

Cambios temporales en algunos elementos meteorológicos, a diferentes altitudes y en la zona central de Colombia, asociados a la erupción del Volcán Nevado del Ruiz ocurrida el 13 de noviembre de 1985 y altura de la nube de ceniza

JESUS A. ESLAVA R.

Profesor Titular, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Apartado 14490, Santafé de Bogotá.

ESLAVA, J. (1993): Cambios temporales en algunos elementos meteorológicos, a diferentes altitudes y en la zona central de Colombia, asociados a la erupción del Volcán Nevado del Ruiz ocurrida el 13 de noviembre de 1985 y altura de la nube de ceniza.- Geol. Colombiana 18, pp.151-160, 6 figs., 8 Tablas, Santafé de Bogotá.

RESUMEN

Se determinan las variaciones temporales de algunos elementos meteorológicos, a diferentes altitudes y para la parte central de Colombia, ocasionadas por la erupción del volcán Nevado del Ruiz ocurrida el 13 de noviembre de 1985. También se cuantifican los cambios ocurridos en los valores que caracterizan la Tropopausa. Además, se discuten las diversas hipótesis respecto a la altitud que alcanzaron la columna y nube de ceniza formadas por los materiales piroclásticos expulsados.

ABSTRACT

Temporal variations of some meteorological elements occurred at different altitudes, are determinate for the central part of Colombia, like consequence of the eruptive event from Nevado del Ruiz volcano on November 13 of 1985. The changes of the values of the elements that characterize the tropopause are quantified. Also, are discuss the different hipótesis about the maximum rise of the both column and ashes cloud, formed by the piroclastic material from the eruptive event.

1. INTRODUCCION

En general, los autores de trabajos relacionados con los efectos de las erupciones volcánicas, además de los comentarios sobre la muerte de seres humanos, exponen sus puntos de vista respecto a la destrucción de bienes materiales, muebles e inmuebles; en ocasiones los hacen extensivos a los problemas digestivos o respiratorios, por inhalación de gases o cenizas digeridas; en algunos casos a la reducción de la visibilidad, la importancia del movimiento del aire en el transporte de las cenizas y de la lluvia en los posibles flujos de escombros.

No es fácil encontrar referencias cuantitativas (a veces ni siquiera cualitativas) que muestren la modificación de los valores de los elementos meteorológicos (elementos

del Tiempo y del Clima) ocasionada por la introducción en la atmósfera de materiales sólidos, líquidos y/o gaseosos durante un periodo de actividad volcánica.

En este trabajo se analizan los cambios, a diferentes altitudes, en la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, movimiento del aire y las características de la tropopausa en la zona central colombiana, originados en las erupciones y emanaciones del volcán Nevado del Ruiz ocurridas durante el 13 de noviembre de 1985. También se discuten las diversas hipótesis respecto a la altura que alcanzaron la columna y penacho o nube de ceniza, formadas por los materiales piroclásticos expulsados por el volcán.

Los análisis respecto a los cambios temporales que ocurrieron en las propiedades del aire superficial (insolación, temperaturas medias, mínimas y máximas, humedad relativa) y las lluvias en Colombia, durante el periodo del 11 al 16 de noviembre de 1985 (antes, en y después de la erupción del 13-11-1985) se presentan en otros trabajos similares (Eslava, 1993).

2. GENERALIDADES

Las erupciones volcánicas que emiten a la atmósfera, en poco tiempo, ingentes cantidades de gases y materiales fragmentarios, es probablemente el más dramático de los procesos de contaminación natural de la atmósfera y uno de los más importantes para los otros elementos y cuerpos que conforman la tierra. Se calcula que, en general, la actividad volcánica ha introducido en la atmósfera, polvo, ceniza y gas, en cantidades superiores a las atribuidas a todas las actividades humanas.

Esos materiales impulsados por el viento se sedimentan en áreas cercanas y alejadas del sitio de producción y pueden permanecer en la atmósfera durante un tiempo más o menos largo que depende de la capacidad de ésta para dispersarlos con su movimiento, con su interacción química y con la descontaminación que efectúa la lluvia; efectos todos que contribuyen a reducir paulatinamente la concentración de esos contaminantes. Esos productos volcánicos actúan y

producen efectos tanto sobre los seres vivientes (animales y vegetales) como sobre las construcciones, suelos y sobre las propiedades de la atmósfera misma (reducción de la visibilidad, absorción y/o difusión de la radiación solar y terrestre, alteración del balance de calor del sistema tierra-atmósfera, aumento de las lluvias, variaciones de temperatura, etc.). La fundamental importancia de la presencia de esos materiales se reconoce por su especial influencia, que ocasiona variaciones locales y transitorias del estado del tiempo y, cuando esas erupciones son de carácter masivo, cambios climáticos globales.

Las fuertes erupciones de los grandes volcanes introducen en la atmósfera grandes cantidades de materiales fragmentarios que pueden llegar hasta bien adentro de la estratosfera. En esas altitudes, los fuertes vientos transportan rápidamente la ceniza volcánica sobre casi la totalidad del globo.

Los volcanes con sus grandes erupciones catastróficas han presentado desde tiempos remotos un gran interés para el hombre. A lo largo de la historia aparecen numerosos relatos y descripciones de grandes erupciones que han causado centenares de miles de víctimas y grandes destrucciones.

Especialmente desde la erupción del Krakatoa en 1883 (pequeña isla situada entre Java y Sumatra-Indonesia), se ha reconocido plenamente la eventual función de las inyecciones estratosféricas masivas de polvo volcánico en los cambios transitorios del clima a escala local y mundial. La composición de la atmósfera también puede variar de vez en cuando, por ejemplo como consecuencia de grandes erupciones volcánicas que inyectan ceniza y gases químicamente activos en la atmósfera superior.

Algunos investigadores que han estudiado el fenómeno (P. Ej.: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA- & Organización Meteorológica Mundial -OMM-, 1978; Hardy et al., 1982), creen que tales sucesos son la causa de varios períodos de apreciable enfriamiento del clima terrestre. Sus teorías indican que el efecto neto de la penetración de partículas de tamaño submicrométrico en la estratosfera será un efecto de enfriamiento en la atmósfera más inferior (troposfera). Esta teoría está apoyada por observaciones que prueban que los niveles generales de la temperatura atmosférica descienden, casi permanente y sistemáticamente, después de inyecciones importantes de polvo volcánico, en un orden de magnitud de 0.1°C en los años inmediatamente siguientes. Gran parte de las variaciones de la temperatura media atmosférica desde 1880 pueden atribuirse a acontecimientos volcánicos y el clima relativamente caliente de la tierra observado entre 1920 y 1945 puede haber sido el resultado de la ausencia casi total de fenómenos volcánicos importantes en las tres décadas después de la erupción del Katmai en 1912.

Los diferentes investigadores indican que parece probable que a escalas cronológicas, comprendidas por lo menos desde años hasta siglos, las variaciones pasadas del clima como consecuencia de la variabilidad interna del sistema climático, han sido mayores que las variaciones causadas por el forcejero externo del sistema,

ya sea por procesos naturales o por actividades humanas. Sin embargo, mirando hacia el futuro, las actividades humanas pueden originar cambios climáticos a escala mundial cada vez más importantes. Además, en cualquier momento pueden ocurrir fenómenos naturales episódicos de forcejero (P. Ej., fuertes erupciones volcánicas) y producir perturbaciones climáticas temporales de grandes consecuencias.

3. EFECTOS DE LA ERUPCION DEL 13 DE NOVIEMBRE DE 1985 SOBRE LOS ELEMENTOS METEOROLOGICOS EN ALTITUD

Se intenta mostrar, cuantitativa y/o cualitativamente según las posibilidades, el efecto que la relativamente pequeña erupción del volcán Nevado del Ruiz del 13-11-85, ocasionó en los valores de algunos de los elementos meteorológicos básicos a diferentes altitudes.

Las cenizas y gases expulsados por el volcán Nevado del Ruiz formaron capas, en la atmósfera, de diferentes espesores y densidades que cubrieron rápidamente toda la zona ubicada al noroccidente del Tolima, desde los comienzos de la actividad y posteriormente a la mayor parte del país; ello impidió u obstaculizó el paso de la energía solar en el resto de esa tarde y días siguientes. Utilizando los registros de los datos meteorológicos disponibles se infiere que, lo anterior, ocasionó cambios temporales en los valores de los elementos meteorológicos que comenzaron, prácticamente, desde el día anterior por los gases y cenizas emitidas con anterioridad y que por efecto de los movimientos locales y generales del aire se habían acumulado en sectores ubicados al W y NW del volcán.

Las partículas sólidas y gaseosas ocasionaron una reducción notoria en el número de horas de sol por día (brillo solar); con mayor intensidad, obviamente, en las zonas cercanas al volcán y en las ubicadas por debajo del penacho de cenizas. A su vez, esa disminución, originó una correlacionada reducción de la radiación solar entrante en el sistema Tierra-Atmósfera en cada sitio y una disminución (no exactamente correlacionada, sino modificada por los factores físicos de cada sitio) de la temperatura media del aire, con un aumento de las temperaturas mínimas y una disminución de las máximas. Esas desiguales variaciones de temperatura, en unión con el aporte de vapor de agua y núcleos de condensación (ceniza) afectaron la distribución de la humedad y de los demás elementos meteorológicos, entre ellos el régimen temporal y espacial de las lluvias. Las magnitudes de algunas de esas alteraciones fueron pequeñas y, muy seguramente, no perceptibles por los métodos de medición disponibles (Eslava, 1993).

Los efectos, en altitud, se analizan utilizando los datos obtenidos en los sondeos atmosféricos realizados, por el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT), durante el mes de noviembre de 1985 y especialmente los de los días 11, 12 y 14 a 16 a las 07 HL, en la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Eldorado de Santa Fe de Bogotá y los mapas de análisis meteorológico (sinóptico) que

cubren el sector norte de América del sur y Centroamérica.

La presencia de ceniza y gases relativamente más calientes que el aire y la ubicación que finalmente tomaron esas partículas, la capa de ceniza en la parte superior de la troposfera (alrededor de 15.000 m de altitud) y los gases en la parte inferior de la estratosfera y superior de la troposfera, en unión con la energía liberada durante las erupciones y que ascendió hasta alturas superiores a la tropopausa (localizada cerca a los 16.800 m de altitud), afectaron de varias formas al aire ubicado en la parte inferior de la estratosfera y la superior de la troposfera. Aparentemente la tropopausa cumplió su objetivo de servir de barrera contenedora para el intercambio de partículas en las dos capas (troposfera y estratosfera) y las concentró a su alrededor ubicándolas según su constitución: las sólidas debajo de la tropopausa y las gaseosas debajo y encima de ella.

Las características de los cambios en los más importantes elementos meteorológicos a diferentes altitudes, se presenta a continuación.

3.1 Efectos en la temperatura del aire

Un primer efecto fue aumentar la temperatura desde el nivel de presión ubicado en los 200 hectopascales-hPa (altitudes cercanas a los 12.500 m) con un mayor efecto entre los 100 hPa (\approx 16.500 m) y 90 hPa (\approx 17.200 m), donde se encontraba la tropopausa en ese momento. El aumento logró valores del orden de 4°C a 5°C sobre áreas como Santafé de Bogotá y de 5°C a 10°C en las áreas por encima del Nevado del Ruiz y alrededores del eje de dispersión de las cenizas; este efecto perduró inclusive hasta el 16 de noviembre. En niveles altitudinales inferiores a los 12.500 m, el efecto no se hizo notorio (excepto en la superficie, en donde fue inverso) puesto que fue rápidamente neutralizado por la mezcla convectiva continua, que normalmente se presenta, del aire troposférico y un balance entre el efecto de un posible calentamiento ocasionado por esas partículas y el enfriamiento que ellas mismas ocasionaron por impedir u obstaculizar la entrada de energía (Tablas 1, 2 y Fig.1).

3.2 Efectos en la presión atmosférica

Un segundo efecto fue modificar la altitud de los niveles de presión atmosférica (Tabla 3, Fig.2). Eso se nota desde el día 14 en los niveles con presión inferior a los 100 hPa, en los días 15 y 16 el efecto se generalizó en todos los niveles sondeados. Los mayores efectos (aumentos entre 50 y 150 m de altitud) se presentaron el día 15 en niveles de presión inferior a 80 hPa (parte inferior de la estratosfera) y el día 16 en niveles de presión inferior a 100 hPa. Estos cambios significan que toda esta masa de aire sufrió una expansión por efecto retardado, no inmediato, de la actividad del volcán Nevado del Ruiz tipificada por lo ocurrido el día 13. Sin embargo los cambios mencionados (cambios de altitud para niveles de presión fijos) casi no se aprecian cuando se analizan como cambios de presión para niveles de

altitud fijos (Tabla 4, Fig.3); lo anterior, posiblemente por la exactitud en las medidas de presión que no permite apreciar sino valores de 1 hPa.

Tabla 1
Variación temporal-espacial de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) en Santafé de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11 al 16 de noviembre de 1985, 07 HL

ALTITUD (m)	VALORES DIARIOS					DIFERENCIAS		
	11	12	14	15	16	14-12	15-12	16-12
2550	10,0	8,3	9,6	11,4	10,8	-1,3	3,1	2,5
3000	8,8	8,6	8,4	10,7	9,2	-0,2	2,1	0,6
4000	5,9	3,8	3,4	4,4	4,0	-0,4	0,6	0,2
5000	-0,2	-1,2	-1,5	0,0	-1,4	-0,3	1,2	-0,2
6000	-6,2	-6,4	-6,4	-6,4	-6,7	0,0	0,0	-0,3
7000	-11,5	-12,5	-12,6	-13,2	-13,3	-0,1	-0,7	-0,8
8000	-18,1	-18,8	-19,3	-19,0	-18,2	-0,5	-0,2	0,6
9000	-25,8	-25,2	-26,3	-26,0	-25,5	-1,1	-0,8	-0,3
10000	-33,2	-33,6	-33,8	-34,3	-33,5	-0,2	-0,7	0,1
11000	-42,0	-41,4	-41,7	-42,0	-42,0	-0,3	-0,6	-0,6
12000	-50,5	-50,0	-50,0	-50,7	-49,7	0,0	-0,7	0,3
13000	-57,5	-58,2	-58,6	-59,0	-56,4	-0,4	-0,8	1,8
14000	-65,5	-66,3	-66,5	-66,6	-64,0	-0,2	-0,3	2,3
15000	-73,1	-73,5	-71,6	-71,8	-71,2	1,9	1,7	2,3
16000	-80,1	-79,5	-76,8	-77,2	-74,6	2,7	2,3	4,9
16500	-83,0	-82,3	-78,0	-79,8	-76,8	2,3	2,5	5,7
17000	-82,0	-83,0	-78,0	-79,8	-80,0	5,0	3,2	3,0
18000	-76,4	-75,0	-76,0	-70,4	-68,7	-1,0	4,6	6,3
19000	-70,4	-66,6	-67,6	-65,6	-65,5	-1,0	1,0	1,1
20000	-64,5	-66,2	-63,0	-63,4	-62,4	3,2	2,8	3,8
21000	-58,6	-62,2	-58,6	-59,6	-58,5	3,6	2,6	3,7
22000				-59,0	-55,0			
23000				-53,6	-54,8			

Tabla 2
Variación temporal-espacial de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) a diferentes niveles de presión (hPa), en Santafé de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11 al 16-Nov-1985, 07 HL

PRESIÓN (hPa)	VALORES DIARIOS					DIFERENCIAS		
	11	12	14	15	16	14-12	15-12	16-12
700	8,4	8,1	7,6	10,4	8,6	-0,5	2,3	0,5
600	3,1	2,3	1,5	3,2	1,8	-0,8	0,9	-0,5
500	-5,6	-5,3	-5,5	-6,0	-5,9	-0,2	-0,7	-0,6
400	-15,1	-15,9	-16,4	-16,4	-14,3	-0,5	-0,5	1,6
300	-30,8	-30,7	-31,1	-31,5	-30,5	-0,4	-0,8	0,2
250	-41,6	-40,8	-41,1	-41,6	-41,5	-0,3	-0,8	-0,7
200	-54,3	-53,5	-53,2	-54,5	-52,3	0,3	-1,0	1,2
150	-67,5	-68,0	-67,5	-67,6	-65,7	0,5	0,4	2,3
100	-83,2	-82,6	-78,0	-80,1	-77,3	4,6	2,5	5,3
95	-83,4	-84,4	-79,5	-81,4	-79,2	4,9	3,0	5,2
90	-81,4	-82,4	-76,8	-77,8	-81,2	5,6	4,6	1,2
70	-73,0	-73,2	-70,2	-67,8	-67,9	3,0	5,4	5,3
60	-65,4	-64,0	-65,0	-62,8	1,4	0,4	2,6	
50	-64,1	-60,2	-58,4	-61,4	3,9	5,7	2,7	

Tabla 3
Variación temporal-espacial de la altitud (m) de los niveles de presión atmosférica (hPa), en Santafé de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11 al 16-Nov-1985, 07 HL

PRESIÓN (hPa)	VALORES DIARIOS					DIFERENCIAS		
	11	12	14	15	16	14-12	15-12	16-12
750	2550	2550	2550	2570	2560	0	20	10
700	3133	3123	3131	3148	3139	8	25	16
600	4399	4383	4389	4415	4402	6	32	19
500	5855	5837	5842	5871	5859	5	34	22
400	7577	7556	7560	7586	7575	4	30	19
350	8572	8550	8551	8578	8569	1	28	19
300	9684	9665	9681	9689	9683	-4	24	18
250	10951	10933	10927	10950	10949	-6	17	16
200	12422	12411	12404	12420	12425	-7	9	14
175	13269	13257	13249	13262	13278	-8	5	21
150	14217	14201	14191	14203	14231	-10	2	30
125	15295	15276	15275	15285	15317	-1	9	41
100	16561	16546	16563	16569	16612	17	23	66
95	16840	16850	16850	16850	16930	0	0	80
90	17150	17150	17160	17180	17230	10	30	80
80	17814	17797	17843	17850	17893	46	53	96
70	18587	18574	18623	18646	18696	49	72	122
60	19430	19502	19554	19584	19636	52	82	134
50	20470	20607	20670	20709	20763	63	102	156
40				22101	22182			
				23946	24022			

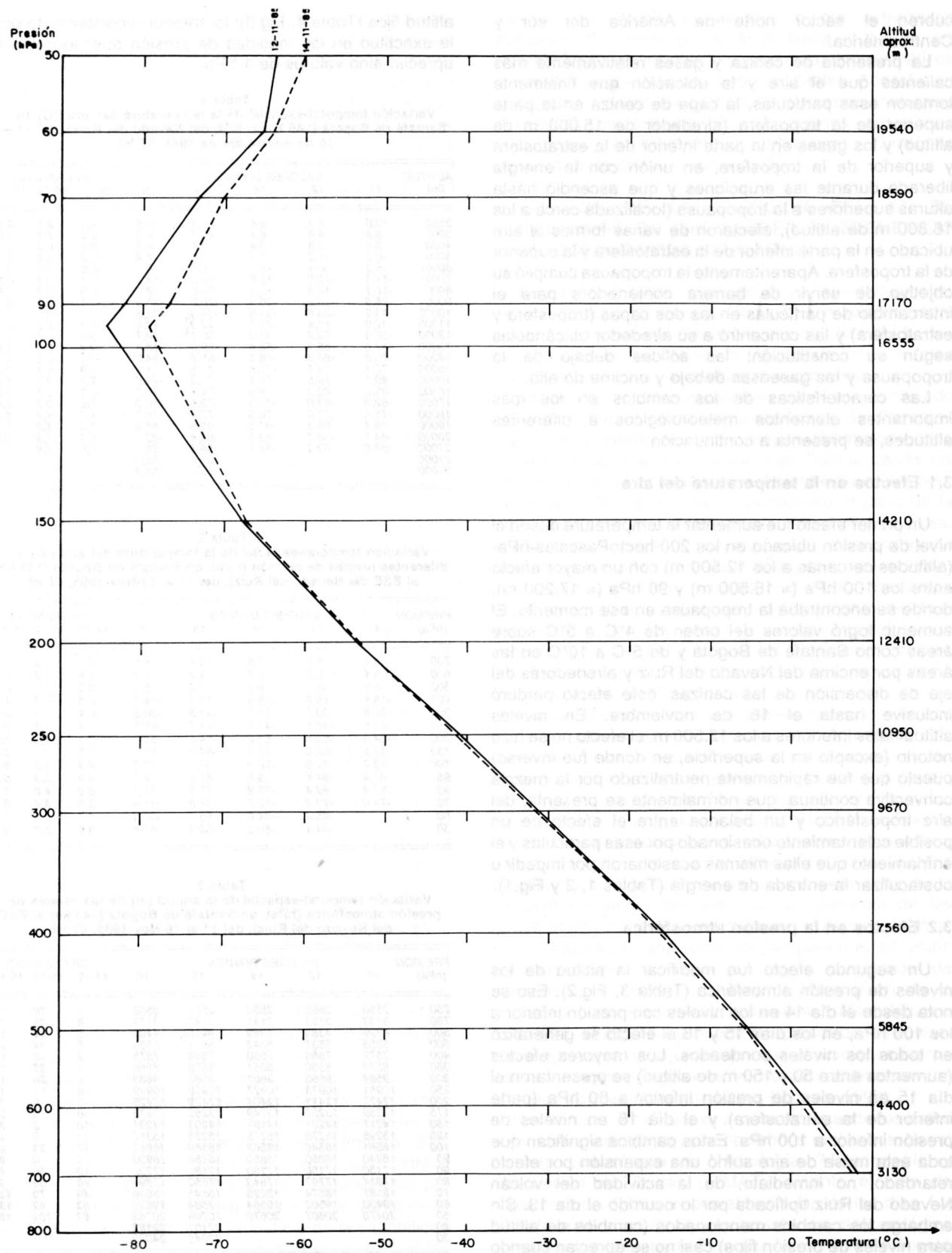


Figura 1. Temperatura del aire en Bogotá. Antes y después (12 y 14-11-85) de la erupción del VNR del 13-11-85

Tabla 4

Variación temporal-espacial de la presión atmosférica (hPa) a diferentes niveles altitudinales (m), en Santa Fe de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11 al 16-Nov-1985, 07 HL

ALTITUD (m)	VALORES DIARIOS						DIFERENCIAS
	11	12	14	15	16	14-12	
2550	751	750	750	751	750	0	1
3000	708	712	712	713	712	2	1
4000	630	628	630	632	630	2	4
5000	556	556	556	556	557	0	1
6000	492	490	490	492	492	0	2
7000	431	431	430	432	432	-1	1
8000	378	377	376	378	378	-1	1
9000	329	329	328	330	330	-1	1
10000	286	286	284	287	286	-2	1
11000	248	247	248	248	248	1	1
12000	214	214	213	214	214	-1	0
13000	183	182	182	183	183	0	1
14000	156	155	155	155	156	0	0
15000	131	131	131	131	132	0	0
16000	110	110	110	110	112	0	0
16500	101	101	101	101	102	0	0
17000	92	92	93	93	93	1	1
18000	78	78	78	78	79	0	0
19000	65	65	66	66	67	1	1
20000	54	55	56	56	57	1	1
21000	46	47	48	48	48	1	1
22000			41	41			
23000			34	35			

3.3 Efectos en la humedad relativa

En la humedad relativa del aire también se aprecian cambios notorios durante los días 14 a 16 de noviembre, cuando se comparan sus valores con los que se presentaron el día 12 (Tabla 5, Fig.4). Obviamente esos cambios son una respuesta a la abundante recepción de vapor de agua (el día 13) y al enfriamiento de todo el período (12-16 de noviembre). Los días 14 y 15 se presentaron aumentos apreciables desde 4.000 hasta 7.000 m de altitud; el día 16 los aumentos de humedad relativa también fueron importantes pero sólo ocurrieron entre 4.000 y 6.000 m; para el día 17 la situación prácticamente se había normalizado.

Tabla 5

Variación temporo-espacial de la humedad relativa (%) a diferentes niveles altitudinales (m), en Santa Fe de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11 al 16 de Nov-1985, 07 HL

ALTITUD (m)	VALORES DIARIOS						DIFERENCIAS
	11	12	14	15	16	14-12	
2550	94	100	94	90	92	-6	-10
3000	82	90	92	80	96	2	-10
4000	50	75	94	92	96	19	17
5000	36	66	95	68	96	29	2
6000	42	48	95	84	96	47	36
7000	22	52	72	84	27	20	32
8000	24	54	50	60	22	-4	6
9000	62	36	55	46	27	19	10
10000	46	43	50	46	33	7	3
11000	56	45	50	50	40	5	5

3.4 Efectos en el movimiento del aire

La dirección y velocidad del viento en diferentes niveles también sufrió cambios, en algunos casos bastante amplios. Ellos ocurrieron desde el 12 como consecuencia de la relativa alta concentración de partículas (ya mencionada) extrañas a la atmósfera y que eran capaces de influir en los valores de los elementos meteorológicos.

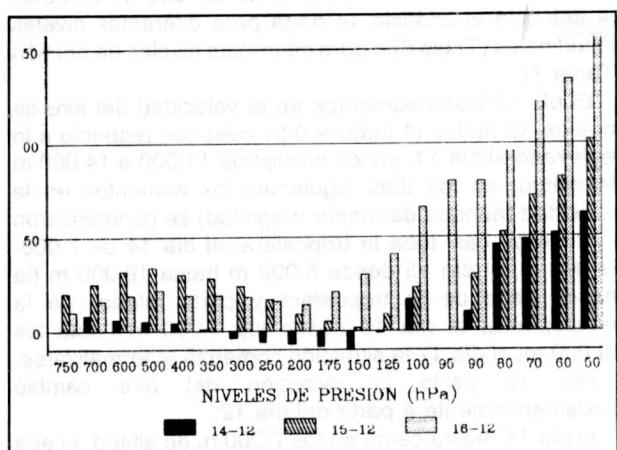


Figura 2. Diferencias entre la altitud de los niveles de presión del 12-Nov-85 y 14, 15 y 16, en Bogotá

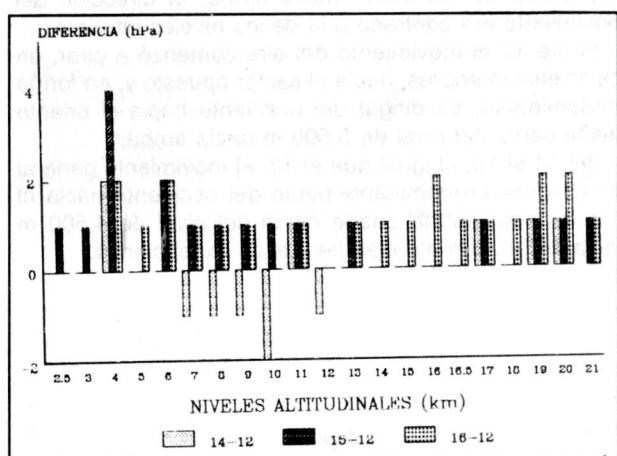


Figura 3. Diferencias entre la presión de los niveles de altitud del 12-Nov-85 y 14, 15 y 16, en Bogotá

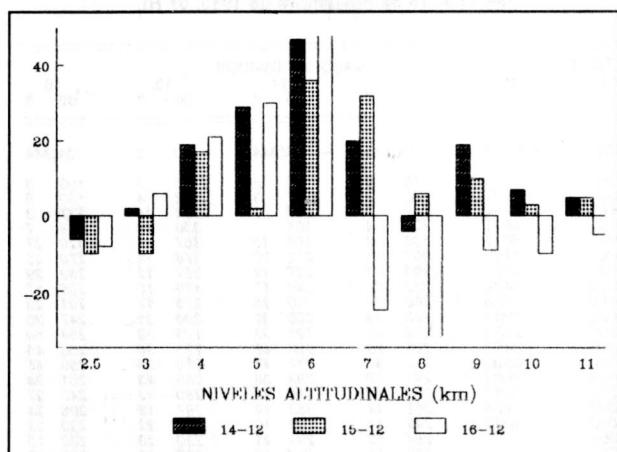


Figura 4. Diferencias entre la humedad relativa de los niveles de altitud del 12-Nov-85 y 14, 15 y 16, en Bogotá

Los efectos sobre el movimiento del aire se aprecian ya sea que el análisis se haga para diferentes niveles altitudinales (Tabla 6) o para diferentes niveles de presión (Tabla 7).

El día 12 hubo aumentos en la velocidad del aire de más de 30 nudos (1 nudo = 0.51 m/s) con respecto a lo registrado el día 11, en los niveles de 11.000 a 14.000 m de altitud; en los días siguientes los aumentos en la velocidad (aunque de menor magnitud) se generalizaron y cubrieron casi toda la troposfera: el día 14 de 7.000-17.000 m; el día 15 desde 5.000 m hasta 19.000 m (la mayor parte de la troposfera y parte inferior de la estratosfera); el día 16 desde los 7.000 m hasta los 19.000 m; el día 17 la situación comenzó a normalizarse.

Por su parte la dirección del aire cambió fundamentalmente a partir del día 12:

- el día 11, hasta cerca de los 7.000 m de altitud, el aire provenía del sector NE y E, por lo cual todo lo emitido por el volcán Nevado del Ruiz se dirigía hacia el sector occidental; de los 8.000 hacia arriba, la dirección del movimiento era contraria a la de los niveles inferiores;
- el día 12 el movimiento del aire comenzó a girar, en los niveles inferiores, hacia el sector opuesto y, en forma predominante, se dirigía del occidente hacia el oriente desde cerca del nivel de 5.500 m hacia arriba;
- del 14 al 16, al igual que el 12, el movimiento general del aire era predominantemente del occidente hacia el oriente, pero cubría desde cerca del nivel de 4.500 m hacia arriba, con algunas pequeñas excepciones.

Tabla 6

Variación temporal-espacial de la dirección (dd en grados) y velocidad (ff en nudos) del viento a diferentes niveles altitudinales (m), en Santafé de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11 al 16 de noviembre de 1985, 07 HL

ALTITUD (m)	VALORES DIARIOS					
	11 dd ff	12 dd ff	14 dd ff	15 dd ff	16 dd ff	
2550	CALMA	CALMA	CALMA	30 2	CALMA	
3000	80 6	76 9	90 8	136 3	100 3	
4000	72 13	100 9	81 3	152 14	130 6	
5000	55 8	149 7	236 3	262 14	237 3	
6000	58 12	324 4	357 7	350 14	358 7	
7000	60 5	330 6	295 10	357 11	320 27	
8000	246 9	307 11	272 20	276 18	270 23	
9000	248 1	290 11	287 19	252 12	253 29	
10000	243 0	252 25	248 17	179 10	206 17	
11000	267 6	240 39	220 18	205 17	201 22	
12000	280 4	243 38	200 30	200 31	247 35	
13000	263 2	229 46	195 33	175 38	254 50	
14000	246 3	225 53	220 47	228 30	258 46	
15000	250 3	232 50	254 47	258 35	259 45	
16000	262 3	244 29	293 38	265 43	251 34	
16500	265 5	284 18	310 27	280 32	240 27	
17000	312 8	266 14	352 16	287 18	206 24	
18000	300 3	249 18	130 10	198 22	230 23	
19000	264 12	239 21	230 20	280 15		
20000	272 11	218 15	267 13	288 7		
21000	238 16		236 15	264 12		
22000			240 25	267 22		
23000			255 24	271 26		

Tabla 7
Variación temporal-espacial de la dirección (dd en grados) y velocidad (ff en nudos) del viento a diferentes niveles de presión atmosférica (hPa), en Santafé de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11-16 de Nov-1985, 07 HL

PRESIÓN (hPa)	VALORES DIARIOS					
	11 dd ff	12 dd ff	14 dd ff	15 dd ff	16 dd ff	
SUPERF	CALMA	CALMA	CALMA	30 2	CALMA	
700	70 8	80 9	95 10	170 3	115 4	
500	55 13	285 2	330 7	355 15	360 5	
400	80 2	310 8	285 17	295 13	280 24	
300	250 11	265 14	260 22	205 9	210 16	
250	265 6	240 39	220 16	210 10	205 21	
200	285 5	240 39	205 32	190 34	260 42	
150	240 28	225 53	225 49	235 30	260 47	
100	265 15	265 18	310 24	285 36	230 26	
70		255 18	235 17	215 21	270 16	
50		230 14		245 14	260 9	
32				270 14		

3.5 Efectos en la Tropopausa

Por lo que respecta a la tropopausa, los elementos indicativos de su presencia y ubicación muestran cambios significativos (Tabla 8):

- la temperatura del aire aumentó 4.9°C el día 14 respecto del 12 y 3.9°C con respecto al 13, los días 15 y 16 presentó cambios del orden de 3°C y 2°C con respecto a lo ocurrido los días 12 y 11, respectivamente; esto muestra un aumento paulatino de la temperatura del 11 al 14, una estabilización durante el 15 y 16 y, finalmente un regreso a los niveles térmicos normales;
- la altitud de la tropopausa aumentó 80 m entre el día 12 y el 14 y el día 16 presentó un aumento altitudinal mayor, pasó de 16.850 m a 17.230 m;
- la dirección y fuerza del viento en este nivel presentó algunos pequeños cambios, no significativos.

Tabla 8

Valores de algunos elementos indicativos de la Tropopausa, en Santafé de Bogotá (145 km al ESE del Nevado del Ruiz), del 11-16 de Nov-1985, 07 HL

DIA	PRESIÓN (hPa)	ALTITUD (m)	TEMPERATURA (°C)	VIENTO dd	ff
11	96	16.780	-83.4		
12	96	16.770	-84.4		
14	95	16.850	-79.5	335	17
15	95	16.850	-81.4	290	25
16	90	17.230	-81.3		

4. ALTURA DE LA NUBE DE CENIZA

Uno de los puntos sobre los cuales hay divergencia y causa confusión, aún cuando no se haya debatido la situación, es la altura a la cual llegó la ceniza o nube de ceniza (algunos autores la llaman columna de erupción o columna explosiva). La importancia de este asunto radica entre otras muchas cosas-, p.ej.: en el hecho de que muchos autores con una supuesta altura de la columna de erupción, calcularon la cantidad de materia y energía eyectada por el volcán Nevado del Ruiz el día de la

erupción; si el dato de la altura alcanzada por la ceniza no es correcto, esos cálculos también resultarían incorrectos.

Previo al análisis de la situación, es conveniente diferenciar los tres tipos de nubes que se hicieron presentes en el evento:

- Nubes de agua o del "tiempo"; es la reunión de pequeñísimas partículas de agua y/o hielo, en número suficientemente grande como para que formen un conjunto visible. Se forman por ascenso y enfriamiento de masas de aire húmedas; el tope de las nubes más altas lo marca el límite de la troposfera (capa de la atmósfera más cercana a la superficie de la tierra) con la estratosfera (tropopausa). En la estratosfera no se da este tipo de nubes.

- Nube de gases; la nube formada, principalmente, por el SO_2 eyectado por el volcán Nevado del Ruiz. Esta fue detectada por el Satélite Nimbus 7 y analizada por Arlin Krueger. Los datos tomados por el satélite (obtenidos por el instrumento TOMS-Total Ozone Mapping Spectrometer), que pasó por Colombia el 14 de noviembre de 1985 a las 11:51 HL, analizados por Arlin Krueger de la NASA (ver Smithsonian Institution, 1985), muestran valores muy altos de SO_2 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° de latitud norte y de 65° a 77° de longitud al W de Greenwich (Fig.5), con altas concentraciones en sitios ubicados a 350 y 500 km al ENE y NE (Sierra Nevada del Cocuy, Cúcuta) y entre 100 y 200 km al SW y SSW (Cali). Krueger estimó preliminarmente que la nube contenía cerca de 500.000 toneladas de SO_2 .

Los gases de dióxido de azufre sí lograron penetrar la barrera de la tropopausa e introducirse en la estratosfera, gracias seguramente a la altísima temperatura y empuje con el que salieron del cráter y, por supuesto, a la alta energía cinética que poseían y que les dio la característica gaseosa. El hecho de que parte del SO_2 y otros gases hayan logrado penetrar en la estratosfera posibilitó que ellos se distribuyeran también en la zona occidental, puesto que los vientos en la estratosfera eran predominantemente del E. Esta nube, por ser exclusivamente gaseosa, no pudo ser visualizada por los instrumentos convencionales de los satélites meteorológicos que no están diseñados para fotografiar gases.

- Nube de ceniza; la nube, o penacho, formada principalmente por el material fragmentario (sólido) expulsado por el volcán, que se muestra en la Fig.6 y que fue descrita por Eslava (1985, 1986, 1987).

Los datos evaluados, en unión con la altura y movimiento de la nube de gases detectada por el Nimbus 7 y las nubes de agua indicadas por los satélites meteorológicos, expresan claramente que a la alta troposfera y a la estratosfera la nube de cenizas no logró llegar, sólo llegó la nube de gases.

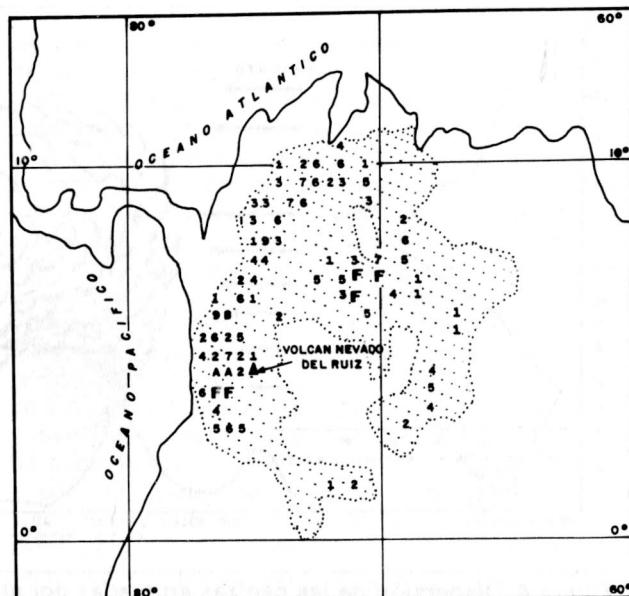


Figura 5. Distribución del SO_2 eyectado en la erupción del VNR del 13-11-85, determinada a partir de los datos del instrumento TOMS del satélite NIMBUS 7 tomados el 14-11-85 a las 11:51 HL. Se suprimieron valores inferiores a 10 milimétrosfera-cm (matm-cm), pero el área total cubierta por el SO_2 y con valores de ozono perturbado está sombreada. Cada número o letra representa el valor promedio de SO_2 en un área alrededor de 50 km: 1=11-15 matm-cm=101-150 ppm-m; 2=16-20 matm-cm=151-200 ppm-m, etc; 9 es seguido de A, B, C, etc. (elaborada por A Krueger, tomada de Smithsonian Institution, 1985)

Una pequeña parte de los productos gaseosos junto con una finísima ceniza que logró dirigirse, por la parte superior de la troposfera, hacia el flanco occidental del Nevado, ocasionó una densa pero momentánea niebla que descendió lentamente y cubrió el centro de Cali al mediodía del 14 de noviembre; esa niebla se disolvió paulatinamente sin dejar rastros ni causar mayores problemas, a excepción de escozor en la garganta y cierta piquiña en los ojos de algunos de los residentes. -

A continuación se citan y comentan apreciaciones de algunos autores:

Citas

a) Naranjo et al. (1986) afirman: i) citando a Carey & Sparks (1986) "la dispersión de la tefra de una columna de erupción Pliniana es sensitiva a la altura de la columna y las isopletas del diámetro de las tefras pueden ser usadas para calcular la altura de la columna de erupción"; ii) "Con base en la geometría de la isopleta para líticos de 3.2 cm de diámetro se estimó una altura máxima para la columna de erupción de 31 km.snm en el momento del climax de ésta, indicando inyección de tefra en la estratosfera. Estos resultados están sustentados por la aparición de una capa de aerosol entre los km 24 y 29 por encima del Mauna Loa (USA) en Noviembre 26, y por la detección realizada por el satélite Nimbus 7 de una pluma estratosférica dirigida hacia el oeste";

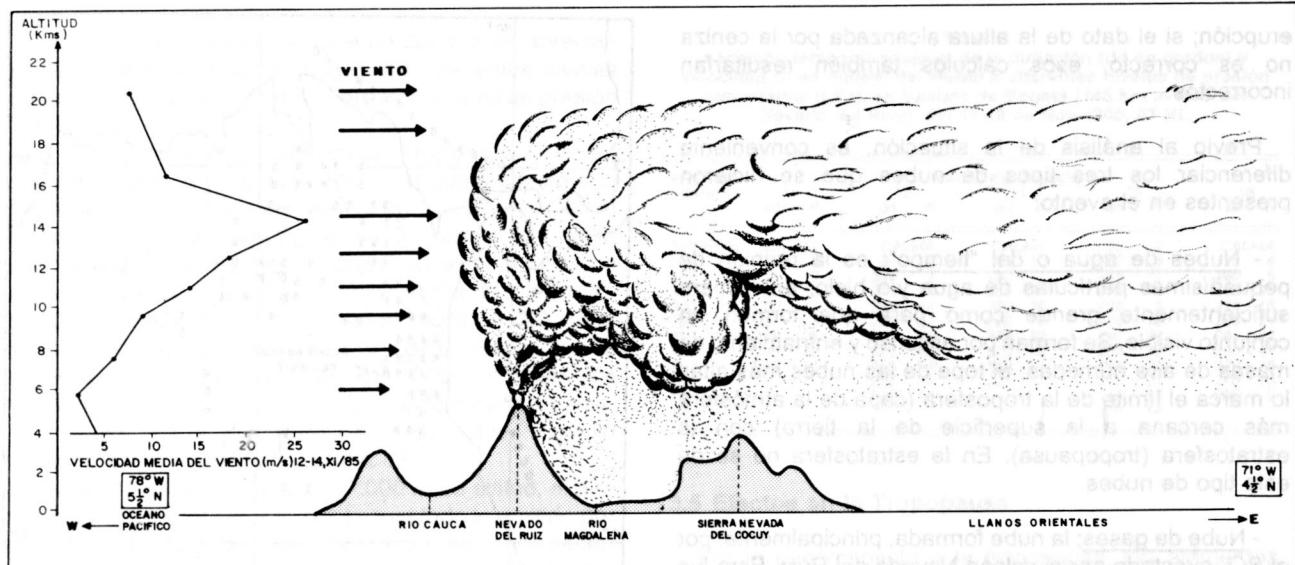


Figura 6. Dispersión de las cenizas eruptadas por el volcán Nevado del Ruiz el 13-Nov-85 y movimiento del aire que influyó

b) Rojas & Borrero (1986), citando a Carey et al.(1986b), informan que la nube pliniana alcanza su máxima altura a los 25-27 kms;

c) Torres-Bello (1988) afirma: i) "Se estima que la intensidad de la erupción fue de tal magnitud que la columna explosiva alcanzó una altura de 30 km lo que indica que gran cantidad de material sólido y gaseoso fue inyectado en la estratosfera"; ii) "En los días y meses subsiguientes se detectó por medio de diferentes instrumentos y métodos de observación (satélite, radiosondas y Lidar especialmente) la formación en la estratosfera de una capa de aerosoles plenamente identificada como resultado de la explosión en Colombia"; iii) "El satélite de la NASA Nimbus 7 de órbita polar cruzó sobre el nevado del Ruiz el día 14 de Noviembre de 1985 a las 11:51 (hora local). Las observaciones efectuadas por el instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) de este satélite permitieron detectar la presencia de una gigantesca nube constituida por más de 500 mil toneladas métricas de dióxido de azufre la cual cubría un área de 650 mil kilómetros cuadrados y se extendía hacia el noreste y suroeste del volcán"; iv) "Debido a la densa nubosidad presente en el momento de la erupción, esta no fue detectada por los satélites meteorológicos de NOAA".

Este caso se aplica una relación establecida para una erupción de un volcán, en particular, para establecer una propiedad o característica de una erupción de otro volcán;

b) Se asegura que hubo inyección de tefra o material sólido en la estratosfera y se sustenta dicha afirmación con argumentos aparentemente adecuados. Sin embargo, es necesario recalcar que la "pluma estratosférica" o "gigantesca nube" detectada por el satélite NIMBUS 7 es la nube irregular en forma de arco, cuyo análisis efectuado por Arlin Krueger (publicado por Smithsonian Institution, 1985), determinó que estaba compuesta de dióxido de azufre (gas, no sólido), el cual -a su vez- es el responsable de la aparición de la capa de aerosol cuya formación fue detectada entre 24 y 29 km de altitud en Mauna Loa el 26 de noviembre de 1985.

c) El hecho de que la densa nubosidad (nubes de agua) presente en el momento de la erupción impidiera que los satélites meteorológicos de la NOAA detectaran la existencia de las otras nubes, implica que esas otras nubes estaban ubicadas a altitudes inferiores a la que se encontraba esa "densa nubosidad". Puesto que las nubes de agua sólo se forman en la troposfera y su mayor altitud puede llegar hasta la tropopausa, implica que la nube de ceniza se encontraba por debajo de los 17.000 m puesto que la tropopausa, en Colombia y en esos momentos, oscilaba cerca a los 17 km.

d) La nube de gases, por su misma composición gaseosa y cualquiera que fuera su altitud, no es detectada por los instrumentos convencionales de los satélites meteorológicos que están diseñados para fotografiar nubes de agua y eventualmente nubes de productos líquidos y/o sólidos.

e) De existir la fuerza necesaria para que los productos sólidos atravesaran la barrera de la tropopausa, ella habría destruido totalmente los aviones que iban a 26.000 pies de altitud. Sin embargo, la energía total desprendida representó tan sólo el 1-3% de la desprendida en

Comentarios

a) La mayor parte de Geólogos, Geofísicos y, en general, Vulcanólogos, están de acuerdo en que las muy variadas y diferentes relaciones e interrelaciones entre los varios elementos y propiedades o características son tan específicas en cada volcán y en cada erupción que es - hasta el momento- imposible dar a todos los volcanes o a un grupo o a dos de ellos o inclusive a dos erupciones del mismo volcán, una fórmula o modelo común que pueda caracterizar esos elementos o propiedades. En

erupciones importantes de otros volcanes (Coral-Gómez, 1986); además, la nube de ceniza se hubiera ubicado por encima de las nubes de agua y habría podido observarse por los satélites meteorológicos.

5. CONCLUSIONES

Los análisis efectuados permitieron establecer las siguientes características generales relativas al comportamiento de los elementos meteorológicos, a diferentes altitudes y en la zona central colombiana, frente a la inyección en la atmósfera de productos sólidos, líquidos y gaseosos efectuada por el volcán del Ruiz.

La altura de la columna de erupción varía con el tipo de erupción y otras circunstancias, pero el 13-Nov-1985 la columna conformada por los productos sólidos emitidos por el volcán Nevado del Ruiz sólo cubrió la troposfera, no atravesó la tropopausa y no penetró en la estratosfera. En este evento la columna de ceniza alcanzó una altitud máxima de 17 km y el eje del penacho se ubicó aproximadamente a 14.5 km y se orientó hacia el ENE. Las partículas gaseosas (SO_2 principalmente, excepto el vapor de agua) se introdujeron en la troposfera y en la estratosfera, formaron una nube en forma de arco (condicionada por las diferentes direcciones que predominaron desde el día 11 a diferentes altitudes) que cubrió la mayor parte de Colombia.

Las partículas sólidas y gaseosas se hicieron presentes en casi toda Colombia y formaron capas en la atmósfera, de diferentes espesores y densidades; ello impidió u obstruyó el paso de la energía solar y ocasionó cambios temporales en los valores de los elementos meteorológicos, en el aire superficial y a diferentes altitudes. Esos cambios comenzaron desde el día anterior, por efecto de los gases y cenizas emitidas con anterioridad y que por los movimientos locales y generales del aire se habían acumulado en sectores ubicados al W y NW del volcán. En general, los efectos, perduraron hasta el día 16.

Los efectos en el aire no ubicado en las cercanías de la superficie terrestre pueden resumirse así:

- aumento de la temperatura ($4^{\circ}C$ a $5^{\circ}C$ sobre áreas como Santafé de Bogotá y $5^{\circ}C$ a $10^{\circ}C$ en las áreas por encima del Nevado del Ruiz y alrededores del eje de dispersión de las cenizas) desde altitudes cercanas a los 12.500 m, con un mayor efecto entre 16.500 m y 17.200 m;

- modificación de la altitud de los niveles de presión atmosférica (expansión de la masa de aire). Esto se nota desde el día 14 en los niveles con presión inferior a los 100 hPa, en los días 15 y 16 el efecto se generalizó en todos los niveles sondeados. Los mayores efectos (aumentos entre 50 y 150 m de altitud) se presentaron el día 15 en niveles de presión inferior a 80 hPa (parte inferior de la estratosfera) y el día 16 en niveles de presión inferior a 100 hPa;

- aumentos notorios en la humedad relativa del aire durante los días 14 a 16 de noviembre, por la abundante recepción de vapor de agua (el día 13) y el enfriamiento

de todo el período (12-16 de noviembre). Los días 14 y 15 se presentaron aumentos apreciables de 4.000 a 7.000 m de altitud; el día 16 los aumentos también fueron importantes pero sólo ocurrieron entre 4.000 y 6.000 m;

- la dirección y velocidad del viento en diferentes niveles también sufrió cambios, en algunos casos bastante amplios. Esos cambios ocurrieron desde el día 12, con aumentos en la velocidad del aire de más de 30 nudos (15.3 m/s) con respecto a lo registrado el día 11, en los niveles de 11.000 a 14.000 m de altitud; en los días siguientes los aumentos en la velocidad (aunque de menor magnitud) se generalizaron y cubrieron casi toda la troposfera: el día 14, de 7.000 a 17.000 m; el día 15, de 5.000 m a 19.000 m (la mayor parte de la troposfera y parte inferior de la estratosfera); el día 16, de 7.000 hasta los 19.000 m;

- por su parte, la dirección del aire cambió fundamentalmente a partir del día 12: a) el día 11, hasta cerca de los 7.000 m de altitud, el aire provenía del sector NE y E, por lo cual todo lo emitido por el volcán Nevado del Ruiz se dirigía hacia el sector occidental; de los 8.000 m hacia arriba, la dirección del movimiento era contraria a la de los niveles inferiores; b) el día 12, el movimiento del aire comenzó a girar, en los niveles inferiores, hacia el sector opuesto y desde cerca del nivel de 5.500 m hacia arriba, se dirigía del occidente hacia el oriente; c) del 14 al 16 de noviembre, al igual que el 12, el movimiento general del aire era predominantemente del occidente hacia el oriente, pero cubría desde cerca de 4.500 m hacia arriba, con algunas pequeñas excepciones;

- Por lo que respecta al nivel de la tropopausa, los cambios también fueron significativos: a) la temperatura del aire aumentó $4.9^{\circ}C$ el día 14 respecto del día 12 y $3.9^{\circ}C$ con respecto al día 13, los días 15 y 16 la temperatura presentó cambios del orden de $3^{\circ}C$ y $2^{\circ}C$ con respecto a lo ocurrido los días 12 y 11, respectivamente; ésto muestra un aumento paulatino de la temperatura del 11 al 14, una estabilización durante el 15 y 16 y, finalmente un regreso a los niveles térmicos normales; b) la altitud de la tropopausa aumentó 80 m entre el día 12 y el 14 y el día 16 presentó un aumento altitudinal mayor, pasó de 16.850 m a 17.230 m; c) la dirección y la fuerza del viento presentaron algunos pequeños cambios, no significativos.

REFERENCIAS

CAREY, S., H. SIGURDSSON, W. FRITZ & J.L. NARANJO. (1986): The November 13, 1985 Eruption of Nevado del Ruiz: Tephra Fall Deposit and Column Height Modelling. EOS Vol.67 N°16. Abstracts p.403 (citado por Rojas & Borrero, 1986).

CAREY, S. & R.S.J. SPARKS. (1986): Bull. Volcanology (In press) (citado por Naranjo et al., 1986)

CORAL-GOMEZ, C. (1986): Aspectos relevantes de la actividad volcánica en el Nevado del Ruiz. Memorias Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos. Revista CIAF Vol.11, p.105-125, Bogotá.

ESLAVA, J. (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. *Geol. Colomb.* 14:165-173. Santafé de Bogotá.

— (1986b): Pronóstico de la dispersión de las cenizas emitidas a la atmósfera por el Volcán Nevado del Ruiz en futuros eventos eruptivos. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, p.196-197. Berlín.

— (1987): Dispersión de las cenizas emitidas por el Volcán Nevado del Ruiz (Colombia) durante las erupciones de 1595 y 1985. Pronóstico de la dispersión en caso de eventos futuros. *Anales del II Congreso Interamericano de Meteorología y V Argentino de Meteorología*. p.16.5.1-16.5.5. Centro Argentino de Meteorólogos. Buenos Aires.

— (1993a): Efectos de la erupción del volcán Nevado del Ruiz, ocurrida el 13 de noviembre de 1985, sobre la atmósfera en Colombia. Caso: Insolación (brillo solar). *Geofis. Colomb.* 2:37-50. Acad. Colomb. Cien. Geofis., Santafé de Bogotá.

— (1993b): Efectos de la erupción del volcán Nevado del Ruiz, ocurrida el 13 de noviembre de 1985, sobre la atmósfera en Colombia. Caso: Temperatura del aire en superficie. *ZENIT* 4:51-64. ACIG, Santafé de Bogotá.

— (1993c): Efectos de la erupción del volcán Nevado del Ruiz, ocurrida el 13 de noviembre de 1985, sobre la atmósfera en Colombia. Caso: Humedad del aire y precipitación. *Geofis. Colomb.* 3. Acad. Colomb. Cien. Geofis., Santafé de Bogotá.

HARDY, R., P. WRIGHT, J. GRIBBIN & J. KINGTON. (1983): El libro del clima. Bibliot de Divulg Científ N°39,43,47. Ediciones Orbis, Barcelona.

INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS (HIMAT). (1991): Información meteorológica de 1985 existente en los archivos de HIMAT. Santafé de Bogotá.

NARANJO, J.L., S. CAREY, H. SIGURDSSON & W. FRITZ. (1986): La erupción del volcán Nevado del Ruiz en Colombia el 13 de noviembre de 1985: Caída de Tefra y Lahares. *Memorias del Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos. Revista CIAF* Vol.11, p.56-71, Bogotá.

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

ROJAS, R.L. & C.A. BORRERO. (1986): Velocidad, descarga máxima y volumen del Lahar del río Chinchina, Nov.13/85. *Memorias del Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos. Revista CIAF* Vol.11, p.76-89, Santafé de Bogotá.

ROJAS, R., C.BORRERO & J.NARANJO. (1986): Comparación de mapas de contornos isopacos de las erupciones del volcán del Ruiz: R-7, R-4, R-2 y R-0. *Memorias del Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos. Revista CIAF* Vol.11, p.39-51, Santafé de Bogotá.

SMITHSONIAN INSTITUTION. (1985): Ruiz Volcano, Colombia. *Sean Bulletin* Vol.10, N°10, p.2-4 y 25-35. Washington.

TORRES-BELLO, O. (1988): Efecto de las erupciones volcánicas en el clima. El caso del Nevado del Ruiz. *ATMOSFERA* N°13, p.3-26. SOCOLMET, Santafé de Bogotá.