

LA CATASTROFE DEL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ (1985), COLOMBIA: UNA PERSPECTIVA HACIA LA REALIDAD VOLCANICA EN COSTA RICA

Geól. Guillermo E. Alvarado I.*

Geól. Sergio Paniagua P.**

RESUMEN

El 13 de noviembre de 1985 el volcán Nevado del Ruiz (5 200 metros sobre el nivel del mar), situado en la mitad septentrional de la Cordillera Central colombiana, presentó una fuerte actividad explosiva en su cráter principal o Arenas, dando lugar a la fusión parcial (aproximadamente 10%) del casquete de hielo cuspidal (21 km²) que conjunto con las lluvias torrenciales, generaron avalanchas de escombros rocosos y vegetales (lahares) a través de los ríos Azufrado, Lagunilla, Gualí, Claros y Molinos. Estos lahares destruyeron los puentes y viviendas encontradas a su paso y a su llegada a zonas llanas, arrasaron con la ciudad de Armero y causaron graves destrozos en Chinchiná y algo más leves en Mariquita y Honda. El número total de muertes superó los 23 000. Esta catástrofe es la mayor por causa volcánica en lo que va del presente siglo y en escasas horas llegó a igualar el número de muertes producidas por lahares desde 1700 hasta 1986. El presente trabajo muestra los pormenores de la catástrofe y, en forma comparativa, presenta una visión general sobre los volcanes de Costa Rica, su actividad, estado actual de las investigaciones y algunas recomendaciones.

PREAMBULO

Desde los comienzos de la civilización el hombre se ha preocupado de la seguridad del lugar donde se establece definitivamente

sobrevivir, buscando con preferencia aquellas regiones en donde el agua sea abundante y existan extensas regiones llanas, aptas para establecer asentamientos. En vista de que los suelos volcánicos en regiones lluviosas son particularmente fértiles y que al pie de los macizos eruptivos usualmente existen regiones planas de relleno fluviovolcánico y lagos de represamiento, éstos han sido los sitios preferidos para los establecimientos humanos desde tiempos inmemorables y en la actualidad figuran entre los más poblados en el mundo, pese a que usualmente se conoce el peligro potencial. No obstante, hoy en día, a causa de las elevadas tasas de crecimiento de la población, que conllevan a una rápida urbanización y propagación de los asentamientos humanos, el hombre se establece guiado por otros intereses y ha dejado en segundo plano su propia seguridad, la de su vivienda e industria en general. En consecuencia las erupciones volcánicas y sus fenómenos asociados se encuentran entre las mayores calamidades destructoras de la naturaleza. En cinco siglos, han sido responsables de la muerte de más de 200 000 personas (Araña y Ortiz, 1984), el 96% de ellas habitaban en las regiones vecinas al Pacífico.

Las recientes catástrofes de naturaleza geológica (México, 19-09-1985; Nevado del Ruiz, 13-11-1985; Camerún, 22-08-1986; El Salvador, 10-10-1986), mostraron aspectos imprevistos, dejando tras de sí una estela de aproximadamente 35 000 muertos, 22 000

* Sección de Sismología e Ingeniería Sísmica, Departamento de Geología, Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), San José, Costa Rica.

** Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

heridos y unos 400 000 damnificados en un lapso de escasos 13 meses, quedando patente que se requieren mayores esfuerzos en la prevención y preparación ante los peligros geológicos. Lo anterior debe hacer reflexionar a todos aquellos que desempeñan papeles directores en nuestras regiones y comunidades. Lo que se advierte en estas tragedias, entre otras cosas, es una subestimación y carencia de conciencia del peligro y una falta de previsión, planificación y educación del pueblo por parte de los gobernantes. Se debe educar a la población para que aprenda a convivir con los fenómenos de la naturaleza; en nuestro caso particular de los volcanes y los terremotos, para tratar de obtener el mejor provecho y a la vez minimizar la tragedia.

Las erupciones volcánicas no pueden evitarse, pero sus consecuencias pueden reducirse cuando conozcamos bien cómo actúan los volcanes y cuándo y dónde se pueden esperar eventos peligrosos. La última decisión está en manos de los gobernantes.

Algunos aspectos históricos complementarios sobre los beneficios y perjuicios del vulcanismo son tratados, a modo general, por Soto (1986) y Alvarado (en prensa).

En este trabajo se presentan los resultados y las experiencias de una visita científica realizada al macizo Nevado del Ruiz en Colombia, llevada a cabo unas semanas después de sucedida la tragedia por un lapso aproximado de 10 días por parte de los autores. Posteriormente, el primer autor visitó nuevamente la zona de desastre en diciembre de 1986, al desarrollarse el *Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos* en Bogotá-Manizales. Las consecuencias de este fenómeno se enfocan hacia la situación

general de los volcanes de Costa Rica, visto desde la perspectiva del peligro y su riesgo implícito.

MARCO VULCANOLOGICO GENERAL DE COLOMBIA

El vulcanismo andesítico activo de América del Sur ocurre en tres áreas:

- a) **Zona Norte** (5° N-2° S), en Colombia y Ecuador;
- b) **Zona Central** (16° S-28° S), entre el sur del Perú y norte de Chile, y
- c) **Zona Sur** (31° S-52° S), ubicada en la parte austral de Chile.

La zona norte está caracterizada por andesitas con una zona sísmica o plano de Benioff definido hasta los 140 km de profundidad entre la interacción de las placas de Nazca y de Sudamérica y la pobremente definida placa del Caribe (Thorpe et al., 1983; Figura N° 1). Colombia posee una veintena de focos volcánicos. De ellos, una decena de volcanes, históricamente activos, sobrepasan los 4000 metros de altura y sus actividades, tal y como se evidencia en los registros históricos, están distanciadas en el tiempo y son caracterizadas por erupciones centrales (freáticas y freatomagmáticas), erupciones laterales y oblicuas, con emplazamientos de brechas de explosión, oleadas y flujos piroclásticos y actividad fumarólica, en donde durante los paroxismos eruptivos, por el incremento de la temperatura (piroclastos calientes, actividad fumarólica, temblores), provocan peligrosas corrientes de lodo (lahar) al producirse el deshielo de sus casquetes cuspidales (Ramírez, 1975; INGEOMINAS, 1985). Similar situación de peligro se

presenta en otros volcanes nevados de Sudamérica y Norteamérica (veáse, por ejemplo, Clapperton, 1986).

VOLCAN NEVADO DEL RUIZ

Generalidades

El volcán Nevado del Ruiz (5200 metros sobre el nivel del mar) forma parte del Parque Nacional de los Nevados (4 °, 88' N-75°, 37'W), ubicado a 28 km al sureste de la ciudad de Manizales en los límites de los Departamentos de Caldas y Tolima (Figura Nº 2). Sus laderas están cubiertas por un casquete glacial de 21 km² desde una altura de 4 800 m, donde nacen los ríos Gualí y Azufrado al norte, Lagunillas al oeste, Recio al Sur, Claro y Molinos al oeste. El acceso al volcán se hace por la carretera Manizales-Murillo de la cual se desprende una carretera que llega hasta el borde de la nieve en el refugio turístico, destruido por la reciente actividad del volcán.

El Ruiz forma parte del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima que se extiende por 60 km en la cima de la parte media de la Cordillera Central de Colombia. Se trata de un volcán activo de forma elíptica con 12 a 15 km de diámetro mayor y un área de 200 km². Posee pendientes generales de 20° a 35° y una cima relativamente plana donde se encuentra el cráter Arenas, de unos 700 m de diámetro y cerca de 240 m profundidad, en cuyo interior no existe hielo debido a la actividad fumarólica. En los flancos del volcán existen dos conos parásitos inactivos: la Olleta al oeste y la Piraña al este. Otros antiguos focos de emisión pueden estar cubiertos por el hielo o han sido totalmente destruidos, como es el caso de las cabeceras del río Azufrado, donde se puede

ver parte de la estructura de un antiguo volcán (Herd, 1982; INGEOMINAS, 1985).

El Ruiz se ha construido en dos etapas: un volcán de base predominantemente lávica, edificado aproximadamente hace un millón de años, y un estratovolcán formado sobre el anterior desde hace aproximadamente 500 000 años. En el pasado histórico y prehistórico del Ruiz, se han producido coladas de lava, flujos piroclásticos, caída de cenizas, corrientes de lodo y explosiones laterales dirigidas; también ha mostrado actividad fumarólica (Thouret et al., 1985, en INGEOMINAS, 1985; INGEOMINAS, 1986).

Dentro de las actividades históricas (erupciones y fuerte actividad fumarólica) se tienen las de los años 1570 (?), 1595, 1735 (?), 1828-1829 hasta 1833, 1845 (?) y la actual de 1985 al presente (dic. 1986). La erupción del 12 de marzo de 1595 produjo 639 muertos por los lahares encauzados por los ríos Guali y Lagunillas y la del 19 de febrero de 1845 unos 1000 víctimas (Ramírez, 1975; INGEOMINAS, 1985; Mosquera et al., 1986), el área cubierta por los flujos de lodo de 1595 y 1845 es respectivamente de 2 y 4 veces mayor que la de 1985 que cubrió 34 km² (Mojica et al., 1986).

Petrográficamente, las lavas y pómez recolectadas en el Ruiz son andesitas con minerales hidroxilados (hornblenda y biotita) más o menos frecuentes (0,5-3,5%) en oposición con las rocas de los volcanes de Costa Rica, en donde estos minerales son virtuales (usualmente un 0-0,2%) o inusuales. La presencia de estos minerales con OH⁻ en su red cristalina sugiere un volcanismo explosivo. Sin embargo, en términos generales, América Central Austral (Costa Rica y Panamá) muestra características geológicas más afines con Sudamérica (McBirney, 1982; Dengo, 1985).

ACTIVIDAD ERUPTIVA RECIENTE

La actividad sísmica dio inicio en noviembre de 1984, situándose cerca del cráter sumital del Ruiz. Desde diciembre de 1984 y enero de 1985 se observó un incremento en la actividad fumarólica, evidencias de explosiones freáticas y un sismo de magnitud 4 (22 dic. 1984). Posteriormente, se registran entre 25 y 30 eventos mensuales (Sean Bull., 10:7,8 y 9; INGEOMINAS, 1985).

Ante la eventualidad de una erupción de proporciones considerables, que involucraría la pérdida de vidas humanas y materiales, el Gobierno de Caldas junto con otras entidades de orden nacional y departamental, tanto públicas como privadas, solicitaron al Gobierno Nacional, a finales del mes de febrero de 1985, la realización de investigaciones con el objeto de conocer y evaluar los riesgos que una erupción podría presentar en una zona de influencia, donde habitan un gran número de personas. Con tal fin, el Ministerio de Minas y Energía comisionó al Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS), para que coordinara un comité técnico encargado de estudiar el peligro y vigilar la actividad del volcán Nevado del Ruiz. La vigilancia instrumental del volcán dio inicio el 16 de julio de 1985 (Mosquera et al., 1986).

El 11 de setiembre de 1985 se registró una fuerte actividad explosiva con piroclastos no juveniles, proyectados del cráter cuspidal y principal (Arenas). Las cenizas eruptadas el día 11 llegaron a las poblaciones de Manizales y Chinchiná, ubicadas a unos 30 km al ONO y NO del cráter, respectivamente, cubriéndolas con 1 mm o menos de material piroclástico fino (Figura Nº 2). Durante los cinco días previos

a la actividad del 11 de setiembre, los sismógrafos registraron un patrón regular de sismos consistentes en 15 minutos de temores (ruido o vibración volcánica más o menos continua) de muy alta frecuencia cada hora. Además se contabilizó de 5 a 10 microtemblores por día y un temer regularmente armónico que se relacionaba con la actividad exhalativa o fumarólica. Previo a la erupción, los temores se registraban aproximadamente a intervalos de 90 minutos. En octubre declinó la actividad sísmica y fumarólica (Sean Bull., 10:7, 8 Y 9; INGEOMINAS, 1985).

El día 7 de octubre se presentó un **"Mapa Preliminar de Riesgo Volcánico Potencial del Nevado del Ruiz"**, ejecutado por INGEOMINAS, el cual fue entregado a las autoridades civiles y militares, Defensa Civil, Medios de Comunicación y salió publicado en la primera página de **"El Espectador"**, el día 8 de octubre de 1985 (Mosquera et al., 1986). Un segundo mapa de riesgos volcánicos del Ruiz se iba a presentar al gobierno y distribuir al público en general al 15 de noviembre de 1985 (Parra, com. esc., 1986).

Antes del 13 de noviembre de 1985, la actividad del Ruiz estuvo limitada a emisiones de vapor y pocos enjambres de temblores (muchos sismos encontrados en un corto tiempo). La actividad sísmica mostró un máximo de 60 eventos por día entre el 19 y 21 de octubre, declinando hacia el 3 de noviembre a una cantidad entre 3 y 5 sismos diarios. Se observó un incremento en la temperatura de la fuente termal "La Hedionda" (sobre el flanco noreste), probablemente relacionada con un aumento de la actividad volcánica. La red de inclinometría detectó una deflación general del 26 de octubre al 3 de noviembre con

pequeños pulsos de inflación del orden de 5 a 10 microrradianes por día (Sean Bull., 10:11).

La erupción del 13 de noviembre consistió en la eyección de cenizas, piroclastos de caída, oleadas y flujos piroclásticos calientes con la consiguiente fusión parcial (3,5 a 10%) del glaciar que cubre a la cima del Ruiz y el concomitante desarrollo de lahares sobre los cauces de los ríos que nacen en el Nevado. La erupción dio inicio a las 4 p.m. (hora local), la principal se produjo a las 8:08 p.m. y se extendió hasta las 11 p.m. Pese a que los geólogos colombianos han clasificado esta erupción como tipo pliniana, consideramos más apropiado clasificarla como vulcaniana; sin embargo, para tal efecto sería deseable utilizar los criterios expuestos por Walker (1981). Los torrentes de sedimentos (mezcla heterogénea de bloques, cantos, gravas, arenas, limos, arcillas y escombros vegetales embebidos en agua) se encauzaron por los ríos Lagunilla, Azufrado, Gualí, Claros y Molinos, arrasando todas las vías de comunicación que encontraban a su paso. Los municipios de Chinchiná, Armero, Honda, Villamaría, Santuario, Carmelo y Pindalito, entre otros, fueron afectados por la avalancha (Figura N° 2). El volumen total de los depósitos laháricos superó los $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Mojica et al., 1985 a y b; 1986).

La lluvia de cenizas de la explosión del 13 cayó en un área de unos 400 km^2 , afectó a la navegación aérea, contaminó las aguas y causó graves destrozos a los cultivos. La ceniza fina llegó a una distancia hasta de 550 km del volcán, en la frontera con Venezuela. Aunado a esto, las lluvias torrenciales que estaban cayendo en los primeros días de la catástrofe, dificultaron las tareas de rescate de las personas

afectadas y aumentaban el nivel de las aguas de los ríos, no solo de los que nacen en el volcán, sino de los dos más grandes de Colombia, el Magdalena y el Cauca, que cruzan el país del sur a norte. Los lahares dañaron los oleoductos, y la empresa colombiana de petróleo (ECOPETROL) tuvo que restringir el suministro de combustibles.

La ciudad de Armero, (450-220 metros sobre el nivel del mar), ubicada a 60 km al oeste del cráter Arenas, fue destruida en un 90%, en un lapso de escasas 5 horas, por lahares que fluían a una velocidad promedio de 40 km/h (Mojica et al., 1985). El número total de muertos superó los 23 000, el 35% de ellos menores de edad; los heridos sobrepasaban los 4 000 y las viviendas destruidas las 4 500, los damnificados resultaron ser más de 8 000. Un periodista costarricense comentó:

"Ingenua indiferencia o falta de previsión terminaron por dejar al paso devastador del agua, ceniza y lodo a un pueblo indefenso que dormía a la espera de una mañana que nunca llegó"

El 3 de enero de 1986 la actividad sísmica se manifestó plenamente hasta llegar a saturar los registros sismológicos en menos de una hora. En un principio, estuvo caracterizada por una superposición de temores de alta y baja frecuencia, declinando posteriormente a temores de baja frecuencia (2-2,5 Hz), que dominaron junto con temblores tipo B (foco poco profundos) y eventos explosivos. Lo anterior condujo a la evacuación de unas 15 000 personas, unas seis horas después de haberse registrado la mayor actividad sismovolcánica y eruptiva. El 4 de enero se verificó una nueva erupción con proyecciones de piroclastos (cenizas

principalmente) y fuerte actividad sísmica. Pequeños enjambres de temblores ocurrieron los días 5 y 7 de enero y la actividad sísmica disminuyó aproximadamente de 1 a 2 temblores por hora tipo A (sismo volcano-tectónico moderadamente profundo) o B, o ambos, de magnitud igual o inferior a cero (Sean Bull., 10:12).

En la actualidad, la energía sísmica del Ruiz continúa acumulándose "anormalmente", registrándose una actividad sísmica relativamente baja pero más o menos constante. Desde el 4 de mayo hasta la fecha (dic. 1986) ha tenido actividad permanente de tremores con dos emisiones de ceniza: 20 y 29 de julio. Los inclinómetros continúan registrando de modo regular variaciones en la inflación o deflación del aparato eruptivo. Las grietas glaciales continúan aumentando lentamente su separación, mientras tanto el cráter Arenas mantiene su actividad fumarólica usual.

CONCEPCION DEL RIESGO VOLCANICO

Los peligros volcánicos pueden ser evaluados utilizando los registros históricos y geológicos, y a través del conocimiento del comportamiento general y particular de los volcanes, lo que a su vez implica la necesidad de poseer un acervo científico en geología, petrología (estudio de las rocas y su origen), tefracología (estudio de los materiales, eruptados tales como cenizas, lapill; y bombas, etc.), geoquímica, geofísica, geodesia y volcano-tectónica. Toda la información se compila y visualiza mejor mediante mapas de zonificación del riesgo volcánico, en los que se indican los peligros inmediatos y potenciales para diferentes erupciones volcánicas, sus fenómenos

asociados y la evaluación económica de las eventuales pérdidas materiales y humanas. Específicamente con esta clase de zonificación se trata de:

- a) Disminuir el nivel de amenaza potencial
- b) Mitigar las consecuencias de la acción desastrosa
- c) Localizar y limitar el alcance de las catástrofes volcánicas en cuanto a caída de bombas y posibles flujos de lavas, de piroclastos y de lahares.

La evaluación considera numerosas variables tales como: tipos de erupción, composición de los materiales volcánicos, aspectos geomorfológicos, historia evolutiva, probabilidad, cronología, clima, vegetación, dirección de los vientos, densidad y actividad de la población, uso de la tierra, obras de ingeniería, etc.

En un país eminentemente volcánico como es Costa Rica, es necesario hacer estudios -en ese sentido se está trabajando- para establecer y evaluar los posibles efectos de una eventual erupción volcánica y los fenómenos asociados de cierta magnitud sobre áreas pobladas y obras civiles importantes, a través del conocimiento de los distintos volcanes clasificados como activos y latentes en el país. A la luz de los nuevos criterios de vulcanología hay que vigilar más estrechamente aquellos volcanes que han presentado actividad eruptiva en los últimos cientos o miles de años.

En la prevención física de desastres es importante adoptar medidas de protección contra estos fenómenos naturales. El que se haga eficazmente depende en gran parte de que se comprendan a fondo la naturaleza y las consecuencias de todos los posibles

acontecimientos y en particular, sus efectos sobre las estructuras de los asentamientos humanos y la vida de sus habitantes. Recordemos nuevamente la enorme tragedia ocurrida en noviembre de 1985 por la erupción del Nevado del Ruiz, catástrofe que estaba en gran parte anunciada desde hacía varias semanas por las manifestaciones mismas del volcán y que pudo haberse aminorado, ya que se conocía con anterioridad su naturaleza y alcance del fenómeno a través del **Mapa de Riesgos Volcánicos** realizado por geólogos colombianos y extranjeros en su oportunidad.

Así, este desastre, considerado como el más grande por causa volcánica en lo que va del presente siglo y el más grande en la historia reciente producido por un lahar, llegó a igualar en menos de cinco horas la cantidad de muertes producidas por lahares desde 1700 hasta 1985. En el Cuadro Nº 1 se muestra comparativamente, la incidencia que los diferentes fenómenos volcánicos y catástrofes han tenido desde 1700 hasta 1986 inclusive, evaluados con base en muertes producidas, según datos de UNDRO-UNESCO (1985) con modificaciones de la reciente catástrofe del Ruiz.

CUADRO Nº 1

COMPARACION DE INCIDENCIA DE CATASTROFES
EN LA VIDA HUMANA (1700-1986)

	CAUSA PRINCIPAL DEL DESASTRE				TOTAL
	FLUJOS PIRO- CLASTICOS	LAHARES	MAREMOTOS	HAMBRE	
Número de muertos (en miles)	61	45	53	89	249
Porcentaje (antes de 1985)	27	10	23	40	
Porcentaje (hasta 1986)	25	18	21	36	
Porcentaje (hasta 1986, excluyendo el efecto del hambre)	39	28	33	--	

PERSPECTIVA DE LA AMENAZA VOLCANICA EN COSTA RICA Y ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES

La constitución geológica, la situación geográfica y geotectónica donde se encuentra emplazado el territorio costarricense, lo colocan en un área propensa a los peligros de índole geológica. Sin embargo, hasta el momento son pocas las medidas de prevención en ámbito nacional.

En Costa Rica se han identificado más de 200 focos volcánicos (cráteres, conos, domos y relictos volcánicos) situados en diferentes provincias volcánicas Plio-Cuaternarias. De todos ellos, solo se ha tenido conocimiento fidedigno de registro histórico (últimos 300 años) de la actividad eruptiva de los siguientes cinco volcanes: Rincón de la Vieja y Arenal en la Cordillera de Guanacaste; Poás, Irazú y Turrialba en la Cordillera Central del país. Algunos de los demás volcanes importantes costarricenses (unos 15) presentan actividad secundaria o residual: fumarolas, aguas termales, enjambres de temblores (Alvarado, en prensa; Paniagua, 1984; Figura Nº 3).

En ambas cordilleras, como en sus alrededores, se encuentran coladas de lava (especialmente andesitas y andesitas basálticas), capas de tefras, y flujos de nubes ardientes andesíticos hasta riolíticos intercalados en parte con brechas, tobas, lavas y depósitos fluviovolcánicos, especialmente corrientes de lodo (lahares). En las faldas de la mayor parte de estos volcanes, se asientan ciudades, además de importantes centros de agricultura, ganadería, turismo y tecnología.

Los volcanes Rincón de la Vieja (1895 metros sobre el nivel del mar) y Arenal (1633 metros sobre el nivel del mar) han

presentado actividad eruptiva y fumarólica en los últimos años. Del primero se conoce actividad eruptiva a partir del año 1851. Varias erupciones de piroclastos de moderadas proporciones y actividad fumarólica se han reportado desde ese año, sobresaliendo los períodos entre 1966 y 1975, y entre 1983 y 1986 (veáse Alvarado, en prensa).

El volcán Arenal ha tenido actividad efusiva y explosiva desde por lo menos hace 3500 años, cuando la región estaba habitada por indios precolombinos. Luego de varias centurias de reposo, la reactivación del Arenal dio inicio el 29 de julio de 1968, con fuertes explosiones tipo peleano, que produjeron nubes ardientes que llegaron a dos pueblos al pie del volcán (Tabacón y Pueblo Nuevo) matando a 78 personas (Melson y Sáenz, 1968; Melson, 1982). Desde entonces se han tenido continuas erupciones de cenizas, bombas y gases (tipo stromboliano) con algunos cortos períodos de quietud. Hasta la fecha se han contabilizado más de 50 coladas de lavas en un área de 7 km² (Barquero et al., 1986, Borgia et al., en prensa; Alvarado y Barquero, en prensa).

El volcán Poás (2708 metros sobre el nivel del mar) ha tenido varias erupciones desde que se conoce de su actividad en 1828. En los últimos 150 años, se ha caracterizado eminentemente por continuas y frecuentes explosiones de bombas, cenizas, gases y sedimentos del fondo de la laguna, cuyos productos usualmente solo cubren el interior del cráter o la cima. Ocasionalmente, los piroclastos se extendieron a algunas zonas alejadas del macizo, como por ejemplo la erupción de 1953, que produjo lluvia de cenizas en muchas partes del territorio nacional; esta actividad se extendió hasta 1955 (Bullard,

1956). En los últimos 6 años, el Poás no ha mostrado nueva actividad eruptiva, presentando únicamente actividad fumarólica, localizada en el borde noreste del domo intra-cratérico, al contacto con la laguna termal.

El volcán Barva no tiene registros históricos confiables de su actividad; no obstante, cerca de su laguna cratérica, se presenta una capa de lapilli escoriáceo sano de una edad no muy antigua. Al parecer, el derrame lávico más joven de este macizo eruptado hace varios miles de años, es la llamada colada de Los Angeles, que cubre un área de unos 13 km² con espesores variables entre 5 y 27 metros (aproximadamente 0,2 km³).

De la actividad del volcán Irazú (3432 metros sobre el nivel del mar), se tienen registros a partir de la colonia y desde ese entonces, con algunas interrupciones, ha tenido actividad stromboliana, caracterizada principalmente por eyección periódica de material piroclástico y frecuentes emisiones de gases y vapores, incrementándose significativamente en algunos años. Su más reciente período eruptivo fue en 1962-1965 y en las dos últimas décadas hasta la fecha, no ha mostrado mayores indicios de una nueva fase explosiva importante, con la salvedad de su usual actividad solfatárica en su flanco norte. La colada de lava de Cervantes, eruptada hace unos 14 000 años, es el último y mayor flujo de lava en toda la Cordillera Central; cubre aproximadamente un área de 35 km² con un volumen total estimado de más de 1 km³.

Los registros históricos de la actividad del volcán Turrialba (3340 metros sobre el nivel del mar) indican que tuvo emisiones de piroclastos y vapores en 1723 y principalmente entre 1864 y 1866. Existe una continua actividad solfatárica en sus

cráteres del oeste y central con deposiciones de azufre y diversas sales. El campo de coladas de lava más joven del Turrialba, el de Aquiares, parece haber sido derramado hace varios miles de años de un foco situado cerca de la base sur de este volcán (Dóndoli, 1965). Se extiende larga y anchamente hacia el sureste, a través de sus faldas y de los ríos Turrialba y Aquiares, cubriendo una área aproximada de 40 km². En la actualidad, el Turrialba tiene más de 120 años de inactividad eruptiva.

De acuerdo con lo antes expresado, se desprende que los efectos que se pueden esperar debido a una erupción de algunos de los volcanes señalados serían en orden prioritario: caída de piroclastos por explosiones freáticas o freatomagmáticas, corrientes de lodo (lahares), flujos piroclásticos y coladas de lava.

Las evidencias tefraestratigráficas en los diferentes volcanes indican que en un pasado no muy antiguo (menos de 5000 años), se han verificado fuertes explosiones strombolianas hasta plinianas cubriendo extensas regiones con tefras gruesas y finas (Walter, 1982; Casertano et al., 1983; Melson et al., 1986; Chiesa, 1987; Alvarado, en prensa).

La interpretación de los controles volcánico-tectónicos su intersección con varios sistemas de fracturas y la migración de los focos eruptivos, puede traer a luz aspectos sobre la sismicidad, la evolución geovulcanológica y la eventual formación de nuevos conos o cráteres (Alvarado et al., 1986).

Finalmente, en Costa Rica, son tres las instituciones encargadas de los estudios vulcanológicos: la Universidad Nacional a través de la Escuela de Ciencias Geográficas en la cual se encuentra el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica; el Instituto Costarricense de

Electricidad que posee un Departamento de Geología y realiza investigaciones sismotectónicas y vulcanológicas a través de su Sección de Sismología e Ingeniería Sísmica; y la Universidad de Costa Rica que posee la Escuela Centroamericana de Geología y su Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica. Estas dos últimas entidades mantienen estrechos lazos de cooperación científica a través de la Red Sismológica Nacional (RSN-ICE-UCR).

Los volcanes mejor conocidos en nuestro país, desde el punto de vista geológico-vulcanológico son el Arenal, el Irazú, el Poás y el Miravalles, los cuales poseen además, los sistemas "básicos" de auscultación volcánica; le siguen los volcanes Rincón de la Vieja, Turrialba, Platanar y Barva. De los demás el conocimiento vulcanológico (que incluye muchas especialidades tales como petrología, sismología, geofísica, geoquímica, geodesia, geomorfología, tefra-estratigrafía, geo-vulcanología, radiocronología, etc.), es mínimo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La humanidad no puede todavía impedir que ocurran o tengan consecuencias la mayoría de los fenómenos naturales, pero sí es posible minimizar los efectos desastrosos y sus consecuencias, cuando se conocen los mecanismos de comportamiento y las zonas expuestas al peligro. Para ello, los estudios científicos de los volcanes con el fin de elaborar mapas de peligro volcánico o para vigilancia y predicción son muy importantes y pueden tener una triple finalidad:

- La primera a largo plazo, para prever asentamientos humanos y obras civiles en áreas consideradas de alto riesgo,

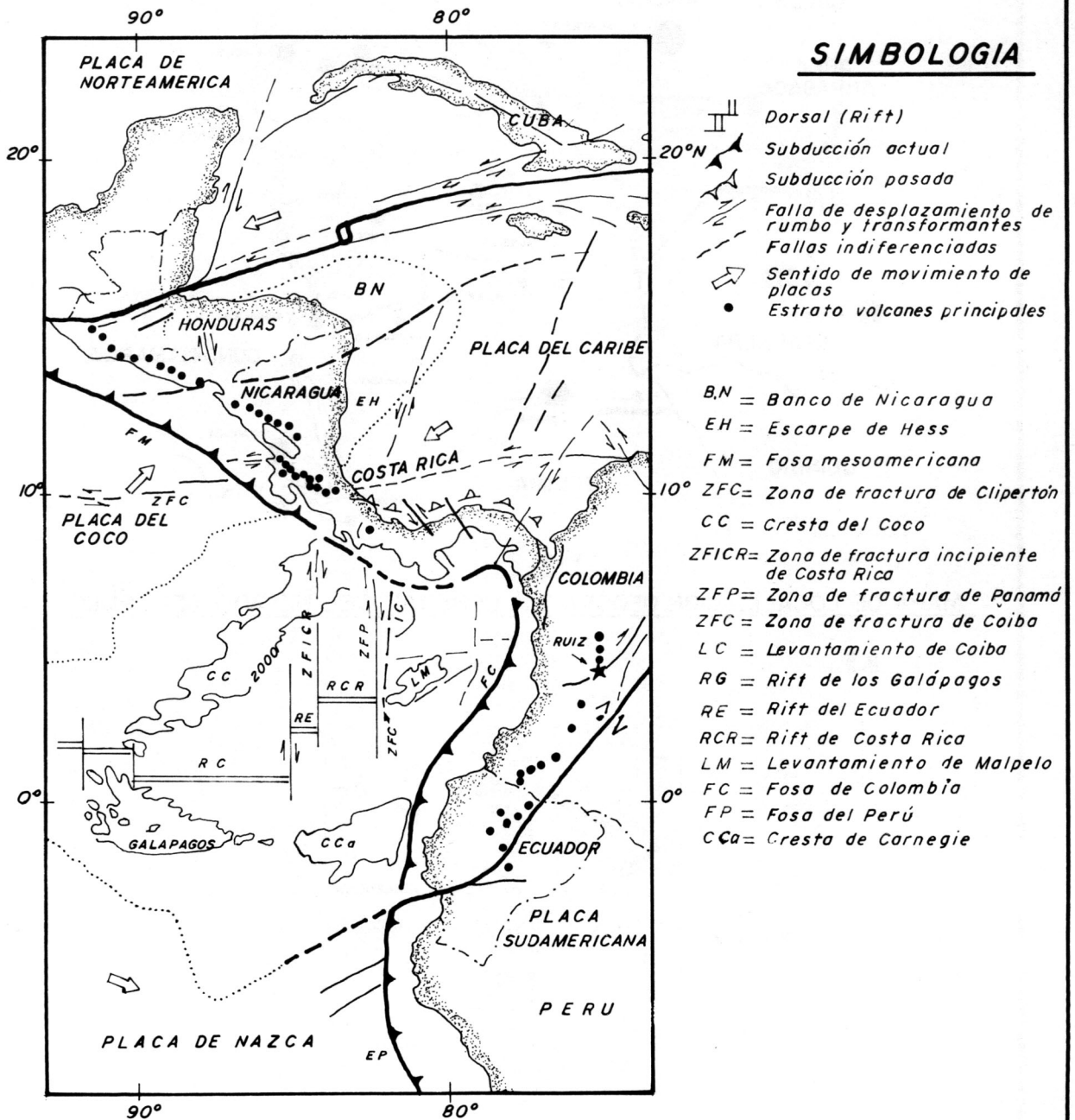
- La segunda, a corto plazo, con aplicación inmediata, para propósitos de evacuación de las comunidades en el caso de una posible erupción importante,
- Y la tercera y última, para aprovechar los recursos minerales y rocosos, la energía geotérmica y el desarrollo turístico.

Cada volcán posee un modo de comportamiento eruptivo particular, según su fase en la historia geológica. Para disminuir los efectos de erupciones volcánicas habría que contemplar maniobras y procedimientos inherentes a cada zona en particular, con respecto a su amenaza, a través del Comité de Emergencia Nacional contra Desastres Naturales (Figura N° 4); (véase Sáenz, 1985). Las erupciones volcánicas en Costa Rica, desde 1700 hasta la fecha han cobrado un número de muertos escasamente superior a 100 y el área total afectada en forma considerable a moderada difícilmente supera los 1000 km². No obstante, la dinámica eruptiva de un volcán puede cambiar y, por otro lado, día con día se incrementa más la población y la ocupación de nuevas áreas en las vertientes de estos volcanes.

Por último, quisiéramos dar a conocer algunas normas, sugerencias y preparativos generales para enfrentarnos ante una eventual erupción volcánica:

1. Conocer las particularidades de la actividad volcánica en la región en que se habite.
2. Informar inmediatamente a las autoridades, cuando se observen anomalías tales como aumento de la actividad fumarólica, cambio brusco de la temperatura de las aguas de la zona, ocurrencia de pequeños temblores, aparición de nuevas fuentes termales u otro tipo de actividad.

FIG. Nº 1 **MAPA GEOTECTONICO GENERALIZADO DE LA PARTE CENTRAL DE AMERICA**



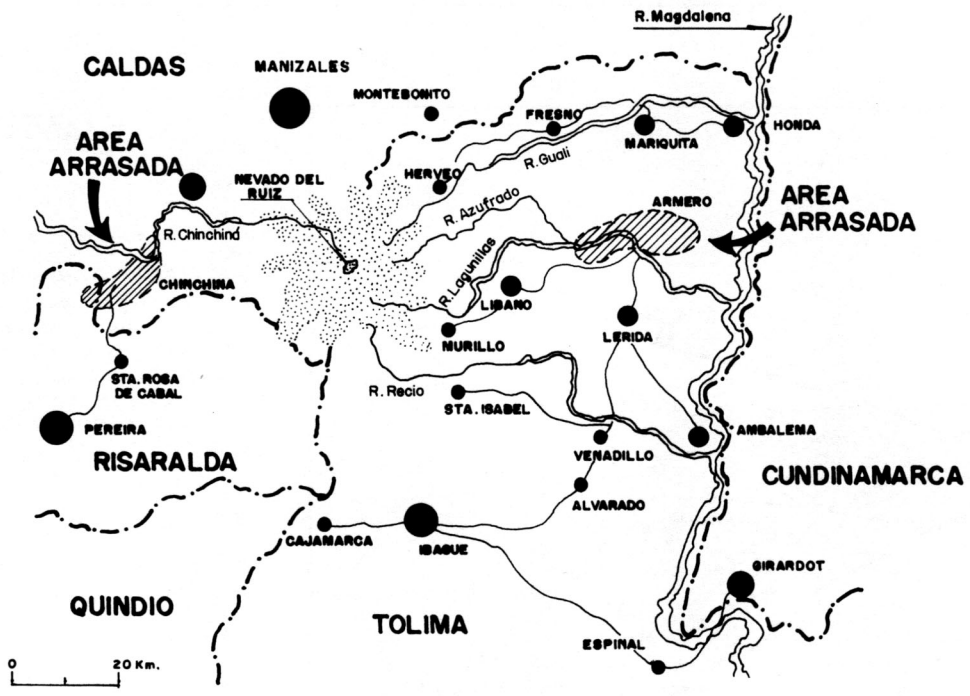
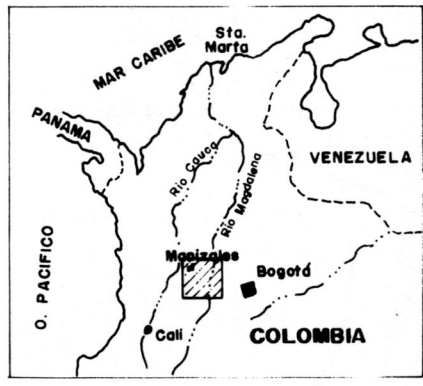
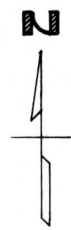


FIG. 2

MAPA DE LOCALIZACION GEOGRAFICA GENERAL DEL NEVADO DEL RUIZ



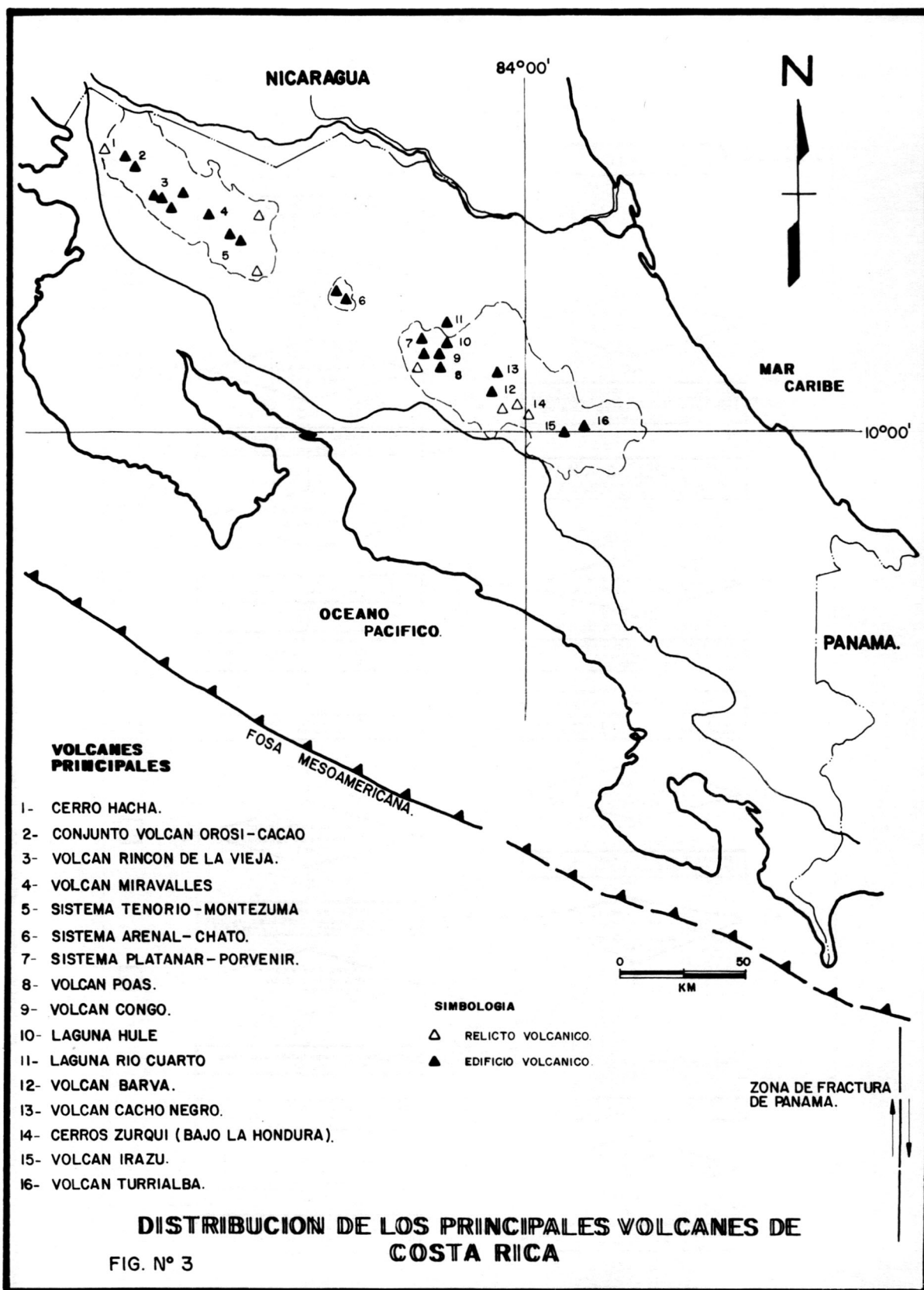
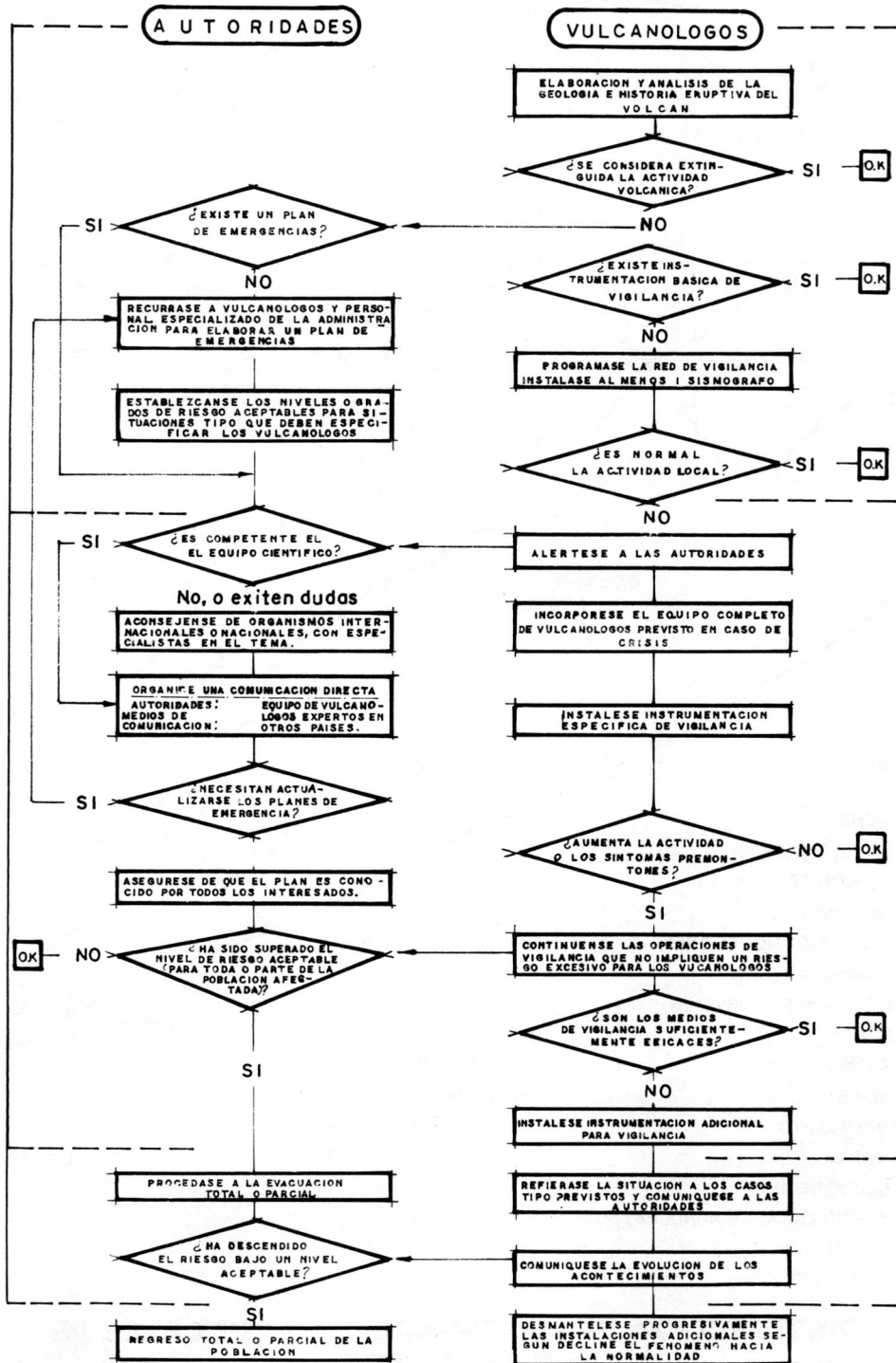


FIG. Nº 4

**ORGANIGRAMA DE ACTUACIONES Y RESPONSABILIDADES
EN UN PROGRAMA DE PROTECCION CIVIL EN CASO
DE ERUPCIONES VOLCANICAS ***



* de Tomblin, 1980

3. No hacer caso a las informaciones sin fundamento (información demasiado anticipada a menudo no es científica ni correcta).
4. Abstenerse de subir a un volcán mientras exista peligro y no ubicarse cerca de un cráter cuando está activo o ha tenido recientemente actividad explosiva.
5. Conocer anticipadamente el o los sitios para refugiarse en caso de emergencia.
6. Improvisar un refugio si se presenta un determinado peligro, cuando uno no se encuentra en el sitio de protección prefijado.
7. Tener cuidado con el gas volcánico, puesto que a veces, cuando hay poco viento, los gases se estacionan en concavidades, constituyendo un peligro; si obligatoriamente se transita cerca del cráter o de fumarolas, debe pasarse sin demora.
8. Estar alerta con las avalanchas de lodo y rocas, puesto que después de las erupciones o fuertes lluvias, o ambas, se puede llegar a generar lahares. Por eso no se debe estar en la parte baja o aledaña de ríos y quebradas; hay que buscar siempre un sitio alto.
9. Respetar, para el bien de todos, las instalaciones de observación sísmica y volcánica como: aparatos de diversa índole, tendidos de cable, marcación, casetas de observación sin personal, etc.
10. La calma, la disciplina y la buena información son las mejores herramientas para la prevención vulcanológica y de otros fenómenos.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICIT), y al Departamento de Geología del Instituto Costarricense de

Electricidad (ICE) y el coautor a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica (UCR) por el financiamiento brindado durante la visita de estudio a Colombia en los días de la emergencia volcánica. Extensivo es el agradecimiento a las personas del Observatorio Vulcanológico Nacional, (INGEOMINAS) - Colombia, en particular a Martha Lucía Calvache, Hansjurgen Meyer y Eduardo Parra.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado G. E., 1984. **Aspectos petrológicos-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica.** -xiii+183 págs. Tesis de Licenciatura, Esc. Centroamericana de Geología, Univ. de Costa Rica; San José.
- (en prensa). **Los volcanes de Costa Rica.** -EUNED.
- y BARQUERO, R. (en prensa). *Las señales sísmicas del volcán Arenal (Costa Rica) y su relación con las fases eruptivas (1968-1986).* - **Rev. Ciencia y Tecnología.**
- , Barquero, R., Boschini, I., Chiesa, S. y Carr, N.J., 1986. *Relación entre la Neotectónica y el Vulcanismo en Costa Rica.* -**Simp. Int. sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos**, 1-7 dic. 1986; Bogotá.
- Araña, V. y Ortiz, R., 1984. **Volcanología.** -xv+510 págs.; Consejo Sup. Invest. Cient. y Ed. Rueda; Madrid.
- Barquero, J., Fernández, E. y Van der Laat, R., 1986. *Estado de los volcanes, mayo 1983 - diciembre 1984, volcán Arenal.* **Bol. de Vulc.** 15:5; Esc. Cienc. Geogr., Univ. Nacional, Heredia.
- Borgia, A., Poore, C., Carr, M.J., Neslon, W.G. y Alvarado, G.E. (en prensa). *Stratigraphic, structural and petrological aspects of Arenal-Chato volcanic system Costa Rica: Evolution of a young strotovolcanic complex.* -**J. Volcanol.**
- Bullard, F.M., 1956. *La actividad volcánica en Costa Rica y Nicaragua en 1954.* -**En C.A. VARGAS**

- (ed., 1979): **Antología del volcán Poás**; Ed. Univ. Estatal a Distancia, San José; pp. 109-118.
- Casertano, L., Borgia, A. y Cigolini, C., 1983: *El volcán Poás, Costa Rica: Cronología y caracterización de la actividad.* -**Geof. Int.**, 22-23: 215-236.
- Clapperton, CH., 1986: *Fire and water in the Andes.* -**The Geogr. Mag.**, febr.: 74-79: Londres.
- Chiesa, S. 1987. *La mayor erupción pliniana del volcán Arenal, Costa Rica.* -**Rev. geol. Amér. Central**, 6; San José
- Dengo, G., 1983: Mid America: Tectonic setting for the Pacific Margin from Southern Mexico to Northwestern Colombia. -En: NAJRN, A. E. M. STEHLI, F.G. y UYEDA, S., eds. **The Ocean basins and margins**. V. 7A. The Pacific Ocean. Plenum Press, New York, pp. 123-186.
- Dondoli, C., 1965: *Volcanismo reciente de Costa Rica.* **Inf. técnico y notas geol.**, 4, 15-B; Direc. Geol. Min. y Petrol, San José.
- Herd, D.G., 1982: **Glacial and volcanic geology of the Ruiz-Tolima volcanic complex, Cordillera Central, Colombia.** -iv+48 págs.; Pub. Geol. Esp. INGEOMINAS, Nº 8.
- Ingeominas, 1985: **Estudio de los riesgos volcánicos potenciales del Nevado del Ruiz.** -27 págs.; Ministerio de Minas y Energía; Colombia.
- McBirney, A., 1982: *Volcanic evolution of Central America.* **Bol. de Vulc.**, 14:21-22; -Esc. Ciencias Geogr., Heredia, (1985).
- Melson, W. G., 1982: *Alternation between acidic and basic magmas in mayor explosive eruptions of Arenal volcano, Costa Rica.* **Bol. de Vulca.**, 14:65-74; -Esc. Cienc. Geogr., Heredia.
- _____. y Sáenz, R., 1968. **The 1968 Eruption of Volcan Arenal: summary of field and laboratory studies.** 35 p.; Smithsonian Center for Short-Lived Phenomena, Report, 7/1968.
- _____, Barquero, J., Sáenz, R. y Fernández, E., 1986. *Erupciones explosivas de importancia en Costa Rica* (Un reporte del progreso alcanzado Noviembre 1985). **Bol. de Vulc.**, 16:15-20. -Esc. Cienc. Geogr.
- Mójica, J., Colmenares, F., Villarroel, C., Macia, C. y Moreno, M., 1985 *Características del flujo de lodo ocurrido el 13 de noviembre de 1985 en el valle de Armero* (Tolima, Colombia). Historia y comentarios de los flujos de 1595 y 1845. -**Geol. Colombiana**, 14:107-140; Bogotá.
- _____. Brieva, J., Villarroel, C., Colmenares, F. y Moreno, M., 1985. *Observaciones preliminares sobre flujos de lodo Cuaternarios relacionados con la actividad del volcán Nevado del Ruiz en la región Armero-Guayabal-Mariquita.* -**Geol. Colombiana**, 14:141-164 (Departamento del Tolima, Colombia), Bogotá.
- _____. Brieva, I., Macia, C., Ujueta, G. y Mendoza, J., 1986. *Guía de excursión Honda-Mariquita-Armero-Ledida.* -**Simp. Inter. sobre Neotectónica y Riesgos Volcánicos**, dic. 1-7 de 1986; INGEOMINAS; Bogotá.
- Mosquera, D., Núñez, A. y Naranjo, J. L., 1986. *Guía de excursión Honda-Manizales-Cali.* -**Simp. Inter. sobre Neotectónica y Riesgos volcánicos**, dic. 1-7 de 1986; INGEOMINAS; Bogotá.
- Paniagua, S.A., 1984. **Contribución al conocimiento de la geología y petrología del vulcanismo Plio-Cuaternario de la Cordillera Central de Costa Rica.** -255 págs.; Tesis de Maestría, Univ. de Chile.
- Ramírez, J., 1975. *Los Volcanes de Colombia.* -**En: Compiled hist. of Dangerous Volcanes Associated information Reporter D. Shimozura.** **Bull Volcanol.** Sp. 38:44-55.
- Sáenz, L., 1985: *Terremotos y Defensa Civil en Costa Rica.* -**En: Setiembre Científico 2: Sismos**, EUNED: 97-114; San José.
- Seanbul., 1985. **Ruiz Volcano.** -10:7,8,9,11 y 12; Washington D.C.
- Soto, G.J., 1986. *Algunos efectos ambientales del vulcanismo.* -**BIOCENOSIS**, 2 (3-4): 15-17; San José.
- Thorpe E, R.S., Francis, P.W., Hamnill, M. y Baker, M.C.W., 1982. *The Andes.* -**En Thorpe, R.S. (ed.): Andesites:** 182-205; New York: John Wiley & Sons.

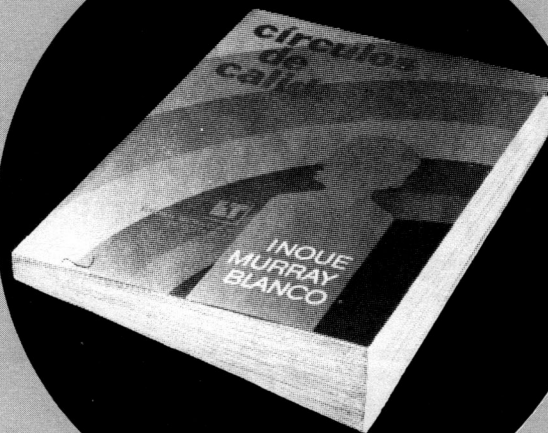
Tomblin, J., 1986: *Volcanic Emergency Planning. - Impact of Science on Society*, 27, (1).

Undro-UNESCO, 1985. *Volcanic Emergency Management*. -x+86 págs., New York: United Nations.

WALKER, G.P.L., 1981: Generation and dispersal of fine ash and dust by volcanic emptions. -*J. volcanol. Geoth. Res.*, 11:81-92.

_____, 1982. *Volcanic Hazard. Bold. de Vulc.*, 14:41-43; Heredia. -Esc. Cienc. Geogr., págs., Heredia.

círculos de calidad



EDITORIAL TECNOLÓGICA
DE COSTA RICA

impulsando
el desarrollo tecnológico