

# 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 13<sup>th</sup> 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°53' de latitud N y 75°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 SO<sub>2</sub> 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 10<sup>6</sup> toneladas de SO<sub>2</sub>, 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

acueductos locales se abastecieran con las reservas de 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 intempestivo 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 periodo 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 periodo 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 periodo 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 periodo 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.

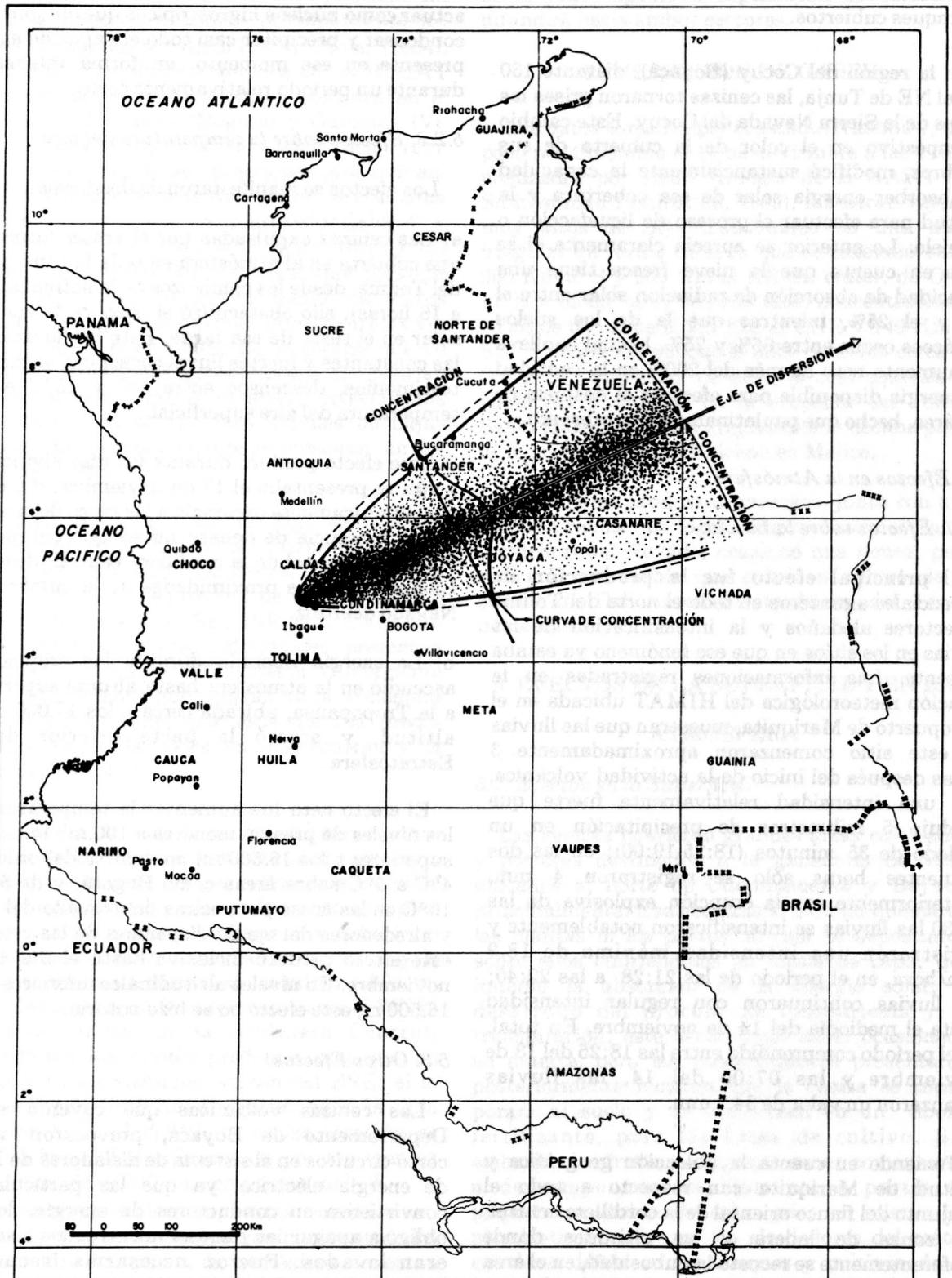
Este efecto perduró durante los días siguientes y aún se presentaba el 17 de noviembre, día en el cual prácticamente oscureció a las cinco de la tarde por la presencia de densas nubes que cubrían la vertiente oriental de la cordillera central, desde el Líbano hasta las proximidades de la cumbre del Nevado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



FIGN<sup>2</sup>1 Penacho que muestra la distribución de la ceniza originada en las erupciones del Cráter Arenas el 13 de noviembre de 1985.

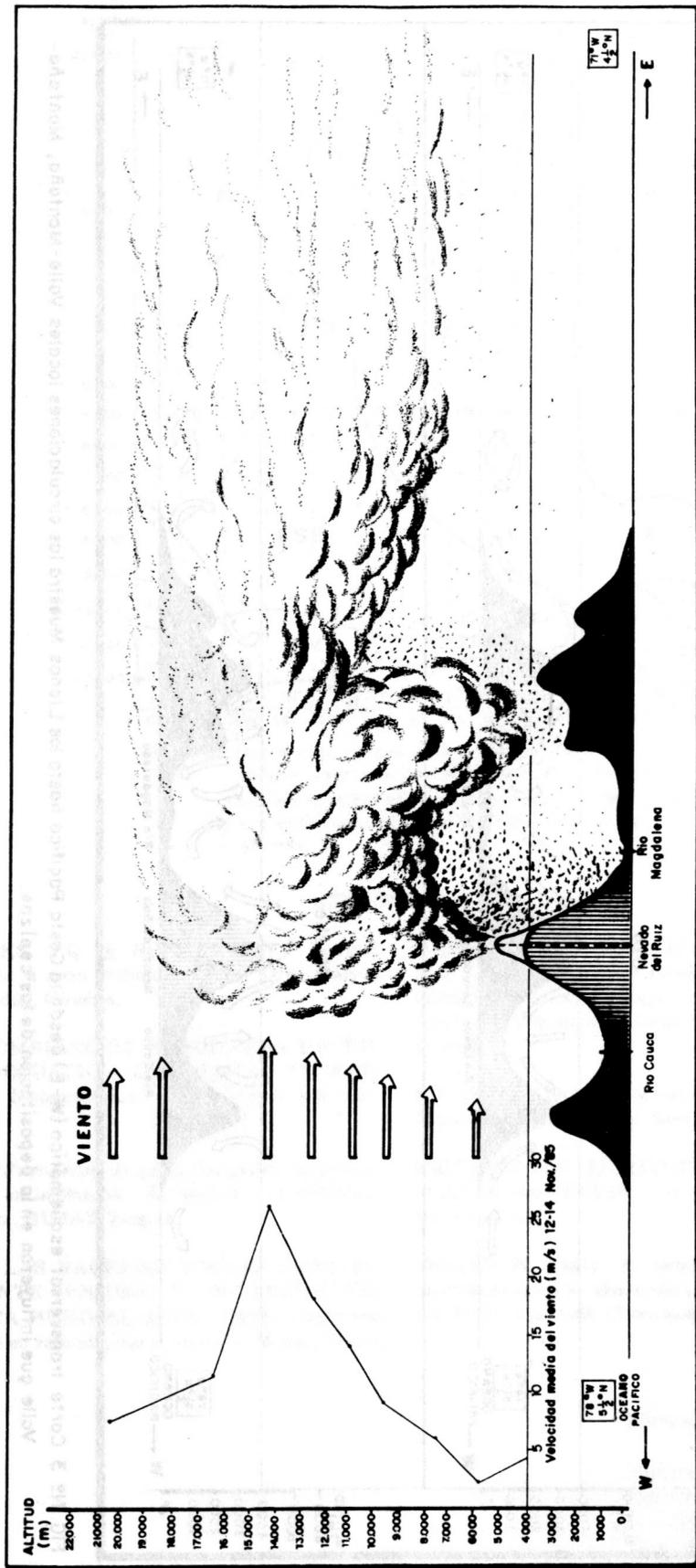


FIG. N° 2. Corte transversal esquemático (W-E) desde la costa Pacífica hasta los Llanos. Muestra el movimiento del aire que influyó en la dispersión de las cenizas (13-11-85).

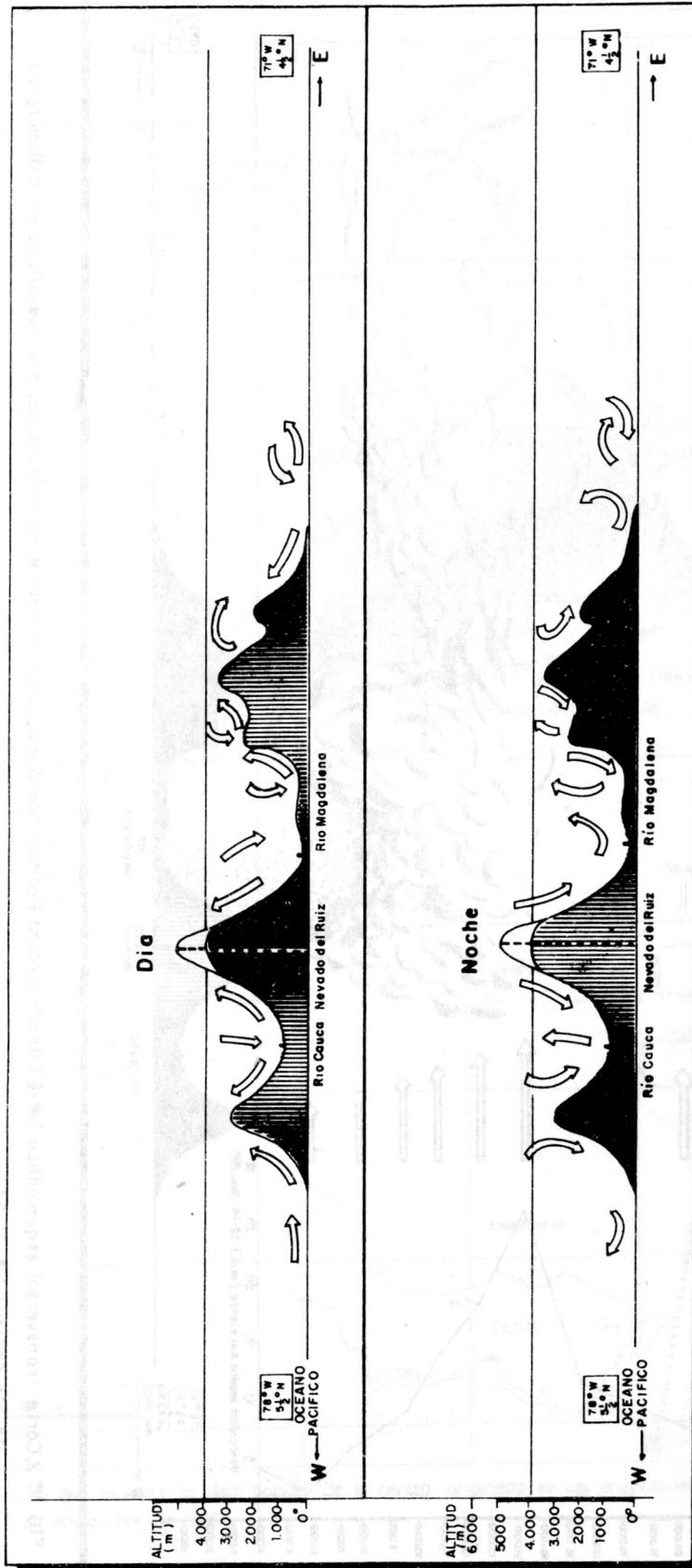


FIG. Nº 3 Corte transversal esquemático (W-E) desde la Costa Pacifica hasta los Llanos. Muestra las circulaciones locales Valle-Montaña-Valle que influyeron en la deposición de las cenizas.

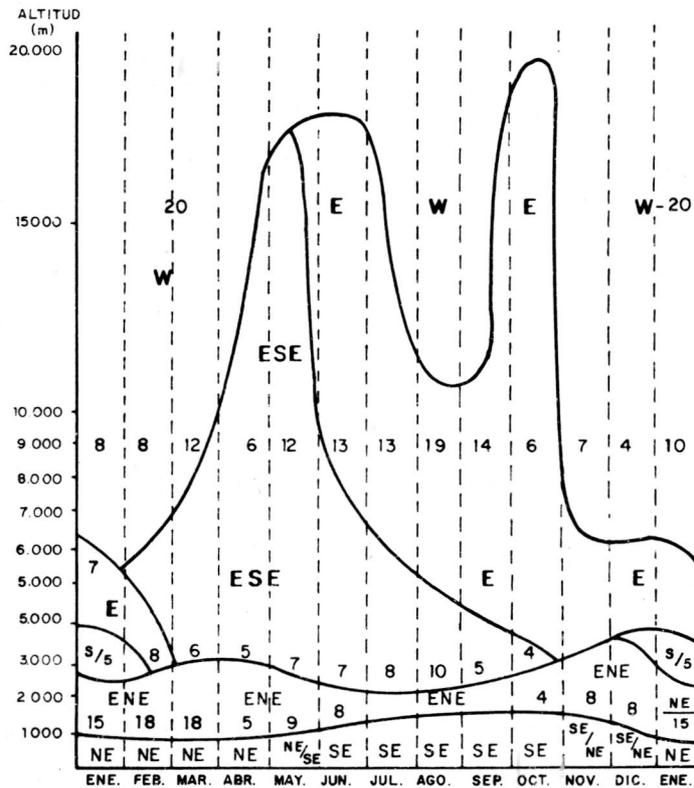


FIG. Nº 4. Distribución predominante de los vientos.  
 (Sector central de COLOMBIA, latitudes 4 A 5º N)  
 - Los números indican la velocidad media del viento en m/s  
 - Las letras indican la dirección predominante de donde viene el viento.

### 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): Ruíz 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