

IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA CIVIL

---

Dr. Sergio Mora C. :1,2  
Lic. Guillermo Alvarado :1,3  
MSc. Luis D. Morales :2

RESUMEN

---

Se presenta en este trabajo, el primer intento de integración de un mapa temático, escala 1:500.000, de las amenazas geológicas que afectan frecuentemente a Costa Rica.

El esfuerzo principal ha consistido en aportar la compilación preliminar de toda la fuente bibliográfica, cartográfica y documental, técnica y científica disponible, de los principales fenómenos geológicos que han provocado o son capaces de provocar daños al hombre y a su infraestructura en este país.

El mapa tiene carácter descriptivo y por supuesto NO de pronóstico, pues esencialmente presenta los sitios en donde se han manifestado los fenómenos y en donde por las condiciones locales, podrían hacerlo de nuevo.

Según el predominio relativo de los factores que controlan cada fenómeno, las amenazas se clasifican en tres grandes categorías: Aquellas de naturaleza atmosférica (sequías, tormentas-lluvias de alta intensidad-), geológica-geodinámica interna (sismicidad, volcanismo) y geodinámica externa (erosión, deslizamientos, inundaciones). No obstante que las amenazas de carácter atmosférico intervienen fuertemente dentro del desarrollo de la geodinámica externa, no serán descritas, al igual que las inundaciones.

Se pretende con este mapa establecer un criterio de base para iniciar y difundir la conciencia de la necesidad de conceptualizar un adecuado ordenamiento territorial, de explotación racional de los recursos naturales y de mitigación preventiva de los desastres naturales.

RESUME

---

Il est présenté ici un premier essai d'intégration d'une Carte des Menaces Géologiques qui affectent Costa Rica, à l'échelle 1:500.000.

L'effort principal s'est concentré sur la compilation préliminaire de toute la source disponible d'information bibliographique, cartographique et documentaire, d'ordre scientifique et technique, décrivant la generation, développement

---

1-Departamento de Geología, I.C.E.

2-Escuela C.A. de Geología-C.I.G.E.F.I., Univ. de Costa Rica

3-Departamento de Geografía, Univ. de Costa Rica

et conséquences des principaux phénomènes géologiques ayant causé des dommages à l'homme et l'infrastructure du pays.

La carte a un caractère descriptif et n'a absolument pas comme but de pronostiquer. Elle présente essentiellement les sites où des phénomènes se sont produits et où ils sont susceptibles de se présenter à nouveau.

Suivant la prédominance des facteurs qui contrôlent chaque phénomène en particulier, les menaces ont été classées dans trois grandes catégories: Celles de nature atmosphérique (sécheresses, pluies torrentielles de haute intensité), celles d'ordre géologique-géodynamique interne (sismicité, volcanisme) et celles régies par des mécanismes propres de la géodynamique externe (érosion, glissements de terrains, inondations). Les menaces d'ordre atmosphérique et les inondations, n'ont pas été considérées dans le cadre de cette étude.

Il est donc le but de cette carte l'établissement des critères de base pour poursuivre la diffusion de la conscience du besoin de développer un aménagement du territoire, aussi bien que l'exploitation rationnelle des ressources naturelles et la prévention des désastres.

#### ABSTRACT

This is the first attempt to present a map on Geologic Hazards of Costa Rica at a 1:500.000 scale.

The main task consisted in compiling all available bibliographic, cartographic and documental data of scientific and technical character, showing where the generation, development and damages due to geologic phenomena have occurred in this country.

The map has a descriptive character and it is not intended to be used as a prediction manual, since it essentially shows where the events have occurred and due to local evidence, where they are prone to occur again.

Taking into account the relative predominance of each phenomena in particular, all the hazards considered have been classified into three main categories: Those of atmospheric nature (droughts, high intensity rainstorms), the ones of geologic-internal geodynamics origin (seismicity, vulcanism) and finally those under the control of the external geodynamic processes (erosion, landslides, floods). Atmospheric phenomena and floods, are not described in this paper.

It is then the main objective of this map to establish a base criteria to create awareness for an appropriate land use and the correct exploitation of natural resources. This map also attempts to focus on the need of implementing preventive plans for the mitigation of natural disasters.

#### I-INTRODUCCION

##### 1.1 Antecedentes

Los fenómenos geológicos, al manifestarse en forma violenta,

son capaces de generar la destrucción parcial o total de una población, de su infraestructura, líneas vitales y actividades productivas.

Bajo estas condiciones, dos circunstancias pueden ser enfocadas : Por un lado, los fenómenos naturales son en sí mismos inevitables, y por otro, existe la posibilidad de mitigar e incluso en el mejor de los casos, eliminar sus efectos.

Para ambas posibilidades, es evidente la importancia de conocer la ubicación y el medio geográfico en donde se manifiestan esos fenómenos, para así considerarlos dentro de los planes de desarrollo futuro del país. He aquí el valor fundamental de este mapa, del cual seguidamente se describirán sus elementos fundamentales.

## 1.2 Objetivos

-----

El objetivo principal de este Mapa Preliminar Sintético de Amenazas Geológicas de Costa Rica, es el de mostrar la ubicación y las áreas de mayor influencia de las principales amenazas geológicas que afectan el país.

Con ello, se pretende facilitar la tarea del Planificador, del Ingeniero y del organismo para la Defensa Civil en sus labores respectivas de concepción de los métodos y sistemas operativos óptimos de ordenamiento territorial, explotación racional de los recursos naturales, adaptación de las obras de infraestructura a las exigencias de la naturaleza y la preparación, prevención y mitigación de los desastres naturales.

Adicionalmente, el mapa permitirá observar, por superposición de elementos, las regiones más susceptibles de que los fenómenos actúen combinándose unos con otros y por lo tanto, amplificando su rango destructivo.

## 1.3. Metodología utilizada y sus limitaciones

-----

Este mapa ha sido elaborado a partir de la utilización de la información existente y disponible, la cual, no obstante su abundancia aparente, a veces ha demostrado ser insuficiente, excesivamente descriptiva y poco confiable, en especial la más antigua.

Ha sido pues necesario que los autores complementen con información propia el contenido temático del mapa, lo cual a veces tampoco ha sido suficiente. Existen regiones del país que no disponen de información histórica adecuada, dadas su remotidad, baja densidad de población y aislamiento de comunicaciones.

Por último, debe mantenerse presente que este mapa ha sido plasmado utilizando un enfoque cualitativo, es decir, para alcanzar una definición tan solo a nivel de AMENAZA, basada en información histórica, geológica y climatológica, pretendiendo establecer las áreas en donde las "posibilidades" de ocurrencia de los fenómenos son altas y latentes. No debe confundirse pues con un mapa de RIESGO, pues carece aun del enfoque cuantitativo-

estadístico (probabilístico o determinístico) necesario, aparte de no haberse definido todavía el término de VULNERABILIDAD para completarlo.

Cabe destacar que este artículo ha sido proveído de una extensa bibliografía, la cual reúne prácticamente todas las referencias que fue posible consultar para su realización. La información ha sido sacada de prácticamente todas ellas aunque por razones prácticas, solamente las que se consideraron más relevantes fueron mencionadas en el texto. El motivo principal de incluir todas esas referencias en la bibliografía es el de facilitar la labor de los investigadores que deseen profundizar en un tema particular.

## II-GUIA DESCRIPTIVA

-----

### 2.1 Modelo conceptual

-----

El mapa ha reunido la información disponible acerca de las amenazas naturales de Costa Rica, clasificándolas en dos grandes grupos:

a) Aquellas derivadas de los fenómenos netamente geológicos, es decir, producto de la Geodinámica Interna; por ejemplo : el volcanismo y la sismicidad.

b) Por otra parte, se presentan las amenazas que en principio están gobernadas simultáneamente por agentes y fenómenos atmosféricos, geológicos y geomorfológicos; son pues un producto de la Geodinámica Externa. Por ejemplo: la erosión y los deslizamientos.

Una vez identificados los fenómenos y clasificados en sus respectivos grupos, se procedió a investigar sus manifestaciones históricas de las cuales existiese información documental. Adicionalmente fue analizada, cartográfica y geomorfológicamente, el área en donde se manifestaron y en la medida de lo posible, se extrapola la información a otras localidades con condiciones más o menos semejantes y carentes de datos.

### 2.2 Riesgo, amenaza y vulnerabilidad

-----

Una "amenaza natural" puede definirse como la posibilidad de que un fenómeno natural determinado se manifieste violentamente y en forma capaz de causar daños a la población, a su infraestructura y al ambiente, en una región limitada.

Por el momento, no se ha hecho aun un análisis de la "vulnerabilidad" de los elementos humanos e infraestructurales, ni un estudio estadístico (probabilístico o determinístico) como para preveer en el tiempo y en el espacio, la magnitud con la que se presentará el fenómeno. En otras palabras, no puede definitivamente aun hablarse utilizando un concepto de "riesgo";

el cual se define finalmente por la relación:

RIESGO -----	=	AMENAZA -----	X	VULNERABILIDAD -----
Indice o valor numérico que indica un nivel de ocurrencia de índole estadística (probabilidades)		Probabilidad de que ocurra un fenómeno natural, con una magnitud determinada.		Probabilidad de que el nivel e intensidad específica haga que los daños alcance un valor determinado.

Es importante hacer mención al hecho de que los análisis probabilísticos no son estrictamente aplicables al estudio de las amenazas naturales, pues estas no son en realidad de carácter aleatorio, lo cual es un requisito estricto para este tipo de modelización.

### 2.3 Los diferentes tipos de amenazas geológicas

-----

Con el objeto de unificar los criterios, se presenta a continuación una serie de definiciones relacionadas con los fenómenos generadores de amenazas geológicas y sus efectos principales. Además, serán descritas las regiones del país en donde se han presentado y podrían presentarse de nuevo y con severidad.

#### a) Erosión

-----

La erosión consiste de la remoción de partículas sólidas y componentes químicos del suelo y de las rocas. Los procesos pueden ser de orden físico-mecánico (erosión eólica o hidráulica), cuando el agente actúa con un nivel energético suficiente para superar la resistencia al cizallamiento del material, o de orden químico (lixiviación, karst), cuando el agua posee elementos de corrosión agresivos que disuelven y transportan los minerales solubles. La erosión química no será analizada en este trabajo.

Los efectos secundarios más evidentes son: la destrucción de la capa húmica y la remoción de los nutrientes del suelo. Además, se generan cambios significativos en las propiedades químicas, físicas y mecánicas del suelo y rocas; empobrecimiento y pérdida de la capacidad productiva y sostenimiento vegetativo del suelo, aumento en el albedo relativo, generación de sedimentos y por consiguiente, la contaminación de las aguas de escorrentía.

La erosión eólica es, para Costa Rica, de una importancia relativa menor, sin embargo, no por eso ausente, sobre todo en las regiones sensibles a la prolongación anómala de la estación seca, desarrollo de sequías, relieve suave y de vientos fuertes (Cañas, Península de Nicoya, Liberia).

La erosión hidráulica se manifiesta primero por la energía liberada por el impacto de las gotas de lluvia, especialmente en los suelos secos y desprovistos de vegetación, al disgregarse las partículas sólidas. Nótese que son entonces las lluvias de alta

intensidad las que mayor poder erosivo desarrollan y esto, no solo por el fuerte impacto mecánico, sino también por el desarrollo de la escorrentía superficial.

En otras palabras, una vez que se alcanza saturar la capacidad de campo del suelo (máxima tasa de absorción a caudal de infiltración constante, al ocurrir la saturación), el agua fluye por la superficie ejerciendo un esfuerzo de cizallamiento (cortante) proporcional a la pendiente del suelo y al espesor de la capa de agua circulante.

Bajo estas condiciones, varios son los tipos de erosión que se pueden presentar en una ladera:

-Erosión laminar:

Remoción de partículas del suelo, en forma más o menos uniforme y homogénea, en toda la extensión de la superficie de la ladera; no se desarrollan vías preferenciales. Es poco aparente, pero se puede reconocer cuando al pie de la ladera se acumulan constantemente sedimentos y detritos de sus suelos constitutivos.

-Erosión concentrada:

-----  
Ocurre cuando por alguna razón propia a la disposición o estructura propias al suelo o las rocas de una ladera, o incluso por la forma en que se utilizan por parte del hombre, la escorrentía tiende a concentrarse y el agua fluye en forma turbulenta a lo largo de vías preferenciales. Según el tamaño, dimensiones y grado de desarrollo de esas vías, la erosión concentrada se puede clasificar en:

- .Erosión por microcanales
- .Erosión en surcos o canales
- .Erosión por cárcavas o zanjas
- .Erosión por cañadas o barrancas
- .Tierras malas ("bad lands"), por coalescencia, acumulación y extensión de los tipos anteriores

-Erosión de bancos:

-----  
Es generalmente de origen fluvial y ocurre cuando los ríos erosionan y socavan sus propios bancos aluviales. Es un caso común a todo lo largo de las riberas y terrazas aluviales jóvenes y en la concavidad de los meandros activos (efecto de Lame).

En síntesis, la erosión depende de la energía cinética y mecánica desarrollada por el impacto de las gotas de lluvia y por el esfuerzo cortante generado por el agua de escorrentía superficial. Como variables adicionales, se pueden anotar: la longitud e inclinación de la ladera, el tipo de cobertura vegetal, los sistemas de explotación y uso del suelo, las características físicas, mecánicas y mineralógicas del suelo y la intensidad pluviométrica.

En Costa Rica, la erosión es evidente en prácticamente todo el territorio, en especial a causa del régimen irracional de

explotación de sus recursos naturales y por el desarrollo, construcción y operación mal concebida de carreteras, minas a cielo abierto y explotación agropecuaria (sobre todo la ganadería).

Estas condiciones son particularmente intensas en la península de Nicoya (Malpaís, Murciélagos, Nicoya) y al norte de Liberia. También en el Valle Central, dada la enorme cantidad de tajos y canteras bajo explotación descontrolada.

Hacia el Pacífico, se nota gran actividad erosiva en las cuencas altas y medias de los ríos Barranca, Jesús María, Tabarcia y Pirris. Hacia el sur, en el Valle de El General, Buenos Aires, Paso Real, Boruca, Caño, Seco, Sabalito y San Vito.

Lo mismo se puede decir de las Vertientes Norte y Atlántica, en las cuencas de los ríos San Carlos, Sarapiquí, Reventazón, Bananito y Moín.

La elevada tasa de sedimentación en los embalses hidroeléctricos de Ventanas-Garita y Cachí, así como de los canales de Tortuguero-Parismina, son evidencias firmes de los perjuicios del desarrollo crónico de este fenómeno.

#### e) Deslizamientos

-----

Los deslizamientos son la evidencia del desarrollo de la remoción en masa de bloques de considerables dimensiones de suelos y rocas. Este fenómeno es provocado por la acción conjunta de la gravedad, la presión que ejerce el agua en los poros y fisuras transmitiendo la presión hidrostática y la superación, por parte de los esfuerzos (momentos) desestabilizadores (estáticos y dinámicos), de la resistencia al cizallamiento en bandas o estratos preferenciales de dicha masa.

Los efectos secundarios asociados son: la ruptura y agrietamiento del suelo, erosión intensa, generación de aludes, represamiento y embalsamiento de cauces fluviales con el eventual desarrollo de avalanchas de lodo y detritos.

Evidentemente, la acción desestabilizadora de la actividad humana es cada día más intensa, en especial por la construcción de caminos y acueductos, sin respetar normas de diseño y por la explotación de tajos, canteras y bosques, sin regulación alguna.

En Costa Rica, los deslizamientos se han convertido en un fenómeno tan usual que casi pasan desapercibidos, por ser un elemento corriente, en especial durante las épocas lluviosas y de intensa actividad sísmica.

Existen deslizamientos activos que afectan directa o indirectamente a poblaciones e infraestructuras importantes (Mora, 1985, 1986, 1988a, 1988b). Tal es el caso de Santiago de Puriscal, Tapezco de Santa Ana, Piedras de Fuego, Pascua, Pavones y Chitaría de Turrialba, Río Chiquito de Tres Ríos, San Blás de Cartago, Purisil de Orosi y gran cantidad de otros en el resto del país.

De todos, el mayor en tamaño es el de San Blás. Con sus casi 50 millones de metros cúbicos de volumen, representa un fenómeno sin precedentes para Costa Rica y Centroamérica y solo muy pocos casos lo superan en el resto del mundo. Al igual que en el del deslizamiento del Río Chiquito, fue generado por la explotación

desmesurada e incontrolada de sendos tajos para la extracción de materiales para la construcción.

El deslizamiento de Tapezco, en Santa Ana, posee un volumen de alrededor de 7 millones de metros cúbicos, lo cual lo hace tener una importancia de primer orden. De precipitarse hacia el río Uruca, podría generar una presa y embalse efímeros, los cuales al romperse y liberarse respectivamente, podrían afectar una población de alrededor de 10.000 personas.

Existe además gran cantidad de deslizamientos en las cuencas de los ríos Reventado (Llano Grande, Prusia, Retes, Pavas, Ortiga, etc.), Candelaria, Pirris, Orosi, Atirro y Caño Seco.

Adicionalmente, puede hacerse mención de aquellos generados por la actividad sísmica, (tabla I):

TABLA I - Los sismos más importantes que han generado deslizamientos en Costa Rica.

FECHA	LOCALIDAD	COORDENADAS (grad,min)	INT.MAX. (MM)	DESCRIPCIONES
30/12/1888	FRAIJANES	10,8/84,11	VII-VIII	Deslizamientos y avalanchas en ríos Poás y Tambor, 5 muertos.
29/8/1911	BAJOS DEL TORO I	10,14/84,18	VII+	Deslizamientos y avalanchas en Fila Gorrión, Colonia del Toro y Grecia.
10/10/1911	GUATUSO	10,36/84,56	VIII+	Deslizamientos y derrumbes en Cordillera de Tilarán.
6/6/1911	SARCHI	10,11/84,16	VII	Deslizamientos y avalancha en Fila Gorrión, Bajos del Toro, Grecia, Sarchí, 4 muertos
4/3/1924	DROTINA	9,51-84,33	IX-XX	Deslizamientos en Aguacate y Turrubares. Daños en caminos y vía férrea.
30/12/1952	PATILLOS	10,02/83,55	VII	Grandes deslizamientos y avalanchas en ríos Blanco y Sucio, Rancho Redondo, Tierras Morenas, Bajo Máquina; 21 muertos.
1/9/1955	BAJOS DEL TORO II	10,14/84,19	VIII	Deslizamientos y avalanchas en Río Segundo; 10 muertos.
14/4/1973	TILARAN	10,27/84,54	VIII-IX	Deslizamientos y caminos destruidos en Río Chiquito, El Líbano, Tilarán; 23 muertos.

3/7/1983 DIVISION 9,30/83,40 VIII-IX Deslizamientos, grandes daños a la Carretera Interamericana, caminos vecinales, viviendas en Pérez Zeledón, Buenavista, Alaska, Siberia, Chimirol; Rivas, etc. ; 1 muerto.

El sismo de La División es a su vez un caso sin precedentes en la historia de Costa Rica, dada la amplitud de la destrucción de las laderas, ocurrida en forma tan generalizada, dentro de una superficie de alrededor de 175 Km<sup>2</sup> (tabla II).

TABLA II - Areas afectadas por los deslizamientos generados por el terremoto de Pérez Zeledón (Ms= 6,1, Z= 13 Km; 3/7/83) y sus réplicas subsecuentes. Según Leandro et al., 1983; Mora y Rivas, 1984; Mora et al., 1984; Morales y Leandro, 1985; Mora, 1988).

PENDIENTE LADERA (grados)	AREA (KM2)	AREA DESLIZ AREA TOTAL (%)	OBSERVACIONES
Menos de 20	16	12	Mayormente solifluxión de suelos lateríticos (reptación y agrietamientos).
20-35	26	36	Pequeños deslizamientos en suelos coluviales y residuales de origen basáltico-andesítico, de alto grado de alterac.
36-50	71	79	Deslizamientos medianos en depósitos coluviales y suelos de origen andesítico-basáltico
51-65	33	80	Deslizamientos en rocas alteradas de tipo granodiorítico, monzonítico, andesítico o basáltico; género regolítico.
66-80	21	62	Deslizamientos en rocas frescas y alteradas, suelos regolíticos de origen intrusivo, volcánico y metamórfico; sobre todo, en áreas deforestadas.
Más de 80	8	56	Deslizamientos rocosos (bloques y cuñas) de materiales poco alterados.
TOTAL	175 Km <sup>2</sup>	65% (promedio)	

Otros abundantes deslizamientos ocurrieron asociados a tormentas con lluvias de alta intensidad, como son los casos de Sabalito (La Lucha) de Coto Brus en julio de 1986. Uno de los deslizamientos causó la muerte a una familia de 7 personas. Otro caso fue el de la tormenta del 6 de julio de 1987 en los flancos del cerro Doán (Cachi-El Humo-Pejibaye) (Mora et al., 1988).

Vale la pena mencionar también la enorme cantidad de deslizamientos generados durante las construcciones y operación de las carreteras Braulio Carrillo, Piedras Blancas-Rincón de Osa, Costanera Sur, Interamericana por el Cerro de la Muerte la trocha para la tubería del Acueducto de Orosi (Río Macho), así como de los problemas que constantemente se presentan en otras carreteras como : San Ramón-Cambronero-Macacona, Turrialba-Siquirres, Aguacate, Puriscal-Quepos, etc.

Por otra parte, recientemente se han comenzado a multiplicar los problemas de los deslizamientos en áreas donde la presión urbana ha inducido a la ocupación de laderas potencialmente inestables. El fenómeno se ha presentado especialmente en el área metropolitana de San José; por ejemplo : en el cañón de los ríos Virilla, Tiribí y María Aguilar, en el Barrio México, Los Guido, Los Mojado, El Retiro (Las Tablas), Moravia y en Los Filtros de Alajuela. Los desarreglos propiciados por particulares en el Cerro San Miguel (La Cruz de Alajuelita), pueden ser citados como ejemplo adicional (Mora et al., 1986).

El año de 1988, fue particularmente prolífico en deslizamientos, en vista de las abundantísimas lluvias que se presentaron en todo el país. Esta situación fue particularmente dramática durante el desarrollo de la influencia de los huracanes Gilbert (11 al 14 de setiembre) y Joan (21 al 24 de octubre).

### c) El Volcanismo

-----

El volcanismo se puede definir como la manifestación superficial de la liberación de energía termodinámica endógena del planeta, por medio de la movilización del magma a través de las aperturas de la corteza terrestre, es decir, por medio de vías preferenciales y concentradas (volcanes, fisuras, fumarolas).

La actividad volcánica se puede manifestar violentamente por medio de explosiones, erupciones, avalanchas calientes, emisión de piroclastos (cenizas, lapilli), sismicidad y emisión de gases y vapores tóxicos.

La actividad puede también ser de tipo progresivo, como la emisión de coladas de lava, ya sean fluidas o viscosas. Igualmente puede ser pasiva, como es el caso de las fumarolas, hornillas y fuentes termominerales.

Los efectos secundarios nocivos más importantes se pueden manifestar en forma de lluvias ácidas, vibraciones, deslizamientos, avalanchas laháricas, alteración hidrotermal y contaminación del aire y agua (lluvias ácidas).

Sin embargo, puede haber algunos efectos positivos, como la fertilización del suelo, mineralizaciones económicamente productivas, recreación y turismo.

Costa Rica posee dos cordilleras volcánicamente activas: la de Guanacaste y la Central. La cordillera de Guanacaste, tiene

como focos estratovolcánicos principales a los complejos Orosí-Cacao, Rincón de la Vieja-Santa María; Miravalles-Paleo Miravalles y Tenorio-Montezuma. Aisladamente y con características geológicas diferentes, se puede mencionar al dúo Arenal-Chato. La cordillera Central posee, entre otros, los complejos Platanar-Porvenir, Poás-Congo, Barva-Cacho Negro, Irazú-Liebres y Turrialba-Dos Novillos (Sáenz,1971; Alvarado et al. 1980, 1986; Alvarado, 1984; Paniagua, 1984).

De estos conjuntos volcánicos, históricamente (al menos de 1800 al presente), solo el Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba han tenido actividad eruptiva. El saldo es de una centena de muertes (Alvarado y Paniagua,1987). Sin embargo, muchos otros volcanes muestran indicios claros de actividad reciente y Holocénica. Algunos investigadores se encuentran en proceso de esclarecer esta historia (Melson et al. 1986, Alvarado, 1988, entre otros.).

Dada la escala megascópica del presente trabajo, no se entrará en minuciosos detalles sobre la peligrosidad volcánica y su vulnerabilidad implícita. Se remite pues al lector a los trabajos desarrollados en este campo: Sobre el volcán Arenal, Malavassi (1979,1981),Chiesa (1987),Borgia et al.(1988), Alvarado et al.(1988). Sobre la Cordillera Central en general, Paniagua y Soto(1987), sobre el Irazú, I.C.E.(1965), Alvarado (1987), Alvarado y Boschini (1988) y sobre el Turrialba, Soto (1988).

#### d) La sismicidad

-----

La sismicidad es la manifestación superficial de la liberación súbita de la energía mecánica endógena del planeta. Esta liberación y su transmisión, se realizan por medio de mecanismos dinámicos. En el caso de Costa Rica, el origen de la actividad sísmica obedece a la interacción de las Placas del Coco, Caribe y Nazca, ya sea por la fricción generada durante la subducción, o por desplazamiento lateral. Las fallas locales y superficiales, dentro de la placa Caribe, son también responsables de un alto nivel de actividad.

La energía es liberada luego de su acumulación en la corteza a causa de la generación de estados de esfuerzos y deformación críticos y de diversa índole (compresión, tracción,cizallamiento, transcurrancia,etc.), que culmina con una ruptura violenta en una zona de debilidad cortical (falla).

Los efectos secundarios que genera son producto de sus vibraciones : licuefacción, deslizamientos, oscilaciones del suelo, maremotos (tsunamis).

Considerando la sismicidad de Costa Rica y la naturaleza tectónica de las fuentes sísmicas que le han dado origen, Costa Rica puede ser dividido en tres grandes regiones, las cuales muestran una correlación cercana con las unidades morfotectónicas del país (Weyl, 1971; Mora, 1981,1983; Morales, 1987):

i)El litoral Pacífico o Región Arco-Fosa, caracterizado geomorfológicamente por la Fosa Mesoamericana en el mar y por las penínsulas y golfos de la costa. Esta región se encuentra afectada por la sismicidad derivada del proceso de subducción

(placa del Coco bajo la placa del Caribe), a lo largo, y a su extremo sureste por la zona de fracturas de Panamá (interacción de las tres placas). En esta región se originan temblores de profundidades menores a los 60 Km y se alcanzan magnitudes máximas cercanas a 8, es decir, de una gran capacidad de liberación de energía, sobre todo en las áreas de los golfos de Nicoya y Dulce (Morales, 1985). Las áreas de Quepos y Papagayo, a pesar de su manifiesta actividad, han liberado menos energía en lo que va del presente siglo. La intensidad máxima con que ha sido afectada la región, oscila entre VIII y IX grados (escala Mercalli Modificada), lo cual quiere decir que se han generado aceleraciones mayores al 50% de la gravedad.

ii) Valles y serranías del interior (Arco magmático y cuencas intra-arco). Esta región se encuentra separada de la anterior por un sistema de fallas que cruza el país con rumbo NW-SE, (Mora, 1979, 1981, 1983). Aquí, la liberación de energía sísmica se realiza por medio de fallas locales y someras (temblores intraplaca) (Montero y Dewey, 1982, Morales, 1985). Los pequeños temblores de origen volcánico, por su baja magnitud, no ofrecen un peligro significativo, y los eventos de subducción, dada su profundidad ( $Z > 70$  Km), no serán los más dañinos.

Son pues los sismos originados por la actividad de las fallas locales someras, los que poseen un mayor potencial destructivo, como lo demuestran los terremotos de Cartago, Pérez Zeledón-División, Tilarán, Fraijanes y otros, semejantes a los que han generado la destrucción de San Salvador y Managua. La vulnerabilidad en estas regiones es así muy elevada, dada la densidad de población. Los sismos generalmente son de una magnitud moderada ( $M < 6,5$ ), aunque han generado intensidades y aceleraciones importantes (VII-IX y 20-50%, respectivamente) (Montero, 1983; Morales, 1985).

iii) Llanuras del Norte y del Caribe (Área tras-arco)

Esta región se encuentra en la parte trasera del arco magmático y comprende un territorio de llanuras y tierras bajas con pequeñas colinas. Es la Región más tranquila desde el punto de vista tectónico y a ella corresponde la sismicidad más baja del territorio. La actividad por lo general, se circunscribe a un nivel de microtemblores ( $M < 3$ ), originados por fallamientos y deformaciones locales. La ciudad de Limón fue sacudida por un temblor local (7/1/1953,  $M=5.5$ , MM-VII), que causó daños, en especial, originados por la licuefacción de suelos arenosos. Las aceleraciones máximas esperadas para sismos semejantes, pueden no exceder en promedio un 20% de la gravedad.

### III-LOS EFECTOS COMBINADOS DE LAS AMENAZAS GEOLOGICAS

-----

Los fenómenos naturales, en función de los elementos y agentes que los controlan y disparan, no siempre actúan por sí solos; más bien tienden a combinarse y por ende, a multiplicar sus efectos y consecuencias.

En la tabla III, se muestra una manera de combinar los efectos

de los fenómenos naturales entre sí y en función del relieve. Es sencillo apreciar cómo en la realidad, muchas de las situaciones apuntadas se presentan en Costa Rica y frecuentemente también los resultados...

Debe apreciarse que prácticamente a todo lo largo de los ejes montañosos principales : Cordilleras de Talamanca, Central, Guanacaste y Fila Costeña, se combinan casi todos los fenómenos en forma cuasi-continua; por ejemplo: relieve fuerte, lluvias de alta intensidad, volcanismo, sismicidad, erosión, deslizamientos.

En otras palabras, con cada gran evento sísmico o período de alta actividad volcánica, será de esperar que también ocurran deslizamientos, erosión, lahares, etc., en especial cuando se presenten lluvias intensas.

Estos son los aspectos que mayormente deberán ser tomados en cuenta por los planificadores.

Tabla III. Matriz de combinación de fenómenos naturales, en casos en los que puedan presentarse simultáneamente.

	T	I	E	D	S	V	R	R	P
	D	N	R	E	I	O	E	E	L
	R	U	O	S	S	L	L	L	A
	M	N	S	L	M	C	I	I	N
	E	D	I	I	I	A	E	E	I
	N	A	O	Z	C	N	V	V	C
	T	C	N	A	I	I	E	E	I
	A	I		M	D	S			E
	S	O		I	A	M	F	S	S
		N		E	D	O	U	U	
		E		N			E	A	
		S		T			R	V	
				O			T	E	
				S			E		
SEQUIAS	. 1	. 1	. 1	. 2	. 2	. 3	. 6	. 6	. 6
TORMENTAS	.	. 4	. 5	. 7	. 8	. 9	. 10	. 11	. 12
INUNDACIONES	.		. 13	. 14	. 15	. 2	. 16	. 17	. 18
EROSION	.			. 19	. 19	. 20	. 21	. 22	. 23
DESLIZAMIENTOS	.				. 24	. 25	. 26	. 27	. 28
SISMICIDAD	.					. 29	. 29	. 30	. 31
	.						. 30	.	.
VOLCANISMO	.						. 32	. 32	. 32

CLAVES:

-----

- 1-Erosión intensa al entrar el invierno.
- 2-No hay conflicto.
- 3-Debilitamiento de la biosfera, en particular de la vegetación) y del suelo (lluvias ácidas, caída de cenizas,etc.)
- 4-Alta frecuencia de avenidas, erosión, sedimentación.
- 5-Erosión muy intensa, generación de sedimentos.
- 6-Susceptibilidad a la erosión eólica.
- 7-Alta susceptibilidad.
- 8-Deslizamientos y erosión al ocurrir un sismo en período lluvioso.
- 9-Lahares, deslizamientos, erosión.
- 10-Deslizamientos, erosión intensa y avalanchas de detritos.
- 11-Erosión laminar y concentrada.
- 12-Inundaciones.
- 13-Socavación de bancos aluviales.
- 14-No necesariamente hay conflicto.
- 15-Licuefacción.
- 16-Avalanchas.
- 17-Desbordamientos, erosión.
- 18-Gran susceptibilidad.
- 19-Luego del deslizamiento, gran erosión.
- 20-En fumarolas, áreas de alteración hidrotermal, superficies desprovistas de vegetación a causa de la lluvia ácida, luego caída de cenizas; generación de flujos de lodo.
- 21-Tierras malas, barrancas, cañadas, zurcos.
- 22-Cárcavas, zurcos, canales, erosión laminar.
- 23-Erosión laminar, en microcanales y canales.
- 24-Sobre todo durante la época lluviosa y en áreas de relieve fuerte.
- 25-Durante períodos de actividad y de alta pluviosidad.
- 26-Alta susceptibilidad en rocas y regolitos.
- 27-Suelos, profundos y someros, reptación.
- 28-Someros, reptación.
- 29-Deslizamientos.
- 30-Licuefacción.
- 31-Licuefacción, amplificación en el espectro.
- 32-Deslizamientos, lahares, coladas de alta tasa de emisión y alcance, lluvias ácidas, gases, transporte a larga distancia piroclastos según la dirección del viento.

IV-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-----

Se ha podido construir un Mapa de Amenazas Geológicas de Costa Rica, escala 1:500,000, a partir de la reunión y compilación de la información documental que a este respecto se encuentra disponible en el país.

El mapa cuenta con una evaluación a nivel de "amenaza", puesto que hasta la fecha, poco se ha avanzado en la evaluación cuantitativa del "riesgo" y de la "vulnerabilidad".

Se desprende de este análisis, que Costa Rica es un país

altamente susceptible al desarrollo de fenómenos de erosión intensa, deslizamientos, sismicidad y volcanismo. Se ha visto también cómo estos fenómenos se manifiestan de una forma mucho más intensa cuando combinan sus acciones con otros de naturaleza hidroclimática, como por ejemplo : las lluvias torrenciales de alta intensidad, las inundaciones y en menor grado, las sequías.

Sin embargo, día con día se aprecia cómo el hombre adquiere una doble y paradójica posición al respecto de esta situación. Por un lado, ha sido una causa mayor de la degradación del ambiente, gracias a la forma irracional con la que explota los recursos naturales, especialmente con prácticas agropecuarias incorrectas (sobrepastoreo, ganadería, deforestación), con una explotación irregular de las riquezas mineras (tajos, minas a cielo abierto), y con la construcción de carreteras y otras obras, sin el propósito de adaptarlas a las exigencias de la naturaleza, con propósitos malentendidos de economía.

Adicionalmente, el hombre es una víctima de los embates naturales, magnificados por su mismo accionar, pero sobre todo por exponerse a los espacios en donde se desarrollará su manifestación. Es así cómo ha invadido áreas dentro de los lechos mayores y menores de los ríos, regiones afectables por el volcanismo, deslizamientos, sismicidad, etc.

Tomando todo esto en cuenta, es imprescindible que las autoridades competentes, al igual que los encargados de la toma de decisiones políticas, de iniciativas privadas, etc., tomen conciencia de la necesidad de desarrollar planes de evaluación multidisciplinaria e integral, para lograr adaptar las obras de infraestructura y la vida del hombre en sí misma a este tipo de fenómenos. De continuar ignorándose esta realidad, en el futuro veremos repetirse, aunque por supuesto con mucha mayor intensidad y magnitud, los desastres que al efecto han debido ser (y que desafortunadamente no son) la experiencia orientada hacia la prevención que evite la continuidad de las pérdidas de vidas humanas y de factores socio-económicos. El trabajo de atención a los desastres NO debe seguir siendo tan solo de búsqueda y recolección de cadáveres, reconstrucción de puentes y caminos y de gastos de reconstrucción.

## BIBLIOGRAFIA

---

---

A continuación se presenta una completa lista bibliográfica, a partir de la cual se ha realizado el presente trabajo. Se trata de la enumeración de un fichero histórico, del cual por razones obvias de espacio y fluidez, solo se han citado las referencias consideradas por los autores como las claves. El lector podrá de aquí en adelante orientar mejor sus análisis, en especial si se trata de una investigación específica.

- Acevedo, M., 1976: Notas cronológicas del volcán Poás.- 100. Escuela de Ciencias Geográficas, U. Nac., Heredia, Costa Rica (Tesis inédita)
- Aguilar, A. (1984) Sismicidad del 3 al 9 de setiembre de 1980 y su relación con la Geología en la cabecera del río Navarro, Cartago Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Tesis
- Aguilar, C.H., 1977: Introduction to the Archeology of the Arenal Volcano Area: Tephrostratigraphy and Cultural Sequences.- National Geogr. Soc. Res. Resp. 1977 Projects: 95-107.
- Alfaro, A., Michaud, G. y Biolley, P., 1911: Informe sobre el terremoto de Toro Amarillo, Grecia. - Anales Centro de Estudios Sismológicos, 35-41.
- Alfaro, M.R., Fernández, E., Barquero, J., Rodríguez, J. & Rodrigo, M., 1986: Lluvia ácida de origen volcánico.- Bol. de Volc. de la Univ. Nac. No. 17 (ene-may), 15-22. Univ. Nacional, Heredia.-
- Allegre, C.J. & Condomines, M., 1976 Fine chronology of volcanic processes using 238 U-230Th systematics.- Earth Planet. Sci. Lett. 28 : 395-406.
- Alvarado, G.E., 1982: Geomorfología y Petrografía de algunas Provincias Volcánicas de Costa Rica.- Esc. Cienc. Geogr., Bol. Vulc., 14: 25-28; Heredia (1985).
- Alvarado, G.E., 1984: Aspectos Petroológicos-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica.- xii +183 págs.; Tesis de Licenciatura, Esc. Centroamericana de Geología. Univ. Costa Rica; San José.
- Alvarado, G.E., 1985: Consideraciones petrogeológicas de los estratovolcanes de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 3: 103-128; San José.
- Alvarado, G.E., 1986: Hallazgos de megamamíferos fósiles en Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central., 4:1-46; San José.
- Alvarado, G.E.; 1987. EL volcán Irazú: síntesis geológica, actividad eruptiva y peligro volcánico. Inf-prel. interno, Depto. Geología, ICE; 46pp.
- Alvarado, G.E. & Barquero, R., 1987: Las señales sísmicas del Volcán Arenal (Costa Rica) y su relación con las fases eruptivas (1968-1986).- Rev. Ciencia y Tecnología, II (1): 15-33, San José.

- Alvarado, G E & Boschini, I., 1988. Evaluación preliminar de las amenazas geológicas y periodos de recurrencia en el valle del Guarco. Cartago: Su eventual incidencia en el deslizamiento de San Blas 4 Sem. Nal. Geot.; Asoc. Cost. Meca. Suelos, Ing. Fund., CFIA; 14pp.
- Alvarado, G.E., Barquero, R., Boschini, I., Chiesa, S & Carr, N., 1986. Relación entre la neotectónica y el vulcanismo en Costa Rica. Simp. Intl. sobre neotectónica y riesgos volcánicos; 1-7 dic., 1986, Bogotá.
- Alvarado, G.E.; Morales, R.; Montero, W., Climent, A. & Rojas, W., 1988 Aspectos sísmológicos y morfotectónicos del extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central. Rev. Geol. Am. Central, 9.
- Alvarado, G.E.; Paniagua, S.; Tejera, R. y Kussmaul, S., 1980: Mapa del Vulcanismo Plio-Pleistoceno. Esc. Centroamericana de Geología, Univ. Costa Rica; San José.
- Alvarado, G.E. & Paniagua, S.; 1987. La catástrofe del volcán Nevado de Ruiz (1985), Colombia: Una perspectiva hacia la problemática volcánica de Costa Rica. Rev. Tecnología en marcha, 9(1), p. 46-69.
- Avila, G., 1978: Investigación y vigilancia del volcán Arenal, Alajuela, Costa Rica.- 40 págs., Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Departamento de Geología (Informe Interno); San José.
- Barquero, Ch., 1982: Ascensión al Volcán Tenorio, Guanacaste. Inf. Sem., Instituto Geográfico Nacional. 109-112 Jul-Dic., San José, Costa Rica.
- Barquero, Ch. & Segura, J. de D., 1982: La actividad del Volcán Rincon de la Vieja. Boletín de Vulcanología. 13: 5-10, Escuela de Ciencias Geográficas, Heredia.
- Barquero, R., 1981: Estudio de la Actividad sísmica del Volcán Arenal: Periodo 1968-1985. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (Inf. Interno) Depto. Geología, 32, San José
- Barquero, H.J., 1976: El volcán Irazú y su actividad. 63. Escuela de Ciencias Geográficas, Univ. Nac. Heredia, Costa Rica. Tesis
- Barquero, J., 1976: El volcán Irazú y su actividad.- 34 págs., Tesis de Licenciatura, Esc. de Ciencias Geográficas, Univ. Nacional; Heredia.
- Barquero, J., Boletín de Vulcanología.- Esc. Ciencias Geográficas, Univ. Nacional; Heredia. Boletines #1 al 17 (1978-1986).

- Barquero, J. & Fernández, E., 1985a: Actividad en el Volcán Tenorio.- En La República, 26 - V - 85, p. 11; San José.
- Barquero, J. & Fernández, E., 1988: Estado de los volcanes en Costa Rica. Enero-Dic 1987.- Bol. de Vulc., 19: 5-7, Univ. Nacional; Heredia, Costa Rica.
- Barquero, J.; Fernández, E. & Van der Laat, R., 1986: Estado de los volcanes, mayo 1983-dic 1984, volcán Arenal.- Esc. Cienc. Geogr., Univ. Nacional, Bol. de Vulc., 15:5; Heredia, Costa Rica.
- Barquero, J. & Malavassi, R., 1982: Excursión al Volcán Poás.-Esc. Ciencias Geográficas, Bol. de Vulc., 14: 120-131; Heredia.
- Barquero, J. & Segura, J. de D., 1983: La actividad del Volcán Rincón de la Vieja.- Esc. Ciencias Geogr., Bol. de Vulc. 13: 5-10; Heredia.
- Barquero, R., 1986: Estudio de la actividad sísmica del volcán Arenal: Período 1968-1985.- 43 págs.; Depto. Geología, ICE (inf. Interno).
- Bellon, H. & Tournon, J., 1978: Contribution de la géochronométrie K-Ar à l' étude du magmatisme de Costa Rica, Amérique Centrale.- Bull. Soc. Géol. France. (7), XX, 6: 955,959; Paris.
- Bennett, F.D., 1982: Fumarolas Subaqueous Pool of sulfur in Volcano Poás, Costa Rica. Seminario Vulcanológico Conjunto, USA-CR. 10-16 enero 1982., San José.
- Bennett, F.D. & Raccichini, S. 1977: Las erupciones del Volcán Arenal, Costa Rica. - Rev. Geogr. Amer. Central, 5-6, 1-11: 7-35; Heredia.
- Bennett, F.D. & Raccichini, S., 1978: Subaqueous sulfur lake in Volcán Poás. Nature. 271: 342-344. London.
- Bergoeing, J.P., 1978: La fotografía aérea y su Aplicación a la Geomorfología de Costa Rica. - 126 págs.; Esc. de Geografía, Univ. de Costa Rica, Inst. Geogr. de Costa Rica.
- Bergoeing, J.P., 1979: Geomorfología del Sector Volcánico La Nubes-Cabeza de Vaca.- Inst. Geogr. Nacional, Inf. Semest., enero a junio: 136-146; San José.
- Bergoeing, J.P., 1982: Dataciones radiométricas de algunas muestras de Costa Rica. Inf. Sem. Inst. Geogr. Nac., 71-86 Ene-Jun, San José, Costa Rica.
- Bergoeing, J.P. & Brenes, L.G., 1978: Laguna de Hule, una caldera volcánica. Inf. Sem. Inst. Geogr. Nac., 59-63 Jul-Dic, San José, Costa Rica.