

## PELIGRO SISMICO Y VOLCANICO EN COSTA RICA: CONSIDERACIONES PARA SU PREVENCION

*Sergio Paniagua  
Luis Diego Morales  
Escuela Centroamericana de Geología y  
Centro de Investigaciones Geofísicas  
Universidad de Costa Rica*

La ubicación del territorio Costarricense en una zona geológicamente activa hace que los fenómenos sísmicos y volcánicos sean comunes y frecuentes. Su análisis, tomando como base datos antiguos y recientes, ha permitido la regionalización del país según se trata del riesgo sísmico o volcánico. De acuerdo al riesgo sísmico se definen tres regiones: a) la región del Pacífico que presenta los eventos de mayor magnitud; b) la región de valles y serranías del interior que incluye entre otros al Valle Central y c) las llanuras del Caribe y Norte del país. En cuanto al riesgo volcánico, se considera para su regionalización tanto la ubicación de los focos como el tipo de materiales que pueden asociarse en su actividad.

La situation du territoire Costaricien dans une zone de vulcanisme actif, explique le fait que les phénomènes sismiques et volcaniques y sont communs et fréquents. L'analyse de ces phénomènes, à partir de données historiques et récentes, a permis une régionalisation du pays selon le degré de risque sismique et volcanique. En ce qui concerne le risque sismique, trois régions sont définies: a) La Région du Pacifique, qui présente les événements de plus haute intensité; b) la Région de vallées et cordillères de l'intérieur qui comprend entre autres la Vallée Centrale et c) les plaines du Nord et du versant Caraïbes du pays. En termes de risque volcaniques, la régionalisation prend en compte tout d'abord la situation des foyers actifs que le type de matériaux associés à leur activités.

Costa Rica's location in a geologically active zone makes it subject to frequent and common seismic and volcanic activity. The analysis of this activity, based on historic and recent data, allows for a regionalization of the country in terms of volcanic and seismic risks. In terms of seismic risks, three regions are to be distinguished: a) The Pacific Region, which presents the higher magnitude events; b) The Region of interior valleys and mountain ranges, including among others Costa Rica's Central Valley and c) The Caribbean and Northern Plains of the country. In terms of volcanic risk, regionalization was based both on the location of the active foci and on the type of materials associated with such activity.

### Introducción

En territorios geológicamente jóvenes y caracterizados por una continua dinámica interna, como es el caso del istmo centroamericano, los fenómenos sísmicos y volcánicos serán frecuentes, por lo cual debemos estar preparados para convivir con ellos y prever sus efectos, para minimizar los riesgos. Considerando las características

geológicas y la sismicidad histórica y presente de Costa Rica, así como las intensidades (Mercalli Modificada: MM) observadas o los daños reportados, se ha construido un mapa base para una regionalización sísmica del país que permita un mejor planeamiento y toma de decisiones, sobre todo en la ubicación de nuevos asentamientos humanos, uso de la tierra y desarrollo de obras civiles y de infraestructura.

## Situación geotectónica

El istmo centroamericano, se encuentra en el margen activo convergente que forma la frontera

entre las placas Coco y Caribe, donde la primera se subduce bajo la segunda, a lo largo de la fosa mesoamericana (Fig. 1A).

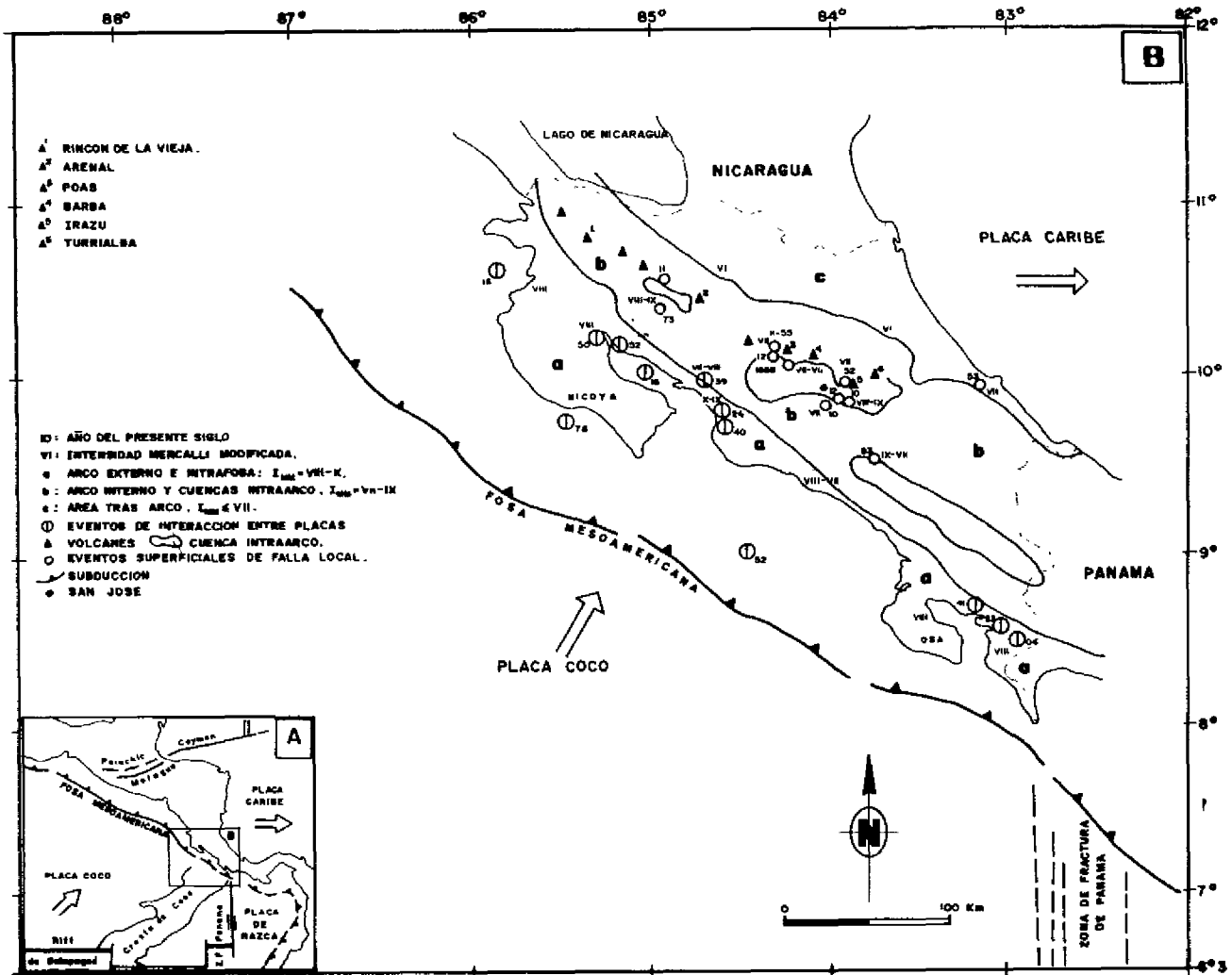


Fig. 1 Situación Geotectónica y Regionalización Sísmica de Costa Rica

El origen del puente-istmo centroamericano meridional, se encuentra íntimamente ligado al proceso de subducción (Seyfried y Sprechmann; 1985;63-87), así como la sismicidad y el tectonismo de la región.

Las diferentes unidades morfotectónicas del país, se correlacionan muy bien con la estructura geológica (Dengo;1968, Weyl;1971, Kuypers;1979, Alvarado;1984, Borgia, et al;s.f.) y la sismicidad conocida (Mora;1981, Morales y Montero;1984) permitiendo así una regionalización sísmica de nuestro territorio, basada en criterios morfotectónicos, geológicos y sismológicos (Fig.1B).

### Regionalización sísmica de Centroamérica

Costa Rica es dividida de acuerdo con los criterios anteriores en tres regiones sísmicas (Fig.1B), las cuales se caracterizan a continuación.

#### a. La región del Pacífico (arco externo e intrafosa)

El arco externo: Constituido por un complejo ofiolítico y rocas sedimentarias, con edades que oscilan desde el Cretácico superior hasta el Plioceno (Baumgartner, et al;1984), está representado por las penínsulas y puntas del litoral Pacífico.

La intrafosa: Depresiones tectónicas (grábenes), con una cobertura de materiales volcánico-sedimentarios Terciarios o Cuaternarios, está representada por los Golfos y Valles circundantes.

Esta región se encuentra afectada por el proceso de subducción y hacia su extremo sureste se agrega la actividad sísmica de la zona de fractura de Panamá. Se caracteriza por la ocurrencia de los eventos de mayor magnitud ( $M_s$  mayor o igual a 6,75), los cuales se muestran en la Fig.1B para el presente siglo, que es el período para el cual existen datos sismológicos aceptables. Dichos eventos llegan a sacudir todo el país, pero la relativa lejanía a los centros más poblados, así como la profundidad de ocurrencia de los eventos (h mayor a 20km), disipan parte de la energía sísmica y su mecanismo de ruptura, predominantemente de fallamiento inverso (Molnar

y Sykes;1969), favorecen una radiación de energía hacia la parte oceánica (Kelleher et al;1973, McCann et al;1978), con lo cual se atenúan sus efectos.

Un evento excepcional que ocurrió en esta región es el terremoto del 4 de marzo de 1924 ( $M_s$  igual a 7,0), llamado de Orotina y el cual afectó la parte oeste del Valle Central con intensidades de VIII y IX para el extremo más oeste, siendo la ciudad de San Ramón una de las más afectadas. La intensidad en el área epicentral (Orotina, Coyolar, San Mateo), alcanzó un valor de X en la escala Mercalli Modificada (Montero;1985) con una aceleración máxima del suelo igual a 50% de la gravedad, estimada a partir de relaciones empíricas (Morales;1983) y que coincide no sólo con la intensidad máxima encontrada (X), sino también, con el rango de variación propuesto (Sauter y Shah;1978) para Costa Rica.

Dentro de esta región, las zonas pertenecientes a los golfos y sus alrededores son las más activas y peligrosas, donde se han generado los mayores eventos ( $M_s$  mayor o igual a 6,75) del presente siglo, como puede ser observado en la Fig.1B, con intensidades máximas (MM) entre VIII y X, estimadas a partir del reporte de los daños o de los efectos observados en aquellas áreas epicentrales para las cuales existen daños.

El extremo sur este del país (Golfo de Osa y alrededores) muestra un claro período de recurrencia de 40 años (3 más o menos) para grandes eventos ( $M_s$  mayor o igual 7,3) e intensidades (MM) de VIII, para el presente siglo.

La zona del Golfo de Nicoya y alrededores presenta períodos más cortos de liberación de energía, menores o iguales a 28 años, con intensidades variando de VII a VIII, con excepción del evento de 1924 que alcanzó el valor máximo de intensidad conocido hasta ahora (X). Para el extremo noroeste del país (Golfo de Papagayo) se presenta la menor actividad, con solo un gran evento ( $M_s$  igual a 7,5) que afectó la Bahía del Coco y alrededores (Tristán;1916) con intensidad (MM) de VIII.

En conclusión, esta región pacífica, (arco e intrafosa: a), se caracteriza por intensidades en la escala MM de VIII, con un valor máximo de

X para el terremoto de Orotina de 1924, lo cual corresponde con aceleraciones del suelo entre 20% y 50% de la gravedad.

b. Región de Valles y serranías del interior del país (arco interno o magnético)

Esta región se encuentra separada de la anterior (arco externo e intrafosa; a) por un sistema de fallas que cruzan el país con rumbo NW, groseramente paralelas a la costa pacífica. Se distinguen geológica y morfológicamente tres subregiones: Las sierras volcánicas con rocas Neógenas (Tilarán y Aguacate) y cuaternarias (Guanacaste y Central) hacia el noroeste de San José; el intrusivo Neógeno de la Talamanca y la Fila Costeña del Eoceno tardío (Baumgartner, et al; 1985), al sureste de San José, y las cuencas intraarco, con una cobertura sedimentaria continental reciente.

El arco volcánico Cuaternario activo (Central), está separado de las rocas magnéticas del Terciario (Talamanca) por la cuenca intraarco que corresponde con el Valle Central, (Fig.1B), donde se ubica no sólo la ciudad capital (San José), y el mayor porcentaje de la población y de actividad económica y social del país, sino también, una zona sísmica activa, con eventos de moderada magnitud (M menor o igual a 6,5) y foco superficial (H menor a 20km), que son peligrosos y que han causado daños en el pasado, con intensidades (MM) entre VII y IX (Montero; 1985), con aceleraciones probables entre 10% y 50% de la gravedad.

La depresión tectónica del Arenal al Noroeste y el Valle del General-Coto Brus al sureste de San José, constituyen las otras cuencas intraarco más relevantes, con una actividad sísmica concentrada hacia los bordes (Fig.1B), como en el caso del Valle Central (Morales y Montero;1984), que ha llegado a alcanzar características destructivas en el pasado.

El fallamiento local (Montero y Dewey;1982, Montero y Morales;1984) es la fuente sísmica responsable del origen de los temblores que afectan esta región. Los temblores de origen vol-

cánico, por su pequeña a moderada magnitud (M menor a 5) no ofrecen un peligro significativo, y los eventos de la zona de subducción, por su profundidad (h mayor a 70km), difícilmente causarán daños significativos. aún y cuando lleguen a ser sentidos.

Esta región de Valles y serranías (arco interno y cuencas intra-arco: b), se caracteriza por el fallamiento local que origina eventos de magnitud moderada (M menor o igual a 6,5), pero destructivos, que han llegado a producir el mayor número de víctimas (Cartago, 1910) y de pérdidas materiales, con intensidades (MM) entre VII y IX (Montero;1985) y aceleraciones entre 10 y 50% de la gravedad.

c. Llanuras del Caribe y norte del país (Área tras-arco)

Esta región se encuentra en la parte trasera del arco interno (Fig.1B), y comprende un territorio de llanuras y tierras bajas, con pequeñas colinas y corresponde probablemente a la extensión sureste del graben de Nicaragua (Dengo; 1968), con una secuencia volcano-sedimentaria del Oligoceno al Holoceno, con conos cineríticos de composición alcalina (Morales y Montero;1984, Kussmaul, et al;1982).

Es la región más tranquila, desde el punto de vista tectónico y a ella corresponde la sismicidad más baja del país, con unos pocos eventos de magnitudes pequeñas (M menor o igual a 3,5), asociados al fallamiento local. Sin embargo, debe recordarse que el área de la ciudad de Limón fue sacudida fuertemente por un temblor local de magnitud moderada (M igual a 5,5) (Miyamura;1980), el día 7 de enero de 1953, causando daños con una intensidad (MM) de VII. Por lo tanto, esta es la región del país que presenta un menor riesgo sísmico, con intensidades máximas probables de VII, que difícilmente excedan una aceleración del suelo del 20% de la gravedad. En el cuadro #1, se describen los eventos sísmicos más importantes ocurridos en Costa Rica, la mayoría de los cuales se encuentran representados en la figura 1B.

CUADRO #1. TEMBLORES Y TERREMOTOS IMPORTANTES OCURRIDOS EN COSTA RICA \*

<u>AÑO</u>	<u>FECHA</u>	<u>REGION</u>	<u>MAGNITUD</u>	<u>COMENTARIO</u>
1756	14 julio	Temblor de San Buenaventura (no se conoce su epicentro)	-	Daños en Cartago
1798	22 febrero	Temblor de Matina (no se conoce su epicentro)	-	Sentido en el Litoral Caribe
1822	7 mayo	Terremoto de San Estanislao Zona sísmica de Osa	-	Daños en una región amplia del país
1841	2 setiembre	Terremoto de Santa Mónica, cerca de Cartago	**	Primera destrucción de Cartago
1851	18 marzo	Fuerte temblor cerca de Alajuela	**	Daños en Alajuela y San José
1888	30 diciembre	Terremoto de Fraijanes	**	Daños en Alajuela y San José, se formó la laguna de Fraijanes
1904	20 diciembre	Fuerte temblor, cerca de la frontera con Panamá	7,75	No hay reportes de daños
1910	13 abril	Temblor del Tablazo	5,2	Daños en San José
1910	4 mayo	Terremoto de Cartago	5,5	2da. destrucción de Cartago, 362 muertos
1911	28 agosto	Terremoto de Toro Amarillo (Grecia)	**	Daños moderados y deslizamientos
1911	10 octubre	Terremoto de Guatuso (al norte de la laguna de Arenal	**	Deslizamientos, grietas en el suelo
1912	6 junio	Terremoto de Sarchí (Alto del Palomo)	**	Fuertes daños, deslizamientos y avalanchas al represarse los ríos
1916	27 febrero	Terremoto (cerca de playa del Coco en Golfo de Papagayo)	7,5	Daños en Sardinal y Santa Cruz
1924	4 marzo	Terremoto de Orotina San Mateo-San Ramón)	7,0	Sacudió violentamente el Valle Central y dejó daños en una amplia región.
1939	21 diciembre	Fuerte temblor, región del Golfo de Nicoya	7,3	No hay reportes de daños
1941	5 diciembre	Fuerte temblor cerca de Golfito	7,5	No hay reportes de daños
1950	5 diciembre	Terremoto de Guanacaste (desembocadura del río Tempisque)	7,7	Daños en Puntarenas
1952	30 diciembre	Terremoto de Patillos (Falda noroeste, Volcán Irazú)	**	21 muertos a causa de los deslizam.
1953	7 enero	Temblor de Limón	**	Daños moderados en Limón
1955	1 setiembre	Terremoto de Toro Amarillo Bajos del Toro, Grecia	5,8	Daños en el valle del río Toro Amarillo

<u>AÑO</u>	<u>FECHA</u>	<u>REGION</u>	<u>MAGNITUD</u>	<u>COMENTARIO</u>
1973	14 abril	Terremoto de Tilarán	6,5	Daños en la región de Tilarán, 23 muertos a causa de deslizamientos
1983	2 abril	Terremoto Osa-Golfito	7,3	Daños moderados en una amplia región incluyendo San José, 1 muerto
1983	3 julio	Terremoto de Pérez Zeledón	6,1	Daños importantes en la región al Norte de San Isidro y moderados en dicha ciudad, 1 muerto

\* Lista parcial, solo eventos relevantes

\*\* Magnitud: 5 mayor o igual a M menor o igual a 6,5

### **El volcanismo en Costa Rica: Generalidades, consideraciones y prevenciones**

Dada la constitución geológica y la situación geotectónica donde se encuentra emplazado el territorio costarricense, lo colocan en un área de gran inestabilidad tanto sísmica como volcánica. Por tal razón, nuestro país está propenso a sufrir los efectos de estos catastróficos fenómenos naturales. Sin embargo, hasta el momento no se ha tomado ninguna medida de prevención a nivel nacional.

En Costa Rica se ha identificado más de 200 focos volcánicos (cráteres, conos, domos y relictos volcánicos), situados en diferentes provincias volcánicas. De todos ellos sólo una media docena de aparatos se ha tenido conocimiento de registro histórico de su actividad, siendo los siguientes: Volcán Rincón de la Vieja y Arenal en la Cordillera de Guanacaste, Poás, Barva (sin comprobación satisfactoria), Irazú y Turrialba en la Cordillera Central del país (Fig.1B). Algunos de los demás volcanes importantes costarricenses, presentan actividad secundaria o póstuma dada por numerosas manifestaciones fumarólicas y solfatáricas principalmente.

En ambas cordilleras como en sus alrededores, se encuentra depósitos de lavas (especialmente andesitas basálticas) ignimbritas (andesitas-dacitas), flujo de cenizas. Intercaladas en parte con brechas, aglomerados, lapilli y cenizas, asimismo frecuentes materiales fluvio-volcánicos, especialmente corrientes de lodo (lahar). En la mayor parte de estos volcanes se asientan ciuda-

des muy cercanas a sus faldas además de importantes actividades de agricultura y ganadería.

Los volcanes Rincón de la Vieja y Arenal han presentado actividad eruptiva y fumarólica en los últimos años. En el primero de ellos se conoce actividad desde el año 1851 (Alvarado; 1985). Erupciones de piroclastos de grandes proporciones se han reportado en 1966-1969, en 1970 a 1975. En 1983 y 1984 se registraron erupciones de corta duración. El Volcán Arenal tuvo un período de actividad efusiva y explosiva entre los años 1200 y 1550 D.C. que cubrió tientos de ollas (cerámica precolombina) con una capa de ceniza y lapilli de 50 cm de espesor, los cuales fueron encontrados en un sitio a 4.5km al norte del volcán (Melson y Sáenz;1968). La última gran erupción histórica luego de más de 400 años de reposo fue la de julio de 1968, que produjo nubes ardientes y avalanchas que llegaron a dos pueblos al pie del volcán, matando a más de 80 personas (Van der Bilt et al;1976). Desde entonces el volcán ha tenido continuadas erupciones de cenizas, lavas, gases y vapores con algunos períodos de quietud. Hasta la fecha se han contabilizado unas 53 coladas de lavas.

El volcán Poás ha tenido varias erupciones, desde que conoce su actividad en 1828 (Paniagua; 1985). En los últimos 150 años, se ha caracterizado eminentemente por continuas y frecuentes explosiones de gases, bombas y cenizas, cuyos productos solo cubren la cima. Ocasionalmente sus productos se extendieron a algunas zonas alejadas del macizo, por ejemplo la erupción de 1953, la que produjo lluvia de ceniza en muchas

partes del territorio nacional y duró hasta 1954 y 1955. La característica más relevante, sin embargo, estriba en la presencia del domo lávico incandescente, indicativo que el magma estuvo muy cerca de la superficie y de una fuerte actividad fumarólica localizada en el borde sureste del cráter reciente, la cual se mantiene activa hasta nuestros días.

El Volcán Barva no tiene registros históricos fidedignos de su actividad, no obstante, cerca de su laguna cratérica, se presenta una capa de lapilli con lava escorácea fresca y muy reciente. Al parecer, el derrame lávico más joven de este macizo, de hace miles de años, es la llamada Colada de Los Angeles, siendo su longitud visible aproximadamente 7 a 9 km con un ancho promedio de 1.5 km. Los espesores varían entre 3 y 10 metros.

Del Volcán Irazú se poseen registros de su actividad desde 1723, y desde entonces interrupciones ha tenido una actividad similar a las del volcán Poás, caracterizada principalmente por eyección periódica de material piroclástico y frecuentes emisiones de gases y vapores, incrementándose significativamente en algunos casos. Salvo la efusión de la llamada "Colada de lava de Cervantes" hace 14 000 años (Umaña; 1963), no se ha tenido conocimientos de derrames lávicos históricos en toda la Cordillera Central. Este flujo lávico cubre aproximadamente 35 km<sup>2</sup>, con un espesor promedio de 10 metros y un volumen total que podría ser de 0.35 km<sup>3</sup> (Murata et al; 1966).

Los registros históricos de la actividad del Volcán Turrialba no han sido confirmados, pero al parecer tuvo emisiones de cenizas y vapores en 1864 a 1866. Existe una continua y fuerte actividad fumarólica y solfatárica en su cráter del oeste y central con depositaciones de azufre y sales indeterminadas. La colada más joven del Turrialba "Colada de Aquiares" parece haber sido derramada hace algunos miles años de una grieta cerca de la base sur de este volcán (Paniagua; 1985). Se extiende larga y anchamente hacia el sureste, a través de sus faldas y de los ríos Turrialba y Aquiares, cubriendo un área aproximada de 40 km<sup>2</sup>. No ha sido posible evaluar sus espesores, debido a la enorme cubierta de suelo y vegetación.

De acuerdo con lo antes expresado, se desprende que los efectos que se pueden esperar debido a una erupción de alguno de los volcanes señalados, serían: flujos de lava, flujos de piroclásticos, flujos de lodo (lahar) y caída de cenizas.

#### Flujos de lava

La erupción de roca fundida y fluída forma flujos de lava, estos se dirigen hacia la base del cono, siguiendo valles o quebradas su velocidad de avance y la distancia que recorren depende de las características químico-mineralógicas de la lava y del contenido de gases entre otros factores (Salazar; 1985); en el caso de nuestros volcanes, las lavas son casi siempre de composición intermedia (andesíticas o andesíticas basálticas), lo que permite que, generalmente, se formen flujos de bloques, los cuales avanzan lentamente (decenas de metros por día o menos) y recorren distancias relativamente cortas (inferiores a 14 kms), salvo raras excepciones. Los flujos de lava históricos o prehistóricos recientes del Volcán Arenal normalmente avanzaron distancias menores de 5 km, sus espesores individuales raramente exceden a 30m y volúmenes alrededor de 350 x 10 (elevado a la 6ta potencia) m<sup>3</sup> (al menos entre las erupciones de 1968-1980) (Wadge; 1982). En el caso de los volcanes de la Cordillera Central, flujos de lava históricos no se han reportado; no obstante, las coladas de lava, tales como Cervantes en el Irazú y la de Los Angeles en Barva, tienen longitudes visibles de 10 a 9 km, respectivamente, como se mencionó al inicio, pudiendo ahora afectar centros importantes de población, en el caso de producirse una efusión de lava similar en los flancos sur de estos estrato-volcanes.

Entre los riesgos asociados a flujos de lava, están:

- enterramiento de la superficie a lo largo del avance del flujo;
- incendios desarrollados cuando el flujo avanza a través de bosques o campos;
- destrucción de estructuras, caminos, etc. a lo largo del cauce del flujo.

## Productos piroclásticos

Estos representan un grupo constituido por flujos piroclásticos "surges" (oleadas de piroclastos) y productos de proyección aérea (tefra).

Los flujos de piroclásticos están constituidos de fragmentos de rocas calientes, de diverso tamaño (desde ceniza hasta bloques), que se mueven como un fluido sobre el suelo, suspendido en una fase gaseosa caliente a gran velocidad, su temperatura es de varios cientos de grados centígrados y su velocidad entre 50 y 150 km, dependiendo de la pendiente, volumen de material y cercanía del centro de emisión (Miller;1978). Se forman cuando grandes cantidades de fragmentos calientes son lanzados violentamente en una nube que colapsa o cuando parte de un domo inestable en formación se desliza con violencia.

Históricamente se han identificado flujos piroclásticos (nubes ardientes) en el Volcán Arenal (Erupción 1968)(Alvarado;1984).

Estos flujos avanzaron alrededor de 5 km, con potencia variable de algunos metros y se depositaron al oeste del volcán, matando alrededor de 87 personas que vivían cerca del lugar en 1968, como se mencionó anteriormente.

Prehistóricamente se han identificado grandes extensiones y espesores de ignimbritas en el Valle Central, los cuales representan un largo período de volcanismo más vigoroso (probablemente de hace un millón de años) que ahora no se manifiesta, pero no debe asumirse que ocurrió sólo en aquél tiempo, y considerar similares erupciones en un futuro como posibles, siendo esto un peligro para el país (Walker;1982).

Entre los efectos producidos por la acción de estos flujos se cuenta el enterramiento e incineración de todo lo que se encuentra a su paso, la nube de gas que acompaña al material sólido puede separarse, dirigiéndose en otra dirección, quemando o asfixiando personas, plantas y animales.

Debido a su gran velocidad, ninguna acción preventiva se puede tomar una vez iniciado el flujo; tampoco se pueden determinar áreas de influencia con exactitud, pues pueden rebasar barreras de cientos de metros.

## "Surges": (Oleadas de piroclastos)

Son parecidos a los flujos piroclásticos en cuanto a génesis aunque menos calientes, compuestos por materiales más finos y pueden cubrir zonas más amplias. Su sistema de flujo turbulento, generando depósitos con características estructurales notables (bandeamiento, estratificación cruzada, etc.) (Salazar;1985). El Volcán Arenal ha generado ese tipo de depósitos durante sus erupciones históricas y prehistóricas; la potencia de las primeras han sido variables, de centímetros a metros, y han avanzado a más de una decena de km. Su capacidad destructiva es similar a la de los flujos piroclásticos.

## Productos de proyección aérea (tefra):

Se denomina tefra o todo material sólido o líquido que es lanzado a la atmósfera por una erupción y se deposita luego de viajar por el aire diversas distancias; los fragmentos más gruesos caen cerca del cráter de emisión y los más finos viajan en una nube que se orienta según la dirección de los vientos altos predominantes (Paniagua;1985). Los volúmenes de tefra emitidos por los 6 volcanes antes mencionados, han sido muy grandes y han cubierto amplias zonas. En las volcanes de la Cordillera Central, la influencia del manto de ceniza se ha extendido sobre todo el Valle Central, debido a los vientos del este que soplan hacia el oeste la mayor parte del año, viajando y depositando sus cenizas principalmente a 20 km o menos de su centro de emisión (riesgo moderado). No obstante, ceniza más fina ha viajado y depositado a más de varios cientos de km de distancia.

La zona de mayores efectos (zona de máximo riesgo debido a la lluvia de cenizas y bloques de más de 30 cm) se localiza aproximadamente a un radio de 2-4 km de cada cráter. La zona de alto riesgo con caída de partículas igual o mayor a 6.4 cm., se localiza entre los 3 y 7 km del punto de emisión aproximadamente (Paniagua y Soto;1986).

Entre los efectos de caída de cenizas, pueden mencionarse además de los daños ocasionados a la



población los siguientes:

- contaminación de aguas descubiertas (reservorios, tanques, piscinas, etc.);
- obstrucción de motores y otras maquinarias descubiertas;
- obstrucción y represamiento de pequeñas quebradas y canales que podrían causar flujos de lodo o inundaciones;
- corte temporal de servicios básicos en lugares poblados cercanos al volcán.

Flujos de lodo (lahares):

Son masas o mezclas de fragmentos de rocas de todo tamaño (desde ceniza fina hasta bloques de varios metros de diámetro) saturados de aguas que fluyen a lo largo de pendientes o canales ayudados por la gravedad y la energía potencial generada al deslizarse desde las zonas altas del volcán (Salazar;1985).

Esos flujos pueden recorrer grandes distancias, a veces varias decenas de kilómetros destruyendo todo a su paso. En las zonas de Guanacaste, por ser área poco poblada, los efectos de este evento no serán tan drásticos. En el Valle Central, sin embargo, este se presenta más propenso ya que se abrirían en forma de abanicos de deyección en sectores cercanos e importantes centros de población tales como Cartago, Heredia, San José, Alajuela, poniendo en peligro a miles de personas. Hacia la Vertiente NE, el régimen de lluvia favorece la formación de corrientes de barro. Es importante mencionar aquí, que si bien la población es reducida comparada con la del Valle Central, los caseríos se ubican cerca de los cauces, así como potreros y graneros. Todas estas zonas son consideradas de alto riesgo por el flujo de barro. El 9 de diciembre de 1965, tras una semana de fuerte temporal, las laderas inestables de la cuenca superior del Río Reventado (área de Retes), suministraron gran cantidad de detritos que fueron arrastrados por el cañon y al llegar a la zona de Taras al NW de Cartago, se expandió donde se abre el cañon. El resultado fue un manto de lodo, rocas y arena de más de 2 m de espesor, afectando un área de aproximadamente 4,6 km<sup>2</sup> con un saldo de 20 víctimas (ICE;1965).

Los efectos de este fenómeno pueden llegar a

ser muy notables y devastadores, dependiendo de su magnitud. Destruyen todo lo que encuentran a su paso y cuando sobrepasan el nivel de su canal de avance, se desbordan cubriendo amplias zonas, sembrando destrucción.

Otro peligro volcánico, no menos importante, son los gases volcánicos que se encuentran extendidos en todos los volcanes activos de Costa Rica, siendo las áreas más propensas las más cercanas a los cráteres, debido a que estos gases tienen por constitución química CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCL, HF, que son dañinos a la vida animal, vegetal y en algunos casos afecta el sistema respiratorio de las personas y causa hasta la muerte por asfixia.

Evidencias sobre la fuerte actividad fumarólica que causa la precipitación de lluvia ácida, ha sido identificada cerca de los volcanes Arenal, Poás y Turrialba, encontrándose pH en el agua de 3,0 en esta zona (Paniagua y Soto;1986).

Los peligros volcánicos pueden ser evaluados utilizando: registros históricos, registros geológicos y a través de conocimiento el comportamiento general de los volcanes, por lo que a su vez implica acervo científico en petrografía, petrología y volcano-tectónica. Toda la información se visualiza mejor mediante mapas de zonificación del Riesgo Volcánico, en los cuales se indican los peligros inmediatos y potenciales para diferentes erupciones volcánicas y fenómenos asociados (Paniagua;1986). Específicamente con esta clase de zonificación se trata de:

- a. Reducir el nivel de riesgo potencial.
- b. Mitigar las consecuencias de la acción desastrosa.
- c. Mitigar o prevenir el desarrollo de una cadena de acontecimientos desastrosos.
- d. Localizar y limitar el alcance de las catástrofes volcánicas en cuanto a posibles flujos de lavas, piroclásticos, lahares, etc.

La evaluación considera numerosas variables como: tipos de erupción, composición de los materiales volcánicos, antecedentes geomorfológicos y geológicos, historia evolutiva, 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 Costa Rica, es necesario hacer un estudio para

establecer y evaluar los posibles efectos de una eventual erupción volcánica y fenómenos asociados de cierta magnitud sobre áreas pobladas y obras civiles. Tomando como punto de partida el conocimiento de los distintos volcanes clasificados como activos.

A la luz de los nuevos criterios de riesgo volcánico, hay que vigilar más estrechamente aquellos volcanes activos que presentan un período de reposo o quietud más largo con registros históricos más antiguos.

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-catástrofes y en particular, sus efectos sobre las estructuras de los asentamientos humanos y la vida de sus habitantes. Un buen ejemplo de lo anterior lo constituye la enorme tragedia ocurrida en noviembre de 1985 por la erupción del Nevado del Ruiz en Colombia; dejó más de 23.000 víctimas, catástrofe que en gran parte estaba anunciada desde hace varios meses por las manifestaciones mismas del volcán y pudo haberse en gran parte mitigado, ya que se conocía con anterioridad su naturaleza y alcance del fenómeno a través de un mapa de riesgo volcánico realizado por geólogos colombianos y extranjeros en su oportunidad.

### **Conclusiones: Algunas medidas preventivas**

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 evaluadas y que planes de prevención sean hechos para minimizar sus efectos. 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 de emergencia pueden ser confeccionados para considerar varios tipos de eventos eruptivos y diferentes grados de severidad, con el fin de poder efectuar evacuaciones y otras medidas. Dichos planes a muy largo plazo, podrían desalentar inversiones de alto valor así como ocupación permanente en áreas de mayor peligro.

La humanidad no puede todavía impedir que ocurran o tengan consecuencias la mayoría de los fenómenos naturales. Pero sí sería posible impedir que los fenómenos tengan efectos desastrosos, o disminuir sus consecuencias, cuando se conozcan sus mecanismos de comportamiento y las zonas expuestas al peligro. De todo lo anteriormente dicho, se deduce que un mapa de riesgo volcánico es muy importante y que puede tener doble finalidad; la primera a largo plazo, para orientar la localización de asentamientos humanos y obras civiles en áreas consideradas de alto riesgo, y la segunda a corto plazo con aplicación inmediata, para propósitos de evacuación de la comunidad en el caso de una erupción importante. Algunas acciones encaminadas a reducir pérdidas en zonas de riesgo severo cuando una erupción es inminente son:

1. Traslado de ganado y enseres a una 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 la 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 afectada 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 aprovisiona-

miento 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 grados por el peso del manto de piroclastos es muy probable. a manera de ilustración, un manto de cenizas andesíticas con un espesor de 20cm, puede significar una carga adicional de 200 kg/m<sup>2</sup> (Lahsen, et al;1985). cuando están secas, las cenizas pueden ser suficientemente livianas para que los tejados las soporten, pero la lluvia las humedece 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.

Para paliar efectos de erupciones volcánicas se podrían sugerir maniobras y procedimientos inherentes a cada zona particular, ya sea flujos de lavas, cenizas y lahares en el Volcán Arenal o lluvias cenizas y lahares en los volcanes de la Cordillera Central, a través del Comité de Emergencia Nacional contra desastres naturales.

## Bibliografía

ALVARADO, G. (1984). Aspectos petrológicos y geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica. 180 págs.; Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (Tesis inédita).

BALMGARTNER, P.; MORA, C.; BUTTERLIN, J.; SIGAL, J.; GLASON, G.; AZEMA, J. y BORGIOIS, J. (1984). Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica. En: Rev. Geol. de América Central, 1:29-56.

BORGIA, A.; POORE, C.; CARR, M.; MELSON, W. y ALVARADO, G. Evolution of a young stratovolcanic complex; stratigraphical, structural, and petrological aspect of the Arenal-Chato volcanic system: Costa Rica., submitted to: Journal of Volcanology

BURBACH, G.; FROHLICH, C.; PENNINGTON, W. Y MATUMOTO, T. Seismicity and Tectonics of the subducted Cocos plate. In: Journ. Geophys. Res. 81:4885-4896

DENGO, G. (1968). Estructura geológica, historia tectónica y morfología de América Central. 52 págs., Centro Regional de Ayuda Técnica AID, México D.F.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. (1965). Informe sobre el problema del Río Reventado. 312 pp.

KELLEHER, J.; SYKES, L. Y OLIVER, J. (1973). Possible criteria for predicting earthquake location in the Caribbean. J. Geophys. Res. 78 (14): 2547-2585.

- KUSSMAUL, S.; PANIAGUA, S. Y GAINZA, J. (1982). Recopilación, clasificación e interpretación petroquímica de las rocas ígneas de Costa Rica. En: Informe Semestral. Instituto Geográfico Nacional, 28, Julio-Dic.: 17-79.
- KUYPERS, E. (1979). La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. En: Informe Semestral. Instituto Geográfico Nacional, 25, Inf.Sem, Julio-Dic, 15-75.
- LAHSEN, A.; MORENO, H.; VARELA, J.; MUNIZADA, F. Y LOPEZ-ESCOBAR, L. (1985). Geología y riesgo volcánico del Volcán Calbuco y Centros eruptivos menores. Depto de Geología y Geofísica, Fac.de Ciencias Físicas y Matemática. Universidad de Chile, 215 pp. (inédito).
- MCCANN, W.; NISHENKO, S.; SYKES, L. Y KRAUSE, J. (1978). Seismic Gaps and Plate Tectonics: Seismic Potencial for major boundaries. U.S. Geol. Surv. Open File Report. 78-943.
- MELSON, W.G. Y SAENZ, R. (1968). The 1968 Eruption of Volcan Arenal, Costa Rica. Trad. española: La Erupción del Volcán Arenal, Costa Rica. En: Rev. Geogr. de América Central. No. 5-6, Escuela de Geografía, Universidad Nacional de Costa Rica.
- MILLER, C.D. (1978). Potencia hazard from future eruption in the vicinity of Mount Shasta Volcano, north California. M.S.G.S. Openfile. Report 78-USA.
- MIYAMURA, S. (1980). Sismicidad de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. San José. 190 págs.
- MOLNAR, P. Y SYKES, L. (1969). Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanism and seismicity. Geol. Soc. Am. Bull. 80: 1639-1684.
- MONTERO, W. (1985). Aspectos sismológicos y tectónicos del Valle Central de Costa Rica. En: El sistema fluvial de Tárcoles, Costa Rica. IGN/CONICIT, 75-90.
- MONTERO, W. Y DEWEY, J. (1982). Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism, and tectonics of the Valle Central de Costa Rica. Bull, Seism, Soc. Am., 71:1611-1626.
- MONTERO, W. Y MORALES, L.D. (1974). Sismotectónica y niveles de actividad de microtemblores en el suroeste del Valle Central. Rev. Geofís. IPGH, No. 21, 22.
- MORA, S. (1981). Clasificación morfotectónica de Costa Rica. En: Informe Semestral. Instituto Geográfico Nacional, julio-diciembre, 35-55.
- MORALES, L.D. (1983). Riesgos geológicos asociados con terremotos en los alrededores del Golfo de Nicoya. En: Brenesia. No. 21:93-117.
- MORALES, L.D. Y MONTERO, W. (1984). Los temblores sentidos en Costa Rica durante 1973-1983 y su relación con la sismicidad del país. En: Rev. Geol. de América Central, 1:29-56.
- MURATA, D.J.; DONDOLI, C. Y SAENZ, R. (1966). The 1963-1965 Eruption of Irazú volcano, Costa Rica (the period of March 1963 to October 1964). Bull. Volcanol., v. 29, 765-796.

- PANIAGUA, S. (1985). Características geológicas y petroquímicas de los Volcanes de la Cordillera Central y sumario de sus actividades. En: Brenesia. No. 23:49-95. San José.
- PANIAGUA, S. (1986). Consideraciones sobre el riesgo volcánico en Costa Rica. En: Rev. Geol. Amer. Ctral. 4: 89-92; San José.
- PANIAGUA, S. Y SOTO, G. (1986). Reconocimiento de los riesgos volcánicos potenciales de la Cordillera Central de Costa Rica, América Central. En: Ciencia y Tecnología. San José, Costa Rica: 10(2): 49-72.
- SALAZAR, E. (1985). Riesgo Volcánico de los Volcanes Guagua Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua, Ecuador. Riesgo volcánico en el Ecuador. Ministerio de Recursos Naturales y Energético. Dir. Gral. de Geol. y Minas, Quito, Ecuador: 11-24.
- SAUTER, F. Y SHAH, H. (1978). Estudio de seguro contra terremoto. Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica.
- SEYFRIED, E. Y SPRECHMANN, P. (1985). Acerca de la formación puente-istmo centroamericano meridional, con énfasis en el desarrollo ecaécido desde el Campaniense al Eoceno. En: Revista Geológica de América Central, 2: 63-87.
- TRISTAN, J.F. (1916). The Costa Rica Earthquake of February 27, 1916. Bull Seism. Soc. Am. 6:232-235.
- UMAÑA, J. (1963). Informe Geológico, Proyecto Hidroeléctrico de Cachí Presa. Inf. Interno, ICE. v.4, pt. 1, 1-25.
- VAN DER BILT, H.; PANIAGUA, S. Y AVILA, G. (1976). Informe sobre la actividad del Volcán Arenal iniciada el 17 de junio de 1975. En: Revista Geofísica del Inst. Centroamericano de Geografía e Historia, México 5: 295-298.
- WADGE, G. (1982). The 1968-1980 lava-flow-field and the rates of eruptions of magma at Arenal (Abstract). USA-CR. Joint Seminar in Volcanol. No. 14 (10-16 Enero). San José, Costa Rica. Bol. de Volcanol., Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica:75-78.
- WALKER, G.P. (1982). Volcanic Hazard. (Abstract) USA-CR. Joint Seminar in volcanol, No. 14 (10-16 enero), Costa Rica.
- WEYL, R. (1971). La clasificación morfotectónica de Costa Rica. En: Informe Semestral. Instituto Geográfico Nacional, julio-diciembre, 107-125.