

# OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS Y PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA CORRELACIONADOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO NARANJO, CACHÍ, PARAÍSO, COSTA RICA

*Ocorrência de deslizamentos e processos de remoção de massa correlacionados na microbacia do rio Naranjo, Cachí, Paraíso, Costa Rica*

*Occurrence of landslides and correlated mass removal processes in the Naranjo river microwatershed, Cachí, Paraíso, Costa Rica*



**Lisbeth Elena ÁLVAREZ VARGAS** - Universidad de Costa Rica (UCR)

URL: <https://vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/researchers/402020759>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2398-8229>

EMAIL: [lisbeth.alvarezvargas@ucr.ac.cr](mailto:lisbeth.alvarezvargas@ucr.ac.cr)

**Víctor MI. CORTÉS GRANADOS** - Universidad de Costa Rica (UCR)

URL: <https://vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/researchers/302460371>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8053-9126>

EMAIL: [victor.cortes@ucr.ac.cr](mailto:victor.cortes@ucr.ac.cr)

## RESUMEN

La investigación aborda la ocurrencia de deslizamentos y procesos de remoción en masa correlacionados, cuya expresión territorial del riesgo se da en la microcuenca del río Naranjo. Para ello se realizó trabajo de campo, para reconocer y documentar las situaciones asociadas a la génesis de procesos de remoción en masa, distribución de la población, distribución de actividades agrícolas en relación con la presencia de bosque e hidrogeomorfología. Se recolectaron muestras de suelos que fueron procesadas y caracterizadas en laboratorio. Se elaboró cartografía que representa de manera fehaciente la topografía y los deslizamientos presentes. Se realizaron vuelos con vehículos aéreos no tripulados, a partir de cuyas imágenes se elaboraron ortofotos para una mejor comprensión de la distribución de la población en la microcuenca media y alta. Como parte de los resultados se confirma que la microcuenca por su morfometría hidrológica constituye un sistema fluvial de comportamiento torrencial, favorecido por laderas de relieve irregular disectado y por numerosas quebradas nacidas en ellas, que fluyen abruptamente siguiendo líneas de fractura tectónica, provocando desbordamientos torrenciales y depósitos caóticos de materiales que ponen en riesgo la infraestructura y las personas que la habitan. Se espera que este estudio hidrogeomorfológico coadyuve a la comprensión del comportamiento hidrogeomorfológico de la microcuenca en pos de una gestión del riesgo ante desastres prospectiva, así como realizar estudios semejantes en el resto de microcuencas que conforman al valle de Orosi-Ujarrás, dado que son de tamaño, forma y relieve semejantes con un régimen común de precipitaciones.

**Palabras clave:** Microcuenca; Tormenta; Deslizamiento; Ordenamiento territorial; Gestión del riesgo.

Histórico do artigo

Recebido: 18 abril, 2022

Aceito: 03 junho, 2022

Publicado: 14 junho, 2022

## RESUMO

A pesquisa aborda a ocorrência de deslizamentos e processos de remoção em massa correlacionados, cuja expressão territorial de risco ocorre na microbacia do rio Naranjo. Para isso, foi realizado trabalho de campo para reconhecer e documentar as situações associadas à gênese dos processos de remoção de massa, distribuição populacional, distribuição das atividades agrícolas em relação à presença de floresta e hidrogeomorfologia. Amostras de solo foram coletadas, processadas e caracterizadas em laboratório. Foi elaborada uma cartografia que representa de forma confiável a topografia e os deslizamentos presentes. Os voos foram realizados com veículos aéreos não tripulados, de cujas imagens foram feitas ortofotos para melhor compreensão da distribuição da população na microbacia média e alta. Como parte dos resultados, confirma-se que a microbacia, devido à sua morfometria hidrológica, constitui um sistema fluvial com comportamento torrencial, favorecido por taludes de relevo irregulares dissecados e por inúmeras ravinas nelas nascidas, que fluem abruptamente seguindo linhas de fratura tectônicas., causando transbordamentos torrenciais e depósitos caóticos de materiais que colocam em risco a infraestrutura e as pessoas que a habitam. Espera-se que este estudo hidrogeomorfológico contribua para a compreensão do comportamento hidrogeomorfológico da microbacia na busca da gestão prospectiva do risco de desastres, bem como a realização de estudos semelhantes no restante das microbacias que compõem o Orosi-Ujarrás vale, uma vez que são de tamanho, forma e relevo semelhantes com um regime de chuvas comum.

**Palavras-chave:** Microbacia; Tempestade; Deslizar; Ordenamento territorial; Gerenciamento de riscos.

## ABSTRACT

The research addresses the occurrence of landslides and correlated mass removal processes, whose territorial expression of risk occurs in the Naranjo River micro-basin. For this, field work was carried out to recognize and document the situations associated with the genesis of mass removal processes, population distribution, distribution of agricultural activities in relation to the presence of forest and hydrogeomorphology. Soil samples were collected, processed and characterized in the laboratory. Cartography was prepared that reliably represents the topography and the landslides present. Flights were carried out with unmanned aerial vehicles, from whose images orthophotos were made for a better understanding of the distribution of the population in the middle and upper micro-basin. As part of the results, it is confirmed that the micro-basin, due to its hydrological morphometry, constitutes a fluvial system with torrential behavior, favored by dissected irregular relief slopes and by numerous ravines born in them, which flow abruptly following tectonic fracture lines, causing torrential overflows and chaotic deposits of materials that put the infrastructure and the people who inhabit it at risk. It is expected that this hydrogeomorphological study contributes to the understanding of the hydrogeomorphological behavior of the micro-basin in pursuit of prospective disaster risk management, as well as carrying out similar studies in the rest of the micro-basins that make up the Orosi-Ujarrás valley, since they are of similar size, shape and relief with a common rainfall regime.

**Keywords:** Micro-basin; Storm; Glide; Land use planning; Risk management.

## 1 INTRODUCCIÓN

Este estudio consiste en un análisis del pasado reciente (años 80s al presente) sobre la ocurrencia de procesos de remoción en masa en las laderas de la microcuenca del río Naranjo, ubicada en el distrito Cachí. Esta microcuenca se considera representativa de



la densa red de microcuencas que confluyen en la zona de sedimentación de la parte inferior de la cuenca del río Grande de Orosi, y que se caracterizan por ser pequeños sistemas fluviales, de los cuales la mayoría no llegan a tener una superficie que supere los 10 km<sup>2</sup>, entre las que se pueden citar las microcuencas de los ríos: Jucó, Palomo, Chirí, Púcaros, Loaiza, Oro, Sordi; quebradas: Leandro, Aguas Regadas, Chile, Máquina, Irola, entre otras.

La red fluvial interna de estas microcuencas presenta cauces de recorrido irregular y torrencial, que arrastran materiales de tamaño fino y métrico, que son aportados desde sus laderas de fuertes pendientes. Estas microcuencas de relieves abruptos, suelen experimentar tormentas extremas durante la estación lluviosa, como la ocurrida el 2 de julio de 1987 sobre la microcuenca del río Naranjo. Tales eventos han provocado numerosos deslizamientos, desprendimientos, caída y rodamiento de rocas, así como avalanchas e inundaciones torrenciales, que han provocado pérdidas costosas respecto a los materiales de las viviendas, la infraestructura vital, las actividades económicas locales y la pérdida de vidas humanas.

La microcuenca en estudio presenta una marcada intervención humana, que se percibe por la deforestación que abrió paso a la agricultura del café y a los pastos, aunado a la amplia ocupación habitacional a la que se ha venido sumando la instalación de infraestructura asociada al descanso y turismo rural, cuyo diseño ingenieril y ubicación geográfica no han considerado la evolución geomorfológica de sus laderas, el comportamiento hidrogeomorfológico e hidroclimático torrencial de la red fluvial, de cauces angostos, donde algunos de ellos fluyen siguiendo líneas de fallas tectónicas.

Se considera como objetivo, el que esta investigación coadyuve a la comprensión del comportamiento hidrogeomorfológico de este y de otros pequeños sistemas fluviales presentes en la cuenca del río Grande de Orosi, en pos de una gestión del riesgo ante desastres prospectiva, preventiva y sostenible, donde se resalten las microcuencas como sistemas naturales y dinámicos. Por ende, las personas que en ellas habitan junto a sus infraestructuras y distintas actividades que en las mismas desarrollan, implementen actividades y medidas que recuperen y/o fortalezcan la sostenibilidad ambiental de estas.

## **2 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA MICROCUENCA**

Esta investigación se localiza en la microcuenca del río Naranjo (Figura 01) la cual posee un área de 6 km<sup>2</sup> en jurisdicción del distrito Cachí (cantón Paraíso, provincia Cartago), mismo que tiene una superficie de 36.77 km, de acuerdo con Gaviria, Pino y Soto-

Cordoba (2016). La microcuenca en cuestión comprende el 17.4% de la superficie del distrito Cachí, en tanto este último ocupa el 8.9% del cantón Paraíso que tiene 412 km<sup>2</sup>.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2011), la provincia de Cartago tiene 420903 habitantes que representan el 11,4% de la población del país, de las cuales 57743 personas viven en el cantón Paraíso, es decir el 13,7% de la población de la provincia, mientras que en el distrito Cachí en el año 2011 habitaban 5438. El INEC (2021), estimo 5911 personas para el año 2021 de las cuales el 53,6% es considerada como urbana y cuya mayoría vive en el poblado del mismo nombre y emplazado en la parte inferior de la microcuenca del río Naranjo.

**Figura 01** – Ubicación de la Microcuenca del Río Naranjo, Cartago. 2021.



**Fuente:** Escuela de Geografía-UCR (2021); Reyes (2021).

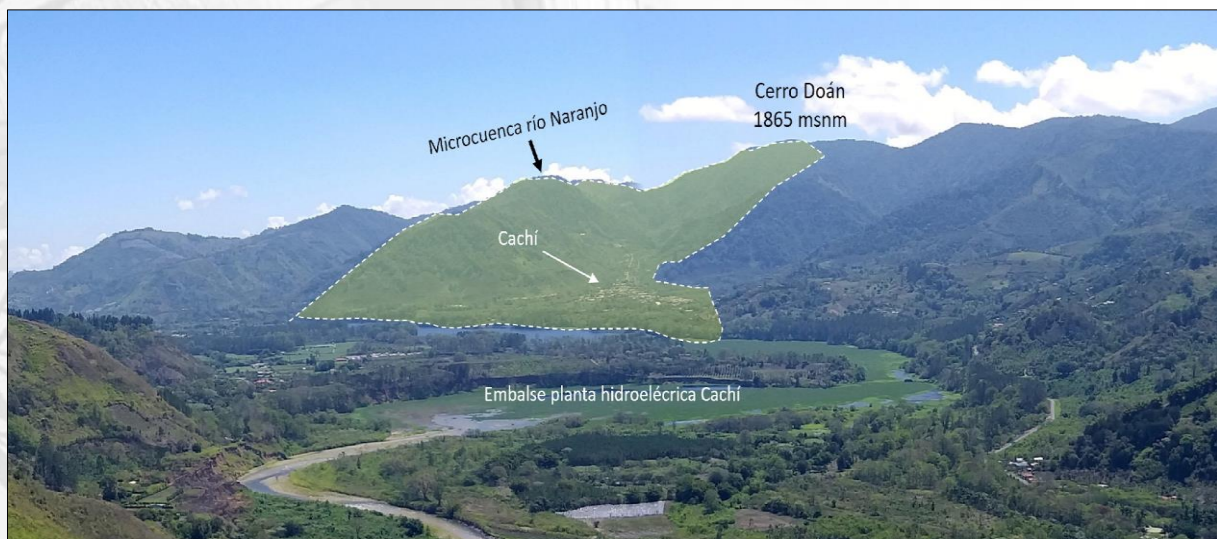
La microcuenca del río Naranjo es parte de la red fluvial de la cuenca del río Grande de Orosi en la que en su parte inferior contiene la planta hidroeléctrica Cahí, misma donde la red fluvial de la microcuenca en mención vierte sus aguas (Figura 02). La cuenca del río Grande de Orosi registra una pluviometría variada con promedios anuales que alcanzan los 6556 mm en altitudes que rondan los 365 m s.n.m (ICE, 2004). En tanto, en las partes bajas de la cuenca donde las elevaciones medias son de aproximadamente 1000 m s.n.m precipitan en promedio 1724 mm, según las estaciones meteorológicas Cachí Plantel y



Presas Cachí del ICE. Esta pluviometría se descarga sobre una topografía muy irregular con pendientes abruptas en la que la pendiente media es de 33° para este sector de la cuenca del río Grande de Orosi.

Los suelos de la microcuenca en estudio, que se ubican en las laderas están muy meteorizados, pertenecen al orden de los ultisoles (ICE 1998), y han sido formados por alteración in situ sobre materiales volcánicos de la formación geológica Doán, de edad del inicio del Plioceno (Alvarado y Pérez, 1998). Asimismo, se evidencian suelos entisoles e inceptisoles derivados de materiales sedimentarios de depósito de conos de deyección y coluviales del Holoceno (Sojo, Denyer, Gazel, Alvarado, 2017). Esta litología está disectada por una red de drenaje de transepto corto e hidrodinámica torrencial, así como por numerosos caminos mal diseñados que cortan la continuidad de la pendiente natural de las laderas de la microcuenca.

**Figura 02** – Cuenca inferior del río Grande de Orosi.



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

En cuanto al uso actual de la tierra, Cortés (2008), encontró que en la microcuenca del río Naranjo la cobertura de bosque denso se encuentra en forma de sinucias en la parte media y alta de sus laderas, sobresaliendo en el resto de la superficie el cultivo de café, pastos y pequeñas parcelas de tomate, chile, chayote, caña de azúcar y cítricos, destacando además la presencia de infraestructura turística como restaurantes y hoteles. Este uso de la tierra está emplazado sobre pendientes que varían entre 15% y más de 75%, correspondiendo a las clases de capacidad de uso de la tierra VI, VII y VIII, que refieren un uso agrícola restringido en la clase VI y forestal en la VII y VIII.

### 3 METODOLOGÍA

Con el propósito de llevar a cabo el objetivo planteado en la investigación, se realizó trabajo de campo distribuido en 5 jornadas, donde se recorrió caminando la microcuenca del río Naranjo para reconocer y documentar mediante fotografías las distintas situaciones asociadas a la génesis de procesos de remoción en masa (origen y constitución litológica, forma y topografía de las laderas, distribución de actividades agrícolas, trazado de la red de caminos, cálculo y validación en campo de parámetros morfométricos de la microcuenca, tipos de materiales que transportan los cursos fluviales y estado de caminos). Asimismo, se evaluó la distribución de la población asentada en la microcuenca desde el punto de vista de los terrenos que habitan, distribución de las actividades agrícolas en relación con la presencia de bosque y la hidrogeomorfología de la cuenca.

Se contó con información meteorológica facilitada por ICE, respecto a sus estaciones meteorológicas instaladas en la zona, cuya información permitió caracterizar el régimen de lluvias en la microcuenca del río Naranjo y su aplicación a la interpretación del comportamiento hidrológico torrencial.

Se estudiaron las formaciones superficiales, las cuales se deben entender de acuerdo con Dresh (1972) como las “formaciones continentales, muebles o secundariamente consolidadas, provenientes de la desagregación mecánica y/o de la alteración química de las rocas preexistentes, bajo la acción sea de factores tectónicos o de factores bioclimáticos”. Para el estudio de estas formaciones superficiales se caracterizaron una serie de muestras tomadas en campo, a las que se determinó en laboratorio las propiedades de la textura, color, capacidad de saturación, porosidad, densidad aparente y real y los límites de Atterberg (liquidez, plasticidad, contracción e índice de plasticidad), con cuyos datos se realizó la interpretación hidrodinámica de las formaciones superficiales desde el punto de vista de su potencial a que en ellas se generen deslizamientos y otros procesos de remoción en masa en las laderas.

Para presentar gráficamente los aspectos fundamentales de las variables consideradas en este estudio, se elaboraron modelos de elevación que representan de manera fehaciente la topografía, los deslizamientos disparados por la tormenta del 2 de julio del año 1987, y la dinámica actual de las laderas mediante un mapa morfodinámico. Se realizaron vuelos con vehículos aéreos no tripulados, a partir de cuyas imágenes se elaboraron ortofotos para una mejor comprensión de la distribución de la población en la



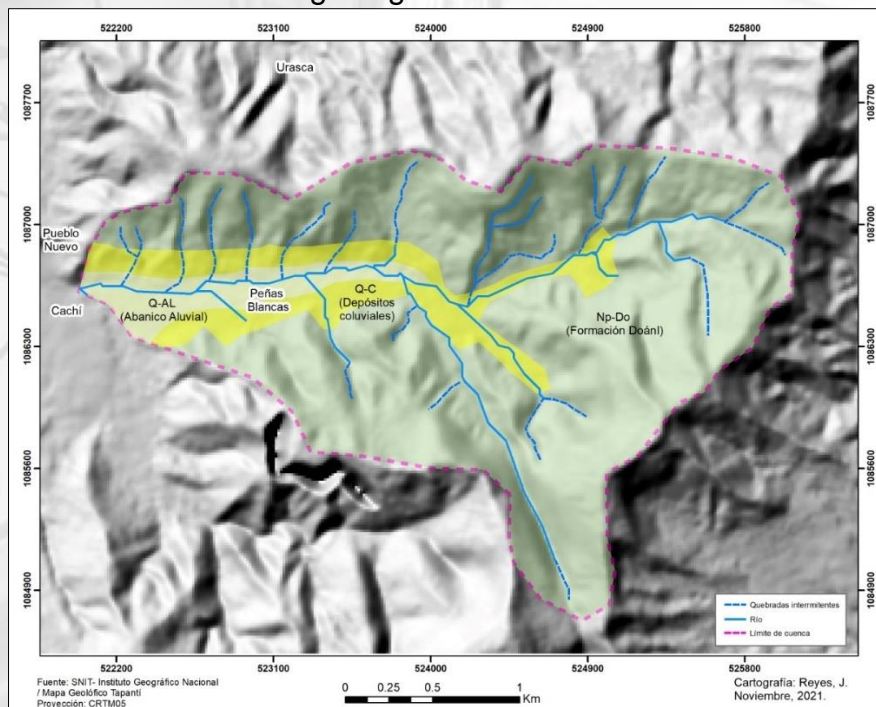
microcuenca media y alta, así como se presentan fotografías de campo que evidencian la situación actual de la microcuenca respecto al potencial de ocurrencia de deslizamientos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Marco geofisiográfico de la microcuenca

La microcuenca hidrográfica del río Naranjo está constituida por tres tipos de formaciones geológicas (Figura 03). Dos de estas formaciones son de edad cuaternaria, la primera de origen coluvial (Qc) tapizando el piedemonte de sus empinadas e irregulares laderas en forma de conos de detritos y acumulaciones de bloques rocosos que suelen alcanzar dimensiones métricas; mientras que la segunda se encuentra rellenando las partes planas del fondo valle del río Naranjo y de sus afluentes y se encuentra conformada por aluviones asociados al transporte y relleno fluvial (Qal), que se han depositado en forma de conos de deyección orientados en un sentido Este a Oeste, sobre los que hoy se encuentra emplazados los poblados de Cachí, Pueblo Nuevo y Peñas Blancas.

**Figura 03** – Formaciones geológicas de la Microcuenca del río Naranjo.



**Fuente:** SNIT-Instituto Geográfico Nacional (2021); Reyes (2021).

Estas dos formaciones son cortadas por la red fluvial, conformando una topografía con cauces sinuosos, profundos y de riberas de paredes abruptas, que evidencian un comportamiento fluvial torrencial en correspondencia con un régimen pluviométrico en la

que caen en promedio 1724 mm anuales, entre los años 1992-2021 (ICE, 2021); mientras que a partir de la tercera litología se ha edificado un relieve de laderas pronunciadas, con una pendiente media de 50% (Figura 04) constituida de un basamento de origen volcánico denominada formación Doán (Np-Do), a la que se le asocia una edad del Plioceno y un espesor de 300 m en el Cerro Doán, aunque podría alcanzar los 800 m en algunas áreas circunvecinas, según Alvarado y Pérez (1998).

De acuerdo con Alvarado y Pérez (1998), la formación Doán, está compuesta en un 80 % por depósitos volcanoclásticos (piroclásticos y epiclásticos), así como por coladas de lava e intrusiones en forma de diques. Las rocas poseen una composición que varía entre basáltica y andesítica, en tanto que los materiales piroclásticos consisten en depósitos de flujos de bloques y cenizas a modo de avalanchas, mientras que los depósitos epiclásticos los conforman flujos escombros laháricos, así como de tobitas, conglomerados, aglomerados y brechas tobáceas. Es una formación en la que actualmente sus rocas están expuestas en los lechos fluviales y en los riscos de las laderas.

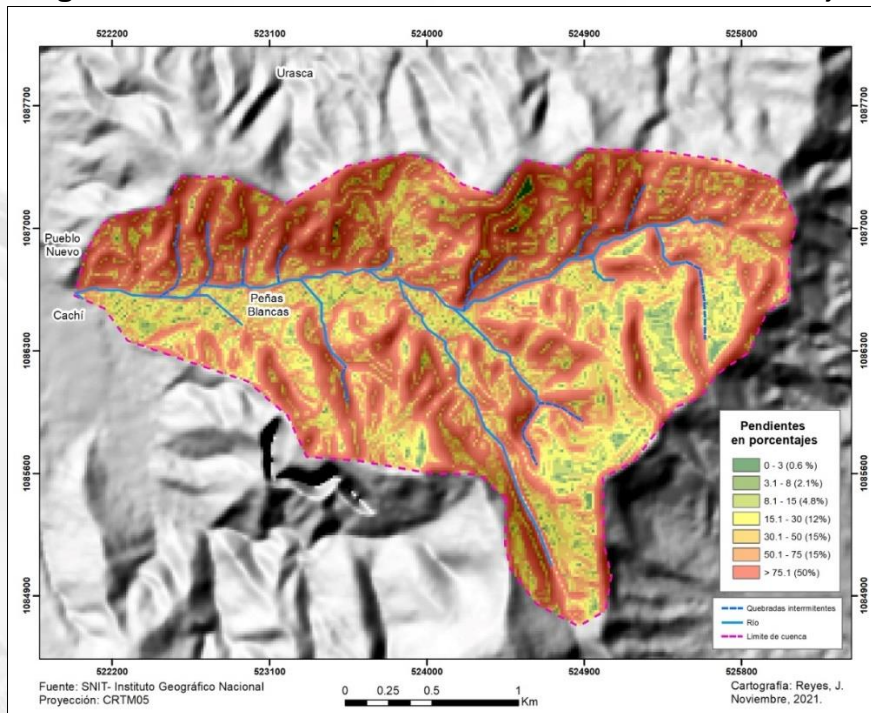
Esta formación también posee rocas meteorizadas, que al ser muy blandas son fácilmente disgregadas por la erosión, siendo los materiales ideales para la constitución de avalanchas torrenciales que se forman especialmente cuando se presentan fenómenos atmosféricos focalizados (lluvias torrenciales) sobre los cerros, como la tormenta ocurrida el 2 de Julio de 1987.

El modelo de elevación (Figura 04) de la microcuenca del río Naranjo, permite confirmar que sobresalen laderas escarpadas que representan el 80.7% de la superficie, y que en el campo se reconocen como sectores con afloramientos rocosos afectados por la neotectónica y como desprendimientos de materiales, en tanto que en la mayoría de la superficie se han formado in situ o depositado suelos lixiviados de escasa fertilidad del orden de los ultisoles en correspondencia con formaciones superficiales de espesores métricos.

Asimismo, en algunas superficies de topografía empinada, se observan bloques rocosos de dimensiones métricas inestables con posibilidad de desprendimiento o que están en tránsito sobre ellas, poniendo en riesgo a la población que habita a lo largo de las angostas superficies plano-onduladas de los fondo valles que representan el 19.3% de la microcuenca, cuyo ancho medio es de 250 m, donde sobresalen los poblados de Peñas Blancas, Cachí y Pueblo Nuevo, así como población asentada en forma dispersa en las laderas de toda la microcuenca (Figura 05 y 06).

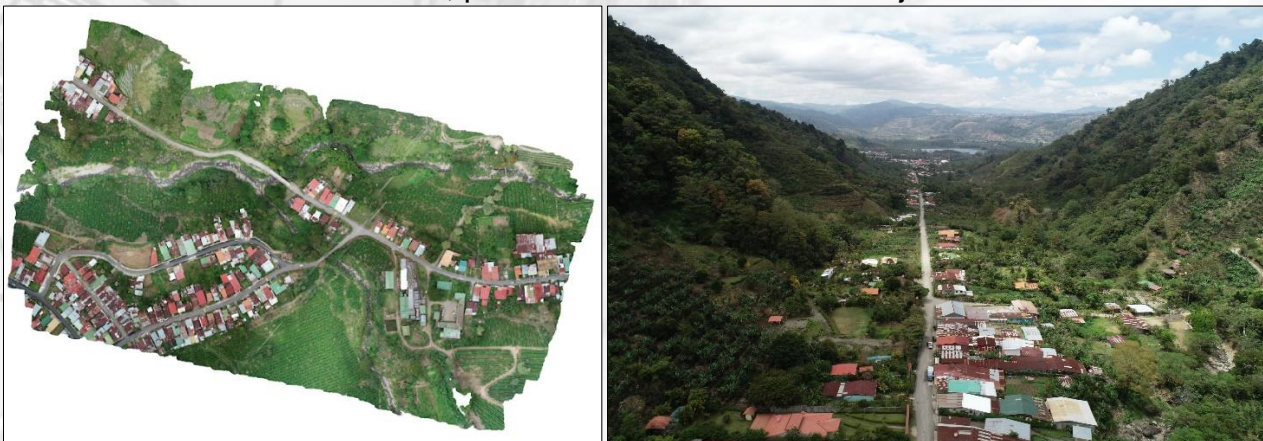


**Figura 04 – Pendientes de la Microcuenca del río Naranjo.**



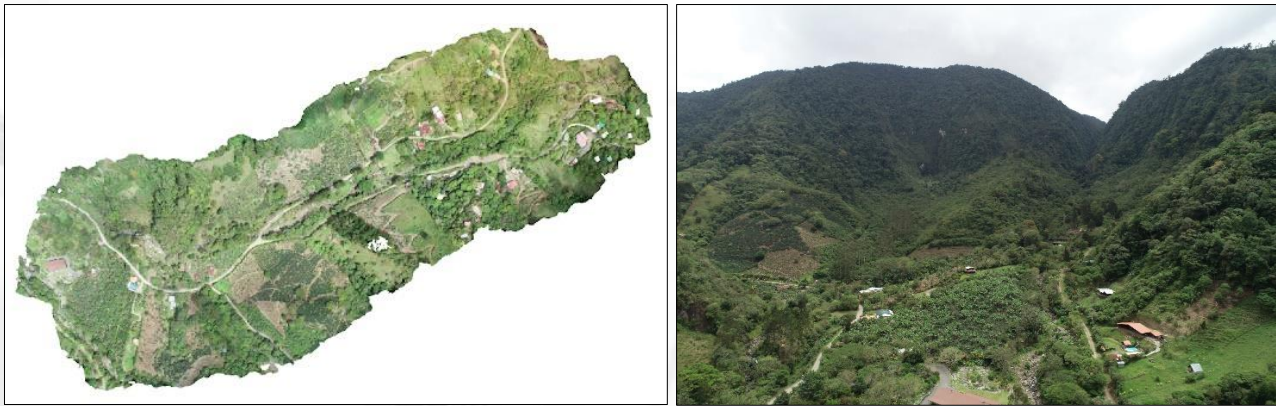
**Fuente:** SNIT-Instituto Geográfico Nacional (2021); Reyes (2021).

**Figura 05 – Desarrollo urbano lineal y laderas pronunciadas en la comunidad de Peñas Blancas, paralelo al cauce del río Naranjo.**



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

**Figura 06** – Sector superior (cerro Doán) de la microcuenca con presencia de escarpe de falla tectónica Tambor o Doán.



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

En los acápite siguientes se detalla cómo pueden ocurrir los deslizamientos y otros procesos de remoción en masa en las laderas de la microcuenca del río Naranjo.

## 4.2 Ocurrencia de deslizamientos en la microcuenca

En la microcuenca en estudio se reconocen cinco mecanismos que pueden desestabilizar las formaciones superficiales, actuando de manera separada o conjunta para romper la estabilidad relativa de sus laderas. Estos son: la sismicidad, el régimen de lluvias severo (con afectación periódica de tormentas localizadas), la red hidrográfica con comportamiento torrencial, la meteorización profunda de las formaciones superficiales de las laderas y la red de caminos rústica que corta las laderas en diversas direcciones.

### 4.2.1 Relación de la sismicidad con la generación de deslizamientos

Cuando ocurre un sismo de magnitud importante se adiciona una fuerte vibración a las formaciones superficiales, que según Mora y Morales (Sin fecha), las inestabiliza, principalmente si están en un límite crítico de equilibrio. Por otra parte, Mora y Morales (Sin fecha), indican que en las zonas con pendientes mayores a 30%, como es el caso la microcuenca del río Naranjo que tiene casi el 80% de superficie con topografía irregular asociada a sus laderas (Figura 4), son las más propensas a deslizarse con la sacudida sísmica, aunque no todos pueden provocar deslizamientos al momento de ocurrir, sino debilitar y preparar la ladera para que otro sismo, una lluvia severa, un corte de camino o la erosión fluvial los generen (Figura 07).

En adición Mora y Mora (1994), refieren a que los sismos que generan



deslizamientos son los de magnitud e intensidad igual o superior a 5.2 (Ms) y VI (MM), respectivamente, al menos en la región central de Costa Rica, debido a la topografía irregular y a características geológicas y tectónicas que favorecen la ocurrencia de sismos superficiales originados en fallas locales.

**Figura 07** – Sector del poblado Peñas Blancas ubicado en la margen izquierda aguas abajo del río Naranjo.



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

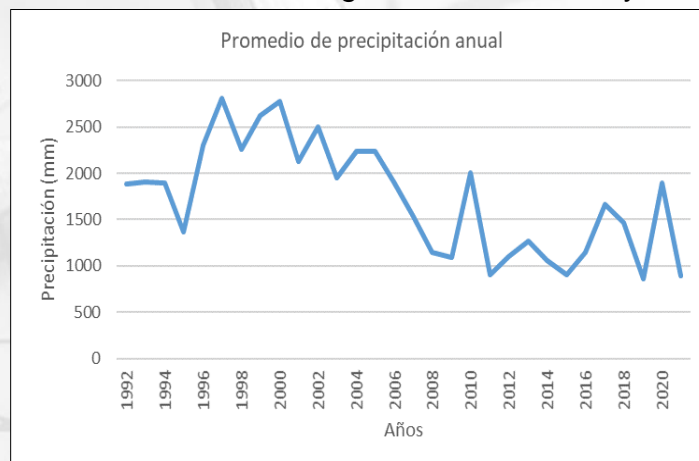
En relación con lo anterior, y aunque en la microcuenca del río Naranjo no se documentan deslizamientos por disparo sísmico, Salazar (1992), ICE (1998) y Fernández y Montero (2002), señalan que en las inmediaciones de la microcuenca existen una serie de fallas tectónicas, como la falla Irazú, la falla Aguacaliente, la falla Navarro, la falla Orosi y la falla Cangreja, mientras que en un sector más periférico están las fallas Pejibaye, Atirro, Gata, Jaris – Corralillo y la zona de fallas del Cerro de la Muerte-Pérez Zeledón; todo este conjunto de fallas podría generar sismos de hasta 7 grados de magnitud (Ms). Entre los sismos de magnitudes entre 4.5 y 6.5 asociados a estas fallas están el terremoto del 3 de julio de 1983 en Pérez Zeledón, el terremoto de Cartago del 2 de septiembre 1841 que destruyó Cartago y Paraíso, los terremotos de Cartago del 13 de abril y 4 de mayo de 1910 que destruyó la Ciudad de Cartago por segunda vez y el del 21 de agosto de 1951. Por tanto, es factible la ocurrencia de sismos de magnitud elevada que pueden disparar deslizamientos u otros procesos de remoción en masa afectando la zona donde se ubica la microcuenca del río Naranjo.

#### 4.2.2 Relación de la pluviometría y de tormentas localizadas con la ocurrencia de

## deslizamentos

En la microcuenca del río Naranjo, la precipitación promedio anual es de 1724 mm (años 1992-2020) (Figura 08) según las estaciones meteorológicas Cachí Plantel y Presa Cachí del ICE. Esta microcuenca es influenciada climáticamente por el régimen de precipitación de la Vertiente del Caribe, por lo que presenta condiciones lluviosas a lo largo de todo el año, teniendo disminuciones principalmente en el mes marzo y aumentos en el mes setiembre, lo que aporta 3,3 % y 12 % respectivamente de la precipitación promedio anual (1992-2020).

**Figura 08** – Precipitación promedio anual en la microcuenca del río Naranjo, entre los años 1992-2020. Estaciones meteorológicas Cachí Plantel y Presa Cachí del ICE.



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

En la microcuenca en estudio, la última tormenta concentrada que generó deslizamientos, se presentó en la tarde del jueves 2 de Julio de 1987, sobre el Cerro Doán, en cuyas laderas escarpadas nace una red fluvial conformada por torrentes de montaña, que en su momento canalizaron grandes avalanchas de barro, rocas de diferentes tamaños y troncos que arrastraron viviendas y puentes, según se desprende del trabajo de Mora, Valdés y Ramírez (1989). Estos autores mencionan que se dieron más de cuarenta deslizamientos en toda la zona afectada, cuyos materiales bajaron en forma de alud con gran poder destructivo.

De acuerdo a Mora, Valdés y Ramírez (1989), las isoyetas de este evento meteorológico muestran dos núcleos de precipitación máxima (Figura 9). Uno localizado sobre las microcuencas de los ríos Naranjo, Urasca y Guatuso, sobre las que cayeron un total 115 mm de lluvia con una intensidad máxima de 100 mm y otra sobre las cuencas de los ríos Humito, Cacao y Humo, con un total de lluvia entre 260 a 275 mm y una intensidad



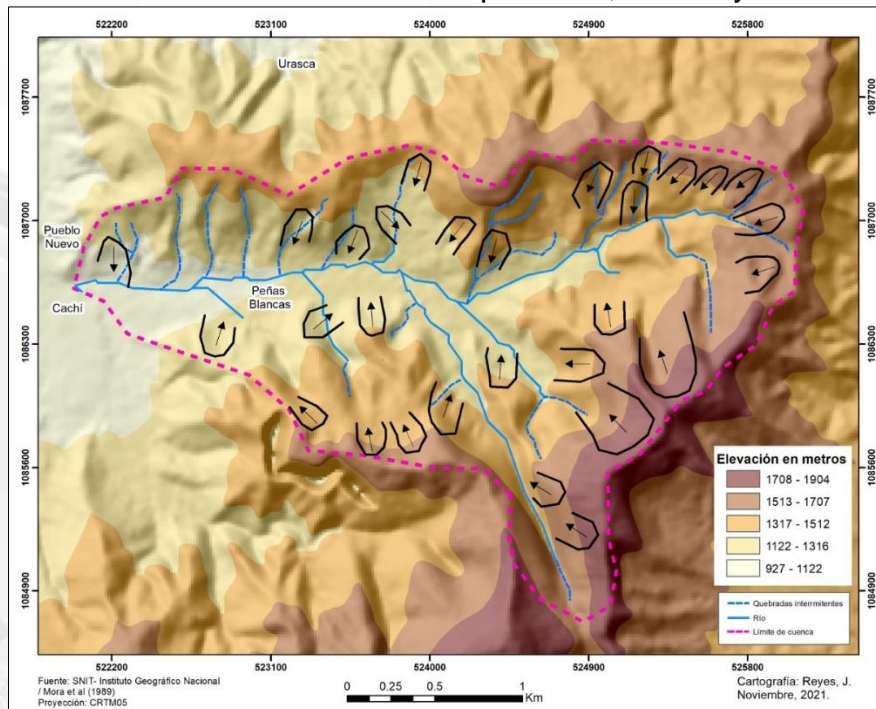
máxima de 150 mm; lo que corresponde a la ocurrencia de dos tormentas en secuencia que se concentraron en 5 horas entre las 14 y 19 horas. Este comportamiento concuerda con el régimen de lluvias de la zona, que son principalmente de tipo convectivo por la tarde, después del calentamiento diurno.

Seguidamente Mora, Valdés y Ramírez (1989), indican que se generaron deslizamientos en la microcuenca del río Naranjo, cuyo 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, que registró mayores precipitaciones en la primera tormenta no presentó mayor desestabilización de laderas, aparte de contar con mayor cobertura forestal, lo que indica una adecuada regulación hidrológica e hidrogeológica de la cuenca.

De acuerdo con los autores supracitados, los deslizamientos se produjeron en un área de 25 km<sup>2</sup> concordando con las áreas donde las lluvias fueron más intensas y donde estuvieron concentradas, o sea, sobre las cuencas de los ríos Naranjo, Vueltas, Cacao y Humito. Estos autores estimaron que el 15% de las laderas afectadas ya presentaban procesos desarrollados, caracterizando que los deslizamientos poco profundos o coluviales se presentaron en un 20%, en laderas baja 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, 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 (Figura 09) 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., equivalentes a unas 100 has totalmente destruidas y 1300 has con daños parciales. En la Hacienda Cachí se calcularon pérdidas por 10 millones de colones por la destrucción de cafetales, almácigos y 2 puentes. 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 Represa Cachí, por la presión ejercida por los detritos que obligó a detener las turbinas durante 15 días.

**Figura 9** – Deslizamientos identificados por Mora, Valdés y Ramírez (1989).



**Fuente:** Escuela de Geografía-UCR (2021); Reyes (2021).

#### 4.2.3 Relación de la torrencialidad hidrológica con la ocurrencia de deslizamientos

La red hidrográfica de la microcuenca del río Naranjo posee una dinámica hidrológica torrencial, característica que ha contribuido al disparo de los procesos de remoción en masa principalmente en las partes bajas de las laderas que colindan con las riberas de los cauces. En las crecidas máximas se ejerce erosión y socavamiento lineal y lateral en ambas márgenes de los cauces rompiendo la estabilidad de la ladera media y baja, lo que genera derrumbes frecuentes de formaciones superficiales, desprendimiento de grandes rocas y troncos, lo cual afecta directamente las plantaciones de café o infraestructuras colindantes con los cauces, extendiéndose a aquellas plantaciones ubicadas en terrazas aluviales y conos de deyección del río Naranjo y de sus afluentes.

Los factores que intervienen en el comportamiento torrencial de esta red fluvial son las fuertes pendientes, la precipitación, la respuesta rápida de la microcuenca a la concentración del flujo hídrico durante las lluvias intensas o prolongadas, en función de sus características morfométricas abruptas y de las coberturas del suelo, naturales o cultivos, que tienen una distribución discontinua en la microcuenca.

Estos factores responden al contexto geomorfológico de la microcuenca, que hace que su comportamiento fluvial torrencial sea un mecanismo normal, ya que desde su origen



geológico hasta la actualidad, se ha caracterizado por la movilización de grandes volúmenes de materiales junto a bloques de dimensiones métricas que lo evidencian los conos de deyección de los ríos Naranjo, Sordi, Zapote, Oro y quebrada Irola, que confluyen conos de deyección coalescente formando un depósito continuo sobre el cual se emplazan las comunidades de Peñas Blancas, Pueblo Nuevo, Cachí y Volio. La formación de estos conos de deyección se remonta a una condición de un régimen pluviométrico mucho más intenso que el que existe en la actualidad, en correspondencia al pluvial iniciado al finalizar el último período glacial hace unos 13000 años (Figura 10).

**Figura 10** – Bloque rocoso de dimensiones métricas en la microcuenca del río Naranjo.



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

El comportamiento torrencial de la microcuenca del río Naranjo comprobado en el pasado lejano y reciente es potenciado por la irregularidad y un pronunciado desnivel topográfico de 869 m en una longitud máxima de la microcuenca del río Naranjo de 6.6 km, a partir de la cuota máxima en el cerro Doán y mínima en el borde del embalse de Cachí de elevación de 1869 y 1000 m s.n.m, respectivamente; y por la recurrencia de tormentas meteorológicas que suelen localizarse en las partes elevadas de la microcuenca donde ocurre la recarga hídrica.

La torrencialidad de esta red fluvial es confirmada por Salazar (1992), cuando indica que el cauce principal del río Naranjo, tiene una longitud de 5,5 km, y una pendiente promedio del 26%, es decir que por cada 100 metros tiene un declive de 26 metros. Asimismo, encontró que a partir de su desembocadura en el embalse de Cachí hasta el kilómetro 4 aguas arriba, justo donde se ubica el poblado de Peñas Blancas, las pendientes del cauce varían entre 6.6% y 11%, pero en el último kilómetro se pasa de 15.4% a 66%.

Asociado a la torrencialidad de los cursos fluviales de la microcuenca del río Naranjo, se relaciona las laderas de la misma, presentan numerosas fracturadas y

diaclassadas y la existencia de fallas locales, que aunque no se puede afirmar que estén activas, es evidente que en el pasado su accionar tectónico provocó el debilitamiento y desagregación estructural de dichas rocas, lo que ha facilitado la penetración y presión colateral de los sistemas radiculares de la vegetación, provocando la pérdida de estabilidad de los fragmentos rocosos masivos, formando grandes escarpes como el que se encuentra en el Cerro Doán (1869 m s.n.m), en la cabecera de la microcuenca, controlado por la falla del río Tambor o Doán que corre en sentido NNW-SSE.

De igual manera, en toda la microcuenca, pero principalmente al pie de las laderas escarpadas y con afloramientos rocosos hay numerosas nacientes de agua, que fluyen perpendicularmente al cauce principal del río Naranjo. Esta densa red de quebradas evidencia que las rocas de las laderas almacenan importantes volúmenes de agua que ante eventos meteorológicos extremos pueden formar voluminosos caudales capaces de movilizar materiales rocosos y troncos de gran tamaño.

Esta red se comporta como torrentes discurriendo entre las casas de habitación (Figura 11), lo que representa una amenaza ante el socavamiento de las bases estructurales y pone en riesgo la estabilidad y seguridad de las personas que las habitan. De igual forma, no se da una adecuada canalización de aguas servidas y pluviales por parte de los habitantes, por lo que estas aguas pasan a las quebradas como aportes extraordinarios. Estas últimas, en ocasiones, discurren por caños y cursos de tierra, carentes de tratamiento, lo que contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua, a la erosión hídrica de terrenos y la formación de cárcavas.

Así mismo, la deficiente planificación territorial ha consentido la invasión de zonas de protección de los ríos; se visibilizan construcciones habitacionales en las márgenes de los cursos fluviales, cuyos ocupantes se ven expuestos al embate de las inundaciones cuando se sobrepasa la capacidad plena del cauce. Se observa, además, la presencia de mega bloques en las orillas, lo que evidencia la capacidad de arrastre del mismo (Figura 12). De igual manera, el asentarse sobre las laderas de los ríos pone en riesgo de deslizamiento a las viviendas y sus ocupantes, ya que son fácilmente erosionables por las lluvias y el río mismo.

**Figura 11** – Numerosas quebradas que fluyen desde las laderas escarpadas y afloramientos rocosos, entre las casas de habitación y que confluyen en el cauce del río Naranjo.







**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

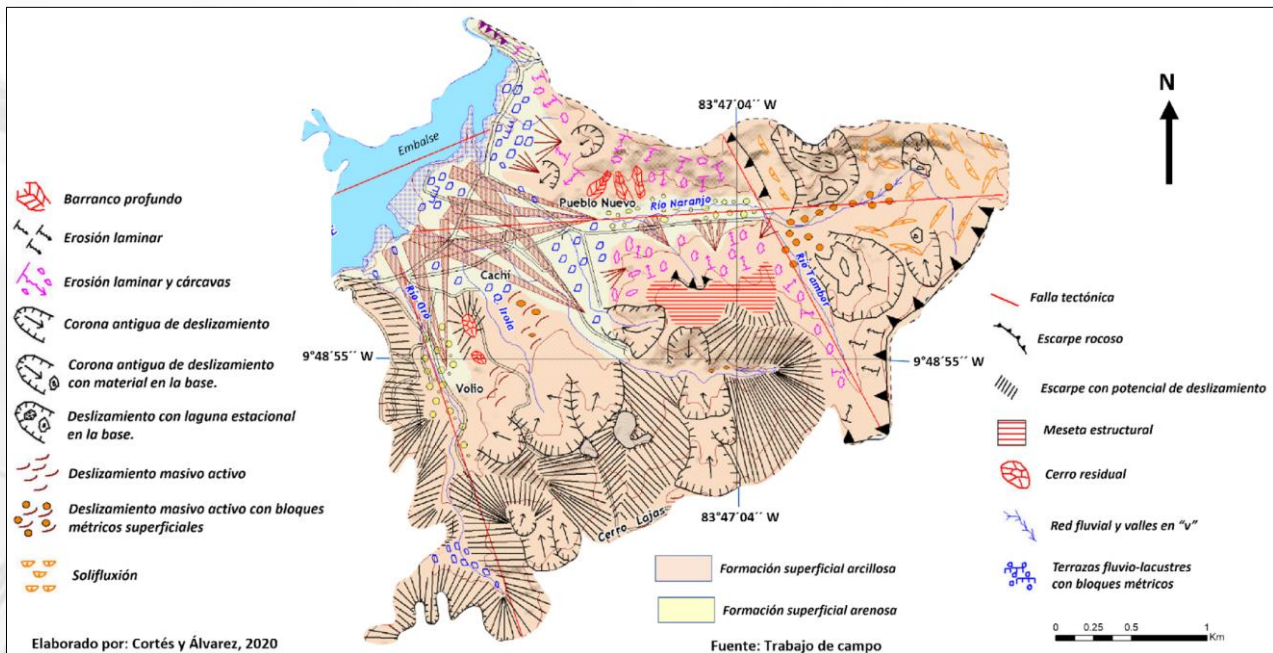
El trazo profundo de los cauces de caudal permanente y estacional que cortan las laderas y fondo valle de la microcuenca que suman 18.5 km de longitud, se debe a procesos de erosión lineal regresiva, favorecido por la alta erodabilidad de la litología facilitada por la presencia de un fuerte diaclasamiento y fallas tectónicas que cortan la roca, convirtiéndolas en líneas de debilidad por donde fluye esta red hidrográfica en respuesta a un clima húmedo. Se trata de una red fluvial con cauces hidrológicamente no calibrados, con una densidad alta de 3.1 km/km<sup>2</sup>, lo que evidencia la fuerte incisión en los materiales que corta y por ende el volumen de la carga fluvial excede su capacidad de transporte con elementos que van de dimensiones centimétricas a métricas, que en las crecidas socavan las paredes de los lechos fluviales debilitando los apoyos de la ladera baja y media generando la caída de materiales en forma de paquetes al torrente.

El comportamiento hidrológico torrencial de la red hidrográfica de la microcuenca del río Naranjo, lo confirma su índice de compacidad de Gravelius que es de 1.35, que morfológicamente la clasifica como oval redonda a oval oblonga, lo que explica su gran capacidad para captar y concentrar las fuertes lluvias.

#### **4.2.4 Relación de las formaciones superficiales con la ocurrencia de deslizamientos**

A través de la Figura 12 se comprenden de una mejor manera las formas y procesos asociados a las formaciones superficiales en la microcuenca del río Naranjo, ya que además incluye las microcuencas de la quebrada Irola, ríos Sordi, Zapote y Oro, que se ubican al costado Sur de la microcuenca del río Naranjo. Se consideraron estas microcuencas porque en ellas se originaron conos de deyección que son coalescentes con el del río Naranjo en la zona de sedimentación fluvial que limita con el embalse de Cachí (Figura 12). Muestra zonas de deslizamientos actuales y pasadas, soliflucción, erosión laminar, fallas tectónicas, zonas de depósitos coluvio-aluviales y escarpes rocosos.

**Figura 12 – Morfodinámica de la microcuenca del río Naranjo.**



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

Es importante destacar los procesos de deslizamientos, que se originan a partir de materiales blandos tanto a nivel superficial como profundo. Estos últimos han dejado en varios sitios la roca madre aflorando en superficie a manera de escarpes. Además, la presencia de numerosos flujos de agua que brotan de las laderas, que han sido capaces de captar voluminosos caudales durante años y que han transportado grandes cargas de materiales desprendidos de las formaciones superficiales de las laderas, formando conos coluviales y de deyección depositados en el piedemonte de la ladera (estos se evidencian por el trazo ondulado de la carretera que comunica las comunidades de Cachí y Peñas Blancas con la microcuenca superior) perpendicularmente a los cauces de los ríos Naranjo y Tambor.

De acuerdo con el estudio de Cortés (2006), predominan las formaciones superficiales de alteración *in situ* con desarrollo profundo que puede superar los 4 m de espesor, con una textura arcillosa (44% arcillas, 29% arenas y 27 %limos), en cuya matriz aparecen gravas en promedio en un 10%, aunque esta concentración puede ser mucho menor (Figura 13). De manera específica en el piedemonte y a media ladera se pueden encontrar mantos de formaciones superficiales coluviales gravitacionales relativamente estables, asociados a procesos antiguos alternando en secuencia con los conos coluviales



ubicados en la base de las laderas, constituidos por gravas y bloques angulosos envueltos en una matriz arcillosa (Figura 13).

Así mismo el autor y estudio supracitado, indica que las propiedades físicas de las formaciones superficiales en laderas, a partir de la fracción fina (arenas, limos y arcillas), son de un color en su estado seco según la tabla de colores de Munsell de 10YR, seguido del 2,5 Y y algunos casos de 7,5 YR, mientras que cuando húmedas también el Hue dominante es el 10YR, seguido de 7,5 YR y pocos casos de 2,5 Y; en ambos estados con variaciones en su Chroma y Value, es decir en términos cualitativos café, café claro, café fuerte, café oliva y café amarillento. Esta propiedad aunada a lo profundo de su meteorización demuestra que se trata de formaciones superficiales oxidadas por la acción de un clima húmedo y caliente imperante en la zona, aunque con un contenido medio de materia orgánica de 4,3%, lo que permite indicar que son materiales muy blandos a partir de los cuales se pueden originar deslizamientos profundos.

Por otra parte Cortés (2006), atribuye que las formaciones superficiales poseen una gran capacidad para almacenar agua, según lo demuestra su Cs (60%), Cc (39,4%) y se necesita también bastante humedad para alcanzar los límites de LI (52%) y Lp (43%), propiedades que están muy asociadas a su porosidad de 52% y por ende a su textura arcillosa, que se hace más pesada con la materia orgánica, presentando una Ch moderada de acuerdo a U.S. Bureau of Plant Industry and Agriculture Engineering, citado por Henriquez y Cabalceta (2012) y un Ip de 9%, que califica a la matriz como poco plástica.

Estas últimas propiedades implican que son materiales que pueden permanecer saturados por mucho tiempo, lo que hace pensar en la posibilidad que se pueden desplazar con facilidad como una masa ayudada por la pendiente pronunciada de las laderas.

En lo que respecta a las formaciones superficiales coluviales Cortés, 2020, refiere que al estar estas compuestas por fracciones gruesas ayudan a la filtración del agua, por lo que son necesarios otros elementos ambientales como lluvias severas concentradas, acumulaciones internas de agua que “revientan como espontáneas bombas de agua”, o sismos para su disparo. Pero cuando estos materiales están saturados o secos y sin agrietamiento, y ante las lluvias intensas, no tienen la capacidad de infiltrar el agua, por lo que la escorrentía superficial es severa (Figura 13), erosionando con facilidad los terrenos de coberturas vegetales abiertas como los cafetales.

**Figura 13** – Roca expuesta de la formación geológica Doán, profundamente meteorizada y fragmentada por diaclasas, con brotes del agua subsuperficial que erosionan la formación superficial y forman la red de quebradas al pie de las laderas



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

Em adición, la microcuenca del río Naranjo, posee un modelado muy irregular y abrupto, con pendientes superiores a 50%, aunque en algunos sitios son casi verticales, hecho que confirma Salazar (1992), cuando estimó un valor máximo en el índice de relieve relativo para el sector del escarpe del Cerro Doán, de 550 m/km<sup>2</sup>. Estos valores son indicativos de las características geológicas, geomorfológicas, climáticas y humanas del área, donde se han formado desniveles en los cauces principales y afluentes en forma de cascadas o cataratas, lo que significa que los procesos erosivos, la remoción en masa está en apogeo y la red fluvial aún no alcanza su equilibrio hidrológico, aspectos que se deben tener siempre presentes en el desarrollo humano que continuamente transcurre en la zona.

#### 4.2.5 Relación de la red de caminos con la ocurrencia de deslizamientos

La apertura y trazado de una red de caminos en las zonas rurales busca desarrollar las actividades y condiciones de vida de sus habitantes, potenciando sus ventajas comparativas según la disponibilidad de recursos naturales y humanos. Sin embargo, la infraestructura de caminos implica transformaciones en la estructura natural del paisaje, en particular si su trazo se realiza sobre laderas, implicando movimiento de grandes volúmenes de tierra, exposición de materiales a la erosión, elevada densidad de cortes y taludes y que demandan mantenimiento continuo que asegure su vida útil.

El trabajo de campo en el área de estudio ha permitido identificar que la red de caminos en sus laderas (Figura 14) está contribuyendo a la inestabilidad de las mismas, favoreciendo la erosión laminar de sus suelos, formación de cárcavas y barrancos y movimientos de números volúmenes de material que se desprende a lo largo de sus cortes



de talud sobre materiales geológicos y formaciones superficiales muy meteorizadas in situ o coluvial en un intenso régimen de lluvias.

**Figura 14** – Sección de ladera ubicada a partir de la margen derecha aguas abajo del río Naranjo, cerca del poblado de Cachí



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).

Como lo muestra la Figura 15, se trata de una red de caminos densa que corta laderas de gran pendiente, de cortes profundos con una superficie de tránsito principalmente de tierra y lastre, en los que se nota poco o ningún mantenimiento, con excepción de las vías de acceso entre los poblados de Cachí y Peñas Blancas que recientemente han recibido mejoras en una sección de su carpeta asfáltica y de mantenimiento en el resto de trazo lastreado. Esta red de caminos en esta microcuenca está muy ligada al cultivo principal del café que crece en pequeñas fincas.

**Figura 15** – Desprendimiento en el talud de corte del camino que lleva a la microcuenca superior del río Naranjo.



**Fuente:** Elaborado por los autores (2021).



Los caminos en las laderas de la microcuenca del río Naranjo, ha conllevado la remoción de millones de metros cúbicos de material, quedando espaldones o taludes con inclinaciones casi verticales, sobre los que se desborda la escorrentía superficial proveniente de los cafetales en forma de cortinas de agua que movilizan gran cantidad de suelo fértil e insumos agrícolas. A esto hay que agregar que por lo pronunciado del terreno y por el mal estado de los caminos, estos son accesibles por vehículos de doble tracción para sacar la producción de café o ingresar materiales de construcción entre otros, contribuyendo con su continuo tránsito a deteriorar la superficie de ruedo, que también es afectada por el paso de ganado vacuno, volviendo los caminos en laderas intransitables por largos tramos en la estación lluviosa.

## 5 CONCLUSIÓN

Este trabajo confirma que la microcuenca del río Naranjo por su morfometría hidrológica constituye un sistema fluvial de comportamiento torrencial, favorecido por 81% de superficie ocupada por laderas de relieve irregular disectado por numerosas quebradas nacidas en ellas y que fluyen abruptamente siguiendo algunas de ellas líneas de fractura tectónica, serpenteando sus cauces entre fincas cultivadas con algunas manchas de bosques o atravesando las comunidades asentadas en el fondo valle provocando desbordamiento torrenciales y depósitos caóticos de materiales poniendo en riesgo la infraestructura y a las personas que la habitan.

Lo anterior favorecido por su evolución geológica y tectónica que ha impreso a la litología primaria formadora de su relieve una apariencia física diaclasada y fallada que han contribuido con el aporte de volúmenes de materiales a lo largo de su tiempo geológico, hasta llegar a definir la fragilidad actual de las laderas y formación de procesos de remoción en masa como deslizamientos, soliflucción, cárcavas, barrancos, desprendimiento de bloques rocosos de las ladera y erosión de suelos, conformando formas mayores como conos de detritos a lo largo del piedemonte de las laderas y potentes conos de deyección coalescentes en la zona de sedimentación del río Naranjo colindante con el embalse de Cachí sobre los se emplazan hoy los poblados de Cachí, Pueblo Nuevo y Volio.

La evolución geológica y geomorfológica que hoy se reconoce en la microcuenca del río Naranjo, está bien expresada en las formaciones superficiales al presentar una meteorización profunda en las laderas, que se han visto inestabilizadas por la ocurrencia de tormentas de lluvia localizadas en las partes elevadas de la microcuenca, como las



ocurridas el 2 de julio de 1987 que dispararon varias decenas de deslizamiento en dicha microcuenca afectando el entorno natural de la misma y a las personas que ella habitan, así como su infraestructura y actividades económicas.

Es importante indicar que la sismicidad es una variable importante a tener en cuenta para la microcuenca del río Naranjo, ya que reúne las condiciones topográficas y composición de formaciones superficiales favorables que unido a las características de la pluviometría a que se generen deslizamientos y caídas de rocas de dimensiones métricas por disparo de sismos que ocurran en sus entorno geográfico cercano asociado a fallas locales o que ocurran epicentralmente en otras partes del país asociadas de magnitudes mayores de 5 grados; que sumado al mal trazado de una densa red de caminos en las laderas y al escaso mantenimiento se pueden convertir en importantes aliados para los sismos y fuertes lluvias para que se generen los procesos de remoción en masa en la microcuenca.

Lo expuesto recoge la caracterización de diversos procesos que evidencian que en la microcuenca en estudio y las cuencas circunvecinas se está ante escenarios multiamenaza. De manera explícita hacen referencia a la ocurrencia y recurrencia de posibles desastres que, aunados a la intervención humana poco planificada, al crecimiento de los núcleos poblacionales cada vez más separados de los centros y ubicados en altas pendientes, las limitadas rutas alternativas para la evacuación, entre otros aspectos, constituyen muestras explícitas de que estas amenazas pueden actuar también de manera concatenada.

La expresión territorial del riesgo no es fácilmente percibida por todas las personas de la localidad, existen también distintos imaginarios que sostienen los actores sociales en un mismo escenario, no obstante, la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo en general debe considerarse la primera meta para los habitantes y el Comité Local y Municipal de Emergencias.

Ante una investigación como esta donde se abordan datos fisiográficos en detalle, no debe confundirse con una de corte meramente fisicalista y tendiente a pensar en los mal llamados desastres naturales, por el contrario, evoca a la concientización de la presencia de amenazas de tipo natural, pero donde la población y autoridades competentes han consentido la construcción social del riesgo. Por tanto, deben ser valorados e incorporados, como alicientes para el desarrollo de procesos de planificación territorial que coadyuven a la gestión del riesgo y consolidación de una cultura resiliente consciente de los retos particulares.

Finalmente, en el marco de la sostenibilidad para el desarrollo se espera que este trabajo sirva de base para que se realicen estudios similares en las numerosas microcuencas que la mayoría no superan la decena de kilómetros cuadrados, y que drenan y depositan sus caudales en el embalse de Cachí, y que son donde habita la mayoría de la población del llamado valle de Ujarrás-Orosi, es decir, la cuenca inferior del río Grande de Orosi.

## REFERENCIAS

ALVARADO, G. Y W. PÉREZ. **The Doán formation (Pliocene) of Costa Rica: an overview on its description, origin, lateral, equivalents, and further implications on the closing of the Central American seaway.** Sixth International Congress on Pacific. Editors Susumu Nishimura and Ryvichi Tsuchi. Kyoto Institute of Nature History. Kyoto, Japan; 1998. 150–167 p.

AYA. **Memoria anual 2011-2012. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).** San José, Costa Rica; 2012. 56 p.

CORTÉS, V. **Valoración agroecológica y geomorfológica aplicada a la sostenibilidad del cultivo del café en las laderas de uso agrícola de la cuenca baja del río Grande de Orosi, Costa Rica.** Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica; 2006. 264 p.

CORTÉS, V. **Discrepancias entre uso actual y potencial de las laderas del Valle de Orosi.** En Revista Reflexiones 87 (2). Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica; 2008. 91-110 p.

CORTÉS, V. **Geomorfología socializada a través de la fotografía tradicional.** En revista: Mercator, Fortaleza, v.19. Universidade Federal do Ceará, Brasil; 2020.16 p.

DRESCH, J. **Mémoires et documents, cartographie géomorphologique.** Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, France; 1972. 193–204 p.

FERNÁNDEZ, M. Y W. MONTERO. **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; 2002. 25–37 p.

GAVIRIA MONTOYA L; PINO GÓMEZ M; SOTO-CÓRDOBA S. **Evaluación del saneamiento ambiental sostenible en las zonas atendidas por asadas en el cantón de Paraíso. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA).** Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica; 2016. 67 p.

HENRÍQUEZ Y CABALCETA. **Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola.** Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 2 ed; 2012. 111 p.



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD (ICE). **Plan de manejo de la cuenca del Río Reventazón.** Anexo A 2 a, Geología y Sismología. San José, Costa Rica; 1998. 44 p.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD (ICE). **Estaciones meteorológicas Casa de Máquinas Río Macho, Muñeco, El Llano y Río Macho Cachí.** Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica; 2004.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD (ICE). **Estaciones meteorológicas Presa Cachí y Cachí (Plantel).** Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica; 2021.

ICT. **Plan de desarrollo turístico de unidad. Valle Central-Sector Cartago.** Dirección de Planeamiento y Desarrollo. Instituto Costarricense de Turismo. San José, Costa Rica; 2004. 139 p.

IGN. **Hoja topográfica TAPANTÍ, escala 1:50000.** Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica; 1963.

IMN. **Estaciones meteorológicas Y – Seis, Sitio Presa, Tapantí y Dos Amigos.** Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica; 2004.

INEC. **X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011.** Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica; 2011. Disponible en <https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion> Consultado en Julio, 2021.

INEC. **Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo;** 2021. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica. Disponible en <https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion> Consultado en Julio. 2021.

MORA, S. Y L. MORALES. **Los sismos como fuente generadora de deslizamientos y su influencia sobre la infraestructura y líneas vitales en Costa Rica.** Mimeografiado; sin fecha. 18 p.

MORA, S.; M. VALDÉS Y C. RAMÍREZ. **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; 1989. 15–25 p.

MORA, S. Y R. MORA. **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; 1994. 139–152 p.

SALAZAR, L. **Comportamiento torrencial de los ríos Naranjo, Zapote y Oro. Cachí, Paraíso (Cartago, Costa Rica).** Tesis de Licenciatura en Geografía. Departamento de Geografía, Universidad de Costa Rica; 1992. 181 p.

ALVAREZ VARGAS, L.E.; CORTÉS GRANADOS, V.M.  
OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS E PROCESSOS DE REMOÇÃO DE MASSA  
CORRELACIONADOS NA MICROBACIA DO RIO NARANJO, CACHÍ, PARAÍSO, COSTA RICA

SOJO, D; DENYER, P; GAZEL, E; ALVARADO, G. **Geología del cuadrante Tapantí (1:50 000), Costa Rica**. En Revista Geológica de América Central, 56. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica; 2017. 86-116 p.

\*\*\*

