

Un ensayo de zonificación de áreas susceptibles a inestabilidad de laderas en el flanco norandino de Venezuela

An attempt of zoning of areas susceptible to slope instability on the northern Andean flank in Venezuela

Montiel Albornoz Katty*, Montes Galbán Eloy* y Gouveia Muñetón Edith*

Recibido: noviembre, 2007 / Aceptado: octubre, 2008

Resumen

Se intenta establecer una zonificación de rangos de susceptibilidad expresados en términos de inestabilidad y propensión al colapso de laderas. Se efectuó un estudio de las condiciones biofísicas como pendiente, litología, disposición estructural, precipitaciones, procesos morfogenéticos y el uso de la tierra, mediante el método heurístico de Van Westen y se identificaron las variables geográficas de mayor incidencia en la dinámica local. Mediante la aplicación de un SIG, se logró representar tres rangos de susceptibilidad: baja, moderada y alta de la cuenca del río Mocoy, afluente principal del río Castán, estado Trujillo. El análisis de los mecanismos implícitos en el colapso de material geológico, la estimación sobre la tendencia futura y detección de las áreas de susceptibilidad, constituyen las bases para una adecuada mitigación del problema de procesos de ladera peligrosos y el aporte de sedimentos al sistema fluvial del río Mocoy.

Palabras clave: Zonificación; susceptibilidad; inestabilidad de laderas; flanco norandino; Sistemas de Información Geográfica.

Abstract

This paper attempts to establish a zoning of ranks of susceptibility expressed in terms of instability and tendency to slope collapse. A study of the biophysical conditions like slope, lithology, structural disposition, precipitations, morphogenetic processes and the land use was carried out, by means of the heuristic method of Van Westen; and the geographic variables of greater incidence in local dynamics were identified. By means of the application of a GIS, three ranks of susceptibility could be represented as follows: low, moderate and high in the watershed of the Mocoy River, the main affluent of the Castán River in the state of Trujillo. The analysis of the implicit mechanisms in the collapse of geologic material, the estimation on the future tendency and detection of the susceptibility areas form the bases for a suitable mitigation of the problem of dangerous slope processes and the contribution of sediments to the river system of the Mocoy River.

Key words: Zoning; susceptibility; slope instability; northern Andean flank of Venezuela; Geographic Information Systems.

* Universidad de Zulia, Centro de Estudios Geográficos, Maracaibo-Venezuela. E-mail: delvallemontiel@cantv.net; eloyead@yahoo.com; edithgouveia@yahoo.com

1. Introducción

La evaluación de amenazas naturales, especialmente lo concerniente a procesos de laderas e inundaciones, constituye un tema de política gubernamental y educación ambiental en Venezuela. En la actualidad, en las regiones montañosas venezolanas, la supervisión de laderas inestables constituye un objetivo fundamental en la gestión de riesgos debido a la proliferación de unidades de producción que no siguen una zonificación que considere las características del ecosistema y menos, el impacto que provocan en él (Jaimes y Mendoza, 2002). Esto es alarmante si se considera que más del 80% de la población venezolana se concentra en regiones montañosas y piedemontinas tropicales, donde las limitaciones relacionadas con pendientes elevadas, unidades rocosas frágiles, sismicidad, dinámica asociada con abanicos aluviales, entre otras, pueden ser consideradas comunes (Ferrer, 2002). Aún, los procesos de ladera poco profundos a menudo, pueden llegar a constituir verdaderas amenazas, en particular, para las redes de infraestructura. Si a esto se le suma la intervención antrópica sin planificación, se observa con preocupación como este tipo de procesos naturales se aceleran (Ayala, Páez y Araque, 2007).

Adicional a la problemática presente en muchos de los ecosistemas venezolanos, en el flanco norandino, específicamente en la cuenca hidrográfica del río Mocoy, estado Trujillo, se presenta un marcado contraste de condiciones y procesos de ladera que agravan su situación

ambiental, limitando la sustentabilidad en su desarrollo socioeconómico.

Para tal efecto, los estudios de zonificación de áreas susceptibles por inestabilidad de las laderas, se han desarrollado en las dos últimas décadas como parte de las tareas de ordenamiento y planificación del territorio, que van desde los trabajos de construcción de obras de ingeniería hasta la evaluación de riesgos. La realización de estos estudios, apoyados en el supuesto teórico del comportamiento de los procesos de ladera en el pasado reciente (esencialmente el Holoceno), proporciona pistas válidas para la predicción de su comportamiento en el futuro inmediato. En este sentido, el estudio del medio físico en áreas montañosas implica la identificación de aquellos factores que inciden en la inestabilidad de las laderas (litología, valores de pendientes y discontinuidades), las cuales tradicionalmente han sido considerados las variables claves para la explicación de rupturas y el colapso de materiales (Ferrer y Laffaille, 2003).

El objetivo fundamental de este trabajo es establecer una zonificación de áreas susceptibles a la inestabilidad de laderas en la cuenca del río Mocoy del estado Trujillo, flanco norandino de Venezuela y el análisis de los factores causantes de la inestabilidad, para lo cual se identifican y representan en mapas digitales, las variables geográficas involucradas, los procesos de ladera potencialmente dañinos así como también, los efectos de la antropogénesis como agente desencadenante de dichos procesos. Se pretende que este análisis constituya un soporte para rea-

lizar una planificación territorial de esta región basada en el desarrollo socioeconómico ambientalmente sostenible.

Los resultados presentados dan una visión importante sobre las condiciones que originan y los efectos geomórficos de los procesos de ladera en la cuenca hidrográfica del río Mocoy (Figura 1). El enfoque utilizado, esencialmente el geomorfológico, da énfasis al origen y evolución de estos procesos a mediano plazo. El análisis de los mecanismos implícitos en el colapso de material geológico de la cuenca, así como la detección de las áreas de susceptibilidad geomorfológica, constituyen las bases para una adecuada mitigación del problema de procesos de ladera peligrosos y el aporte de sedimentos al sistema fluvial del río Mocoy.

2. Contexto geográfico

La cuenca del río Mocoy se ubica en los Andes venezolanos, específicamente, en el estado Trujillo, con una extensión de aproximadamente, 20.041 hectáreas. Pertenece a la hoya hidrográfica del lago de Maracaibo, cuenca del río Motatán, subcuenca del río Castán. Astronómicamente está localizada entre las siguientes coordenadas: latitud Norte: $9^{\circ} 27' 16''$ y $9^{\circ} 16' 00''$; y longitud Oeste: $70^{\circ} 25' 48''$ y $70^{\circ} 17' 18''$. Sus límites son, al Norte con el municipio Candelaria, al Este con el municipio Boconó, al Sur con el municipio Urdaneta y al Oeste con el municipio Pampanito y el río Castán.

Esta cuenca hidrográfica corresponde en su totalidad al paisaje de montaña, de

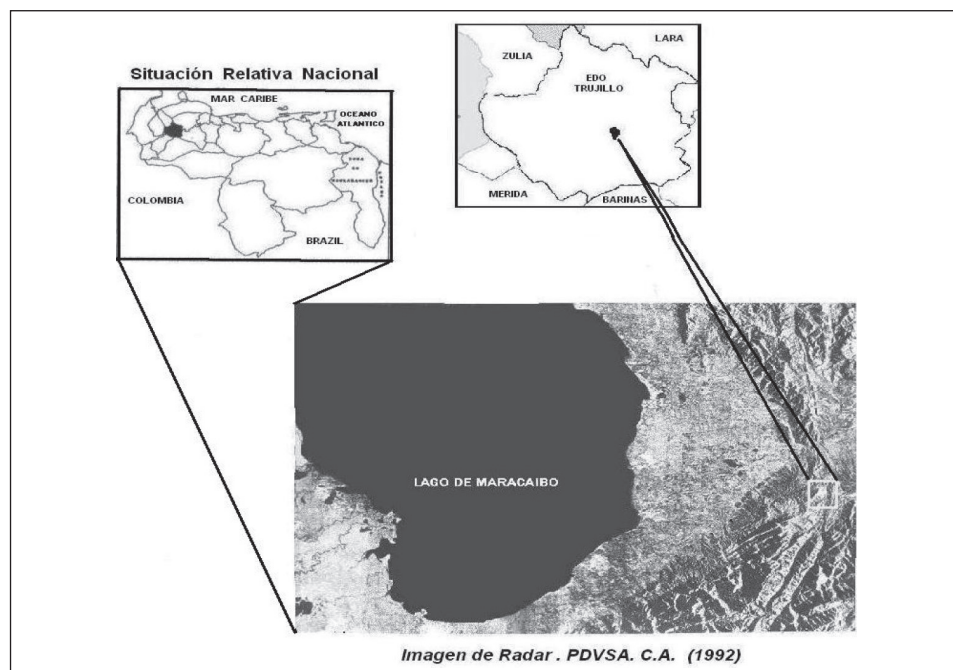


Figura 1. Localización de la cuenca hidrográfica del río Mocoy. Estado Trujillo

topografía muy accidentada que origina formas de vertientes convexas, cóncavas, cóncavas-convexas y superficies fuertemente disectadas con tendencia a band lands. De acuerdo a las características fisiográficas y la identificación de las variables, se sectorizaron 3 subsistemas hídricos: la cuenca baja se ubica desde los 900 msnm en la confluencia con el río Castán, hasta la confluencia de la quebrada La Honda, aproximadamente a los 1.600 msnm; la cuenca media, oscila entre los 1.600 msnm y los 3.000 msnm. Constituye un área de suelos poco desarrollados, con un mínimo de zonas de depósito de materiales detríticos debido a las fuertes pendientes; la cuenca alta, conforma todas las áreas por encima de los 3.000 msnm hasta los páramos El Atajo y La Cristalina.

La cuenca del río Mocoy se destaca esencialmente, por afluentes entallados de torrentes moderados con tendencia a violentos en período de lluvias y cursos permanentes de gran poder erosivo. Los suelos son delgados con áreas focalizadas de mayor desarrollo y presenta un tipo de vegetación de bosque seco con tendencia hacia la semi-aridez, factor que ha contribuido en parte al aceleramiento de los procesos erosivos desencadenados en el área.

Según datos de las estaciones climatológicas 'Páramo La Cristalina, Páramo de Ortiz y Trujillo-Liceo' (Ministerio del Ambiente, 2006), el régimen de distribución de las precipitaciones de la cuenca del Mocoy, está representado por valores máximos de lluviosidad en los meses de abril y octubre/noviembre, mientras que las mínimas se registran para los meses

comprendidos entre diciembre/febrero, como período seco. Presenta una total anual de 874,85 mm. La temperatura media anual es de 19,55°, con la máxima en el mes de julio y las mínimas en los meses de diciembre y enero (Figura 2).

La cuenca del río Mocoy se localiza en el municipio Trujillo. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2001) tiene, de acuerdo a la proyección para el año 2007, una población de 56.339 habitantes y una densidad de 136,41 hab/km². De este total de población, 40.43 h es urbana y el resto (9.960 h), rural. El uso de la tierra es bastante intensivo, mediante la siembra permanente. Mayormente, la producción agrícola se origina en zonas de pendientes o declives muy fuertes.

Se distinguen sistemas de explotación agrícola intensiva a través de una gran diversidad de cultivos de ciclo corto. Los cultivos más importantes son la papa, ajo, zanahoria, repollo, lechuga, cebollín, ajo porro, remolacha, cilantro, acelga, entre otros; sistemas de explotación agrícola extensiva, fundamentalmente, la explotación del café, la cual representa la principal fuente de ingreso de los productores de la zona; sistemas de explotación frutícola, donde prevalecen los cultivos de piña, naranjos y cambur y explotaciones pecuarias, donde se destaca la ganadería de explotación lechera y ganado caprino.

En un contexto situacional, Jaimes y Mendoza (2002:120) afirman que entre los problemas ecológicos y ambientales del estado Trujillo, se destaca *“el incremento de los procesos erosivos por la agricultura en laderas de montañas, con moderadas y altas pendientes, y fre-*

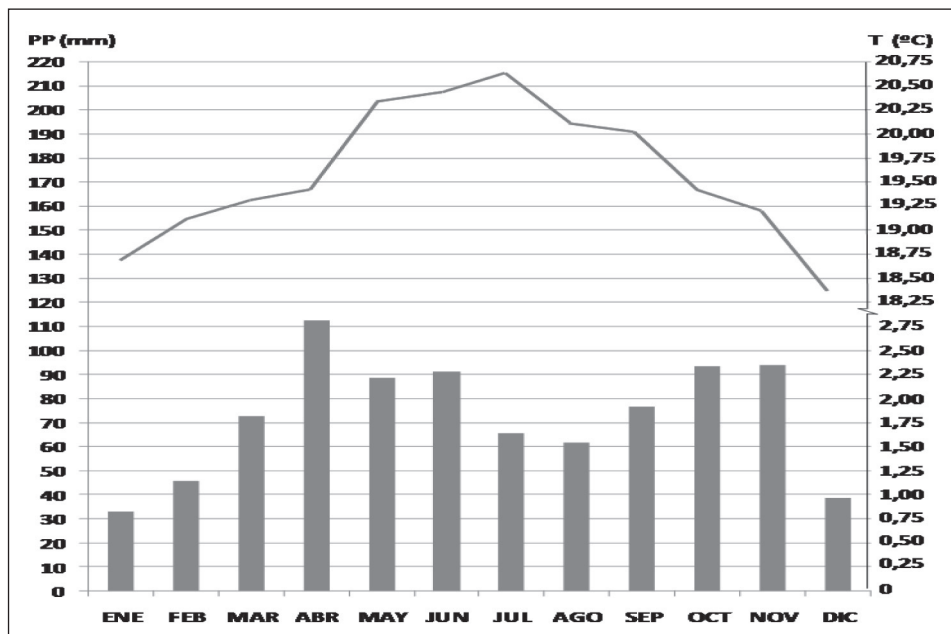


Figura 2. Histograma de precipitaciones y temperaturas según datos de las estaciones climatológicas Páramo La Cristalina, Páramo de Ortiz y Trujillo-Liceo (Ministerio del Ambiente, 2006)

cuentemente deforestadas mediante tala e incendios". Según estos autores, el patrón más típico de esta forma de intervención del ecosistema es la agricultura migratoria.

3. Métodos y técnicas

La evaluación de la susceptibilidad geomorfológica por inestabilidad de laderas, incluye la definición del criterio biofísico, el cual se fundamenta en el análisis de la geología, geomorfología, precipitaciones y uso de la tierra a través de la teledetección, inspección de campo, la toma y análisis litológico de muestras rocosas de la cuenca.

3.1 La teledetección, inspección de campo y la cartografía

Sobre la base de las cartas topográficas, hojas 6144 III NO, SO, NE, SE, 6143 IV NO y NE, escala 1: 25.000, edición 1-DCN, año 1965 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) y la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se obtuvo la capa de pendientes de la cuenca. Se digitalizaron las curvas de nivel y sus atributos (cotas), para luego realizar una interpolación lineal entre isolíneas, generando así un Modelo Digital de Elevación (MDE). Para este proceso se utilizó el módulo INTERCON del SIG IDRISI; el mismo es un interpolador exacto ya que

las isolíneas retienen sus valores (Eastman, 2003). Partiendo de la imagen de superficie (MDE), se derivó la capa de pendientes de la cuenca; para ello se utilizó el módulo SURFACE del SIG. Mediante la interpretación de ortoimágenes del año 1996, misión 0103118 del IGVSB y la comprobación de campo en el año 2007, se obtuvo la capa de formas y procesos geomorfológicos. De igual manera, se logró la capa de uso de la tierra. Las capas geológicas (unidades geológicas y fallas) fueron digitalizadas a partir de las cartas de Geología de Superficie: E-4-C, y E-4-D, a escala 1:50.000 de la Creole Petroleum Corporation, año 1963.

El modelo de superficie (capa) de intensidad de las precipitaciones en la cuenca, fue generado a partir de la interpolación de datos puntuales, representados por los registros de precipitación en mm/hora, asumiendo los registros cada 24 horas correspondiente a las estaciones Páramo La Cristalina, Pampán, Páramo de Ortiz, San Lázaro, Santiago de Trujillo y Trujillo-Liceo, localizadas dentro y adyacentes al área de estudio (Ministerio del Ambiente, 2006). Se seleccionó como método de interpolación Kriging, ya que se ha demostrado que arroja las mejores estimaciones de precipitación, a través de combinaciones lineales ponderadas de los datos disponibles.

3.2 Los análisis convencionales de muestras rocosas

Un total de veinte muestras fueron seleccionadas en áreas representativas de la constitución litológica de la cuenca

del río Moco y en enero de 2007. El cálculo de la densidad de granos se realizó con la fórmula: $Dg = \text{masa} / \text{volumen}$. La descripción litológica se realizó mediante el uso de HCL, ácido nítrico y una lupa estereoscópica. Las muestras fueron cortadas de forma cúbica y cilíndrica. Luego fueron limpiadas con un equipo de destilación (Soxglet). Para las muestras cilíndricas se utilizó el Porosímetro de Boyle; previamente se calcularon los valores de longitud y diámetro del volumen total de cada una de ellas. Mediante la ecuación: $\text{Porosidad} = \text{Volumen de Poros} / \text{Volumen Total}$, se calculó el valor de la Porosidad al Helio. El valor de la porosidad, en las muestras de forma cúbica, fue medido en una bomba de mercurio y se determinó el volumen total por diferencia volumétrica. Posteriormente, por inyección de mercurio, se estimó la cantidad de poros vacíos presentes y se obtuvo el valor de la capacidad acumulativa de las muestras.

En un permeámetro se hizo pasar a través de las muestras, un gas bajo condiciones de presión de flujo, midiendo el caudal, área transversal, longitud de la muestra y viscosidad del fluido. Todos estos parámetros fueron llevados a la Ecuación de Darcy, lo que permitió el cálculo de la permeabilidad al gas en cada muestra. El método utilizado para el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), fue el de Titulación Conductométrica. Los datos de conductividad producto de la titulación, se graficaron en función del volumen de MgSO_4 utilizado. Dicha representación gráfica originó dos rectas de pendientes opues-

tas, cuya intersección es el punto final de la titulación arrojando los datos finales tabulados en la discusión de los resultados de esta investigación. Los datos obtenidos fueron considerados dentro de la aplicación del método heurístico.

3.3 El análisis de la susceptibilidad

A lo largo de este artículo se intenta hacer énfasis en la distribución de la ocurrencia de colapsos de ladera y procesos de vertientes generadores de desequilibrio morfogenético, tomando en consideración el enfoque geomorfológico, cuyo objetivo es determinar la variación espacial de la inestabilidad de las laderas y su representación cartográfica mediante el mapa de susceptibilidad geomorfológica.

La investigación se fundamenta en el método heurístico, el cual se basa en el análisis de los procesos geomorfológicos que actúan sobre el terreno, el mapeo de los procesos de ladera, mapeo de los factores ambientales que afectan directamente e indirectamente la inestabilidad de las laderas, estimación de las relaciones entre los factores y los fenómenos de inestabilidad y la clasificación del terreno en dominios de diferente grados de susceptibilidad de acuerdo con las relaciones detectadas (Van Westen, 2003), en combinación con el enfoque analítico (Hansen, 1984), en el que se elabora una serie de mapas temáticos, los cuales se evalúan separadamente y después se integran para alcanzar una evaluación general del área de estudio.

Para esta tarea se aplicó el análisis espacial mediante un SIG, específicamente

el IDRISI 32, donde el núcleo esencial es el análisis simultáneo de las características temáticas y de la componente espacial de los objetos geográficos (Bosque *et al.*, 1994) y la evaluación multicriterio (EMC), la cual se encuentra integrada a la tecnología de los SIG, permitiendo automatizar muchos de sus métodos. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) facilitó llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005).

La evaluación multicriterio se llevó a cabo con la Combinación Lineal Ponderada (CLP), la cual permitió obtener el mapa definitivo, a través de la combinación lineal ponderada de los mapas correspondientes a los distintos factores que influyen en la inestabilidad (Ordóñez y Martínez, 2003). Su expresión matemática es:

$$M = \sum_i p_i x_i$$

donde:

M: mapa de susceptibilidad;

P: pesos asignados a cada factor y

X_i: factores.

Para cada variable geográfica se analizaron las diferentes propiedades que afectan las laderas y en dependencia de su importancia, se establecieron jerarquías y pesos a los factores considerados (Gómez y Barredo, 2005), y se expresaron cuantitativamente con el peso de ponderación para cada uno de ellos en el potencial de desencadenamiento de procesos de lade-

ra, los valores adoptados están basados en el conocimiento empírico (método heurístico), (Cuadro 1).

Se asumió la Tasación simple (rating methods), que consiste en prefijar un valor inicial (p.e. 100), a partir del cual se asigna una cantidad en función de la preponderancia de cada criterio, y así con cada uno hasta lograr una completa y coherente distribución de los cien valores (Gómez y Barredo, 2005). Para efectos de la superposición de las capas se utilizaron imágenes con resolución por píxel de 25x25 metros.

Las áreas de susceptibilidad son representadas en el mapa definitivo de acuerdo a la opinión de expertos, mediante una clasificación cualitativa: baja, moderada y alta susceptibilidad y algunas consideraciones relacionadas con la expectativa de deslizamiento y el uso de la tierra desarrollado en tales áreas (Castellanos y Van Westen, 2001). La *susceptibilidad baja* (1), conforma áreas de pendientes $<15^\circ$, unidades rocosas de calizas duras, rocas sedimentarias sin o con muy poca alteración, surcos dispersos y bosques densos. No hay fenómenos dañinos (deslizamientos de tierra, desprendimiento de rocas, entre otros). No se esperan deslizamientos mientras el uso de la tierra sea el mismo.

La *susceptibilidad moderada* (2), constituye áreas con pendientes entre 15° - 45° , amplios sistemas de surcos y cárcavas, escurrimiento laminar, unidades geológicas tectonizadas y meteorizadas y bosques claros con substratos herbáceos degradados y erosión muy importante. Los cambios en el uso de la

tierra deben ser previamente estudiados con relación a su susceptibilidad a deslizamientos. Representa moderada posibilidad de que aparezcan fenómenos dañinos en los próximos años que pudieran ocasionar algún tipo de impacto negativo a las infraestructuras y viviendas. Además, los daños esperados son localizados y pueden ser prevenidos con medidas de estabilización.

La *susceptibilidad alta* (3), representa áreas donde la pendiente es $> 45^\circ$, rocas sedimentarias fuertemente fracturadas, meteorizadas y con rellenos arcillosos, zonas de deslizamientos y derrumbes existentes, fuerte intervención antrópica. La posibilidad de ocurrencia de deslizamientos es alta durante condiciones de lluviosidad. Se espera que fenómenos dañinos ocasionen daños considerables en la infraestructura y viviendas. La construcción de nuevas infraestructuras debe acometerse sólo si antes se realiza un estudio bien detallado. Se recomienda la reubicación de la población emplazada en éstas áreas.

4. Análisis y discusión de los resultados

La antropogénesis, debido a la eliminación de gran parte de la cobertura vegetal para el establecimiento de cultivos en fuertes pendientes y en unidades geológicas altamente tectonizadas, sin tomar en cuenta prácticas conservacionistas y de manejo, acrecienta, en la cuenca hidrográfica del río Mocoy, la susceptibilidad geomorfológica e introduce

Cuadro 1. Pesos y valores asignados de acuerdo al método heurístico

Variables o Factores	Peso relativo	Parámetros y/o Categorías	Nivel de Susceptibilidad	Valor
Geomorfológicos	0.20	Deslizamientos activos	Alto	3
		Deslizamientos inactivos	Alto	3
		Derrumbes	Alto	3
		Depósitos de ladera	Alto	3
		Escurrimiento laminar	Moderado	2
		Solifluxión	Moderado	2
		Cárcavas	Moderado	2
		Surcos	Moderado	2
		Crestas Agudas	Moderado	2
		Crestas Convexas	Moderado	2
		Resalto	Bajo	1
		Band Land	Alto	3
		Conos de Deyección	Bajo	1
		Terrazas	Moderado	2
		Cauce de ríos	Moderado	2
Pendientes	0.20	<15°	Bajo	1
		15°-45°	Moderado	2
		> 45°	Alto	3
Uso de la Tierra	0.25	Bosques densos	Bajo	1
		Bosques claros con sustratos herbáceos degradado y erosión muy importante	Moderado	2
		Matorral sin erosión del suelo	Bajo	1
		Matorral degradado con erosión aparente del suelo	Alto	3
		Pastizales degradados de plantas viváceas, con erosión aparente	Alto	3
		Terrenos totalmente erosionados y desnudos	Alto	3
		Cultivos anuales	Alto	3
Geológicos	0.20	Terrazas (Qt)	Moderado	2
		Formación Colón (Kc)	Alto	3
		Formación La Luna (Kl)	Alto	3
		Formación Apón (Kcg)	Alto	3
		Formación Río Negro (Kn)	Alto	3
		Formación La Quinta (Jrq)	Alto	3
		Asociación Mucuchachí (Pcm)	Moderado	2
		Contacto de Falla	Alto	3
Precipitaciones	0.15	<25 mm/día	Bajo	1
		25-30 mm/día	Moderado	2
		>30 mm/día	Alto	3

desequilibrios espaciales que comprometen el orden territorial y el desarrollo sustentable.

4.1 Significado del comportamiento geológico y los procesos morfogenéticos actuantes

La dinámica geoestructural de la cuenca del río Mocoy es muy compleja, debido al sistema de fallas activas que la conforman, las cuales generan extensas áreas tectonizadas y deformación de las rocas aflorantes, lo que desarrolla amplias superficies de rocas cataclásticas y numerosos planos de debilidad como respuesta mecánica al fracturamiento de un material rígido y frágil, comportándose como factor determinista de procesos de ladera y susceptibilidad geomorfológica moderada y alta.

Numerosas son las áreas de susceptibilidad alta por inestabilidad de laderas en rocas metamórficas del Paleozoico, conformando morfoalineamientos con deformación acumulativa relacionada con perfiles geológicos desfavorables bajo la acción de fuerzas gravitacionales, muy afectados por deslizamientos; es decir, movimientos ladera abajo de la masa de suelo, detritos o roca, los cuales ocurren sobre superficies reconocibles de ruptura o discontinuidades geológicas importantes como las falla de El Zamuro y Trujillo con orientación NE, asociadas al fallamiento de Árbol Redondo (Figura 3).

La traza de la falla El Zamuro es difícil de observar en la cuenca baja del río Mocoy, debido a materiales provenientes de deslizamientos y derrumbes. En el fondo de la quebrada El Rincón, se aprecia con más nitidez y se observan deslizamientos

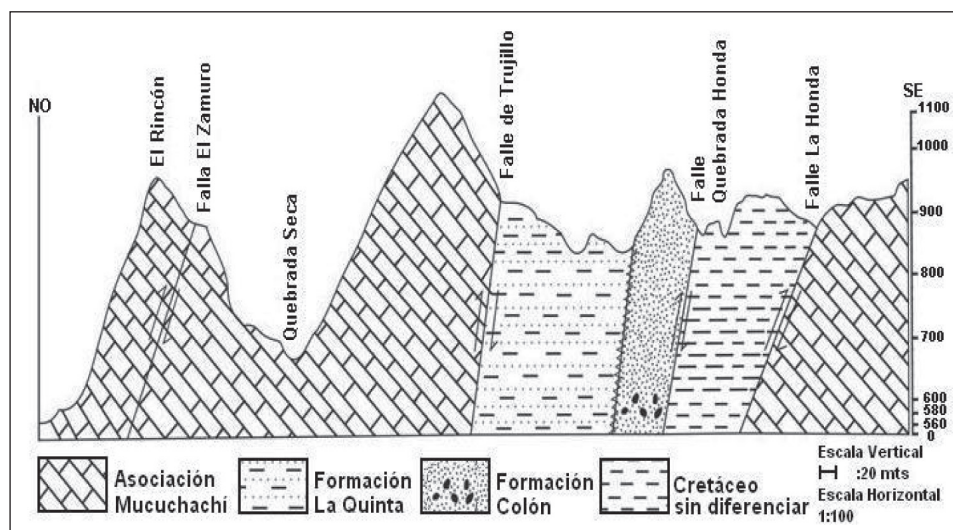


Figura 3. Perfil geológico de la sección El Rincón - Falla La Honda. Cuenca hidrográfica del río Mocoy. Estado Trujillo.

rocosos del bloque deprimido de esta estructura.

La falla de Trujillo pone en contacto las rocas metamórficas de la Asociación Mucuchachí, la cual ocupa un 79,35% del área total, con la Formación La Quinta del Jurásico-Triásico con un 4,60 % con relación al área total. Los afloramientos de estas unidades rocosas se presentan muy diaclasados y meteorizados, los cuales, potenciados por la antropogénesis, favorecen el desarrollo de áreas de susceptibilidad alta por inestabilidad de sus laderas, especialmente, en las microcuencas de las quebradas Seca, La Honda, Soso y Honda.

El alto nivel de fracturamiento de los macizos rocosos de la cuenca del río Mocoy, permite una distribución del agua de percolación que genera una profunda meteorización física y química. La descomposición mineralógica provoca ruptura y colapso de materiales. Los análisis convencionales de un total de 20 muestras frescas de la cuenca, indican que las rocas tienen valores de porosidad y permeabilidad bajos (Cuadro 2) por lo cual, presentan baja capacidad de almacenamiento de fluidos.

Sin embargo, el avance de agua a través de los poros se debe a la presencia de amplios sistemas de diaclasas y fracturas en rocas cataclásticas de las microcuencas de las quebrada La Porquera, Soso, Mocoy Abajo, La Cristalina y Seca, que ocasiona procesos de alteración profunda, desprendimiento y transporte (Montiel *et al.*, 2001), así como también, el lavado de minerales y materiales finos por infiltración, esto último evidenciado por

los resultados de densidad de granos de los análisis convencionales (Cuadro 2). Esta característica hace que rocas consideradas geotécnicamente como fuertes se comporten como débiles, con condiciones morfodinámicas de desequilibrio y susceptibilidad geomorfológica moderada y alta.

Las precipitaciones, según la estaciones antes citadas (Ministerio del Ambiente, 2006), se presentan en dos períodos de lluvia de alta intensidad y corta duración durante el año: abril y octubre y noviembre y constituyen un factor que incide en los procesos de alteración de laderas ya que de su intensidad y magnitud, depende la descomposición de la roca, así como también la saturación del material meteorizado en las vertientes, el escurrimiento, la formación de torrentes y crecidas fluviales.

En efecto, el agua activa procesos morfogenéticos desde los más simples a los más catastróficos especialmente, cuando se trata de precipitaciones. Los datos obtenidos demuestran una alta densidad de granos en las muestras seleccionadas, lo que evidencia la presencia de minerales pesados susceptibles a la alteración (Cuadro 2). Esta característica hace que las rocas de formaciones análogas en cuanto a la génesis geológica y meteorización, consideradas geotécnicamente como fuertes, se comporten como débiles.

La litología predominante de las muestras seleccionadas, consiste básicamente en filitas grises pardas, delgadas, en capas deformadas, duras, friables, fracturadas con zonas oxidadas y fuerte-

Cuadro 2. Resultados de los análisis convencionales de muestras litológicas del área de estudio

Nº de Muestra	Descripción Litológica	Permeabilidad Ka (md)	Porosidad (%)	CIC Meq/granos	Densidad de Granos (grs/cc)	Fuerza Comprimida Uniaxial Kg/cm²	Descripción (dureza) *
1	Filita, gris pardo, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento intercalados de forma dispersa por metalimolitas.	3,08	6,00	0,86144	3,020	1000	R4
2	Filita, gris rojizo, de textura acicular muy evidente, muy fisil.	<0,01	3,13	0,88695	2,685	1000	R4
3	Esquistos sercíticos, de color gris, friable.	<0,01	7,00	0,71178	3,300	800	R3
4	Filita, dura, pardo rojizo, friable, fracturada.	6,97	24,00	0,87738	2,820	1000	R4
5	Arenisca conglomerática rojiza, cuarzoz variados.	5,06	5,00	1,54119	2,920	1100	R4
6	Filita, gris pardo, dura, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento	<0,02	21,16	0,75488	2,578	400	R2
7	Filita, gris pardo, dura, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento	<0,03	22,21	0,64981	2,578	300	R2
8	Lutita, gris oscuro, muy dura, subfisil, calcárea pirítica.	<0,01	2,00	0,25111	2,730	1000	R4
9	Caliza gris oscuro, subfisil con intervalos de lutita.	<0,01	4,13	0,04183	2,861	1000	R4
10	Caliza gris oscuro, dura, densa, pirítica con intervalos de lutita.	<0,01	4,16	0,03983	2,861	1000	R4
11	Caliza laminada gris, muy dura, bien compactada, cristalina, pirítica con fracturas mineralizadas.	2,34	3,02	0,65325	2,990	1200	R4
12	Lutita, gris oscuro, muy dura, subfisil, calcárea pirítica	<0,01	1,37	0,04648	2,748	800	R3
13	Arenisca conglomerática, gris claro, granos variados, cuarzoz variados, moteada en rojo.	5,54	7,00	0,11145	2,810	700	R3
14	Lutita, gris oscuro, muy dura, subfisil, calcárea pirítica	<0,01	5,73	0,04057	2,798	1800	R4
15	Filita, gris pardo, dura, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento.	<0,01	5,24	0,92624	2,694	800	R3
16	Filita, gris pardo, dura, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento	<0,01	6,06	0,88692	2,706	800	R3
17	Lutita, gris oscuro, muy dura, subfisil, calcárea pirítica	<0,01	6,41	0,03453	2,875	800	R3
18	Filita, gris pardo, dura, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento	<0,01	3,04	0,69889	2,588	300	R2
19	Filita, gris pardo, dura, zonas oxidadas a niveles de fracturamiento	<0,01	23,11	0,87785	2,578	300	R2
20	Arenisca conglomerática, gris claro, granos variados, cuarzoz variados.	5,50	7,20	0,12142	2,830	700	R3

*Escala de dureza de la roca de Jennings. R1: roca, muy débil; R2: roca débil; R3: roca moderadamente fuerte; R4: roca fuerte y R5: roca muy fuerte, (Call y Savely, 1990)

surcos y cárcavas, escurrimiento laminar generalizado y cicatrices de deslizamientos activos en las microcuencas de las quebradas Salada, La Seca, La Honda y La Cristalina Alta, los cuales se manifiestan como áreas de susceptibilidad alta.

El efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo del agua, principalmente en la Formación La Quinta, genera pequeños canales debidos a la remoción de partículas por donde el agua circula con mayor velocidad, evidenciando el fenómeno de tubificación. El límite de este fenómeno es el colapso de materiales por disminución de la resistencia de la roca a causa del aumento progresivo del diámetro de los canales que se van formando en el interior de los afloramientos.

4.2 El papel de la antropogénesis en la susceptibilidad geomorfológica por inestabilidad de las laderas en la cuenca del río Mocoy

La convergencia de factores antropogénicos en el flanco norandino venezolano y especialmente en la cuenca hidrográfica del río Mocoy, propicia el desarrollo de variados procesos de ladera, desde la reptación hasta derrumbes generalizados, lo que determina una morfogénesis activa con altos niveles de susceptibilidad geomorfológica (Montiel, Gouveia y Montes, 2007). Esta característica de susceptibilidad alta se relaciona, principalmente, con la antropogénesis, las condiciones geológicas, el ángulo de inclinación de las pendientes (Figura 5) y las precipitaciones, las cuales sobrepasan los 30 mm por día.

Existen diversos factores generadores de inestabilidad de ladera causada por la actividad del hombre en su afán por ocupar la tierra, principalmente por las modificaciones a la geometría de las laderas, excavaciones para la construcción, procesos de urbanización, deforestación, construcción de vías de comunicaciones, entre otras. En este sentido, las modificaciones asociadas a la actividad agropecuaria dentro de la cuenca, se perciben en gran parte de las unidades con mayor o menor magnitud, lo que trae como resultado la eliminación de la cobertura vegetal natural. Se observa, entonces, una relación estrecha entre la ocurrencia de procesos de ladera, el crecimiento desordenado de caseríos y caminos carreteros y labores de cultivo en un área geomorfológicamente vulnerable al colapso.

En consecuencia, la antropogénesis adquiere especial significado en la cuenca hidrográfica del río Mocoy al dejar desprovistas las unidades geológicas aflorantes de sus cubiertas de alteritas, lo que induce a un aumento de los procesos erosivos y gravitacionales en las áreas deforestadas y con fuertes pendientes. Como resultado, los esfuerzos gravitacionales actúan en los materiales del interior de las laderas, ocasionando la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante, la ruptura del suelo y su posterior desplome. Además, los procesos de deformación lenta anterior a la ruptura, estimulan la generación de mecanismos de resistencia del tipo friccionante puro, lo que también contribuye a la generación de planos de deslizamientos (Rico y Del Castillo, 1978). La influencia de pro-

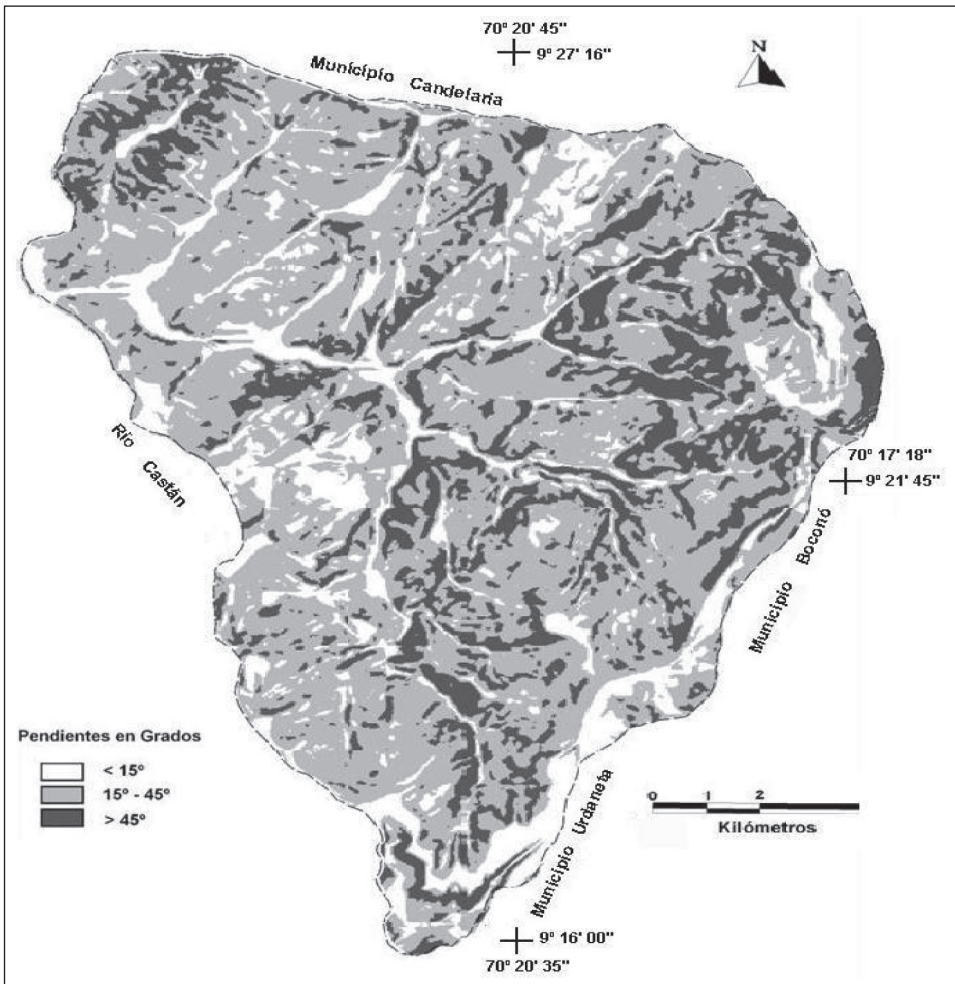


Figura 5. Pendientes de la cuenca del río Mocoy. Estado Trujillo

cesos antrópicos unida a las condiciones naturales, contribuyen al desarrollo de medios morfodinámicamente activos y de susceptibilidad geomorfológica moderada y alta.

Un problema bastante extendido en esta cuenca es la erosión de los suelos en áreas de pendientes pronunciadas desprovistas de bosques, particularmente presente en los sectores El Zamuro y El

Rincón al noroeste, que inducen el acarreamiento del terreno y la pérdida de gran cantidad de suelo anualmente.

El alto grado de susceptibilidad a la erosión que presentan de las unidades geológicas y su alto grado de fracturamiento, favorece el desarrollo de procesos de ladera violentos que han transformado amplias superficies en tierras improductivas con tendencias a 'band

lands', principalmente en la quebrada Riecito y Mocoy bajo, así como también, superficies disectadas por surcos, cárcavas, solifluxión y deslizamientos rotacio-

nales a lo largo de superficies de rupturas identificables con superficies cilíndricas o concoidales (Figura 6), los cuales caracterizan áreas de alta susceptibilidad.

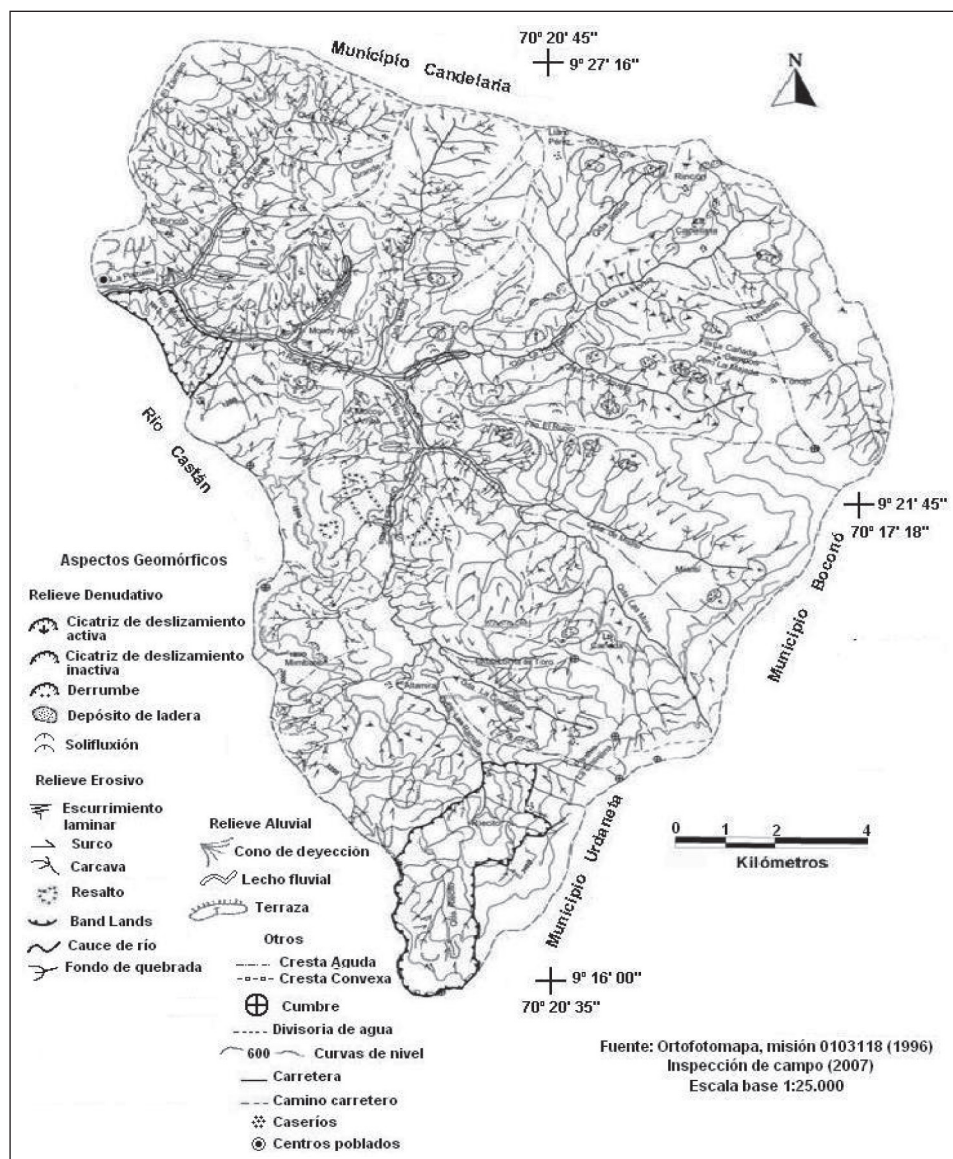


Figura 6. Geomorfología de la cuenca del río Mocoy. Estado Trujillo

Con relación a la variación espacial de la inestabilidad de las laderas de la cuenca el Mocoy, se tiene que el área de baja susceptibilidad se concentra en zonas de bosques densos como las cuencas altas de las quebradas La Salada y Las Mulas, donde sólo se observan superficies que presentan procesos morfogenéticos como el escurrimiento laminar, producto de las escorrentías en áreas desprovistas de vegetación. Los bosques densos están confinados a áreas muy reducidas, ocupan sólo un 17,24% en relación al área total y un 13,43% de áreas de deslizamientos en toda la cuenca (Cuadro 3). La zona considerada de moderada susceptibilidad, se localiza en el nacimiento del río Mocoy y la quebrada Riecito Medio.

En la zona de moderada susceptibilidad, proliferan deslizamientos que cabalgan sobre depósitos antiguos y superficies que presentan algunos procesos morfogenéticos como escurrimiento laminar, producto de la escasa cobertura

vegetal. Se observa, además, el desarrollo de cárcavas y depósitos de coluviones en pendientes inestables en áreas localizadas al norte de la cuenca baja del río Mocoy.

En la cuenca media del río Mocoy, específicamente en la vertiente norte, destacan afluentes menores de la quebrada Salada, con pendientes mayores a los 45°, existe localización generalizada de depósitos y suelos de mayor desarrollo con problemas de drenaje y erosión y pluviosidad irregular moderada y estacional.

En los afloramientos de la Formación La Luna, los cuales ocupan un 5,13% del área total (calizas y lutitas calcáreas), ocurren procesos de ladera como la solifluxión que origina superposición continua de materiales. La microcuenca quebrada Misisí Media, sector Los Blancitos, presenta una moderada susceptibilidad a la degradación. Los surcos y cárcavas (Figura 6) dispersas, represen-

Cuadro 3. Relación entre el uso de la tierra y los deslizamientos de la cuenca del río Mocoy. Estado Trujillo

Categorías de uso de la tierra	Áreas por cada uso de la tierra		Áreas de deslizamientos por categoría de uso de la tierra	
	Ha	%	Ha	%
Bosques densos	3454,82	17,24	722,82	13,43
Bosques claros con substratos herbáceos degradado y erosión muy importante	628,28	3,13	191,22	3,55
Matorral sin erosión del suelo	480,64	2,40	30,78	0,57
Matorral degradado con erosión aparente del suelo	11740,6	58,58	3335,53	61,95
Pastizales degradados de plantas viváceas, con erosión aparente	1054,5	5,26	263,51	4,89
Terrenos totalmente erosionados y desnudos	1206,59	6,02	331,96	6,17
Cultivos anuales	1475,57	7,36	508,11	9,44
Totales:	20041	100	5383,93	100

tan una susceptibilidad moderada. Las rocas sedimentarias del Paleozoico, se presentan muy meteorizadas, lo que deteriora gradualmente la cohesión de los materiales, por lo que se destacan áreas de susceptibilidad alta, propicias a generar procesos de ladera y planos favorables al colapso, caracterizadas por materiales rocosos blandos con pendientes pronunciadas, los cuales facilitan la acción del agua, susceptibles a ser afectadas por eventos torrenciales recurrentes.

En la cuenca media de las quebradas Misisí, La Cristalina, La Porquera, Honda y los sectores Loma del Toro y Mimbate, se manifiestan procesos geomórficos muy complejos y zonas de susceptibilidad alta asociadas a matorrales degradados con erosión aparente del suelo, el cual incluye amplias superficies donde la vegetación original fue eliminada y luego abandonadas; ocupa un 58,58% del área total y refleja un 61,95% de áreas de deslizamientos, cultivos anuales (Figura 7) que ocupan un área de 7,36% y 9,44% de áreas de deslizamientos y terrenos totalmente erosionados y desnudos, que representan un área de 6,02% y un 6,17% de áreas de deslizamientos (Cuadro 3). La topografía es muy escarpada, restringida a valores de pendientes muy inclinadas ($> 30^\circ$), baja calidad de la roca y tendencia al colapso, fuertemente disectada por surcos profundos y cárcavas generalizadas, así como fuertes entalles, erosión laminar severa, con una susceptibilidad extremadamente alta a la degradación, sobre afloramientos meteorizados de la Asociación Mucuchachí, suelos delgados y truncados por afloramientos rocosos y

abundante pedregosidad. Estas condiciones son el reflejo de situaciones de alta susceptibilidad en las vertientes de estas microcuencas.

En focos localizados en el nacimiento del río Mocoy Medio, se identifican deslizamientos que cabalgan sobre depósitos antiguos y flujo superficial, producto de las escorrentías en áreas desprovistas de vegetación, cárcavas y cicatrices de desprendimiento masivo en ambas vertientes. Se identifican áreas de alta susceptibilidad geomorfológica por procesos de ladera, que dan origen a deslizamientos en forma de traslaciones (deslizamientos en rocas o en paquetes) y derrumbes (bloques, rocas y suelos o alteritas).

Los pastizales degradados de plantas viváceas con erosión aparente ocupan un área de 5,26%, presentan un 4,89% de áreas de deslizamientos; los bosques claros con sustratos herbáceos degradados y erosión muy importante abarcan un 3,13% del área total y 3,55% de áreas de deslizamientos en toda la cuenca (Cuadro 3), los cuales se encuentran asociados con áreas de alta susceptibilidad geomorfológica. Como se observa, los sistemas de producción predominantes son de cultivos anuales que actúan como factor desencadenante de procesos de ladera y áreas de susceptibilidad alta. Estos cultivos se fundamentan básicamente en la explotación del café, existiendo plantaciones en muy malas condiciones, dado que existen problemas graves de erosión.

El uso actual de la tierra en la microcuenca de la quebrada Misisí es de matorrales; sin embargo, Albornoz (1993), plantea que con la aplicación de técnicas

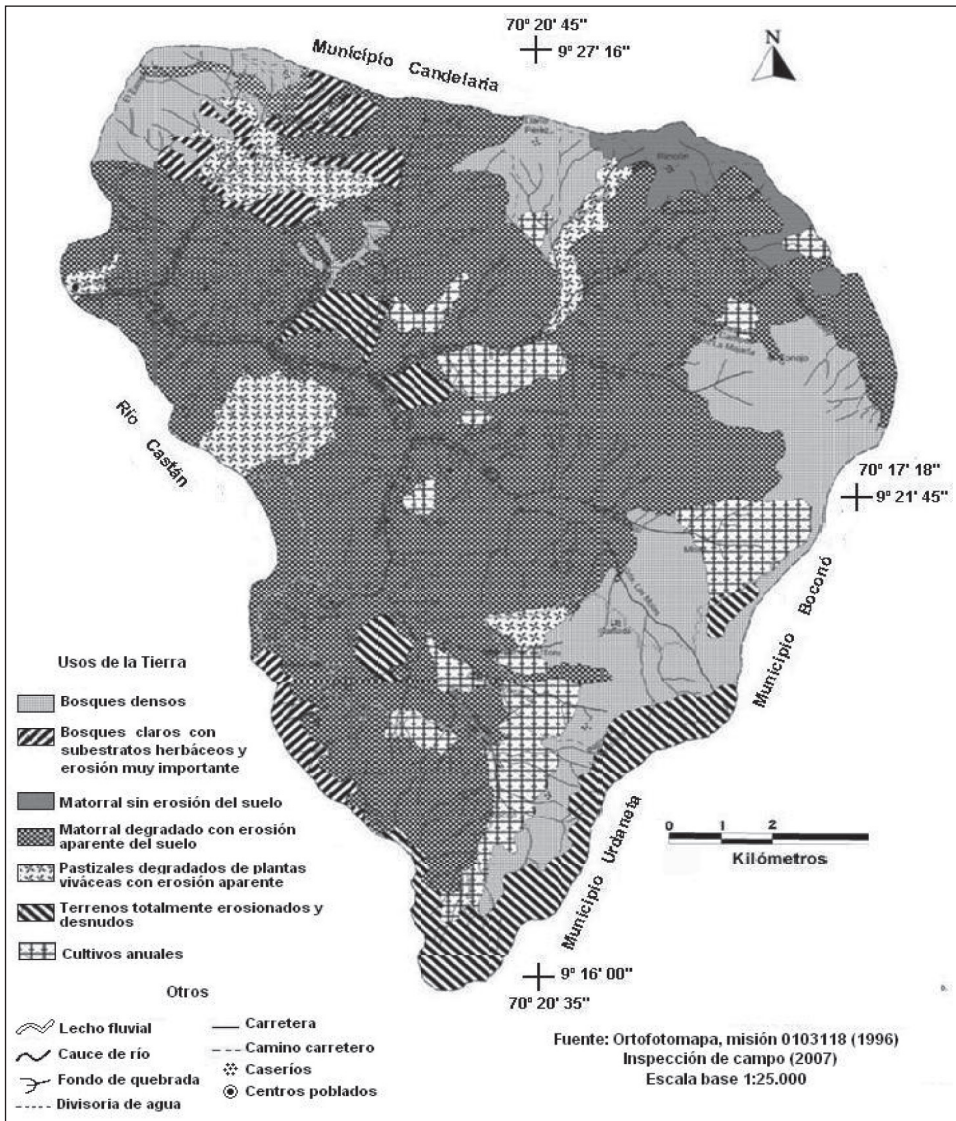


Figura 7. Uso de la tierra de la cuenca del río Mocoy. Estado Trujillo

conservacionistas y algunas restricciones, esta área permitiría su utilización con fines agrícolas. De no cumplirse con éstas técnicas, sólo se aceleraría la susceptibilidad actual por inestabilidad de las laderas. Se observa con preocupación, que en

la microcuenca Riecito, los agricultores siembran años tras año el mismo tipo de cultivo, ocasionado deforestación en áreas de alta pendiente, lo que acelera los procesos erosivos, la escorrentía, aumento de la infiltración y, en consecuencia,

el desarrollo de áreas de susceptibilidad geomorfológica alta por inestabilidad de las laderas (Figura 8).

En las microcuencas La Porquera y La Honda Media, el relieve es pronunciado, escasa cobertura vegetal, terrenos totalmente erosionados, degradación excesiva, presencia de cárcavas, rocas altamente susceptibles a la erosión, marcada intervención campesina y sobrepastoreo, lo que genera medios morfodinámicamente activos de susceptibilidad geomorfológica alta (Figura 8).

Al sur de la cuenca media del río Mocoy, se aprecian zonas de bosques densos y también áreas de escasa cobertura vegetal, debido a la tala y quema en fuertes pendientes, que favorecen la ocurrencia de procesos de ladera violentos en períodos de lluvias (abril-octubre y noviembre) y áreas de susceptibilidad moderada que pueden convertirse en susceptibilidad alta si se amplían las zonas de cultivos de ciclos cortos. Los procesos de erosión severa y pérdidas de suelos, se encuentran en barbechos desnudos y cafetales tanto de sombra como de sol, sin prácticas conservacionistas y sin cobertura vegetal (Arellano, 2000).

Los complejos morfolitológicos favorecen la remoción de grandes volúmenes de material geológico a manera de deslizamientos y derrumbes e incluye todos los materiales que pueden ser puestos en movimientos, rocas coherentes y formaciones de pendientes diversas (Moret, 1980, citado por Flageollet, 1989), sobre todo, en las áreas deforestadas, quemadas, con pastos y cultivos de conucos de las microcuencas Misisí Alta, La Honda,

Las Mulas, La Cristalina Alta (Cuadro 4), y en vertientes con estratos que decrecen en su resistencia si aumentan el contenido de agua en las rocas (Cooke y Doornkamp, 1974), generadoras de alta susceptibilidad geomorfológica, donde el balance morfogenético se inclina a favor de erosión.

En la cuenca media del río Mocoy, específicamente en la vertiente norte, destacan afluentes menores de la quebrada Seca, se localizan amplios sistemas de cárcavas y surcos, con problemas de drenaje y erosión asociados a cultivos menores de subsistencia y pastizales degradados de plantas viváceas con erosión aparente (Cuadro 4). Esta área presenta una alta degradación, especialmente en los afloramientos de la Asociación Mucuchachí, la cual desde el punto de vista geotécnico, presenta alta inestabilidad cuando se encuentra intervenida.

Así mismo, se evidencia en la cuenca del río Mocoy, el crecimiento anárquico de numerosos caseríos como Bujorú, Llano Grande, La Palmita, Campos, Capellanía, La Vega, Misisí, La Cristalina, entre otros. Todos ellos emplazados en vertientes con pendientes altas y de susceptibilidad moderada, así como también, la proliferación de caminos engrazonados hacia zonas de cultivos y vías de comunicación principales que alteran el equilibrio de las pendientes y rompen el ángulo de reposo de las laderas.

Al construirse el corte para abrir estos caminos carreteros, los frentes de las laderas quedan sin confinamiento lateral por lo que se produce el aflojamiento de los fragmentos, se generen presiones hi-

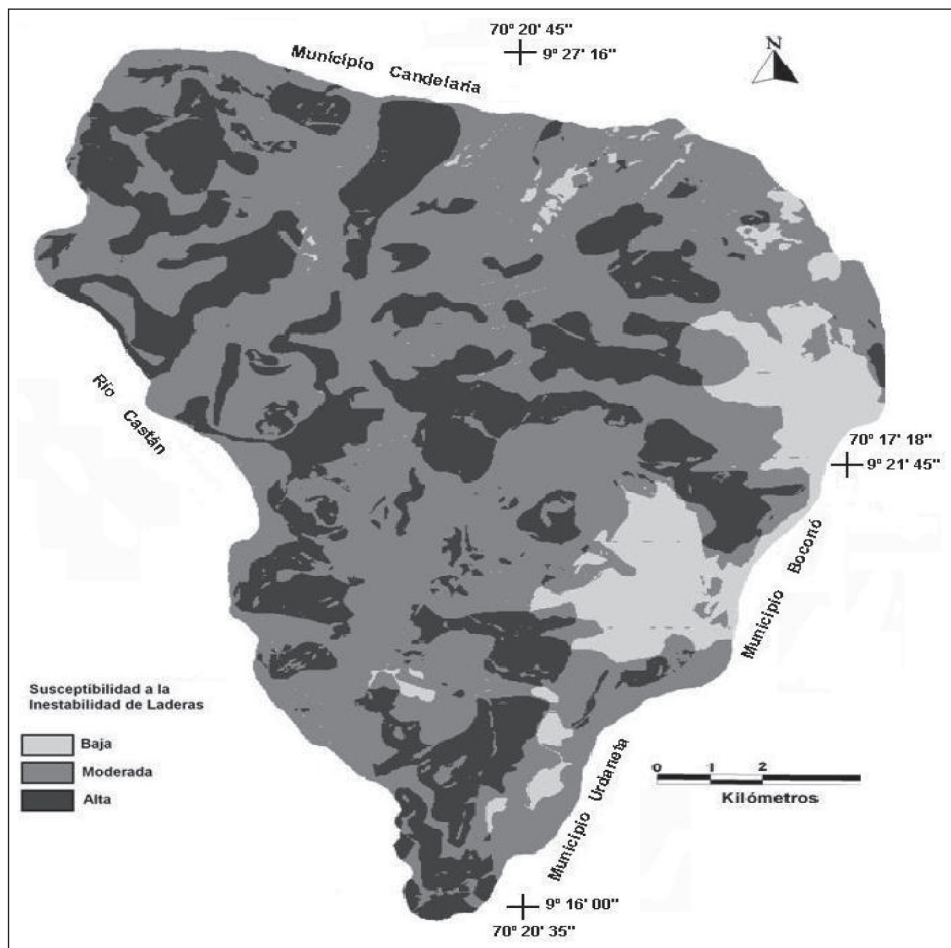


Figura 8. Susceptibilidad geomorfológica por inestabilidad de laderas de la cuenca del río Mocoy. Estado Trujillo

drostáticas del agua acumulada y otros efectos indeseables, convirtiéndose en detonadores de derrumbes o caídos, lo cual contribuyen a acelerar los niveles de susceptibilidad geomorfológica. Incluso, la intervención de las laderas con pendientes moderadas, generan producción y acarreo de sedimentos, lo que a futuro puede ocasionar la aparición de áreas de susceptibilidad alta.

Las explotaciones pecuarias no son relevantes, debido a que, en su mayoría, son animales para las labranzas y vacas de ordeño. Sin embargo, ocasionan graves problemas a la cobertura vegetal, debido al sobrepastoreo y activación de procesos erosivos. En la microcuenca de la quebrada Los Ramos Alta, se aprecia un pastoreo intensivo de ganado caprino, aunado a la poca vegetación existente en

Cuadro 4. Zonificación de la susceptibilidad geomorfológica y su relación con la calidad de la roca y el uso actual de la tierra

Rangos de Susceptibilidad	Microcuencas	Calidad de la Roca	Uso Actual de la Tierra	Procesos Geomórficos Predominantes	Controles Preventivos
Baja	• Salada Alta • Las Mulas	Rocas sedimentarias y metamórficas con frecuencia de diaclasas de 5 a 10/m ² . Predominio de diaclasas cerradas e intraformacionales. Rocas fuertes *(FCU:1000) en zonas con cobertura vegetal	• Bosques claros con substratos herbáceos degradado y erosión muy importante. • Pastizales degradados de plantas viváceas con erosión aparente. • Relictos de bosques densos sin erosión del suelo. • Matorral degradado con erosión aparente del suelo	• Escurrimiento laminar y derrumbes asociados a cortes en la geometría de las laderas. • Surcos dispersos y solifluxión. • Pendientes entre 15° y 45°	• Reforestación • Cultivos en curvas de nivel • Cultivos de cobertura
Moderada	• Mocoy Abajo • Misisi • La Cristalina • Las Mulas Media	Rocas metamórficas con alta frecuencia de diaclasas, entre 11 y 15/m ² . Predominio de diaclasas continuas, abiertas, longitudinales y transversales. Rocas fuertes con comportamiento débil *(FCU: 300).	• Matorral degradado con erosión aparente del suelo. • Relictos de bosques densos sin erosión del suelo. • Cultivos anuales sin terrazas. • Terrenos totalmente erosionados y desnudos	• Amplios sistemas de surcos y cárcavas activas • Escurrimiento laminar. • Deslizamientos activos y derrumbes. • Debilitamiento de taludes por meteorización en áreas sin cobertura vegetal • Dinámica de abanicos aluviales. • Pendientes entre 35° y 45°	• Reforestación • Control de cárcavas y torrentes • Barreras vegetativas • Terrazas de banco
Alta	• La Porquera • Honda • Mocoy Arriba • Las Mulas Alta • Soso • Riecito • Los Ramos Alta • Seca • La Cristalina Alta • La Honda	Rocas metamórficas y sedimentarias con alta frecuencia de diaclasas, más de 15/m ² . Predominio de diaclasas continuas, abiertas, longitudinales, transversales y de cizallamiento. Rocas fuertes con comportamiento débil *(FCU:300), por alta meteorización e intervención antrópica	• Bosques claros con substratos herbáceos degradados y erosión muy importante. • Matorral degradado. • Cultivos anuales sin terrazas. • Terrenos totalmente erosionados y desnudos	• Amplios sistemas de surcos y cárcavas activas. • Deslizamientos activos y presencia de depósitos de ladera • Derrumbes generalizados asociados a corte en la geometría de las laderas. • Intensa circulación de las aguas a través de los sistemas de diadasas • Pendientes > 45°	• Reforestación • Prohibición de la extensión de la frontera agrícola • Reubicación de la población • Vigilancia y control permanentes

*FCU: Fuerza comprimida uniaxial: kg/cm² según escala de dureza de la roca de Jennings. (Call y Savely, 1990)

algunas áreas y las altas pendientes predominantes, los cuales favorecen la susceptibilidad por inestabilidad de laderas.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Las características físico-geográficas de la cuenca hidrográfica del río Mocoy, propician altos rangos de susceptibilidad geomorfológica por inestabilidad de laderas, intensificados por un proceso de ocupación espontánea y no planificada de la población campesina en áreas peligrosas. El hombre ha participado directamente en el desequilibrio ambiental y desarrollo de procesos de ladera violentos en esta cuenca, mediante la deforestación, el uso de las prácticas agrícolas sin control, el crecimiento de centros poblados, construcción de vías de comunicación sin realizar un estudio previo trazado y sin ningún tipo de obras de conservación, por lo que constituyen mecanismos detonadores de desplazamientos de materiales rocosos destructivos y focos de producción de sedimentos que obstaculizan el paso de las aguas y causan graves daños y pérdidas para sus pobladores. Esto es preocupante si se parte del antecedente de que sectores que han sido afectados por diversos procesos de ladera, presentan las probabilidades más altas de que los mismos factores desencadenantes se generen en el futuro.
- Tomando en consideración la alta susceptibilidad natural que corren las poblaciones situadas dentro de la cuenca del río Mocoy, así como su desequilibrio ambiental, la nefasta práctica de ubicación y crecimiento de centros poblacionales y el uso de la tierra sin un adecuado conocimiento técnico, debe ser sustituida por una política coherente y sostenida que permita el desarrollo social en armonía con los componentes físicos de este geosistema. Se recomienda su protección y recuperación, reforestación a gran escala para reducir los rangos de susceptibilidad y ofrecer una protección a los suelos de la excesiva erosión.
- Además, se recomienda, establecer disposiciones especiales que eviten la construcción de viviendas en las vertientes y márgenes de ríos de esta área montañosa, promover campañas para concienciar a la población a fin de que se cumplan las disposiciones reglamentarias y la eliminación del pastoreo intensivo de ganado caprino en laderas de altas pendientes. Así mismo, realizar estudios previos para la planificación y construcción de las nuevas vías terrestres y así evitar procesos de inestabilidad de vertientes que puedan generar un mayor deterioro ambiental y la elaboración de un Plano de Uso Recomendado de esta importante cuenca del flanco norandino venezolano, orientado como instrumento para labores de autogestión que permitan a la población, interpretar la esencia de este tipo de estudio.

6. Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el apoyo financiero para la realización de esta investigación. Especial gratitud al TSU en Informática, Rodolfo Javier La Torre, al Geógrafo Dr. Ricardo Seco de la Universidad de la Habana-Cuba y al Ingeniero Ciro Vásquez del Ministerio del Ambiente del estado Trujillo-Venezuela.

7. Referencias citadas

- ALBORNOZ, J. 1993. *Estudio de suelos a nivel preliminar de las sub-cuencas alta y media de los ríos Castán y Mocoy. Estado Trujillo*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Trujillo-Venezuela. Informe Técnico. 108 p. (Inédito).
- ARELLANO, R. 2000. *Pérdida de suelo y nutrientes en agroecosistemas de café en la subcuenca del río Castán, Trujillo-Venezuela*. **Revista Forestal Venezolana**. 44(2): 79-86.
- AYALA, R.; PÁEZ, G. y F. ARAQUE. 2007. *Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero de 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela*. **Revista Geográfica venezolana**. 48 (1): 59-82.
- BARREDO, J.; BENAVIDES, H. y C. VAN WESTEN. 2000. *Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain*. **ITC Journal**, JAG. 2 (1): 9-23.
- BOSQUE, S.; ESCOBAR, F.; GARCÍA, E y M. SALADO. 1994. **Sistemas de Información Geográfica: Práctica con ARC/INFO e IDRISI**. Edición Rama USA. 478 p.
- CALL, R. & J. SAVELY. 1990. Open pit rock mechanics. In: Bruce A. Kennedy (ed.). **Surface Mining**. 860-882. (2ª Edition). Colorado-USA.
- CASTELLANOS, E & C. VAN WESTEN. 2001. Landslide hazard assessment using the heuristic model. *Memorias del IV Taller Internacional de Ciencias de La Tierra y Medio Ambiente*. 10-20. La Habana-Cuba. (19-23 de marzo).
- COOKE, R. & J. DOORNKAMP. 1974. **Geomorphology in Environmental Management**. Oxford University Press. London-UK. 413 p.
- EASTMAN, J. R. 2003. **IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing**. Clark Labs/Clark University. 328 p.
- FERRER, C. 2002. Evaluación de las condiciones físicas de los barrios: Un aporte metodológico. *Memorias del II Seminario Latinoamericano de Geografía Física*. 18-28. La Universidad del Zulia (LUZ). Maracaibo-Venezuela. (24-27 de junio).
- FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 2003. *Un ensayo de zonificación física para la habilitación de barrios en los Andes venezolanos*. **Revista Geográfica Venezolana**. 44(2):247-267.
- FLAGEOLLET, J.C. 1989. Landslides in France: A risk reduced by recent legal provisions. In: E.E. Brabb and B.L. Harrod (ed.) **Landslides: Extent and Economic Significance**. 157-168. A. A. Balkema, Rotterdam.
- GÓMEZ, M. y J. BARREDO. 2005. **Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación**

- del territorio.** Editorial Alfaomega. (2ª edición). México. 279 p.
- HANSEN, A. 1984. Landslide hazard analysis. In: Brunsden, D., Prior, D.B (ed.) **Slope Instability.** 523-602. Wiley & Sons, New York.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2001. *Censo de Población y Vivienda.* Instituto Nacional de Estadística. Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo. Venezuela.
- JAIMES, E. y J. MENDOZA. 2002. *Líneas de investigación para orientar planes y proyectos de desarrollo agrícola y ambiental en el estado Trujillo-Venezuela.* **Revista Geográfica Venezolana.** 43(1): 113-125.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2006. *Parámetros climatológicos del estado Trujillo-Venezuela.* Informe Técnico. Inédito.
- MONTIEL, K.; ACOSTA, C. y H. MALDONADO. 2001. *Geodinámica ambiental de la cuenca del río San Pedro. Flanco Norandino Venezolano.* **RA`EGA o Espacio Geográfico En Análise.** Número 5, año 5: 149-172.
- MONTIEL, K.; GOUVEIA, E. y E. MONTES. 2007. *Impacto de la intervención antrópica en la ocurrencia de procesos de ladera. Microcuenca Quebrada Ramos, Flanco norandino venezolano.* **Revista Terra.** Número 34, volumen XXIII: 35-69.
- ORDÓÑEZ, C. y R. MARTÍNEZ. 2003. **Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con IDRISI 32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales.** Editorial Alfaomega. México. 227 p.
- RICO, A. y H. DEL CASTILLO. 1978. **La ingeniería de suelos en las vías terrestres.** Editorial Limusa. Volumen 1. México. 459 p.
- VAN WESTEN, C. 2003. *GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation.* Handout Conferences, ITC, Enschede, the Neth.