

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
Dirección de Geofísica

Informe Preliminar

Crisis Sísmica en el volcán Momotombo - Abril 1996

Recopilado por: Dr. Wilfried Strauch

Fecha: 18 de Abril de 1996

Con este informe se tiene la intención de conservar las informaciones de base sobre la actual crisis sísmica en el volcán Momotombo para poder usarlas en futuros trabajos científicos o técnicos. Se presentan observaciones, trabajos y materiales preliminares, entregados por los siguientes colaboradores de Geofísica/INETER (mencionados en el texto o en parentesis al fin de los párafos respectivos)

- Personal del turno sismológico,
- Fabio Segura, Virginia Tenorio, Mario Bodán, (Depto. Sismología)
- Marta Navarro, Nelson Buitrago, Cristian Lugo (Depto. Vulcanología)
- Camilo Urbina (Electrónica)
- Pedro Perez (Asistente técnico, Dirección Geofísica)
- Wilfried Strauch.

Observaciones instrumentales y observaciones visuales

El 03 de Abril de 1996 comenzó una crisis sísmica en el volcán Momotombo. Este día la estación sísmica ubicada en las faldas del volcán registró 150 sismos de baja magnitud. El 04 de Abril se bajó la actividad a 62 sismos pero estalló el 05 y 06 de Abril con 250 y 380 eventos, respectivamente. Observando la actividad creciente que en esta intensidad posiblemente no había ocurrido en el Momotombo después de la crisis del Septiembre de 1975, el Director de Geofísica del INETER envió el Domingo, 07 de Abril, un Comunicado Sismológico a la Presidencia, a la Defensa Civil y a la Planta Geotérmica en el Momotombo. A los medios de Comunicación, que se habían enterado de esta actividad, el sismólogo de turno dió información al respecto, si la solicitaron.

La decisión de informar a las autoridades y al público sobre la sismicidad anormal fue tomada cumpliendo las normas que se aplican internacionalmente a estas situaciones. Una actividad sísmica que crece en pocos días de prácticamente zero a más que 200 sismos por día puede clasificarse como moderada reactivación del volcán y requiere aviso de autoridades (ver Ortiz, 1992 en Díez Gil, 1992; UNDR0-UNESCO 1985, referencia en Tilling, 1993).

El 8 y 9 de Abril la actividad sísmica decreció a menos de 50 eventos por día. Dado que ningún miembro de Vulcanología se

presentó en estos días, se solicitó el 8 de Abril al técnico Pedro Pérez, experimentado en tales trabajos, que suba al cráter del Momotombo para obtener información sobre el estado del mismo y coleccionar datos sobre las temperaturas en las fumarolas del cráter. Pérez fue acompañado por el Ing. Camilo Urbina quien no subió sino se dedicó al mantenimiento de la estación sísmica. Vulcanología de INETER no había medido temperatura en el Momotombo en los últimos 7 meses. Pedro no detectó ningún cambio en el cráter, las temperaturas en las diferentes fumarolas oscilaron entre 250 y 970 grados centígrados. Urbina y Pérez entrevistaron a las personas que trabajan en la planta geotérmica y a pobladores del área sobre sus observaciones. Resultó que algunos habían sentido sismos y habían escuchado retumbos en el volcán.

El día 10 de Abril, 3:08 PM, ocurrió con la magnitud 3.5 el sismo más fuerte de la crisis. Este sismo que según observadores locales (fuente: puesto de mando de la Defensa Civil y del Ministerio de Acción Social en La Paz Centro) fue acompañado por una nube oscura que se levantó encima del cráter y fue sentido fuerte en la planta geotérmica, causando gran susto. Se evacuó gran parte del personal aunque la producción de energía continuó. Este día el número de sismos detectados fue de 510. El 11 de Abril se bajó a 340 y los días 12 y 13 a 97 y 40, respectivamente.

El reporte sobre la nube oscura en el momento del sismo del 10 causó la duda si en el cráter hubiera ocurrido sea un colapso de partes de las paredes o una pequeña explosión volcánica. Por la alta sismicidad no se quiso arriesgar de subir al cráter y el Director de Geofísica y la vulcanóloga Marta Navarro decidieron de hacer el día 12 de Abril un vuelo de reconocimiento. El resultado de este vuelo, que se obtuvo después de analizar las fotos tomadas, fue, que no hubieron cambios en el cráter. Como se supo de visitas anteriores al cráter y de otros vuelos, se dió cuenta de nuevo que la cumbre y las laderas del volcán presentan una pronunciada erosión y profundas grietas.

Después del 12 de Abril la actividad se mantuvo en un nivel relativamente bajo de aproximadamente 20-50 eventos por día.

Según información de la Defensa Civil ocurrió en la mañana del 16 de Abril después de un sismo de magnitud 2.6 un pequeño derrumbe en las faldas del volcán.

El día 17 comenzó un tremor de baja amplitud que se aumentó el día 18. El tremor tiene una componente monocromática de aproximadamente 6 Hz. Si este tremor se mantiene o aumenta y si se confirma que no es un efecto técnico en los aparatos o causado por el trabajo de la planta geotérmica sino un movimiento real del volcán, se considera eso como índice para la existencia de movimientos magmáticos, lo que aumentaría el peligro de una erupción volcánica.

Procesamiento de los datos sísmicos

Los registros sísmicos fueron inmediatamente analizados con los

métodos estandar por el Sismólogo de Turno. Así se tuvo un control permanente sobre el desarrollo de la actividad y se supo que los sismos ocurrieron directamente debajo de la falda sur del volcán, es decir muy cerca de la planta Geotérmica.

Muchos eventos se registraron no solamente en la estación sísmica del Momotombo sino también en otras estaciones. El sismo mayor del 10 de Abril, 3:08 PM (hora local), se registró en toda la red sísmica de Nicaragua. En una fase de reprocesamiento se repitió localización y determinación de la magnitud y adicionalmente se determinaron mecanismos focales para los sismos más fuertes.

Todos los sismos que ocurrieron durante esta crisis fueron del llamado **tipo "A"**, es decir sismos impulsivos, similares a los sismos tectónicos. Se piensa, en concordancia con la literatura, que este tipo de sismos tiene su origen en el movimiento de fallas originados por el tectonismo regional y local, y/o por la fracturación de la roca en respuesta a la intrusión y migración del magma o a la expansión de fluidos geotérmicos de alta presión (ver p.ej. Banks et al., 1993, en Tilling, 1993).

Todos los sismos que pudieron localizarse tuvieron su **origen** en un área pequeño debajo de la falda sur del volcán, ver Figura. Este lugar se encuentra un poco más al Norte que el área epicentral del enjambre de 1975 que ocurrió en medio camino entre Momotombo y Momotombito (Boletín Sísmico de Nicaragua, 1975; Muñoz, 1983). La exactitud de la localización puede clasificarse como buena, porque la estación del Momotombo se encuentra exactamente encima del foco y las estaciones Boaco, Copaltepe, Cerro Negro, Miramar y otras aseguran buena cobertura azimutal. (Segura, Tenorio, Bodán)

Confianza en la **exactitud** de los hipocentros proporcionó el resultado de la localizaciones de las explosiones efectuadas el 28 de Marzo en el lago de Managua, aprox. 2 km al O y 3 al Sur, respectivamente, de la planta Geotérmica que coincidieron muy bien con los sitios reales.

La mayoría de los sismos ocurrieron en una estrecha área en dirección Norte-Sur, pasando en una distancia de aproximadamente 2 km del cráter y de la planta geotérmica. Espacialmente, estos sismos se localizaron en un plano casi vertical. Otro grupo de sismos se localiza en un área con rumbo NO saliendo debajo del cráter. (Segura)

La **profundidad** de los sismos oscila entre 0 y 8 km.

La **magnitud** de los sismos oscila entre 1 y 3.5 Richter.

Para el sismo mayor de la crisis sísmica se calculó el **mecanismo focal**. Resulta un movimiento lateral izquierdo, con rumbo Norte-Sur, en coincidencia con la geometría del área epicentral. El plano de falla es aproximadamente vertical. (Segura)

Sismicidad histórica

En los documentos históricos se mencionan varios sismos y terremotos de importancia que tuvieron su origen en o cerca del Momotombo. El ejemplo clásico son los sismos de 1609/10 que fueron una de las causas para abandonar León Viejo (ver Anexo sobre historia de Momotombo).

La sismicidad del volcán Momotombo registrada por la vieja red sísmica (ver figura) presenta un enjambre sísmico, comparable con el de ahora, en 1975. Enjambres menos fuertes ocurrieron en en 1977.

Sobre el período entre 1983 y 1992 no tenemos datos completos y para este informe no fue posible conseguir información al respecto.

La sismicidad de los años 1993-1995 detectada por la nueva red sísmica no presenta un enjambre similar como el actual (ver lista).

La sismicidad detectada por la estación sísmica en el Momotombo en los meses anteriores de la crisis actual se presentó con un número de entre 50 y 700 sismos por mes para el año 1995 y aproximadamente 220 en Enero, 350 en Febrero y solamente 140 en Marzo 1996. (Lugo)

Se concluye que la crisis sísmica actual fue probablemente la más fuerte después de la crisis de 1975.

El problema de la Temperatura

En los 7 meses antes de la crisis actual no se midieron temperaturas en el Momotombo. Las mediciones hechas el 09 de Abril tienen por eso carácter momentáneo, no se conoce la historia anterior. El valor máximo de 970 grados medido en una de las fumarolas aparece muy alto pero no puede ser completamente descartado. Una equivocación de anotación (p.ej. 790 a vez de 970?) es posible. Dado que solamente una sola medición existe, a este parámetro no se puede dar gran importancia en la evaluación de la situación actual. Dado que hasta el momento no se hizo otra medición cualquier discusión de la temperatura tiende a ser especulación.

El comportamiento de la temperatura en los primeros meses de 1995, obtenido con un equipo telemétrico que transmitió los datos diario al INETER, Managua, se aprecia en fig.XXX. Se observa que la temperatura en las fumarolas más calientes se mantuvo entre 600 y 700 grados Centígrados. Al inicio de Febrero ocurrió un cambio brusco cuando dentro de un día la temperatura en las dos fumarolas bajó por 50 y 100 grados, respectivamente. Al mediados de Abril ocurrió otro cambio pero menos brusco: Las temperaturas subieron de nuevo a casi 700 grados.

Otros parámetros

Otros parámetros vulcanológicos en el momento de escribir este

informe no estan a disposición. En los últimos días se recibieron de ENEL datos sobre temperatura y quimismo de las perforaciones geotérmicas, que estan en procesamiento.

Apuntes sobre Amenaza y Peligro volcánico en el Momotombo

Se cree (ver también Allard y Sabroux, 1980) que la amenaza geológica en el volcán Momotombo puede clasificarse en orden de importancia o probabilidad de ocurrencia como en la siguiente tabla:

- sismos tectónicos y efectos secundarios (derrumbes, lahares)
- sismos volcánicos y efectos secundarios (derrumbes, lahares)
- lahares (flujo de lodo) causados por lluvias
- caídas de cenizas,
- coladas de lava,
- nubes ardientes
- explosión catastrófica

Sismos:

Obviamente predomina el factor sísmico en la escala de la amenaza. Se piensa también que la sismicidad en la zona volcánica de América Central tiene una especialidad muy importante que todavía no es comúnmente conocido pero que debe considerarse en la planificación y el uso de sistemas de vigilancia volcánica y sísmica: Al contrario a sismos tectónicos (p.ej. en la zona de subducción) la actividad sísmica en la cadena volcánica tiende de ocurrir en llamados enjambres comenzando con sismos pequeños (los **precursores**) que aparecen minutos, horas o días antes del sismo mayor (ver White Y Harlow, 1993, y White, 1991). Un ejemplo entre otros es el terremoto de Managua, que fue anticipado por un número de pequeños sismos media hora antes de su ocurrencia. Esta característica es una de las razones para desarrollar aún más la capacidad del turno sismológico para detectar muy rápido el incremento de la sismicidad cerca de grandes ciudades, volcanes u otros objetos de importancia o peligro especial y para dar una **alerta** a las autoridades del país. El caso de la actual crisis en el Momotombo es un buen ejemplo que esta idea puede tener éxito porque se dió un mensaje de alerta a la planta geotérmica 2 días antes del sismo mayor de este enjambre sísmico. Falta que los responsables de ENEL sepan exactamente que hacer con esta información.

Derrumbes y lahares:

Viendo el perfil del volcán Momotombo (ver fig. XX), y las paredes erosionados (p.ej. en las fotos aereas recientemente tomadas) el peligro de derrumbes y lahares, iniciados por sismos o fuertes lluvias, se presenta muy claro. Se esta acercando la temporada de lluvias lo que aumenta la amenaza.

Cenizas y piroclastos

Afectarían inmediatamente la planta por la distancia corta al cráter. Algunos sistemas técnicos de la planta dejarían de

funcionar en caso de una afectación por ceniza.

Coladas de lava

La amenaza existe no solamente para el lado noreste como se cree a veces sino las coladas pueden tomar cualquier dirección si la forma actual de la cumbre fuera afectada por piroclastos, cenizas o explosiones en el cráter (ver van Wyk de Vries, 1996).

Acciones tomadas por la Dirección de Geofísica

-
1. Observación de la sismicidad por el turno sismológico
 2. Emisión del comunicado sismológico del 7 de Abril y comunicados siguientes
 3. Reconocimiento en el cráter y medición de temperatura, 8 de Abril
 4. Entrevista con W.Strauch y M.Navarro en el canal 8, el 9 de Abril
 3. Encuentro con gerentes de ENEL, acuerdo de comunicación y cooperación, 10 y 11 de Abril
La información sísmica y de temperatura fue presentada en la tarde del día 9 al gerente de la planta Geotérmica y el 10 de Abril a otros dirigentes de ENEL.
 4. Divulgación de información a comunidad vulcanológica, INTERNET
 5. Envío de fax y correos electrónicos a vulcanologos de varios países y mantenimiento del contacto con ellos (EEUU, España, Inglaterra, Costa Rica, Francia, Canadá, Italia)
 6. Preparación de carta a embajada de Francia pidiendo apoyo para mediciones de temperatura y O2 en el Momotombo y reparación del equipo de telemetría dañado.
 7. Preparación de carta a embajada de Canadá pidiendo equipo de COSPEC para medición de SO2 en el Momotombo

Referencias

=====

Banks, N.G., Tilling, R.I., Harlow, D.H., Ewert, J.W., 1993. Vigilancia Volcánica y Pronosticos a corto PLazo. en Tilling y Beate, 1993. Capitulo 4.

Diez Gil, José Luis (editor), 1992. Elementos de Vulcanología No.2, Serie CASA DE LOS VOLCANES, Lanzarote.

Harlow, D.H., Stoiber R.E., 1980. Reconnaissance Survey To evaluate the eruptive Potential of Cerro Negro and Momotombo Volcanoes, Nicaragua, Instituto de Investigaciones Sismicas, Ministerio de la Construcción, Managua, Nicaragua, June, 1980

Muñoz Baldizon, Luis Antonio, 1983. Actividad Sismica del Volcán Momotombo, Nicaragua, Tesis de Maestría, UNAM, Facultad de Ciencias, Mexico, D.F., Mexico

Ortiz Ramis, Ramon, 1992. Vigilancia Instrumental de los Volcanes, en Diez Gil, 1992.

Tilling R.I. (editor), 1993. Los Peligros Volcánicos. Apuntes breves sobre un curso breve. Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos. 2-3 Julio de 1989, Santa Fé, EEUU

UNDRO-UNESCO, 1985. Volcanic Emergency Management, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator (UNDRO), United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO), United Nations, New York, 1985

Van Wyk de Vries, B., 1996. Lava Hazard at Momotombo, unpublished communication, lava flow maps

White, R. 1991. Tectonic implications of upper-crustal seismicity in Central America, The Geology of North America, Decade Map Volume 1, p.323

White, R.A., Harlow, D.H., 1993. Destructive Upper-Crust Earthquakes of Central America since 1900, Bull. Seismol. Soc. Am., 83, 4, 1115-1142

NIVELES DE ACTIVIDAD Y ALARMA

| Nivel | Respuesta | nivel actividad | intervalo recurrencia |
|----------|--|--|-----------------------|
| A alarma | Alerta catástrofe | Erupción en horas o días | decadas centurias |
| B alarma | Activación plan de emergencia | intensa actividad | años decadas |
| C estado | Aviso Autoridades | moderada reactivación | meses años |
| D estado | Aviso responsables de áreas científicas y protección civil | ligera reactivación continúa | semanas meses |
| E estado | Aviso responsable científico | reactivación o esporadico o fallo instrumentos | semanas |
| Normal | Programa monitoreo | nivel de fondo | ----- |

SISMICIDAD

| Nivel | Actividad sísmica (comprobar siempre la instrumentacion) |
|-------|--|
| A | Temblores armónicos > 1 hora con incremento RSAM > 100 o $n > 10$ sismos baja frecuencia por hora durante mas de 3 horas |
| B | Eventos $n > 1$ $M > 5$ o $n > 5$ $M > 4$ o $n > 25$ $M > 3$ por día o $n > 60$ eventos/hora durante mas de 6 horas o $n > 1000$ eventos por día o $n > 3$ temblor espasmódico por día y deformación C o temblor armónico > 10 minutos y RSAM > 50 o $n > 5$ sismos baja frecuencia/hora durante > 4 horas |
| C | Eventos $n > 1$ $M > 4$ o $n > 5$ $M > 3$ o $n > 25$ $M > 2$ por día o $n > 30$ eventos/hora durante > 4 horas o $n > 300$ eventos por día o $n > 10$ $M > 1$ durante > 3 dias o $n > 3$ temblor espasmódico por día y deformación D o temblor armónico > 5 minutos y RSAM > 50 o $n > 3$ sismos baja frecuencia por día o migración sistemática focos durante horas o dias |
| D | Eventos $n > 1$ $M > 3$ o $n > 5$ $M > 2.5$ por día o $n > 20$ eventos/hora durante mas de 3 horas o $n > 100$ eventos por día o $n > 0$ temblor espasmódico por día |
| E | Eventos $n > 1$ $M > 3$ regionales o $n > 5$ $M > 2$ por día o $n > 20$ eventos por hora o $n > 10$ eventos por hora durante mas de 3 horas actividad regional |

n número de eventos, M magnitud

TABLA 5.1. Posible esquema de escalafón de alertas en caso de erupciones volcánicas (tomado de UNDRO/UNESCO, 1985, Tabla 3). Los científicos y autoridades utilizaron un esquema basado en gran parte en éste, durante la crisis volcánica de 1983-1985 en Rabaul, Papua-Nueva Guinea.

| Estado de Alerta | Fenómenos observados | Interpretación— Erupción violenta es posible dentro de un período de: | Acción a ser tomada por el Comité de Control de Desastres y por los Ministerios |
|------------------|--|--|--|
| I | Actividad sísmica local anormal; deformación del terreno; incremento de la temperatura de las fumarolas | meses a años | Informar a todas las autoridades responsables. Revisar y poner al día los planes de emergencia. |
| II (amarilla) | Incremento significativo de la sismicidad local, de la tasa de deformación, etc. | semanas a meses | Verificar la preparación de personal y equipo en caso de una posible evacuación. Verificar existencia de materiales y suministros de ayuda. |
| III (naranja) | Incremento dramático de los fenómenos mencionados; se sienten los sismos locales; actividad eruptiva moderada. | días a semanas | Anuncio público de una posible emergencia y de las medidas correspondientes a ser tomadas para enfrentarla. Movilización de personal y equipo en vista de una posible evacuación. Medidas de protección temporales contra caída de ceniza. |
| IV (roja) | Presencia de tremor armónico, incremento en la actividad eruptiva | horas a días | Evacuación de la población de las áreas de peligro. |

LOCALIZACION CORREGIDA ENJAMBRE ACTUAL

EV TOT: 58

EV SEL: 57

M=2 ◦

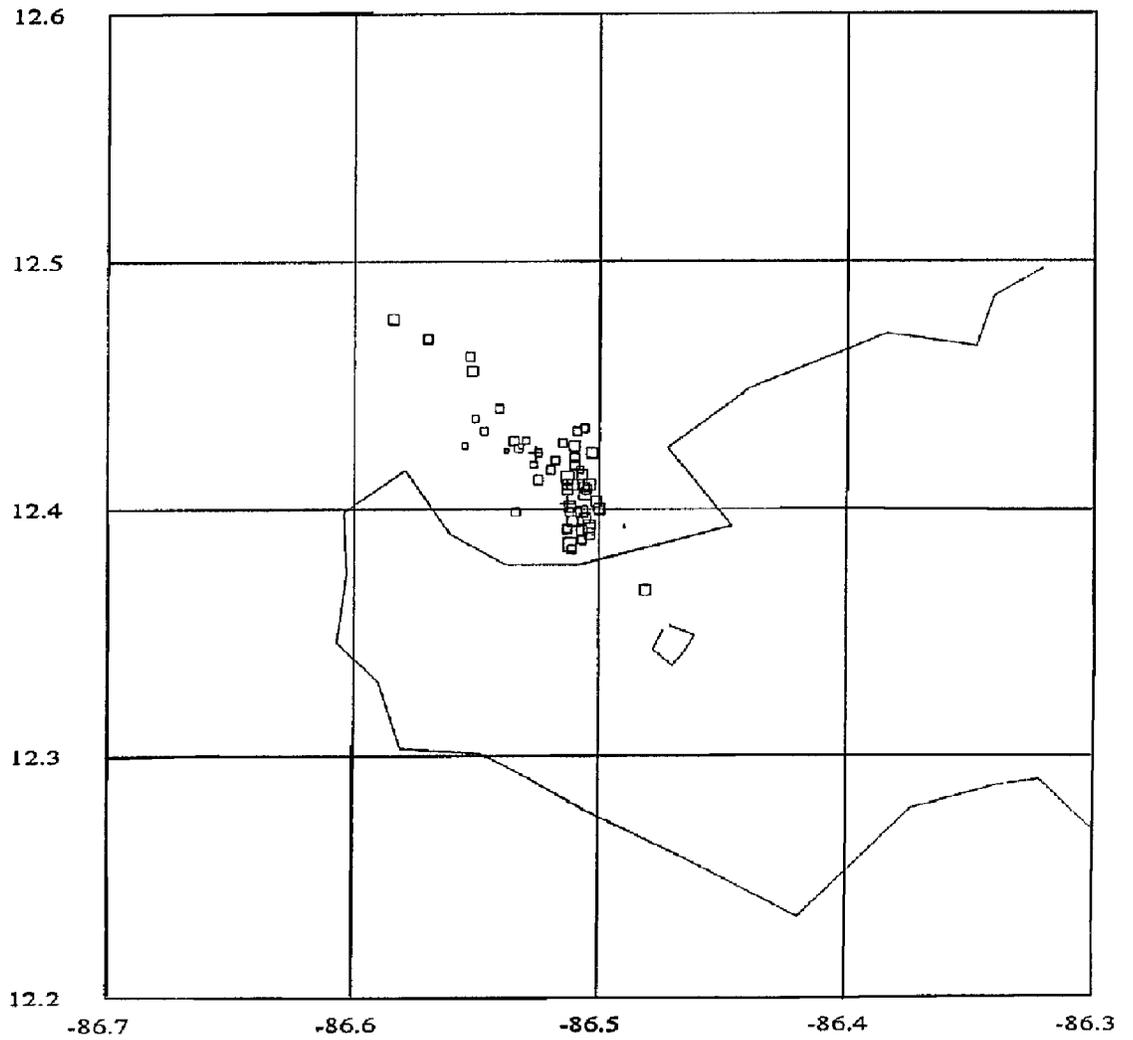
M=3 ◻

M=4 ◻

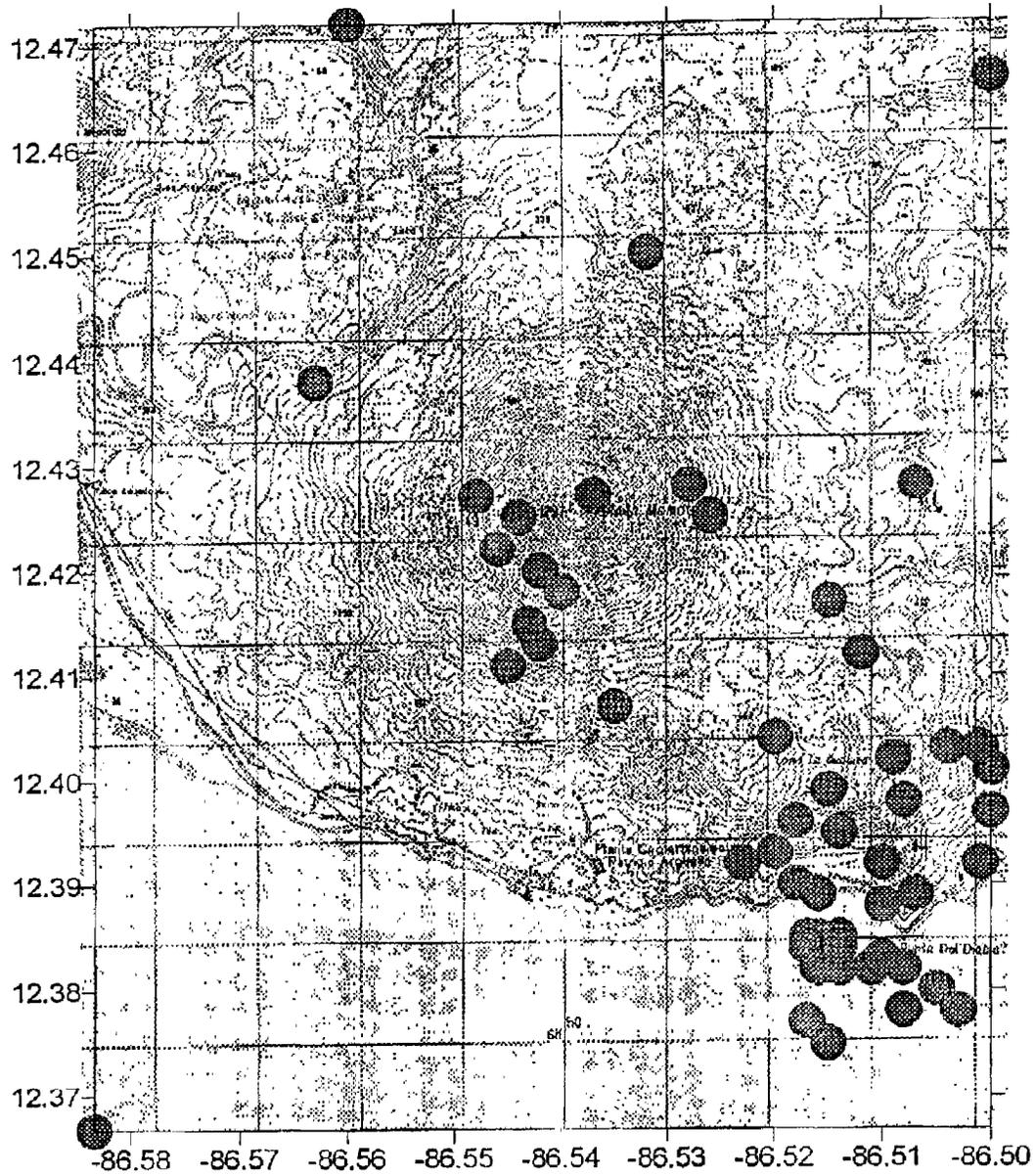
M=5 ◻

M=6 ◻

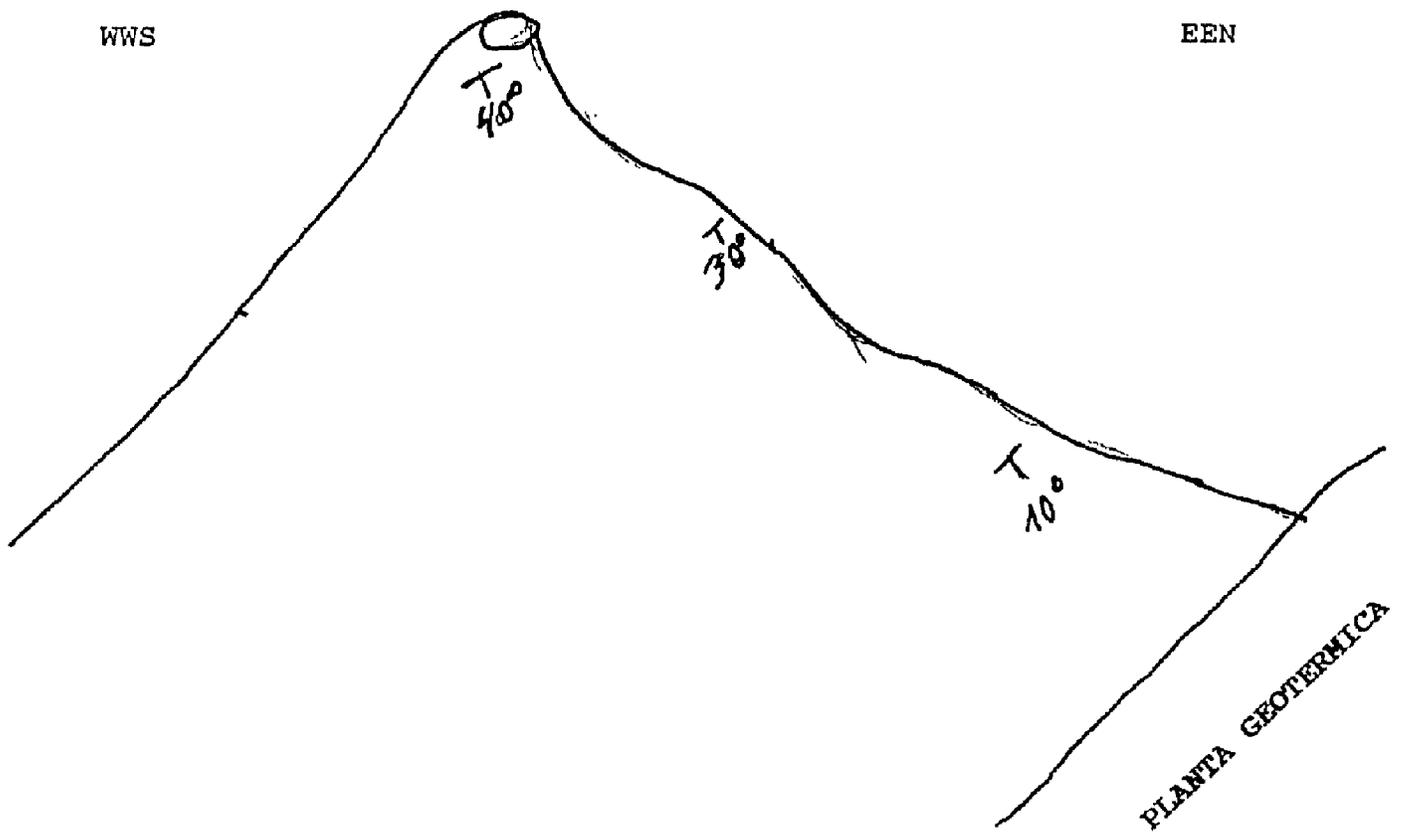
NONE +



LOCALIZACION SIN CONECCION



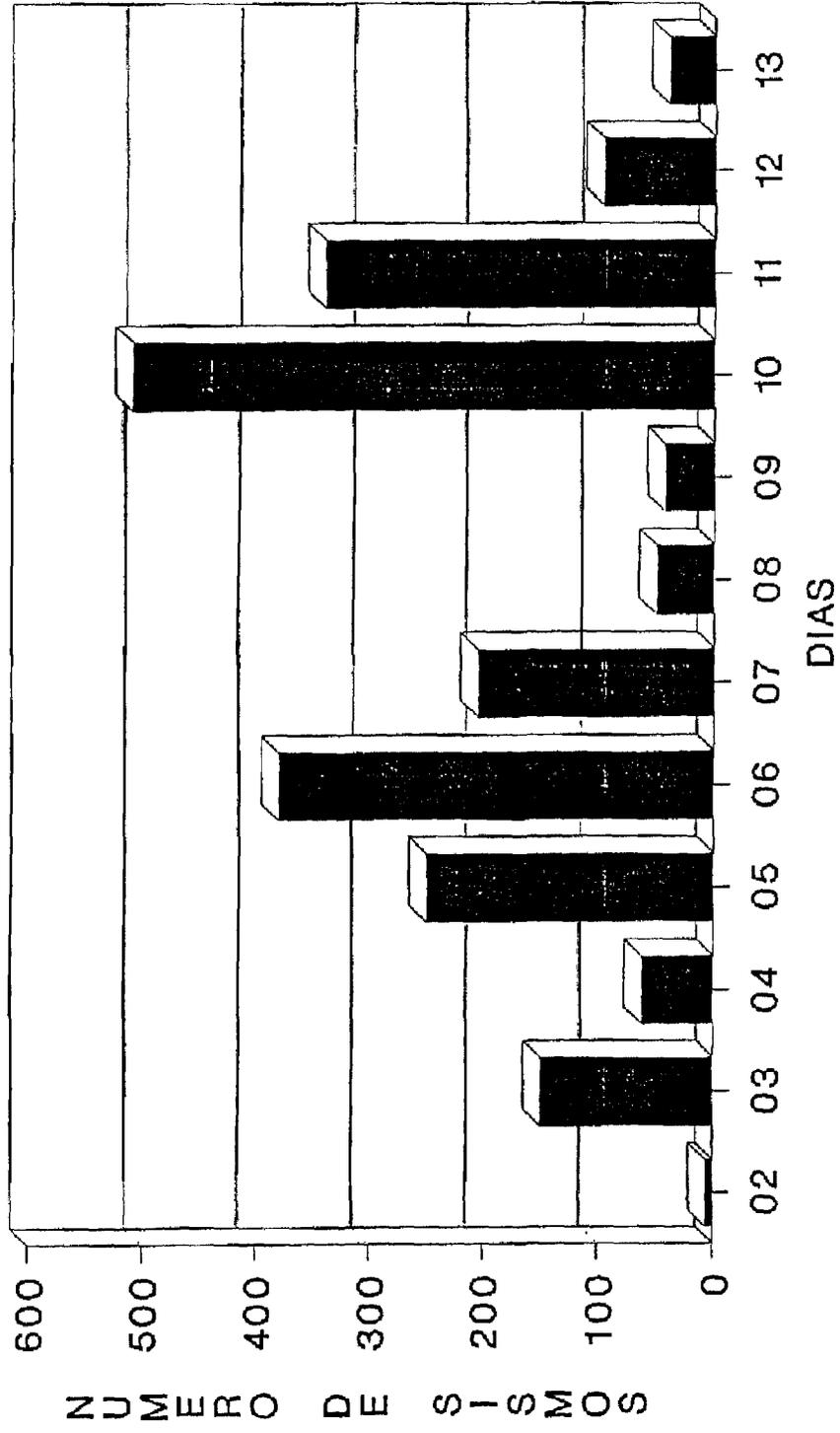
SITUACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO
VOLCAN MOMOTOMBO



ESCALA HORIZONTAL : 1 : 30.000

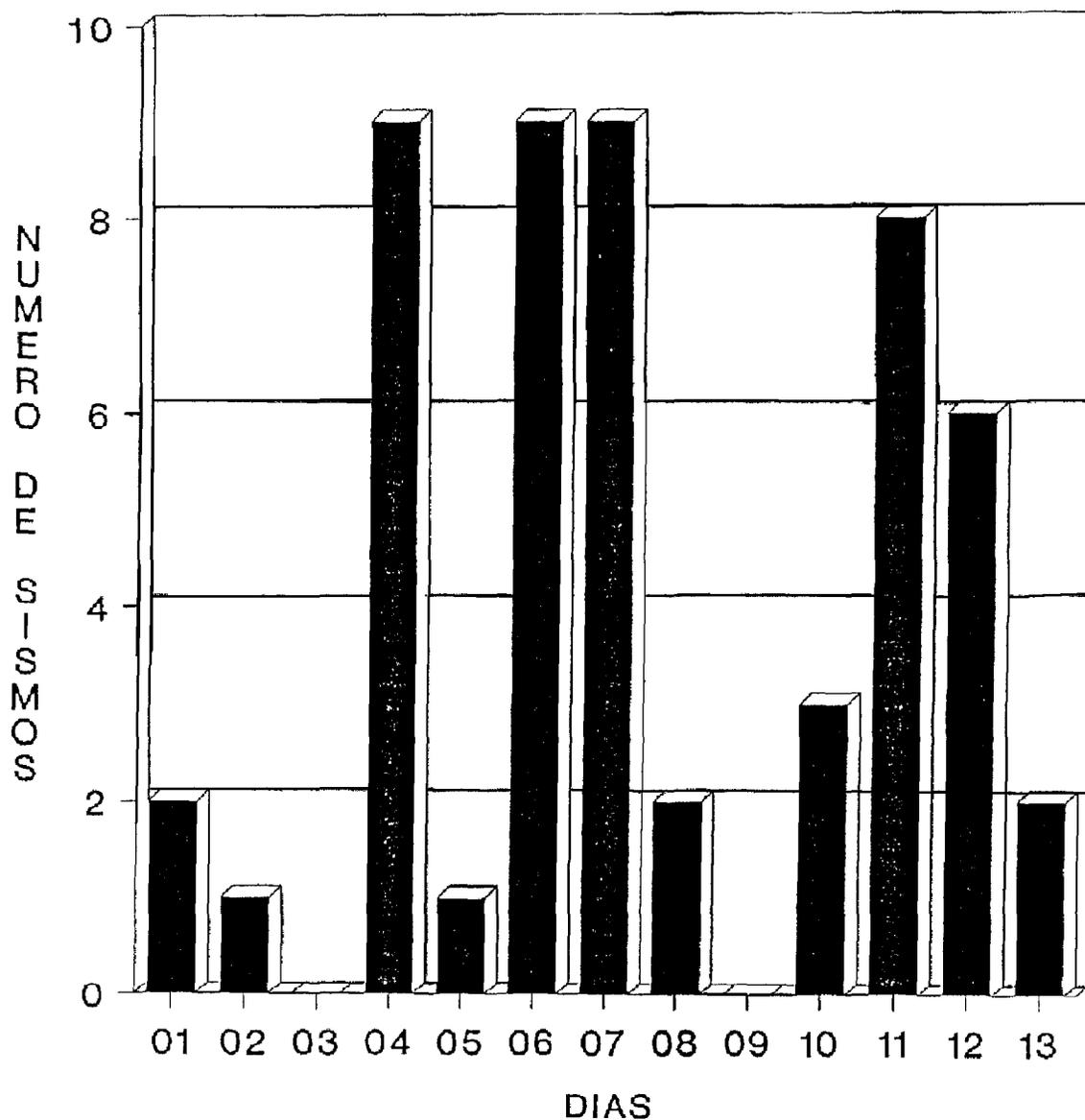
T INCLINACION DE PENDIENTES.

HISTOGRAMA
MICROSISMOS DE MOMOTOMBO
02-12, ABRIL DE 1996



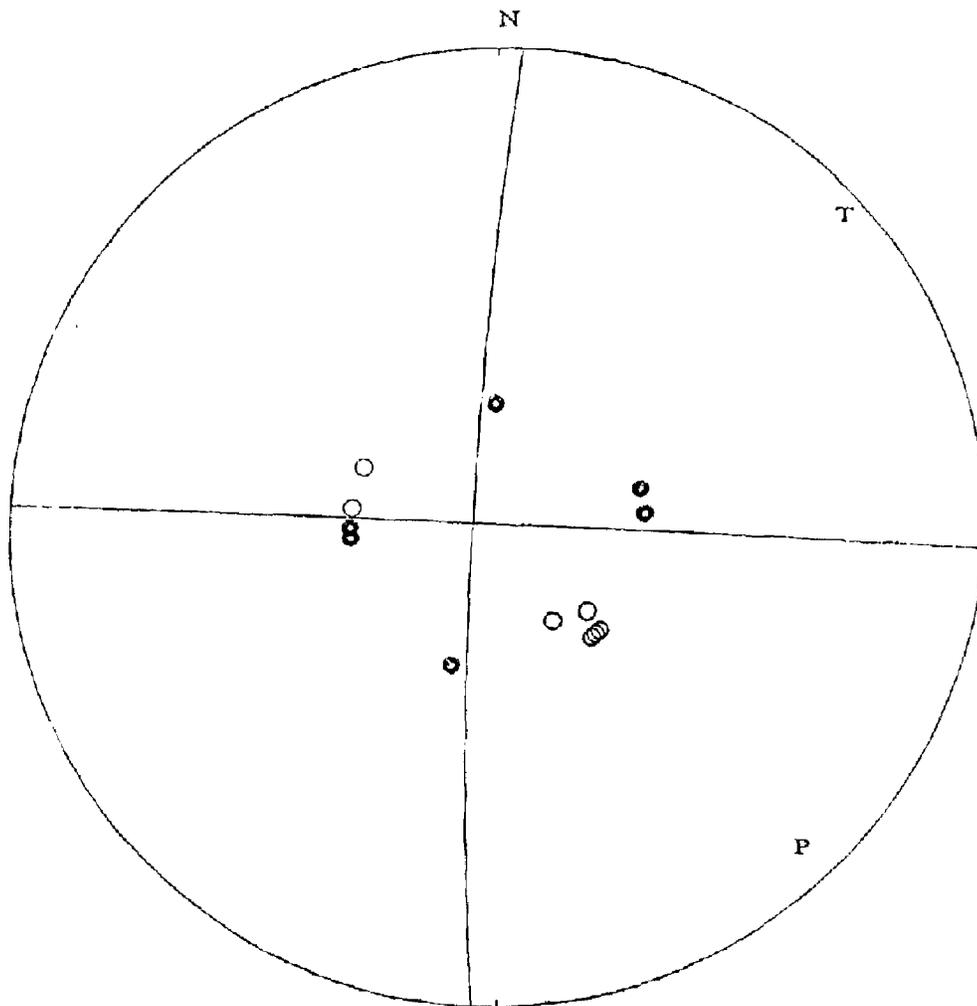
F. Segura.

HISTOGRAMA. MOMOTOMBO. SISMOS LOCALIZADOS (MAGNITUD 2.1-3.5)



01-13 DE ABRIL DE 1996. F. SEGURA

96 410 2110 40.2ML 12.413 -86.513 1.3 NIC 15 0.2 3.4CNIC 3.4LNIC
183.0 84.0 -0.7 0



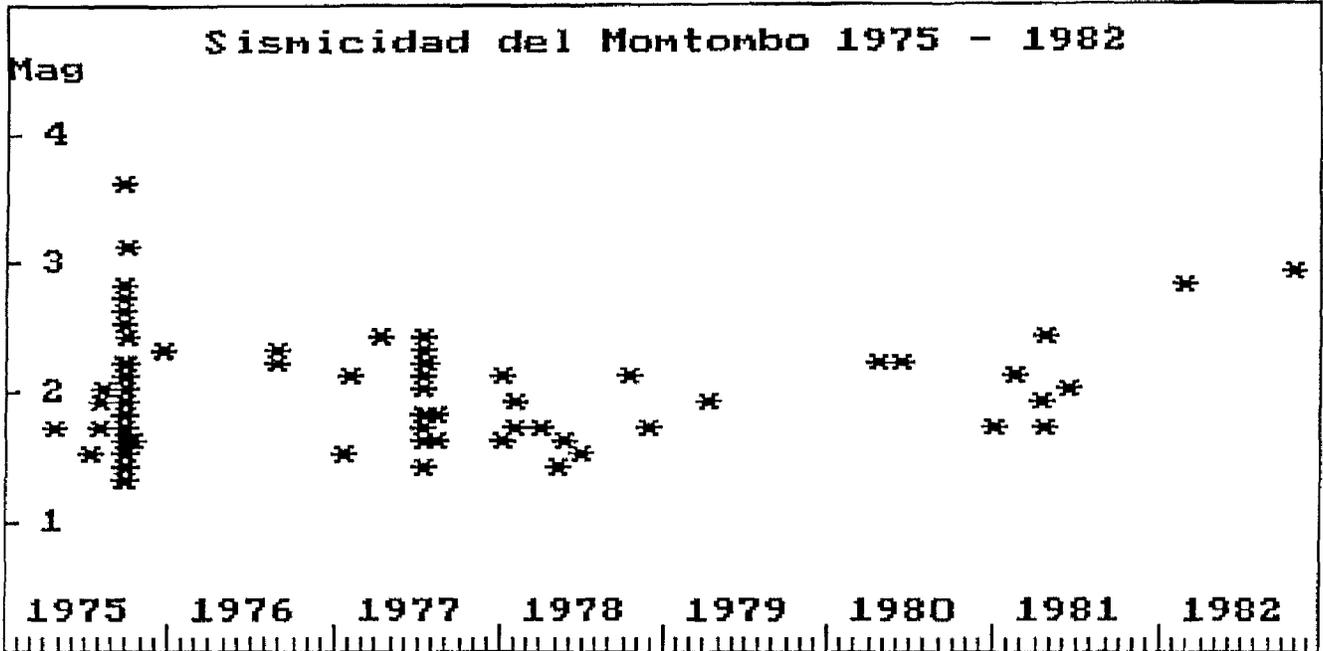
**MECANISMOS FOCAL
DEL SISMO MAYOR**

Sismicidad del Montombo 1975 - 1982

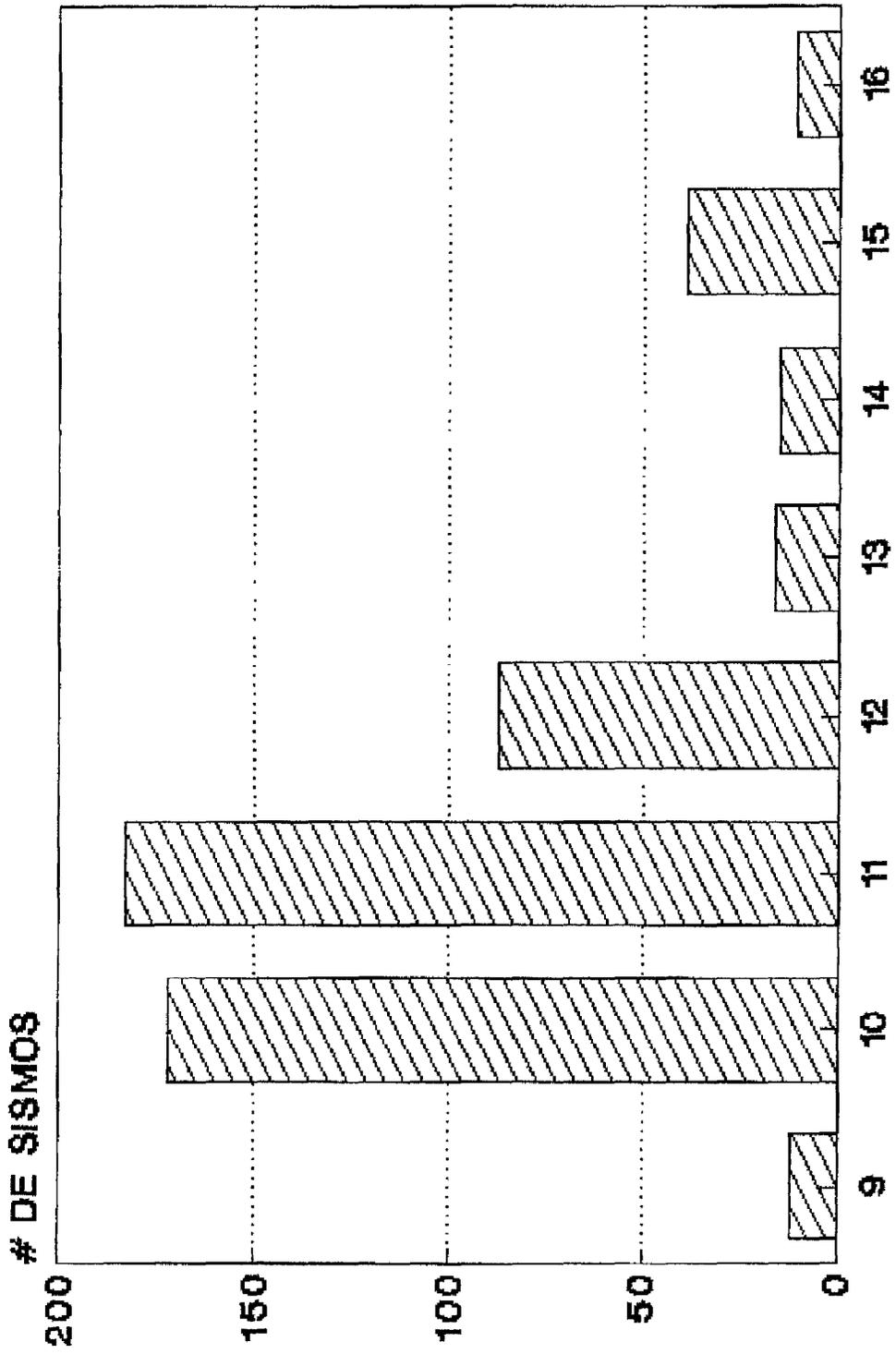
Mag

4
3
2
1

1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982



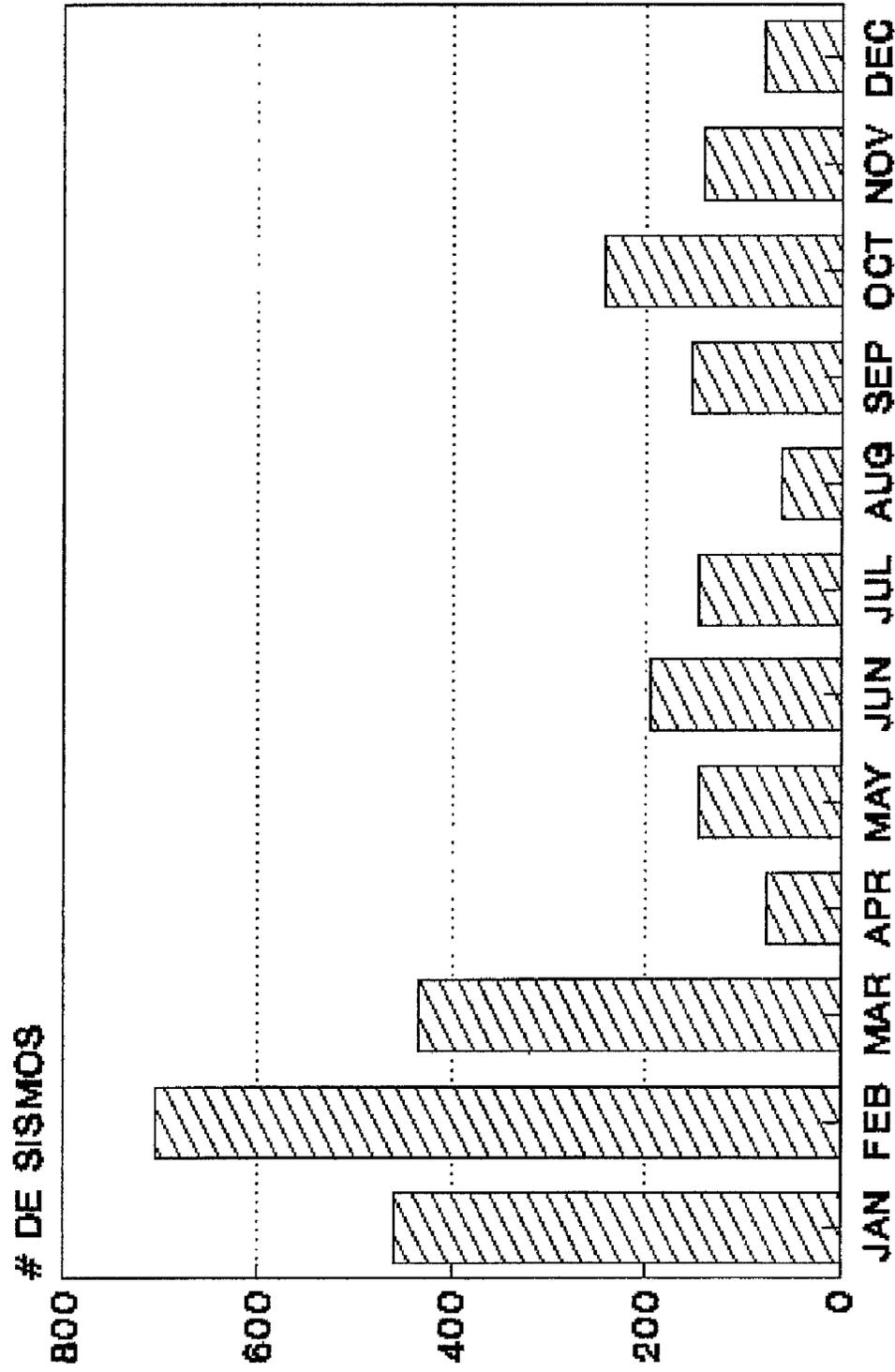
SISMICIDAD DEL V. MOMOTOMBO DEL 9 AL 16 DE ABRIL DE 1996



POR: C. LUGO M.

SISMICIDAD DEL V. MOMOTOMBO

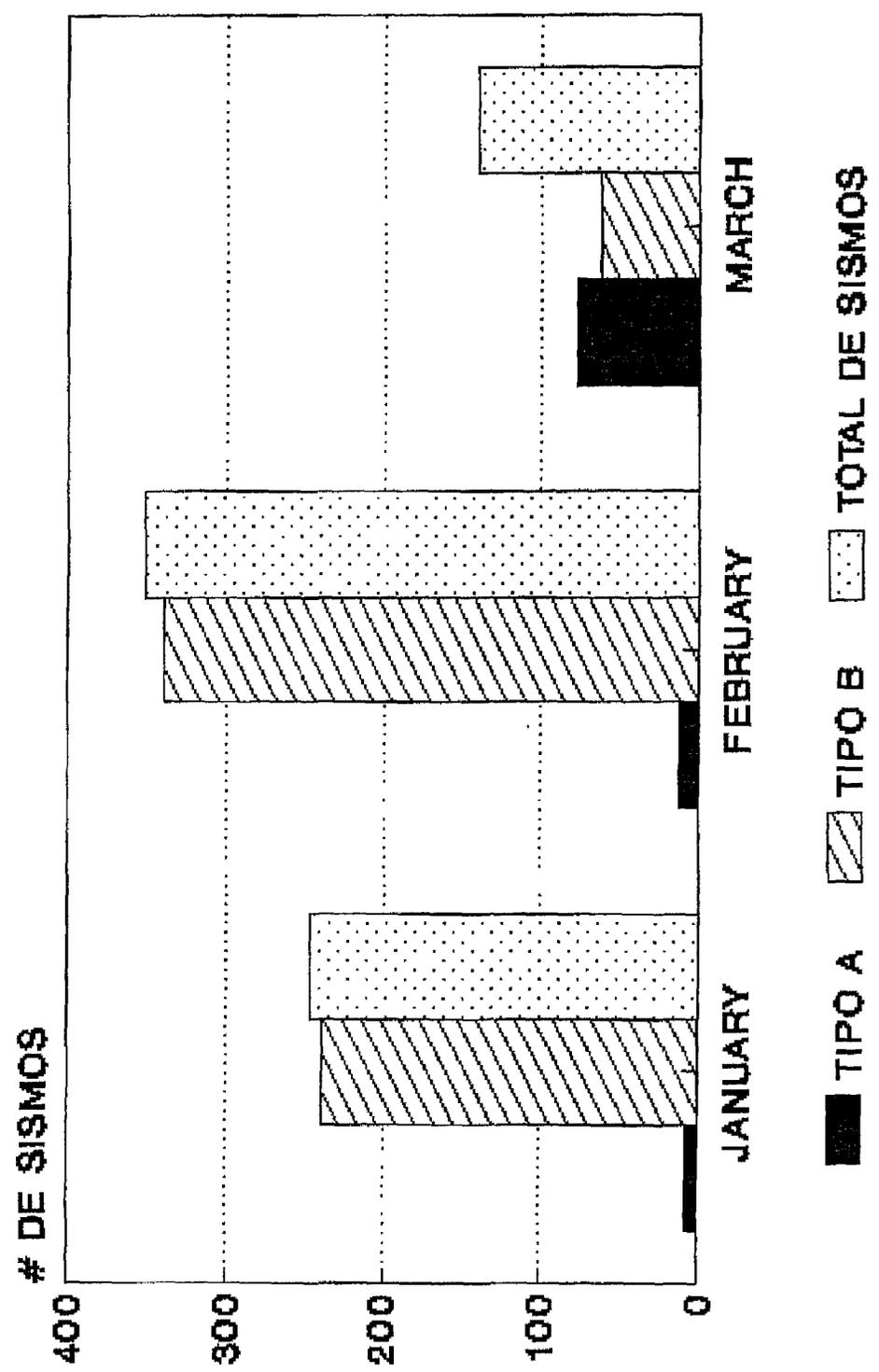
1995



FOR: C. LUGO M.

SISMICIDAD DEL V. MOMOTOMBO

PRIMER TRIMESTRE DEL 96



POR: G. LUGO M.

SISMOS 1992 - 96 (MARZO)

EV TOT: 49

EV SEL: 39

M=2 □

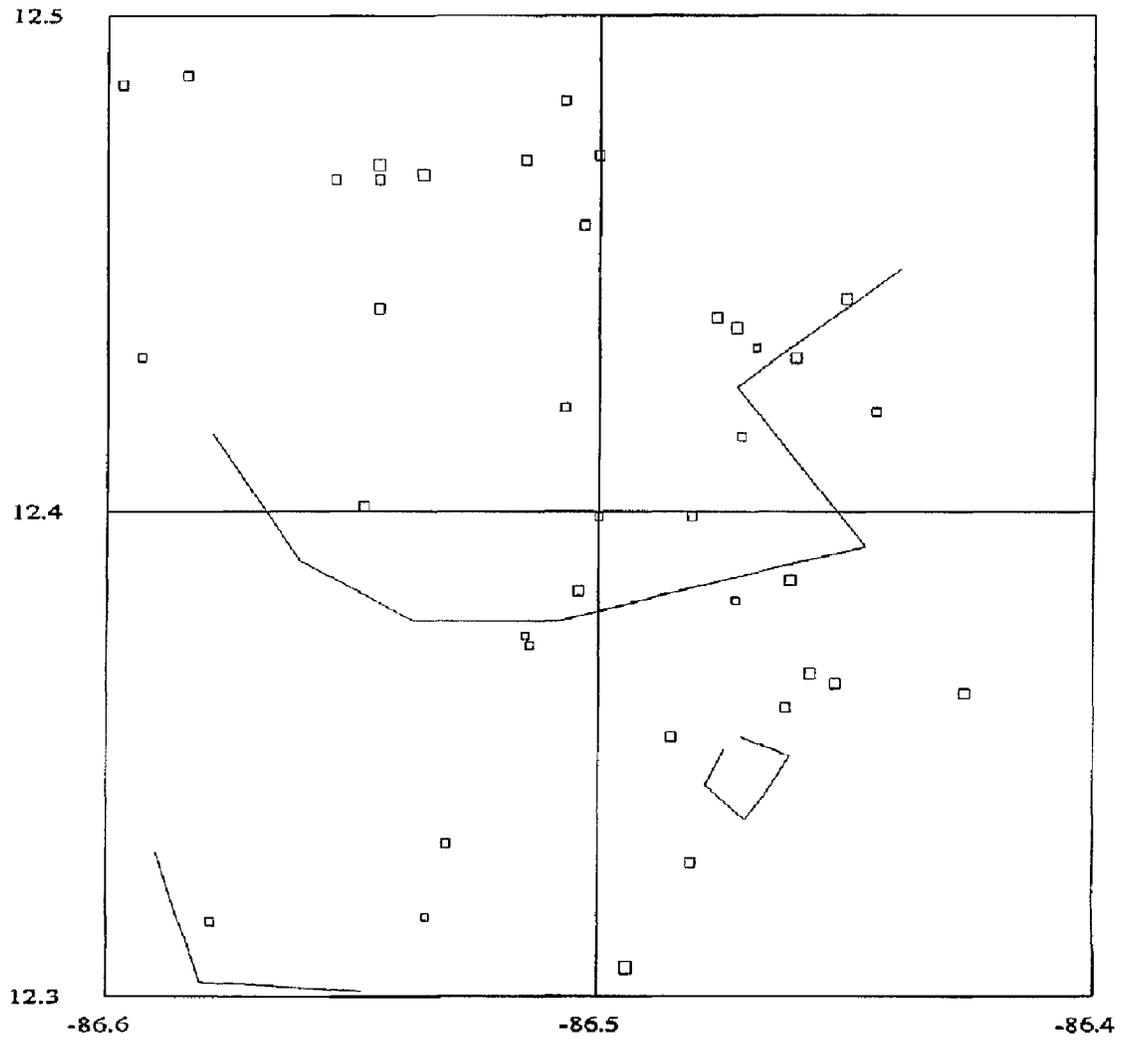
M=3 □

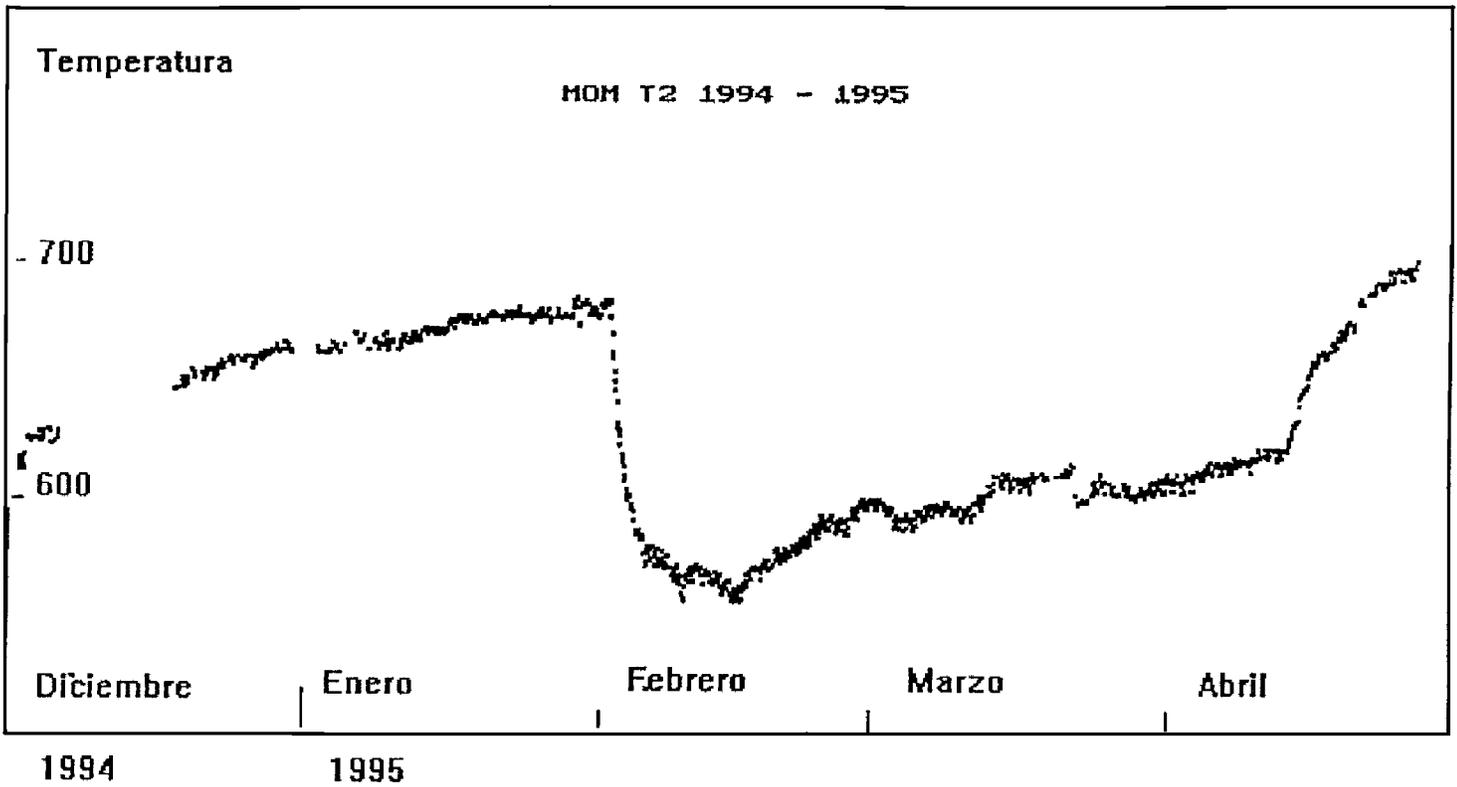
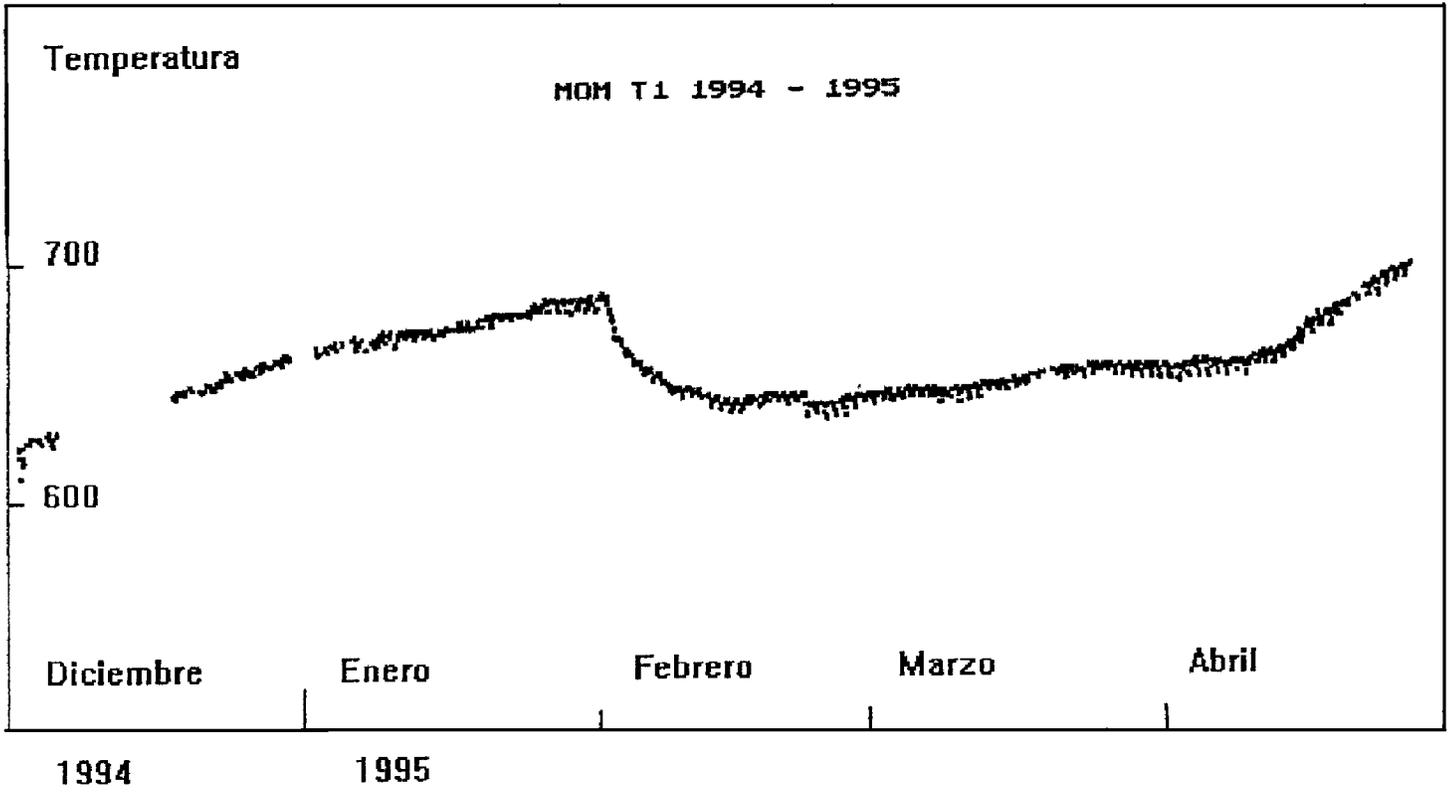
M=4 □

M=5 □

M=6 □

NONE +





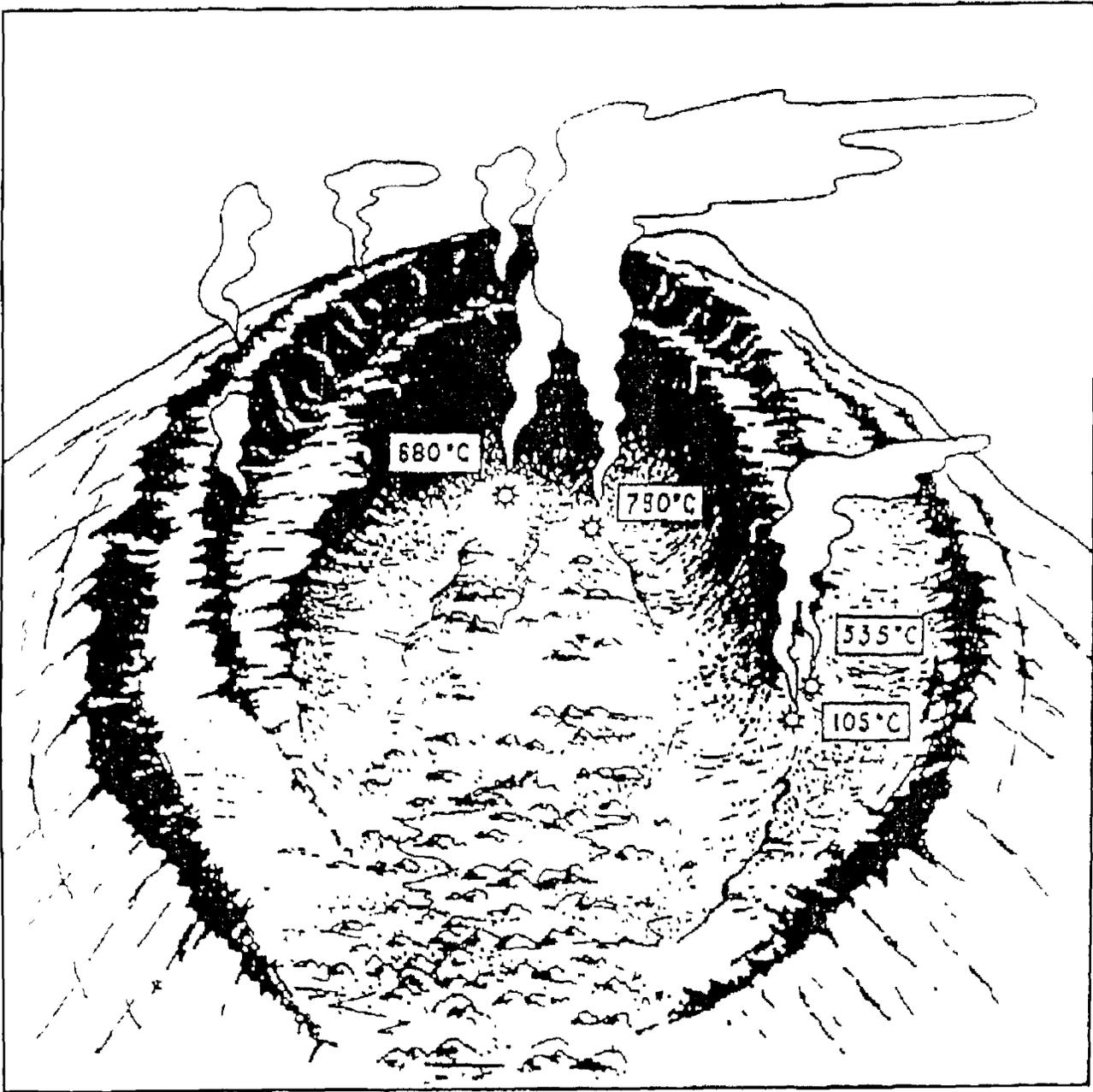


Fig. 3. Schematic map of summit crater of Momotombo volcano (looking southeast). Stars, fumaroles from which the gas samples were collected.