

## AMENAZAS Y VULNERABILIDAD: EL CASO DE LOS RÍOS REVENTADO Y TOYOGRES, CARTAGO

*Minor Alvarado Rojas*<sup>1\*</sup> minor.alvarado@gmail.com

*Denis Durán Vargas*<sup>\*</sup> duranvar@yahoo.com

*Karol Fallas Corrales*<sup>3\*</sup> karolfallascorrales@gmail.com

*Luis Diego Hernández Araya*<sup>4\*</sup> lhernadeza@poderjudicia.go.cr

*Ricardo Valverde Sánchez*<sup>5\*</sup> valverdes@yahoo.com

Fecha de recibido: 06 de marzo 2006 / Fecha de aceptación: 25 de julio 2006

### **Resumen**

*La ciudad de Cartago se caracteriza por ser un área vulnerable a eventos sísmicos y volcánicos, desbordes los ríos y presencia de grandes frentes de deslizamiento registrados en el área. Este trabajo pretende evaluar éstos fenómenos.*

**Palabras Clave:** lahares, conos de deyección, coladas de lava, deslizamientos, riesgo Industrial, sismos.

### **Abstract**

*Cartago city is vulnerable to seismic events, river floods, and many landslides. These work pretend to evaluate those risks.*

**Key words:** lahars, alluvial fans, lava flows, landslides, industrial risk, seismic events.

### **Résumé**

*La ville de Cartago se caractérise par sa vulnérabilité aux événements séismiques et volcaniques, aux débordements des rivières et à la présence de grands fronts de glissements de terrain dans ce secteur. Ce travail a pour but de pondérer ces phénomènes.*

**Mots clés:** lahars, cônes de déjection, coulées de lave, glissements de terrain, risque industriel, séismes.

## **Introducción**

El área de estudio corresponde al sector medio e inferior de las sub-cuencas de los ríos Reventado y Toyogres. Se incluye el piedemonte sur del volcán Irazú, un sector de los cerros de la

Carpintera y el contacto con las estribaciones de Talamanca. (Figura 1).

El centro de población más importante es la ciudad de Cartago; otras poblaciones son Quircot, San Rafael, Taras, Loyola, Tejar, Aguacaliente y Dulce Nombre.

1 \*Consultor Ambiental, Estudiante, Maestría Centroamericana en Geografía.

2 \*Liceo de Puriscal, Costa Rica, Maestría Centroamericana en Geografía.

3 \*Maestría Centroamericana en Geografía.

4 \*Fiscal Agrario Ambiental, Poder Judicial, Maestría Centroamericana en Geografía.

5 \*Consultor, Tribunal Latinoamericano del Agua, Maestría Centroamericana en Geografía  
Trabajo dirigido y supervisado por el Prof. Jean Pierre Bergoeing, Escuela de Geografía.

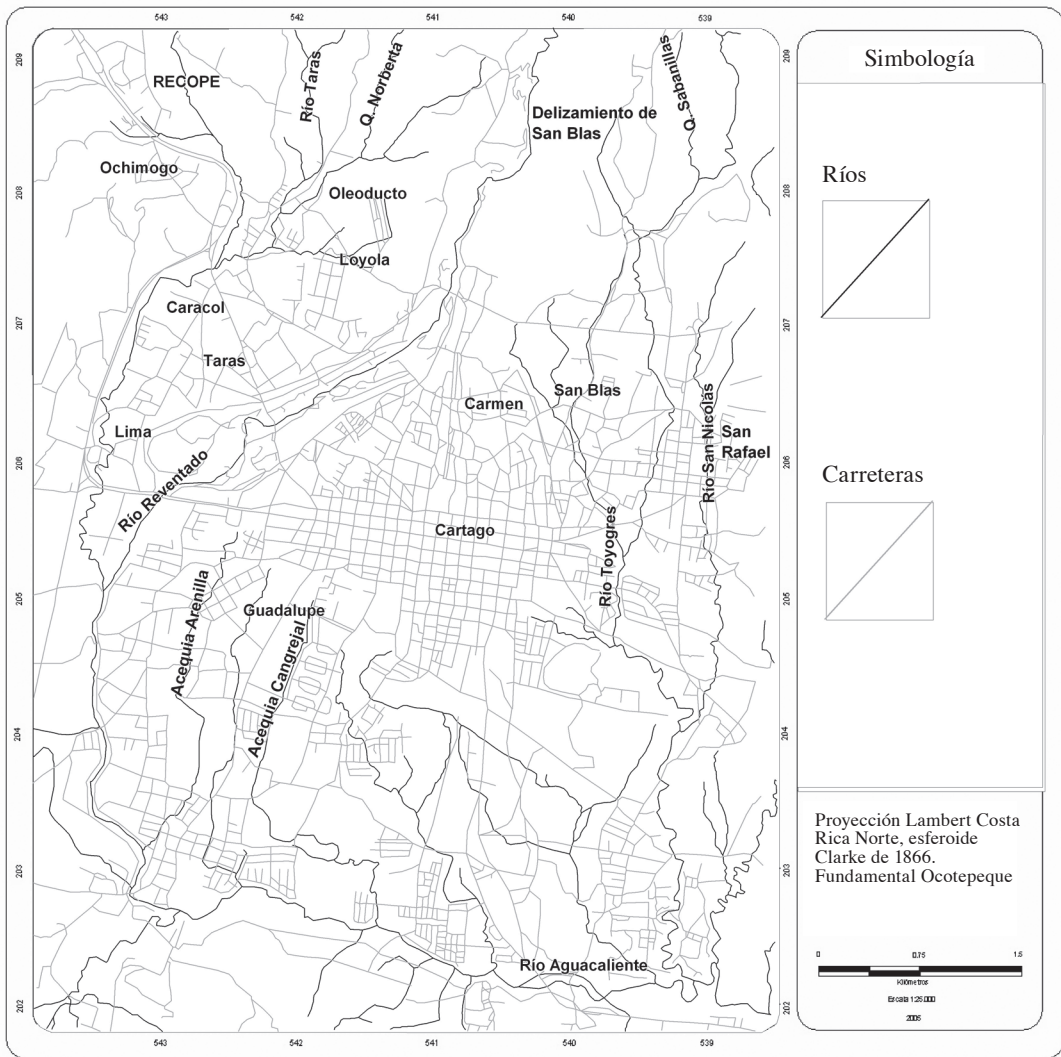


Figura 1. Mapa de localización.

Fuente: Hojas topográficas, 1:10.000, Tejar y Ochomogo, IGN.

### Aspectos geomorfológicos

El volcán Irazú se convierte en un elemento fundamental del modelado volcánico al aportar material que dio origen a las diferentes unidades geomorfológicas por medio de sus erupciones predominantemente estrombolianas, así como erupciones freáticas y fumarólicas. Este material volcánico ha servido como elemento

abrasivo al ser transportado por los ríos. (Escuela Centroamericana de Geología, 1982).

El modelado volcánico está representado por medio de coladas de lava y lahares (cuadro 1). La vertiente sur del Irazú forma parte del estratovolcán que ha edificado durante el Cuaternario hasta alcanzar los 3.453 m de altitud. La colada más reciente que se encuentra adyacente al área de estudio es la de Cervantes que data de hace

23. 000 años (Allègre y Condomines, 1976). Esta colada basáltico-andesítica se originó en los conos adventicios del cerro Pasquí y colindantes, y ocasionó el represamiento natural del río Reventazón a partir del sector de Cachí. Coladas más antiguas tapizan la vertiente sur del volcán Irazú y quedan al descubierto en los flancos y los talwegs de los cañones que la entallan. El material volcánico brinda los bloques retomados por la acción fluvial que, al descomponerse *in situ*, se transforman en arcilla y causan deslizamientos de terreno por saturación hídrica asociada a la pendiente. La colada

de Paraíso es el substrato volcánico (Cuaternario antiguo) más importante de este sector.

La red hídrica incluye un conjunto de ríos y quebradas que bajan del volcán Irazú formando profundos cañones, gracias a un material de base volcánico poco consolidado. El río Reventado ha desplegado una dinámica muy activa, sobre todo en el área de ruptura de pendiente donde los depósitos aluviales y laháricos forman una serie de conos de deyección; justamente, la ciudad de Cartago se encuentra sobre uno de ellos.

Cuadro 1

Unidades geomorfológicas	
Modelado lacustre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecho de antiguos lagos en Ochomogo y depresión de Coris.</li> </ul>
Modelado fluvial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taludes de cañón fluvial.</li> <li>• Conos de deyección.</li> <li>• Terrazas fluviales.</li> <li>• Fuentes termales.</li> </ul>
Modelado volcánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coladas de lava.</li> <li>• Lahares</li> </ul>
Procesos erosivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos.</li> </ul>

Un modelado lacustre se dio en el collado de Ochomogo, aquí tres antiguas lagunas definen el área lacustre que se fue secando por colmatación, y desaparecieron por la construcción de la carretera a Cartago. (Bergoing, 1998). La zona de Coris (sinclinal fallado) es igualmente una antigua área lacustre colmatada, cuyos sedimentos así lo demuestran, y está atravesada por una falla con dirección NO-SE, por donde hay surgencias termales, lo que se observa en la quebrada Barahona.

El modelado fluvial está representado por taludes de cañón, zonas de deyección, terrazas fluviales y fuentes termales.

Los taludes de cañón se forman por la fuerte competencia fluvial y por la pendiente acusada en los depósitos volcánicos; el resultado es la existencia de profundos cañones como el de los ríos

Reventado y Toyogres. A partir del área de ruptura de pendientes, el material arrastrado formó los conos de deyección que han entorpecido el escurrimiento de ríos y quebradas, los cuales siguen la misma dirección hasta alcanzar el río Aguacaliente que es el colector principal. (Foto 1).

Los taludes, en particular los del Reventado, se encuentran desestabilizados por la extracción de material para construcción, lo que propicia grandes deslaves durante la época lluviosa. A esto hay que agregar que las últimas erupciones volcánicas del Irazú crearon condiciones pluviales excepcionales que produjeron los trágicos aluviones laháricos que arrasaron con el sector de Taras, al oeste de la ciudad de Cartago en 1963.

La mayor parte del área de estudio está recubierta por conos de deyección laháricos formados por los ríos Reventado y Toyogres a

partir de la cota 1550 msnm. La ruptura de pendiente crea una pérdida de competencia fluvial que obliga al material transportado más grueso a depositarse en las márgenes fluviales, así como en el plano inclinado, lo que origina los abanicos aluviales.



Foto 1. Cañón del río Toyogres cerca del poblado de Dulce Nombre. Obsérvense los cantos rodados de grueso calibre de la terraza inferior y el material fluvial acumulado de la terraza superior. El talud mide un total de 20 metros y en él se observan episodios críticos diversos que se manifiestan por los estratos fluviales de granulometría diversa, en general muy heterométricos

Estos depósitos son de tipo caótico, en los que los materiales se depositan en forma aleatoria y presentan tamaños que van desde el milímetro hasta bloques de varios metros de diámetro y con diferentes grados de alteración.

El río Reventado ha originado, durante el Pleistoceno y el Holoceno, un cono complejo que ha evolucionado del este hacia el oeste siguiendo los caprichos de los depósitos fluviales asociados a erupciones del Irazú. La parte más antigua es la que colinda con el río Toyogres (Figura 2) donde se sobreponen tres generaciones de conos. El más antiguo (CT5) se sitúa al sur y constituye un cono terraza que limita con el río Aguacaliente y está separado del cono intermedio (C4) por un talud de erosión. El cono intermedio se sitúa en el área de Dulce Nombre y limita con un cono más reciente (C3) por otro talud de erosión. Este tercer

cono es donde se asienta la parte este de la ciudad de Cartago. El resto de la ciudad de Cartago se ubica sobre un vasto cono Holoceno (C2), limitado al oeste por el río Taras y el Reventado, y al sur por el río Aguacaliente. Es sobre este abanico aluvial que discurre el actual río Reventado, que ha entallado un nuevo cono (C1) en el último proceso del año 1963.

El cono Holoceno se caracteriza también por un drenaje importante que aguas arriba forma un cripto-drenaje al sur de la ciudad de Cartago. Este cripto-drenaje es una prueba del escurrimiento subterráneo del Reventado a través del cono C2. Aguas abajo, pese a la ruptura de pendiente, los ríos que discurren se encañonan y dan origen a dos niveles de terraza fluviales.

El río Toyogres, de menor caudal que el Reventado, ha creado una serie de conos coalescentes en la zona de ruptura de pendiente. Estos conos son modernos y se sobreponen a un cono más antiguo que llega hasta el río Aguacaliente. El Toyogres forma un profundo cañón donde dos niveles de terrazas fluviales son igualmente visibles. El nivel fluvial superior se encuentra en algunos sectores urbanizado y se diferencia del nivel inferior por un material de cantos rodados menos voluminosos que descansa en una matriz arcillo-limosa estratificada. Dichas terrazas son una prueba de los diferentes eventos fluviales que han modelado el terreno y que se perpetúan hasta hoy.

El río Toyogres ha creado en esta área las terrazas fluviales más desarrolladas; dos de ellas son ampliamente visibles en Dulce Nombre. La terraza superior del Toyogres en ambas márgenes es ancha y se confunde paulatinamente con los conos de deyección C3 y C4. El lecho mayor del Toyogres en su curso inferior presenta bloques de gran tamaño que marcan una gran competencia. Los lugareños constatan anualmente como las crecidas del Toyogres inundan la zona urbana aledaña. En general, las otras quebradas que entallan los conos C3 y C2 también han construido terrazas fluviales.

El río Aguacaliente corresponde al curso inferior del río Reventado y es el principal colector del área norte antes de unirse con el Reventazón. Este río se caracteriza por un lecho caudaloso formado por bloques y cantos rodados, que



discurre y aprovecha un alineamiento tectónico con dirección este-oeste, donde hay surgencias termales, como en la zona del Hervidero. El termalismo del área corresponde a la infiltración profunda del

agua de lluvias del flanco sur del volcán Irazú, que es expelida bajo la forma de agua termal azufrada y brota por la red de fallas tectónicas al sur de la ciudad de Cartago. (Figura 2).

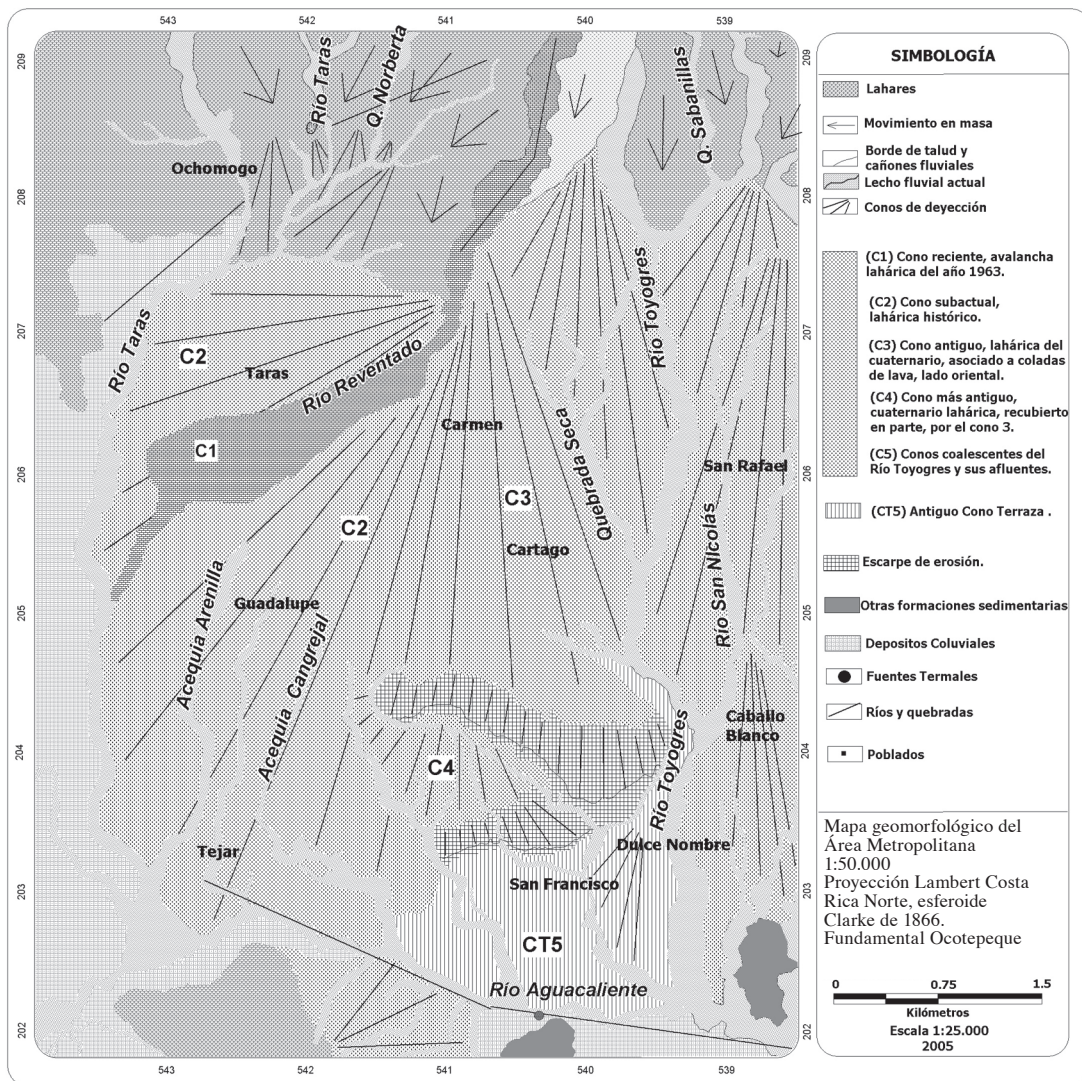


Figura 2. Geomorfología de los ríos Reventado y Toyogres, Cartago, 2005.

Fuente: Hojas topográficas, 1:10.000, Tejar y Ochomogo, IGN.

Los lahares se localizan en el piedemonte del volcán Irazú y constituyen la materia prima de los conos de deyección depositados por los ríos que discurren por el piedemonte volcánico.

Los lahares asociados a periodos de lluvias frecuentes e intereses se componen principalmente de pómez, lapilli, escorias, cenizas y fragmentos de lavas principalmente andesíticas. Cuando han

ocurrido erupciones violentas y explosivas del Irazu, estas se asocian a pluviales extraordinarias y se producen deslaves (lahares fríos), que se canalizan por la red hídrica y se encañonan principalmente en el río Reventado. Este material es acumulado y arrastrado en forma torrencial y caótica, lo que desestabiliza aun más los taludes de los cañones fluviales y crea flujos cíclicos catastróficos que en el período actual destruyen casas y vidas humanas. La periodicidad de estos eventos, que puede exceder el período de vida de un ser humano, hace que se pierda fácilmente la noción de que constituye una amenaza, y cuando forzosamente vuelve a suceder, cobra sus víctimas porque se han reducido las medidas de prevención. Es este material lahárico el que ha dado origen en el Cuaternario superior y el Holoceno a los conos coalescentes del sector de Cartago ya descritos.

Se han identificado varios grandes deslizamientos en el área de estudio. El deslizamiento de San Blas, al norte de la ciudad de Cartago, sobre la margen izquierda del río Reventado, es el de mayor magnitud y de mayor actividad. (Foto 2). Estrada (1986) señala que el deslizamiento comprende una secuencia de materiales laháricos que se encuentran sobreyaciendo a una colada de lava andesítica local, sobre la cual se deslizan los materiales de depósitos caóticos que incluyen arena, guijarros, grava fina y fragmentos de lavas; por eso Vahrson y Cartín (1992) indican que la textura del material tiene un rango amplio que va desde arcillas hasta bloques de un diámetro de 5 metros.



Foto 2. Deslizamiento de San Blas. Obsérvese la maquinaria que trabaja extrayendo material de la base del deslizamiento, y que contribuye así a la desestabilización de la masa deslizante.

La extensión longitudinal del deslizamiento es de aproximadamente 1500 m y muestra un ancho máximo de 500 m. (Vahrson y Cartín, 1992); abarca una superficie aproximada de 70 ha. y tiene un volumen cercano a los 60 millones de m<sup>3</sup>. (Mora y Mora, 1994). De acuerdo con Estrada (1986), entre mayo de 1974 y noviembre de 1985 el hundimiento fue de 11.2 m, y el desplazamiento horizontal fue de 93.6 m., lo que demuestra lo activo e inestable del talud y el peligro potencial que representa.

Tres deslizamientos de menor magnitud se ubican al noroeste del área de estudio. Dos de ellos se encuentran a ambos lados de la carretera que conduce a Cartago, específicamente en el flanco sureste del collado de Ochomogo. En este sector el fuerte talud artificial creado al construir la carretera Florencio del Castillo ha contribuido a desestabilizar el material al propiciar los procesos de remoción en masa. Finalmente, entre los ríos Taras y Arriaz, al noroeste del poblado de Quircot, se ubica el tercer deslizamiento.

## Un área de amenazas

El área de estudio se puede calificar bajo la condición de multiamenazas, porque fenómenos de diferentes orígenes la han afectado a lo largo de su historia: los flujos de lava, erupciones de ceniza, violentas avenidas de los ríos asociadas a lahares, fuertes sismos que han destruido la ciudad de Cartago en varias oportunidades, son algunos ejemplos de los procesos que se conjugaron para dar forma a un paisaje que nos recuerda que, si en el pasado ocurrieron estos fenómenos, nada impide que se repitan en el futuro. Si a esto asociamos la acción del ser humano como elemento desestabilizador de la naturaleza y generador de nuevas amenazas, el panorama se vuelve aun más complejo. La acción del ser humano se observa en la construcción de carreteras que desestabilizan las vertientes por falta de obras de retención de materiales, ríos y quebradas contaminados por residuos industriales y domésticos, obras de infraestructura construidas sobre terrenos inestables, instalaciones de industria petroquímica y poblados en áreas de alto riesgo de inundaciones. Como se puede apreciar, las condiciones están





La amenaza volcánica existe sobre la ciudad de Cartago; tanto los registros geológicos como las crónicas coloniales y reportes científicos de la evolución del volcán Irazú dan cuenta

de una larga historia de actividad: emisión de coladas de lava, erupciones de cenizas, lanzamiento de bombas, lapilli y actividad sísmica. (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2

Principales eventos de la historia eruptiva del volcán Irazú, Cartago, Costa Rica. Periodo 1719-2001

Año	Características
1719	El Gobernador de Costa Rica informa de sismos originados en el volcán que han destruido algunas casas en Cartago.
1723	Fuertes erupciones de ceniza acompañadas de temblores. La actividad se inició en 1723 y se prolongó hasta 1724.
1724	Flujos de lodo en el río Reventado.
1726	Erupciones.
1821	Erupciones de escorias.
1917-1918	Erupciones piroclásticas, las lluvias de cenizas llegan hasta San José y Heredia.
1933	Lluvias de cenizas, sismos relacionados con la actividad del volcán. Se calcula que en 6 días precipitó 1 300 000 m <sup>3</sup> de ceniza.
1939-1940	Erupciones de cenizas que cubren grandes extensiones, causantes de la muerte de animales y destrucción de cultivos en el área de Cartago.
1961	Actividad fumarólica.
1963-1965	Erupciones de ceniza y lanzamiento de bloques y bombas. Se oyeron explosiones y los bloques fueron lanzados hasta 1 Km. de distancia. Capas de ceniza cubrieron todo el Valle Central. Daños en edificaciones y cultivos.
1963	Flujo de lodo en el río Reventado que causó daños cuantiosos en el área de Taras de Cartago.
1991	Actividad sísmica.

Fuente: Mora (1990), Oconitrillo (1997), Solano (2003), Comisión Nacional de Emergencias ([www.cne.go.cr](http://www.cne.go.cr)) y Escuela Centroamericana de Geología (1992)

Se estima que el Irazú tiene lapsos de retorno de actividad entre 6 y 67 años, no siempre con la misma intensidad. (Barquero, citado por Fernández et. al. 1998). Es importante recalcar que en tiempos históricos no hay registro de emisión de coladas de lava. Además, los efectos de la actividad del Irazú no solo se han hecho sentir en el área de Cartago, ya que durante las erupciones de 1963, el área afectada alcanzó un radio de 100 km<sup>2</sup>. (Escuela Centroamericana de Geología, 1992. En dos oportunidades, 1724 y 1963, las grandes avenidas del río Reventado han estado asociadas con las erupciones del volcán Irazú. Un nuevo evento de esta magnitud

generaría un desbalance hidrológico en la cuenca y provocaría coladas de barro o lahares con sus respectivas amenazas en las poblaciones aguas abajo, principalmente en la parte oeste, en Taras de Cartago. (Calvo, Pallevson, Leandro, Castro, Rojas y Torres, 1998)

Las emisiones de ceniza del volcán también constituyen una amenaza porque al acumularse grandes espesores de ese material se recubren y se pierden cultivos; algunas estructuras edificadas pueden sufrir colapso por el exceso de peso; se generan enfermedades respiratorias entre los pobladores, y los efectos de la lluvia ácida se hacen más fuertes.



Cuadro 3

## Principales sismos que han afectado al área de Cartago

Año	Consecuencias
1678	Daños en iglesias de Cartago.
1728	Daños en casas de Cartago.
1756	Temblor de San Buenaventura, que destruyó muchos edificios en Cartago.
1841	Terremoto de San Antolín. Primera destrucción de Cartago. También fueron destruidos Curridabat y Tres Ríos. Hubo varios muertos.
1910	Segunda destrucción de Cartago. El 60% de los edificios de la ciudad fueron destruidos y murieron 600 personas.
1951	Daños en Paraíso, Orosi y lugares aledaños.
1952	Terremoto de Palillos, en las faldas del volcán Irazú. Los deslizamientos provocaron destrucción de infraestructura y la muerte de 21 personas.

Fuente: Taylor (1994), Schmidt y Flores (1996), Solano (2003)

La amenaza volcánica en el área de estudio es patente. Ya sean emisiones de ceniza, lluvias de piroclastos, bombas, coladas de lava, lahares, cualquiera de estos fenómenos anteriores se repetirán fatalmente. Incluso algunos autores como Solano (2003), Vahrson y Cartín (1992) y la Escuela Centroamérica de Geología (1992) consideran que, tomando en cuenta los períodos de retorno de las erupciones del Irazú, se ha de esperar un evento de considerable magnitud a muy corto plazo. La Comisión Nacional de Emergencias (CNE 2005) plantea los siguientes escenarios sobre las posibles consecuencias de una erupción volcánica del Irazú:

- Caída de cenizas cuyo volumen puede ser lo suficientemente considerable como para hacer colapsar las infraestructuras, en especial, hacia el norte del cantón de Cartago.
- Corrientes de barro en la cuenca del río Reventado, que sepultarían y arrastrarían las infraestructuras localizadas cerca del cauce de dicho río como el oleoducto de RECOPE,

puentes, línea férrea, acueducto de Orosi, líneas de transmisión eléctrica, área industrial de Cartago y asentamientos humanos.

- Emanación de gases que afectaría a la población en general, cultivos y ganadería.

La figura 4 define las áreas de amenaza del Irazú. Para ello, a partir del cráter principal del volcán se trazaron círculos concéntricos de un radio de 5 Km. El nivel V corresponde al área aledaña al cráter, e incluye poblados como Pastora y San Juan de Chicué que podrían quedar completamente destruidos. Poblaciones como Pacayas, Cot y Tierra Blanca se ubican dentro del nivel IV de alto riesgo. El nivel III, que es intermedio, incluye gran parte de la ciudad de Cartago y los poblados de Cervantes y Ochomogo. En el nivel II se ubican el resto de la ciudad de Cartago, Paraíso, Tejar y Tres Ríos. En el nivel I la población de Tobosí. El intervalo de 5 km. es estimativo del área inmediata del volcán y puede variar según el tipo e intensidad eruptiva, así como el tiempo de duración de la actividad volcánica.

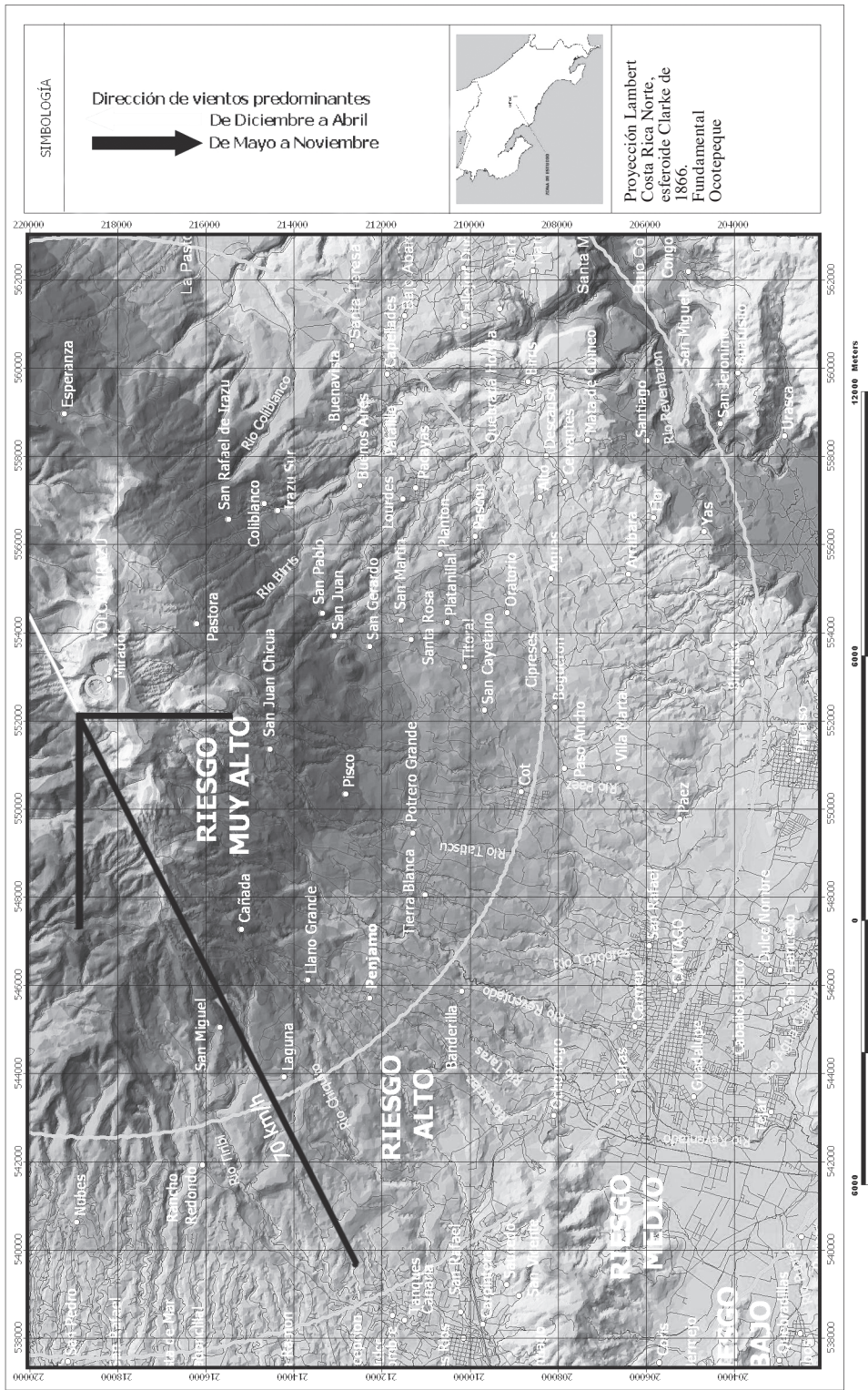


Figura 4. Mapa de riesgo volcánico de la ciudad de Cartago y alrededores.  
Fuente: Hoja topográfica, 1:50.000, Istarú, IGN. Escuela Centroamericana de Geología. Informe técnico final, 2005.

La ciudad de Cartago presenta una amenaza sísmica al ubicarse en un fallamiento local que ha originado los terremotos que asolaron la ciudad de Cartago en los años 1841 y 1910. (Oconitrillo, 1997).

La historia sísmica de Cartago (Cuadro 3) permite identificar el área de estudio con un nivel de amenaza V. Para Oconitrillo (1997) el movimiento de tierra hacia los cauces sería una de las consecuencias asociadas con un movimiento sísmico. Esto sería particularmente riesgoso para el caso del río Reventado, donde el deslizamiento de San Blas podría acelerarse de forma violenta.

Los deslizamientos constituyen una fuerte amenaza en el área de estudio, tanto por la posibilidad de que los paquetes en movimiento desestabilicen y destruyan las infraestructuras urbanas y rurales, como por el aporte masivo de material a los cursos fluviales, que generarían represamientos y avenidas de gran magnitud. Los deslizamientos ubicados al noroeste de Cartago son relativamente pequeños, por lo que se les ha adjudicado un nivel de amenaza IV. Pueden causar problemas sobre todo por derrumbes en las carreteras y destrucción de casas y edificios en el área de Quircot y en el poblado de Ochomogo. El deslizamiento de San Blás, por ser de mayor magnitud, y por su cercanía al río Reventado, se identifica con un nivel de amenaza V.

El deslizamiento de San Blás se encuentra activo y constituye una amenaza seria para las comunidades ubicadas en la parte baja de la cuenca del Río Reventado, incluso la ciudad de Cartago. (Figura 2) A lo largo de los años la superficie afectada por el deslizamiento ha ido en aumento. Vahrson y Cartín (1992) señalan que entre 1975 y 1978 la corona retrocedió unos 90 m, entre 1978 y 1986 retrocedió 200 m. En 1975 el área afectada era de 39.9 ha, en 1978 fue de 42 ha y en 1986 aumenta a 54.5 ha. Para 1994, de acuerdo con los datos aportados por Mora y Mora (en Denyer y Kussmaul, 1994), la superficie aproximada era de 70 ha, con un volumen cercano a 60 millones de m<sup>3</sup>. Este aumento constante de material deslizado por el proceso de remoción en masa indica que el deslizamiento está activo y que conforme pasa el tiempo el volumen del material en movimiento va creciendo también, por lo tanto, la amenaza es cada vez mayor.

La intervención del ser humano, específicamente con la instalación de tajos que extraen materiales directamente del material en movimiento, hacen que este desplazamiento sea muy dinámico. Calvo (1998) y Oconitrillo (1997) señalan que el deslizamiento se activó en los años sesenta debido a la explotación de material en su base. Estrada (1986) señala que los tajos ubicados en el frente del deslizamiento están socavando la base y contribuyendo a acelerar el movimiento del material. El mismo autor indica que el peligro inmediato del deslizamiento de San Blás radica en la posibilidad de que un aumento brusco en la velocidad del movimiento de la masa deslizante supere el nivel de la actividad extractiva del tajo y de la erosión del río, con lo que se formaría entonces un represamiento. La conjugación de varios factores es lo que podría ocasionar esa situación; entre ellos se puede mencionar un período de pluviosidad anómalo, un aumento en la recarga del acuífero local con la consiguiente elevación del nivel freático, un sismo de intensidad elevada, nuevas actividades eruptivas del volcán Irazú y persistencia del manejo inadecuado de la cuenca.

Las consecuencias inmediatas serían la destrucción de los tugurios asentados en la boca del cañón del Reventado. Las aguas no solo fluirían por el talweg sino también por los tajos abiertos en la vía férrea, inundando esta vez áreas residenciales; finalmente, los asentamientos urbanos ubicados en la zona de los diques también desaparecerían.

En la figura 3 se señalan las áreas de mayor amenaza por inundaciones fluviales y las quebradas con mayores posibilidades de producir este tipo de evento. Para el río Toyogres se han definido tres niveles de amenaza, correspondientes a alto (IV), moderado (III) y bajo (II). El nivel IV se identifica a partir del punto donde hay una fuerte ruptura en la pendiente, que corresponde además al área donde los ríos de la región han originado sus respectivos conos de deyección. Esta área se extiende hasta el poblado de San Rafael y en ella la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) ha identificado a los barrios de Dulce Nombre y Caballo Blanco como los más vulnerables ante eventuales inundaciones del Toyogres. El nivel III se extiende desde San Rafael hasta las instalaciones del Instituto



Tecnológico de Costa Rica; a partir de aquí el Toyogres disecta un pequeño cañón, en un área de pendiente más suave hasta su confluencia con el río Aguacaliente. (Figura 3)



Foto 3. Casas en la zona de los diques, muchas de las cuales están construidas con materiales muy frágiles. También se observa que algunas de las viviendas se han construido en el lecho de inundación del río, mientras que otras están ubicadas sobre los diques.

En el río Taras se identificó un área de nivel III a la altura del poblado de Quircot. En este punto confluyen tres ríos y los pobladores mencionan inundaciones que se han presentado en el pasado. Se determinó un nivel de amenaza II para el río Aguacaliente, pues discurre por una topografía de suave pendiente, pero ha excavado un pequeño cañón que puede limitar en cierta medida el desbordamiento de la corriente de agua.

Una atención especial merece el río Reventado, ya que ha sido el que en mayor medida ha contribuido a la evolución geomorfológica del área de estudio; su principal afluente es el río Taras, y al unirse el Reventado con el Purires, dan origen al río Aguacaliente. La dinámica fluvial del Reventado se asocia con la destrucción y el desastre, al punto que Solano (2003) califica a la cuenca de este río como “*un lugar donde habita la amenaza*”. (Foto 3). Desde la época colonial se llevan registros de las avenidas y flujos de lodo provocados por este río. (Cuadro 4)

Cuadro 4

Registro histórico de las avenidas del río Reventado. Cartago, Costa Rica Fuente: Solano, 2003

Fecha	Causa	Efectos
Febrero 1724	Actividad del volcán Irazú.	El río se desborda y destruye una casa. No hay registro de personas muertas.
Octubre 1861	Condiciones hidrometeorológicas	Fuerte temporal en todo el país. El río se desborda e inunda la ciudad de Cartago. No se registran muertes.
1871	Condiciones hidrometeorológicas	El río se desborda y desvía su curso hacia el oeste
Octubre 1891	Condiciones hidrometeorológicas	Inundación producida por ruptura de una presa natural a pocos kilómetros de Cartago. Se afecta una cuarta parte de la ciudad. Hubo 5 muertos y 174 casas destruidas.
Noviembre 1928	Condiciones hidrometeorológicas.	Rompimiento de represas naturales. La ciudad de Cartago se inunda, mueren 4 personas y hay serios daños en diversas obras de infraestructura en toda la ciudad.
Octubre 1951	Condiciones hidrometeorológicas.	Daños considerables en caseríos como Taras, El Carmen, Agua Caliente, Tierra Blanca y otros. Nuevamente la ciudad de Cartago es cubierta por las aguas.
Diciembre 1963	Actividad del volcán Irazú.	Un flujo de lodo se convirtió en un enorme cauce de 500 metros de ancho que arrasó todo a su paso. Hubo 20 muertos, 500 casas destruidas, miles de damnificados, y millones de colones en pérdidas de obras de infraestructura, incluyendo casas, puentes, carreteras, redes de distribución eléctrica, etc.



Las avenidas del Reventado han inundado en la mayoría de los casos la ciudad de Cartago. También queda claro que los eventos de máxima descarga del río no han sido solo producto de las condiciones hidrometeorológicas, sino que al menos en dos ocasiones han tenido su origen en la actividad del volcán Irazú, incluyendo el evento de 1963, que ha sido el más destructivo hasta hoy. Después de 1963 y hasta el año 2003, se contabilizaron más de 47 inundaciones del Reventado, que ocasionaron daños en poblaciones que se encuentran en la cuenca inferior, donde hay mayor población y mayor infraestructura urbana. (Solano, 2003). Estrada (1986) menciona que al menos 5 inundaciones excedieron un caudal máximo de 150 m<sup>3</sup>/seg. Oconitrillo (1997) manifiesta que las márgenes del río Reventado son sumamente inestables, con presencia de una serie de desprendimientos y deslizamientos de tierra, entre ellos los de Llano Grande, Misión San Blas y Rodeo que constituyen los principales agentes erosivos y agentes generadores de corrientes de lodo.

Solano (2003), sostiene que el mayor período de recurrencia de las avenidas del Reventado es de 37 años, y el menor de 12 años. Estrada (1986) explica que el aumento en la cantidad de avenidas del río Reventado es causado por la pérdida de su capacidad de regulación hidrogeológica, ocasionada en su mayor parte por la destrucción de la cobertura forestal, los malos manejos agropecuarios, la ausencia total de planificación, la impermeabilización que causó la ceniza volcánica, y las fuertes pendientes y la inestabilidad de laderas provocan que los deslizamientos activos desprendan material que ocasiona represas en el río y el agua acumulada ejerce entonces la suficiente presión para romper el represamiento; se generan avalanchas con las grandes cantidades de lodo y bloques.

El área identificada con el nivel V comprende el abanico aluvial formado por el Reventado en el último flujo de lodo que depositó en 1963. Con el fin de proteger a la ciudad de Cartago y a los pueblos vecinos de futuras avenidas del Reventado, en 1964 se construyeron dos diques mayores y otros de menores dimensiones a lo largo de curso inferior del río. Aunque estas estructuras debieron haber cumplido su función,

no aliviaron el problema de las avenidas del Reventado. (Fallas y Gutiérrez, 1992) Con el paso del tiempo, los diques fueron ocupados en forma espontánea por familias de escasos recursos. Salgado (2002) menciona que surgieron comités de vecinos en los nuevos barrios que coordinaron con la municipalidad de Cartago y con políticos del área para la instalación de alumbrado público, agua y luz en las casas que se fueron instalando, e incluso el Ministerio de Obras Públicas y Transporte contribuyó con la construcción de caminos. También señala Salgado (2002) que estas acciones violaron la Ley 3459 de 1964 en la que se creaba la reserva nacional del río Reventado, y en la cual se prohibía la instalación de obras de infraestructura residencial, comercial e industrial en el área comprendida entre el puente La Turbina y la confluencia del Reventado con el río Purires.

Es posible que ante una avenida de la magnitud de las que se presentaron y dieron origen paulatinamente a los abanicos aluviales del Reventado, los diques no resistan la fuerza del agua y una gran inundación arrase con los poblados asentados en el área. El nivel IV se ha definido para una amplia región que incluye los poblados de Taras, Loyola y Orontes, al oeste del Reventado, y gran parte de la ciudad de Cartago, al este. Son sectores que se inundarían igualmente, pero con consecuencias menores. El nivel III comprende el resto de la ciudad de Cartago.

La primera es el área del oleoducto ubicado al norte de la ciudad de Cartago, el cual, en su recorrido hacia el alto de Ochomogo, pasa por varios poblados y atraviesa varios ríos. Su longitud es de 31.6 Km. y su diámetro es de 150 mm. Su capacidad de bombeo es de 100 m<sup>3</sup>/h. El principal factor de amenaza serían los derrames que podrían contaminar los ríos del área y provocar explosiones o incendios con consecuencias para las poblaciones cercanas.

El plantel de la refinadora costarricense de petróleo (RECOPE) constituye la segunda amenaza. Este plantel posee una planta de almacenamiento y de elaboración de productos petroquímicos en el alto de Ochomogo. Frente a este plantel pasa la carretera que une las ciudades de Cartago y San José. En los alrededores del plantel han surgido urbanizaciones y se han instalado comercios e industrias.

El plantel de distribución El Alto ocupa un área de 10.000 m<sup>2</sup> con una capacidad de almacenamiento de 66.470 m<sup>3</sup>. Aquí se almacenan productos como diesel, gasolina regular, gasolina súper, queroseno, búnker, asfalto y emulsión asfáltica. La estación de bombeo tiene un tancaje de 80.000 m<sup>3</sup>. Una de las principales amenazas que presenta el plantel de RECOPE es la posibilidad de que se produzca un incendio que, dadas las características del producto almacenado en el lugar, sería de dimensiones catastróficas. Los efectos se harían sentir no solo en el Alto de Ochomogo, sino que la onda expansiva de una explosión alcanzaría a poblados como Taras,

Quircot y la ciudad de Cartago. (Figura 3) Solís (2003) demostró que para el año 2003 las bombas instaladas en el plantel de El Alto no eran capaces de suplir las necesidades requeridas ante un posible incendio. Esto se debe principalmente a que el sistema contra incendios existente no contemplaba el crecimiento que tuvo el plantel en los últimos años. Los derrames del combustible almacenado y otras sustancias químicas son otra posibilidad de amenaza que ya se han presentado en años anteriores. Loaiza (2003) hace un recuento de los principales derrames ocurridos en los últimos años. (Cuadro 5)

Cuadro 5

Principales derrames en el plantel El Alto, RECOPE. Cartago, Costa Rica Fuente: Loaiza (2003)

Fecha	Producto derramado
16 - 02 - 2003	Búnker
12 - 03 - 2002	Disolución jabonosa
16 - 03 - 2001	Diesel
03 - 05 - 2000	Asfalto
28 - 02 - 2000	Asfalto
23 - 12 - 1998	Emulsión asfáltica
04 - 06 - 1998	Asfalto
11 - 11 - 1991	Asfalto

Los asentamientos humanos marginales en los diques de Taras forman la tercera área de amenaza al estar localizados en la planicie de inundación y el área de los diques. Las comunidades de Barrio Fátima, Taras, Guadalupe, El Tejar, El Carmen se señalan como las más vulnerables ante eventuales inundaciones del río Reventado. Los diques fueron construidos en 1964 con un carácter preventivo; sin embargo, fueron ocupados por familias de escasos recursos en las décadas de los ochenta y noventa. (Salgado, 2002) La CNE estimaba para el año 2000 habría una población aproximada entre 5.800 y 6.200 personas ubicadas en la zona de los diques; esta población se distribuye en los caseríos de Barrio

Nuevo, Linda Vista, Barrio La Cruz y Cinco Esquinas, La Unión, La Mora, Miguel Trejos y Miraflores, con un total de 577 unidades habitacionales. A estos caseríos expuestos a la amenaza por inundación, se agregarían las 450 unidades habitacionales ubicadas en el cantón del Guarco.

La tendencia de crecimiento poblacional hacia el sector aledaño a los diques, e incluso dentro de estos, es reflejo de la negligencia institucional, ya que tanto la citada ley No. 3459 como el decreto 22384 de 1994 brindan a las autoridades locales los mecanismos legales para *restringir con fines preventivos* la ocupación del área de los Diques de Taras. (Salgado, 2002) (Figura 5).

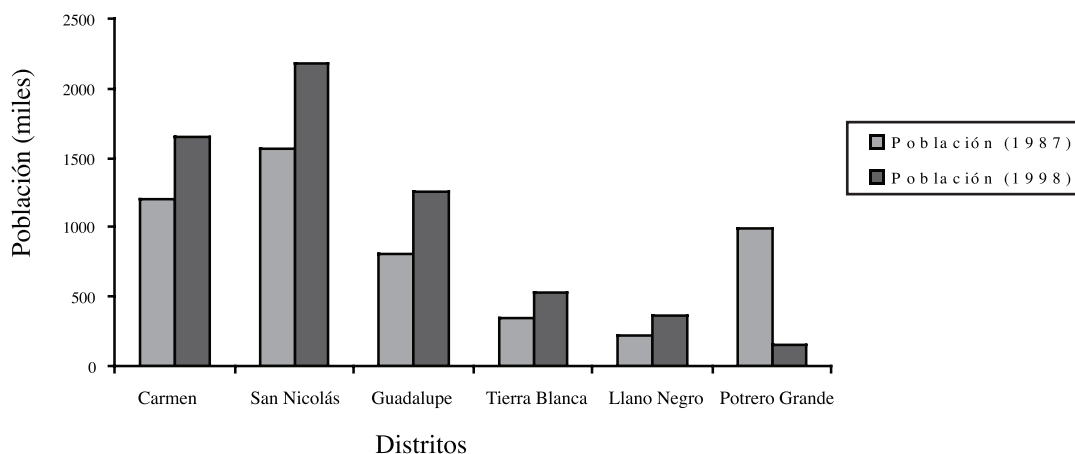


Figura 5. Crecimiento poblacional en los distritos aledaños a Los Diques, ciudad de Cartago, período 1987-1998, Costa Rica.

Fuente: Calvo *et al.* (1998)

El parque industrial de Cartago es la cuarta área de amenaza. Aparte de la zona de Ochomogo, la actividad industrial dentro del área de estudio se ubica principalmente en el parque industrial Zona Franca de Cartago en la cuenca interior del río Reventado, contiguo a carretera Interamericana Sur, entre Taras y Tejar. (Calvo *et al.*, 1998). En este parque se identifican 31 empresarios, subdivididos en textileras, industrias manufactureras, industrias químicas y artefactos electrónicos.

Fuera del área delimitada dentro de la zona franca, se encuentran otras instalaciones industriales ubicadas entre el parque industrial y el Alto de Ochomogo, como son: fábricas de pintura, aerosoles, centros de acopio de fertilizantes (Abonos superior, Agrotico), cosméticos (AMSA), un plantel de la Dos Pinos, parques de gas natural (Total, Gas Zeta y Elf); contiguo al plantel de Gas Zeta se encuentra la urbanización "Hacienda del Rey". Muchas de estas industrias representan una amenaza de alto nivel pues utilizan productos químicos que, dado el caso, podrían originar derrames que contaminarían las áreas aledañas. Incluso se pueden presentar también incendios que, dado el contenido de los productos que allí se elaboran, se extenderían con gran facilidad, sin mencionar el riesgo de toxicidad de estos; el peligro crece por el crecimiento urbano desordenado en la zona contigua a las industrias.

## Conclusiones

La estrecha relación entre la naturaleza y el ser humano es patente en la dinámica geomorfológica y antrópica del área de estudio. A partir de la elaboración del mapa geomorfológico se confeccionó el mapa de amenazas, y esto pone de manifiesto esos estrechos vínculos. Algunos procesos naturales como la dinámica fluvial, se ven alterados por la acción humana y se convierten en amenazas para las poblaciones. Algunos fenómenos naturales se constituyen por sí mismos en amenazas para el ser humano; casos concretos son la actividad eruptiva del Irazú, o los sismos que afectan la zona. Pero muchas de las amenazas se han convertido en tales por la acción desestabilizadora del ser humano, como el deslizamiento de San Blas, que fue activado por la desestabilización de las laderas al extraerse el material en los tajos. En el caso del río Reventado, es una amenaza por sí mismo, pues a lo largo de los siglos ha tenido avenidas de gran magnitud que originaron los conos de deyección, pero la acción desestabilizadora del ser humano con la ocupación de terrenos aledaños al cauce de este río para uso habitacional, ha contribuido a acelerar los procesos erosivos que tarde o temprano generarán un nuevo aluvión, que incluso podría llegar a destruir parte

de la ciudad de Cartago y sectores como Taras y La Lima. Estos eventos que presentamos como

pronóstico en el momento de hacer el estudio se cumplieron en el año 2008 (figura 6).

**4** LA TEJA  
Jueves 4 de Octubre del 2007

## 200 casas dañadas en seis comunidades por fuertes aguaceros

# Cabeza de agua le dio a Cartago



**Cartago**

Provincia: **Cartago**  
Población: **143.274 hab**  
Extensión: **282,77 kms<sup>2</sup>**

◆ **ROBERTO ACOSTA D. Y JORGE CALDERÓN**  
Periodista y corresponsal de La Teja

**¡Viene cabeza de agua, todo el mundo corra!** Ese era el segundo llamado de la Comisión Nacional de Emergencias a los vecinos de la Lima de Cartago ante el temor de más destrucción, ayer por la tarde. Las lluvias avivaron la fuerza del Reventado y otros ríos que golpearon, durante hora y media, 200 viviendas y falsearon al menos siete puentes en seis lugares como: Llano Grande, Taras, Quircot, La Lima, El Guarco y San Nicolás.

Unas 150 casas se inundaron por completo, de ellas siete fueron destruidas en su totalidad. Milagrosamente no hubo víctimas mortales que lamentar.

Varios ingenieros analizaron el

**CREO QUE**

**CARLOS ARAYA**  
AFECTADOS

“Mi casa quedó totalmente afectada. Un familiar perdió artículos”



**PASTORA LANUZA**  
AFECTADA

“Tuvinos pérdidas totales. Yo estaba con una familiar cuando inundó”



JORGE CALDERÓN PARA LT

estado en que quedó un dique que protege la ciudad de Cartago.



Los cartagos con palas y escobas trataron de salvar algo.



Las calles fueron ríos de barro.

**Hace 44 años mató a seis y destruyó 500 casas**

## El río Reventado tiene su historia

◆ **ROBERTO ACOSTA D.**  
racosta@latija.co.cr

**La furia del río Reventado** mató a unas seis personas y afectó a más de 500 viviendas, el 10 de diciembre de 1.963 en Cartago.

En ese momento, el Gobierno del presidente Francisco J. Orlich envió un proyecto a la Asamblea Legislativa para entregar €5 millo-

nes a los damnificados.

Una de las empresas que llevó la peor parte fue KATIVO, ubicada en Taras, cuyas instalaciones quedaron tapadas por el barro.

Entre las comunidades que resultaron afectadas hace 44 años estaban Llano Grande, Guadalupe y Tres Ríos. La magnitud de la emergencia fue considerada una tragedia nacional.



Varios carros quedaron llenos de barro en La Lima de Cartago.

**Ayer en Sierpe**

## Una tonelada de coca

◆ **KAROL ESPINOZA ULLOA**  
kespozoa@latija.co.cr

**Una tonelada de cocaína** fue decomisada ayer en los márgenes del Río Sierpe, en Osa.

El trabajo fue un operativo conjunto entre el Ministerio de Seguridad y el OIJ.

Según los datos, la droga estaba enterrada en dos puntos cercanos.

Desde la semana anterior se mantiene un patrullaje en la zona tras informaciones de que narcotraficantes están pasando por el lugar.



Sierpe se ha convertido en un paraíso para la droga.



El 11 de diciembre de 1.963, el diario La Nación publicó la destrucción.



Barro y troncos dificultaron el paso por el sector de La Lima de Cartago.



Así quedó la calle que conduce de Taras al centro de Cartago.

Figura 6. Autorización de reproducción Periódico La Teja. 04 de octubre de 2007. Cabeza de agua le dio a Cartago.



El área de estudio se cataloga como una zona de alto riesgo y elevada vulnerabilidad económica, social y ecológica, debido a las múltiples amenazas naturales y antrópicas identificadas. Se identificaron múltiples amenazas que se asocian con la frecuente incidencia de eventos naturales de mediana y gran magnitud en el área de estudio, los cuales se ven magnificados en su condición de amenaza ante el existente crecimiento urbano -en especial de aquellas poblaciones marginales-, industrial y comercial sin la debida regulación y planificación. Lo anterior incide en generar condiciones de creciente y acumulativa vulnerabilidad material y humana en la ciudad de Cartago ante la ocurrencia de eventos de carácter natural o antrópico. En este sentido hacemos un llamado a las autoridades respectivas en cuanto a los serios peligros que afectan al área de estudio. Es cierto que instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias y la Municipalidad de Cartago han abordado esta problemática. Pero consideramos que hace falta profundizar más. La amenaza en algunos casos es muy elevada y no se puede esperar a que un nuevo evento catastrófico cobre vidas humanas para empezar a tomar medidas de prevención y mitigación. También es importante recalcar que no toda la responsabilidad en cuanto a la prevención de los desastres debe recaer sobre las autoridades. En este sentido, la organización comunal debe asumir un papel protagónico, no solo con la conformación de Comités de Emergencia Locales, sino también exigiendo a las autoridades que cumplan con su deber. La elaboración de dos cartas y un mapa relacionados con la geomorfología y las amenazas del área de Cartago pueden constituir una herramienta muy útil para autoridades e investigadores interesados en al problemática de la región. Pero decimos "pueden" porque el uso que de ellos se haga es incierto. Si hay un verdadero compromiso por parte de esas autoridades, el trabajo realizado habrá cumplido sus objetivos y será un aporte valioso para enfrentar la problemática de la zona. Pero si sucede, como en muchos casos, que los mapas no se utilizan adecuadamente y quedan guardados en los estantes, nuestros objetivos no se habrán cumplido.

En última instancia, la problemática que se presenta en el área de estudio con respecto a

las amenazas evidencia la falta de una verdadera política de ordenamiento territorial que permita una zonificación adecuada del territorio con miras a darle el uso más adecuado. Dentro de esa zonificación, la determinación de aquellas áreas de mayor amenaza debe ser fundamental, pues de ello depende la seguridad de los pobladores. El establecimiento de tugurios en zonas de amenaza elevada en los diques, el surgimiento de urbanizaciones cerca de centros industriales como el plantel de RECOPE en el alto de Ochomogo y cerca del parque industrial de Cartago, demuestran la falta de planificación en una política urbanística y de un verdadero ordenamiento territorial. En este sentido, el presente trabajo es un llamado a las autoridades competentes y a la población en general para que tomen conciencia de los serios problemas que enfrentan cantones como Cartago y el Guarco, y se aboquen a la elaboración de planes de ordenamiento territorial con adecuado manejo del riesgo. Para ello es necesario que se asuma una visión de futuro y se establezcan diferentes escenarios que permitan analizar la realidad actual para planificar el desarrollo de la región a corto, mediano y largo plazo. Se debe dejar de lado la política de solucionar los problemas cuando se presentan, y más bien tratar de evitar que se presenten.

## Bibliografía

- Allègre C. J. y M. Condomines 1976. Fine chronology of volcanic processes using  $^{238}\text{U}$ - $^{230}\text{Th}$  systematics. *Earth Planet Sc. Lett.* 28, 395-406
- Bergoeing, J P. 1998. Geomorfología de Costa Rica.: Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica.
- Bergoeing, J P. 1982. Mapa geomorfológico de la Hoja Istarú. 1:50 000. Instituto Geológico Nacional. San José, Costa Rica.
- Bergoeing, J.P. y E Malavassi. 1986. Vallé Centrale du Costa Rica. Esquisse geomorphologique. 1:200.000. Université de Nantes.

- Bergoeing, JPyE. Malavassi. 1982. Geomorfología del Valle Central de Costa Rica: explicación de la carta geomorfológica 1:50 000. Departamento de Geografía Universidad de Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica
- Calvo G y O. Patterson; L. Leandro ;J. F Castro; Rojas J y G Torres. 1998. Análisis de Vulnerabilidad en la Cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. Curso: Manejo Integral del Riesgo en Desastres Naturales. Mimeografiado.
- Comisión Nacional de Emergencias. 2005. Erupciones volcánicas y sus consecuencias. www.cne.go.cr, San José, Costa Rica
- Denyer, P y O. Arias. 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central. N° 12.
- Denyer, P y S. Kussmaul. 1994. Atlas Geológico de la Gran Área Metropolitana, Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago.
- Escuela Centroamericana de Geología. 1992. Informe Técnico Final: Amenaza y estimación del riesgo del volcán Irazú, Cordillera Central, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Estrada, A. 1986. Estudio geológico-geotécnico del deslizamiento de San Blas, río Reventado, provincia de Cartago, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Tesis de Licenciatura en Geología.
- Fallas, J y M. Gutiérrez. 1992. Manejo de cuencas ante desastres naturales: Cuenca alta del río Reventado, Cartago. Revista Geográfica de América Central. # 25 y 26.
- Fernández, M. 1984. Los procesos sísmicos en el volcán Irazú (Costa Rica). Revista Geológica de América Central. N° 1, octubre. Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Instituto Geográfico Nacional. 1991. Mapas topográficos. Ochomogo, Tejar. Escala 1:10.000. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- Instituto geográfico nacional. 1981. Mapa Topográfico Istarú. Escala 1:50.000. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- ING y Jica. 1991. Mapa de uso del suelo de Ochomogo y Tejar. Instituto Geográfico nacional y Agencia Internacional de Cooperación Japonesa. San José, Costa Rica
- Loaiza, M. 2003. Estudios de evaluación de riesgos de derrames en el área de producto negro del plantel del Alto de RECOPE. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química.
- Muñoz, A. C. 2001. Distribución espacio-temporal del viento y del potencia de energía eólica en Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela de Física. Tesis de Licenciatura en Meteorología.
- Oconitrillo, G. 1997. La cartografía a escala grande y su importancia en el estudio de riesgos y prevención de desastres. El caso de las hojas Ochomogo y Reventado a escala 1:10000. Informe Semestral. Instituto Geográfico Nacional., Vol. Especial.
- Salgado, D. 2002. Problemática de la cuenca del río Reventado-Cartago: Los aspectos de ocupación en área de amenaza natural múltiple y los conflictos de uso del suelo en áreas con regulaciones preventivas. Comisión Nacional de Prevención

- de Riesgos y Atención de Emergencias. Mimeografiado.
- Sánchez, O. 1993. Determinación de áreas críticas mediante sistemas de información geográfica, cuenca del río Reventado, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Tesis de Maestría.
- Schmidt, V. y R. Flores. 1996. Microzonificación sísmica de la ciudad de Cartago, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Laboratorio de Ingeniería Sísmica.
- Solano, C. 2003. El ordenamiento territorial y la percepción del riesgo en el segmento inferior de la subcuenca del río Reventado, provincia de Cartago, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Postgrado, Tesis de Maestría en Geografía.
- Solís, J. 2003. Análisis y diseño de un sistema contra incendio en el plantel de almacenamiento y distribución de hidrocarburos, el Alto RECOPE. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química.
- Sprechmann, M. 1984. Manual de geología de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica
- Taylor, W. 1994. Característica sismo-dinámicas del suelo blando en la región central de la ciudad de Cartago, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Tesis de Licenciatura en Geología.
- Vahrson, W.G y N. Cartín. 1992. Deslizamiento de la cuenca media y superior del río Reventado, Cartago, Costa Rica. Revista Geográfica de América Central. N° 25 y 26.