produce, pues, debido a que, en las zonas de los bordes, la velocidad no es ya suficiente para mover los grandes bloques mientras es competente para transportar trozos y fragmentos menores envueltos en la masa viscosa y plástica. Las orlas laterales de grandes bloques, pues, tienen el carácter de «sedimentos residuales» y forman verdaderos muros construídos por la propia corriente, entre los cuales sigue fluyendo el barro, cada vez con menos bloques grandes, mientras dura la alimentación del torrente.

Análisis mecánico. — El estudio de los cenuglomerados de 1943 fué completado con análisis mecánicos del material con diámetro menor de 8 milímetros, y que comprende, por consiguiente, a la matrix y a las inclusiones más pequeñas.

Se hicieron los análisis utilizándose tamices Tyler de la serie U. S. n° 8, 16, 30, 50, 100, 200 y 230, analizándose el material más fino por levigación. Se realizaron tres análisis mecánicos de este tipo, pero como los resultados de ellos fueron estrechamente concordantes, se ha tomado solamente uno como ejemplo para incluirlo en este trabajo.

El resultado de este análisis, cuyo histograma se ilustra en la figura 2, es como sigue :

Grado (mm)	porciento
8 - 4	9.06
4 - 2	3.75
2 - 1	5.62
1 - 1/2	4.37
1/2 - 1/4	7.81
1/4 - 1/8	13.12

Grado (mm)	por ciento
1/8 - 1/16	4.47
1/16 - 1/32	13.12
1/32 - 1/64	9.06
1/64 - 1/128.....	15.00
menos que 1/128.....	14.58
	<u>99.96</u>

El análisis indica, pues, una notable falta de selección mecánica en la porción fina, como era de esperar dado el origen de estos sedimentos y sus condiciones de acumulación.

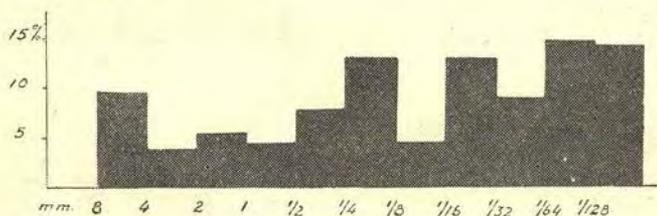


Fig. 2. — Histograma de los cenuglomerados de « El Volcán »

El examen microscópico de las porciones tamizadas, muestra que las partículas son altamente angulosas. Casi no se observan granos subangulosos y ninguno que pueda ser llamado redondeado o subredondeado. Este carácter de los gránulos puede apreciarse en la serie de fotografías del material tamizado, ilustrado en la figura 3.

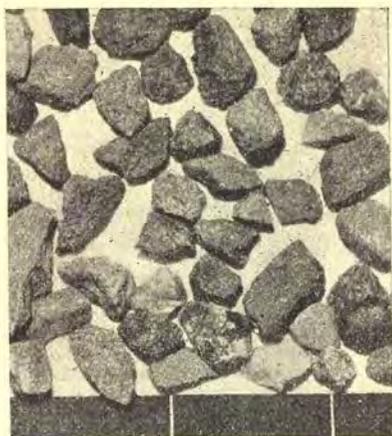
Relación entre harina de cuarzo y arcilla. — Sobre el residuo fino obtenido luego de la última levigación (grado menos que 1/128 mm), se realizó un análisis químico con el propósito de obtener la relación entre arcilla y sílice libre (en forma de polvo o harina finísima de cuarzo).

El análisis químico permitió llegar a la conclusión de que la relación entre «harina de cuarzo» y arcilla en el material más fino es de 1 a 2 o, en otras palabras, que la arcilla constituye 2/3 y el cuarzo un 1/3 del material formado solamente por la suma de ambos constituyentes.

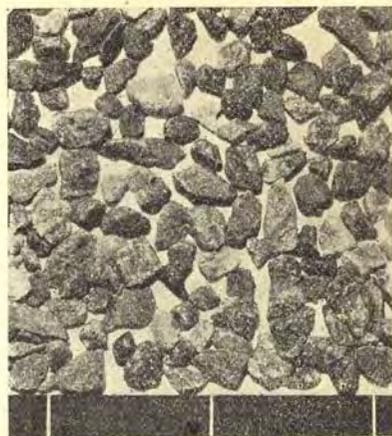
Las cifras exactas del análisis fueron, considerando siempre la suma de estos dos componentes, igual a 100 y excluyendo a los demás minerales que participan en la constitución del material:

Sílice libre	35,11 por ciento
Arcilla	64,89 »

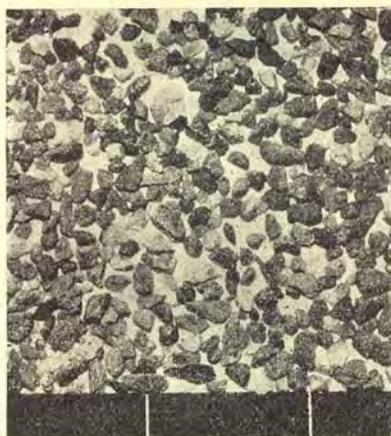
Este resultado es muy interesante, pues muestra que la matrix más fina de los cenuglomerados, difiere de las de los conglomerados glaciales en la inversión de la relación cuarzo : arcilla, que en los depósitos de origen glacial es de 2 a 1.



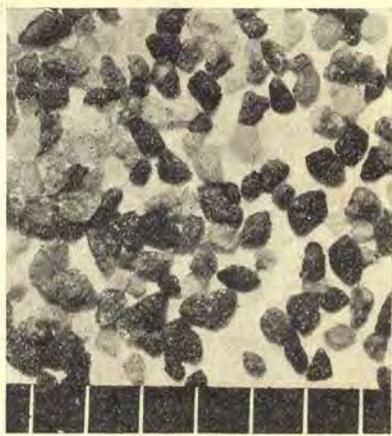
a



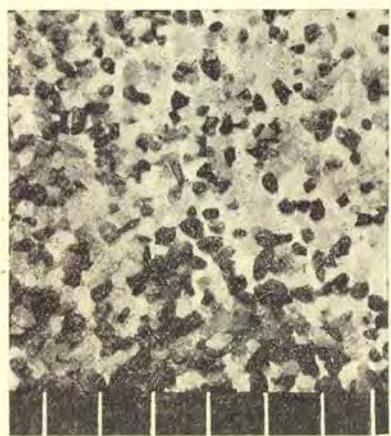
b



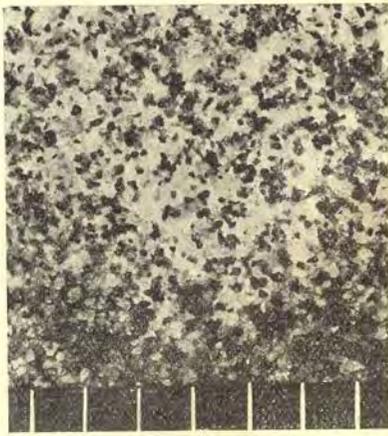
c



d



e



f

Fig. 3. — Fotografías del material tamizado en el análisis mecánico de los cenuglomerados :
a, b, c, con aumento de $\times 2$; *d, e, f*, con aumento de $\times 7$. *a*, grado $\frac{1}{2} - \frac{1}{4}$ mm ; *b*, grado $\frac{1}{4} - \frac{1}{8}$ mm ; *c*, grado $\frac{1}{8} - \frac{1}{16}$ mm ; *d*, grado $\frac{1}{16} - \frac{1}{32}$ mm ; *e*, $\frac{1}{32} - \frac{1}{64}$ mm ; *f*, $\frac{1}{64} - \frac{1}{128}$ mm.
 Obsérvese el carácter anguloso de los granos.

5. CONCLUSIONES GENERALES

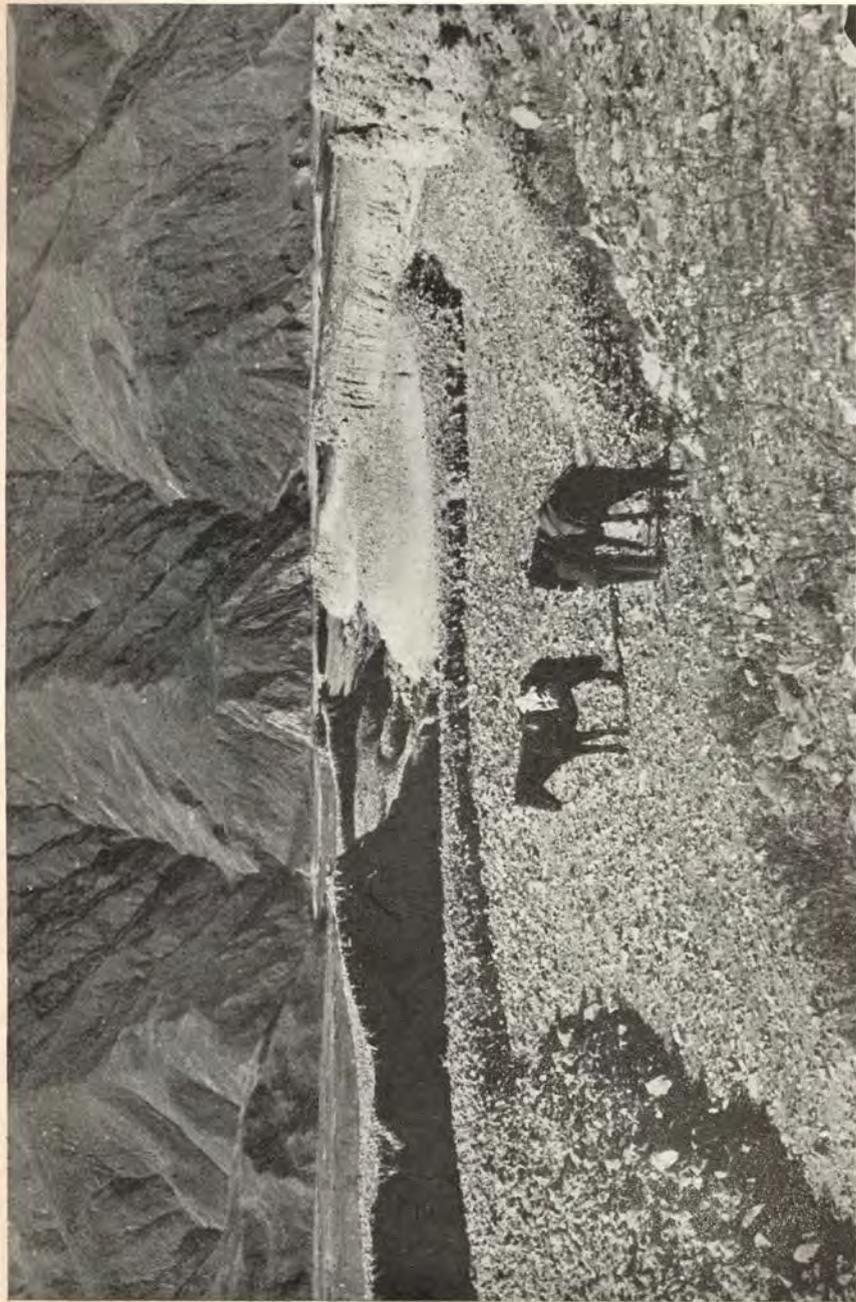
Los cenoglomerados que se acaban de describir se caracterizan por: 1) Ausencia total de estratificación, 2) Falta de selección mecánica, salvo en ciertos casos donde se la observa en la superficie de las corrientes de barro consolidadas, 3) Inclusiones de todos tamaños y de formas irregulares pre-desarrolladas, controladas por los planos de esquistosidad, estratificación y diaclasas de las rocas madres, 4) Abrasión incipiente de las inclusiones durante el transporte, que se traduce en el redondeamiento de las aristas y puntas agudas, 5) Ausencia de rodados facetados, pulidos o estriados, 6) Angulosidad de los granos pequeños, 7) Falta de selección mecánica del material fino, 7) Matrix relativamente escasa, y 8) Relación entre cuarzo y arcilla en el material más fino de la matrix igual a 1 : 2.

Summary. — This paper gives an account of the mud-flows of the Volcán alluvial fan, Quebrada de Humahuaca, Province of Jujuy (N. Argentina). After a brief description of the place and manner of origin of the flows, the 1943 mud-flows are described in detail. The term *fanglomerate* is discussed and the name *cenuglomerate* proposed to designate the sediments resulting from the consolidation of mud-flows. These sediments are shown to possess no stratification and no mechanical selection. The inclusions are stratum-and-joint controlled with just traces of incipient abrasion. The smaller granules are sharply angular and the quartz dust-clay ratio 1:2.

Buenos Aires, abril 10 de 1946.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

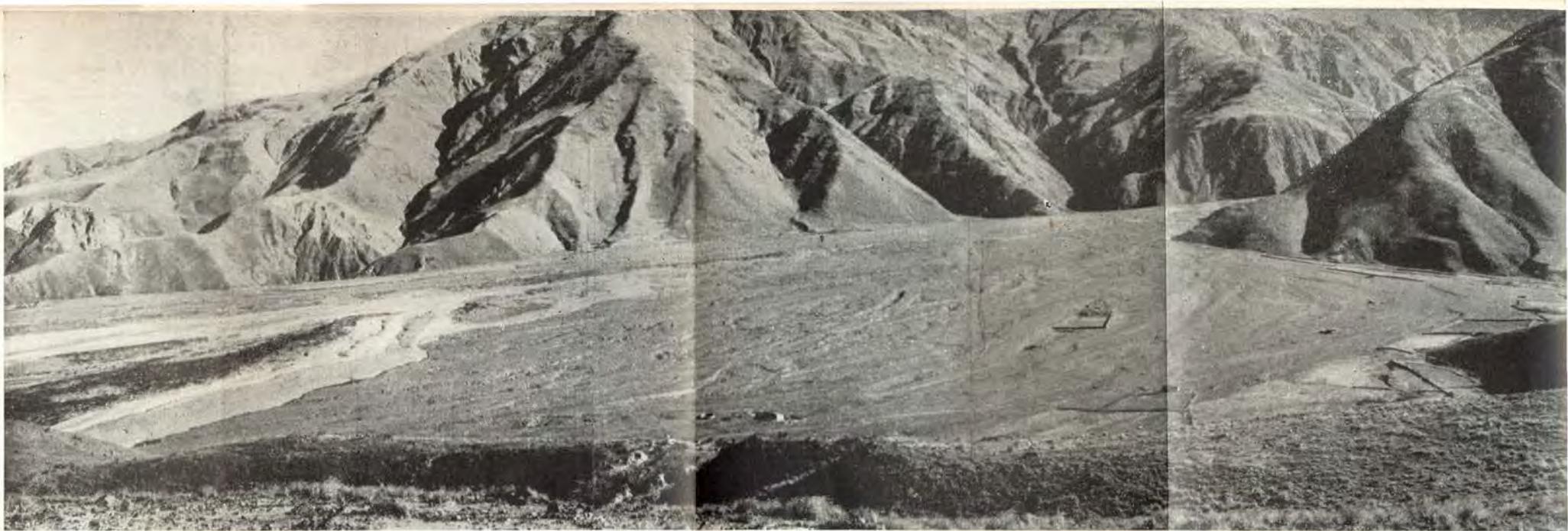
- BLACKWELDER, E. 1928. *Mud-flow as a geologic agent in semiarid mountains*. Bull. Geol. Soc. Amer, vol. 39, p. 465.
- HOLMES, A. 1928. *The nomenclature of Petrology*. Th. Murby and Co., London. 2da. edit.
- LAWSON, A. C. 1913. *Petrographic designation of alluvial-fan formations*. Univ. Calif. Publ., Dept. Geol., Bull n° 7 (n° 15), p. 329.
- PASTORE, F. y GROEBER, P. 1931. *Reconocimiento geológico del torrente de barro llamado « Volcán »*. An. Mus. Nac. Hist. Nat. vol. 37, p. 1.
- WENTWORTH, C. K. 1935. *The terminology of coarse sediments*. Nat. Research Council Bull. 98, p. 225.



Abarriones del canal de descarga en la parte proximal del cono de deyección, a unos 2,5 km al Este de su ápice



Corte natural de los cenoglomerados en la barranca del Río Grande de Jujuy, borde exterior del cono de deyección. El martillo da una idea de las proporciones de los bloques. Nótese la falta completa de estratificación y de selección mecánica y las formas angulosas e irregulares de las inclusiones.



1

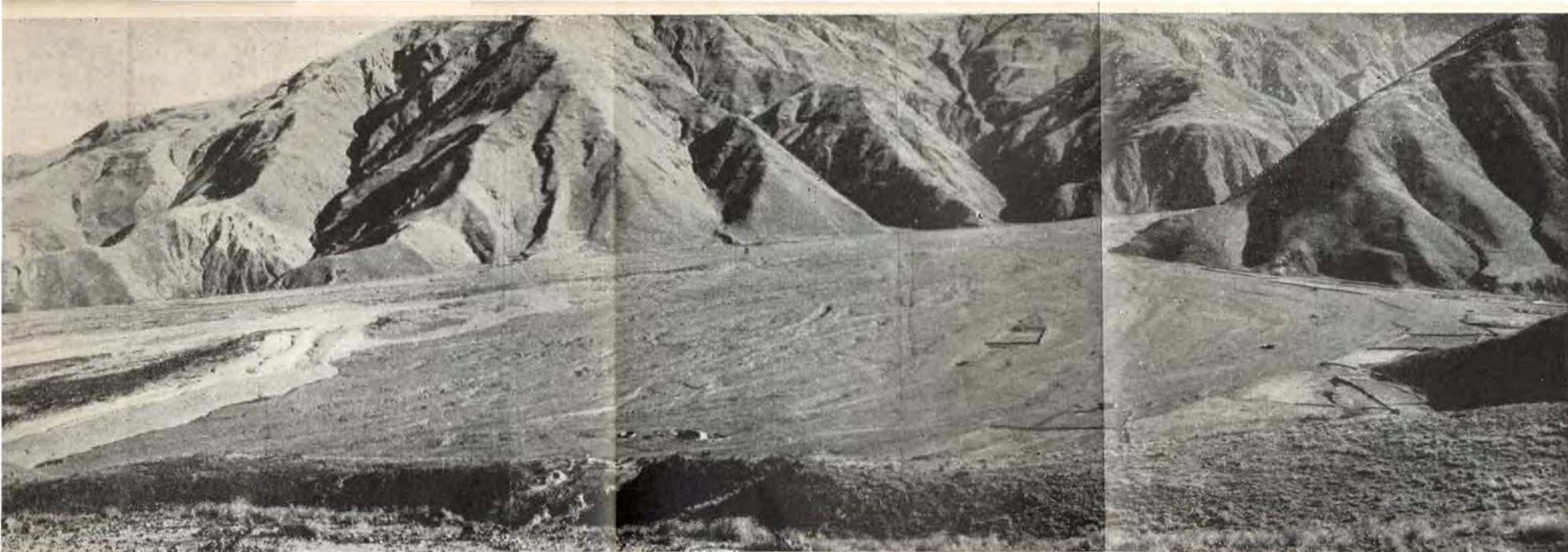


2



3

1, Parte superior y media del cono de deyección de «El Volcán», vista desde el ENE. Las corrientes de barro de 1943 se destacan en la mitad izquierda del cono como lenguas de color más claro. Obsérvese cómo estas lenguas surgen del canal de la parte central de la fotografía y cómo dan origen a ramificaciones laterales. En el extremo izquierdo de la fotografía puede apreciarse la zanja secundaria surcando la línea axial de la corriente principal. 2, Frente de una corriente lateral. Obsérvese la forma lobulada y su altura, aproximadamente de un metro. En último plano, a la derecha, pueden verse las paredes lisas, de color claro, del antiguo circo glacial donde nacen las corrientes. 3, Detalle de la corriente anterior. El martillo sirve de punto de comparación entre ambas fotografías. Obsérvese la forma irregular y angulosa de las inclusiones y el tamaño de las mismas. La superficie de la corriente se alcanza a distinguir en la mitad derecha de la fotografía y se puede apreciar que en ella los fragmentos son menores que en el frente.



1



2



3

del cono de deyección de «El Volcán», vista desde el ENE. Las corrientes de barro de 1943 se destacan en la mitad izquierda del cono como lenguas de color más claro. Obsérvese cómo estas lenguas surgen del canal de descarga en la fotografía y cómo dan origen a ramificaciones laterales. En el extremo izquierdo de la fotografía puede apreciarse la zanja secundaria surcando la línea axial de la corriente principal. 2, Frente de una corriente lateral. Obsérvese su forma aproximadamente de un metro. En último plano, a la derecha, pueden verse las paredes lisas, de color claro, del antiguo circo glacial donde nacen las corrientes. 3, Detalle de la corriente anterior. El martillo sirve de punto de referencia de la fotografía y se puede apreciar que en ella los fragmentos son mucho más pequeños.