

FRAGILIDAD DE LAS FORMACIONES SUPERFICIALES EN LA LADERA OCCIDENTAL DEL VALLE DE OROSI, CARTAGO, COSTA RICA

Víctor Ml. Cortés Granados

Escuela de Geografía Universidad de Costa Rica Costa Rica Tel. (506)88416002
vcortescr@gmail.com victor.cortés@ucr.ac.cr

RESUMEN

Este trabajo comprende un estudio de las formaciones superficiales que tapizan la ladera Oeste del Valle de Orosi, al pie de la cual se asientan los pueblos de Río Macho, Jucó y la Villa de Orosi, pertenecientes al distrito de Orosi, cantón de Paraíso, provincia de Cartago, Costa Rica, en el que habitan más de 8000 personas, en cuyos suelos se practica principalmente la agricultura del cultivo del café. Se analizaron a un conjunto de muestras de formaciones superficiales, una serie de propiedades físicas como la textura, porosidad, conductividad hidráulica, capacidad de saturación y límites de Atterberg; asimismo se elaboró un mapa morfodinámico con los procesos que actualmente se encuentran sobre dicha ladera, para así conocer su comportamiento dinámico respecto a la posibilidad de ocurrencia de desastres naturales, que pueden afectar la belleza escénica del paisaje, las actividades agrícolas, turísticas, infraestructura hidroeléctrica, acueductos y la integridad de las personas que habitan en la zona. Según lo anterior, se encontró que las formaciones superficiales estudiadas son muy inestables por sus características físicas y lo abrupto del terreno, a lo que se le contrapone un uso de la tierra inapropiado y poblados ubicados al pie de la ladera, que están expuestos al impacto directo de deslizamientos, caída de rocas, flujos de detritos e inundaciones por desbordamientos fluviales.

Palabras claves: Orosi, Costa Rica, laderas, formación superficial, fragilidad.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo comprende un estudio de las formaciones superficiales que tapizan la ladera Oeste del Valle de Orosi, al pie de la cual se asientan los pueblos de Río Macho, Jucó y la Villa de Orosi, pertenecientes al distrito de Orosi, cantón de Paraíso, provincia de Cartago, Costa Rica, en el que habitan más de 8000 personas, en cuyos suelos se practica principalmente la agricultura del cultivo del café. Se analizaron a un conjunto de muestras de formaciones superficiales, una serie de propiedades físicas como la textura, porosidad, conductividad hidráulica, capacidad de saturación y

límites de Atterberg; asimismo se elaboró un mapa morfodinámico con los procesos que actualmente se encuentran sobre dicha ladera, para así conocer su comportamiento dinámico respecto a la posibilidad de ocurrencia de desastres naturales, que pueden afectar la belleza escénica del paisaje, las actividades agrícolas, turísticas, infraestructura hidroeléctrica, acueductos y la integridad de las personas que habitan en la zona. Según lo anterior, se encontró que las formaciones superficiales estudiadas son muy inestables por sus características físicas y lo abrupto del terreno, a lo que se le contrapone un uso de la tierra inapropiado y poblados ubicados al pie de la ladera, que están expuestos al impacto directo de deslizamientos, caída de rocas, flujos de detritos e inundaciones por desbordamientos fluviales.

Ubicación del área de estudio

Este trabajo se localiza en el Valle de Orosi, de gran atracción turística, que pertenece a la cuenca del Río Grande de Orosi, que tiene una superficie de 402,7 km², de la cual el área referida en este estudio representa el 2,95 % de la misma. Cartográficamente y administrativamente el área de estudio se ubica en la hoja topográfica Tapantí, a escala 1:5000 (IGN 1963), en el distrito de Orosi (315,32 km²), del cantón de Paraíso, provincia de Cartago. Costa Rica, en un sector de su ladera oeste, a cuyo pie de monte se asientan los poblados de Orosi, Jucó y Río Macho (Figura1), para los cuales en el año 2004 (Parra, 2004), estimó respectivamente una población de 4551, 515 y 498 habitantes, representando los tres el 67, 3 % del total pobladores del distrito; mientras que el Censo de Población del año 2000, determinó una población de 8862 habitantes, de los cuales el 43,7 % eran urbanos y el resto rural (INEC, 2002), mientras en el Censo de año 2011, se obtuvo una población distrital de 9092 personas (INEC, 2012).

La cuenca del río Grande de Orosi, donde está localizada el área de estudio, presenta una de las pluviometrías más altas del país, pues los promedios de lluvia en las partes más elevadas (3365 msnm), la cuenca registra 6556 mm, mientras en las más bajas (1000 msnm) 1665 mm; en tanto que para área delimitada para este trabajo, la precipitación oscila entre 2000 y 3000 mm, según las estaciones meteorológicas T-Seis, Sitio Presa Tapantí y Dos Amigos (IMN 2004), (ICE 2004). Esta pluviosidad se descarga sobre una topografía irregular y abrupta con una pendiente media de 33°, cultivada principalmente de café (*Coffea arabiga*), en un 80 % de su superficie, seguido de pastos de mala calidad, alternando con manchas de bosque, éstas últimas cerca de la divisoria superior de aguas de la ladera estudiada.

Esta sección laderosa del Valle de Orosi, de topografía abrupta (Figura 2A), está compuesta por suelos muy evolucionados, principalmente del orden de los ultisoles

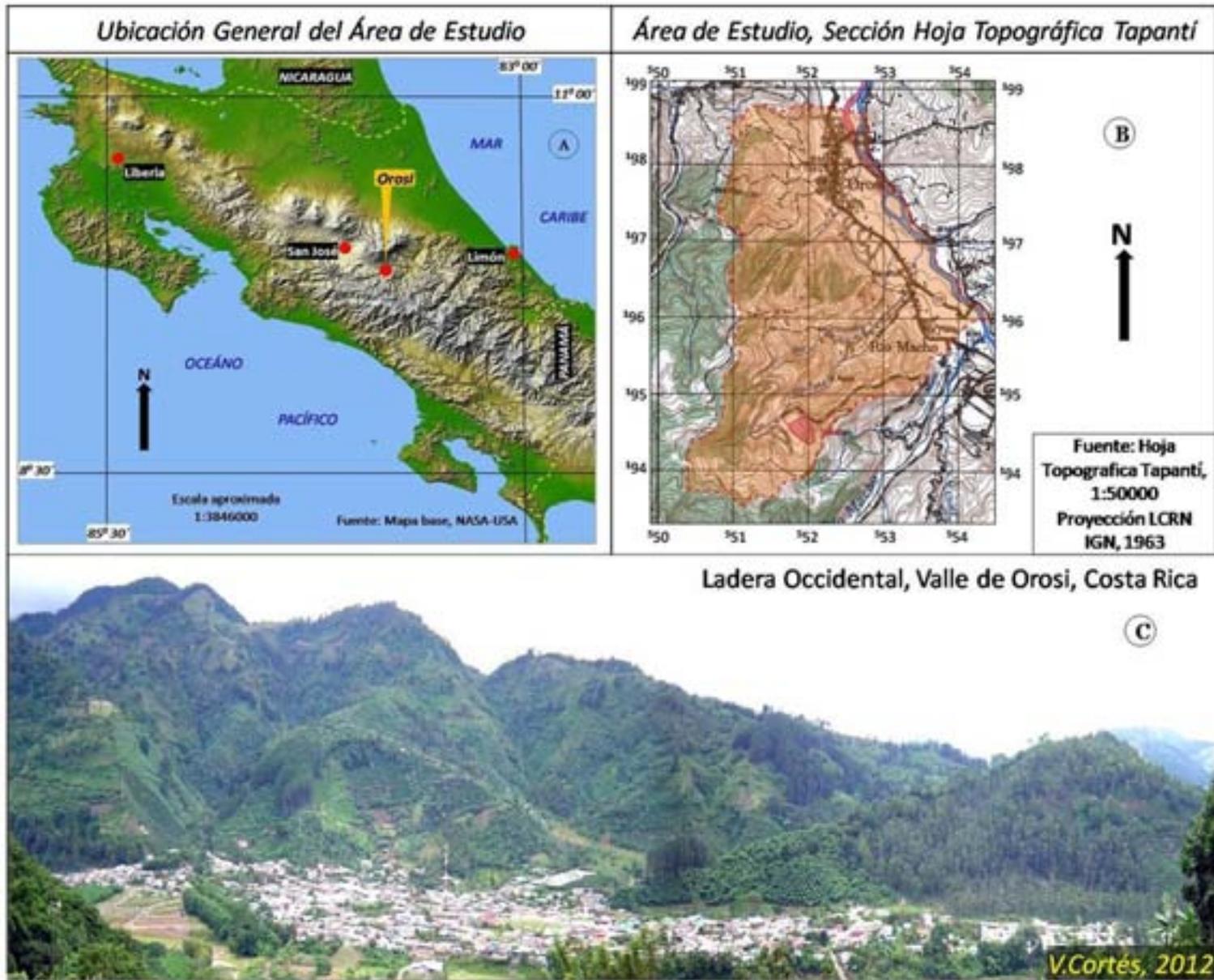
(ICE 1998), derivados de formaciones geológicas sedimentarias datadas entre el Eoceno Superior y Mioceno Medio, fuertemente meteorizadas, así como materiales volcánicos del Plioceno y depósitos aluviales y coluviales recientes (Figura 2B), estos últimos acumulados en el piedemonte y llanuras aluviales (ICE, 1998 y Badilla et al, 1999). Esta litología es cortada por una densa red de drenaje de transepto corto y con una hidrodinámica torrencial en todo su recorrido y por una numerosa red de caminos, mal diseñada que fomenta la inestabilidad a sus taludes de corte.

METODOLOGÍA

El fundamento científico de este trabajo, consiste en hacer un análisis de las principales características físicas de las formaciones superficiales que componen la ladera Oeste, localizada atrás de los poblados de Orosi, Juco y Río Macho, cuya síntesis es expresada cartográficamente en la figura 2C, con lo cual se busca tener un mejor conocimiento del comportamiento dichos materiales, desde el punto de vista de la ocurrencia de procesos de remoción en masa, que pueden poner en riesgo a los poblados antes citados, así como a las personas que habitan distribuidas en sus laderas y así como sus actividades socioeconómicas y paisajísticas de esta importante zona turística de Costa Rica.

De acuerdo a (Dresch 1972), las formaciones superficiales son aquellos materiales continentales, muebles o secundariamente consolidadas, provenientes de la desagregación mecánica y o / de la alteración química de las rocas o relieves preexistentes, bajo la acción sea de factores tectónicos o de factores bioclimáticos, y que son conocidos también como mantos de desechos detríticos, alterita, regolita, sedimentos continentales, formaciones correlativas y cubiertas continentales, localizados en la parte más externa de la corteza terrestre. De las formaciones superficiales se excluye al suelo orgánico donde se siembran, crecen y nutren las plantas, así como los sedimentos marinos sumergidos, con excepción de los depósitos de cordones litorales, que resultan de una tormenta fuerte, por la oscilación del nivel marino, del tren de olas y corrientes de deriva litoral, que proceden de la desintegración del relieve costero, constituidos de partículas más o menos gruesas; cuyo tamaño varía con

Figura 1. Localización del Área de Estudio



la naturaleza litológica de la roca original y de los agentes morfodinámicos responsables de la alteración de la roca

La caracterización de las formaciones superficiales, se hizo a partir de un conjunto de muestras, a las que se le determinaron una serie de propiedades físicas, para interpretar su comportamiento mecánico en la topografía de laderas. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Geomorfología Aplicada, de la Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica. Se recolectaron 35 muestras de formaciones superficiales (2 kilos de material suelto y muestras en cilindros de 10 cm de alto, por un diámetro de 5 cm), geoposicionadas con GPS (*Global Positioning System*), obtenidas a una profundidad media de acuerdo al espesor observado en el punto de muestreo, que oscilan entre 1 y 5 m al contacto con el material geológico de base, y en algunos casos los espesores superaban los 5 metros y no se observó la litología subyacente. Los sitios de muestreo se obtuvieron mediante la definición de unidades homogéneas y homólogas topográficamente en la hoja topográfica Tapantí, 1:50000, sobre las que se aplicó un muestreo intencional basado en el criterio del investigador, considerando la distribución de las formaciones geológicas, uso agrícola de la ladera, el grado de homogeneidad y heterogeneidad de las formaciones superficiales observadas en el campo, el tipo de modelado topográfico e importancia de los procesos morfodinámicos a escala local, así como las facilidades de acceso a los sitios de muestreo y disponibilidad de recursos económicos.

Al ser una muestra por sitio de muestreo, según la dimensión de la exposición vertical (espesor) de los cortes considerados como adecuados para muestrear (cortes de caminos); se presenta la posibilidad que no haya continuidad espacial entre propiedades, por el factor de la separación (lejanía) entre los sitios de muestreo. Por tanto, esta medida de tendencia central (promedio, cuadro 1), se consideró como apropiado para caracterizar la matriz media de la formación superficial, dado que la mayoría de las formaciones superficiales de media ladera a la base de la misma, son de espesores variados y están compuestas de materiales depositados caóticamente, por lo que en un estudio de mayor detalle se debe considerar un muestreo más denso, para una mejor caracterización mecánica de más detalle de estas formaciones superficiales.

A las muestras de formaciones superficiales se le determinaron en el laboratorio las siguientes propiedades físicas: con el material suelto se determinó la textura (método de la pipeta de Robinson y triángulo de texturas de "Soil Survey Manual" de USDA, (USDA 1993), el color según la carta de Munsell. La materia orgánica, densidad real (D_r), y los límites de Atterberg (contracción, liquidez, plasticidad e índice de plasticidad), de acuerdo a Forsythe (1980), CRR (1998) y Henríquez y Cabalceta,

1999. Mientras a las muestras en cilindros metálicos, se le midieron la densidad aparente, la conductividad hidráulica, la capacidad de campo, la capacidad de saturación y la porosidad se calculó matemáticamente a partir de la Da y Dr, siguiendo los procedimientos indicados en Henríquez y Cabalceta, 1999.

RESULTADOS

Características litológicas de la ladera

Las formaciones superficiales identificadas en la ladera oeste del Valle de Orosi (Figura 2C), están sobreyacidas a cuatro tipos de litología (Figura 2B), de donde proviene el material parental que da origen a la matriz y fragmentos rocosos de dichos depósitos detríticos de alteración in situ y o/ desplazados sobre la ladera.

Esta ladera está formada por tres litologías de base de origen sedimentario (ICE, 1998 y Badilla et al, 1999), como lo son la Formación Peña Negra, que es la más extendida, mientras que la Formación Coris se manifiesta en algunos sitios aledaños a las divisorias de aguas, la Formación Pacacua en el extremo Norte y la Formación Aguacate al Noroeste, de la ladera estudiada. Esta litología soporta formaciones superficiales y suelos dedicados mayoritariamente al cultivo del café, seguido en orden de importancia por los pastos y el bosque, este último se presenta en la divisoria superior de la ladera o en forma de islas o cobertura ribereña a lo largo de algunos cauces fluviales, alternando con los dos usos anteriores.

Según Badilla *et al* (1999), la Formación Peña Negra, está compuesta por 3 unidades, en el siguiente orden estratigráfico. Una unidad inferior con un espesor de 200 m, en una secuencia de areniscas medias y finas pardas organizadas en estratos decimétricos (dm). Una unidad media de entre 500 y 700 m de espesor, formada de lutitas y areniscas finas negras (con piritita) en estratos centimétricos y decimétricos, con niveles concrecionales. Y una unidad superior con espesores entre 200 y 300 m, presentando intercalaciones de guijarros y estratos calizos aislados, con areniscas pardas de grano medio a grueso, mal estratificadas y con mucha influencia volcánica. A esta formación se le asocia una edad del Mioceno Medio.

En lo que respecta a la Formación Coris, Badilla et al (1999), indican que tiene un espesor superior a 300 m y una edad del Mioceno Inferior a Superior, compuesta por cuatro facies de depositación. La primera facie se compone de arenitas volcanoclásticas de grano grueso, mal seleccionadas de color beige grisáceo, con presencia de foraminíferos y equinodermos. La segunda facie está muy diaclasada y se compone de

estratos de arenitas de grano fino a grueso, de grano medio y de grano medio a grueso (mollejón). En general presenta coloraciones rojizas, naranja, rosadas, marrones y amarillas lo que evidencia una marcada meteorización y alteración hidrotermal. La tercera facie consiste de lodositas bien seleccionadas e intensamente diaclasadas, de color blanco, gris claro, morado o crema, que al meteorizarse pasan a rosado o naranja. Mientras que la cuarta facie está formada de arenitas de grano medio, color café y con péctenes. Esta formación es la de menor presencia en la ladera estudiada, ya se limita a dos pequeños sitios sobre la divisoria de aguas superior de la ladera y por tanto de poca significancia para las formaciones superficiales de mayor extensión.

La Formación Pacacua, según Denyer y Arias (1991), citado por Badilla *et al* (1999), está constituida por volcanoclastitas de granulometría fina, gruesa y guijarrosa, así como tobas, tobitas y brechas finas y gruesas, limonitas y lutitas. En su estratigrafía se distinguen colores rojos, morados y verdes. Localmente se puede encontrar alterada por un metamorfismo de contacto, debido a cuerpos intrusivos con formación de cornubianitas y silificación de volcanoruditas, volcarenitas y lutitas. Se asocia a esta formación un espesor entre 1200 y 2000 m y una edad del Eoceno Superior a Oligoceno, la cual se depositó en un ambiente marino somero con influencia de vulcanismo continental, con subsidencia y aporte sedimentario constante y rápido.

La cuarta formación geológica presente en el área de estudio, es la Formación Aguacate que apenas se manifiesta en dos pequeñas áreas en los extremos superiores de la ladera, cerca de la divisoria de aguas, constituida por lavas de color gris claro, así como tobas andesíticas y dacitas, basaltos, traquitas, traquiandesitas y latitas. Se considera una formación del Plioceno (ICE, 1998).

Sobre esta geología en laderas y siguiendo un orden de mayor extensión, se han constituido formaciones superficiales con matriz de las clases franco arcillo arenosa, sobre la Formación Peña Negra, franco arcillosa, sobrepuesta a la Formación Peña Negra y franco limosa, sobreyaciendo a las formaciones Pacacua y Aguacate (Figura 2C), cuyas propiedades físicas se resumen en el Cuadro 1, y se analizan seguidamente.

Cuadro 1. Promedio de las propiedades físicas de la matriz de las formaciones superficiales

Textura según USDA, 1993	Datos										
	Mo	Cs	Cc	Da	Dr	Prs	Ch	LI	Lp	Ip	Lc

	%	%	%	gr/cc	gr	%	cm/h	%	%	%	%
Franco arcillo arenosa	4,4	55	34	1,13	2,34	46	5,9	48	37	11	22
Franco arcillosa	4,3	56	33	1,22	2,52	51	4,3	41	33	8	19
Franco limosa	3,3	53	31	1,33	2,54	42	4,1	49	40	9	30

Fuente: Elaboración propia

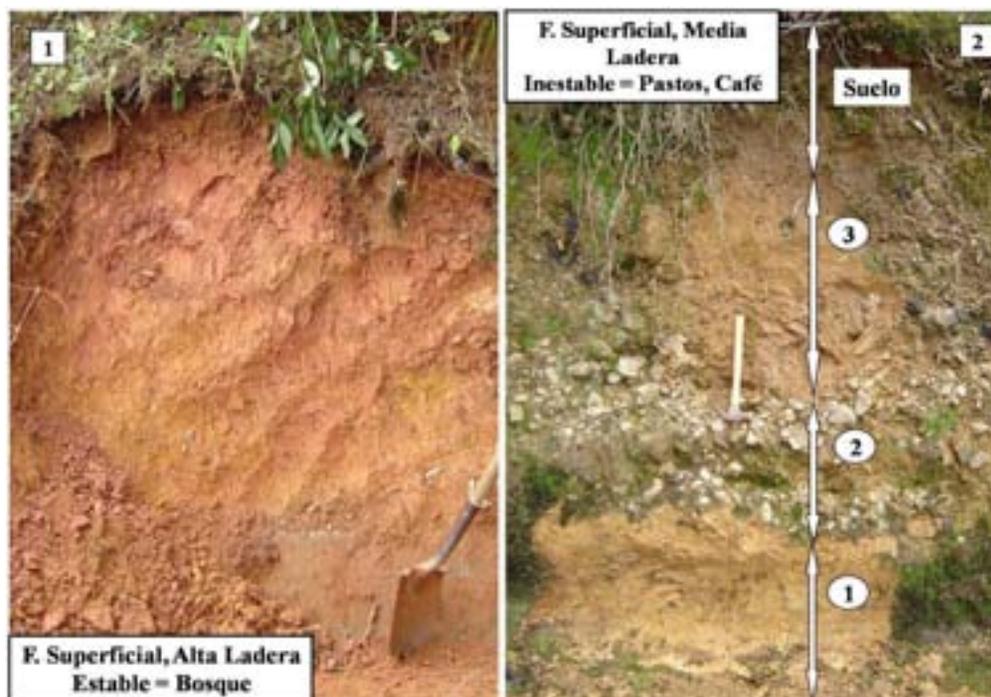
Mo=materia orgánica, Cs=capacidad saturación, Cc=capacidad campo, Da=densidad aparente, Dr=densidad real, Prs=porosidad, Ch= conductividad hidráulica, LI=límite liquidez, Lp=límite plástico, Ip=índice plasticidad, Lc=límite contracción

Características morfodinámicas de las formaciones superficiales

Formación superficial con matriz franco arcillo arenosa (Figura 2C)

Son formaciones superficiales cuyos colores tienen un Hue (matiz o tono) que oscila de 10 YR, seguido de 2,5 Y y en algunos casos de 7,5 YR y 5 YR, con variabilidad en su Value (claridad) y Chroma (pureza), según el sitio de muestreo, tanto en estado seco como húmedo. Es decir, son formaciones superficiales que varían entre los colores café rojizos, café amarillentos y amarillo rojizos, dominando los tonos amarillentos de media ladera hacia abajo asociados a materiales que se han movilizado sobre la misma varias veces, produciéndose una combinación de materiales de difícil diferenciación como unidades cartografiables. En algunos sitios se pueden encontrar tonos grises, asociados a una concentración aparente de caolinita, abundancia de fragmentos de cuarzo, poca materia orgánica y la formación superficial, se muestra saturada de agua. En general, son materiales que han experimentado largos períodos de meteorización y tienen altas concentraciones de óxidos de hierro y óxidos hidratados de hierro (Zavaleta 1992), provenientes de una formación geológica que se depositó hace más de 26 millones de años (Fotografías 1 y 2).

Se trata de formaciones superficiales que tienen espesores variados, que van desde menos de un metro hasta sitios en donde los cortes tienen más de tres metros, donde no se puede observar el contacto con el material parental y se caracterizan por alteración in situ y están cubiertas por bosque natural y se muestran estables en la ladera bajo estas condiciones.



Fotografías 1 y 2. Formación superficial de la parte alta de la ladera (1). Formaciones Superficiales en tránsito (2) relativamente estables dominantes sobre la ladera.(1) Formación superficial por alteración in situ, (2)y (3) depósito ocurridos en distintos momentos. (Imágenes V. Cortés)

Las formaciones superficiales en esta ladera, presentan propiedades físicas promedio de 55 % en su capacidad de saturación (Cs), una capacidad de campo (Cc) de 34 %, una porosidad de 46 %, y una conductividad hidráulica (Ch) de 5,9 cm / h. Sus límites de liquidez (Ll), plasticidad (Lp), índice de plasticidad (Ip) y límite de contracción (Lc), son de 48 %, 37 %, 11 % y 22 %, respectivamente.

Estos datos demuestran una importante capacidad de almacenamiento de agua del material fino (matriz), según la Cs y la Cc. Posee una porosidad alta y una Ch moderadamente rápida, acorde con una matriz franco-arcillo-arenoso (46 % de arenas, 23 % de limos y 31 % de arcillas). Su Ch permite inferir un drenaje adecuado del agua almacenada reduciendo una posible sobresaturación, máxime cuando el material geológico (Formación Peña Negra), que lo subyace está muy fragmentado y meteorizado, lo que ayuda a la filtración de la misma en condiciones de no saturación.

Pero el problema es que esta matriz sólo es uno de los componentes de la formación superficial, pues ésta engloba gravas y bloques que muestran una aparente solidez, formando un especie de “mortero” endurecido cuando el conjunto de la formación

superficial está seco, ayudado por la función coloidal de los óxidos de hierro, la arcilla y por la materia orgánica, presentando bajo esta condición, niveles de compactación superiores a 4 kg/cm² cuando seco, contrayéndose hasta en una cuarta parte de su volumen; pero al aplicarles un mínimo esfuerzo se desagregan con facilidad dado el alto grado de meteorización que tiene el componente lítico.

El Ip indica que es poco plástico (CRR 1988), lo cual permite decir que entre el LI y Lp, hay un 11 % humedad de margen para pasar de un estado a otro (Cuadro 1), permitiendo inferir que el material goza de buena estabilidad. Pero el asunto es que esta propiedad es estimada para la granulometría fina y hay que tomar en cuenta que las formaciones superficiales en el área de estudio no son sólo materiales finos, sino que mayoritariamente dominan las formaciones superficiales constituidas también con gravas, guijarros y bloques, estos últimos con diámetros que van de varias decenas de centímetros hasta métricos, envueltos en la matriz fina, por lo que su comportamiento físico varía (Fotografías 3 y 4).



Fotografías 3 y 4. Formación superficial de alteración in situ con aporte de materiales coluviales en superficie (3). Formación superficial deslizada de depositación caótica en media ladera (4). (Imágenes V. Cortés)

Según lo anterior, hay secciones de ladera donde la zona de contacto entre la formación superficial y el substrato geológico está a poca profundidad (entre 50 cm y 1 m) y parte de éste pasa a conformar la base de la formación superficial, observándose que la matriz,

rellena gran parte de los espacios de los planos de estratificación original, diaclasas y zonas de fracturas, principalmente en las formaciones superficiales de media ladera hacia la base de la pendiente, donde se pueden encontrar formaciones superficiales asociadas a la alteración *in situ*, así como aquellas que han experimentado movilización en distintas épocas, que se reconocen por los materiales entremezclados y no clasificados granulométricamente (Fotografías 3 y 4).

Cuando esta matriz se satura de agua se desagrega con facilidad y se vuelve muy fluida, quedando el resto de la formación superficial muy inestable. Esto debido a que sus componentes absorben mucha agua con gran facilidad al estar muy meteorizadas, en especial cuando las lluvias son muy intensas y de larga duración y la cobertura vegetal es escasa (Fotografía 4). Esto se comprueba cuando se le aplica una presión manual mínima a las arenas y gravas se rompen con facilidad, sucediendo lo mismo con los elementos de mayor calibre como los guijarros y bloques que prácticamente quedan sueltos.

En zonas ocupadas por el cultivo del café, se observó que, el sistema radicular del mismo y el de las especies usadas como sombra, contribuyen a su amarre y permanencia en la ladera, con

excepción de los cortes de caminos donde las raíces desagregan y desprenden los materiales. Esta particularidad de sostén que ejerce el material vegetativo, no ocurre con tanta claridad en las áreas cubiertas de pastos, ya que su sistema radicular es más fino y no sostiene a la formación superficial, ocurriendo inicialmente sobre estas superficies procesos extensivos como la solifluxión que luego evoluciona a grandes deslizamientos. Es en estas áreas en donde en los años 2002, 2003 y 2005, se han estado presentando eventos masivos y que se caracterizan más adelante; con el agravante que este componente vegetal alterna en forma heterogénea con las manchas de bosque y el café en su distribución espacial, potenciándose los procesos masivos de ladera en el área de estudio, favorecidos por fuertes pendientes (Figura 2A), que varían entre 30 y 60 % (Fotografías 6 y 7).

A lo anterior hay que adicionar, que el componente de grueso calibre de la formación superficial y la formación geológica fragmentada y meteorizada, pierden consistencia, cuando la matriz franco arcillo arenosa que los une se satura de agua, potenciando su inestabilidad; aunque en condiciones secas estos materiales de formas angulosos dispuestos en posiciones multidireccionales, no les permite rodar o desplazarse con facilidad, ya que, entre ellos se colaboran para formar un volumen de caras de planos alisados y de múltiples aristas que se sostienen o se entran entre sí en la ladera mediante un sistema de contra fuerzas.

La ladera presenta una gran irregularidad topográfica (Figura 2A), donde la diferencia de altura entre el punto máximo de elevación y la base de la ladera en correspondencia a la superficie comprendida por esta formación superficial, 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 sucedido con los últimos deslizamientos y flujos de detritos ocurridos en esta ladera.

Esta ladera se encuentra muy afectada por la tectónica, donde es posible distinguir varias fallas tectónicas que cortan e individualizan en distintas direcciones la ladera (Figura 3), donde los planos de dichas fracturas han esculpido laderas longitudinales muy escarpadas, de superficie aplanada (facetas), que en algunos sitios tienden a la verticalidad y, que la red fluvial ha aprovechado para construir sus cauces, haciendo que se comporten como torrentes de montaña.

En estos planos de falla y en las zonas de concreciones impermeables de la litología original, se acumula material arcilloso que se comporta como un “jabón” al saturarse de agua, siendo superficies ideales para que las formaciones superficiales y el material

geológico de base, se desplome y se mueva ladera abajo o por la red fluvial, arrasando con todo cultivo e infraestructura que está en su camino en forma de desbordamientos torrenciales en los piedemonte y partes llanas del valle, como ocurrió en esta ladera con el deslizamiento del 1 de setiembre del 2002 en el Alto Loaiza, después de 9 horas seguidas de lluvia, debido una tormenta el 30 de agosto sobre los cerros cercanos a la Villa de Orosi, sobre las que precipitó un promedio de 95 mm de lluvia, con una intensidad máxima a las 17 horas de 55 mm, el cual fluyó por la Quebrada El Tanque (ICE, 2002), que tiene un recorrido en ladera de 600 m y una pendiente de 36 %, que a su vez discurre por una falla tectónica (Fotografía 5 y Figuras 1B y 2A).

Es importante indicar que para que se presenten procesos de remoción de manera masiva en el área de estudio, es necesario que se conjuguen otras variables con el proceso, como las de tipo climático y / o meteorológico, así como tectónicas y sísmicos. En los últimos años se ha observado que el detonante final ha sido las fuertes lluvias, principalmente en la época lluviosa cuando por condiciones meteorológicas particulares (bajas presiones), las lluvias se concentraron por varias horas en forma continua y localizada sobre la alta ladera del área, como en el caso mostrado en la fotografía 5.



Fotografía 5. Deslizamiento de 2 millones de m³, destruyó 13 casas en el Alto Loaiza (ICE, 2002), 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. (Imagen V. Cortés).

Formación superficial con matriz franco arcillosa (Figura 2C)

Esta formación superficial, comprende principalmente la subcuenca del Río Jucó, considerada en la actualidad como la cuenca que presenta mayor inestabilidad de laderas en el área de estudio, particularmente la microcuenca del río Granados. En el año 2005 en la localidad de Jucó, vivían 160 familias, de las cuales 60 se localizaban en dicho poblado, equivalente a unas 500 personas (CNE 2003) (CNE 2005). Algunas familias ya han abandonado esta área debido al riesgo de deslizamientos.

El último deslizamiento ocurrió el 24/10/2005, moviendo 1 millón de m³, de un área susceptible a desprendimientos de 47000 m² y su material se depositó en una superficie de 15000 m², aunque un primer evento ya se había presentado el 19/6/2005, deslizándose 500000 m³, ambos asociados a lluvias concentradas sobre la subcuenca del río Jucó, (CNE 2003) (CNE 2005). (Fotografías 6 y 7).

Esta formación superficial presenta las mismas características geológicas, fisiográficas y casi el mismo tipo de propiedades físicas que la anterior, por lo que su interpretación desde el punto de vista del potencial de ocurrencia de procesos de remoción en masa en sus laderas, es semejante a la anterior, por lo que sólo se enfatiza en las diferencias más sobresalientes.

La matriz posee una mayor cantidad de arcillas (32 %) y limos (26 %), lo que permite asociar que su matriz es más fina, por lo que tiene mayor capacidad para almacenar agua, según lo confirma una Cs de 56 % y una porosidad de 51 %, y al ser más arcilloso y limoso, su Ch pasa a ser moderada de acuerdo a Henriquez y Cabalceta, 1999, es decir, una permeabilidad un poco menor que en la matriz anterior, lo cual ayuda a entender que el paso del Lp a LI es más rápido, aumentando su plasticidad pese a que la CRR (1988), lo define como poco plástico al tener un Ip de 8 % , el cual se explica por tener un mayor contenido de arenas (42 %), que reduce la cohesión de los materiales.



Fotografías 6 y 7. Las flechas señalan los cambios ocurridos en la ladera entre los dos deslizamientos producidos en la microcuenca del río Granados. Nótese la vulnerabilidad a que están expuestas las líneas de transmisión eléctrica, casas de habitación, caminos y cultivos. (Imágenes CNE 2005).

Sin embargo, estas arenas al igual que en la matriz anterior, al ser sometidas a una presión mínima, se rompen fácilmente en partículas de menor diámetro, donde el exceso de agua contribuye a desagregar las fracciones granulométricas, aumentando la fragilidad y ruptura de cohesión de la formación superficial como un todo.

Por otra parte, en esta sección de la ladera estudiada se localiza la mayor altitud con 1925 msnm, lo que 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 que 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 deslizan sobre ella o en un cauce fluvial.

Cuando los cursos fluviales tienen un recorrido muy corto y la diferencia de altura entre los sitios de nacimiento con respecto al de confluencia con otro río o desembocadura directa al mar, estos se vuelven muy destructivos, esta característica es la de todos los ríos y quebradas de esta ladera. Por ejemplo, el río Granados nace a 1820 msnm y su confluencia con el río Jucó está a 1170 msnm (Figuras 1B y 2A), 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 (Fotografías 6 y 7). Finalmente, es necesario ponerle atención a la presencia del embalse de la Planta Hidroeléctrica Río Macho, con capacidad de 400000 m³ de agua (ICE, 1987), que se ubica en la parte alta de la ladera a unos 500 m de altura, por encima del pie de monte, ante un eventual colapso del mismo

Formación superficial con matriz franco limosa (Figura 2C)

Es la formación superficial de menor extensión en la ladera, se encuentra sobre una parte de la Formación Aguacate y otra sobre la Formación Pacacua. Se limita fisiográficamente a una topografía en forma de loma, separada del resto de la ladera por una aparente falla tectónica. Se trata de una topografía subredondeada y ondulada en superficie, formada a partir de las formaciones geológicas Pacacua y Aguacate. Mediante observación de campo, se notó que el material superficial se mueve lentamente, favorecido por un material cementado, húmedo y arcilloso en el fondo que le sirve de superficie de desplazamiento (Fotografías 8 y 9).



Fotografías 8 y 9. La longitud corta de la ladera favorece la estabilidad de la formación superficial (8). Se halla sobre un depósito antiguo endurecido e impermeable (9). (Imágenes V. Cortés)

Se trata de formaciones superficiales de colores rojizos, grisáceos y amarillentos (2,5 YR y 10 YR), cuando secos y entre 5 YR, 7,5 YR y 10 YR en estado húmedo, pero con

variaciones en el Value y en el Chroma. Posee un 16 % de gravas, pero no presenta granulometrías más gruesas (guijarros o bloques), envueltos en su matriz fina, que se compone de un 34 % de arenas, 42 % de limos y 24 % de arcillas, con excepción de fragmentos rocosos de dimensiones variadas, en superficie que se han desprendido de los afloramientos escarpados o de la litología de base, que han aflorado por la erosión y que tienen la capacidad de rodar por la ladera (Fotografía 8).

El resto de sus propiedades físicas (Cuadro 1), son muy similares a las de las formaciones superficiales anteriores y por ende su comportamiento físico, pero con la diferencia que yacen sobre materiales geológicos más estables, en un modelado de topografía rebajada, de menor elevación, permitiendo caracterizarla como una formación superficial con un 60 % de granulometría fina en su matriz, capaz de almacenar mucha humedad, donde una Ch moderada, como propiedad síntesis de su granulometría, indica que sobre su superficie ocurre una alta escorrentía cuando está saturada. Esta situación anterior, se corrobora en el campo al observar que los suelos de los cafetales se muestran muy erosionados. Sin embargo, al ser una topografía con café de sombra densa en algunos sitios, dicho efecto se reduce, con excepción de las áreas donde el café tiene poco tiempo de sembrado o posee mayor sombra.

La elevación máxima en éste sector es de 1219 msnm, donde la diferencia de altura entre el punto de mayor altitud y la base de la pendiente es de 120 m, en una distancia horizontal de 1 km (Figuras 2A y 1B), es decir, pertenece a la sección de la unidad de menor altitud y con laderas aparentemente más estables o con menor potencial de que en ella, se produzcan grandes procesos de remoción en masa, al menos en su sección oriental que está ocupada por el cultivo del café, ya que, su ladera opuesta corresponde con un escarpe de falla donde se localiza las mayores pendientes.

Síntesis

Sobre la superficie de la ladera occidental del Valle de Orosi, se observan destacables cicatrices de deslizamientos en toda su superficie y en toda la ladera aquí estudiadas ocurridos en el pasado y que lucen aparentemente estables hoy día (Figura 1), aunque por sus dimensiones, se puede afirmar que de ellas se desprendieron enormes volúmenes de materiales con los cuales se relleno la llanura de inundación de río Grande de Orosi. Es probable que estos grandes deslizamientos ocurrieran durante el desarrollo del período de mayor intensidad del pluvial que siguió, al finalizar el último período glacial hace unos 13000 años.

Estos grandes deslizamientos que rellenan el fondo valle, se acumularon en forma conos de deyección y conos coluviales al pie de la ladera y extendidos sobre el terreno llano de manera torrencial y en forma de depósitos coalescente; sobresaliendo el cono de deyección donde se emplaza la Villa de Orosi, y los conos formados por los ríos Jucó y Macho, sobre los que también se han construido los poblados del mismo nombre. Vale decir que de estas formas y superficies paleogeomorfológicas en ladera, están ocupadas hoy por el cultivo de café y donde también se asientan viviendas dispersas, de las cuáles se pueden originar nuevos deslizamientos, tal y como ha ocurrido en otros lugares del mundo, donde a manera de ejemplo se puede citar los poblados de Santa Tecla, en San Salvador, El Salvador, donde el 13 de enero de 2001, se produjo un terremoto de 7,6 de magnitud en la escala de Richter, que produjo un deslizamiento de 250000 m³ (Fotografía 11), donde murieron más de 500 personas (Jibson and Crone, 2001). Asimismo (Jibson, 2005), indica que en La Conchita, en California, Estados Unidos, ocurrió un deslizamiento el 10 de enero de 2005, disparado por fuertes lluvias, destruyó 13 casas, 23 se declararon inhabitables y murieron 10 personas (Figura 2 y Fotografía 12).

Los largos escarpes de fuerte pendiente que posee la ladera Oeste del Valle de Orosi; algunos tapizados por vegetación de bosque denso, las definen como relativamente; pero la mayoría están bajo uso agrícola o pastos, desde los cuales se pueden gestar importantes deslizamientos y desprendimientos de rocas. Una de las mayores dificultades encontradas en el paisaje, es que la presencia de bosque, cultivos y pastos se presentan distribuidos heterogéneamente, lo que no permite identificar con certeza secciones de ladera que no se vean afectados por los procesos de remoción en masa, ya que las áreas inestabilizadas por su proximidad a las más protegidas por vegetación boscosa, hacen que estas últimas se vuelven frágiles, y a las que le asocia una red hidrográfica altamente torrencial que socaba lateralmente los cauces falseando sus vertientes y por la discurren en la época lluviosa de mayo a noviembre, avalanchas con troncos y bloques rocosos de dimensiones métricas en una matriz lodosa. (Fotografía 10).

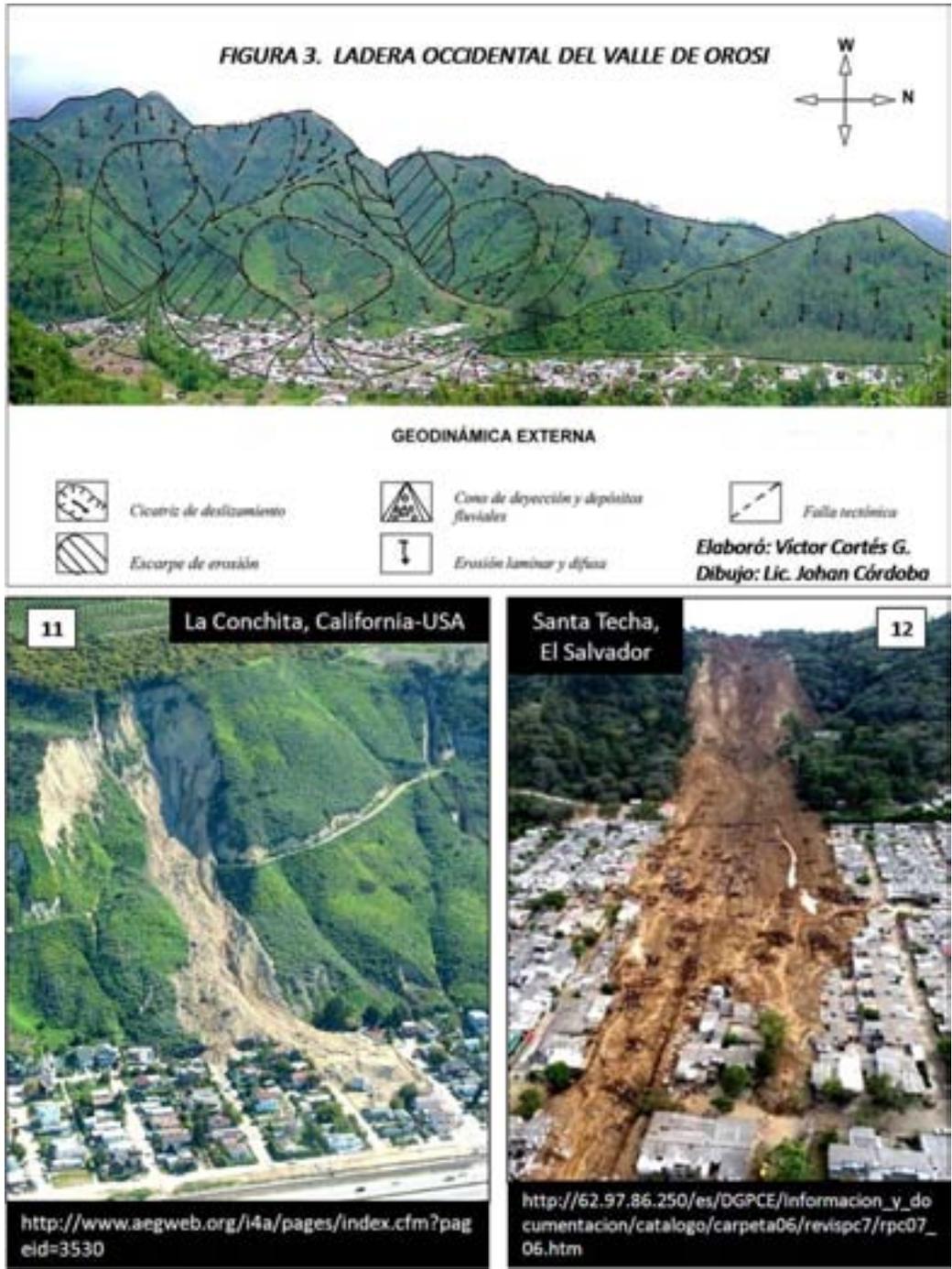


Fotografía 10. El acarreo masivo de materiales en el cauce del Río Granados, socaba sus riberas, inestabilizando la ladera cultivada de café que alterna con pastos y manchas de bosque, así como la línea de conducción eléctrica y al poblado de Jucó (Imagen CNE 2005).

A lo anterior hay que adicionarle la presencia de la tubería de 30 km de largo perteneciente al Acueducto Metropolitano, que toma de la zona 2 100 l/s de agua, para abastecer a más de 500 mil personas de las ciudades de Paraíso, Cartago y San José, el cual atraviesa esta ladera muy cerca de su divisoria de aguas o cortando la pendiente natural de la ladera, junto a un camino de una longitud de casi 7 km, bajando de una elevación máxima de casi 1600 a 1000 msnm, existiendo la posibilidad de fugas de agua constantes no visibles o bien la ruptura total o parcial de alguna sección de dicha tubería, por la ocurrencia de un deslizamiento, desprendimiento de rocas, por fuerzas de origen tectónico, ocurrencia de sismos, falta de mantenimiento, vandalismo, etc., lo cual podría en poco tiempo, hacer que las formaciones superficiales superen el límite plástico, provocando deslizamientos masivos y repentinos.

Además, el camino trazado para su construcción y mantenimiento, ha facilitado la ocurrencia de numerosos y voluminosos desprendimientos, que han obstruido su paso, materiales que al ser removidos del camino, se han colocado sobre la sección de ladera opuesta, convirtiéndose en materiales en tránsito pendiente abajo, lo que ha sido constado por este autor.

Las formaciones superficiales en la ladera estudiada, son de difícil delimitación cartográfica, por ser materiales retrabajados a lo largo y ancho de la misma, mediante procesos activados en diferentes periodos, pero han permitido evidenciar la presencia de deslizamientos relativamente estables y dispuestos sobre la ladera en forma escalonada, pero con potencial a ser activados dadas las características de la ladera antes estudiadas, donde la figura 3 y las fotografías 11 y 12 sintetizan muy bien la temática y problemática objeto de este trabajo.



Fotografías 11 y 12. Nótese como estas fotografías muestran la situación geográfica de los poblados de La Conchita, California-USA y Santa Techa, San Salvador, El Salvador, afectados por deslizamiento, que confirma la semejanza mostrada en la figura 1, respecto a los asentamientos de Río Macho, Jucó y la Villa de Orosi. Además, obsérvese los procesos geomorfológicos identificados en la imagen de la figura 1, que confirman la fragilidad de las formaciones superficiales, que se encuentran en la ladera Oeste del Valle de Orosi.

Conclusión

Este trabajo ha permitido demostrar la necesidad de estudiar las formaciones superficiales, para poder tener un mejor conocimiento de las laderas, en las que se asienta el ser humano, ya que la determinación de sus propiedades físicas y químicas ayudaran a entender con anticipación su comportamiento morfodinámico y con ello obtener un ordenamiento territorial más sostenible.

En este estudio, se ha podido constatar que en la ladera Oeste del Valle de Orosi, existe una continua amenaza natural de romper la sostenibilidad relativa de la misma, con lo que se estaría poniendo en riesgo al paisaje, a la población que habita las laderas y la caficultura, así como las localidades de Río Macho, Jucó y la Villa de Orosi, en cuya jurisdicción viven actualmente más de 9000 personas. Asimismo, existe importante infraestructura de tipo turístico distribuida por toda el área, sitios históricos que son patrimonio nacional como el Templo Católico Colonial de Orosí, las ruinas de la Iglesia de Ujarrás, una red vial que junto a sus puentes, son la vía de acceso a los acueductos locales, al sitio y obras de captación del Acueducto Metropolitano, al llamado “Circuito Turístico de Orosí”, a líneas de conducción eléctrica de alta tensión que parten de las plantas hidroeléctricas de Río Macho y Cachí e importantes áreas protegidas con el Parque Nacional Tapantí, que es una las zonas más lluviosas del país con más de 6500 mm en su parte más elevada, lo que convierte la zona en importante reservorio de agua; que de ser afecta por obstrucciones por procesos de remoción en masa podría hacer colapsar esta zona de vital importancia para el país y con la eventualidad de una población atrapada con sus actividades económicas colapsadas.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- CRR. Centre de Recherches Routières. 1988. Mode opératoire. Limites de consistance des soils (limites de liquidité et de plasticité). Bruselles, Belgique. 39 p.
- Dresch, J. 1972. Mémoires et documents, cartographie géomorphologique. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris, France. 193–2004 p.
- Forsythe, W. 1980. Manual de laboratorio. Física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica. 212 p.
- Henríquez y Cabalceta. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. I Edición. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo – Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 111 p.
- ICE. 1987. Plantas hidroeléctricas del ICE. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica. 32 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 6, Estudio agrológico. San José, Costa Rica. 124 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.
- IGN. 1963. Hoja topográfica ISTARU, escala 1:50000. Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- IMN. 2004. Estaciones meteorológicas T – Seis, Sitio Presa, Tapantí y Dos Amigos. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.
- INEC. 2002. IX Censo de población 2000. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica.

- INEC, 2012. X Censo de población y VI de vivienda 2011(resultados preliminares). Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Costa Rica. www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx (Consultado en marzo 2012).
- Jibson and Crone, 2001. Observations and recommendations regarding landslide hazards related to the January 13, 2001 M-7.6 El Salvador Earthquake. Open-File Report 01-141. On-line Edition 2001. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. 31p. <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0141/ofr-01-0141.pdf> (Consultado en Marzo 2012).
- Jibson, 2005. The 2005 La Conchita, California, landslide. Published online: 2 December 2005. 5p. https://profile.usgs.gov/myscience/upload_folder/ci2009Apr211701114273791-La%20Conchita,%20Landslides.pdf (Consultado en Marzo, 2012).
- Parra, 2004 Análisis de vulnerabilidad a deslizamientos en el Distrito de Orosi, Provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 155 p.
- USDA, Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual handbook. No 18. USA. 120 p
- Zavaleta, A. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Lima, Perú. 223 p.