

ESTUDIO DE LOS RIESGOS VOLCANICOS POTENCIALES  
DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ

INFORME DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

PERIODO: OCTUBRE 8 - NOV. 10/85

Trabajo presentado por INGEOMINAS como  
Secretaría Ejecutiva del Comité Nacional

Medellín, Noviembre de 1985



## CONTENIDO

	Pág
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION	1
2. MAPA DE RIESGOS	3
3. OBSERVACION VISUAL	6
4. GEODESIA, AEROFOTOGRAFIA E INCLINOMETRIA	9
5. SISMOLOGIA	11
5.1. Sismicidad Temporal	14
5.2. Sismicidad Espacial	16
5.3. Riesgo Sismico	17
5.4. Tremores Volcanicos	21
5.5. Apreciaciones Sismológicas	23
6. GEOQUIMICA	26
7. CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES	27
BIBLIGRAFIA	29



ILUSTRACIONES

Pág.

Figura 1. Mapa simplificado de riesgo volcánico.

5



## 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

El Nevado del Ruiz es un volcán activo, localizado en la Cordillera Central de Colombia, en los límites de los Departamentos de Caldas y Tolima. Desde la época de la conquista española ha presentado cuatro erupciones en los años: 1595, 1828-29, 1832-33 y 1845, de las cuales la primera y la última han sido las más violentas, pues provocaron deshielo y flujos de lodo asociados que alcanzaron a llegar hasta el río Magdalena.

Desde 1845 hasta el final de 1984, el cráter Arenas había presentado actividad fumarólica leve, pero a partir de esta última fecha se incrementó tanto la actividad sísmica como fumarólica en dicho cráter. En vista de la persistencia de la actividad, Ingeominas con la colaboración de Interconexión Eléctrica S. A. (ISA), Universidad Nacional, Instituto Geofísico de los Andes y Chec, instalaron en los alrededores del cráter una red de cuatro microsismógrafos portátiles con el fin de estudiar de manera más detallada el comportamiento sísmológico del volcán.

El 11 de Septiembre de 1985 a las 2:00 PM se presentó una emisión fuerte de cenizas que cubrió gran parte del casquete nevado y alcanzó a depositar una delgada película de material sobre ciudades como Manizales y Chinchiná a mas de 25 km de distancia del cráter, como consecuencia posterior,



- Central Hidroeléctrica de Caldas - Chec
- Corporación Financiera de Caldas
- Corporación Regional Autónoma de Manizales, Aranzazu y Salamina-CRAMSA
- Defensa Civil
- Federación de Cafeteros
- Fuerzas Armadas de Colombia
- Fundación para la Investigación Científica y Desarrollo Universitario de Caldas -FICDUCAL
- Gobernación de Caldas
- Instituto Geofísico de los Andes
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC
- Interconexión Eléctrica S.A. - ISA
- Ministerio de Obras Públicas
- Pilotos Privados de Manizales
- Socorro Suizo
- Universidad de Caldas
- Universidad Nacional de Colombia.



## 2. MAPA DE RIESGOS

Las erupciones volcánicas son uno de los más temibles fenómenos naturales por su potencia destructiva y su prácticamente imposible control; además su violencia varía sustancialmente en magnitud y duración aún en un mismo volcán, y contra sus manifestaciones más fuertes no existe ninguna protección distinta de la evacuación de los sitios amenazados. El conocimiento del pasado de cada volcán, permite deducir aproximadamente su comportamiento futuro, y en consecuencia, tal conocimiento hace posible saber qué áreas están sujetas a determinado fenómeno para de esta manera planear una situación de emergencia que pueda evitar al máximo la pérdida de vidas y bienes.

Un mapa de riesgo volcánico, establece con anticipación los lugares que pueden ser afectados por los distintos tipos de fenómenos derivados de una supuesta erupción fuerte, similar a las que haya presentado determinado volcán en su pasado más reciente. Es evidente entonces, que los costos y problemas sociales derivados de una evacuación colectiva pueden ser reducidos enormemente mediante el uso adecuado del mapa de riesgo volcánico.

El mapa preliminar, presentado el 7 de Octubre, se elaboró a escala 1:50.000 debido a que la situación de pánico y necesidad de planear una



emergencia lo requería de tal tamaño, pues en él se pueden ubicar fácilmente veredas y aún casas localizadas dentro del área amenazada, además, debido a la premura del tiempo fué necesario adoptar parámetros de otros volcanes del mundo como en el caso de los flujos piroclásticos y explosión lateral dirigida puesto que no se había realizado trabajo geológico específico sobre este tipo de fenómenos. El mapa presentado con este informe se realizó a escala 1:100.000, conservando la misma precisión del anterior, pero modificado sustancialmente debido al mejor reconocimiento de campo por parte de los geólogos de INGEOMINAS - Universidad de Caldas y atendiendo las sugerencias hechas por los expertos internacionales de la Unesco, Italia y Alemania que se hicieron presentes en el área.



### 3. OBSERVACION VISUAL

La labor de observación visual de las condiciones del cráter y los glaciares se continuó y complementó con medidas de caudales, temperaturas y posteriormente de Eh y pH en los desagües más accesibles. Además se ha contado con la colaboración de los soldados encargados de la vigilancia del Cerro Gualí, quienes han suministrado valiosa información de las condiciones diarias de la fumarola y dirección de vientos. Con esta actividad se pretendían conocer cambios en la fumarola, las fuentes termales del Río Azufrado y el comportamiento del casquete nevado del volcán, así como su relación con la actividad sísmica registrada.

- La fumarola del cráter Arenas, que a fines de Septiembre alcanzaba alturas hasta de 4km se ha reducido paulatinamente hasta una altura aproximada de 0.8 a 1.5 km, con excepción de los días 20 y 21 de Octubre en los cuales alcanzó casi 2,0 km, coincidiendo en el tiempo con un aumento de la actividad sísmica.
- Las emisiones de cenizas se han reducido proporcionalmente con la altura de la fumarola y al principio de Noviembre estaban reducidas a los alrededores del cráter.





- No se han observado sitios de emisión de gases distintos a los localizados en el interior del cráter que puedan indicar alguna debilidad estructural somera o conductos laterales.
- El control de temperaturas del suelo mediante termosondas no ha mostrado valores que indiquen calentamiento alguno en el subsuelo de las inmediaciones más accesibles al volcán.
- El canal de los ríos que drenan el casquete glaciar se incrementó posteriormente a la emisión de cenizas del 11 de septiembre, pero en la mitad de Octubre, una vez estas fueron lavadas o cubiertas por nieve, volvió a sus niveles normales, confirmándose de esta manera que el deshielo inicial se debía a absorción de calor debido a la coloración gris oscura y no a flujo de calor subterráneo.
- La masa glaciar perteneciente a la cuenca del Río Azufrado se ha reducido de manera considerable (por lo menos un 30%), disminuyendo en consecuencia el riesgo máximo de inundación en la ciudad de Armero.
- El represamiento del Río Lagunillas, provocado por causas ajenas al Volcán del Ruiz, no representa una amenaza inminente de rompimiento del dique puesto que bajo condiciones normales, el río no tiene capacidad para remover los enormes bloques de roca que lo forman.
- La observación visual y control de caudales en el Río Recio se hace sumamente difícil por problemas de acceso.



- El acceso al cráter es sumamente riesgoso ya que se pueden presentar explosiones locales relativamente violentas, por lo tanto, se debe permitir el acceso únicamente a personas encargadas del estudio del volcán bajo previo reconocimiento aéreo o de las condiciones sismológicas locales.
  
- De manera preliminar, las aguas de la quebrada La Hedionda y el Río Azufrado, presentan variaciones de temperatura menos susceptibles a los cambios de temperatura ambiente y pueden tener mayor relación con la actividad fumarólica que los otros drenajes muestreados.



#### 4. GEODESIA, AEROFOTOGRAFIA E INCLINOMETRIA

La actividad en el campo de la Geodesia se encuentra a cargo del IGAC, cuyo personal se haya actualmente en el área del Nevado haciendo el levantamiento de la red instalada en el mes de Octubre y replanteando una red anterior que había establecido la CHEC en 1983, y por lo tanto, no existe en el momento información disponible de las deformaciones a largo plazo que hayan tenido lugar en las cercanías del volcán. Debido a que esta actividad no se puede llevar a cabo de manera continua por los altos costos, se requiere identificar primero los sitios de mayor deformación, para de esta manera planear una vigilancia geodésica periódica de sitios específicos que se pueda hacer con una menor inversión.

Las condiciones climáticas imperantes en el área del Nevado del Ruiz no han permitido realizar vuelos para la toma de nuevas fotografías aéreas, por parte del IGAC.

A comienzos de Octubre-85 llegó el geodesta costarricense Rodolfo Van der Laat del Observatorio Vulcanológico de Costa Rica comisionado por la UNESCO para instalar la red de inclinómetros accesorios para conocer la existencia o no de deformación; se construyeron cuatro estaciones para inclinómetros secos y dos estaciones para inclinómetros electrónicos, cubriendo la parte Norte del volcán. Las lecturas se



comenzaron a realizar a fines de octubre y se prolongaron hasta el 2 de noviembre de 1985; la suspensión se debió al viaje de regreso del geodesta junto con los aparatos que pertenecen a los Observatorios Costarricenses. Las medidas efectuadas indicaban variaciones del terreno pero no interpretables por la escasez de los datos.



## 5. SISMOLOGIA

( Aspectos preliminares de la actividad sísmica entre el 20 de julio y el 26 de octubre de 1985 )

La nueva actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruíz, se inicia en noviembre de 1984 dando su primer "campanazo" el pasado 22 de diciembre de 1984 mediante un sismo de magnitud 3 a 4 en la escala de Richter, que fue sentido en toda el área y registrado en la Estación Sismológica de Chinchiná. Desde diciembre de 1984 y hasta la fecha ha mantenido su actividad expresándose por medio de las fumarolas, sulfataras, extrusión de cenizas y gran actividad microsísmica.

A partir del 15 de julio, INGEOMINAS inició las labores de control sismológico del Volcán Nevado del Ruíz, gracias a la colaboración de ISA, quien participa en el proyecto por medio de sus estaciones sismológicas portátiles, aunque solo una de ellas podría servir por poseer tan solo un sismómetro en buenas condiciones. Gracias a la colaboración de la UNDRO, por intermedio de U.S.G.S. se logró obtener los otros tres sismómetros para completar la red sismológica de 4 estaciones el pasado 10 de julio.

El sábado 20 de julio queda instalada la red sismológica en los sitios : El Refugio, Campoalegre, Billar y Porvenir ( ver figura 1 ), que forman un triángulo en la estación El Refugio como su centro y las otras en sus vértices, a 12 km. aproximadamente. El 4 de septiembre se acerca las estaciones





hacia la estación central, quedando la red a 6 km aproximadamente desde las estaciones de los vértices ahora denominadas: Cisne, Piraña, Herradura, a la estación central "Refugio 4". El 23 de octubre se incorpora una quinta estación a la red Sismológica denominada "Azufrado".

Procesada la información sismológica entre el 20 de julio y el 26 de octubre corresponde a 99 días de registro por 4 estaciones, se han obtenido 390 sismogramas.

De los 99 días de registro, se tienen 14 días de registro defectuoso. De los 85 días restantes, tomando como modelo lo observado en la estación El Refugio, se obtienen los siguientes datos estadísticos ( ver figura 2 ):

- Se cuentan 1.350 sismo con duración mayor de 3 segundos y amplitud mayor a 3 milímetros, que da una media de 15 sismos por día.
- A causa de la distancia entre estaciones, pequeños sismos que se leen en la estación central no son detectables en algunas de las otras estaciones y por ello se pueden leer 500 sismos.
- Por superposición de eventos, dificultades en la lectura de los tiempos de arribo y su localización, en más de 3 de las 4 estaciones sólo 250 sismos sirven.
- De los 250 sismos se han procesado 104 sismos, cuyos epicentros e

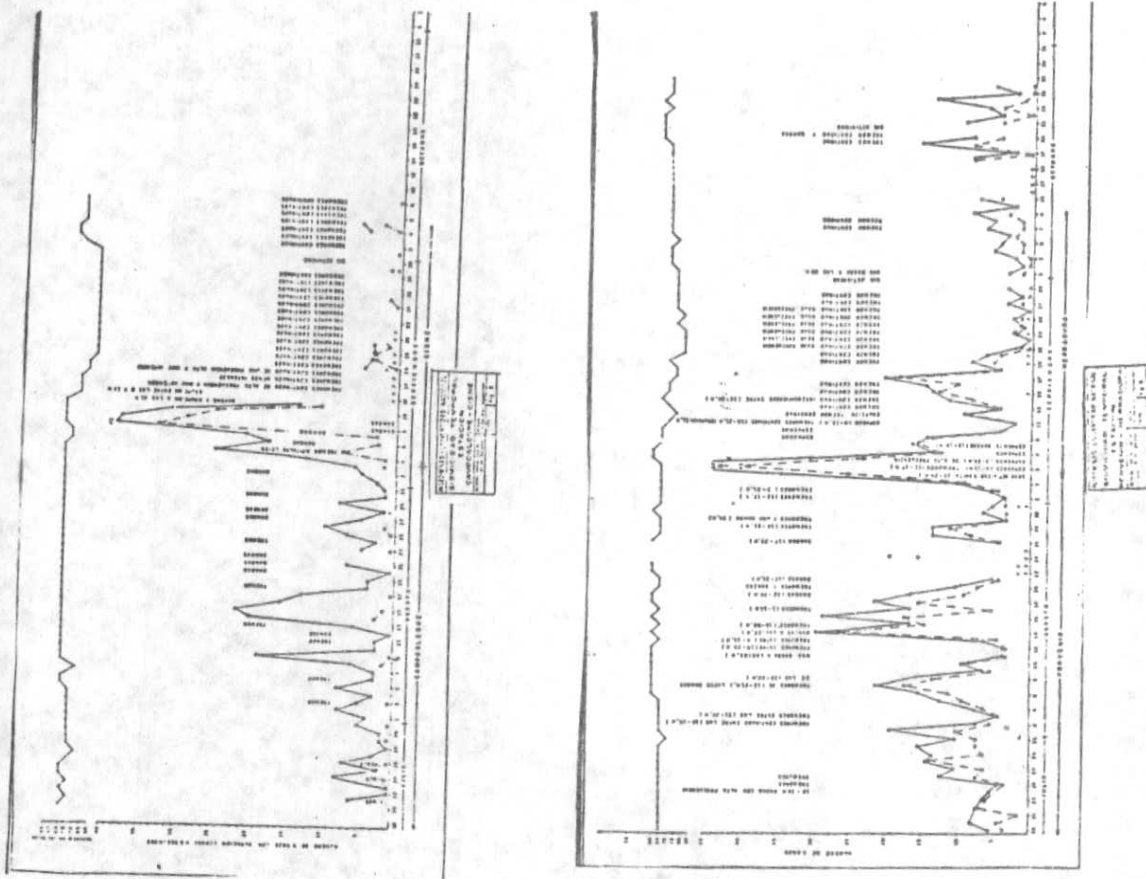
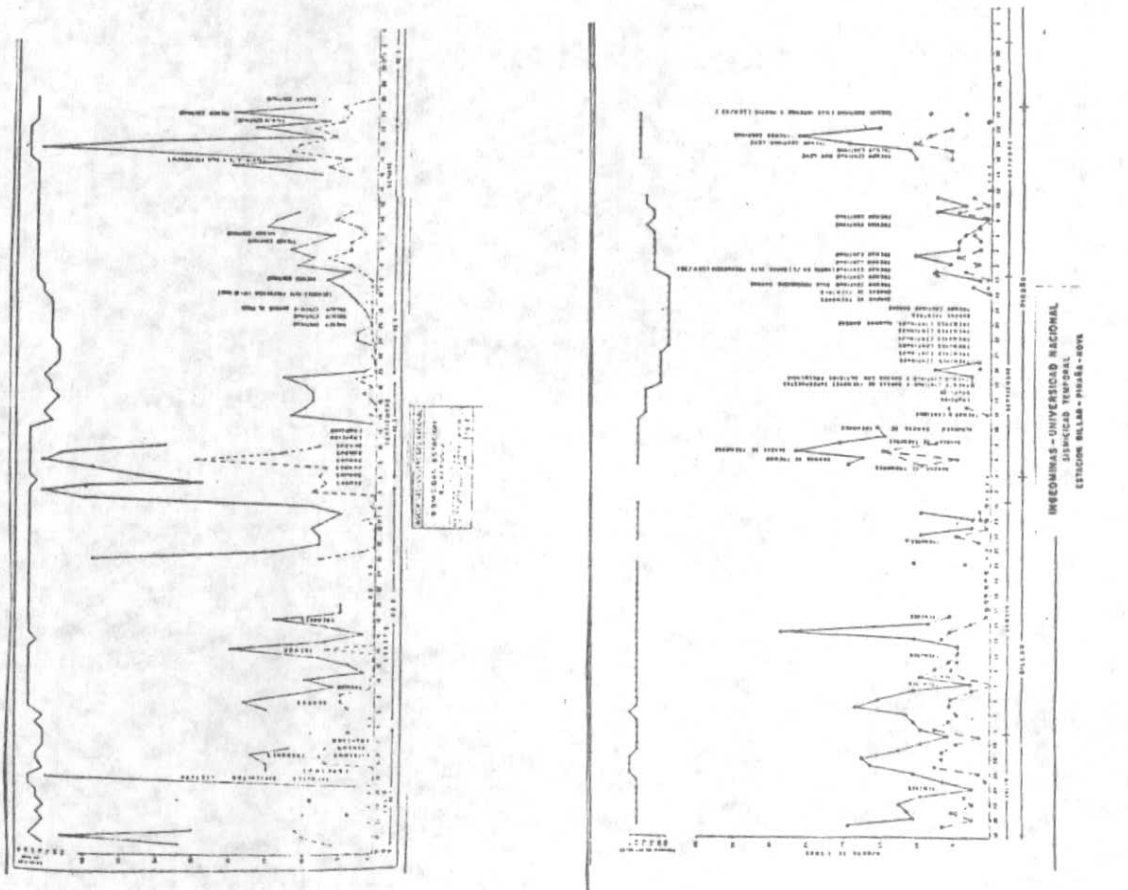


FIG. 6. COMPARACION DE LA SISMICIDAD TEMPORAL ENTRE LAS CUATRO ESTACIONES DE LA RED SISMOLÓGICA DEL NE-VADO DEL RUIZ.



INGEOMINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL

INGEOMINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL  
 SISMICIDAD TEMPORAL  
 ESTACION VADO DEL RUIZ - PHUEN-GOWA





hipocentros se pueden observar en las figuras ( 10 y 11 ).

En general, de la información sismológica que sirve se ha logrado procesar un 50 %.

La fase sismológica del proyecto Nevado del Ruiz, se ha desarrollado gracias a la colaboración de las siguientes Instituciones y Personal Profesional y/u Operarios.

Recolección de sismogramas: INGEOMINAS ( Geol. Jaime Fuquen, Cesar Carvajal, Jairo Cuellar y operarios de las regionales de Ibagué, Medellín, Popayán y Bogotá ); UNIVERSIDAD NACIONAL ( Geof. Ariel Solano); IGAC - IGA ( Tec. Juan Duarte )' CHEC ( Geol: Martha Calvache, Ing. Bernardo Salazar, Ing. Gil. - Operario: Rafael González ): UNICALDAS ( Geol: Fernando Muñoz, Carlos Borrero y estudiantes VI CONG. DE GEOLOGIA ) y el del apoyo Logístico de la Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales y FICDUCAL. Destacamos la colaboración muy especial de ISA, que además de facilitar su red sismológica, entra a apoyar económicamente durante el mes de noviembre, el desarrollo de esta fase sismológica.

- Lectura de Sismos: INGEOMINAS ( Geol: Jairo Cuellar, Miguel Garzón, Operarios: Luis Rodríguez, Gilberto Moreno, Pedro Ballén, Agustín Manrique) y la Univ. Nacional ( Geof. Ariel Solano, estudiantes del postgrado de Geofísica: Cristina Dimate. Edgar Cabrera y Fernando



hipocentros se pueden observar en las figuras ( 10 y 11).

En general, de la información sismológica que sirve se ha logrado procesar un 50%.

La fase sismológica del proyecto Nevado del Ruiz, se ha desarrollado gracias a la colaboración de las siguientes instituciones: INGEOMINAS, Universidad Nacional, CHEC y Universidad de Caldas.

Se conto con el apoyo de la Gobernación de Caldas, Alcaldía de Manizales y FICDUCAL. Destacamos la colaboración muy especial de ISA, que además de facilitar su red sismológica, entra a apoyar económicamente durante el mes de noviembre, el desarrollo de esta fase sismológica.

El procesamiento de los datos, y la responsabilidad de la interpretación y conceptos emitidos corresponden a INGEOMINAS y Universidad Nacional de Colombia-Bogotá.

#### 5.1 SISMICIDAD TEMPORAL

En la figura 2, sobre la sismicidad temporal de la estación No. 1 "El Refugio" se observan 11 máximos (picos) de actividad sísmica, sucedidos los día 20 y 28 de julio, 1, 7, 14 y 26 de agosto, 4, 8, 14 y 19 de septiembre y 19 de octubre. Los datos de agosto 14, 4 y 8 de septiembre y 19 de octubre son comparables para el estudio sísmico puesto que los sismógrafos tenían una misma ganancia (variaciones de la ganancia, parte superior de la figura 2).



En los días 20 y 29 de julio se presenta una gran cantidad de sismos, pero el mal funcionamiento del sismómetro en los días 22, 24 y 26 no permite definir "picos". Sin embargo se calculó un promedio de 35 sismos por día, que pueden ser más debido a que la estación no funcionó correctamente.

Posteriormente entre el 30 de julio y el 20 de agosto, la sismicidad fué baja, con un promedio de 10 sismos por día. La cantidad de sismos vuelve a aumentar a partir del 26 de agosto hasta el 10 de septiembre, distinguiéndose los máximos (picos) del 26 de agosto, 4 y 8 de septiembre por su contraste con sus respectivos mínimos 1,5 y 10 de septiembre. La sismicidad aparentemente decrece a partir del 13 de septiembre, posiblemente por la disminución de la ganancia en el sismógrafo ; progresivamente va aumentando hasta octubre 19, cuando se presenta un máximo de 40 sismos por día comparado con los 15 sismos promedio diarios ocurridos para esta segunda quincena de octubre.

La cantidad de sismos por día que observamos en la estación " El Refugio", figura 2, se compara con el número de sismos ocurridos en las estaciones " Campoalegre-Cisne", figura 3; " Billar-Piraña", figura 4 y "Porvenir-Herraduras" figura 5, donde los máximos de los días 14 de agosto, 6-8 de septiembre y 19 de octubre se distinguen fácilmente ( ver figura 6).

Los sismos típicos del volcán Nevado del Ruiz se presentan en la figura 7, donde se observa parte del registro de la estación El Refugio 3 durante el período 4-5 de septiembre. Los sismos de alta frecuencia (Tipo A) son la mayoría y los de baja frecuencia (Tipo B), se registran muy poco. A la llegada de la onda

Tipo B

Tipo A

P

REFUGIO 3 : IX 4-5, INCREMENTO EN LA ACTIVIDAD SISMICA.

FIGURA 7: SISMOS TIPICOS DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ

Observense los sismos tectónicos de alta frecuencia (Tipo A) y de baja frecuencia (Tipo B).

La llegada de la Onda P y la Onda S.

Parte del sísmograma del día 4-5 de septiembre de la estación REFUGIO 3.



sísmica primaria ( ONDA P ) figura 7, le corresponde al arribo de una sísmica secundaria ( ONDA S). Los sismogramas de la estación (4) " La Herradura" (figura 1), en los períodos 4-8 de septiembre y 21-24 de octubre presentan una alta densidad de sismos muy pequeños ( más de 500 por día), que no son registrados en ninguna de las otras estaciones, figura 8, lo que indica una situación muy particular de esta estación.

## 5.2. SISMICIDAD ESPACIAL

La ubicación de los sismos en el espacio se determina por los epicentros e hipocentros. Los epicentros son la proyección del foco sobre la superficie terrestre y se obtienen con base en el tiempo de arribo de la Onda P en las diferentes estaciones (figuras 1 y 10). Un mejor constreñimiento de los epicentros se puede lograr si se tienen más estaciones sismológicas.

La localización de Epicentro e Hipocentros se realizan mediante el programa Hipoinvers el cual se describe en el diagrama de Bloque de la figura 9.

El Mapa de Epicentros se presenta en la figura 10. En este gráfico se observa una mayor densidad en el cuadrado de 5 km. de lado que rodea el Nevado del Ruiz, y que contiene 40 sismos. Al noroeste del cráter Arenas se presenta la mayor cantidad de epicentros, 6 (seis) y le sigue la zona situada en el nacimiento del río Azufrado con cuatro (4) sismos. El 90% de los epicentros se ubican en el área determinada por la circunferencia con eje en el cráter Arenas que coincide con la red sismológica estrecha ( figura 10).

16:45 UT  
16:45 CROND

16:46 UT  
16:46 CROND

FIGURA 8: Alta densidad de peññsimos sismos (H).  
HERRADURA X-21/22: Comparados con los sismos de coda con  
Larga duraci3n (mayor a 170 seg.)(I,J).

16:00 CROND



El Hipocentro es el sitio donde se origina la onda sísmica, que también se denomina "foco" del sismo. Para conocer la profundidad del hipocentro se utiliza la diferencia en el tiempo de llegada de la Onda S respecto a la Onda P ( S-P) en cada una de las estaciones. Una buena cantidad de hipocentros tiene una raíz cuadrada media ( RMS) y una margen de error en la vertical ( ERZ ) muy alta a causa de la dificultad de lectura del tiempo de llegada de la Onda S, característico de los sismos volcánicos y por la falta de más estaciones sismológicas.

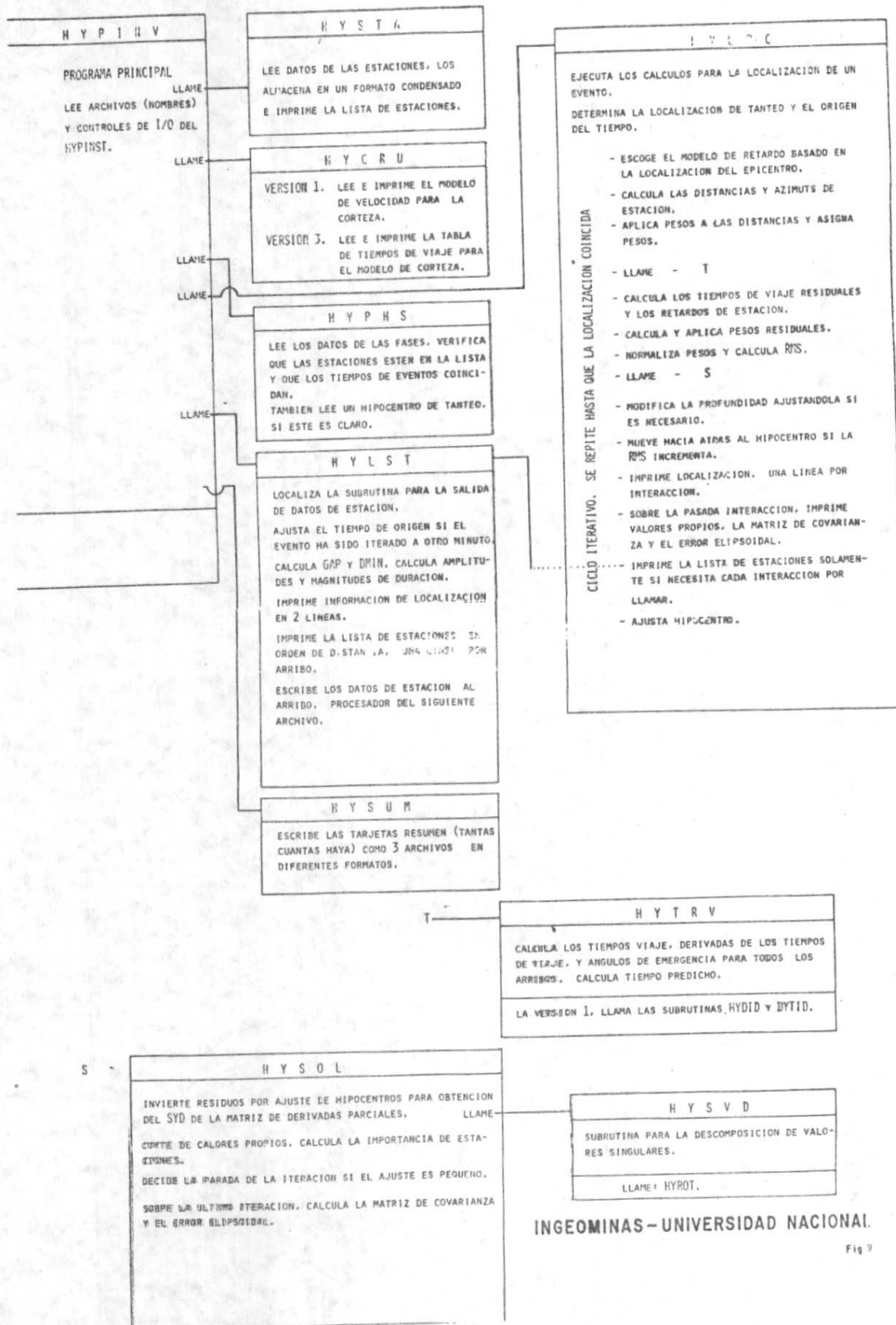
El perfil de hipocentros, figura 11, muestra la profundidad de los sismos. Se toma como punto de partida o profundidad cero, la elevación de 3.800 metros sobre el nivel del mar, denominada DATUM, que coincide con la elevación de 3 de las estaciones ( El Refugio 1 se ubica a 4.800 y Refugio 4 a 4.600 m. sobre el nivel del mar).

En el perfil de hipocentros, figura 11 se observa que los más confiables se encuentran ubicados en el rango de 4 a 5 km. de profundidad.

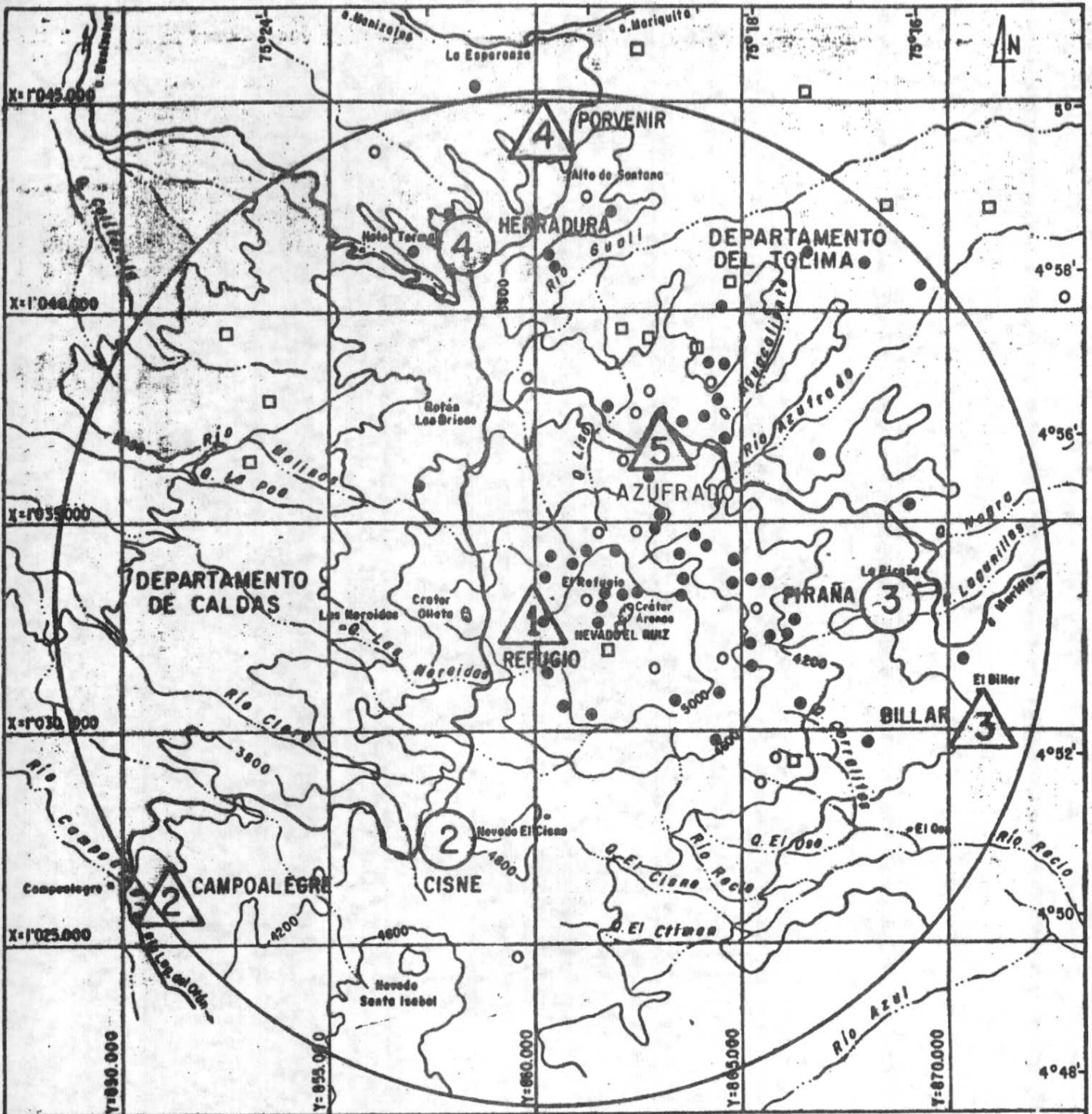
### 5.3. RIESGO SISMICO

Del análisis de la sismicidad del Volcán Nevado del Ruiz, pasaremos a un marco más regional con el fin de obtener un conocimiento general del Riesgo Sísmico del área de influencia del Parque Natural de Los Nevados. Es importante llamar la atención sobre las diferencias del análisis mixeodiamixo que hasta el momento se ha presentado, orientado a lograr las pautas que permiten conocer

# Diagrama de Bloque del Programa HYPINVERSE







CONVENCIONES



Ubicación de la estación en la Red Amplia.



Ubicación de la estación en la Red Extrecha.

INGEOMINAS - UNIV. NACIONAL

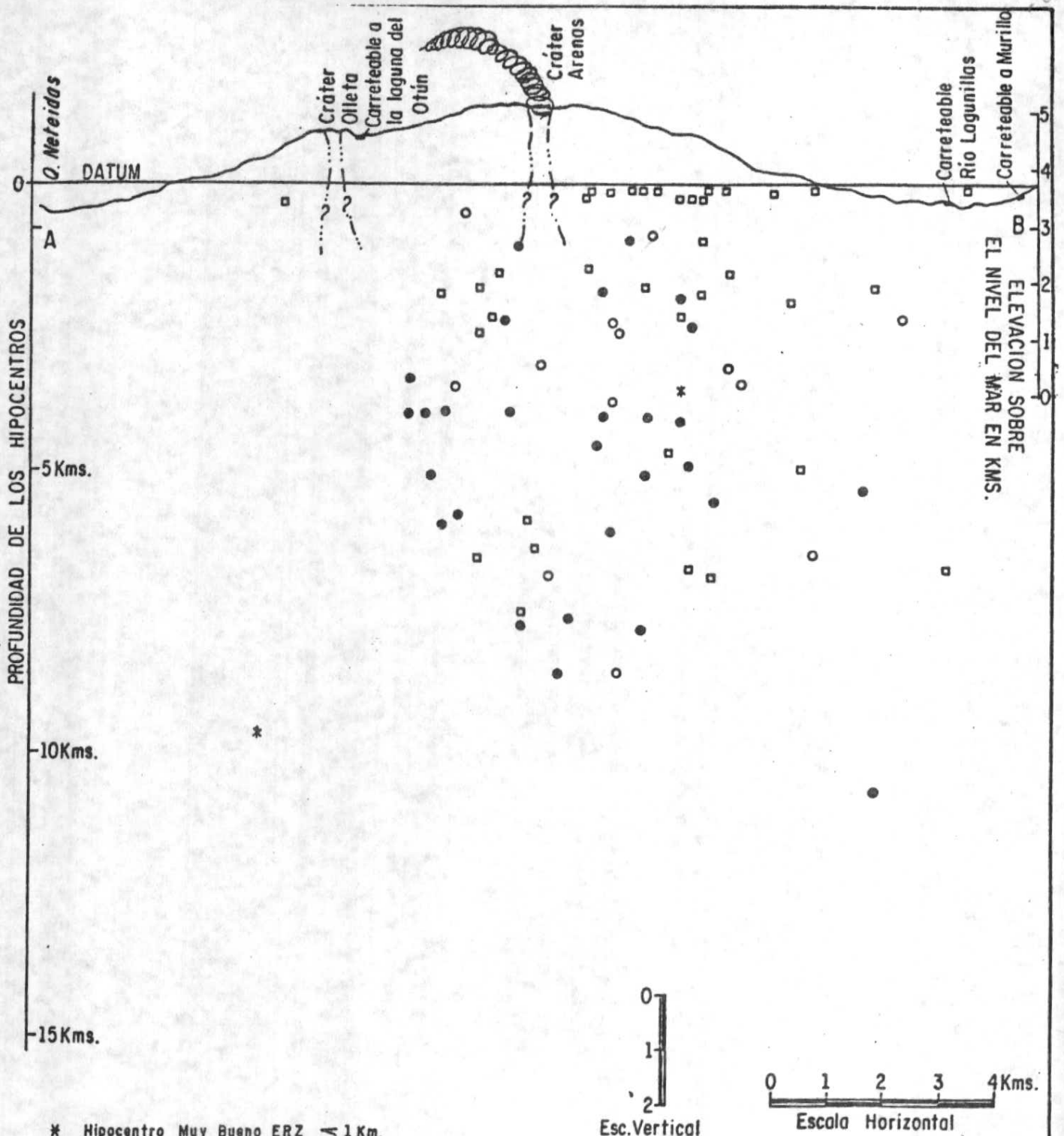
LOCALIZACION DE LA RED SISMOLOGICA Y UBICACION DE EPICENTROS DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ

Autores: Jaime Cuéllar  
Ariel Solano

Dibujó:  
Cartografía - Ingeominas



Fig. 10



- \* Hipocentro Muy Bueno ERZ  $\leq$  1 Km.
- Hipocentro Bueno ERZ  $\leq$  3 Km.
- Hipocentro Regular ERZ  $\leq$  10 Km.
- Hipocentro Mala ERZ  $\leq$  10 Km.

Nota: EL DATUM es la elevación promedio de las estaciones sismológicas 3.800 metros S. N. M.

INGEOMINAS - UNIV. NACIONAL	
CORTE TOPOGRAFICO AB (LATITUD- 4° 53.60')	
PERFIL DE HIPOCENTROS	
Autores: Jairo. Cuéllar Ariel Solano	Dibujó: Cartografía-Ingeominas
	Fig. 11



signos premonitorios en la predicción de una erupción del volcán, respecto de la sismicidad regional dada en este capítulo y el cual tiene un tratamiento geoestadístico diferente.

Según Sarria (1980), "Se entiende por riesgo sísmico la posibilidad de sobrepasar valores estimados para parámetros fundamentales con que se hace el diseño sísmoresistente de las construcciones. En la vida práctica el riesgo sísmico puede considerarse más espectacular que otros riesgos derivados de fenómenos naturales, tales como huracanes o inundaciones. Esta espectacularidad se origina en el largo período de retorno de los sismos, lo cual no permite al hombre una familiaridad, o convivencia con el fenómeno; el hombre ve y siente con frecuencia la acción de las lluvias intensas o vientos fuertes; rara vez siente el efecto de sismos intensos... La evaluación del riesgo sísmico proviene de la síntesis entre los estudios de sismicidad derivados de la información de registros de sismos pasados, y los estudios geotectónicos principalmente de la tectónica reciente o neotectónica".

Las variables básicas en la evaluación del riesgo sísmico son la magnitud del sismo, la recurrencia de las magnitudes, la ubicación de los futuros focos, las características de la alternación de la aceleración, el ambiente geotectónico, la duración del sismo, el contenido frecuencial y las condiciones geotécnicas locales. Basados en los valores de Magnitud ( $M_s$ ) del catálogo de ISA (1979), se presenta el Mapa de Isolíneas del valor  $M_s$  que es función directa de la Liberación de Energía para el área de influencia de los volcanes del Parque Naturales de los Nevados. Figura 12.

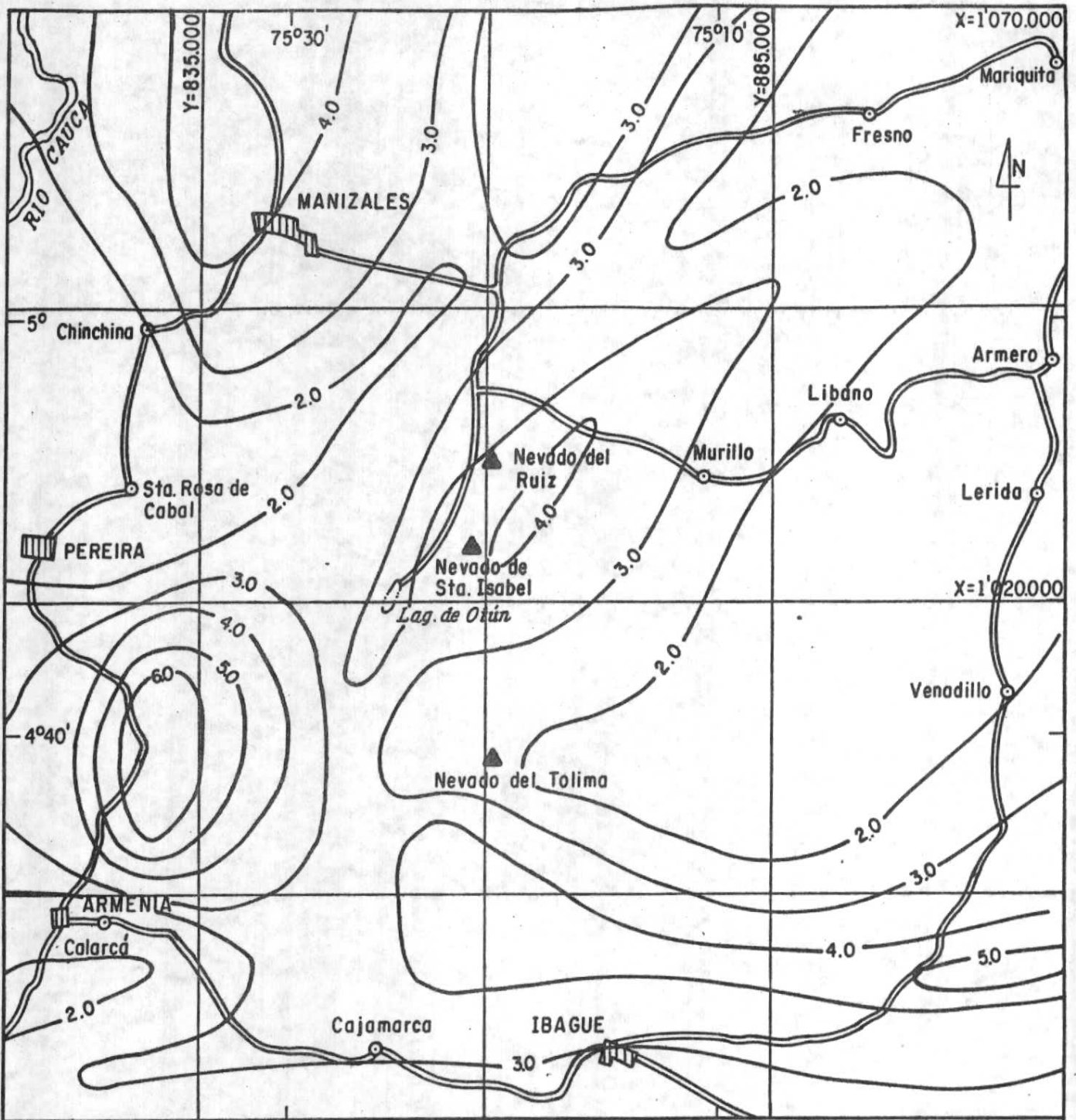


El valor de la magnitud Ms en el sector comprendido entre 4°10' a 5°10' de Latitud norte y 75°a 75°50' de longitud Oeste, presenta cuatro sectores con valores Ms mayores a 4 siendo una relación directa de la energía liberada, que son: a) Salento con Ms de 6 en la escala Richter, ( que no tiene límite superior pero en la práctica varia de 1 a 9. b) Ibagué - Alvarado con Ms de 5m c) Nevados Ruiz - Santa Isabel con Ms de 4 y d) Manizales -Neira con Ms de 4. Estos sectores de mayor valor el de la Magnitud Ms coinciden con el trazo de las zonas de fallas de: Romeral ( Salento y Manizales-Neira), Palestina (Nevados Ruiz - Santa Isabel) e Ibagué- Pericos ( Ibagué -Alvarado).

La profundidad de los sismos entre 130 y 170 kms. para el sector de Salento implica una tectónica profunda, quizás asociada con la Zona de Benioff o a los pisos estructurales de la corteza y el manto donde existen diferencias físico-mecánicas, entre cada piso. ( Coral -Gómez, 1985). A diferencia de la gran densidad de sismos de pequeña magnitud pero muy superficiales ubicados en las cercanías de Chinchina.

El Area comprendida entre Armenia, Pereira y Manizales hace parte de las zonas de mayor intensidad sísmica definidas por Coral-Gómez(1985) y denominada región de Caldas, figura 13.

Las Fallas de Palestina y Romeral-Cauca, son los principales aspectos geotectónicos que tienen un tratamiento estadístico realizado por Garcia-Reyes et al (1984). La figura 14, muestra para la ocurrencia de sismos entre 1566 -1984, la determinación estadística de la Sismicidad (Beta), la frecuencia media de eventos por año y profundidad promedio de los eventos; la sismicidad (Beta) se obtie



Energía Liberada por un Sismo:  $\text{Log. } E = 11,8 + 1,5 \text{ Ms}$      $E$ : Energía Liberada en Ergios.  
 Ms: Magnitud.    Datos Ms. Obtenidos del Catálogo ISA (1979).

**CONVENCIONES**

-  Capital
-  Municipio
-  Carretera
-  Nevado
-  -4.0- Isolinea

**INGEOMINAS - UNIV. NACIONAL**

MAPA DE ISOLINEAS DE LA  
 MAGNITUD MS. FUNCION DIRECTA  
 DE LA ENERGIA LIBERADA  
 PARA EL AREA DE INFLUENCIA  
 DEL PARQUE NATURAL DE LOS  
 NEVADOS

Autores: Jairo Cuellar, Ariel Solano.    Dibujo: Cartografía - Ingeominas.

0 10 20 Km.    Fecha:    Fig. 12



27

ne de la "Ley de Magnitudes de Richter, la cual plantea que en una zona de la corteza terrestre y durante un período de tiempo dado, la ocurrencia de sismos puede aproximarse por medio de la siguiente relación:

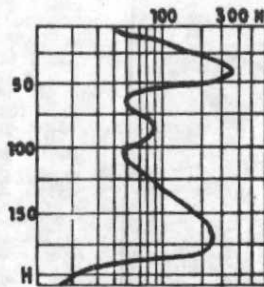
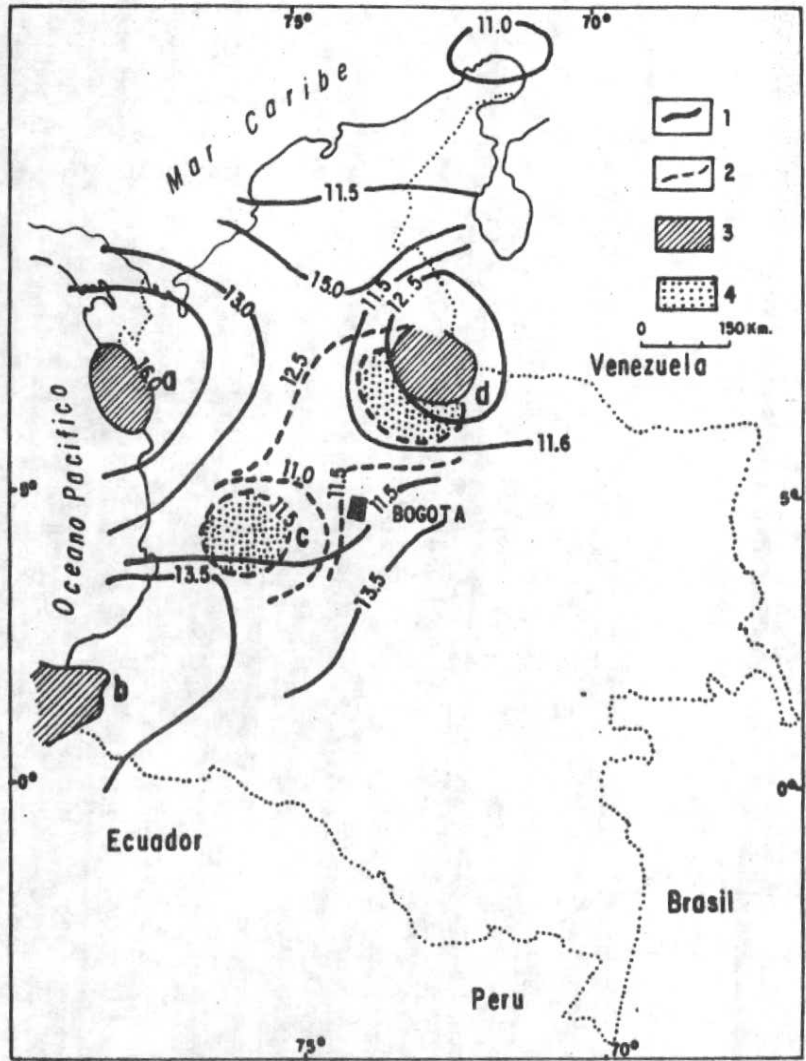
$$\text{Log}_{10} ( N m ) = p + qm$$

donde Nm es el número de sismos con magnitud mayor o igual a m y p y q son constantes. Esta relación puede también presentarse así:

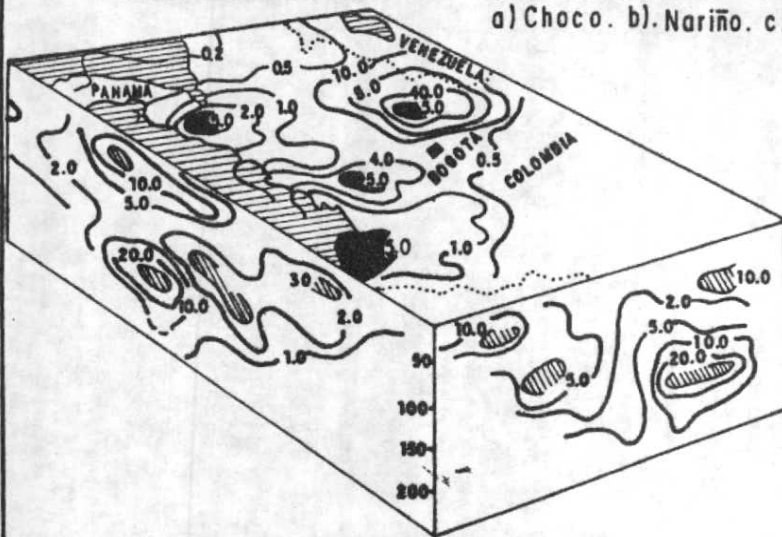
$$N m ) = \exp ( = B m )$$

donde  $\lambda = 2.3 p$  y  $B = 2.3$  " Garcia -Reyes et al (1984). Con base en estos datos se presenta para las ciudades de : Armenia, Ibagué, Manizales y Pereira: (áreas metropolitanas dentro de la zona de influencia del Parque Natural de los Nevados).

"La influencia de las diferentes fuentes sísmicas en el riesgo de estas ciudades, para el menor nivel de aceleración y para un nivel de corrección en la incertidumbre del 50 %. Estos gráficos (figura 15) permiten definir que las fallas geológicas deben estudiarse con mayor detenimiento al hacer refinamientos acerca del riesgo sísmico de estas ciudades... recomendándose realizar, de manera urgente, estudios integrados geológicos, geofísicos e ingenieriles de los principales sistemas de fallamientos... junto con las estructuras transversales las cuáles pueden desempeñar un importante papel en el riesgo sísmico" Garcia - Reyes et al (1984).



Mapa de energía sísmica promedio liberada anualmente. 1-H 70Km. 2-H 70 Km. 3-4.Zonas de alta sísmicidad. a) Choco. b). Nariño. c)Caldas. d) Santander.

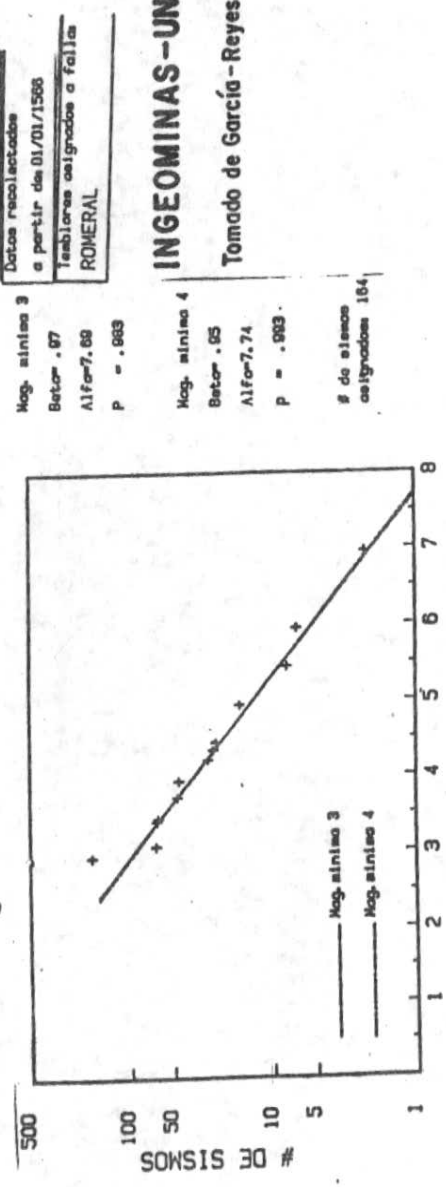
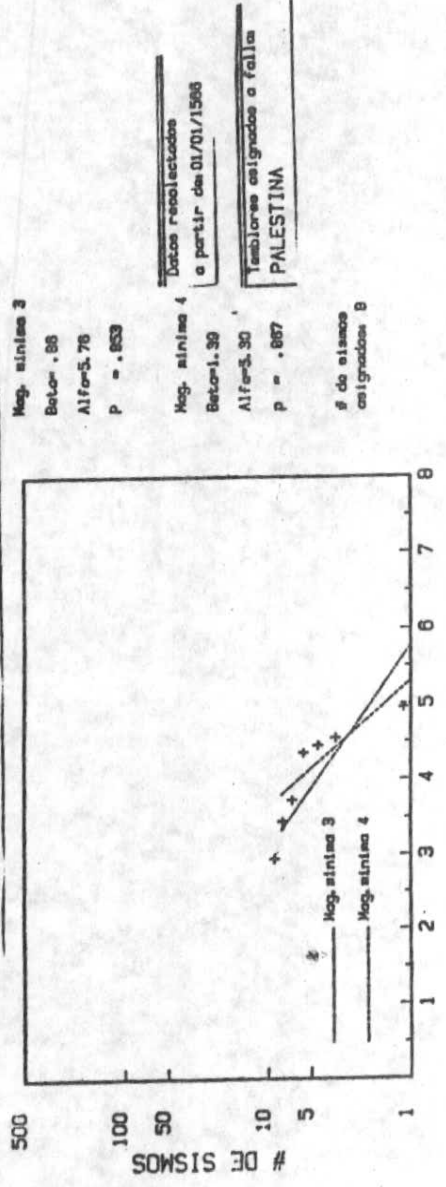


Densidad de hipocentros y distribución de focos sísmicos con la profundidad.

Tomado de Coral Gomez (1985)

<b>INGEOMINAS - U. NACIONAL</b>	
<b>MAPA DE ENERGIA SISMICA LIBERADA Y BLOQUE DIAGRAMA DISTRIBUCION DE HIPOCENTROS EN COLOMBIA</b>	
Autor:	Dibujó: Cartografía - Ingeominas
	Fig. 13

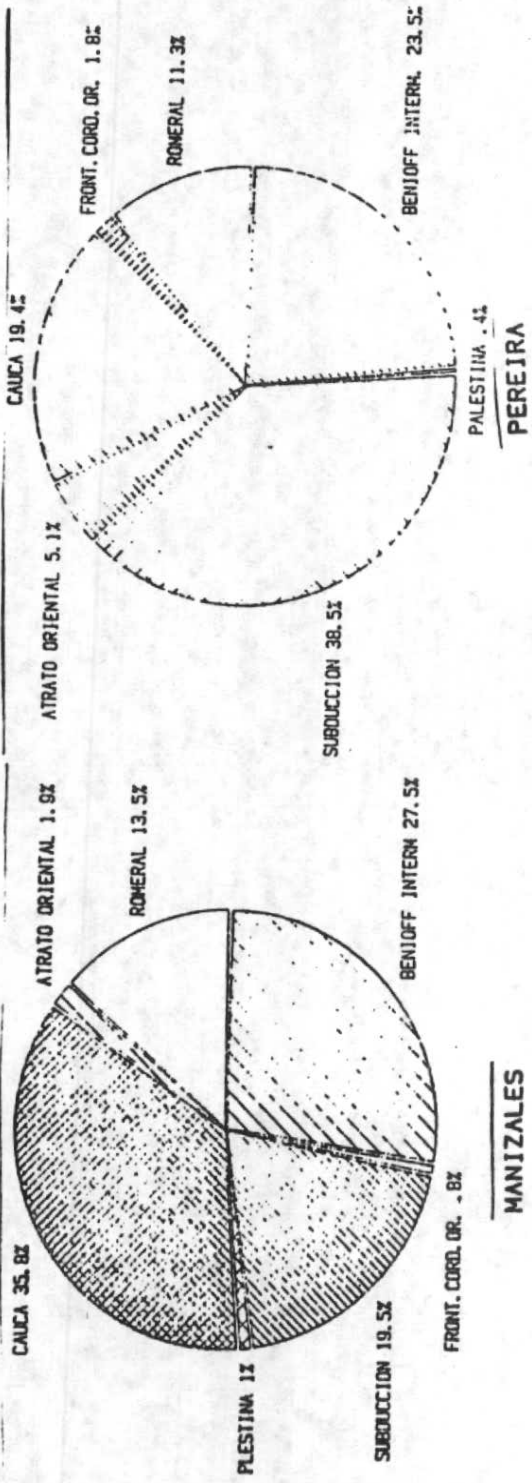
# SISMICIDAD - FRECUENCIA Y PROFUNDIDAD MEDIA DE LOS SISMOS ENTRE 1566 - 1984



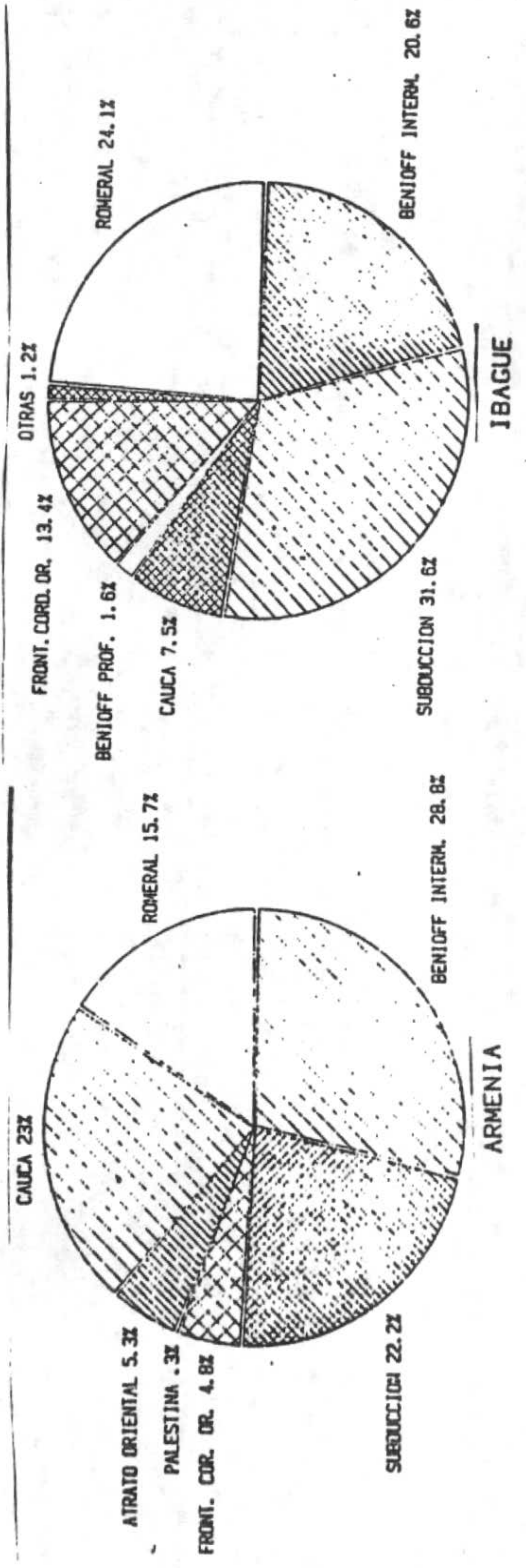
INGEOMINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL  
 Tomado de García-Reyes et al (1984) Fig. 14



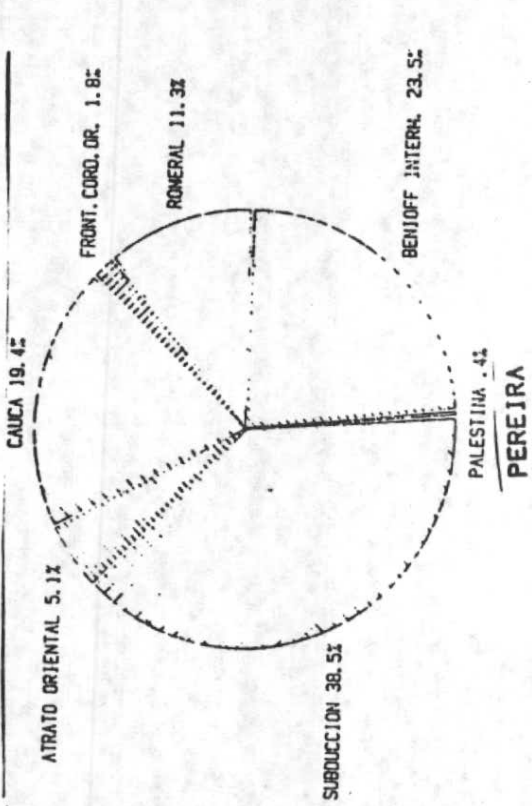
# INFLUENCIA DE CADA FALLA



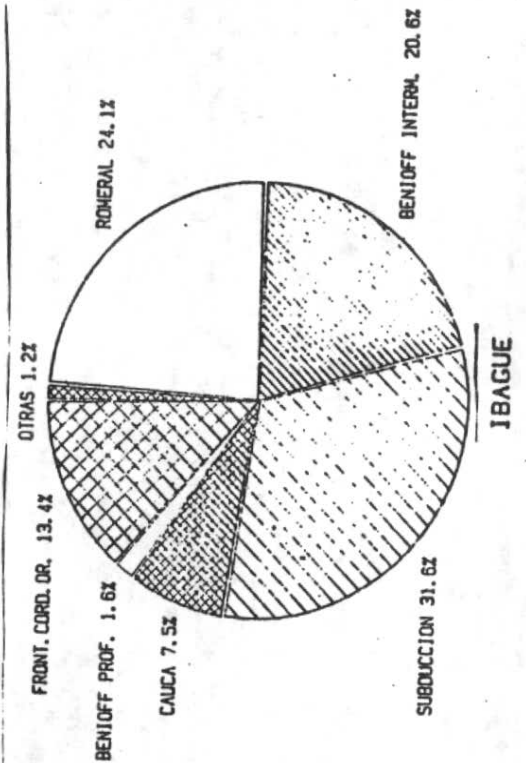
MANIZALES



ARMENIA



PEREIRA



IBAGUÈ



#### 5.4. TREMORES VOLCANICOS

En los sismogramas es típico ver señales que en general no tienen un claro principio ni final; ellas prácticamente emergen del ruido de fondo y así mismo desaparecen. Tales señales han sido observadas en muchos volcanes activos del mundo y son denominados tremores. Se cree que estos tremores son el movimiento continuo del suelo causado por movimientos de magma en el interior de la corteza, y así usados como una de las herramientas más útiles para el entendimiento de estos procesos. Los tremores son caracterizados por su duración, amplitud y frecuencia características. En nuestros registros sísmicos observamos tres tipos: ver figura 16.

a) Unos de muy corta duración ( 10 seg.), alta frecuencia ( 10 Hz) y amplitudes 4 mm a 84 dB.

Estos son los denominados espasmos.

b) Otros con duraciones que oscilan alrededor de 30 seg. frecuencias de 10 Hz y amplitudes variables. Son los denominados tremores de alta frecuencia.

c) Un tercer tipo es de baja frecuencia ( 4Hz) y su duración varía entre 1 y 15 minutos. Llamados aquí de baja frecuencia.

En general estos tres tipos de tremores aparecen aleatoriamente distribuidos con una excepción importante:

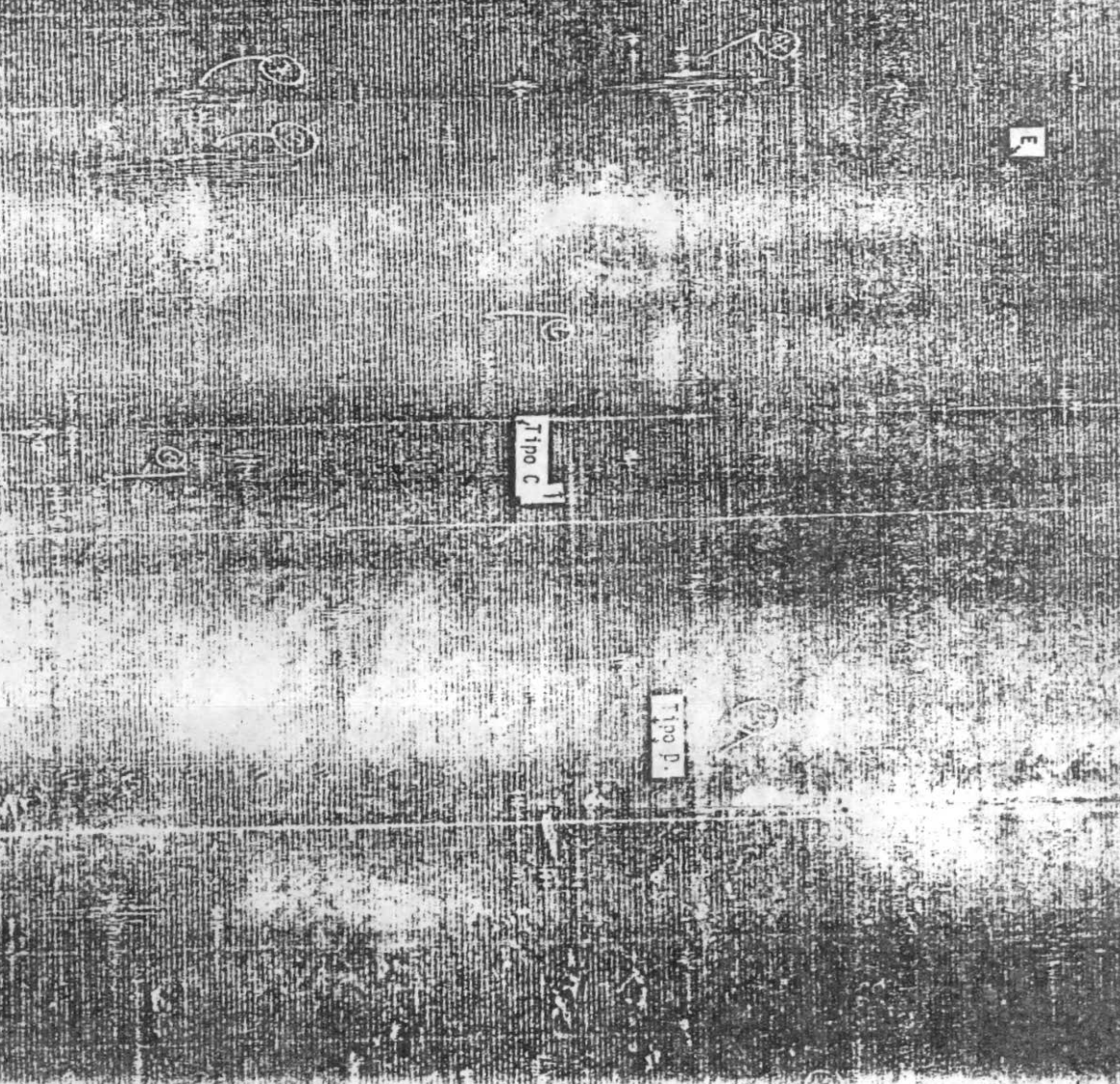
El día 6 de septiembre se observa la aparición de los tremores de baja frecuencia con una duración de 15 minutos seguida por períodos de quietud de aproximadamente 1 hora y situación que continua hasta el 11 de septiembre, día de una



erupción freática de importancia (ceniza asociada a esta erupción fué reportada en Manizales y Chinchiná). La periodicidad de los tremores desaparece después de la erupción, pero aumenta la amplitud del ruido sísmico de fondo, notándose un descenso en los comienzos de octubre, así podemos decir, que posterior a la erupción, el volcán quedó en un estado de excitación general, sísmicamente hablando. Bandas similares podemos distinguir los días 2 de agosto (con posible erupción el día 3), 7 de agosto (erupción el 8). Las erupciones correspondientes fueron pequeñas y de corta duración de acuerdo con los registros y tal vez por ello pasaron desapercibidas. En los días 25-26 de septiembre se inicia la aparición de las bandas, con una pequeña erupción de cenizas ocurrida el día 27 de septiembre y nuevamente una excitación general, volviendo a la normalidad durante los primeros días de octubre. Para octubre 19 a 23 hay un incremento de los sismos tectónicos, acompañado de una excitación general manifestada en los tremores continuos con una menor frecuencia y amplitud que los observados en septiembre. Sin llegar a ser claras las bandas de tremores durante el mes de octubre, es posible que se hubiese presentado una erupción freática sin extrusión de cenizas el día 23 de octubre a las 12 horas G.M.T. observable en la estación de "Piraña" por poseer una mayor ganancia ( 84 db ), que las otras estaciones ( 78 db).

Así entonces, aunque no conocemos reportes sobre la aparición de estas bandas en otros volcanes, nos atrevemos a sugerir que ellas pueden ser signos premonitorios de la erupción y por tanto una guía hacia el conocimiento del comportamiento futuro del Volcán Nevado del Ruiz. La magnitud de la erupción parece ser proporcional a la duración de las bandas a través de los días. Esta creemos es una buena hipótesis de trabajo y la proseguiremos estudiando en los

FIGURA 16: TREMORES DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ  
Obsérvese los tremores de alta frecuencia (Tipo C) y los de baja frecuencia (Tipo D) y los espasmos (E). Nótese la dificultad para precisar el momento de inicio y finalización del tremor.  
Sismograma Estación REFUGIO 1, 20-21 de Julio/85.



REFUGIO 3 : IX 7-8. BANDAS DE TREMORES E INCREMENTO DE LA ACTIVIDAD  
SISMICA,

FIGURA 17: BANDAS DE TREMORES

Nótese la periodicidad de las bandas de tremores y sismos (F)  
registrados en los días 7-8 de septiembre de la Estación  
REFUGIO 3.



futuros registros. Solicitamos con este fin la adquisición de estaciones sísmicas digitales que permitan realizar un estudio más detallado de los tremores.

### 5.5. APRECIACIONES SISMOLOGICAS

- 5.5.1. La mayoría de los epicentros se localizan en las cercanías del cráter Arenas. Los hipocentros confiables se ubican a una profundidad que varía de 4 a 5 km.
- 5.5.2. Sismológicamente se han definido 5 erupciones freáticas entre el 20 de julio y 27 de octubre, ocurridas los días 3, 8 de agosto y 11, 27 de septiembre, y 23 de octubre donde las del 11 y 27 son acompañadas con extrusión de cenizas.
- 5.5.3. La presencia de Bandas de Tremores en los días previos a las erupciones parece ser un premonitorio de buena confiabilidad para la predicción de erupciones.
- 5.5.4. La sismología como principal actividad para predecir una erupción que pueda llegar a ser catastrófica requiere una red mínima de 8 estaciones que permitan mejorar la calidad de los datos obtenidos.
- 5.5.5. El estudio microsísmico realizado al volcán Nevado del Ruz da un cono



cimiento indirecto de los movimientos al interior del edificio volcánico con el objetivo principal de obtener signos premonitorios que permitan predecir una posible erupción, como un argumento fundamental para evaluar los riesgos geológicos (volcánicos, sísmico, etc) dentro del área de influencia; siendo necesario estudios más detallados de las fallas geológicas del área para una mejor evaluación del riesgo sísmico y en especial la relación existente entre la falla La Palestina y la actividad de los volcanes del Parque Natural de Los Nevados.



DIAGRAMA DE BLOQUE - RESUMIDO DE HYPOINVERSE

HYPINST

LLAME ..... HYSTA

LLAME ..... HYCRU

LLAME ..... HYPHS

LLAME ..... HYLOC

LLAME ..... HYLST

LLAME ..... HYSUM

LLAME..... HYTRV  
LLAME ..... HYSOL....LLAME.....HYSUD  
LLAME ..... HYLST

H I P I N V

PRINCIPAL CICLO

HYBDA ( 2 TR, PROFUNDIDAD DE CONJETURA )





## 6. G-E O Q U I M I C A

Las labores relacionadas con este ramo están a cargo de la CHEC. El estudio de los gases es lo más recomendado y para tal efecto la misión italiana tomo muestras para ser analizadas en los laboratorios de Florencia y Pisa. La identificación de  $SO_2$  en los análisis hechos por la CHEC indican actividad magnética. La toma de muestras de gases es peligrosa y sus análisis dispendioso lo que dificulta la utilización de resultados a corto plazo.



## 7. CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

El carácter de activo y el comportamiento actual del Volcán Nevado del Ruíz hacen necesaria la vigilancia permanente que facilite prever erupciones catastróficas tanto a largo como a mediano plazo respectivamente.

La vigilancia debe incluir:

- Observaciones visuales periódicas por parte de personal especializado para poder detectar cambios en forma y actividad del volcán y contorno.
- Estaciones sismológicas permanentes para poder conocer mejor el estilo del volcán y predecir actividad futura violenta.
- Estaciones de inclinometría permanente para mediciones periódicas y detección por medio de éstas de cambios importantes en la forma del volcán y poder hacer predicciones a corto y largo plazo.
- Estaciones metereológicas para controlar dirección, intensidad y velocidad del viento a diferentes alturas y en el área específica del Ruíz; para tener conocimiento de caudales y contenidos de sedimentos de los



ríos que drenan los glaciares, para poder predecir deshielo o presencia de cenizas en sus cabeceras.

- Análisis de gases para conocer su procedencia y detectar cambios de tipo de actividad.
  
- Labores de cartografía geológica a escalas cada vez mayores, estudios vulcanológicos y petrológicos detallados, dataciones radiométricas o por otros medios, todo esto con carácter permanente.



## BIBLIOGRAFIA

Coral-Gómez C.E. ( 1985 ) " Estructura interna y sismicidad del territorio Colombiano" memorias del Primer Simposio Colombiano de Geofísica - VI Congreso Latinoamericano de Geología ( en prensa ) Bogotá.

García-Reyes L.E., Saria - Molina A, Espinosa - Silva A. Bernal-Latorre C.E. y Puccini - Locatelli Marco. (1984). " Estudio general del riesgo sísmico de Colombia" Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica 103 p. Bogotá.

Interconexión Eléctrica S.A. (ISA). 1979 " Actualización de la información sísmica de Colombia" realizado por ITEC. Ltda. Bogotá.

Sarria -Molina, A. (1982) " Ingeniería Sísmica" Universidad de los Andes, 359 p. - Bogotá.