

**MAPA PRELIMINAR SINTETICO DE
AMENAZAS GEOLOGICAS DE COSTA RICA.
SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO
DE LA INFRAESTRUCTURA CIVIL**

*Sergio Mora C.^{1,2}
Guillermo Alvarado^{1,3}
Luis D. Morales²*

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 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.

1. Departamento de Geología, Instituto Costarricense de Electricidad.-
2. Escuela Centroamericana de Geología-Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica.
3. Departamento de Geografía, Universidad de Costa Rica.

El mapa tiene carácter descriptivo y por supuesto NO de pronóstico, pues esencialmente presenta los sitios donde se han manifestado los fenómenos y 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, dérivant la génération, développement 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 là 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, 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, ainsi 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.

1. 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 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 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, dada su remotidad, baja densidad de población y aislamiento de comunicaciones.

Por último, debe tenerse presente que este mapa ha sido plasmado utilizando un enfoque cualitativo, es decir, para alcanzar una definición tan sólo de AMENAZA, basada en información histórica, geológica y climatológica, pretendiendo establecer las áreas donde las «posibilidades» de ocurrencia de los fenómenos son altas y latentes. No debe confundirse, pues, con el mapa de RIESGO, carece aún del enfoque cuantitativo-estadístico (probabilístico o determinístico) necesario, ya que aparte de no haberse definido todavía el término de VULNERABILIDAD para completarlo.

2. 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.



HOLOGIA (GEODINAMICA EXTERNA)

1. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)

2. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)

3. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)

HOLOGIA (GEODINAMICA INTERNA)

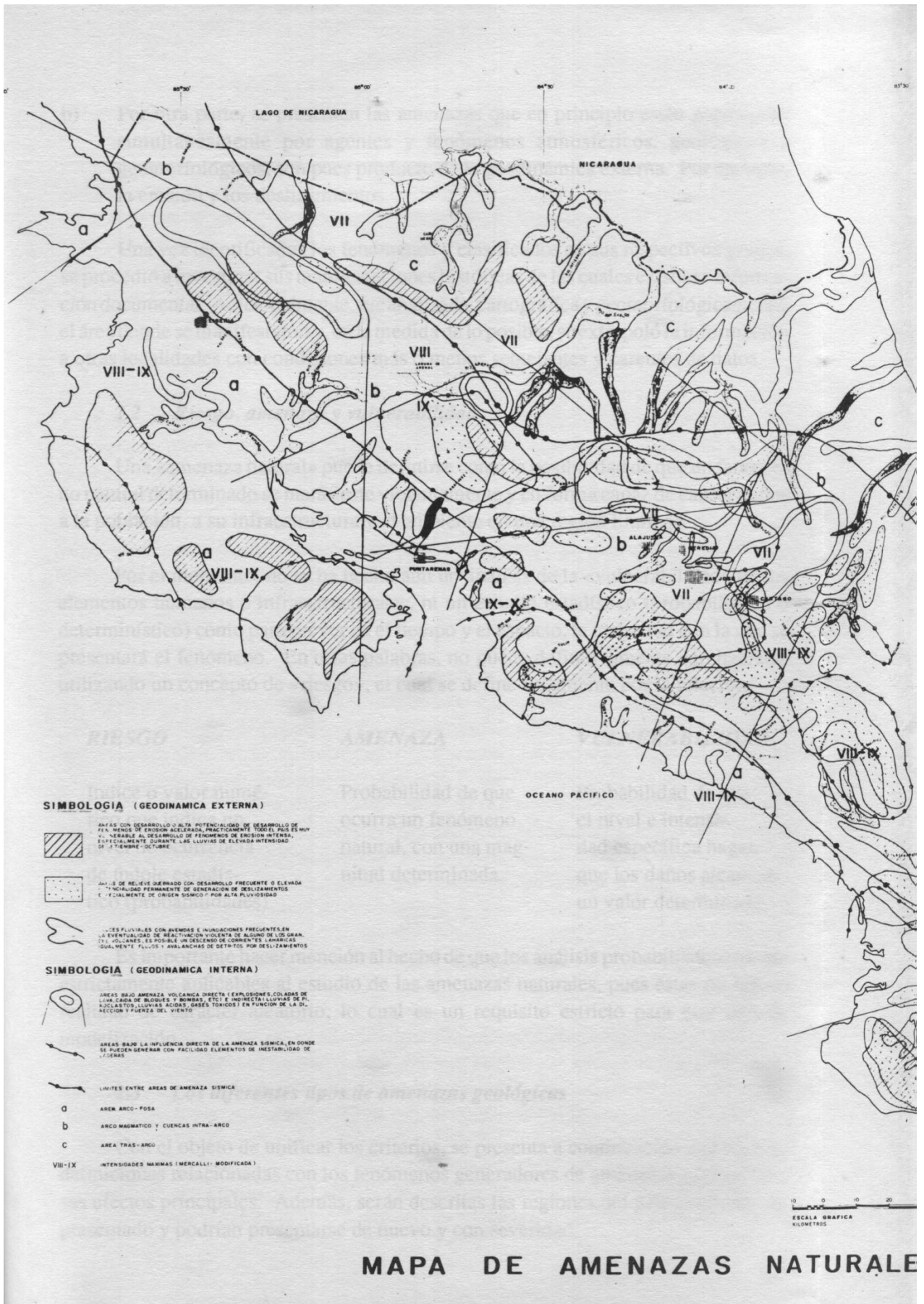
4. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)

5. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)




6. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)

- 7. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)
- 8. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)
- 9. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)
- 10. ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA (ZONAS DE ALTA INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD TECTONICA Y SISMICA)




MAPA DE AMENAZAS NATURALES



SIMBOLOGIA (GEODINAMICA EXTERNA)

-  AREAS CON DESARROLLO O ALTA POTENCIALIDAD DE DESARROLLO DE FENOMENOS DE EROSION ACCELERADA, PRACTICAMENTE TOTAL, PLUS O MINUS, DEBIDO AL DESARROLLO DE FENOMENOS DE EROSION INTENSA, ESPECIALMENTE DURANTE LAS LUBVIAS DE ELEVADA INTENSIDAD DE 7 TIEMBRE - OCTUBRE
-  AREAS DE HELVEJE QUERRADO CON DESARROLLO FRECUENTE O ELEVADA INTENSIDAD PERMANENTE DE GENERACION DE DESLIZAMIENTOS ESPECIALMENTE DE ORIGEN SISMICO POR ALTA PLUVIOSIDAD
-  AREAS FLUVIALES CON AVENIDAS E INUNDACIONES FRECUENTES EN LA EVENTUALIDAD DE REALIZACION VOLCANICA DE ALGUNO DE LOS GRANDES VOLCANES, ES POSIBLE UN DESCENSO DE CORRIENTES LAMINARES IGUALMENTE FALLOS Y AVANCHAS DE DETritos POR DESLIZAMIENTOS

SIMBOLOGIA (GEODINAMICA INTERNA)

-  AREAS BAJO AMENAZA VOLCANICA DIRECTA (EXPLOSIONES COLADAS DE LAVA, CAIDA DE BLOQUES Y BOMBAS, ETC) E INDIRECTA (LUBVIAS DE P. VOLCANICAS, LUBVIAS ACIDAS, GASES TOXICOS) EN FUNCION DE LA DIRECCION Y FUERZA DEL VIENTO
-  AREAS BAJO LA INFLUENCIA DIRECTA DE LA AMENAZA SISMICA, EN DONDE SE PUEDEN GENERAR CON FACILIDAD ELEMENTOS DE INESTABILIDAD DE TIERRAS
-  LIMITES ENTRE AREAS DE AMENAZA SISMICA
- a** AREA ARCO - POSA
- b** ARCO MAGMATICO Y CUENCAS INTRA-ARCO
- c** AREA TRAS-ARCO
- VIII-IX** INTENSIDADES MAXIMAS (MERCALLI - MODIFICADA)

ESCALA GRAFICA
KILOMETROS

MAPA DE AMENAZAS NATURALES

- b) Por otra parte, se presentan las amenazas que en principio están gobernadas simultáneamente por agentes y fenómenos atmosféricos, geológicos y geomorfológicos; son pues 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 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 aún un análisis de la «vulnerabilidad» de los elementos humanos e infraestructurales, ni un estudio estadístico (probabilístico o determinístico) como para prever en el tiempo y el espacio, la magnitud con la que se presentará el fenómeno. En otras palabras, no puede definitivamente aún hablarse utilizando un concepto de «riesgo», el cual se define finalmente por la relación:

RIESGO	AMENAZA	VULNERABILIDAD
Indice o valor numérico que indica un nivel de ocurrencia de índole estadístico (probabilidades).	Probabilidad de que ocurra un fenómeno natural, con una magnitud determinada.	Probabilidad de que el nivel e intensidad específica hagan que los daños alcancen 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 éstas 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 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 sólo 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 es la remoción de partículas del suelo, en forma más o menos uniformes y homogéneas, 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 detritus de sus suelos constitutivos.

Erosión concentrada ocurre cuando por alguna razón propia a la disposición o estructura propias del suelo o de 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
- 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, Pirrís. 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.

b) 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 detritus.

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 Chitarfa de Turrialba, Río Chiquito de Tres Ríos, San Blas de Cartago, Purisil de Orosi y otra gran cantidad 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 el deslizamiento de 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.

TABLA 1.
PRINCIPALES SISMOS GENERADORES DE DESLIZAMIENTO.
AVALANCHAS EN COSTA RICA (Mora y Morales, 1985)

<i>Fecha</i>	<i>Localidad N/S</i>	<i>Coordenadas MM (grad, min)</i>	<i>Intens. Max</i>	<i>Observaciones</i>
30/12/1888	Fraijanes	10,8/84,11	VII-VIII	Deslizamientos y avalanchas en ríos Poás y Tambor, 5 muertos.
29/08/1911	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.
06/06/1924	Sarchí	10,11/84,16	VII	Deslizamientos y avalanchas en Fila Gorrión, Bajos del Toro, Grecia, Sarchí, 4 muertos.
04/03/1924	Orotina	9,51/84,33	IX-XX	Deslizamientos en Aguacate y Turrubares. Daños en caminos y vía férrea.
30/12/1952	Patillos	10,02/83,35	VII	Grandes deslizamientos y avalanchas en ríos Blanco y Sucio, Rancho Redondo, Tierras Morenas, Bajo Máquina, 21 muertos.
01/09/1955	Bajos del Toro II	10,14/84,19	VIII	Deslizamientos y avalanchas en Río Segundo, 10 muertos.
14/04/1973	Tilarán	10,27/84,54	VIII-IX	Deslizamientos y caminos destruidos en Río Chiquito, El Líbano, Tilarán, 23 muertos.
03/07/1983	División	9,30/83,40	VIII-IX	Deslizamientos, grandes daños a la Carretera Interamericana, caminos vecinales, viviendas en Pérez Zeledón, Buenavista, Alaska, Siberia, Chimiro, Rivas, etc., 1 muerto.

Existe, además, gran cantidad de deslizamientos en las cauces 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 1).

El sismo de 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 km² (tabla 2).

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 (Cachí-El Humo-Pejibaye) (Mora et al., 1988).

Vale la pena mencionar, también, la enorme cantidad de deslizamientos generados durante la construcción 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 cañon de los ríos Virilla, Tiribí y María Aguilar, en Barrio México, Los Guidos, Los Mojados, 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 1988 fue particularmente prolífico en deslizamientos, en vista de las abundantísimas lluvias que se presentaron en todo el país.

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

TABLÁ 2.
AREAS AFECTADAS POR LOS DESLIZAMIENTOS GENERADOS POR
EL TERREMOTO DE PEREZ ZELEDON (MS= 6,1, Z= 13 KM; 03/07/83)
Y SUS REPLICAS SUBSECUENTES.

(Según Leandro et al., 1983; Mora y Rivas, 1984; Mora et al., 1984; Morales y Leandro, 1985; Mora, 1988).

<i>Pendiente ladera (grados)</i>	<i>Area (km²)</i>	<i>Area desliz. ----- Area total (%)</i>	<i>Observaciones</i>
Menos de 20	16	12	Mayormente soliflucción 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 alteración.
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; genero 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 km²	65% (promedio)	

explosiones, erupciones, avalanchas calientes, emisión de piroclastos (cenizas, lapilli), sismicidad y emisión de gases y vapores tóxicos.

La actividad puede ser también 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 Orosi-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), sólo 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 holocéntrica. 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, ICE (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, transcurrencia, 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 morfoestructónicas 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 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 de 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 intraarco). 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 (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 de 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 trasarco). 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

TABLA 3.
MATRIZ DE COMBINACION DE FENOMENOS NATURALES, EN CASOS EN LOS QUE PUEDAN PRESENTARSE SIMULTANEAMENTE.

	<i>T O R M E N T A S</i>	<i>I N U N D A C I O N E S</i>	<i>E R O S I O N</i>	<i>D E S L I Z A M I E N T O S</i>	<i>S I S M I C I D A D</i>	<i>V O L C A N I S M O</i>	<i>R E L I E V E F U E R T E</i>	<i>R E L I E V E S U A V E</i>	<i>P L A N I C I E S</i>
SEQUIAS	1	1	1	2	2	3	6	6	6
TORMENTAS		4	5	7	8	9	10	11	11
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	30	31
VOLCANISMO							32	32	32

CLAVES

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 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. 11. Erosión laminar y concentrada. 12. Inundaciones. 13. Socavación de bancos aluviales. 14. No necesariamente hay conflicto. 15. Licuefacción. 16. Avalanchas. | <ol style="list-style-type: none"> 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 de 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 de piroclastos, según la dirección del viento. |
|--|---|

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 (07/01/1953, 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 3 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 casi 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 presentan lluvias intensas.

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

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 de la «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 hidrológica, 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 mal entendidos 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 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 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 socioeconómicos. 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.