

DESLIZAMIENTOS PROVOCADOS POR EL TERREMOTO DE CINCHONA DE 2009, COSTA RICA

LANDSLIDES CAUSED BY THE CINCHONA, COSTA RICA EARTHQUAKE OF 2009

*Gustavo Barrantes Castillo*¹

*Cristina Jiménez Campos*²

Universidad Nacional de Costa Rica

*María José Ocón García*³

Instituto Costarricense de Electricidad

RESUMEN

El 8 de enero del 2009 ocurrió un sismo que generó una gran cantidad de deslizamientos, los cuales fueron la causa de severos daños ambientales y sociales. La nubosidad de la zona solo permitió hacer mapas aproximados del área de afectación. Gracias a la colaboración entre el ICE y la Escuela de Geografía de la Universidad Nacional, fue posible la elaboración de un inventario detallado de los deslizamientos ocurridos a partir del análisis de nubes de puntos LiDAR. El resultado final se presenta en un mapa que muestra el patrón de distribución de los deslizamientos, el cual concuerda con zonas de fuerte pendiente y amplias capas de regolito.

Palabras claves: deslizamientos, Cinchona, terremoto de Cinchona, nubes de puntos LiDAR.

1 Profesor Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: Gustavo.barrantes@una.cr

2 Asistente de investigación, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: crisjimeca@hotmail.com

3 Geógrafa, Unidad Estratégica de Negocios, Instituto Costarricense de Electricidad. San José. Correo electrónico: mocon@ice.go.cr

Fecha de recepción: 3 de mayo de 2013

Fecha de aceptación: 24 de junio de 2013

ABSTRACT

On January 8, 2009, an earthquake in Costa Rica caused many landslides, resulting in severe environmental and social damage. The cloudiness of the affected area allowed only approximate mapping of area. Collaboration between the Costa Rican Institute of Electricity (ICE) and the School of Geographic Sciences at National University of Costa Rica (UNA) made it possible to take a detailed inventory of the landslides through image analysis via Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR). A comprehensive review of each of the orthophotos and 3D viewing on a Geographic Information System (GIS) allowed digitalizing landslides at 1:1000 scale. The map of the Cinchona earthquake coseismic landslides reveals a pattern of concentration of the landslides to the northeast and north of the epicenter, which is consistent with steep slope, high humidity and deep layers of regolith areas.

Key Words: landslide, Cinchona, Costa Rica, Cinchona earthquake, LiDar images, School of Geographic Sciences, Universidad Nacional

Costa Rica se encuentra en una zona de alta amenaza sísmica debido a que está ubicada en una zona de subducción, esto propicia la ocurrencia de sismos tanto de interplaca como por fallamiento local, ambos con gran potencial destructivo, los primeros por su magnitud, como el terremoto de Orotina de 1924 magnitud 7.8 M_L (Vallejos, Esquivel & Hidalgo, 2012) y los segundos por su cercanía a la superficie, como el terremoto de Cartago de 1910.

Los movimientos sísmicos intensos, suelen estar acompañados por efectos indirectos como: levantamiento de la corteza, deslizamientos o la licuefacción, tal como ocurrió en el terremoto de Limón de 1991 (Chacón, 1993).

El 8 de enero de 2009 ocurrió un sismo de magnitud de 6,2 Mw a 6 km de profundidad, con una intensidad máxima IX, en la falla El Ángel. Se trató de un fallamiento oblicuo en dirección aproximadamente NW-SE, cuya ruptura se extendió por unos 12 km en la horizontal (Barquero, 2009). A parte de la sacudida sísmica ocurrieron una serie de deslizamientos de distintas dimensiones y tipos, que aumentaron significativamente los daños.

Este sismo cobró la vida de 25 personas y afectó infraestructuras tales como: puentes, caminos, viviendas, iglesias, líneas de transmisión eléctrica y las represas hidroeléctricas de Toro II y Cariblanco, con pérdidas totales estimadas en 280.765 millones de colones (Laurent, 2009).

Inmediatamente después del sismo reinó la incertidumbre sobre los daños ocurridos, debido principalmente a que los caminos de acceso quedaron destruidos por los deslizamientos y a las imágenes disponibles por

medio del “Internacional charter” que presentaban alta nubosidad. Como resultado se debió esperar hasta la realización de un sobrevuelo para percatarse de la magnitud de los daños, en particular sobre la cantidad y tamaños de los deslizamientos ocurridos. La nubosidad constante en la zona impidió utilizar imágenes satelitales posteriores, por lo que se realizaron mapas aproximados con base en los sobrevuelos realizados.

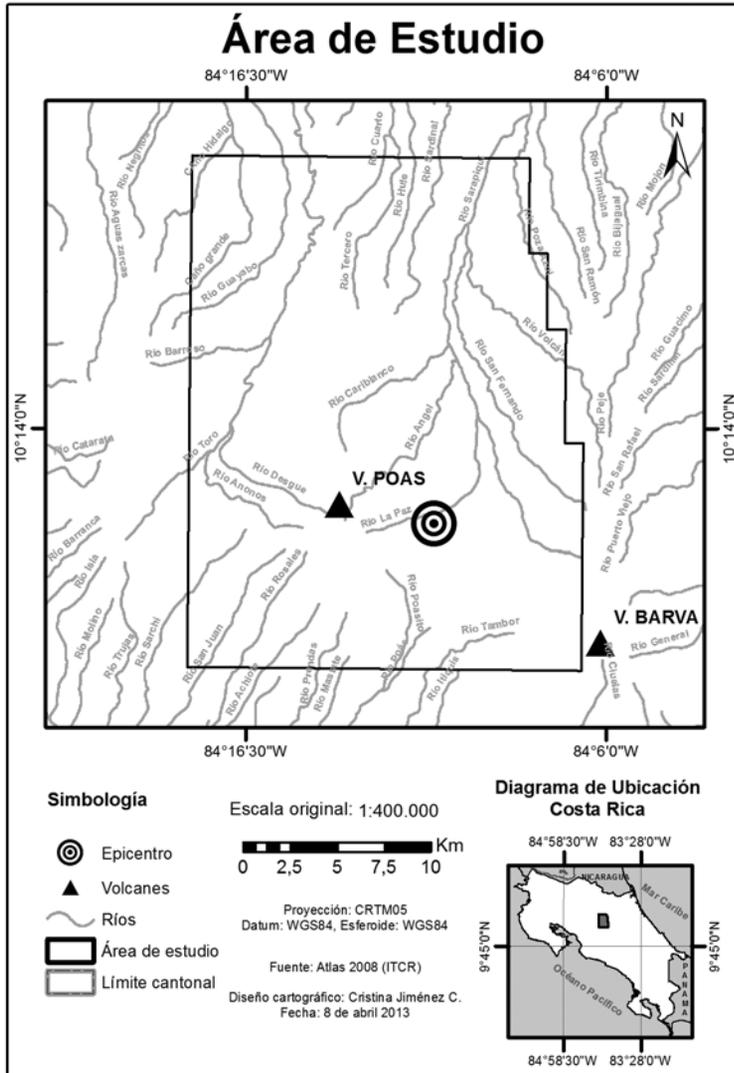
A unas semanas del evento el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) contrata el levantamientos del área por medio de imágenes LiDAR, gracias a las imágenes se realizaron mapeos preliminares en áreas estratégicas para el ICE, sin embargo, a la fecha no se confeccionó un mapa final con los deslizamientos ocurridos.

Gracias a la colaboración entre la Unidad Estratégica de Negocios del Instituto Costarricense de Electricidad y la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, fue posible hacer un inventario completo de los deslizamientos ocurridos a escala uno 1:1.000. A continuación se describen las principales características de los deslizamientos ocurridos y se presenta el mapa elaborado.

Área de Estudio

Inicialmente el área cubierta fue definida por el ICE quién dio los términos de referencia para el levantamiento de las imágenes LiDAR. Del área inicial levantada se utilizó únicamente un área de estudio correspondiente a 537km² que se ubica entre las coordenadas CRTM05: 466723N y 1145971E, 487815N y 1145971E, 466723N y 1118799E, 487815N y 1118799E (mapa 1).

Mapa 1. Ubicación del área de estudio



El área comprende una diferencia latitudinal que va desde los 2700 msnm a los 300 msnm, aproximadamente. Se trata de la parte alta de la Cuenca del Río Sarapiquí, localizada principalmente en el sector norte de las provincias de Alajuela y Heredia, entre los cantones de Alajuela, Poás, Valverde Vega, Grecia y Heredia y pequeñas secciones de San Carlos, Barba,

Santa Bárbara y Sarapiquí. En el área destacan los asentamientos: Vara Blanca, Los Cartagos, Cariblanco y Chinchona; poblaciones eminentemente rurales dedicadas a actividades agrícolas y el turismo principalmente.

Deslizamientos

El término deslizamiento se empleará en su sentido más amplio, para referirse a casi todas las variedades de movimientos de remoción en masa, incluyendo deslizamientos propiamente, caídas, vuelcos y flujos, excluyendo reptación y soliflucción (Gutiérrez, 2008). Varnes (1988) clasifica los movimientos de masas en seis grandes grupos:

- Caídas: desprendimiento de bloques rocosos que caen libremente.
- Vuelcos: se producen cuando los estratos buzan en sentido contrario a la ladera, debido a la presencia de fracturas en las rocas.
- Deslizamientos: se trata de movimientos en los cuales la masa se mueve en conjunto como una unidad. Éstos pueden ser subdivididos en rotacionales, cuando la superficie de ruptura tiene una forma curva y trasnacionales cuando la superficie de ruptura sigue planos y debilidad en favor de la pendiente.
- Flujos: son movimientos de suelo, derrubios o bloques rocosos que se comportan como un fluido debido a la abundancia de agua.
- Deslizamientos laterales: movimientos de suelo, derrubios o bloques coherentes que se mueven sobre material blando deformable.
- Movimientos complejos: combinación de dos o más de los anteriores.

Las causas de los movimientos de laderas pueden ser agrupados en dos grandes categorías denominadas: factores condicionantes y factores desencadenantes (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Los factores condicionantes o factores pasivos están construidos por: las propiedades intrínsecas del propio terreno (litología, estratigrafía, resistencia al corte, grado de meteorización), las características morfológicas y geométricas de la ladera (topografía, pendiente), condiciones hidrogeológicas (humedad del terreno, nivel freático) y otros factores como estructuras geológicas, discontinuidades y estados de tensión-deformación.

Los factores desencadenantes, activos o de disparo corresponden con las precipitaciones (que afectan el nivel freático y provocan erosión)

tanto prolongadas como intensas, los movimientos sísmicos, actividad antrópica, (excavaciones, represas, sobrecarga de edificaciones, construcción de carreteras, rellenos de laderas, filtraciones en áreas urbanas) y esporádicamente el vulcanismo (deslizamientos, lahares o avalancha de detritos relacionados con actividad volcánica).

Los terremotos pueden causar deslizamientos de todos los tipos mencionados, dependiendo de las características del material, la magnitud y distancia del sismo. Así mismo antiguos deslizamientos pueden ser reactivados por la sacudida sísmica (González, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Metodología

Se dispuso de ortofotografías con una resolución de 0.25 cm por pixel, y de un Modelo Digital de Elevación (MDE) elaborado a partir de las imágenes LiDAR.

La metodología consistió en la revisión visual de cada una de las fotos en busca de deslizamientos y otros movimientos del terreno. Cuando se identificó algún posible deslizamiento se visualizó la fotografía en Arc Scene para tener una vista en 3D. De esta manera fue posible discriminar en tres grandes grupos de movimientos del terreno, a saber: deslizamientos, flujos de derrubios y movimientos antrópicos. Una vez localizado y catalogado el movimiento del terreno se procedió digitalizarlo utilizando una escala de referencia 1:1.000. Con esa información se elaboró un mapa final a escala 1:10.000.

Para evaluar cuantitativamente la distribución de los deslizamientos se construyó una rejilla de 250mx205m, a partir de la cual se hizo un indicador de densidad de deslizamientos por km² y otro de forceje de área deslizada por área de la rejilla. La diferencia entre el índice de densidad y el de porcentaje de área deslizada es que el primero privilegia los deslizamientos pequeños pero próximos mientras que el segundo a los deslizamientos de mayor extensión.

Resultados

Como resultado de un año de revisión, clasificación y digitalización, fue posible levantar los deslizamientos disparados por el terremoto de Cinchona. En el área de estudio se encontraron un total de 4600 deslizamientos, de muy diversos tamaños, que aparecen en la simbología

como deslizamientos activos (ver mapa 2). Dichos deslizamientos corresponden a un área total de 13.93 km²; sin embargo, esta área no contabiliza el suelo afectado por flujos de derrubios que representan más de 3.7 km² (las fotos no permiten seguir los flujos en ciertos tramos de los cursos fluviales).

En cuanto a la distribución de los deslizamientos pueden identificarse dos tendencias (figura 1), la primera: la mayor densidad de deslizamientos se ubica al norte del epicentro particularmente en el sector noreste del macizo del Poás, lo que corresponde con una zona de fuerte pendiente sobre la unidad geológica Andesitas La Paz, compuestas mayoritariamente por lavas, brechas, tobas y epiclastos interdigitados, posiblemente emitidos desde la cima actual del Volcán Poás (Ruiz, Gazel, Alvarado, Carr, & Soto, 2010), que a juzgar por su edad (600 a 500 Ka) deben sufrir una importante meteorización y desarrollo de suelos profundos, el otro sector con alta densidad se ubica sobre la unidad Paleogeológica Barva, ésta última con características similares a la unidad anterior y de edad entre 200-320 ka (Barquero, 2009).

Mapa 2. Ubicación de los deslizamientos relacionados con el terremoto de Cinchona

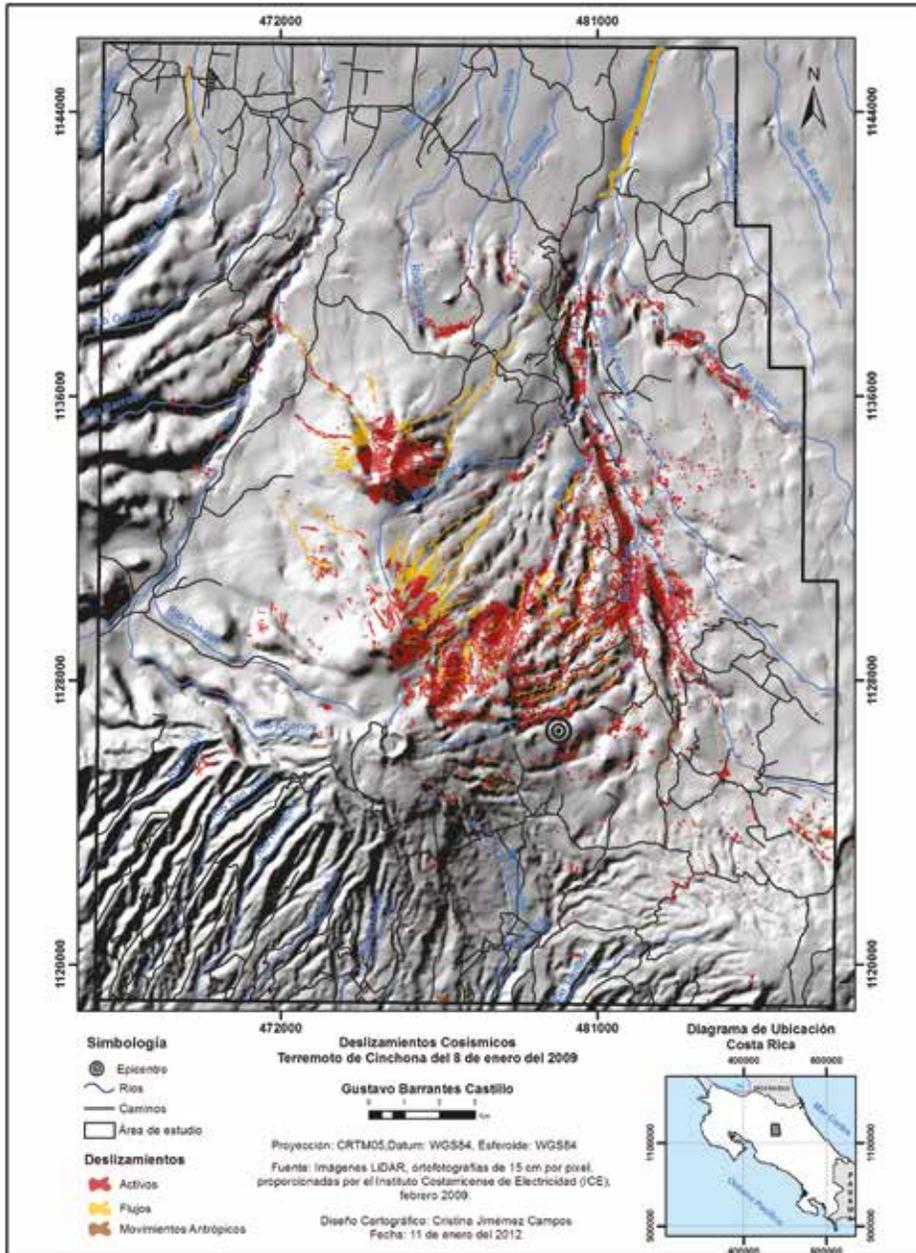
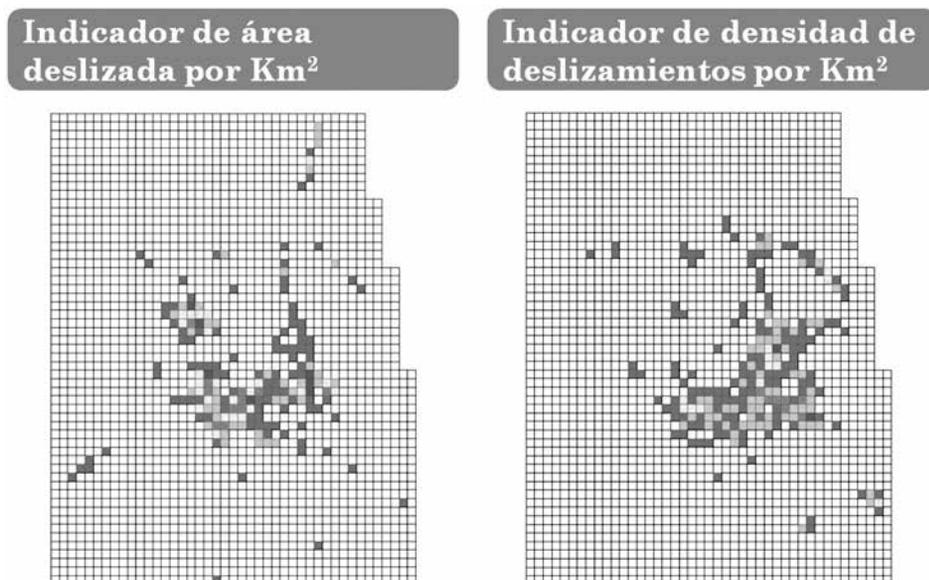


Figura 1. Distribución de las áreas afectadas por deslizamientos y flujos relacionados con el terremoto de Cinchona, el análisis se realizó utilizando celdas de 250m * 250m



A la derecha la densidad de deslizamientos por kilómetro cuadrado considerando únicamente densidades mayores a diez. A la izquierda el porcentaje de área deslizada por celda.

Por otro lado, en cuanto a la distribución del área afectada, el mayor porcentaje por kilómetro cuadrado se distribuye de manera similar que la densidad de deslizamientos, pero con mayor presencia sobre los terrenos con mayor pendiente en dichas formaciones geológicas. La particularidad principal que revela este indicador es un área localizada justo sobre el Cerro Congo (figura 1), la cual se encuentra sobre la unidad geológica Volcán Congo (Ruiz, Gazel, Alvarado, Carr, & Soto, 2010), se trata de un antiguo volcán que presenta fuertes pendientes y está muy erosionado.

Otras áreas, aunque más distantes y en menor cantidad, presentaron deslizamientos y el paso de flujos de derrubios, como es el caso del mar de la Laguna Hule y el cañon del Río Volcán, en ambos caso, las fuertes pendientes son parte de la explicación de dicha distribución. Aparte de esto, ocurrieron una serie de pequeños deslizamientos distribuidos por

toda la zona que están relacionados con la inadecuada construcción de carreteras o con sitios aislados que presentan importantes pendientes sobre suelos profundos.

Discusión de resultados

Mora (2009) reporta una enorme cantidad de deslizamientos, principalmente en los sectores de topografía fuerte o escarpada, sobre el tercio superior de las laderas, indicando además que se trata de deslizamientos de tipo traslacionales, rotacionales o caídas, que pasaron a transformarse en flujos de troncos, suelos y rocas, cuyos depósitos se encuentran en los ríos y quebradas de la zona. Esto es consecuente con lo encontrado en el mapeo realizado y también coincide en reportar una importante cantidad de deslizamientos en los alrededores de las carreteras a los que relaciona con la necesidad de mejorar sus taludes.

Alvarado (2009), por su parte, indica que los deslizamientos son en su mayoría regolíticos y coincide con Mora, en que son de tipo caída de bloques, rotacionales y traslacionales, así como complejos. Señala además que se produjeron una serie de avalanchas o flujos de barro, entre las que destaca las ocurridas sobre los ríos Seco, María Aguilar, Sardinal, Cariblanco, Ángel, La Paz, Mastate, Quebrada Tigre y el Sarapiquí. Aparte de los mencionados, por medio del mapeo realizado se encontraron flujos también sobre los ríos Caño Grande, quebrada Honda, en varios afluentes intermitentes (torrentes) del Río Pozo Azul, en la quebrada Gata, así como en un afluente intermitente de la quebrada Pilas.

El flujo más grande cartografiado corresponde con el ocurrido sobre el Río Sarapiquí, el cual produjo la destrucción de seis puentes, inundación de la Casa de Máquinas de Cariblanco, la destrucción de la toma del María Aguilar, y afectó levemente la presa del Sarapiquí (Alvarado, 2009).

Conclusiones

El terremoto de Chinchona fue un evento sísmico cuyos efectos, tanto sobre la sociedad como sobre el ambiente, resultaron agravados por la ocurrencia de deslizamientos de varios tipos y tamaños.

Se cartografiaron 4600 deslizamientos, de muy diversos tamaños, que corresponden a un área total 13.93 km², área que se ve aumentada a 3.7 km² si se consideran flujos de derrubios ocurridos.

El mapa realizado y su análisis cuantitativo permite afirmar que los deslizamientos se concentraron al norte de la zona epicentral, principalmente sobre el sector noreste del Volcán Poás (Unidad Andesitas La Paz) así como sobre el cañón del Río Sarapiquí (unidad Paleo Barva) y del Río Volcán (escarpe falla San Miguel) y en otras estructuras volcánicas como el cerro Congo (unidad Volcán Congo) y la parte sur del mar del Hule. El factor común en todos estos casos son las fuertes pendientes y la disposición de gruesas capas de regolitos y alta humedad.

Varios de los deslizamientos complejos terminaron como flujos de derrubios que afectaron varios cursos fluviales como los afluentes de primer orden de los ríos: La Paz, Cariblanco, María Aguilar y seco, y en algunos casos en áreas tan distantes como sobre el Río Caño Grande. El flujo más importante y destructivo resulto el ocurrido sobre el Río Sarapiquí.

Referencias

- Alvarado, G. (2009). Aspectos sedimentológicos de los Flujos de lodo. En R. Barquero, *El terremoto de Cinchona, 8 enero de 2009* (p.69-93). San José: RSN.
- Barquero, R. (2009). *El Terremoto de Cinchona del 8 de enero de 2009*. San José: RSN.
- Chacón, T. (1993). Estabilidad de laderas y el impacto del terremoto de Limón. (*Tesis inédita de Licenciatura para optar al título de licenciado en Geografía*,) Universidad Nacional, (p. 175). Heredia.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Laurent, J. (2009). Evaluación económica en las pérdidas y daños. En R. Barquero, *El terremoto de Cinchona, 8 de enero de 2009*, pp.101-127. San José: RSN.
- Mora, R. (2009). Observaciones geotécnicas, Teremoto de Cinchona. En R. Barquero, *El terremoto de Cinchona, 8 de enero de 2009*, pp. 94-100. San José: RSN.
- Ruiz, P., Gazel, E., Alvarado, G., Carr, M., & Soto, G. (2010). Caracterización geoquímica y petrográfica de las unidades geológicas del

macizo del Volcán Poás, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 43, pp.37-66.

- Vallejos, S., Esquivel, L. & Hidalgo, M. (2012) *Histórico de desastres en Costa Rica (febrero 1723- septiembre 2012)*. San José: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, pp.48.
- Varnes, D. J. (1988). Slope movement types and processes. En R. L. Schuster, & R. Krizek, *Landslides: analysis and control*. National Academy of Science.