

RECONOCIMIENTO DE LOS RIESGOS VOLCANICOS POTENCIALES DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COSTA RICA, AMERICA CENTRAL.

ABSTRACT

Geologic and historic records indicate that three of the four great stratovolcanoes of the Cordillera Central (Poás, Irazú and Turrialba) have erupted during the last centuries. Based on this we can infer that these volcanoes will erupt again in the future. The future eruptions probably will be preceded by an increase in their fumarolic activity.

An appraisal of volcanic hazards from the Cordillera Central suggests that the chief hazards from future eruptions will consist of great ash-falls in the Valle Central and the adjacent areas and also of some mudflows along the lower parts of the valleys that head on the volcanoes. Lava flows on the flank of the volcanoes have not been reported during the last few thousand years, however it must be taken in account as a possible hazard, above all because colonization reaches up to the summit area.

We intend to evaluate the effects of a possible volcanic eruption on the associated mayor events in the central region of Costa Rica where the principal settlements are concentrated. The information can be used to help minimize the potencial hazards mitigate the consequences of a disastrous eruption, localize and delimitate the range of the volcanic catastrophe with respect to possible lava flows, mudflows and airfall deposits.

RESUMEN

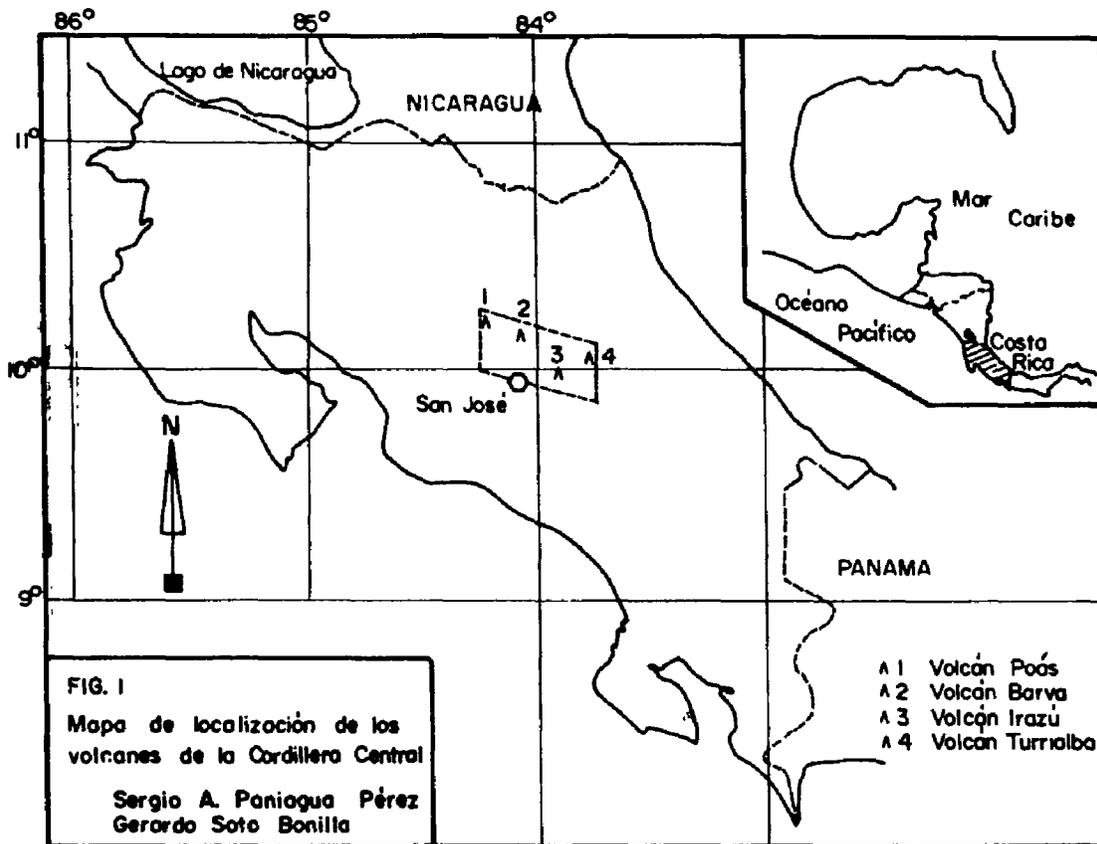
Datos geológicos e históricos indican que tres de los cuatro volcanes de la Cordillera Central (Poás, Irazú y Turrialba) han hecho erupción en los últimos siglos. Con base en esto se puede inferir que dichos volcanes posiblemente entrarán en erupción en el futuro; sin embargo, no se puede predecir todavía el instante de la próxima erupción. Se infiere que las futuras erupciones serán precedidas por un aumento de la actividad sísmica (pequeños temblores volcánicos) y probablemente por un incremento de vapores y gases y de sus temperaturas.

Una evaluación de los riesgos volcánicos de la Cordillera Central sugiere que el mayor riesgo en futuras erupciones ha de consistir en caídas de cenizas sobre el Valle Central y flujos de barro (lahares) a lo largo de las partes bajas de los valles que se inician en los volcanes. No se ha tenido conocimiento de flujos de lava sobre las faldas de los volcanes en los últimos miles de años, no obstante es un riesgo que debe considerarse.

Las medidas que deben implementarse, con el objeto de reducir pérdida de vidas y propiedades, antes y durante una erupción son:

1. Evaluar los tipos probables y la distribución esperada de los riesgos, especialmente la caída de cenizas y los flujos de barro.
2. Vigilar los volcanes mediante inclinómetros y sismógrafos para detectar "hinchamientos" o cambios de la topografía alrededor de los volcanes, así como también en el número de temblores volcánicos.
3. Informar a la población sobre el riesgo potencial de las erupciones, sus alcances y lo que debería hacerse en una eventual erupción.

* Escuela Centroamericana de Geología, Universidad
de Costa Rica.



1. INTRODUCCION

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación sobre el peligro volcánico potencial de los volcanes de la Cordillera Central de Costa Rica (Poás, Barva, Irazú y Turrialba) (fig. 1).

Los volcanes de la Cordillera Central son estrato-volcanes constituidos principalmente por andesitas basálticas y andesitas piroxénicas e intercalaciones de brechas, aglomerados y depósitos de lapillas y cenizas (Williams, 1952). Se trata de macizos que conforman un grupo con diferentes conos, entre los cuales el más alto y/o con actividad más reciente ha asignado el nombre representativo de todo el macizo, contando así con los denominados: Volcán Poás, Volcán Barva, Volcán Irazú y

Volcán Turrialba (ver mapa fig. 1). Estos representan las últimas manifestaciones del magmatismo volcánico cuaternario de la región central de Costa Rica.

Para eventos eruptivos en un futuro cercano, y sus fenómenos asociados en la Cordillera Central, la información del mapa preliminar adjunto puede ser usado para ayudar a prevenir la pérdida de vidas y propiedades. Sin embargo, si en futuras erupciones estas pérdidas quieren ser minimizadas, se requerirá de una evaluación más detallada de los peligros volcánicos del área, asimismo como de otros centros volcánicos de riesgo potencial en Costa Rica.

Las zonas de riesgo volcánico en este mapa han sido preparadas a través de mapas topográficos 1: 500000, fotografías aéreas, interpretaciones de

mapas geológicos y geomorfológicos, así como resultados de breves investigaciones de campo entre marzo y junio de 1986 y noviembre del mismo año. Muchos límites mostrados en este mapa son tentativos, o aproximados, pues el mapa presenta una distribución generalizada de los peligros o riesgos volcánicos.

2. MACIZOS VOLCANICOS

2.1. Volcán Poás (2708 m s.n.m., Lat. 10° 11' N; Long. 84° 13' W).

Se localiza a 35 km al Noroeste de San José. Presenta en su cima una caldera de forma ovalada de orientación Norte-Sur, de aproximadamente 9 km en su diámetro mayor y 7 km en su diámetro menor. Dentro de esta caldera pueden diferenciarse cuatro cráteres: el cráter principal tiene en su parte superior más de 1000 m de diámetro y una profundidad de 350m; su borde está compuesto de lavas y piroclastos, con paredes internas de gran pendiente y/o taludes de erosión bien marcados, constituidos de cenizas y lapillis de la última gran actividad de 1953-1955 y de anteriores eyecciones pequeñas (Paniagua, 1985). Dentro del cráter principal se presenta otro más joven y recientemente activo y una estructura de lava-domo producto de la última actividad en 1953, cuyas actuales dimensiones son aproximadamente 300 m en su eje longitudinal, 27 m de altura y 90 m en su ancho máximo. El cráter presenta fuerte actividad fumarólica y solfatárica, originando columnas de vapor sulfuroso de 200 m o más de elevación y depositaciones frecuentes de azufre en los alrededores. Al norte del cráter activo se encuentra una laguna circular con diámetro aproximado de 300 m, las aguas de esta laguna son de color gris a un verde turquesa debido al contenido de azufre amorfo, sedimentos y sales minerales diversas. Su temperatura varía entre 40 y 70°C. Aproximadamente a 1 km al sur del cráter principal, se ubica el cráter de la laguna Botos (2708 m s.n.m.), ésta tiene forma circular y mide unos 500 m de diámetro. Aquí las aguas son claras, limpias y con una temperatura de 11°C. La estructura más antigua dentro de la caldera corresponde al cráter localizado al norte del cráter principal (Cráter Von Frantzius). Este tiene forma de herradura irregular abierta hacia el sur, con pequeños escarpes cubiertos en parte por vegetación (Paniagua, 1985).

En los últimos 150 años, la actividad volcánica del Poás, se ha caracterizado por continuas y frecuentes explosiones de gases, bloques, bombas, lapillis y cenizas, cuyos productos cubren la cima. Sólo de vez en cuando, los piroclastos se extendieron a algunas zonas alejadas del macizo, por ejemplo durante las erupciones de 1910 y 1954-55, durante las cuales se produjeron lluvias de cenizas en muchas partes del territorio nacional. El domo lávico estuvo incandescente hasta 1982 y la fuerte actividad fumarólica y solfatárica en el borde sureste del cráter reciente, se mantiene hasta nuestros días.

2.2. Volcán Barva (2 906 m s.n.m., Lat 10° 08' N; Long 84°06' W)

Se localiza a 23 km al Norte de San José. Este macizo exhibe numerosos cráteres y conos volcánicos, dos de los cuales están bien definidos con lagos cratéricos de aguas meteóricas; la Laguna del Barva, de 70 m de diámetro, presenta en sus alrededores mantos de cenizas muy meteorizadas y cenizas recientes, y la Laguna Danta, con 500 m de diámetro y con similares características que la Laguna del Barva.

Al parecer, el derrame lávico más joven de este macizo sería la Colada de Los Angeles, emitida en tiempos prehistóricos. No se tienen registros históricos de la actividad de este Volcán. No obstante, cerca de la laguna cratérica Barva, se presenta una capa de lapillis escoriáceos frescos y aparentemente, muy recientes (Alvarado, 1984).

2.3. Volcán Irazú (3432 m s.n.m., Lat. 9° 59' N; Long 83°51' W)

Se ubica aproximadamente a 25 km al Noroeste de San José. Los estudios revelan que el Volcán Irazú ha tenido abundantes cráteres adventicios o secundarios englobados en una caldera ovalada de orientación Oeste-Este con un diámetro mayor de 6 km y un diámetro menor de 3 km. Su cráter principal o activo está ubicado al Oeste y tiene una forma sub-circular, con más de 600 m de diámetro y una profundidad de 150 m. Sus paredes están fuertemente inclinadas, compuestas de materiales piroclásticos y coladas de lava.

La alineación de cuatro cráteres en dirección Este-Oeste y sus edades relativas muestran claramente que los centros eruptivos migraron desde el Este al Oeste (Alvarado, 1984).

Históricamente la actividad del Volcán Irazú se ha caracterizado por la eyección periódica de material piroclástico y frecuentes emisiones de gases y vapor de H₂O, incrementándose significativamente al algunos años. La efusión de la llamada Colada de Cervantes sucedió hace unos 14000 años (Umaña, 1953) (no se ha tenido conocimiento de derrames lávicos históricos en toda la Cordillera Central). En 1963 se produjo una corriente de barro (lahar) en la región de Taras de Cartago al SSW del Volcán, con consecuencias muy graves para la población de ese entonces. Durante el invierno de dicho año, la ceniza expulsada por el Irazú destruyó la vegetación y formó una capa impermeable que desbalanceó el ciclo hidrológico, aumentando notablemente la escorrentía superficial. Por ello durante el invierno se dieron algunas pequeñas "avenidas". El 9 de diciembre de 1963, tras una semana de fuerte temporal, las laderas inestables de la cuenca superior del Reventado (área de Retes) suministraron gran cantidad de detrito que fue arrastrado rápidamente por el cañón y que al llegar a la zona de Taras, al NW de Cartago, se expandió donde se abre el cañón. El resultado fue un manto de lodo, rocas y arena de 2 m de espesor, afectando un área de 4,6 km², con un saldo de 20 víctimas (ICE, 1965).

2.4. Volcán Turrialba (3340 m s.n.m, Lat 10°02' N; Long 83°46' W)

Se ubica a 15 km al NW de la ciudad de Turrialba. Este volcán es prácticamente una sola montaña con algunas protuberancias laterales. Dicho macizo posee pendientes fuertemente escarpadas en el sector Norte y más moderadas en el sector Este. Las laderas de los valles presentan pendientes entre 40 y 80 por ciento (Madrugal y Rojas, 1980).

La estructura de este volcán es de una caldera elongada con dirección Norte-este-Suroeste de aproximadamente 2 km en su diámetro mayor y 800 m en su diámetro menor (NW-SE). Dentro de esta caldera se ubican tres cráteres bien definidos, El del Suroeste —el más reciente— exhibe paredes de pendientes extremadamente fuertes de materiales piroclásticos y lávicos. En los costados Norte y Oeste del cráter, existe aún una fuerte actividad solfatárica y fumarólica. La misma actividad se presenta en su cráter central, pero no así en su cráter del Noreste, el cual está intensamente erosionado y no hay evidencias de actividad magmática reciente en ese sector. Todos esos cráteres se

encuentran bien alineados en dirección Noreste-Suroeste y muestran una migración en el tiempo en ese sentido.

La colada más joven del Turrialba, aparentemente de edad holocena es la llamada Colada de Aquiares, que parece haber sido derramada desde una grieta cerca de la base Sur del volcán (Dón-doli, 1965); (ver mapa).

Los registros históricos de la actividad del volcán Turrialba indican que tuvo emisiones de cenizas y gases (actividad estromboliana) entre 1864-1866 (ver Soto, en preparación).

3. ACTIVIDAD ACTUAL

3.1. Volcán Poás

En la actualidad existe una intensa actividad fumarólica-solfatárica en su cráter principal, con un domo lávico central y un lago contaminado de gases, sedimentos, cenizas y sustancias minerales diversas, cuya temperatura fluctúa entre 40 y 70°C (Paniagua, 1985). Desde fines de 1980 hasta diciembre de 1981, la pared norte de este domo mostró fumarolas de alta temperatura (100°C hasta 960°C) (Casertano et al., 1985). Recientemente la temperatura de dicho domo ha bajado a menos de la mitad de este valor (Boletín de Vulcanología, 1982-86).

Actividad sísmica leve ha sido reportada en este macizo. En 1975 se instaló un cuenta-eventos muy cerca del cráter por parte de la Universidad Autónoma de México y desde 1976 funciona una estación sísmográfica permanente en el Volcán Poás por parte de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica. A fines de abril de 1980, se produjo cerca del Volcán Platanar, al NW del Poás, un enjambre de temblores, los cuales alarmaron a la población. Dichos sismos fueron atribuidos a causas tectónicas (Boletín Sismológico Mensual Escuela de Geología, 1980) o hidrotectónicas (Casertano et al., 1980). En julio de 1980 se registró una crisis sísmica local, ligada a fracturaciones de las zonas cercanas al conducto volcánico (Casertano et al., 1985). En febrero de 1982 ocurrió un enjambre sísmico de origen tectónico en el sector de Vara Blanca-Poacito (Morales & Montero, 1984). Desde 1984 y en forma ocasional, la Escuela Centroamericana de Geología realiza observaciones con un equipo de microtrémores de baja frecuencia (Casertano et al., 1985).

"El documento original no contiene las páginas 53 ni 54."

En la Cordillera Central, las estaciones permanentes sólo detectan actividad sísmica en el Volcán Poás.

3.2 Volcán Barva

Es el único de los cuatro grandes estrato-volcanes que no ha presentado actividad eruptiva desde tiempos de la conquista española. No obstante, cerca de la laguna Danta, se presenta una capa de lapilli escoriáceo fresco, al parecer muy reciente. De acuerdo al Catálogo Mundial de la Asociación Vulcanológica, se menciona que el Barva habría estado activo en marzo de 1867.

3.3. Volcán Irazú

Debido a su fácil accesibilidad hasta la cima y a las frecuentes erupciones que ha tenido este volcán en su historia, se tiene un registro más completo de sus eventos. Este volcán ha mantenido una actividad periódica desde su descubrimiento durante la conquista española. Luego de la gran erupción de cenizas y material incandescente en 1963-1965, el fondo del cráter fue ocupado por un lago con actividad fumarólica importante. Esta se mantuvo hasta principios de 1977, cuando desapareció. Durante este período no se registró actividad volcánica importante o sísmica en el macizo. En 1984, de nuevo se formó el lago, pero no muestra actividad fumarólica. En la falda NW del Volcán, se presenta un campo fumarólico cuyas manifestaciones exhalativas son de baja temperatura (98-100° C) (Murata et al., 1966).

Desde 1972 se instaló por parte de la Escuela Centroamericana de Geología un sismógrafo en el Sanatorio Durán, al pie del Irazú. Posteriormente en 1983, se trasladó dicho sismógrafo a la cima de ese macizo, no registrando actividad sismo-volcánica. En junio y setiembre de 1982, se registraron enjambres de sismos tectónicos entre el Irazú y el Turrialba.

3.4. Volcán Turrialba

Los registros históricos más recientes de la actividad del Volcán Turrialba mencionan erupciones en 1964-66 y serían similares a las erupciones de ceniza del Irazú (Soto, en preparación). En la actualidad los cráteres central y suroeste presentan actividad solfatárica, con emanaciones de gases tales como CO₂, H₂, H₂S y sobre todo vapor de

agua, con depósitos de azufre nativo y sales indeterminadas; la temperatura promedio es de 85°C, en el cráter central y 91°C en el cráter suroeste (Boletín de Vulcanología, 1979-1986). Ocasionalmente se han instalado sismógrafos portátiles en la región, pero no se ha registrado actividad sismo-volcánica.

En resumen, la actividad histórica disponible de los distintos volcanes de la Cordillera Central de Costa Rica, se ha caracterizado principalmente por eyecciones periódicas de piroclastos y frecuentes emisiones de gases y vapor de agua con escasos flujos de barro asociados, tales como los del Irazú en 1724 y 1963 y el del Barva en 1776 (sin confirmación). Sin embargo, es notable la presencia de una fuerte actividad fumarólica y solfatárica en los cráteres o cerca de ellos, los cuales se mantienen activos hasta nuestros días. De acuerdo a estos antecedentes, se trataría de actividades de tipo estromboliano-vulcaniano a través de un cráter central.

4. ACTIVIDAD FUTURA

La historia de las pasadas erupciones de los volcanes de la Cordillera Central (Cuadro 1) indica que al menos los volcanes Poás, Irazú y Turrialba tienen una alta probabilidad de entrar en erupción en el futuro. Un breve registro histórico muestra que:

1. Al menos cuatro erupciones moderadas (Índice de explosividad = 2) han ocurrido desde 1834 en el Volcán Poás, seis en el Irazú desde 1723 y una (1864-1866) en el Turrialba.
2. Casi todas las erupciones se han caracterizado por lluvia de cenizas con fuertes emisiones de gases y vapor de H₂O, acompañadas de explosiones, ruido subterráneo y actividad sísmica local moderada.
3. Dos de estas erupciones en el Volcán Irazú, han provocado corrientes de barro. Sólo la de 1963 provocó pérdidas de vida y a la propiedad.
4. En la mayoría de las erupciones antes mencionadas no se han registrado pérdidas humanas, aunque han ocasionado daños a la propiedad, agricultura y ganadería. La mayor parte de las erupciones fuertes han perdurado aproximadamente dos años.

CUADRO 1

Sumario de la historia eruptiva de los volcanes de la Cordillera Central de Costa Rica
(Poás, Barva, Irazú y Turrialba), desde 1723 hasta 1986*

| Mayores episodios eruptivos | Productos eruptados | Efectos y localización de los productos eruptados |
|-----------------------------|---|---|
| Volcán Poás | | |
| 1834 | Cenizas y fragmentos de rocas | Explosión central moderada, alcanzó incluso Guanacaste. No se registran daños a personas o a la propiedad. |
| 1880 | Ceniza | Caída en San Pedro a 10 km. |
| Ene.-Jun. 1910 | Erupciones de cenizas y vapor | Erupciones piroclásticas alcanzan 8000 m de altura. El 25 de enero llovió ceniza en todo el Valle Central. Su volumen se estima en 800.000m ³ . Se registraron daños a la propiedad. |
| May. 1914-Abr. 1915 | Cenizas | Caída de ceniza en el Valle Central. Hubo erupciones freáticas. |
| 9 Set. 1952 | Columnas de vapor blanco en forma de hongo | Temblores con duración de 12 seg. e intensidad de 5 en la Escala Mercalli. En Grecia de Alajuela se sintió fuerte ruido subterráneo antes de la erupción. |
| May. 1953 | Lluvia de ceniza, escorias | La más violenta erupción registrada. Fenómenos luminosos visibles en todo el Valle Central. Desaparece totalmente la laguna cratérica. Ruido subterráneo, explosiones y movimientos sísmicos. Lluvia finísima de ceniza se precipitó sobre Vara Blanca y San Miguel de Sarapiquí, llegando hasta las llanuras de San Carlos y Santa Clara (4 de junio de 1953). |
| 1953 | Continúa la actividad piroclástica. Se forma un cono de piroclastos en el lugar anteriormente ocupado por la laguna (domo lávico) | En enero la erupción ocasiona grandes daños en los cafetales de San Miguel y San Roque de Grecia. |
| Abril 1955 | Ceniza | Débil emisión. |

PANIAGUA y SOTO: Reconocimiento Riesgos Volcánicos...

| Mayores episodios eruptivos | Productos eruptados | Efectos y localización de los productos eruptados |
|-----------------------------|---|--|
| 3 Julio 1961 | Ceniza | Bastante fuerte. |
| 25 Dic. 1964 | Ceniza | Observada desde San José. |
| Setiembre 1978 | Ceniza | Erupción oblicua hacia el NE, formando estalactitas de azufre. |
| Mar.-Abr.-May. 1981 | Erupciones moderadas y fuertes de vapor | Hay incremento de la actividad fumarólica, acompañada por microtemblores. En julio la temperatura de las fumarolas se elevó hasta 980°C; pH de la laguna 1,2. En diciembre alcanzó 1020°C. No se reportan daños de ninguna naturaleza. Actividad fumarólica continúa hasta el presente (1986). |
| Volcán Barva | | |
| 1776 | Corriente de lodo | Bajó al Este del volcán por el Río Itiqués de Alajuela. Según las crónicas esta corriente se originó probablemente a consecuencia del lanzamiento hacia el Norte de una leve erupción de ceniza y barro hacia la laguna (no está confirmado). |
| Volcán Irazú | | |
| 16 Feb. 1723 | Lluvia de piroclastos | Acompañado de fuerte actividad sísmica. Las cenizas llegaron hasta Curridabat y Barva. |
| 1724 | Corriente de barro | Río Reventado, a la altura de Taras de Cartago. No se registran pérdidas humanas. |
| 1917-1918 | Erupciones piroclásticas | Las cenizas llegaron hasta Curridabat. En diciembre, lluvias de ceniza que llega hasta Tres Ríos. En las faldas del Oeste del volcán los cultivos de papa y ganadería se ven afectados. |
| 1919-1924 | Erupciones piroclásticas | La ceniza sigue precipitando en el Valle Central. |

CIENCIA Y TECNOLOGIA

| Mayores episodios eruptivos | Productos erupcionados | Efectos y localización de los productos erupcionados |
|-----------------------------|--|---|
| 1933 | Lluvia de cenizas | Se sintieron sismos relacionados con esta erupción. Los techos y plantas se cubrieron de cenizas, llegó a causar trastornos y molestias oculares y respiratorias en los habitantes de Cartago y San José. Entre el 16 y 22 de junio, se estima que se precipitó 1.300.000 m ³ de cenizas. |
| 1939-1940 | Gran erupción de cenizas | Durante estos meses y principios de 1940 la ceniza cubre grandes extensiones de pastizales, el ganado muere y los cultivos de maíz y papa cercanos al área se pierden. |
| 1961 | Fuertes emisiones de vapor y gases | En agosto estas emisiones son visibles desde San José y Cartago. Esta actividad fumarólica perduró hasta el 13 de marzo de 1963 en que se produjo la gran erupción. |
| 1963-1965 | Erupción explosiva de cenizas y fragmentos incandescentes (bombas y bloques) | Erupción de gran magnitud el 13 de marzo de 1963 a la 1:55 p.m. Se oyeron explosiones muy seguidas con lanzamiento de bloques hasta 1 km de distancia del cráter, destruyendo Playa Hermosa. La zona más afectada fue el SW del Volcán, algunas lecherías quedaron semidestruidas y los caminos intransitables. En algunos lugares la ceniza alcanzó un espesor de 10 a 15 cm. La ceniza cubrió todo el Valle Central. La capa de ceniza en las cercanías del cráter era de 1,5 m o más. Se registraron daños cuantiosos en el ganado y cultivos. |
| 9 Dic. 1963 | Corriente de barro | Río Reventado a la altura de Taras de Cartago. Daños en la propiedad. Destrucción de 300 casas con un saldo de 20 muertos. Esta corriente y la de 1724 son las únicas relacionadas con la erupción del Volcán Irazú en tiempo histórico. En enero de 1964 la fina ceniza es llevada por |

PANIAGUA y SOTO: Reconocimiento Riesgos Volcánicos.

| Mayores episodios eruptivos | Productos eruptados | Efectos y localización de los productos eruptados |
|-----------------------------|---------------------|---|
| Volcán Turrialba | Cenizas y gases | <p>el viento predominante hacia Playa Tamarindo a 175 km al NW del cráter. En febrero de 1964 la ceniza es llevada a San Isidro de El General y en marzo y abril a San José con frecuencia. En marzo de 1965 cesa la actividad. Total de ceniza precipitada en San José desde marzo de 1963 a marzo de 1965: 26,395 kg/m² (Servicio Meteorológico Nacional).</p> <p>Extensión cubierta por la ceniza en esos dos años: 8000 km².</p> <p>a) Zona intensamente afectada: San José, Coronado, Montes de Oca, Curridabat, Desamparados y Goicoechea (100 km²).</p> <p>b) Zona medianamente afectada (300 km²), Cartago, Tres Ríos, Alajuelita, Tibás, Escazú.</p> <p>c) Zona levemente afectada (2600 km²), Península de Nicoya.</p> |
| 1864-1866 | Cenizas y gases | Lluvia leve de ceniza se precipitó sobre el Valle Central hasta Atenas y Grecia, e incluso Puntarenas. |

* Recopilado principalmente de ICE (1965), Murata et al. (1966), Krushensky & Escalante (1967), Coen (1964), Acevedo (1976), Barquero (1977), Alvarado (1984), Paniagua (1985), Casertano et al. (1983).

Depósitos de piroclastos, los flujos de lava y los flujos de barro de edad prehistórica alrededor de los volcanes, prueban que las erupciones en tiempos históricos han sido más bien restringidas en cuanto al área afectada y solamente los productos piroclásticos (lluvia de cenizas) se extendieron a algunas zonas alejadas del macizo, como por ejemplo la erupción del Poás en 1953, del Irazú en 1918 y 1963. En efecto, esos antiguos depósitos muestran que las erupciones y sus fenómenos asociados ocurrieron repetidamente durante un período de algunas pocas decenas de miles de años. Varias de las erupciones prehistóricas produjeron flujos de barro y caída de cenizas más volumino-

sas que aquellas de tiempos históricos. Lo mismo puede decirse de las coladas de lavas prehistóricas, las cuales fueron emitidas frecuentemente en el pasado; sin embargo, en tiempos históricos no han ocurrido emisiones lávicas debido al corto período de registro que es sólo de aproximadamente 260 años. Tampoco hay hasta el momento dataciones radiométricas de lavas holocénicas. La colada de Cervantes (14000 años) puede ayudarnos a fijar mejor un evento y extrapolarlo hacia el futuro, y en consecuencia una eventual manifestación efusiva debería considerarse, constituyendo un alto riesgo que debe preverse, ya que las lavas prehistóricas más jóvenes han sido emitidas de cráteres

CUADRO 2

Principales tipos de erupciones volcánicas*

| Tipo de erupción | Rasgos físicos del magma | Características |
|------------------------|---|---|
| Hawaiiano (Islándico) | Fluido: temperaturas elevadas (1000-1200°C) | Efusiva: la lava emerge desde cráteres y/o fisuras; eyecciones débiles de bombas y escorias ("spatter"). |
| Estromboliano | Moderadamente fluido; temperatura intermedia (900-1100°C) | Explosiva, comúnmente efusiva; explosiones rítmicas débiles a violentas, con eyección de piroclastos (bombas, bloques, lapillis y cenizas). Típica de conos piroclásticos y flujos asociados. |
| Vulcaniana (Vesubiana) | Viscoso; temperaturas intermedias a bajas (800-1000°C); rico en gases | Explosiva, ocasionalmente efusiva; explosiones violentas con eyección de abundantes piroclastos; hongos negros de cenizas de hasta 15000 m de altura. |
| Peleana | Viscoso; temperaturas bajas (700-900°C); rico en gases. | Explosiva con generación de avalanchas incandescentes ("nuées-ardents") y hongos de piroclastos de hasta 10000 m de altura. |
| Pliniana | Viscoso; extremadamente rico en gases | Explosión paroxísmica con eyección de grandes volúmenes de piroclastos y avalanchas incandescentes. Los hongos de cenizas alcanzan hasta 40000 m de altura. |
| Freatomagmática | Viscoso debido al enfriamiento rápido provocado por el contacto entre el magma y las aguas subterráneas; rico en vapor de agua. | Explosiones gaseosas violentas y rítmicas, con expulsión de material piroclástico. Hongos de cenizas de hasta 8000 m de altura. |

* Tomado de Lahsen et al. 1985.

o fracturas, no en la parte cuspidal de cada volcán sino en las partes medias y superiores de su falda sur, en donde actualmente se ubican poblados de gran importancia en el Valle Central (ver mapa).

En el futuro, lo más probable es que estos volcanes mantengan su comportamiento eruptivo explosivo y posiblemente efusivo dentro de los tipos estromboliano-vulcaniano (ver Cuadro 2). Sin

embargo, no se puede descartar totalmente la ocurrencia en el futuro de algún evento de una magnitud mayor, más violento y de tipo pliniano, a juzgar por los antecedentes geológicos prehistóricos de la zona. como lo reconoce Walker (1982), al señalar que los extensos flujos de lavas e ignimbritas en el Valle Central representan un largo periodo de un volcanismo más vigoroso (de hace posi-

blemente un millón de años) que ahora no se manifiesta, pero que no debe asumirse que ocurrió sólo en aquel tiempo, y considerar similares erupciones en el futuro como posibles, siendo esto un peligro potencial.

Un episodio eruptivo puede consistir de varios fenómenos asociados, de varios tipos y escalas de magnitud. Las futuras erupciones, especialmente las grandes, probablemente serán precedidas por un incremento en la actividad fumarólica y por un aumento en la frecuencia de pequeños temblores volcánicos de tipos A y B. Los episodios eruptivos futuros podrán comenzar con erupciones pequeñas de cenizas y/o incrementos en la emisión de gases y vapor de agua. No obstante, una erupción generalmente no sigue un patrón o ciclo predecible y entonces, el tipo y magnitud de un futuro evento no puede ser precisado aún después de que la erupción se hubiese iniciado.

5. RIESGO VOLCANICO

Las erupciones volcánicas eyectan materiales rocosos sólidos y fundidos que son emitidos hacia la atmósfera y luego caen en la superficie de la tierra (depósitos piroclásticos), y/o flujos directamente depositados en la superficie del suelo y que descienden por gravedad (flujos de lava, flujos piroclásticos y deslizamientos de rocas).

La severidad y la localización de los riesgos de una erupción volcánica dependen principalmente del carácter de la erupción, los tipos de materiales emitidos y su volumen.

Una erupción en alguno de los volcanes de la Cordillera Central podría resultar en depósitos de caída de piroclastos ("airfall") y uno o más tipos de depósitos de flujo: flujo piroclástico, flujo de lava y corriente de lodo (lahar). Estos son discutidos a continuación:

5.1. Caída de piroclastos

Son erupciones explosivas de partículas de rocas sólidas y/o fundidas de tamaño polvo, arena y bloques que son lanzados hacia la atmósfera y caen con proyección balística. Los fragmentos gruesos caen rápidamente en los flancos del volcán, pero las partículas relativamente pequeñas caen en forma lenta y pueden ser llevadas a grandes distancias por el viento. Las partículas que caen, forman progresivamente mantos que alcan-

zan extensiones de hasta varios cientos de kilómetros de distancia del volcán. Los efectos son en la mayor parte, más severos cerca del volcán y decrecen rápidamente en severidad con el incremento de la distancia.

Los depósitos de caída de cenizas pueden ser de suficiente espesor como para quemar o colapsar estructuras civiles cerca del volcán. La mayor parte del daño, sin embargo, proviene de los delgados depósitos de cenizas que pueden cubrir vastas áreas agrícolas lejos del volcán en erupción. Las partículas de tamaño polvo abrasivo y los gases que las acompañan, pueden causar dificultad en la respiración y oscurecimiento en las horas del día. Estos efectos pueden interrumpir la normal transportación y comunicación y crear pánico en la población. Partículas de polvo también cubren y afectan maquinaria y vegetación con una fina capa que puede llevar gases ácidos, especialmente compuestos de azufre y algunas veces cloro y flúor. Donde las partículas caen, el agua facilita el transporte temporal de ácidos y turbidez y pueden causar daño en el sistema de alimentación hidroeléctrica debido a una sobrecarga. En períodos eruptivos más largos, los resultados pueden incluir severos daños en las cosechas en áreas muy extensas. Pueden resultar también en la muerte de ganado por inanición o contaminación debido a que el pasto se cubre de cenizas.

En el área de estudio, se ha delimitado una zona de máximo riesgo (círculo rojo centrado en el cráter de cada volcán y cono piroclástico). Esta zona se considera crítica para la caída de piroclastos medianos y gruesos (de más de 30 cm). El radio de este círculo varía para cada aparato según su carácter explosivo y con base en datos de campo se incluye tamaño máximo de partícula y su espesor. Además, una zona de alto riesgo (círculo naranja) que es crítica en la caída de piroclastos de más de 6,4 cm. Asimismo se considera la zona de origen de avalancha de piroclastos y posibles flujos de lodo grandes y pequeños.

Tomando como base la dirección de vientos predominantes (ver sección 6) en la Cordillera Central y el cálculo de caída de cenizas realizado por Coen (1964), se delimitaron zonas de mayores efectos debido a lluvia de cenizas (área verde: riesgo moderado). Son elipses cuyo arco de apertura toma en cuenta los vientos de alturas hasta 17 km durante todo el año y con un radio de 30 km. Su bisectriz se orienta S 75° W. En las zonas de menor riesgo la caída de piroclastos es mínima.

5.2. Depósitos de Flujo

Los principales depósitos de flujo producidos por los volcanes son flujos de lava, flujos piroclásticos incandescentes y corrientes de barro (lahares). Con una frecuencia menor se producen deslizamientos de rocas.

5.2.1. Flujos de lavas

Se emiten a través de los cráteres o fracturas y fluyen por los flancos del volcán. Algunos de estos flujos se mueven lentamente (metros/hora), pero otros son más rápidos (kilómetros/hora). La composición química de las lavas de la Cordillera Central muestra un promedio de 55% de SiO₂ (Kussmaul et al., 1982), lo que incide directamente en su grado de viscosidad, movilidad, morfología y rasgos superficiales. Es debido entonces a su viscosidad intermedia, que las lavas de los volcanes en estudio fluirán con relativa lentitud. Tales flujos en nuestro caso, no son tan severos para las personas, ya que tienen una extensión local, baja velocidad y pueden ser desviados o bien evacuarse la zona de peligro. Sin embargo, las propiedades inmuebles generalmente no pueden ser protegidas de la destrucción.

Las zonas de máximo y alto riesgo son asimismo consideradas como las afectadas por las coladas que puedan ser emitidas por el cráter principal. No obstante, debe contemplarse que las lavas más jóvenes de los volcanes Barva, Irazú y Turrialba (los Angeles, Cervantes y Aquiares, nominadas respectivamente) han sido eruptadas desde conos en los flancos de los volcanes, dentro de la zona de alto riesgo y cubriendo un área más alejada que ésta, según se muestra en el mapa.

5.2.2. Flujos piroclásticos

Son el resultado de una erupción explosiva de fragmentos de roca sólida y/o fundida acompañados de gas y provocado por el colapso de domos, de explosiones laterales o por colapso de un hongo de piroclastos, que pueden viajar rápidamente (a menudo más de 100 km/h) descendiendo por los flancos del volcán. Los flujos piroclásticos pueden alcanzar temperaturas de hasta 800°C. Comúnmente se extienden a menos de 10 kilómetros desde el centro de emisión, pero pueden viajar a mucha más distancia en erupciones extremadamente violentas. Los flujos piroclásticos generalmente

descienden por o se encausan en los valles, pero pueden ser suficientemente veloces como para remontar y pasar sobre colinas y cerros a su paso.

Debido a su elevada temperatura, pueden quemar o incinerar la materia orgánica que encuentren a su paso y son muy peligrosos porque pueden producirse sin previo aviso.

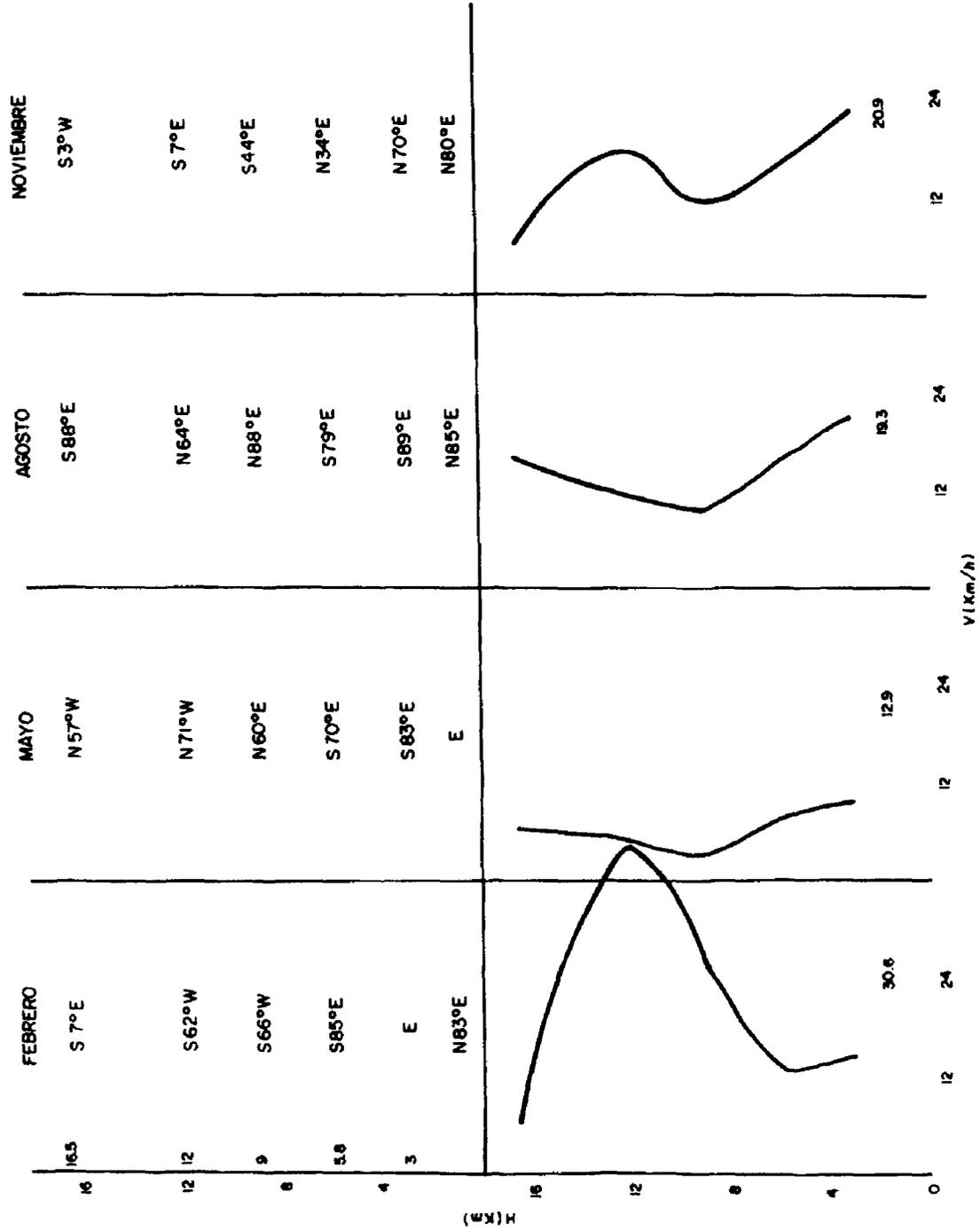
Con base en la composición química de los productos y los tipos de erupciones de nuestros volcanes, se consideran poco probables las avalanchas de piroclastos. Estas zonas quedan contempladas dentro de las llamadas máximo y alto riesgo, y en especial los cauces que allí nacen.

5.2.3. Corrientes de barro

Consisten en flujos compuestos de fragmentos de rocas, ceniza y sedimentos que contienen suficiente agua para fluir rápidamente pendiente abajo. Estas "corrientes de barro" volcánicas pueden ser producidas por fuertes lluvias, desbordamiento de lagos volcánicos cuspidales o fusión rápida de hielo y nieve. Tales flujos pueden ocurrir repentinamente durante erupciones, viajando a velocidades de 30 a 100 km/h y pueden alcanzar temporalmente espesores de más de 100 m mientras fluyen hacia abajo dentro de cauces estrechos. Los depósitos que se presentan después del paso de una corriente de barro son generalmente menores de unos 10 m de espesor. Estos depósitos están en la mayor parte, confinados a los sectores más bajos de los valles en las vecindades del volcán, sin embargo ellos pueden alcanzar distancias de varios cientos de kilómetros, afectando todo aquello que se encuentre a su paso.

Debido al desarrollo de sembradíos, ganadería y urbanismo en el Valle Central, éste se presenta más propenso a daños causados por erupciones volcánicas, en particular, a la caída de piroclastos y corrientes de barro. Estas últimas se abren en forma de abanicos de deyección en sectores cercanos a importantes centros de población (ver mapa). Hacia la vertiente Noreste, el régimen de lluvias favorece la formación de corrientes de barro, y la propagación de piroclastos es menor. Es importante mencionar que si bien la población en esa región es reducida comparada con el Valle Central, los caseríos se ubican cerca de los cauces, así como los potreros y graneros. Todas estas zonas consideradas como de alto riesgo por flujos de barro se han señalado con color amarillo, y las de riesgo moderado, tienen además un rayado oblicuo en el mapa.

FIGURA 2: Direcciones y velocidades de los vientos altos en Costa Rica (con base en Grandoso et al, 1981)



5.3. Gases volcánicos

Otros riesgos de la Cordillera Central son los gases volcánicos, que deberán de considerarse sobre todo en las áreas más cercanas a los cráteres de los volcanes, ya que estos gases por su constitución química (CO_2 , CO , SO_2 , H_2S , HCl , HF) pueden ser dañinos para la vida animal y vegetal y en algunos casos afectar el sistema respiratorio de las personas y causar hasta la muerte por asfixia. No obstante, en otras partes del mundo los gases ácidos han podido afectar las hojas y la caída de frutas hasta distancias de más de 30 km.

Estudios sobre la fuerte actividad fumarólica que causa la precipitación ácida cerca de los volcanes Poás, Arenal y Turrialba, han sido preliminarmente desarrollados por Alfaro et al., (1986), encontrando gran contaminación de esta clase de lluvia sobre todo en el Volcán Poás y en el Cerro Pelón al NW de este último, con niveles promedio de pH en las aguas de 2,98 (máximo de 3,77 y un mínimo de 2,40) durante la observación de noviembre de 1984 a marzo de 1986.

6. RELACIONES CLIMA-RIESGO VOLCANICO

La lluvia y el viento son factores climáticos, los cuales en conjunto con erupciones volcánicas, pueden ocasionar daños de gran envergadura a la población, agricultura, obras civiles y la economía en general.

Los vientos orientan los hongos de gases y piroclastos más finos (lapilli y ceniza), dispersándolos en grandes extensiones. Las erupciones piroclásticas causan represamientos en valles y laderas inestables, que por efecto de la precipitación, podrían provocar lahares que bajen desde la Cordillera hacia la costa atlántica o el Valle Central.

En Costa Rica, los vientos de alturas superiores a los 3000 m soplan predominantemente desde el Este durante todo el año. Entre los 3 y 7 km de altura, todo el año el viento sopla hacia el Oeste, con ligeras variaciones. Lo mismo sucede para alturas superiores a 16,5 km. Entre noviembre y mayo, los vientos entre 7 y 16,5 km soplan desde el Oeste, Suroeste y a veces del Sur (Grandoso et al., 1981). Los datos de dirección y velocidad de estos vientos se consignan en la figura 2. Estos coinciden enteramente con los medidos en el Volcán Irazú (a 3400 m s.n.m.), cuyas direcciones predominan-

tes son —de mayor a menor— E, NE y SE, con $V_{\text{máx}} = 19,1$ km/h en julio.

Con base en estos datos se deduce que los productos de actividades exhalativa, freática o freatomagmática moderada y estromboliana moderada, con hongos menores a 4 km de altura, serán arrastrados por el viento hacia el Oeste en cualquier época del año. (Sirvan de ejemplo las erupciones del Irazú en 1963-65 y del Poás en 1910 y 1953). Debido a la mayoría de los depósitos piroclásticos observados y la actividad histórica reportada coincide con estos tipos eruptivos, cabe considerar un arrastre predominante en esta dirección. Las elipses verdes de riesgo por caída de piroclastos siguen este patrón. No obstante, erupciones estrombolianas fuertes, freatomagmáticas fuertes, vulcanianas o plinianas, generarían hongos piroclásticos de mayor altura a los 4 km. Ante esta situación, en los meses entre noviembre y mayo, se presentaría una caída compleja de piroclastos arrastrados por el viento. Al iniciar su caída son empujados hacia el Oeste, y al atravesar la faja entre 16,5 km — 7 km serían devueltos hacia el Este, para nuevamente ser empujados hacia el Oeste. Según observaciones preliminares de campo, la dirección resultante del arrastre sería hacia el Oeste (depósitos pumíticos en el Barva y el Turrialba, por ejemplo). Esto reconfirma el criterio de posición de las elipses verdes. Asimismo, los gases volcánicos son empujados en la misma dirección, originando lluvia ácida y vegetación quemada hacia el Oeste del centro de emisión; como es el caso del Poás.

Los datos de lluvias se obtuvieron para 30 estaciones meteorológicas en la Cordillera, el Valle Central y Guápiles (Cuadro 3). Se trazaron isoyetas que muestran altas lluvias en los volcanes Poás y Barva, y moderadas en el Irazú y Turrialba (fig. 3). Hacia la vertiente atlántica las lluvias son mayores, con una alta pluviosidad orográfica en el Paso de la Palma sobre todo hacia el macizo del Barva. Hay lluvias mínimas de diciembre a abril y máximas de mayo a noviembre, coincidentes, en forma obvia con las estaciones seca y lluviosa. Marzo y octubre son los meses más seco y lluvioso respectivamente.

Durante los meses lluviosos (mayo-noviembre), la expansión de la ceniza es menor. Sin embargo, el riesgo de lahares en los valles es alto, puesto que los piroclastos ocasionan represamientos, impermeabilización del suelo y depósitos fácilmente removibles. Todo esto aumenta la esco-

CUADRO 3

Estaciones Meteorológicas y datos de precipitación
(Datos del Instituto Meteorológico Nacional)

| Nombre | Coordenadas | | Elevación (m) | Precipitación Promedio (mm) | Años |
|---------------------|-------------|---------|------------------|--------------------------------|------------------|
| | Lat. N | Long. W | | | |
| Vara Blanca | 10°10' | 84°09' | 1804 | 3771 | 70-83 |
| Isla Bonita | 10°14' | 84°10' | 1120 | 4583 | 81-83 |
| Sanatorio Durán | 9°56' | 83°39' | 2337 | 1499 | 43-82 |
| Los Diamantes | 10°13' | 83°46' | 249 | 4530 | 60-84 |
| Pacayas | 9°55' | 83°49' | 1735 | 2280 | 60-74 y 79-84 |
| Retes 3 | 9°58' | 83°55' | 3100 | 2185 | 76-83 |
| Laguna | 9°58' | 83°52' | 3140 | 1941 | 70-83 |
| Chicuá | 9°58' | 83°52' | 3090 | 1936 | 72-82 |
| Casa Retes | 9°58' | 83°54' | 2745 | 2000 | 77-83 |
| Cabeza de Vaca | 9°58' | 83°53' | 3010 | 2254 | 72-83 |
| San Antonio | 9°58' | 83°43' | 1190 | 3435 | 68-83 |
| Coliblanco | 9°57' | 83°48' | 2200 | 2884 | 70-82 |
| Volcán Irazú | 9°59' | 83°51' | 3400 | 1879 | 64-84 |
| Coop. Tierra Blanca | 9°55' | 83°54' | 2100 | 1420 | 73-84 |
| Fabio Baudrit | 10°01' | 84°16' | 840 | - | - |
| Laguna Fraijanes | 10°05' | 84°11' | 1500 | 3222 | 77-83 |
| Sacramento | 10°06' | 84°07' | 2260 | 3208 | 70-84 |
| Monte de la Cruz | 10°05' | 84°05' | 1700 | 3061 | 68-84 |
| Los Cartagos | 10°09' | 84°10' | 2050 | 3839 | 68-84 |
| Volcán Poás | 10°11' | 84°14' | 2564 | 3720 | 72-79 |
| Cascajal | 10°00' | 83°58' | 1728 | 2657 | 72-84 |
| La Palma | 10°03' | 84°00' | 1463 | 4033 | 72-84 |
| Guayabillos | 9°58' | 83°56' | 2060 | 2612 | 74-84 |
| Zurquí | 10°02' | 84°01' | 1478 | 2911 | 72-84 |
| Platanares | 10°01' | 83°59' | 1471 | 2892 | 72-74,79 |
| Las Nubes | 9°59' | 83°58' | 1845 | 2593 | 72-84 |
| El Gallito | 10°06' | 84°05' | 2120 | 5016 | 74-84 |
| Corralillo | 9°57' | 83°56' | 2072 | 2208 | 72-84 |
| El Mesón | 10°05' | 84°16' | 1120 | 2477 | 77-81 |
| Sabanilla | 9°57' | 84°03' | 1200 | 1901 | 82-85 |

rrerentía superficial que lleva gran cantidad de detrito. En momentos de gran precipitación, como los temporales, se aúnan las condiciones óptimas para provocar lahares, tal como sucedió en diciembre de 1963 en el río Reventado de Cartago. Debe considerarse también que los hongos piroclásticos actúan como catalizadores de la lluvia y es común que uno conlleve al otro, incidiendo en una menor dispersión de los piroclastos y aumentando el riesgo de lahares durante la época lluviosa.

De lo anterior se concluye que los meses secos son de mayor trascendencia respecto al riesgo de caída de piroclastos en el Valle Central ante una eventual erupción volcánica, mientras que los meses de lluvias se tornan críticos para la producción de flujos laháricos hacia los flancos de la Cordillera Central. Aunque la vertiente noreste muestra rasgos morfológicos más accidentados y que evidencia lahares prehistóricos, los valles de la vertiente suroeste de la Cordillera necesitan una observación más cuidadosa, debido a las notorias diferencias en densidad de población, áreas de cultivos y zonas ganaderas.

7. MITIGACION

Las erupciones volcánicas no pueden evitarse. Las desviaciones u otro control de corrientes de barro, flujos de lava y otros productos de erupciones, son de un costo elevado y su efecto es limitado. En general, la reducción de pérdidas de vidas y propiedades requiere que los productos de las erupciones sean evaluados y que planes de prevención sean hechos para minimizar sus efectos (Cuadro 4). Las medidas para reducir pérdidas humanas y de propiedades pueden ser tomadas antes, durante y después de las erupciones. Las pérdidas de hogares, edificios, maquinaria y otros deberán ser consideradas en una eventual actividad volcánica, tomando en cuenta que dichas pérdidas dependerán de su localización y de la severidad de la erupción.

Algunas de estas acciones, para que sean efectivas, deberían ser realizadas antes de que una erupción ocurra. Las áreas de alto potencial de riesgo durante una erupción pueden ser identificadas previamente en un mapa, junto con el tipo de evento que puede ocurrir. Los planes de prevención y emergencia pueden ser confeccionados para considerar varios tipos de eventos eruptivos y diferentes grados de severidad, con el fin de po-

der efectuar evacuaciones u otras medidas. Dichos planes a muy largo plazo podrían desalentar inversiones de alto valor así como ocupación permanente en áreas de mayor peligro.

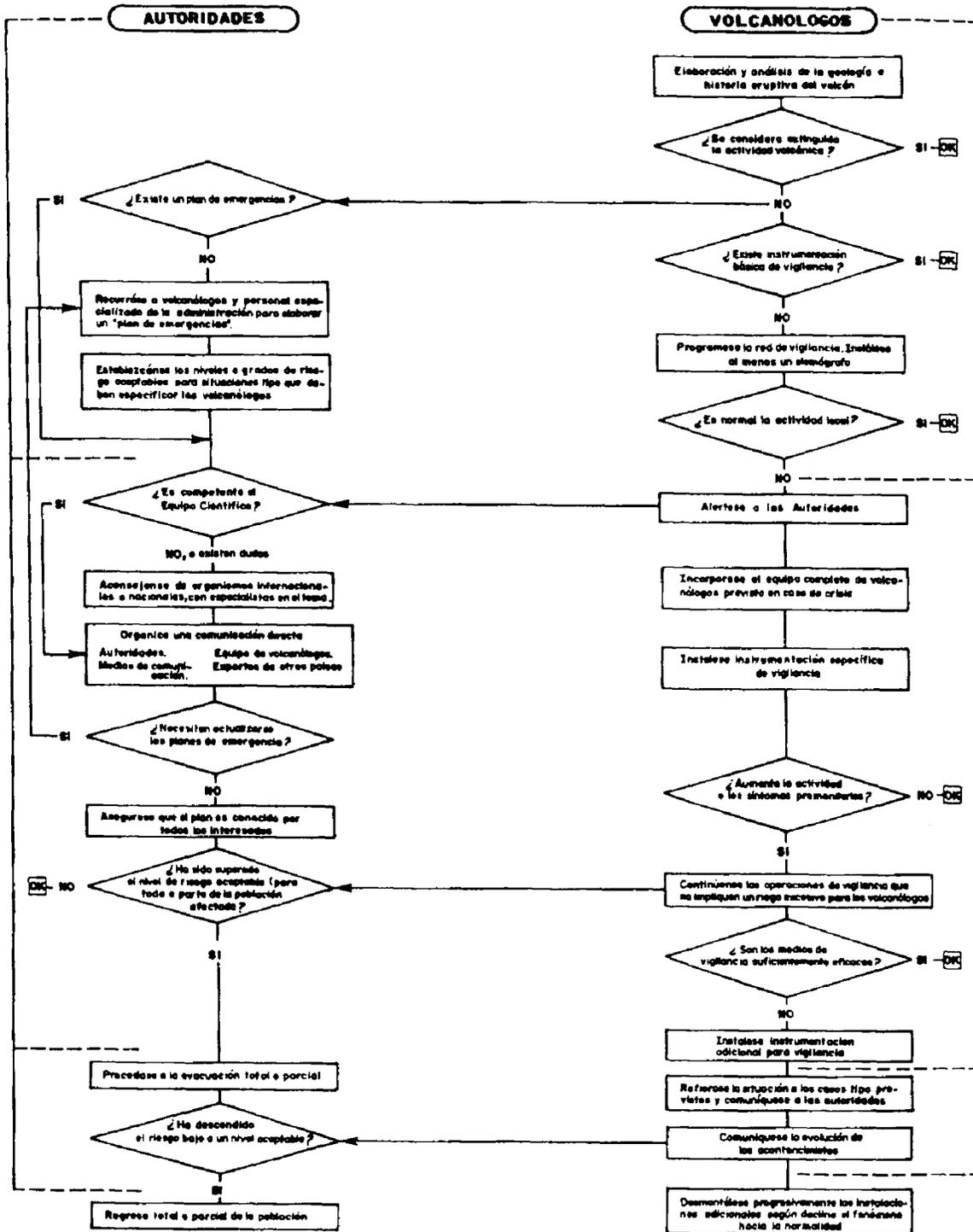
Al mencionar una erupción como inminente, estamos considerando una serie de evidencias geológicas y antecedentes acerca de la conducta eruptiva histórica y prehistórica de un volcán, lo que es importante para conocer una probable o posible reactivación, aunque no necesariamente se trate de una predicción de erupción, la cual está actualmente fuera de nuestros alcances. Además cabe destacar el hecho que los volcanes son únicos y que los datos de uno no siempre se pueden usar para el pronóstico de otro. Sin embargo, existen por lo general, algunas señales o manifestaciones que pueden ser útiles, con las limitaciones y las consideraciones que el caso amerita, las cuales han precedido a algunas erupciones volcánicas, siendo ellas las siguientes:

- Actividad sísmica, cuya magnitud y frecuencia aumenta con la proximidad de la erupción. Al respecto Decker (1974) encontró en un estudio estadístico que el 58% de las veces, la actividad sísmica cerca de los volcanes se incrementó notablemente antes de la erupción; que el 38% hubo incremento notable sin que ocurriera erupción y que un 4% produjo erupción sin un aumento considerable en la sismicidad,
- Ruidos subterráneos,
- Aumento local del flujo calórico,
- Aumento de la temperatura e intensidad de las fumarolas y/o apareamiento de nuevas emisiones,
- Cambios en los componentes sulfurosos y halógenos de las fumarolas,
- Deformación del terreno próximo al sitio de la futura erupción por ascenso del magma,
- Resplandor rojizo en algún cráter,
- Emisión de cenizas ("humo negro").

La vigilancia con instrumentos (sismógrafos, inclinómetros, pirómetros) antes de una erupción proporcionan las mejores evidencias cuando un volcán está próximo a erupcionar y puede ayudar

"El documento original no contiene las páginas 67 ni 68."

CUADRO N.º 4
Organigrama de actuaciones y responsabilidades en un programa de
protección civil en caso de erupciones volcánicas (Tomado de Tomblin, 1980)



a determinar cuán pronto una erupción puede ocurrir. Tal vigilancia, acompañada con observaciones visuales podrá suministrar la advertencia correspondiente en el sentido de tomar acciones que puedan disminuir la pérdida de vidas y propiedades. Históricamente las observaciones instrumentales de pequeños temblores e inclinación de los flancos de los volcanes han sido el mejor método para evaluar las condiciones de actividad de un volcán.

Podría además desarrollarse un sistema para registrar el paso de las corrientes de barro en los cauces elevados del volcán, el cual ponga en funcionamiento dispositivos de advertencia en las comunidades ubicadas en áreas próximas a estas corrientes.

Cuando una erupción parece ser inminente, los planeamientos y comunicaciones son extremadamente importantes y los oficiales del Gobierno local, de negocios y otros grupos, así como todos los ciudadanos deben ser informados de tal situación. Deberán incluirse instrucciones de información relativa a tipos de eventos que pueden ocurrir, su probable magnitud, los efectos esperados de aquellos eventos, y cuáles podrían ser las acciones de los habitantes en el caso de que la erupción ocurra.

Algunas acciones encaminadas a reducir pérdidas en zonas de riesgo severo cuando una erupción es inminente son:

1. Traslado de ganado y enseres a un lugar seguro. Para que esto sea eficaz, deberá realizarse durante las primeras manifestaciones volcánicas. Una fuerte caída de cenizas dificultaría probablemente tales traslados ya que reduce la visibilidad, dificulta la respiración y se afecta además a la maquinaria.
2. Instar a la población que vive en áreas situadas en zonas de alto peligro a evacuar temporalmente la zona, aunque ellos sigan trabajando en el lugar.
3. Evaluar los probables efectos de las cenizas y flujos de barro en los sistemas de aguas para asegurar el abastecimiento humano y animal.
4. Asegurar que los caminos de la evacuación planificada sean los más seguros y permanezcan libres.

Ha de asegurarse del conocimiento individual de lo que debe hacerse cuando ocurra una erupción y cómo responder a los eventos eruptivos severos y no severos. La calma, disciplina y la información son las mejores armas para enfrentarse a estos fenómenos.

Se debe prevenir a las personas sobre el pánico por la oscuridad que puede ocurrir durante la caída o lluvia de cenizas.

Se deberán ensayar operaciones de sistemas de prevención, previsión y evaluación si es posible, a la vez que se instruirá a la población para almacenar alimentos y agua.

Durante la lluvia de cenizas, la población puede reducir la severidad de los efectos tomando las siguientes acciones:

- a. Permaneciendo dentro de sus casas, más que huyendo. Protegiéndose en un edificio si su localización está fuera de las áreas que pueden ser afectadas por los flujos de lodo.
- b. Usando paños húmedos sobre la nariz y boca para reducir el ataque de la ceniza.
- c. Utilizando agua filtrada si el aprovisionamiento de ésta no está disponible.
- d. Mover con pala la ceniza de los techos de las estructuras débiles. El desplome de techos con pendientes menores de 35° por el peso del manto de piroclastos es muy probable. A manera de ilustración, un manto de cenizas andesíticas con un espesor de 20 cm, puede significar una carga adicional de 200 kg/m² (Lahsen et al., 1985). Cuando están secas, las cenizas pueden ser suficientemente livianas para que los tejados las soporten, pero la lluvia las empapa y les aumenta rápidamente su peso.
- e. Agitar la vegetación para reducir el rompimiento o desgajamiento de tallos debido al peso acumulado de la ceniza.

Aunque se prevee que en una zona de alto riesgo por corrientes de barro, la evacuación de la población ha de realizarse al iniciarse la erupción, existen situaciones particulares en que no necesariamente la comunidad acata el aviso de las autoridades. Esto depende, entre otras cosas, del sistema de gobierno, creencias y cultura. Si éste es el caso y si una eventual erupción provoca flu-

jos de barro, las personas deberán mobilizarse lo más pronto posible fuera de las áreas de mayor peligrosidad, hacia lugares suficientemente altos (colinas, terrazas) para estar más seguros. Si una corriente de barro es vista desarrollándose, sólo unos pocos minutos tendrán disponibles para ponerse a salvo. Sirva de ejemplo lo acontecido en el Río Reventado de Cartago en 1963 y en el Nevado del Ruiz en Colombia en 1985.

8. CONCLUSIONES

En tiempos históricos sólo han ocurrido cuatro ciclos eruptivos moderados en el Volcán Poás, seis en el Irazú y una en el Turrialba. Estos se han caracterizado por lluvia de cenizas, bloques y bombas, emisión de gases y vapor y leve actividad sísmo-volcánica.

La actividad prehistórica se ha caracterizado además por flujos de lavas que han descendido por los diversos flancos de los volcanes, y potentes depósitos de corrientes de lodo (lahares), así como posibles deslizamientos secos.

Los eventuales fenómenos volcánicos que afectarían al Valle Central en orden de importancia serían: caída de piroclastos, lahares, gases volcánicos, coladas de lava y flujos piroclásticos.

La distribución de los piroclastos de caída depende principalmente de los vientos de altura mayor que 3 km, los cuales soplan en Costa Rica hacia el oeste, y por tanto hacen susceptible al Valle Central de sufrir mayores daños por este fenómeno. Asimismo la lluvia interviene al facilitar la formación de corrientes de barro en las cabeceras y cauces superiores de los ríos que bajan de la Cordillera Central hacia la vertiente caribe y el Valle Central.

Las medidas para tratar de reducir las pérdidas humanas y económicas deben tomarse antes, durante y luego de los eventos eruptivos. Las pérdidas de infraestructura y maquinaria deben considerarse en una eventual erupción, tomando en cuenta que dichas pérdidas dependerán de su ubicación respecto al foco eruptivo, y de la magnitud de tal erupción.

9. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Hugo Moreno Roa, del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile por su acompañamiento en las giras a

terreno y sus valiosos consejos e indicaciones, así como por la revisión crítica del manuscrito.

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el aporte financiero a este trabajo bajo el proyecto de investigación No. 113-86-018.

REFERENCIAS

- ACEVEDO, M., 1976: Notas cronológicas de la actividad del Volcán Poás. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica (Tesis de Licenciatura, inédita) 100 pp.
- ALFARO, M.R., FERNANDEZ, E., BARQUERO, J., RODRIGUEZ, J. & RODRIGO, M., 1986: Lluvia ácida de origen volcánico. Bol. de Volc. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. No. 17 (enero-mayo): 15-22.
- ALVARADO, G., 1984: Aspectos Petrologicos-Geológicos de los Volcanes y Unidades Lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica. xii + 183. Esc. Centroamericana de Geología, Univ. de Costa Rica; San José, Costa Rica (Tesis de Licenciatura, inédita).
- BARQUERO, J., 1977: El Volcán Irazú y su actividad. 63 pp. Esc. de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica (Tesis de Licenciatura, inédita).
- BOLETIN DE VULCANOLOGIA (1978-86): Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Esc. de Ciencias Geográficas UNA, Heredia, Nos. 2-16.
- BOLETIN SISMOLOGICO MENSUAL, 1980: Esc. Centroamericana de Geología, UCR, abril de 1980.
- CASERTANO, L.; CHAVES, R., BORGIA, A. & CIGOLINI, C. 1980: La crisis sísmica de abril-mayo 1980 en el área de Ciudad Quesada, Costa Rica. Revista Geofísica Inst. Panamericano de Geografía e Historia, México, 10-11: 99-103.
- CASERTANO, L., BORGIA, A. & CIGOLINI, C., 1983: El Volcán Poás, Costa Rica: cronología y características de la actividad. Geof. Int., 22, 3: 215-236.

- CASERTANO, L., BORGIA, A., CIGOLINI, C., MORALES, L.D., MONTERO, W., GOMEZ, R. & FERNANDEZ, J.F., 1985: Investigaciones geofísicas y características geoquímicas de las aguas hidrotermales: Volcán Poás, Costa Rica, *Geof. Int.* 24, 2:315-332.
- COEN, E., 1984: Introducción al Estudio de las Erupciones del Volcán Irazú. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica, Ciencias Naturales 4; 78 pp.
- DECKER, R. W., 1974: State-of-the-art in volcano forecasting. *Bull. Volcanol.*, 33:372-392.
- DONDOLI, C., 1965: Volcanismo Reciente en Costa Rica. *Inf. Téc. y Nat. Geol.*, Dirección Min. y Petról., San José, Costa Rica, año 4, No. 15:13-16.
- GRANDOSO, H., V. de MONTERO, A. & CASTRO, V., 1981: Características de la atmósfera libre sobre Costa Rica y sus relaciones con la precipitación. Informe Semestral del Inst. Geog. Nac. enero-junio 1981: 11-52.
- ICE, 1965: Informe sobre el Problema del Río Reventado. Instituto Costarricense de Electricidad, 312 pp.
- KRUSHENSKY, R. D. & ESCALANTE, G., 1987: Activity of Irazú and Poás Volcanoes, Costa Rica, November 1984-July 1985- *Bull. Volcanol.*, 31: 75-84.
- KUSMAUL, S., PANIAGUA, S. & GAINZA, J., 1982: Recopilación, clasificación e interpretación petroquímica de las rocas ígneas de Costa Rica. *Inst. Geogr. Nac., Inf. Semestral Julio-Dic.*: 17-79.
- LAHSEN, A., MORENO, H., VARELA, J., MUNIZAGA, F. & LOPEZ-ESCOBAR, L., 1985: Geología y Riesgo Volcánico del Volcán Calbuco y Centros Eruptivos menores. Depto. de Geol. y Geofísica, Fac. de Cienc. Físicas y Mat. Universidad de Chile, 215 pp. (inédita).
- MADRIGAL, R. & ROJAS, E., 1980: Manual descriptivo del mapa geomorfológico de Costa Rica (escala 1:200000). SEPSA, Imprenta Nacional, San José, 79 pp.
- MILLER, L. D., MULLINEAUX, D. R. & HALL, M.L., 1978: Reconnaissance map of Potencial Volcanic Hazards from Cotopaxi Volcano Ecuador. Dept. of the Interior, scale 1:100000, U.S.G.S.
- MINAKAMI, T., 1969: Earthquaker originating from volcanoes. *Athi XVIII Conv. Ass. Geof. Ital.*, Napoli 1-4 Ottobre 1969.
- MORALES, L.D. & MONTERO, W., 1984: Los temblores sentidos en Costa Rica durante 1973-1983 y su relación con la sismicidad del país. *Rev. Geol. de Am. Central*, 1: 29-56.
- MURATA, K.L., DONDOLI, C. & SANEZ, L.R., 1966: The 1963-1965 Eruption of Irazú Volcano, Costa Rica (The period of March 1963 to October 1964). *Bull. Volcanol.*, 29: 765-796.
- PANIAGUA, S., 1985: Características Geológicas-Petrográficas de los Volcanes de la Cordillera Central y Sumario de sus actividades. *Brenesia* 23: 43-95.
- SOTO, G., Actividad histórica y predicción eruptiva del Volcán Turrialba. (En preparación).
- TOMBLIN, J., 1980: Volcanic emergency planning. *Impact of Science in Society*, 27.
- UMAÑA, J., 1963: Informe Geológico, Proyecto Hidroeléctrico de la Presa de Cachí. *Inf. interno, ICE*, V. 4, pt. 1:1-25.
- WALKER, G., 1982: Volcanic Hazard. *Bol. de Volc. (Joint Sem. in Volcanol.) Univ. Nacional, Heredia, Costa Rica*, No. 14:41-43.
- WILLIAMS, H., 1952: Volcanic History of Meseta Central of Costa Rica: *Univ. Calif. Publ. Geol. Sci.*, 29: 145-180.