

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO-MINERAS

**ENERGIA SISMICA LIBERADA POR ENJAMBRES DE SISMOS DE ALTA  
FRECUENCIA EN EL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ, COLOMBIA  
ENERO 1986 - AGOSTO 1987**

Por:

ALVARO NIETO E. y FERNANDO MUÑOZ C.  
Geólogos  
Observatorio Vulcanológico de Colombia

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	6
<b>2. FUENTES SISMICAS EN EL RUIZ</b> .....	7
<b>3. ENERGIA SISMICA LIBERADA Y NUMERO DE EVENTOS EN LAS FUENTES SISMICAS; CORRELACION CON OTROS TIPOS DE ACTIVIDAD VOLCANICA</b> .....	7
<b>4. DISCUSION - CONCLUSIONES</b> .....	19
<b>5. AGRADECIMIENTOS</b> .....	19
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b> .....	19

## FIGURAS

1. Red Sismológica .....	8
2. Fuentes de sismos de Alta Frecuencia y principales fallas en el Volcán Nevado del Ruiz .....	9
3. Fuente Cráter - Sismos de Alta Frecuencia .....	10
4. Fuentes Este y Oeste - Sismos de Alta Frecuencia .....	11
5. Fuentes Sur y Sureste - Sismos de Alta Frecuencia .....	12
6. Fuentes Noreste y Noroeste - Sismos de Alta Frecuencia .....	13
7. Relación de Energía Sísmica liberada por cada fuente .....	14
8. Relación de número de eventos en cada fuente .....	14
9. Correlación entre diferentes tipos de actividad volcánica .....	16
10. Sismos de Alta Frecuencia entre Enero de 1986 y Agosto de 1987 .....	18

## TABLAS

1. Fuentes sísmicas y enjambres ocurridos .....	15
---	----

\*

## RESUMEN

Se realiza el estudio de la energía sísmica liberada por cada una de las fuentes sísmicas determinadas mediante el procedimiento propuesto para eventos de Alta Frecuencia por Muñoz y Nieto (1988), con miras a tratar de determinar niveles de energía y relacionarlas con otros métodos de vigilancia y manifestaciones de actividad volcánica.

Para este fin, se efectuó la medición de la duración de los eventos que conforman cada uno de los enjambres de sismos localizados en cada sector particular, calculando así la energía liberada por cada fuente sísmica por medio de la fórmula de Richter (1958):  $\text{Log } E = 9.9 + 1.9 \text{ ML} - 0.024 \text{ ML}^2$ .

Las siete fuentes sísmicas determinadas hasta ahora en el Volcán Nevado del Ruiz presentan diferentes grados de actividad, y algunas de ellas se registran varios días antes de emisiones importantes de cenizas.

La relación entre estas fuentes sísmicas y su localización, y la energía relativa de los enjambres, así como la actividad volcánica general (tremor, emisiones de cenizas y gas, deformación), pueden ser un posible medio para la identificación de actividad premonitory y ser relevantes en el proceso de vigilancia y pronóstico.

## ABSTRACT

It was studied the seismic energy released from each one of the different seismic sources volumes at Nevado del Ruiz volcano (these were proposed from the procedure based on the analysis of the swarms of high-frequency seismic events, Muñoz and Nieto, 1988). It was trying to determine levels of energy and how to relate them with monitoring methods and other kinds of volcanic activity.

The measurement of the events duration (codas) was taken at each high-frequency swarms and the later was calculated by the energy released in every seismic source

volume by Richter's formula:  $\text{Log } E = 9.9 + 1.9 \text{ ML} - 0.024 \text{ ML}^2$ .

Seven seismic source volumes had been recorded at Nevado del Ruiz volcano. Some of them had been more actives than others and they had occurred before ash emissions.

The relation between these seismic sources and their location, and the relative energy of the swarms, as well as the general volcanic activity (tremor, ash and gas emissions and volcano deformation) could turn out to be a possible means to the identification of premonitory activity and thus be relevant to the process of monitoring and forecasting.

## 1. INTRODUCCION

A raíz de la determinación de varias fuentes sísmicas en el volcán Nevado del Ruiz mediante el procedimiento expuesto para eventos de Alta Frecuencia por Muñoz y Nieto (1988), se planteó la necesidad de efectuar el estudio de la energía sísmica liberada por estas fuentes.

La determinación de las fuentes sísmicas consistió en el análisis de enjambres de sismos de Alta Frecuencia (ENDO *et al*, 1981) o tipo A (MINAKAMI, 1974) efectuando los siguientes pasos (MUÑOZ y NIETO, 1988):

- a) Correlación visual de las "firmas" (frecuencias, amplitudes, envolvente o forma).
- b) Determinación del orden de los tiempos de llegada a las diferentes estaciones.
- c) Localización de sismos mediante el empleo del programa HYPO71 (LEE & LAHR, 1975), utilizando el Modelo de Corteza sugerido por J. Zollweg y M. Hall (en MUÑOZ *et al*, 1987).

Posteriormente, se calculan las magnitudes de los eventos que conforman cada en-

jambre, y luego se halla mediante la fórmula de Richter (1958) la Energía Sísmica liberada.

## 2. FUENTES SISMICAS EN EL RUIZ

Durante el período que comprende el estudio de la sismicidad de un volcán a partir de una red sismográfica como la que se tiene instalada en el Nevado del Ruiz (Fig. 1), diversos tipos de actividad son registrados por ésta, incluyendo acumulaciones de sismos en el tiempo (enjambres) de los cuales es importante conocer su proveniencia.

Muñoz y Nieto (1989), a partir del estudio de 20 enjambres de sismos de Alta Frecuencia ocurridos entre Enero de 1986 y Agosto de 1987, postulan siete fuentes sísmicas o sectores sísmicamente activos por lo menos, durante el lapso que comprende el estudio (Fig. 2), aladaños al cráter activo del volcán Nevado del Ruiz.

Los siete sectores sísmicamente activos localizados usando el programa HYPO71 (LEE & LAHR, 1975), se ubican en los alrededores del cráter Arenas y se denominan Fuente Cráter (Fig. 3), Fuentes Este y Oeste (Fig. 4), Fuentes Sur y Sureste (Fig. 5), Fuentes Noreste y Noroeste (Fig. 6).

## 3. ENERGIA SISMICA LIBERADA Y NUMERO DE EVENTOS EN LAS FUENTES SISMICAS; CORRELACION CON OTROS TIPOS DE ACTIVIDAD VOLCANICA

Con la instalación de la red sísmica telemétrica en el volcán Nevado del Ruiz, se inició el conteo de los sismos de Alta y Baja Frecuencia y la medición de sus duraciones, para aquellos eventos registrados en la estación La Olleta considerando una fuente única asociada al cráter activo. La identificación posterior de diferentes fuentes de sismos de Alta Frecuencia (MUÑOZ *et al.*, 1987; MUÑOZ y NIETO, 1989) planteó la posibilidad de establecer la relación entre la Energía Liberada (E) - Número de Eventos en cada una de las fuentes con otros tipos de actividad volcánica.

Dado que la red sísmica del volcán Nevado del Ruiz no cuenta con sismógrafos tipo Wood-Anderson, se emplea para el cálculo de las magnitudes de los sismos de Alta Frecuencia la fórmula utilizada en el Monte Santa Helena por Endo *et al.* (1981):

$$MLa = 2.74 * \log(\text{duración}) - 2.66.$$

MLa= Magnitud local para eventos de Alta Frecuencia, a partir de la duración de la señal medida en la estación de La Olleta.

El empleo de esta fórmula puede dar lugar a incertidumbres; su uso es válido, ya que se busca hacer la comparación entre la Energía Liberada por las diferentes fuentes sísmicas y su comportamiento en el tiempo.

Para el cálculo de la Energía Sísmica liberada por cada fuente, se utiliza la fórmula de Richter (1958) para magnitudes locales:

$$\log E = 9.9 + 1.9 MLa - 0.024 MLa^2$$

Klein *et al.* (1987) realizan en el volcán Kilauea el análisis del número de eventos acumulados tomando en cuenta sectores sísmicamente homogéneos a través de un largo intervalo (21 años), estudiando conjuntamente enjambres de sismos y actividad sísmica continua en el tiempo. En el presente estudio se hace énfasis en la posible relación entre las crisis sísmicas de las diferentes fuentes (enjambres de sismos) y otros tipos de actividad volcánica.

Al observar las figuras 7 y 8 y la Tabla 1, se deduce que relativamente la mayor energía liberada y número de eventos ha correspondido a un enjambre proveniente de la Fuente Noroeste (Octubre 28 de 1986), lo que contribuyó a que esta fuente fuera la más energética durante el período que abarca el presente estudio, únicamente con tres enjambres localizados en este sector. Adicionalmente este enjambre estuvo acompañado de un incremento en la concentración de SO<sub>2</sub> medida con el método COSPEC (MENDEZ, 1988) (Fig. 9).

La fuente Sur fue la segunda en importancia en cuanto a Energía Sísmica liberada

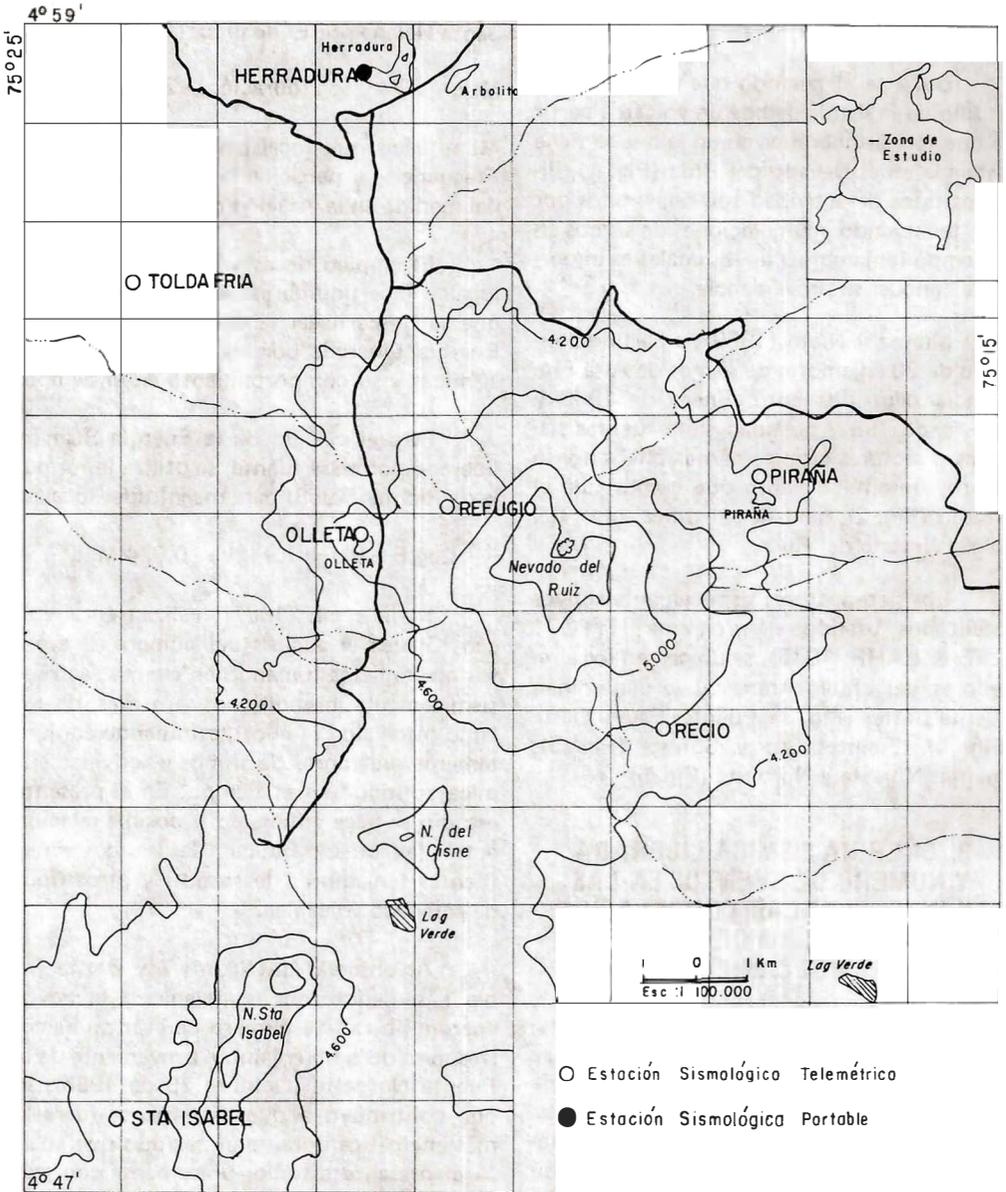


FIG. 1: Red Sismológica.

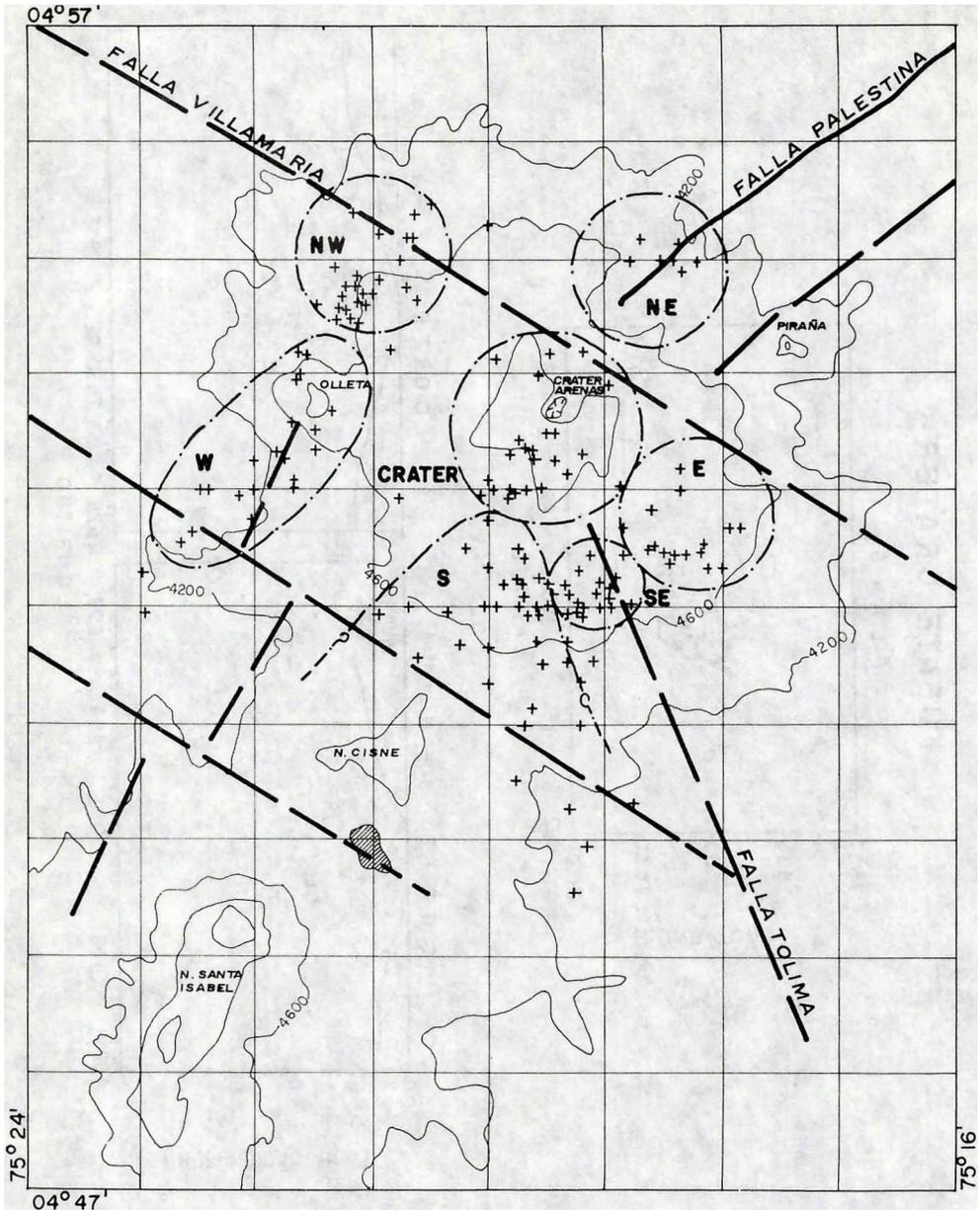


FIG. 2: Fuentes de Sismos Alta Frecuencia y principales Fallas en el volcán Nevado del Ruiz.

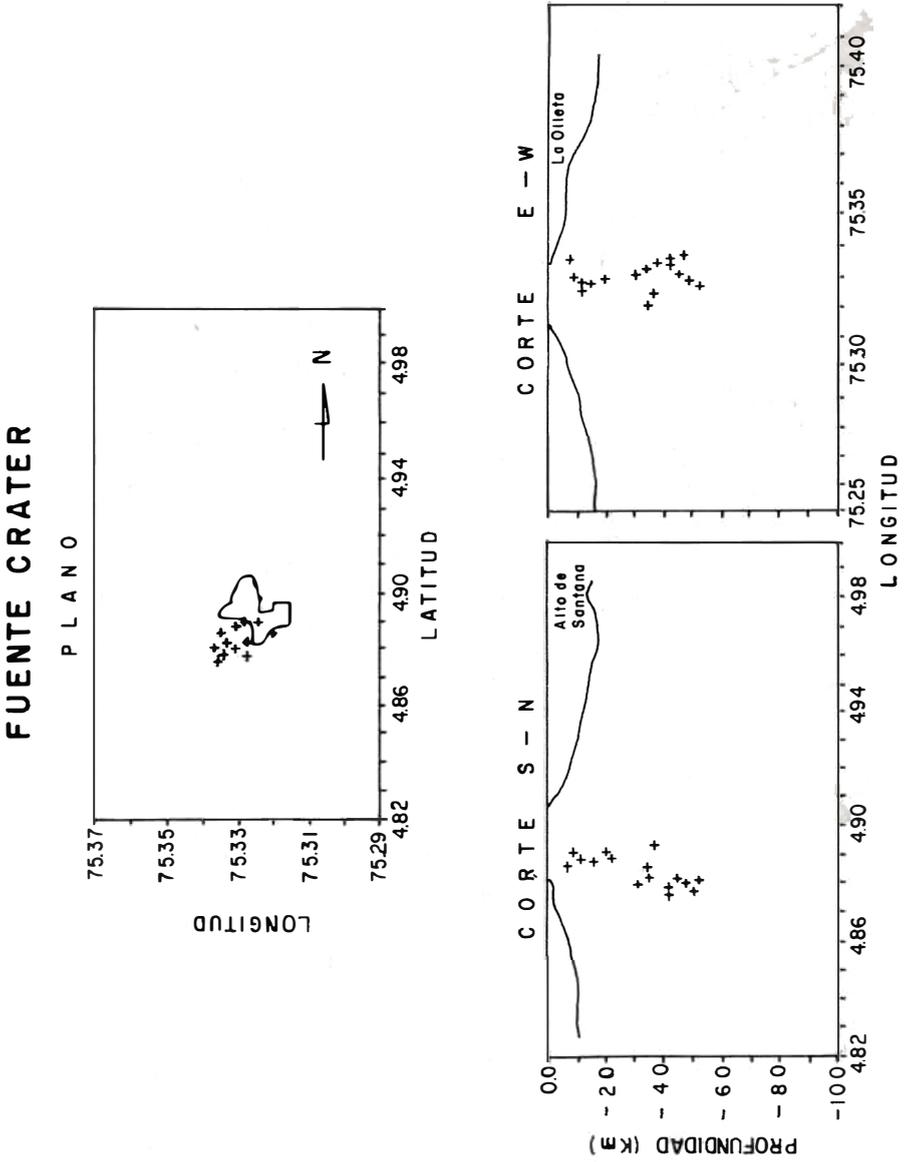


FIG. 3: Fuente Cráter-Sismos de Alta Frecuencia.

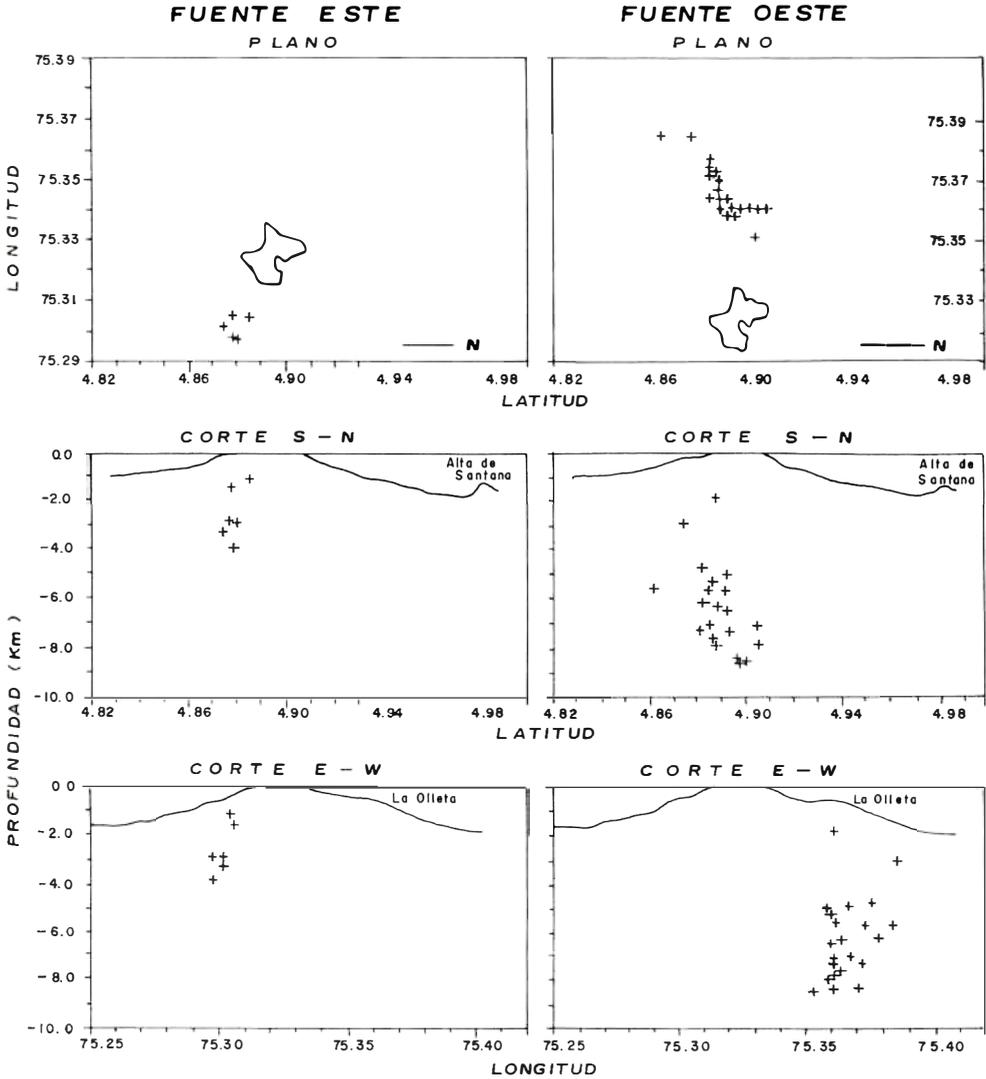


FIG. 4: Fuentes Este y Oeste-Sismos de Alta Frecuencia.

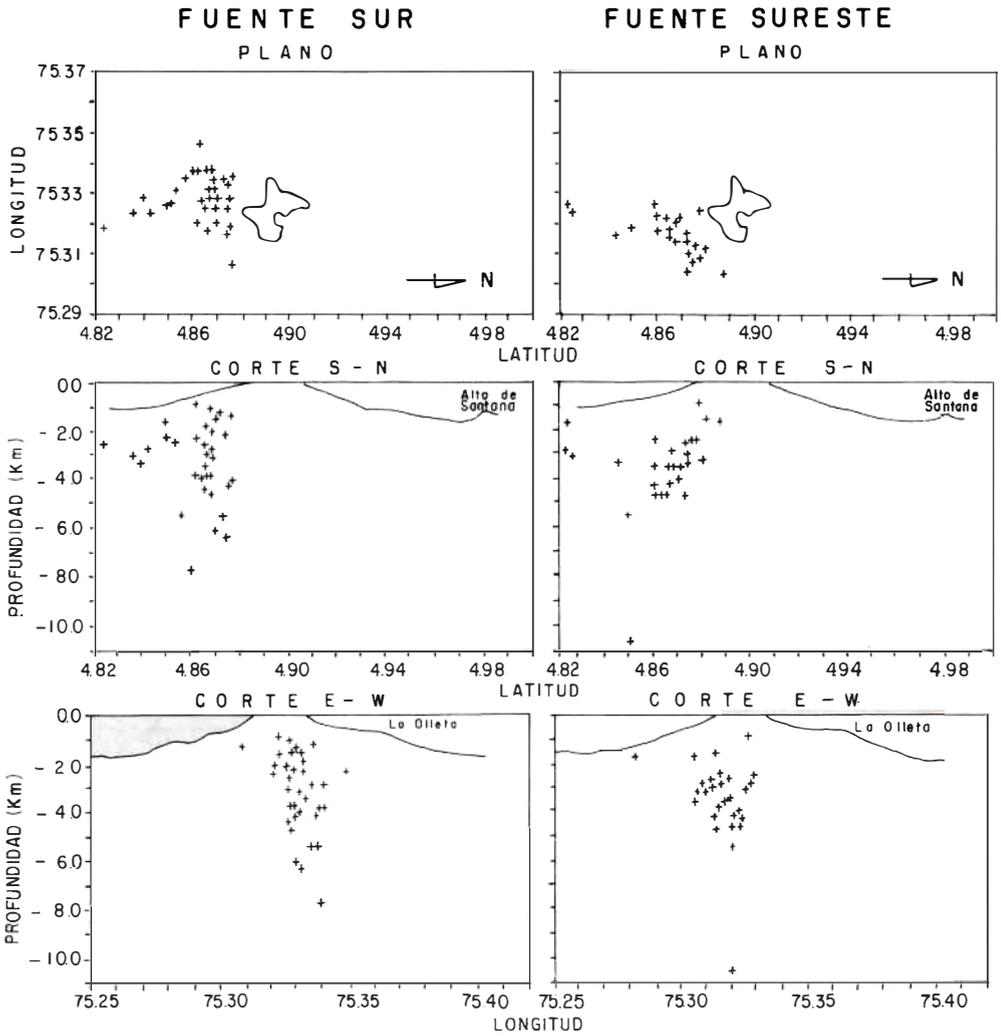


FIG. 5: Fuentes Sur y Sureste-Sismos de Alta Frecuencia.

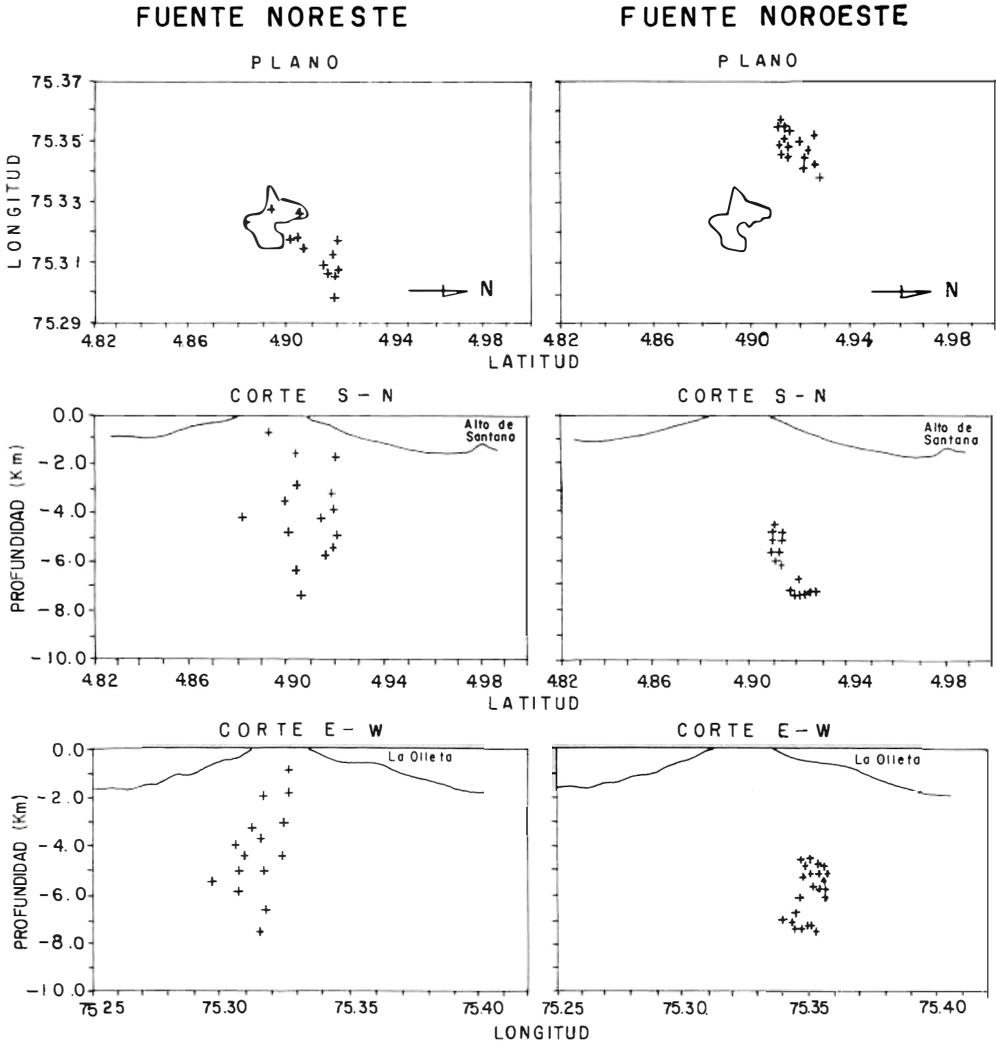


FIG.6: Fuentes Noreste y Noroeste-Sismos de Alta Frecuencia.

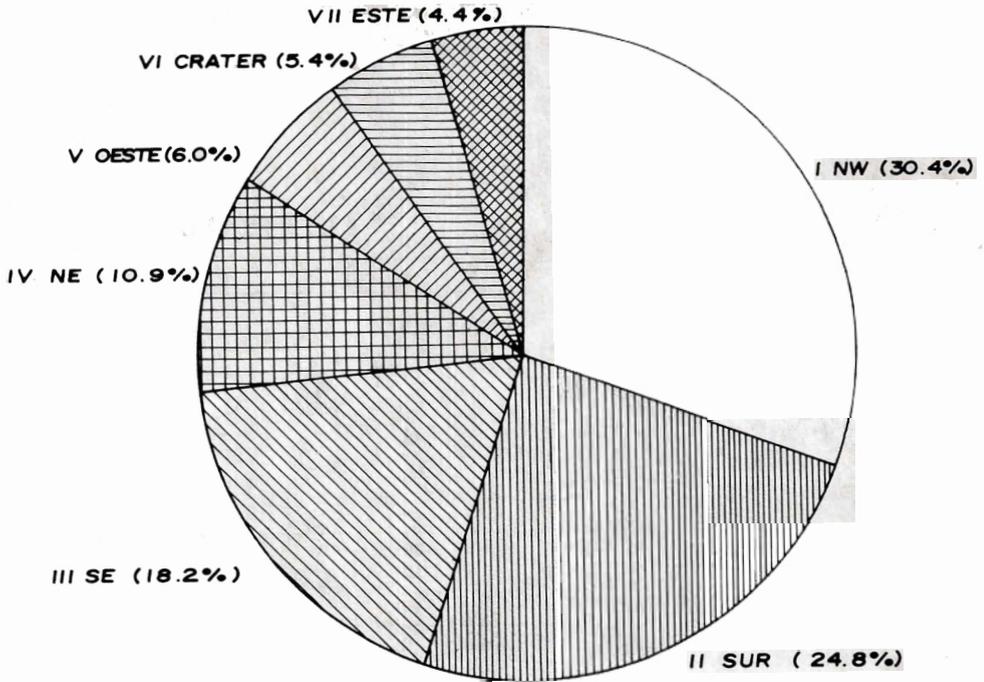


FIG. 7: Relación de Energía Sísmica Liberada por cada fuente

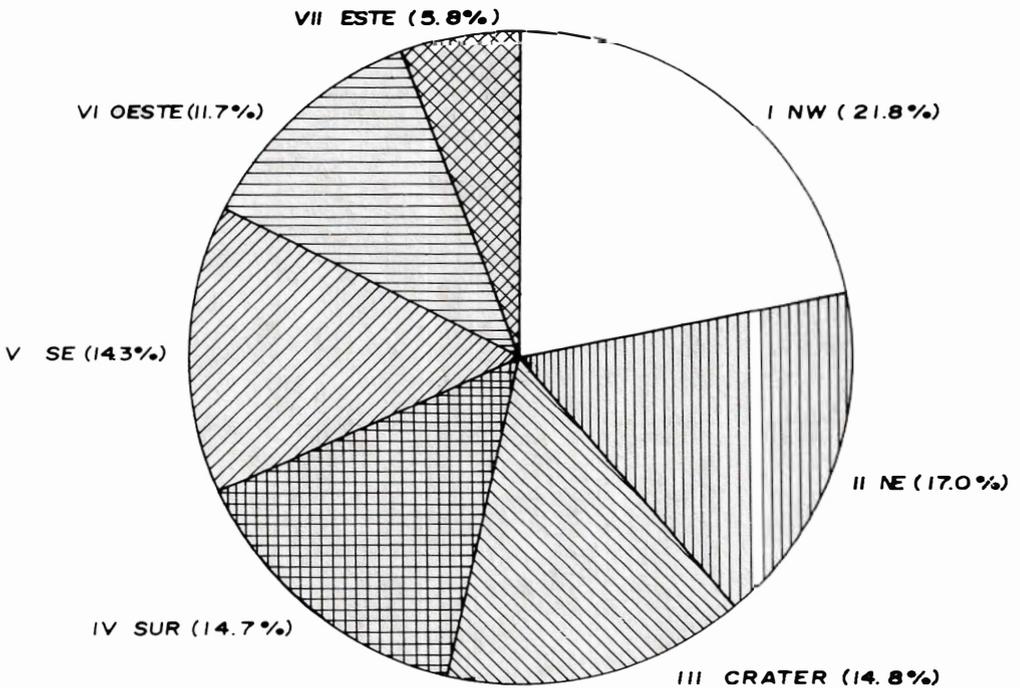


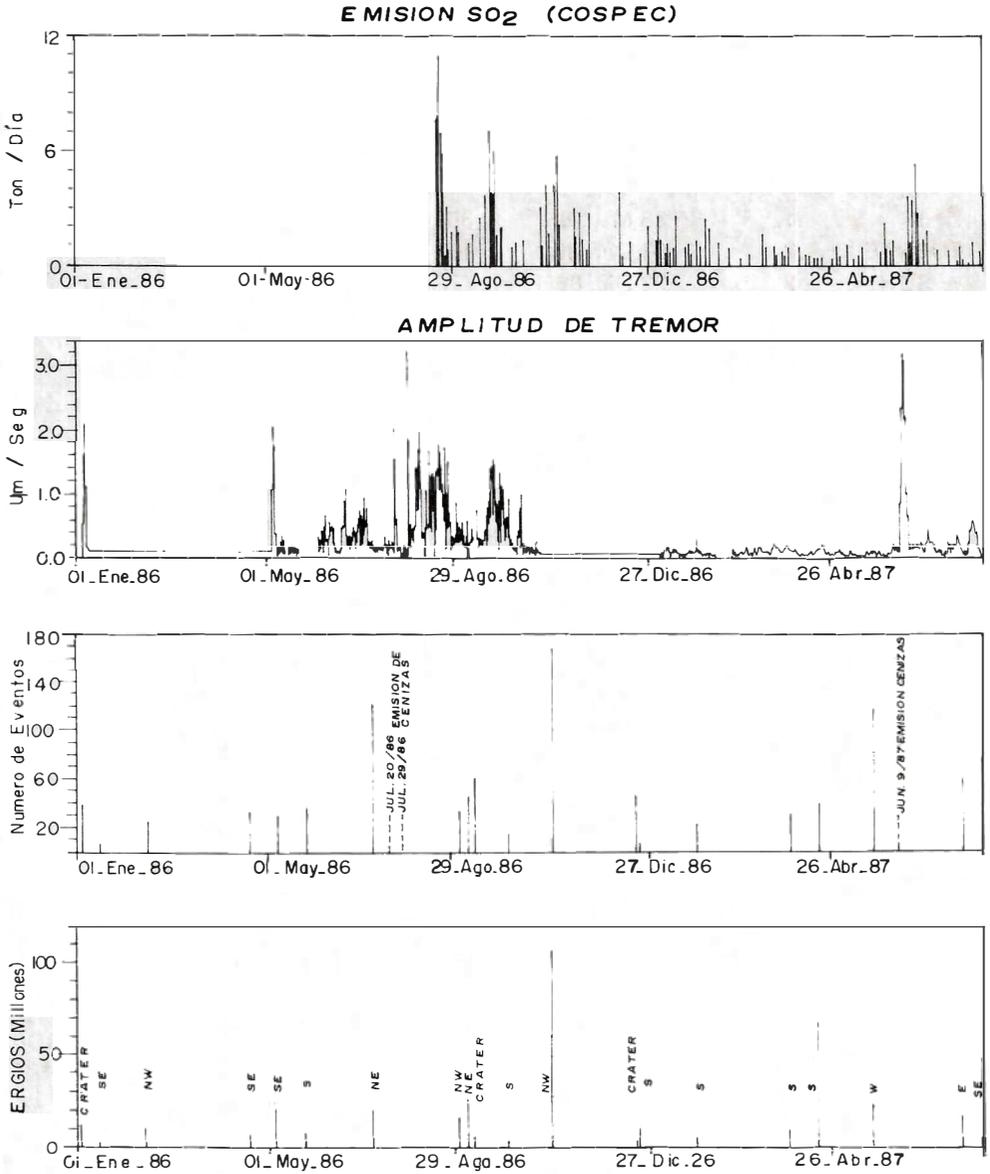
FIG. 8: Relación de número de eventos en cada fuente.

TAB. 1: Fuentes sísmicas y enjambres ocurridos.

FUENTE	NUMERO DE ENJAMBRES	FECHA ENJAMBRE	NUMERO DE EVENTOS	ENERGIA ALTA FRECUENCIA ENDO, 1981	ACTIVIDAD VOLCANICA ASOCIADA
I FUENTE NORDESTE	1	14 Feb. 86	24	9.39E + 06	
	2	31 Ag. 86	33	1.71E + 07	
	3	28 Oct. 86	169	1.10E + 08	
		TOTAL	226	1.36E + 08	
II FUENTE SUR	1	26 May. 86	35	8.70E + 06	
	2	01 Oct. 86	15	3.67E + 06	
	3	22 Dic. 86	7	1.11E + 07	
	4	29 En. 87	24	6.93E + 06	
	5	29 Mar.87	31	1.11E + 07	
	6	16 Abr.87	40	6.91E + 07	
		TOTAL	152	1.11E + 08	
III FUENTE SURESTE	1	15 En. 86	7	1.96E + 06	
	2	20 Abr. 86	31	7.03E + 06	
	3	07 May. 86	30	2.02E + 07	
	4	31 Jul. 87	80	5.26E + 07	
		TOTAL	148	8.19E + 07	
IV FUENTE NORESTE	1	07 Jul. 86	128	2.00E + 07	EMISIONES
	2	05 Sep.86	48	2.87E + 07	DE CENIZA
			TOTAL	176	4.88E + 07
V FUENTE OESTE	1	21 May.87	121	2.70E + 07	EMISION DE CENIZAS JUNIO 9
VI FUENTE CRATER	1	03 En. 86	41	1.31E + 07	TREMOR
	2	09 Sep.86	64	6.41E + 06	3 - 4 ENERO
	3	22 Dic. 86	48	4.54E + 06	
		TOTAL	153	2.41E + 07	
VII FUENTE ESTE	1	17 Jul. 87	60	1.99E + 07	

TOTAL DE ENERGIA SISMICA LIBERADA  
 POR ENJAMBRES

4.49E + 08



.FIG. 9: Correlación entre diferentes tipos de actividad volcánica.

se refiere (Fig. 7); sin embargo, es curioso observar que ninguno de los enjambres ocurridos en esta fuente estuvieron directamente relacionados a otros tipos de actividad volcánica. De otra parte, el enjambre del 22 de diciembre de 1986 es un claro ejemplo de dos fuentes produciendo sismos simultáneamente (Fuentes Sur y Cráter).

Las fuentes sísmicas con mayor número de enjambres ocurridos fueron la Sur y la Sureste (seis y cuatro, respectivamente).

El enjambre de 128 sismos ocurrido en Julio 7 de 1986 y localizado en la Fuente Noreste (Tab. 1), contribuyó a que ésta fuera la segunda fuente con mayor número de eventos (Fig. 8), y se presentó en un lapso menor de 30 días a las emisiones de cenizas ocurridas el 20 y 29 de julio de 1986 (Tab. 1). Posterior a este enjambre, las medidas de concentración de SO<sub>2</sub> (MENDEZ, 1988), presentan valores altos (11130 ton/día), al igual que el nivel de tremor (Fig. 9). El enjambre del 5 de Septiembre de 1986 (Tab. 1) con 48 sismos, presenta aún una energía mayor que el enjambre del 7 de Julio del mismo año, debido a la presencia de un sismo de M = 2.6.

El enjambre del 21 de Mayo de 1987 (Fuente Oeste), precede la emisión de cenizas del 9 - 11 de Junio de 1987 que duró aproximadamente 60 horas (INGEOMINAS, 1987) (Tab. 1). Esto está de acuerdo con las observaciones de Tokarev (1971) en donde expresa que 30-50 días antes de una erupción hay un aumento en la energía sísmica, y en la mayoría de los casos ésta se inicia con un enjambre. Posterior a esta emisión, se presentan valores altos tanto en el tremor así como en la emisión de gases de azufre (MENDEZ, 1988), de 5634 ton/día (Junio 17 de 1987) (Fig. 9). La erupción del 13 de Noviembre de 1985 estuvo precedida 4 días antes (9 de Noviembre) por un enjambre localizado en este sector, bajo el cráter parásito de La Olleta (Fuente Oeste) (HARLOW *et al*, 1988; NIETO *et ai*, 1989). De igual manera la misma fuente se reactivó con intervalo no superior a los 10 días antes de la emisión de cenizas del 3-4 de Enero de 1986 (LONDOÑO, 1988).

A pesar del número relativamente bajo de enjambres originados en la Fuente Cráter (Tab. 1 y Fig. 8), no se refleja la verdadera importancia de este sector del volcán, evidente en la gráfica de sismicidad total (Fig. 10). Londoño (1988) ha podido establecer que en el lapso de un mes previo a algunas emisiones de cenizas (julio 20 y 29 de 1986) se ha podido observar también actividad sísmica en este sector del volcán. Situación lógica si se tiene en cuenta que es el sector más inestable, especialmente en momentos en que se producen las emisiones de cenizas. Un inconveniente para la detección de enjambres con origen en el cráter, es que justo en períodos de gran inestabilidad, como emisiones de cenizas, el tremor presente puede ocultar los eventos sísmicos.

Un solo enjambre ocurrido en Julio 7 de 1987, un mes antes de las emisiones de cenizas ocurridas en Agosto 14 y 17 (Tab. 1) fue localizado al Este del cráter Arenas.

En cuanto a las máximas magnitudes alcanzadas por los sismos ocurridos en las diferentes fuentes, el de mayor magnitud ocurrió durante el enjambre del 28 de Octubre de 1986 (M = 2.62), en el cual se presentaron otros dos sismos con magnitudes de 2.55 y 2.10.

Durante el enjambre del 16 de Abril de 1987 ocurrieron cuatro sismos de magnitudes superiores a 2.0.

En todas las fuentes sísmicas, a excepción de las fuentes Este y Cráter, se ha presentado al menos un sismo de magnitud superior a 2.2.

Por lo menos en los cuatro enjambres más energéticos (5 de septiembre y 28 de Octubre de 1986; y 16 de Abril y 31 de Julio de 1987), han ocurrido sismos con magnitudes superiores a 2.0.

La correlación de enjambres de sismos con emisiones y otros fenómenos volcánicos debe realizarse con cuidado debido a la variedad de fuentes, ya que es muy posible que una fuente sísmica en el sector del Nevado de Santa Isabel no tenga la misma influencia

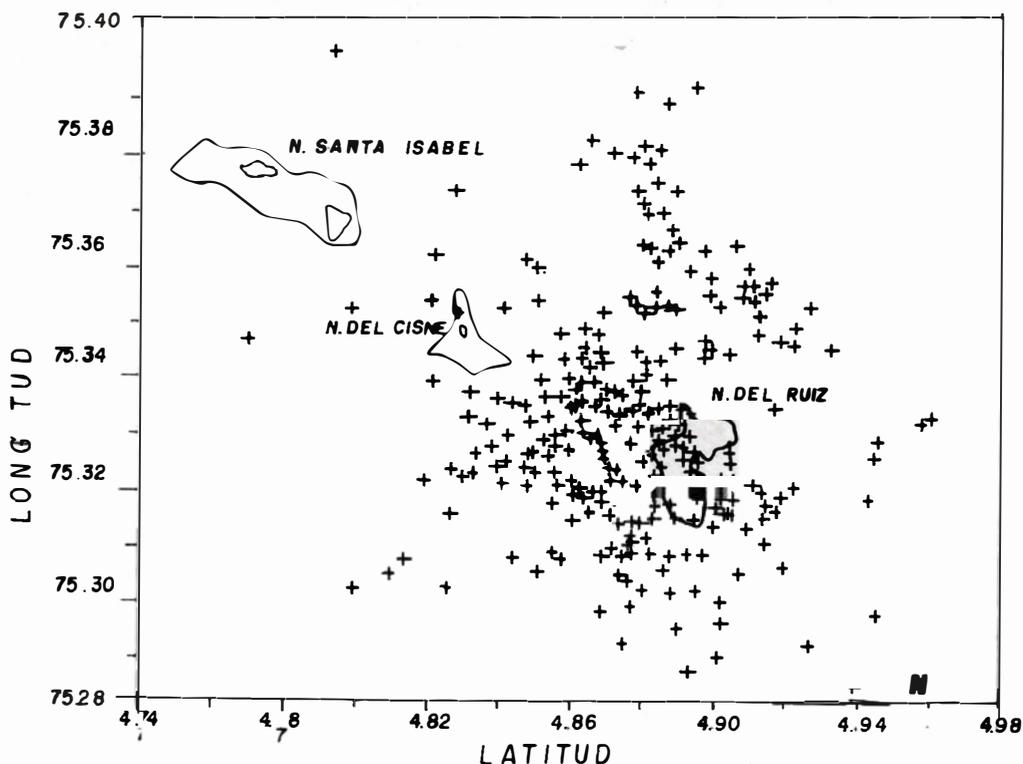


FIG. 10: Sismos de Alta Frecuencia entre Enero /86 y Agosto /87.

en el comportamiento del volcán que una fuente bajo el cráter. De manera que en lo posible, desde las primeras etapas de investigación de un volcán que ha entrado en actividad, se deben identificar las diferentes fuentes sísmicas y establecer comparaciones de sus respectivas variaciones de la energía en el tiempo.

La gráfica de tremor volcánico tomada de Gil Cruz *et al.* (1988), presenta incrementos en la intensidad, coincidiendo con aumentos en la concentración de  $SO_2$ , y con la ocurrencia de enjambres de sismos de Alta Frecuencia con diferentes energías y número de eventos (Fig. 9).

Generalmente los incrementos de intensidad del tremor están acompañados por emisiones de ceniza, que no son posibles de confirmar siempre debido a las condiciones climáticas que impiden ver la cima del volcán. Por tal razón solo se relacionan las emisiones

para las cuales se comprobó caída de cenizas en un radio de por lo menos 10 km alrededor del volcán.

La Figura 9 carece de gráficos de deformación en razón a que no se han registrado cambios significativos en las estaciones de medición (BANKS *et al.*, 1989), posiblemente porque no existen o son tan pequeños que por la complejidad estructural del área, la probable variedad de focos (fuentes sísmicas) y la localización de las estaciones no son detectables por los instrumentos. El hecho es que no siempre se debe presentar una clara relación entre la sismicidad y las deformaciones como lo comenta Lenat (1986), quien para el volcán Piton de la Fournaise, de tipo basáltico, encuentra que la crisis sísmica pre-eruptiva (Diciembre de 1983) no estuvo asociada a deformación alguna.

Por su parte, Coral-Gómez y Cuellar-Rodríguez (1986) utilizan para el cálculo de la magnitud de los sismos tipo A, la fór-

mula de Tsumura, 1967:  $M = 2.82 * \log(\text{duración}) - 2.34$  de la cual resulta una magnitud mucho mayor que la que se obtiene al utilizar la fórmula de Endo *et al.* (1981), resultando por lo consiguiente valores más altos de Energía Sísmica liberada, lo que dificulta la comparación de los datos. Sin embargo, los valores que ellos reportan de  $10E13 - 10E14$  ergios, antes de la erupción de Noviembre de 1985, hasta el momento no se han alcanzado en ninguno de los enjambres aquí analizados.

El hecho de utilizar una u otra fórmula, debido a que los estudios para la obtención de las fórmulas correctas de magnitud se encuentran en elaboración, presenta las mismas incertidumbres. Hay que ser conscientes de que lo aquí analizado es el comportamiento relativo en el tiempo y que se hace la comparación de la Energía Sísmica liberada en cada una de las fuentes sísmicas.

#### 4. DISCUSION - CONCLUSIONES

1. Es necesaria la reubicación de redes de Deformación y el replanteamiento del proceso de elaboración de curvas de Energía y Número de Eventos y de Deformación, considerando la existencia de diversas fuentes sísmicas.
2. Únicamente enjambres ocurridos en las fuentes sísmicas Noreste, Oeste y Cráter se han podido correlacionar con emisiones de cenizas en lapsos inferiores a 20 días posteriores al enjambre.
3. Mediante el estudio detallado que actualmente se realiza en el área empleando datos arrojados por un sismógrafo tipo Wood-Anderson, se podrán hallar las fórmulas de magnitud más adecuadas para el Ruiz, lo cual permitirá recalcular la Energía Sísmica liberada.
4. Seis de las siete fuentes sísmicas han presentando sismos con magnitudes superiores a 2.0. Las magnitudes en la fuente Oeste no han sobrepasado tal valor.

5. Las medidas de concentración de gases de azufre han mostrado valores altos posteriores a enjambres ocurridos en las fuentes sísmicas Noroeste, Noreste y Oeste.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Es justo reconocer y agradecer los aportes y comentarios que en su momento nos suministraron Minard Hall, John Tomblin, Dave Harlow, Norman Banks, James Zollweg, Rodolfo Van Der Laat, Michel Feulliard, Miguel Herraiz, Bernard Chouet, Robert Decker, Eduardo Parra, Carlos Valdez y Bruno Martinelli.

A nuestros compañeros de los grupos de Sismología, Deformación y Geología del Observatorio Vulcanológico de Colombia, con quienes discutimos valiosos aspectos para la conclusión del trabajo.

A Clara I. Restrepo por la elaboración de las gráficas.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- BANKS, N., *et al.* 1989.- *Deformation monitoring at Ruiz Volcano, Colombia: Significance to Interpretation of activity 1985-1987.* Jour. Volc. and Geoth. Res.: in revision.
- CORAL-GOMEZ, C. E. y CUELLAR-RODRIGUEZ, J. V. 1986.- *Análisis de la actividad sísmica antes de la erupción del 13 de Noviembre de 1985 en el Volcán Nevado del Ruiz, Colombia.* Mem. Simp. Int. Neot. y Ries. Volc., Revista CIAF, Vol. 11 (1-3): 215-245. Bogotá.
- ENDO, E.T. *et al.* 1981.- *Location, magnitudes and statics on the March 20-May 18 Earthquake sequence.* In: P. W. Lipman and D.R. Mullineaux (Editors), *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington.* Geol. Surv. Prof. Pap. 1250: 93-107. Washington D.C.

- GIL CRUZ, F., BOHORQUEZ, O. P. & LONDOÑO, J. M., 1989.- *Tremor and Long-Period seismic events occurred during June to October 1987 volcanic crisis on Nevado del Ruiz volcano: A possible geyser system in action*. Abstract on Mem. Intern. Workshop: A Model of Nevado del Ruiz Volcano.
- HARLOW, D.H., MUÑOZ, C.F. and MEYER, H.J., 1988.- *Synopsis of seismic activity preceding the November 13, 1985 eruption of Nevado del Ruiz volcano, Colombia*. Abstract on Mem. Intern. Workshop: A Model of Nevado del Ruiz Volcano.
- INGEOMINAS, 1987.- *Observatorio Vulcanológico de Colombia*. Boletín Informativo No. 5 (Junio 1987), Manizales.
- KLEIN, F.W., et al., 1987.- *The seismicity of Kilauea's magma system*. Volcanism in Hawaii, U.S. Geol. Surv.: 1020-1185.
- LEE W.H. and LAHR J.C., 1975.- *HYP071 PC (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquake*. U.S. Geol. Surv., Open-File Report 75-311.
- LENAT, J.F., 1986.- *Patterns of volcanic activity of Piton de la Fourniere*. (Reunion Island, Indian Ocean). A synthesis based on monitoring data between 1980 and July 1985, and on historic records since 1930.
- LONDOÑO, J.M., 1988.- *Evolución de la sismicidad un mes antes de cada erupción en el Volcán Nevado del Ruiz, de Julio 20 de 1985 a Marzo 25 de 1988*. Ingeominas, Informe interno.
- MENDEZ, R., 1988.- *Análisis de las Emisiones de SO<sub>2</sub> en el Volcán Nevado del Ruiz en 1986-1988*. En elaboración.
- MINAKAMI, T., 1974.- *Seismology of Volcanoes in Japan*. In: Civetta, P.L., Gasparini, P., Luongo, G. and Rapolla, A. (Editors), Phys. Volc. Elsevier, 313-333. Amsterdam.
- MUÑOZ, C.F., NIETO, E.A. y MEJIA, I., 1987.- *Localización y Estadística de los eventos sísmicos de Alta y Baja Frecuencia ocurridos en el Volcán Nevado del Ruiz de Julio 20 de 1985 a Noviembre 15 de 1986*. Mem. Simp. Intern. Neotect. y Ries. Volc., Revista CIAF, Vol.11, Tomo II(1-3):364-392. Bogotá.
- MUÑOZ, C.F. y NIETO, E.A., 1988.- *Procedimiento para la optimización de localizaciones de sismos de Alta Frecuencia*. Ingeominas, Observatorio Vulcanológico de Colombia, Informe Interno.
- MUÑOZ, C.F. y NIETO, E.A., 1989.- *Fuentes de sismos de Alta Frecuencia en el volcán Nevado del Ruiz, Enero 1986-Agosto 1987*. Ingeominas, Observatorio Vulcanológico de Colombia. Mem. V Congr. Col. de Geol. Bucaramanga.
- NIETO, E.A., BRANDSDOTTIR, B. and MUÑOZ, C. F., 1989.- *Seismicity associated with the reactivation of Nevado del Ruiz, Colombia, 1985 - 1986*. Jour. Volc. and Geoth. Res. in print.
- RICHTER, C.F., 1958.- *Elementary Seismology*. San Francisco, W.H. Freeman and Co., 768 p.
- TOKAREV, P.I., 1971.- *Forecasting volcanic eruptions from seismic data*. Bull. of Volc. 35: 243-250.

\* \* \*