

MECANISMOS DE DISPARO DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL VALLE DE OROSI

STARTING MECHANISMS OF MASS REMOVAL PROCESSES MASS IN OROSI'S VALLEY

Víctor Ml. Cortés Granados*
victor.cortes@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 1º julio 2009 - Fecha de aceptación: 3 agosto 2009

Resumen

Los procesos remoción en masa, como los deslizamientos, en el valle de Orosi son potenciados por las laderas de fuertes pendientes, sobre las cuales se encuentra una formación superficial muy meteorizada, que puede alcanzar varios metros de espesor, sobre los que actúa varios mecanismos de disparo como la sismicidad y la tectónica, asociado con otros disparadores, como la lluvia en forma de tormentas localizadas sobre puntos específicos, las cuencas superiores, así como por una densa red de drenaje, esta se comporta como torrentes, los cuales socaban sus riberas, inestabilizando las laderas donde colindan con el curso fluvial o, bien, por la red de caminos los cuales siguen un trazo de construcción sin considerar las características de la topografía local.

Abstract

The processes of removal in mass, like slidings at the Orosi Valley are favored by lands with high slope, on which ones there is a very meteorized superficial formation, that may reaches several meters of thickness. Various mechanisms triagger these processes, for instance the seismic and tectonic ones; in conjunction with other causes such as the rainstorms located in specific places as superior basins, plus a dense net of drainage behaving in away of torrents which undermine its shores, instabilizing the lands near to fluvial course. This lands removal also occurs due to roads construction without considering the characteristics of local topography.

Introducción

El Valle de Orosi, ubicado a SE de la ciudad de Cartago, unos 15 km de la misma, es una de las regiones del país de mayor belleza escénica, gracias a lo irregular de su topografía, lo cual hace que un buen número de turistas se sientan atraídos todo el año por el lugar. En este valle, sobresale el cultivo del café, frutales, choyote,

caña de azúcar, entre otros, los cuales ocupan una posición trascendental en la economía del lugar. Al lado de estas actividades, también se pueden encontrar importantes áreas naturales protegidas, como el Parque Nacional Tapantí, la Reserva Forestal Río Macho y otras de iniciativa privada, estas son aprovechadas para el ecoturismo. A éstas características hay que adicionarle su importancia en la producción de electricidad,

* Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica.

donde las plantas hidroeléctricas instaladas en el área de estudio, como Río Macho y Cachí, producen el 19 % de la energía hidroeléctrica producida en el país, así como el Acueducto Orosi, el cual abastece a más de 400000 personas (Ávalos, 2008) del área metropolitana, especialmente de las ciudades de San José, Cartago y Paraíso.

Sin embargo, ante todas estas importantes virtudes naturales que hacen del Valle de Orosi una región geográfica bien diferenciable en el país, la misma con su relieve mayoritariamente abrupto y constituido por formaciones superficiales muy meteorizadas y de gran espesor, provenientes de la alteración in situ de formaciones geológicas sedimentarias y volcánicas antiguas, en las cuales se tiene que esta alteración profunda de los materiales hace que en sus laderas se generen con frecuencia deslizamientos y otras formas de remoción en masa, al punto que toda su topografía irregular se puede catalogar como inestable, con el agravante que sobre ellas se asienta en forma dispersa una población de 15.884 personas (INEC, 2008).

Se entiende como formación superficial, según Dresch (1972), como las formaciones continentales, muebles o secundariamente consolidadas, provenientes de la desagregación mecánica o/ de la alteración química de las rocas preexistentes, bajo la acción sea de factores tectónicos o de factores bioclimáticos.

Dada la importancia antes destacada del Valle de Orosi, se considera fundamental estudiar las variables las cuales se pueden catalogar como propias de las laderas y preparan a las formaciones superficiales para que se deslicen mediante diversos tipos de procesos, con velocidades de desplazamiento distintas y a escalas espaciales y temporales diferentes, pero necesitan un mecanismo de disparo final para que se pongan en movimiento.

Para el área de estudio, se reconocen 4 variables consideradas como mecanismos de disparo final, las cuales pueden actuar de manera conjunta o separada para romper en definitiva la estabilidad relativa de las laderas y de todo cuanto se encuentre sobre su superficie. Estas son: 1-la sismicidad, 2-un régimen de lluvias severo y la afectación periódica de tormentas localizadas, 3-una red hidrográfica de comportamiento

torrencial, y 4-una red de caminos rústica que corta las laderas en múltiples direcciones.

Características del área de estudio

El área de estudio se localiza en la cuenca del río Grande de Orosi, esta tiene una extensión total de 402,7 km², de cuya superficie el área de estudio comprende 92,7 km², ubicados concretamente sobre las laderas paralelas al recorrido bajo de dicho río; es decir, el lugar donde se concentra la actividad agrícola, representada por el cultivo del café y algunos otros cultivos menos expandidos. Administrativamente, el estudio se localiza entre las localidades de Purisil, Orosi, Ujarrás y Cachí. Cartográficamente, se ubica en la hoja topográfica Tapantí (IGN 1963), en un 93,4% y el resto en la hoja topográfica Istarú (IGN 1963), ambas a escala 1:50000 (Figura 1).

En términos de la división política administrativa, el área está localizada dentro de los distritos de Orosi y Cachí, del cantón de Paraíso, provincia de Cartago, con una población de 10.072 y 5.813 habitantes, respectivamente (INEC 2008).

La zona de estudio está entre las áreas más lluviosas del país, donde la pluviometría varía de las partes más elevadas (3.365 msnm), a las más bajas (1000 msnm) de la cuenca entre los 7.556, 6.124 y 6.287 mm en las estaciones meteorológicas T-Seis, Sitio Presa Tapantí y Dos Amigos (IMN 2004), respectivamente, hasta un promedio de 1.665 mm, en las partes más bajas y planas de esta unidad geográfica. En el área delimitada para este estudio, la precipitación oscila entre 2.000 y 3.000 mm por año (ICE 2004). Esta precipitación se descarga sobre una topografía irregular y abrupta con una pendiente media de 33°.

Sobre los terrenos de laderas inestables, se encuentran suelos muy evolucionados, mayoritariamente ultisoles, (ICE 1998), derivados de formaciones geológicas sedimentarias muy antiguas del Oligoceno y Mioceno (ICE, 1998 y Badilla *et al*, 1999), fuertemente meteorizadas. En otros sectores, también aparecen materiales de origen volcánico (extrusivo e intrusivo), del Mioceno Superior y Plioceno, así como del Pleistoceno, entre los cuales dominan los materiales aluviales y coluvio-aluviales. Esta litología es cortada por una

Estos sismos pueden ser provocados por la zona de subducción entre las placas Caribe y Cocos, pero, principalmente, por fallas locales dentro o próximas a un área de interés o sus epicentros pueden estar a muchos kilómetros. La distribución de los deslizamientos va a depender de la magnitud y distancia epicentral, forma de propagación de la ruptura en el plano de falla, efecto de direccionalidad de ondas, condiciones de fallamiento tectónico, composición litológica y distribución del grado de meteorización de las formaciones geológicas, alteración hidrotermal de cada localidad, distribución de las réplicas sísmicas y del uso de la tierra.

También, se ha observado que las zonas con pendientes mayores de 30% y modelado irregular (el 56 % del área de estudio entra en ésta categoría) son las más propensas a deslizarse con la sacudida sísmica, dependiendo del estado físico y tipo de propiedades físicas de las formaciones superficiales, del grado de erosión y estabilidad de las pendientes. Sin embargo, estos sismos pueden no provocar deslizamientos al momento de ocurrir, sino solo debilitan y preparan la ladera para que sea otro sismo, una lluvia severa, un corte de camino o la erosión fluvial, la que las desplome.

Aunque en el área de estudio en épocas recientes no han ocurrido sismos que hayan

Cuadro 1.
Sismos en Costa Rica que han disparado deslizamientos

| Fecha | Lugar | Intensidad Max (MM) | Efectos |
|----------------|-------------------------------|---------------------|---|
| 30-12-1888 | Fraijanes | VII – VIII | Deslizamiento de 200 m de ancho que recorrió 0,5 km y dio origen a la actual Laguna de Fraijanes. Además, avalanchas en las cuencas de los ríos Poás y Tambor (muertos). |
| 10-10-1811 | Guatuso | VIII | Deslizamientos y derrumbes en la Cordillera de Tilarán |
| 06-06-1912 | Sarchí – Bajos del Toro | VII | Deslizamientos de cientos de hectáreas y avalanchas de lodo y represamiento de ríos en la Fila Gorrión, Bajos del Toro, Grecia, Sarchí. Casas y puentes destruidos y varios muertos. |
| 04-03-1924 | Orotina | IX - X | Deslizamientos en el Aguacate y Turrubares. Muchas casas y edificios dañados, así como la línea férrea y caminos. |
| 30-12-1952 | Patillos | VII | Deslizamientos de cientos de hectáreas y avalanchas de lodo hacia los ríos Blanco y Sucio, Rancho Redondo, Tierras Morenas, Bajo Máquinas. Casas dañadas, caminos destruidos y 21 muertos. |
| 01-09-1955 | Bajos del Toro | VIII | Deslizamientos, avalanchas de lodo, casas dañadas en la cuenca del río Segundo (10 muertos). |
| 14-04-1973 | Tilarán – río Chiquito | VIII - IX | Deslizamientos, de los cuales algunos siguen activos. Casas y caminos destruidos; edificios dañados (23 muertos). |
| 03-07-1983 | División– Buena Vista | VIII - IX | Deslizamientos en las degradadas cuencas de los ríos Buena Vista, Blanco y Chirripó Pacífico. Daños grandes en la Carretera Interamericana y caminos vecinales, edificios y cientos de casas dañadas. |
| 09-03-1985 | Purisil | M = 2,4 | Deslizamiento y avalancha en la Q. Santa María que amenazó con destruir el pueblo de Purisil. |
| 05 a 12 - 1990 | Puriscal | VIII | Gran deslizamiento donde se emplaza la Ciudad de Santiago. |

Fuente Mora y Mora (1994).

afectado sus laderas provocando deslizamientos, en otras regiones de Costa Rica, sí se han producido varios temblores (Cuadro 1), estos han generado deslizamientos, sobresaliendo el terremoto de Limón, del 22 de abril de 1991 y, recientemente, el del 8 de enero de 2009, denominado terremoto de Cinchona, los cuales se comentan resumidamente en este trabajo.

Según Mora - Mora (1994), los sismos que mejor se asocian con la generación de deslizamientos son los de magnitud e intensidad igual o superior a 5,2 (Ms) y VI (MM), respectivamente, al menos en la región central del país, la cual tiene la topografía más irregular, la mayor concentración de población humana, gran infraestructura y grandes áreas agropecuarias (café, caña de azúcar, horticultura y ganado de leche), coincidiendo con características geológicas y tectónicas favorables para la ocurrencia de sismos superficiales, (con un hipocentro a menos de 20 km de profundidad), originados en fallas locales.

El terremoto de Limón

Este terremoto ocurrió el 22 de abril de 1991, con una magnitud de 7,5 (Ms), una intensidad de más de VIII (MM) y se originó a 16,5 km de profundidad, en una falla inversa que buza 20° hacia el Suroeste, con un área de ruptura entre 55 y 85 km, la cual se extiende desde Punta Limón hasta Panamá (Fernández *et al*, 1994). Este sismo disparó una enorme cantidad de deslizamientos en las cuencas de los ríos Sixaola, Chirripó, Banano, Bananito y Reventazón, así como en las laderas cerca de los poblados de Guayabo, Tres Equis, La Suiza, La Garita de Alajuela, entre otros, que afectaron cerca de 2000 km² y destruyeron alrededor de 50 km² de bosque tropical húmedo primario, su flora y fauna. Esto provocó un desequilibrio hidrológico que generó inundaciones, avalanchas de lodo y contaminación con sedimentos de las aguas fluviales, lagunares y marinas, así como daños severos a la población, líneas vitales, actividades productivas y al ambiente.

Dentro de la extensión afectada, alrededor de 1525 km² presentaron al menos un deslizamiento por km² o hasta una tasa de destrucción en sus laderas de 15%. En cerca de 375 km² la

tasa de destrucción de las laderas alcanzó una proporción de 15 a 60% de la superficie y, en 75 km², las laderas fueron destruidas en más de un 60%. En alrededor de 25 km² ocurrió una destrucción prácticamente total; es decir, con una remoción cerca del 100% de la formación superficial y la vegetación, principalmente en el cañón fluvial del río Chirripó y en los alrededores de su confluencia con los ríos Moravia y Boyei, y en algunos sectores de las cuencas altas de los ríos Banano y Bananito.

Los deslizamientos fueron de cuatro tipos. 1-deslizamientos de la formación superficial regolítico (*regolithicflow*), en un 69 %, 2-desprendimiento y deslizamiento de masas rocosas (*rock-fall slide*), en un 20 %, 3-deslizamientos traslacionales de suelos y rocas entremezclados (*rock-earth slumps*), en un: 8 %, y 4-deslizamientos traslacionales de masas compuestas por materiales de granulometría fina (*slump-earthflows*), en un 3 %.

Con el inicio de las lluvias de ese año y por influencia indirecta sobre territorio costarricense de tormentas tropicales formadas en el Mar Caribe, se generaron avalanchas de lodo y rocas y gran número de nuevos deslizamientos, a partir de materiales que el sismo había dejado en estabilidad precaria, muchos de los cuales formaron numerosas represas en los cauces fluviales, como en los ríos Chirripó, Banano y Bananito. La ruptura de estas presas provocaron avenidas súbitas (*flash floods*) y daños adicionales a la infraestructura, puentes, plantaciones y a la población.

Los deslizamientos ocurrieron en áreas de relieve rugoso y con diferentes grados de meteorización, lo cual definió una excentricidad para estas áreas donde se desarrolló la mayor cantidad de deslizamientos, en relación con el área epicentral, la cual posee un relieve relativamente suave, sobre el que se dieron pocos deslizamientos. Esto lo confirman las áreas con relieve fuertemente distanciados a 45 km y algunos casos a 70 km del epicentro, las cuales fueron destruidas por los deslizamientos, quedando solo la roca expuesta.

Mora - Mora (1994), confirma este detalle cuando indica que para intensidades de VII, los deslizamientos aparecen 1 / km², cuando el relieve relativo supera valores de 325 m/km², mientras que los deslizamientos pueden alcanzar

coberturas de destrucción de más del 60% del área cuando los relieves superan valores de 475 m/km². Asimismo, en intensidades mayores (por ejemplo X (Ms)), se suele producir al menos un deslizamiento por km², cuando los relieves superan los 200 m/km², mientras que las tasas de destrucción mayores al 60% de la superficie se dan cuando el relieve supera 375 m/km².

En Costa Rica, se ha observado que para sismos de magnitud cercana a 5,5 grados, los deslizamientos pueden destruir hasta un 60% de la superficie a una distancia epicentral de 5 ó 6 km, mientras que los deslizamientos más dispersos aparecen a unos 20 km. Si la magnitud es 7,5 grados, los deslizamientos pueden cubrir más del 60% del terreno con deslizamientos hasta unos 50 km del epicentro y los deslizamientos aislados pueden desarrollarse hasta menos de 100 km. Esto puede variar según se trate de regiones secas o húmedas y de la época del año.

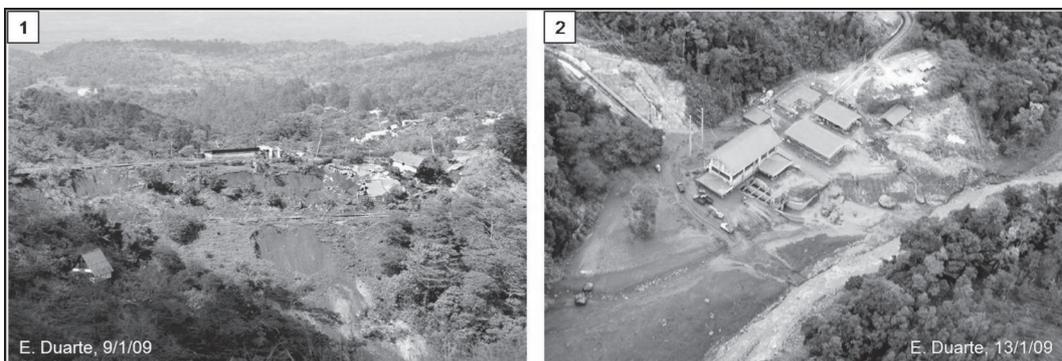
Terremoto de Cinchona

El terremoto de Cinchona se produjo el 8 de enero de 2009, a la 1:21 de la tarde, en las estribaciones de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, con un epicentro ubicado a 6 km al este del Volcán Poás, asociado con una falla de corrimiento lateral, la cual presenta una zona de ruptura aparente en 2 segmentos visibles. Un primer segmento orientado SW-NE, que inicia en un punto entre Sabana Redonda y Fraijanes

hasta intersectar, el segundo en la zona centro-epicentral, entre Vara Blanca y Cinchona, el cual parte de la intersección mencionada, en las cercanías de la Catarata de la Paz, tomando un rumbo NNW hasta probablemente San Miguel de Sarapiquí (OVSICORI, 2009c).

Fue un sismo de magnitud 6,2 en la escala de Richter, generado a 10 km de profundidad, con epicentro en Varablanca de Heredia y con intensidades en la escala de Mercalli de VI en Varablanca, Sarapiquí y Bajos del Toro, en tanto que entre IV y V en San José y Heredia; presentando más de 1200 replicas posteriores al evento principal hasta el día 10 de enero (OVSICORI, 2009d).

Este evento telúrico destruyó el poblado Cinchona (Foto 1), dejando inhabitable el sitio en donde se emplazaba, por lo que es necesario reubicarlo, y dejó pérdidas totales por \$280765 millones, según la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), monto equivalente al 1,5% del producto interno bruto (PIB), del cual la red eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue la que sufrió mayores pérdidas en el orden de los \$205428 millones debido a los daños producidos en la plantas hidroeléctricas de Cariblanco (Foto 2), Toro 1, 2 y 3 y por la caída del tendido eléctrico, así como en otras plantas de cogeneración eléctrica privada. Por otra parte, las pérdidas en vivienda fueron de \$20537 millones, ya que se dañaron 2387 casas, de las cuales 781 resultaron totalmente destruidas. En cuanto a la



Fotografías 1 y 2. En la imagen 1 se observa la destrucción del poblado de Cinchona por el terremoto del 8/1/09; mientras en la foto 2 aparece la casa de máquinas de la Planta Hidroeléctrica Cariblanco, que fue afectada por una avalancha de lodo, rocas y troncos que bajo por el cauce del río Sarapiquí, media hora después de ocurrido el terremoto. OVSICORI, 2009 a y b.

infraestructura educativa, se estimaron destrozos por €2723 millones, equivalentes a 29 centros educativos; mientras en la red vial el terremoto provocó pérdidas por €9051 millones en carreteras y €1617 millones en puentes, donde más de 16 kilómetros de vías desaparecieron o quedaron muy dañados, particularmente una importante sección de la carretera entre Varablanca y Cinchona (Villegas, 2009).

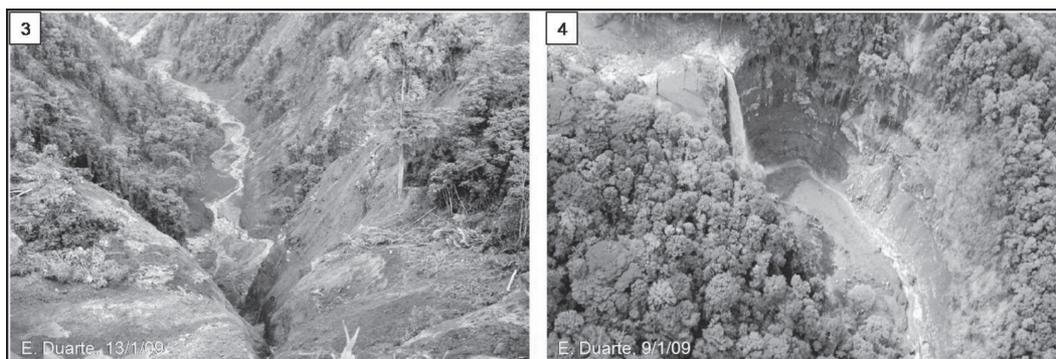
En términos de afectación humana, según la CNE (Villegas, 2009), el terremoto produjo 25 personas muertas, 100 heridos y 5 desaparecidos. Una población total estimada en 125584 personas, distribuida en 71 comunidades (Vara Blanca, Cariblanco, Poasito, Los Cartago, Sabana Redonda, Fraijanes, Cinchona, etc.), sufrieron graves daños en líneas vitales como vivienda, agua y red vial; en tanto que sobre 550 km² de la superficie impactada por el sismo se observaron daños en ecosistemas, cuencas hidrográficas y geomorfología, sobresaliendo la cuenca del río Sarapiquí como la más afectada; mientras que 1250 has vieron dañadas sus actividades agropecuarias, sobre las que estimaron pérdidas por más de 1812 millones de colones.

Este terremoto dejó visibles más de 180 deslizamientos (Foto 3) distribuidos en unos 60 km², que desnudaron bruscamente la superficie, dejando visible extensas áreas rocosas sobre la zona montañosa y ensanchados cauces fluviales (Foto 4), donde el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), según Vargas, 2009, calculó que se movilizaron entre 17,5 y 21 km² de laderas, específicamente en los

flancos de los macizos volcánicos Poás y Cango, así como en el entorno de los poblados de Varablanca y Cariblanco, particularmente a lo largo de las laderas del curso fluvial principal de la cuenca del río Sarapiquí y en las subcuencas y microcuencas que le son tributarias.

Estos deslizamientos fueron disparados por el esfuerzo de las ondas sísmicas en superficie, favorecidas por la presencia en la zona de formaciones superficiales, que mantienen importantes cantidades de humedad durante todo el año, ya que se trata de una zona muy lluviosa y por acuíferos relativamente superficiales que se rompieron y quedaron expuestos en las laderas, así como por estar soportadas por materiales volcánicos (piroclastos) no consolidados o materiales rocosos fuertemente diaclasados, ubicados en superficies de pendiente fuerte, a lo cual hay que sumarle que sobre los suelos y formaciones superficiales yacía un importante peso de cobertura vegetal. Es de destacar que la mayoría de los deslizamientos ocurrieron en áreas protegidos por bosque denso y donde destaca el hecho que en los sitios donde se generaron estos procesos masivos, las pendientes se hicieron más inclinadas, lo que dificultará la formación de suelo y por ende la regeneración natural de la vegetación.

El problema aún persiste, ya que gran parte de los materiales aun permanecen sobre las laderas o están en tránsito en el fondo de los cauces (rocas, lodo y troncos), que se caracterizan por ser muy estrechos y profundos en su recorrido alto y medio, lo que le define un recorrido al cauce con fuerte pendiente, haciendo que esta red fluvial



Fotografías 3 y 4. Estas imágenes muestran como las laderas quedaron desprovistas de vegetación por causa de los numerosos deslizamientos que se dispararon por el terremoto de Cinchona. OVSICORI, 2009 a y b.

se comporte como torrentes, capaces de formar avalanchas que movilicen grandes volúmenes de materiales rocosos, lodos y troncos, particularmente en la estación lluviosa, poniendo riesgo a las poblaciones humanas, junto a sus actividades económicas.

Otro aspecto importante, es que aunque se haya podido cuantificar el número de deslizamientos disparados por el terremoto, es muy probable que aumente su cantidad, ya que las formaciones superficiales que no se deslizaron con el terremoto del 8 de enero, quedaron dislocadas de su soporte rocoso y afectadas por agrietamientos, que son las líneas de debilidad por donde se infiltrará con facilidad el agua de lluvia, alcanzando el sustrato rocoso rápidamente, convirtiéndolo en superficie de deslizamiento, al no poder seguir infiltrándose el agua.

Sismos en el área de estudio

En cuanto al área de estudio y según Salazar *et al* (1992), ICE (1998) y Fernández - Montero (2002), existen una serie de fallas que están dentro o muy cerca del área y que pueden representar amenaza sísmica para la misma, entre las que destacan las siguientes:

- La falla Irazú, que tiene una orientación Norte - Sur y se extiende desde Cot hasta más allá del sector este del cráter del Volcán Irazú, con una longitud de unos 136 km y es considerada como una falla activa.
- La falla Aguacaliente presenta una tectónica compresiva de dirección Noroeste - Este Oeste, lo que está haciendo que el bloque Noreste se esté levantando; esto se confirma con las terrazas levantadas unos 20 m en el sector del río Aguacaliente, así como el basculamiento hacia el Noreste de las lavas del Miembro Paraíso. Su orientación aproximada es de Este a Oeste, desde Cachí hasta Cartago.
- La falla Navarro es un sistema compresivo, que inicia cerca de Cachí y se prolonga hasta el Sur de la Ciudad de Cartago. Con un lineamiento de Este a Oeste, a lo largo de la cual

se observa un relieve en facetas y por donde fluye el río Navarro.

- La falla Orosi constituye el sistema de más envergadura de la zona, ya que está formado por una zona de falla de más de 1 km de ancho, sobre la cual se asienta la Villa de Orosi y la Casa de Máquinas de la Planta Hidroeléctrica de Río Macho, de rumbo Noroeste. Al ser una zona tan amplia se localizan en ella cerros aislados (testigos), bloques facetados, fuentes termales y contactos por falla.
- La falla Cangreja, con un rumbo Noroeste y una extensión de 6 km, se inicia cerca de Barrancas, al este de Tobosi y termina al Sureste del poblado de Cangreja y está comprendida entre las fallas Aguacaliente y Navarro.

También, existen otras fallas periféricas importantes, asociadas con otras zonas sísmicas activas que ejercen amenaza sísmica sobre el área de estudio. Hacia el este se encuentra la falla Peji-baye, asociada con un fracturamiento reciente. La falla Atirro de unos 35 km de largo, considerada con un comportamiento neotectónico, con un fuerte control sobre el drenaje. La falla Gata que es paralela a la falla Atirro. Al oeste del área de estudio está el sistema de falla Jaris - Corralillo que se extiende por unos 42 km en un sentido noroeste, desde la confluencia de los ríos Jaris y Virilla, hasta cerca de San Pablo de León Cortés, de la que se estima puede generar eventos de magnitud 7,0 (Ms).

Con dirección sur, está la zona sísmica Cerro de la Muerte-Pérez Zeledón, formada por un grupo de fallas cortas, transversales al eje de la Cordillera de Talamanca, con longitudes de unos 15 km, de las cuales se podría esperar sismos de magnitudes del orden de 6,5 (Ms). El terremoto de julio de 1983, en Pérez Zeledón, fue originado en una de estas fallas; es decir, en la falla Buenavista.

Algunos de los sismos destructivos superficiales asociados con las fallas anteriores, ubicados dentro o en la periferia del área de estudio y que han provocado daños son: -el terremoto de Cartago del 2 de septiembre 1841, el cual destruyó a Cartago y a Paraíso, y su origen estuvo en el

sistema de fallas Orosi y Aguacaliente, al igual que los terremotos de Cartago del 13 de abril y 4 de mayo de 1910, los cuales destruyeron la Ciudad de Cartago por segunda vez, habitada por 10000 personas, donde murieron 600 personas. El sismo tuvo una magnitud local entre 4,5 y 6,3 (ML) y se produjo a 8,9 km de profundidad.

El 21 de agosto de 1951 ocurrió otro temblor importante de una magnitud \geq a 5 y una intensidad de VII, asociado con el sistema de fallas Orosi – Aguacaliente, con epicentro cerca del poblado de Orosi, este destruyó viviendas, cañerías, puentes, la Iglesia Colonial de Orosi sufrió daños en sus bases, la fachada se desplomó y se cuarteó la torre del campanario.

Otros sismos son el terremoto del Tablazo de 1910, originado cerca de la falla Tablazo, el terremoto de Tres Ríos de 1912, el terremoto de Turrialba de 1948, el terremoto de Paraíso de 1951, el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 y el terremoto de Pérez Zeledón en 1983 (Cuadro 1).

Según lo anterior, por lo pequeño del territorio de Costa Rica, indistintamente donde se genere un sismo y dependiendo de su magnitud, ubicación del epicentro, profundidad a que se de la liberación de energía y de las condiciones físicas locales, su impacto puede ser catastrófico para el área de estudio.

Régimen de lluvias y tormentas localizadas

El área de estudio se ubica en la cuenca alta del Río Reventazón que presenta contrastes muy bien definidos en la distribución de la lluvia. A partir de la ladera sur de su cuenca alta y media, se nota un aumento de la precipitación entre los 1.200 y 2.000 m de altitud, donde llueve entre 5.000 y 8.000 mm anuales, debido a un enfriamiento de los vientos alisios, los cuales se condensan y producen lluvias orográficas.

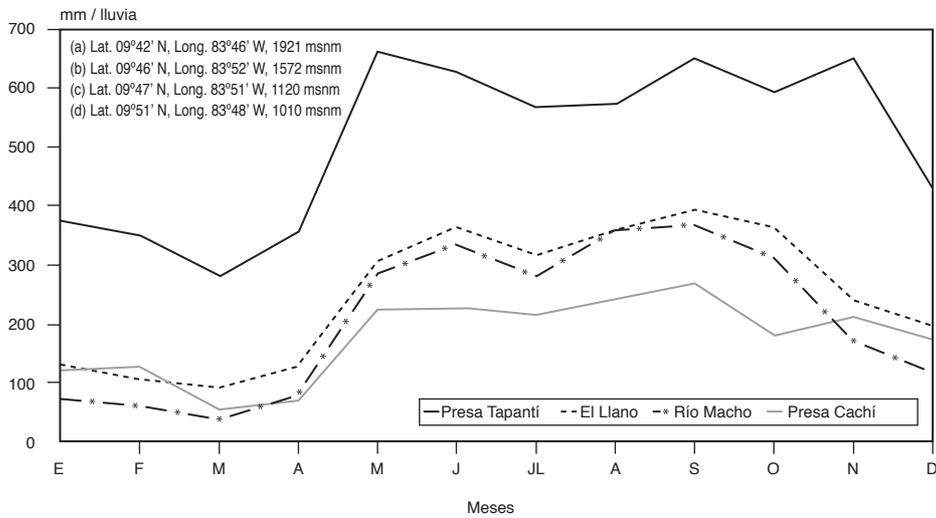
En los niveles más altos de la estribación montañosa, después de los 2.200 msnm se da una disminución de la precipitación. Lo anterior se observa claramente en la cuenca alta y media del Río Reventazón, específicamente en las subcuencas altas de los ríos Pejibaye, Grande de Orosi y

Macho, donde la disminución es más de un 60% de la precipitación comparada con la franja de los 1.200 a 2.000 msnm. Estos contrastes también se notan en distancias lineales, como, por ejemplo, en las inmediaciones de la Ciudad de Cartago llueve 1.200 mm, y en la cuenca alta del Río Grande de Orosi entre 7.500 y 8.000 mm, existiendo una distancia entre ambas de sólo 25 km en línea recta (ICE, 1998).

Se trata de una cuenca que está influenciada por el régimen climático de las vertientes Pacífica y Caribe, pero con predominio de la primera, debido a los pasos de montaña que cortan el eje montañoso central que atraviesa el país en un sentido noroeste - suroeste, donde destaca la depresión encañonada que conforman el Valle del Río Reventazón, el cual es comunicado a través de la Depresión Tectónica Central, con el Valle del Río Tárcoles, la cual define una zona de variabilidad y transición climática espacial de ancho variable, cuyo comportamiento pluviométrico varía anualmente en el fondo de la cuenca, principalmente en las partes altas de las subcuencas de los ríos Grande de Orosi, Navarro, Aguacaliente, Reventado, Páez – Birrisito, así como de manera específica en el área circundante desde el embalse Orosi - Cachí - Ujarrás hasta Santiago.

El área de estudio tiene 2.490 msnm, como punto de mayor altitud, en el Cerro Alto Tres Picos y 900 msnm a la altura de la presa del Embalse de Cachí. Esto significa un rango de altura de 1590 m, a lo largo de los cuales y en sentido descendente se encuentran 3 estaciones meteorológicas (El Llano, Río Macho y Presa Cachí) que permiten caracterizar su régimen de lluvias.

La estación El Llano registra lluvias anuales medias de 3.003 mm, mientras que las estaciones Río Macho y Presa Cachí, 2.475 y 2.120 mm, respectivamente. Esto confirma los contrastes antes comentados respecto a la distribución de la lluvia según la altitud y en distancias muy cortas; en este caso, con una diferencia de 883 mm. Las dos primeras estaciones se encuentran muy próximas una de la otra, diferenciándose por su ubicación altitudinal, en 452 m de altura y 528 mm de lluvia, aunque la distribución anual de la lluvia corresponde a curvas muy semejantes (Figura 2).



Elaboró: Víctor M. Cortés G.
 Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica, 2004.

Figura 2. Régimen pluviométrico en el área de estudio. (Basado en las estaciones meteorológicas Presa Tapantí (a), El Llano (b), Río Macho (c) y Presa Cachí (d)).

En lo que respecta a la curva de distribución anual de lluvias de la estación Presa Cachí, es casi igual a la estación El Llano, en los meses de enero a mayo, pero con una precipitación menor en marzo. De mayo a setiembre sigue una distribución lineal casi horizontal con un promedio mensual de lluvias de 236 mm, mientras en las otras dos estaciones el promedio de lluvia es de 337 mm.

La influencia Caribe en el área de estudio es más marcada en la parte alta de la cuenca del Río Grande de Orosi (Estación Presa Tapantí, ubicada fuera del área de estudio), donde la precipitación en los meses de diciembre a febrero, con extensión a marzo, está entre 350 y 430 mm.

El promedio de lluvia en estos meses, en las estaciones comprendidas dentro del área de estudio, es 110 contra 384 mm en la estación Presa Tapantí. Esto se explica por la influencia de frentes fríos cargados de humedad provenientes de las latitudes altas del hemisferio norte, que, en esta época, está en la estación astronómica de invierno.

Al llegar estas masas de aire a esta zona, topan con una gran irregularidad topográfica,

haciendo que algunas veces descendan de las laderas de Tapantí hacia Orosi y en otras por las laderas de los Cerros Doán; es decir, de Cachí a Orosi, cuando estas masas no son fuertes. Esta dinámica en la dirección de ingreso de estos derrames de humedad hace que se produzca sombra o abrigo en algunos sectores de la zona por la topografía, generando diferencias cuantitativas en el registro de las estaciones meteorológicas, particularmente las que están instaladas en la parte llana de la misma y a menor elevación.

Estas lluvias, a modo de temporales de baja intensidad, aportan una cantidad importante de humedad que se infiltra y almacena en gran parte de las formaciones superficiales y rocas, especialmente las que tienen una cobertura vegetal densa, mucha de esta agua se mantiene hasta el momento cuando inicia la estación lluviosa.

Un mes es considerado como seco si registra lluvia \leq a 50 mm, según Gausson, citado por Araya (1993); por tanto, sólo el mes de marzo puede ser considerado como tal, al tener un promedio de lluvia de 39 mm, en la estación de Río Macho, que está en uno de los sitios de menor altitud de la zona de estudio.

El mes de abril es de transición entre la época seca y la lluviosa, pero en la zona se nota un aumento en los registros de lluvias, los cuales se reafirman a partir de mayo cuando los alisios del noreste se hacen débiles debido al constreñimiento del Anticiclón de las Bermudas – Azores, debido al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), hasta una latitud norte de 12°, propiciándose las condiciones para que ingresen los alisios del sureste cargados de humedad, originados en el desarrollado Anticiclón del Pacífico, cuya influencia se mantiene hasta noviembre (7 meses).

Noviembre también es el mes de transición hacia la época seca, pues, en este mes, se empieza a percibir nuevamente la influencia de los alisios del noreste (llamados Nortes o Vientos de Navidad, que son fríos), al fortalecerse el Anticiclón del Atlántico, coincidiendo así con los temporales del Caribe, entre diciembre y febrero. Esto no permite definir con claridad una época seca para la zona de estudio, aunque sí un periodo de “mínima precipitación” entre marzo y abril para las partes planas de menor altitud.

La estación lluviosa caracterizada por lluvias de tipo convectivo, en la zona, está muy bien definida, pero condicionada por la altitud, donde sus lluvias son muy constantes, con oscilaciones en su repartición espacial debido una mala distribución de las mismas temporal y espacialmente.

Al observar el comportamiento de las curvas de distribución de lluvias en la Figura 3, se nota 2 picos máximos de lluvia, uno en junio y otro en setiembre, y una disminución en julio, la cual coincide con el Veranillo de San Juan, este consiste en una disminución de lluvias en la Vertiente Pacífica por unos cuantos días, y cuya duración varía según la región del país.

Este ocurre por un desplazamiento temporal hacia el Sur de la ZCIT, por un aumento de la presión en la Cuenca del Caribe y por la mayor intensidad y posición más oriental que tiene el Anticiclón de las Bermudas – Azores, lo cual hace que se presenten con más frecuencia ondas tropicales del este, estas suelen desplazarse a unos 60 km/h, con una longitud de onda de unos 1.500 km y una amplitud entre 500 a 1.000 km, afectando al menos cada tres días la Vertiente del Caribe (ICE 1992).

Lo anterior explica la coincidencia con la segunda máxima de lluvia de dicha vertiente, que se manifiesta en la zona de estudio como temporales o fuertes tormentas localizadas sobre las partes altas de algunas subcuencas, siendo muy destructivas. Esto explica que no se distingan grandes oscilaciones en las líneas de precipitación en la figura 2, las cuales definan máximas de lluvia bien marcadas.

Es de destacar que la estación lluviosa coincide con la temporada de huracanes que se define del 1 de junio al 31 de noviembre, lo cual hace que en múltiples ocasiones sus efectos indirectos se manifiesten en la cuenca superior del Río Grande de Orosi y, por ende, en el área de estudio, donde la nubosidad arrastrada desde el Océano Pacífico estos fenómenos sinópticos, son “estrellados” con la irregularidad topográfica y la densa cobertura boscosa, provocando lluvias torrenciales de gran duración y muy destructivas.

La posición geográfica de esta zona la define como un punto de encuentro de masas de aire del Caribe y Pacífico, lo cual explica que sea una de las de más alta condensación del país, ayudada por su estructura fisiográfica y la densa cobertura boscosa que hay en sus partes altas. Esta condición hace que con frecuencia se presenten tormentas las cuales se desarrollan de manera localizada, afectando áreas o microcuencas específicas al ser muy destructivas, siendo una amenaza constante para la estabilidad de laderas y las actividades que se realizan sobre ellas.

Entre éstas tormentas se pueden documentar las siguientes: 1-la tormenta del 2 de julio de 1987 que concentró lluvias por 5 horas seguidas sobre los Cerros Doán, afectando en la zona de estudio la subcuenca del Río Naranjo (Mora *et al* 1989), 2-las del 24 y 27 de julio de 1992, que se localizaron sobre la parte superior de las subcuencas de los ríos Macho, Sombrero y Purisil, acumulando 15 horas de lluvia continua (ICE 1992), 3-la del 30 de agosto del 2002 sobre los cerros cercanos a la Villa de Orosi (ICE 2002), y 4-las dos tormentas del 18 de junio del 2003 (CNE 2003), y las lluvias entre el 20 y 24 de octubre del 2005 (CNE 2005), caídas sobre la parte superior de la subcuenca del Río Jucó.

Tormenta sobre los Cerros Duán

Esta tormenta se presentó en la tarde del jueves 2 de Julio de 1987, sobre el Cerro Duán, en cuyas laderas escarpadas se genera una red fluvial conformada por torrentes de montaña las cuales canalizaron las grandes avalanchas de barro, rocas de diferentes tamaños y troncos que arrastraron viviendas y puentes. Se dispararon más de cuarenta deslizamientos que bajaron en forma de alud con gran poder destructivo aprovechando la hidrotopografía.

En la Figura 3a, las isoyetas totales muestran dos núcleos de precipitación máxima. Uno localizado sobre las subcuencas de los ríos Naranjo, Urasca y Guatuso, con un total de lluvia de 115 mm y una intensidad máxima de 100 mm y otra sobre las subcuencas de los ríos Humito, Cacao y Humo, con un total de lluvia de entre 260 a 275 mm, una intensidad máxima de 150 mm. Ambas tormentas se dieron en solo 5 horas, entre las 14 y 19 horas.

Fueron dos tormentas consecutivas. La primera se desarrolló entre las 14 y 17 horas, sobre las áreas de T-6, Cordoncillal y El Humo con máximas de lluvia entre 110 y 116 mm. La segunda se gestó entre las 17 y 19 horas, sobre Cachí (subcuenca del río Naranjo, con lluvias

entre 100 y 125 mm) y persistió sobre El Humo con 150 mm adicionales. Este comportamiento concuerda con el régimen de lluvias del área de estudio, el cual es principalmente de tipo convectivo y se generan por la tarde después de todo el calentamiento diurno.

Según Mora *et al* (1989), el elemento de disparo fue la segunda tormenta, pues el agua precipitada en la primera tormenta saturó las formaciones superficiales y la segunda actuó como último desestabilizador y generador de múltiples deslizamientos, lo que se confirma por el hecho de que el área de Cordoncillal y T-6, lo cual registró mayores precipitaciones en la primera tormenta no presentó mayor desestabilización de laderas, aparte de contar con mayor cobertura forestal, esto indica una adecuada regulación hidrológica e hidrogeológica de la cuenca.

Los deslizamientos se desarrollaron en un área máxima de 25 km², concordando con las áreas donde las lluvias fueron más intensas y donde estuvieron concentradas; es decir, sobre las subcuencas de los ríos Naranjo, Vueltas, Cacao y Humito (Figura 3b).

Mora *et al* (1989) estimaron que el 15 % de las laderas afectadas ya presentaban procesos desarrollados. Los deslizamientos poco profundos o coluviales se presentaron en un 20 %, en

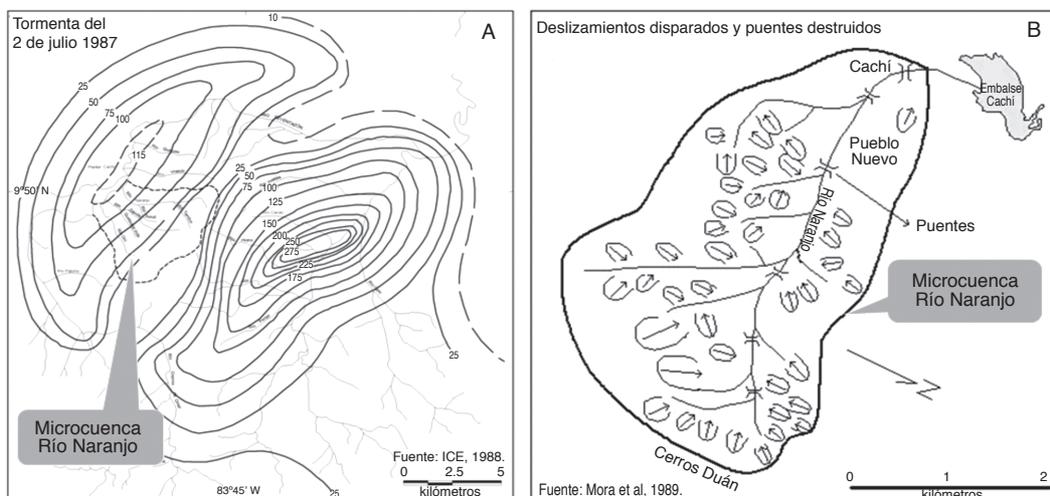


Figura 3. Isoyetas, deslizamientos y puentes destruidos por la tormenta del 2 de julio de 1987.

laderas de pendiente moderada y cubiertas por pastos, mientras que los deslizamientos profundos fueron el 40 %, originados en la mitad de la ladera o muy cerca de las divisorias de aguas, en laderas de alta pendiente cubiertas de pastos o cultivos menores, donde algunos llegaron hasta el límite con el bosque asociado con una ladera estable. Los deslizamientos más extensos y que dejaron la roca sana expuesta fueron el 25 % y ocurrieron en las laderas de mayor pendiente, en las más deforestadas y con prácticas inadecuadas de manejo, localizadas en las cabeceras de los ríos Naranjo y Vueltas a ambos lados del Cerro Doán.

Se estimó que los daños causados por los deslizamientos y aludes fueron en sectores de bosque, pastos, cultivos de café, caña de azúcar, maíz, etc., equivaliendo a unas 100 has totalmente destruidas y 1300 has con daños parciales. Por ejemplo, en la Hacienda Cachí, se calcularon pérdidas por 10 millones de colones por la destrucción de cafetales, almacigos y 2 puentes.

Asimismo, se destruyeron 8 puentes, 10 fueron dañados, se falsearon 15 km de caminos, 10 casas destruidas y 25 parcialmente dañadas. Hubo 3 personas muertas. Se perdieron 60 cerdos, 60 vacas y 16 caballos y se dañaron las parrillas de la toma de la Presa Cachí, por la presión ejercida por los detritos, lo que obligó a detener las turbinas 15 días.

Tormentas sobre las subcuencas de los ríos Macho, Sombrero y Purisil

El 24 de julio de 1992, se desarrolló una tormenta sobre la parte alta de la Cuenca del Río Reventazón, que se hizo más intensa sobre las nacientes de los ríos Macho y Sombrero, con un total de lluvia acumulada de 166 mm. La lluvia empezó a las 10 horas y se prolongó por 15 horas, provocando grandes deslizamientos que se depositaron en los cauces de estos ríos, bajando posteriormente como avalanchas de lodo, piedras y troncos que destruyeron edificaciones, caminos, puentes, el dique del río Macho, diferentes tipos de cultivos y alcanzaron la toma de agua de la Planta Hidroeléctrica de Cachí obstruyéndola.

Tres días después, el 27 de julio, otra tormenta se produjo sobre la misma zona, pero

afectó en una forma más severa las subcuencas de los ríos Macho y Purisil, sobre las cuales cayeron 80 mm de lluvia, produciéndose de nuevo avenidas con arrastre de materiales y desbordamiento de estos ríos destruyendo decenas de hectáreas de café, llegando las pérdidas a unos 50 millones de colones (ICE 1992). Ambas tormentas estuvieron asociadas con el paso de ondas tropicales.

Tormenta sobre los cerros cercanos a la Villa de Orosi

Esta zona presenta una gran irregularidad topográfica, donde la diferencia de altura entre el punto máximo de elevación y la base de la ladera es de 765 m, sobre un desplazamiento horizontal de tan sólo 2 kilómetros, lo cual explica la gran energía que desarrollan los materiales que se desprenden de sus laderas en forma masiva y torrencial, tal y como ha ocurrido con los últimos deslizamientos ocurridos en esta sección del Valle de Orosi; donde el más representativo es el ocurrido el 1 de setiembre del 2002, después de 9 horas seguidas de lluvia, en las cuales precipitaron 98 y 92 mm, con intensidades máximas a las 17 horas de 55 y 34 mm, registradas en las estaciones El Llano y Presa Cachí, respectivamente, disparando el deslizamiento del Alto Loaiza, el cual fluyó por 600 m a través de la Quebrada El Tanque, que tiene una pendiente de 36 % y su cauce corre por una falla tectónica .

El deslizamiento movilizó 2 millones de m³, destruyendo 13 casas en el Alto Loaiza, dejó 6 personas fallecidas y destruyó las fincas de café que estaban en su camino. Sus lodos llegaron hasta el centro de la Villa de Orosi.

Está claro que para que se presenten procesos de remoción de manera masiva en estas laderas, es necesario que se conjuguen variables de tipo climático y / o meteorológico, tectónico y / o sísmico, como en este caso cuando las lluvias se concentraron por varias horas en forma continua y localizada sobre una sección de la alta ladera del área.

Tormenta sobre la subcuenca del Río Jucó

La subcuenca del río Jucó se caracteriza por la inestabilidad de sus laderas, las cuales

fueron puestas a prueba el 19/6/2005, deslizándose 500.000 m³ (CNE 2003), como consecuencia de lluvias concentradas, sobre la cuenca. Se puede decir que este evento preparó las condiciones para que otro de mayor magnitud ocurriera el 24/10/2005 (CNE 2005), moviendo 1 millón de m³, de un área susceptible a desprendimientos de 47.000 m² y su material se depositó en una superficie de 15.000 m², potenciado por el mismo tipo de fenómeno meteorológico. Vale decir que en esta subcuenca habitan unas 160 familias, de las cuales 60 están en el poblado de Jucó, equivalente a 500 personas, que se encuentran bajo riesgo de deslizamiento.

Además, esta subcuenca presenta una altitud máxima de 1.925 msnm, esto genera una diferencia de altura con respecto a la base de la ladera de 825 m, en una distancia horizontal de 4 km, lo que ayuda a entender la gran energía que desarrollan los materiales los cuales, en forma masiva, se movilizan pendiente abajo, pues la práctica indica que entre mayor sea la longitud y la pendiente de la ladera, menor es la resistencia gravitacional y mayor la energía hidráulica desarrollada por los materiales que se desplazan sobre ella o en un cauce fluvial, como es el caso del Río Granados, el cual nace a 1.820 msnm y su confluencia con el Río Jucó está a 1.170 msnm, esto significa que en sólo 2,5 km de largo que tiene su cauce, desciende

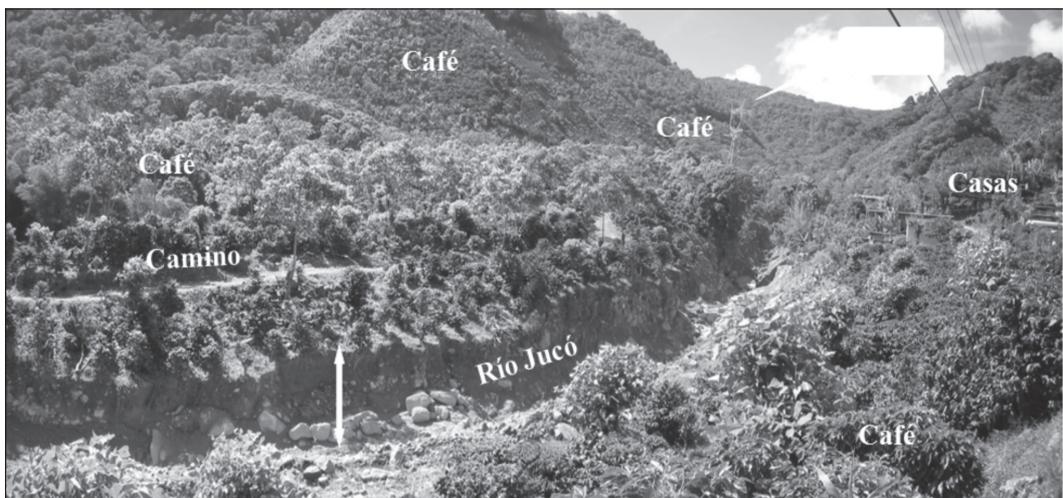
650 m, con una pendiente inicial de 44 % y 26 % en la zona de confluencia antes indicada.

La red hidrográfica

La red hidrográfica del área de estudio presenta una dinámica hidrológica muy torrencial, condición que la ha convertido en una de las variables de disparo de los procesos de remoción en masa, originados en las laderas que cortan en su recorrido, ejerciendo una erosión lineal y lateral en ambos lados, a lo largo de los cauces, rompiendo la estabilidad de la ladera con derrumbes frecuentes, afectando en forma directa a las plantaciones de café, las cuales colindan con sus orillas o aquellas que se encuentran en la amplia zona de relleno del Río Grande de Orosi; especialmente en la estación lluviosa, cuando sus caudales se vuelven torrenciales, arrastrando lodo, grandes rocas y troncos (Fotografía 5).

Los principales factores que intervienen en el comportamiento torrencial de esta red fluvial son las fuertes pendientes, la precipitación, la respuesta rápida de las cuencas a la concentración de flujo, en función de sus características morfológicas y de las coberturas del suelo, naturales o cultivos.

Estos factores, en el contexto geomorfológico del área de estudio, indican que el



Fotografía 5. Paredes inestables del cauce del río Jucó, después de que bajara por él una avalancha a gran velocidad de lodo, rocas y troncos en octubre del 2005. Víctor Cortés, 2006.

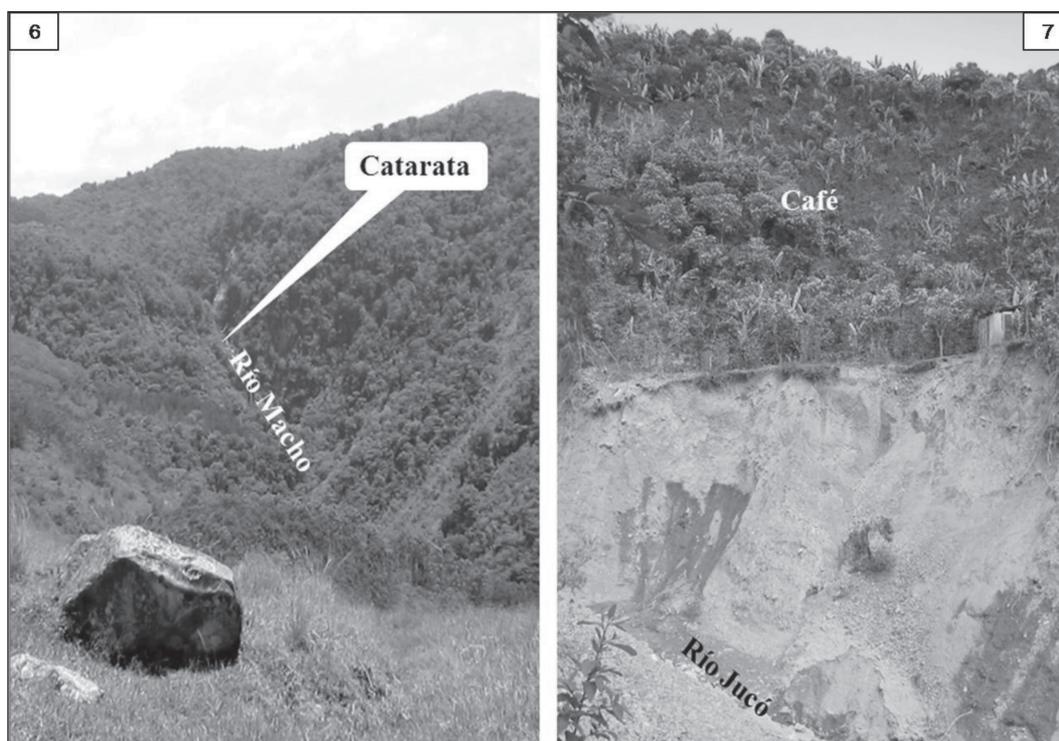
comportamiento torrencial de estos cursos fluviales es su mecanismo normal, así como la modalidad de transporte total o parcial de los materiales en uno o varios eventos, según se pudo comprobar en la zona, pues, desde su origen geológico hasta la actualidad, se ha caracterizado por la movilización de grandes volúmenes de materiales, como lo confirman los conos de deyección de Orosi, río Macho y Cachí y los nuevos transportes ocurridos con las últimas tormentas y que han rellanado la depresión del fondo del Valle Orosi - Ujarrás - Cachí.

La morfología fluvial de la red hidrográfica del área de estudio está caracterizada por estar constituida por numerosos valles estrechos y profundos, cuya densidad de drenaje por km / km² es de 1,46 para los cursos fluviales que mantienen agua todo el año; sin embargo, al sumar la red estacional, la densidad aumenta a 2,64, que en ambos casos los hidrólogos la definen como media, en que sobresalen sus laderas empinadas

y cargadas de formaciones superficiales, donde se están generando procesos de remoción en masa.

El trazado encañonado de los ríos que cortan las laderas del área de estudio ha ocurrido por procesos de erosión lineal y regresiva bastante rápidos, favorecido por la alta erodabilidad de la litología, pues está muy meteorizada y afectada por la tectónica, por cuyas fracturas corren un buen número de ellos, asociado con un clima muy húmedo, caracterizado en los últimos miles de años por su gran erosividad, y el cual confirma la alteración profunda y oxidada que muestran las formaciones superficiales que aún se encuentran en el sitio de alteración original.

El régimen de lluvia actual presenta una precipitación con excedente a las demandas de la vegetación natural y de los cultivos, y lo que se presenta paralelo al rejuvenecimiento geológico, por tectónica de levantamiento que experimenta actualmente la región, lo cual hace que los procesos erosivos sean muy intensos (Fotografías 6 y 7).



Fotografías 6 y 7. Relieve típico de una red fluvial formada por torrentes (foto 6). Desprendimiento lateral por erosión fluvial lateral torrencial (foto 7). Víctor Cortés, 2006.

Estos factores se han traducido en una red fluvial que tiene perfiles longitudinales no calibrados, en los cuales el suministro de carga excede al potencial de transporte de los sistemas. Dichos perfiles muestran secciones de los ríos con rápidos, saltos, cascadas y depósitos en tránsito que interactúan entre sí para lanzar la corriente contra las paredes de los lechos fluviales, debilitando los apoyos de los depósitos que posteriormente caen en forma de paquetes al torrente.

La red de caminos

La apertura o rediseño de una red vial en cualquier región siempre busca mejorar las condiciones de vida de la población humana que ahí habita, en función de un potencial de desarrollo existente, pero, a su vez, conlleva modificaciones geoambientales, ya que toda red de caminos demanda tareas de mantenimiento continuo para asegurar su vida útil y disminuir los impactos negativos en su entorno geográfico.

En el caso particular del área de estudio, después de haber hecho un reconocimiento en el campo, se observó que su red de caminos está contribuyendo a la inestabilidad de sus laderas, pues se encontraron una serie de impactos ambientales que están favoreciendo la génesis de procesos de remoción en masa, y se resumen en los siguientes puntos.

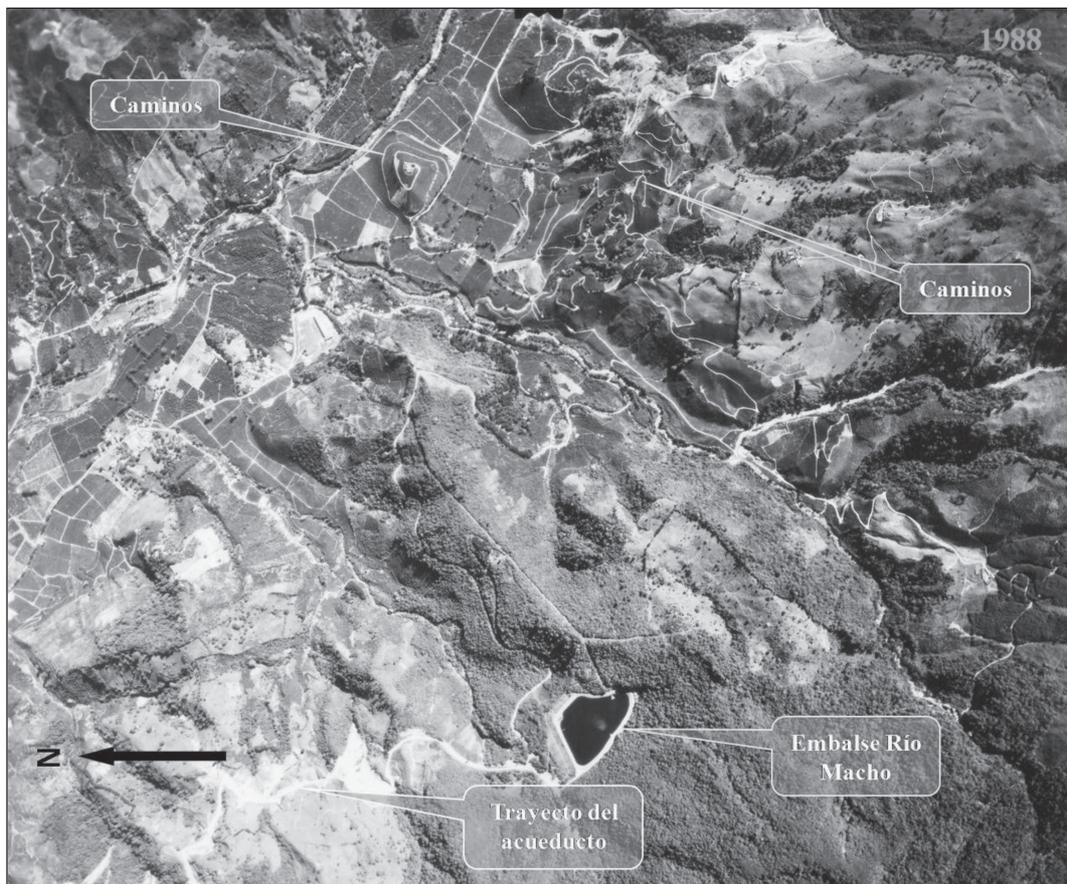
1. Se trata de una red vial muy densa que corta laderas de gran pendiente, y, como tal, ha facilitado la dispersión humana, donde la superficie de tránsito es mayoritariamente de tierra y lastre, y, en la actualidad, luce con poco o ningún mantenimiento, con excepción de los caminos los cuales sirven de acceso a la infraestructura hidroeléctrica que tiene el ICE y a las tuberías del Acueducto Metropolitano administrado por el A y A, el cual sí tienen una superficie en buen estado y con la debida infraestructura lateral de recolección de aguas.
2. El trayecto que recorre el Acueducto Metropolitano, en la zona de Orosi, lo hace siguiendo las partes más altas de la montaña, siguiendo divisorias de agua o bien a través de cortes en la topografía, donde estos últimos han aportado material mueble deslizable, que al momento de realizarlos, dicho material fue acordonado sobre las laderas inmediatas. Esto se presenta principalmente en la ladera oeste, al pie de la cual están asentados los poblados Orosi, Jucó y Río Macho, que en caso de una ruptura de estas tuberías, por las que fluyen 2100 l/seg, casi en forma constante, se podría dar la saturación de la formación superficial en la alta ladera, pudiéndose generar deslizamientos de importante magnitud.
3. El cultivo del café, como principal agroecosistema en el área de estudio se cultiva en pequeñas fincas que equivalen a casi igual número de propietarios, lo que significa que para llegar a dichas parcelas es necesario un camino de acceso y; en consecuencia, una trocha más en una ladera.
4. La red vial llega hasta las zonas de protección natural, como el Parque Nacional Tapantí, la Reserva de Río Macho y otras de índole privado, convirtiéndose en frentes de presión para la biodiversidad de esas unidades naturales y principalmente para la extracción de madera, según se constató en el Alto Gavilanes en el año 2006.
5. Debido a que son caminos con poco mantenimiento y trazados muchos de ellos en forma rústica, han roto la integridad y la armonía natural del paisaje. Además, es una red vial muy densa, a lo largo de la cual se pueden encontrar cortes profundos en el terreno, caída de detritos, terraplenes masivos de gran altura y cortes en los perfiles fluviales de quebradas con caída libre, sobre el talud que ha quedado al construir el camino, contribuyendo al desequilibrio en el balance hidrológico (Fotografías 8 y 9).
6. La red vial rompe con la continuidad espacial de las laderas, por lo que tiene un efecto segregador al constituir una barrera, lo cual interrumpe los movimientos migratorios de especies entre los cafetales, considerados estos como un ecosistema biodiverso y los espacios naturales (bosques), creándose

las condiciones para posibles alteraciones microclimáticas.

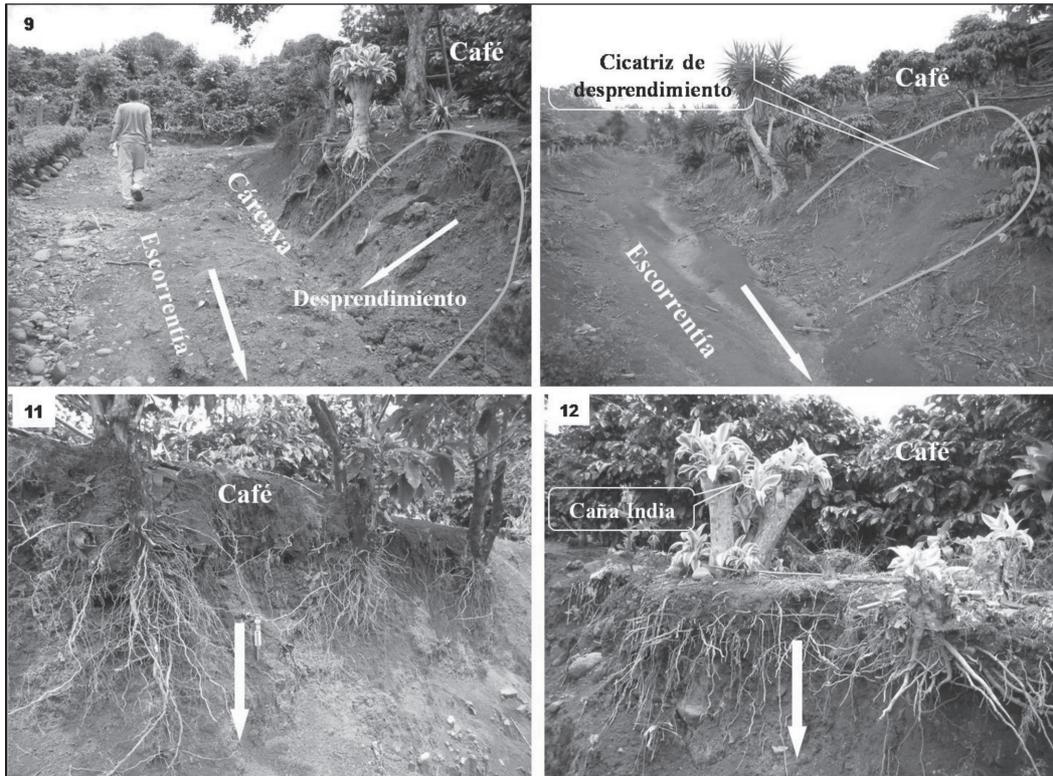
7. La construcción de una red de caminos tan densa ha implicado la remoción de muchos millones de metros cúbicos de suelo fértil y de formaciones superficiales, quedando espaldones o taludes con inclinaciones casi verticales, por donde se desborda la escorrentía superficial proveniente de los cafetales a manera de largas cascadas o cortinas de agua que forman cárcavas en las que se transportan gran cantidad de material pedológico, geológico e insumos agrícolas.
8. Por lo pronunciado del terreno y por el mal estado de los caminos, estos son accesibles por vehículos de doble tracción, utilizados

para sacar la producción de café y otras cosechas. Además, el tránsito continuo y la vibración que producen sus motores favorecen los desprendimientos de los taludes. A esto hay que adicionarle la movilización de hatos de ganado vacuno, lo que los vuelve intrasitables por largos sectores especialmente en la estación lluviosa, lo que en caso de una emergencia individual o colectiva podría tener un desenlace fatal, particularmente si es necesario una rápida movilización.

9. Algunos trayectos de caminos colindan con áreas de bosques naturales, áreas de reforestación y con cercas vivas, que ven falseados los sitios en donde se ancla su sistema radicular, terminando por colapsar junto a otro



Fotografía 8. El acceso a las fincas cafetaleras en el Valle de Orosí, es por medio de una densa red vial, que corta las laderas en múltiples direcciones. IGN, 1988.



Fotografías 9, 10, 11 y 12. Los aguaceros intensos sobre la red de caminos la convierten en colectora de una gran escorrentía, que moviliza grandes cargas de sedimentos removidos del talud de los caminos (9 y 10). Los desprendimientos constantes de suelo y de formación superficial deja expuesta y colgando el sistemas radicular de las plantas de café y de las barreras vivas (11 y 12). Víctor Cortés, 2006.

volumen importante de suelo y formación superficial. El lugar donde cae este material solo espera que las aguas de las lluvias se los lleven, contribuyendo al relleno de la zona del embalse de Cachí (Fotografías 10, 11 y 12).

10. La red de caminos está sobre materiales geológicos y formaciones superficiales muy meteorizadas, influenciadas continuamente por un régimen de lluvias muy agresivo, por lo que los desprendimientos se producen continuamente.

Conclusión

Queda demostrado que el Valle de Orosi es una zona de alto riesgo, desde el punto de vista

de la generación de procesos de remoción en masa, por lo que es necesario la implementación de un ordenamiento integral de su territorio, el cual permita adecuar las actividades económicas, turísticas y de uso de la tierra, considerando que es un valle muy afectado por fallas tectónicas activas, donde pueden generarse sismos de magnitud importante, capaces de disparar deslizamiento o bien aflojar la formación superficial, de las laderas, la cual suele saturarse con facilidad, dado que la zona cuenta con un régimen de lluvias tormentoso, de alta pluviometría y bien definido; y donde las redes fluvial y de caminos se han encargado de hacer una incisión profunda y multidireccional sobre sus laderas.

En este análisis, se pueden considerar la sismicidad y la pluviometría como variables

independientes, pues su efecto disparador está restringido a que la formación superficial presente condiciones que faciliten su efecto, en tanto que las redes fluvial y de caminos cumplen una función de disparadores, condicionados por la pluviometría, la sismicidad, el modelado tectónico o por la gravedad, pues un caudal elevado en un río puede socavar las bases laterales de la ladera que corta, con lo cual se rompe la estabilidad de la misma, sin que sea necesario que la formación superficial, tenga niveles altos de saturación de agua. Igual situación se presenta con los caminos mal trazados, donde sus taludes de corte que tienden a la vertical, los cuales están entre la ladera y el piso del camino, generan desprendimientos gravitacionales, sin que los materiales superficiales tengan contenidos altos de humedad.

Referencias bibliográficas

- Araya, G. 1993. Análisis de los procesos de remoción en masa en la subcuenca del río Tuis, Turrialba, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 124 p.
- Ávalos, Á. 2008. Empresa rompió tubería de Orosi. AyA reclama €250 millones por daño en acueducto. Periódico La Nación, Sección El País, 24 de noviembre de 2008. San José, Costa Rica. www.nacion.com/ln_ee/2008/noviembre/14/pais1775445 (Consultado en Diciembre, 2008).
- Badilla, E.; L. Abarca y H. Zúñiga 1999. Geología de Navarro y alrededores, Provincia de Cartago, Costa Rica. Informe Campaña Geológica 1999. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 100 p.
- CNE. 2003. Informe sobre el deslizamiento ocurrido el 19 de junio del 2003, en la cuenca del río Granados. Informe Técnico. San José, Costa Rica. 6 p.
- CNE. 2005. Síntesis del deslizamiento sobre el río Granados, a causa de la reactivación el pasado 24 de octubre. Informe Técnico. San José, Costa Rica. 9 p.
- Dresch, J. 1972. Mémoires et documents, cartographie géomorphologique. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, France. 193–2004 p.
- Fernández, J.; G. Bottazzi; G. Barboza y A. Astorga. 1994. Tectónica y estratigrafía de la cuenca Limón Sur. En Revista Geológica de América Central, Volumen Especial. Escuela Centroamericana de Geología – Ministerio de Ciencia y Tecnología. San José, Costa Rica. 15-28 p.
- Fernández, M. y W. Montero. 2002. Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central N° 6. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 25–37 p.
- IGN. 1963. Hoja topográfica ISTARU y TAPAN-TÍ, escala 1:50000. Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- ICE 1992. Informe sobre avenidas de los ríos Macho, Sombrero y otros del 24 y 27 de julio de 1992. Departamento de Hidrología. San José, Costa Rica. 52 p.
- ICE. 1998. Plan de manejo de la cuenca del río Reventazón. Anexo A 2 a, Geología y Sismología. San José, Costa Rica. 44 p.
- ICE. 1998. Plan de manejo de la cuenca del río Reventazón. Anexo A 2 b, Sismología. San José, Costa Rica. 50 p.
- ICE 2002. Informe de deslizamientos en el Valle de Orosi y Tilarán y acciones realizadas. Oficina de Estudios Básicos e Ingeniería, Área de Hidrología. San José, Costa Rica. 6 p.

- ICE. 2004. Estaciones meteorológicas Casa de Máquinas río Macho, Muñeco, El Llano y río Macho Cachí. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica.
- IMN. 2004. Estaciones meteorológicas T – Seis, Sitio Presa, Tapantí y Dos Amigos. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.
- INEC, 2008. Cálculo de población por provincia, cantón y distrito al 30 de junio del 2008. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica. 21 p.
- Mora, S. y L. Morales. Sin fecha. Los sismos como fuente generadora de deslizamientos y su influencia sobre la infraestructura y líneas vitales en Costa Rica. Mimeografiado. 18 p.
- Mora, S.; M. Valdés y C. Ramírez. 1989. Los deslizamientos del 2 de julio en el Cerro Doán: sus causas y consecuencias. Memoria del III Congreso Nacional de Recursos Hídricos, 15, 16 y 17 de Noviembre. Vol. 9 N° 3. Asociación Costarricense de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica. 15–25 p.
- Mora, S. y R. Mora. 1994. Los deslizamientos causados por el terremoto de Limón: Factores de control y comparación con otros eventos en Costa Rica. En Revista Geológica de América Central, Volumen Especial. Escuela Centroamericana de Geología – Ministerio de Ciencia y Tecnología. San José, Costa Rica. 139–152 p.
- OVSICORI, 2009a. Algunas imágenes de la zona epicentral del Terremoto de Cinchona (8 de enero de 2009). Informe General de Campo (8/1/2009). Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 4 p.
- OVSICORI, 2009b. Sobrevuelo de las zonas más fracturadas por el Terremoto de Cinchona y efectos ecológico-ambientales en sus alrededores. Informe General de Campo (13/1/2009). Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 4 p.
- OVSICORI. 2009c. Reconocimiento de Falla y el impacto superficial del terremoto de Cinchona del 8 de enero de 2009. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 2 p.
- OVSICORI, 2009d. Sismo 6.2 Richter. Inmediaciones de Cinchona - Poasito – Varablanca, Provincia de Alajuela-Heredia. Informe de situación N° 17, 21 de enero del 2009. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. 31 p.
- Salazar, G.; L. Obando y R. Mora. 1992. Acueducto metropolitano, tramo Embalse el Llano – río Navarro (Costa Rica): Un sitio bajo amenaza. Rev. Geológica de América Central # 14, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 85-96 p.
- Vargas, Otto. 2009. Terremoto de Cinchona causó 180 deslizamientos en montañas. La Nación. San José, Costa Rica. www.nacion.com/ln_ee/2009/marzo/22/pais1910092.html (Consultado en mayo, 2009).
- Villegas, J. 2009. Daños por terremoto de Cinchona superaron los \$280 000 millones. La Nación, San José, Costa Rica. www.nacion.com/ln_ee/2009/mayo/20/pais1969869.html (Consultado en mayo, 2009).