

SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS DE TERRENO EN LA ZONA ALTA DEL MUNICIPIO SAN GENARO DE BOCONOITO, PORTUGUESA, VENEZUELA*

Susceptibility to ground flows in the upper zone of the municipality of San Genaro de Boconoito, Portuguesa, Venezuela

Eileen Censore¹ y Jhon Méndez Ortiz²

RESUMEN

Se evaluó en el año 2020 la susceptibilidad a flujos de terreno en la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito, estado Portuguesa, Venezuela. La metodología se basó en la caracterización del régimen de lluvias, paisajes geomorfológicos, medios morfodinámicos, pendientes, formaciones geológicas, fallas, zonas sísmicas y cobertura del suelo. Estas variables se trabajaron en el software Quantum GIS (QGIS) como capas temáticas de la cartografía nacional a escala 1:25.000 y/o 1:100.000. Se empleó el Método de Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC) para asignar puntajes ponderados a cada variable, y calcular la susceptibilidad del terreno a través de la ecuación del Método de Promedio Ponderado. La escala usada para el diseño del mapa de susceptibilidad fue: muy alta (4,1 – 5,0), alta (3,1 – 4,0), media (2,1 – 3,0), baja (1,1 – 2,0) y muy baja (<1,1). El área de estudio está influenciada por lluvias que oscilan entre 1.000 y 3.000 mm anuales, presencia de las formaciones geológicas Pagüey, Río Yuca y Río Guache, sistema colinar y montañoso, y por las zonas sísmicas 4 y 5. A pesar de ser una zona protectora de cuencas hidrográficas, gran parte de la vegetación en el área está fuertemente intervenida para el establecimiento de cultivos y pastizales, lo que favorece la erosión por escurrimiento superficial del agua de lluvia. El 52,29 % (34.872,78 ha) del área de estudio está influenciada por mediana susceptibilidad a flujos de terreno, 25,39 % (16.930,51 ha) y 16,57 % (11.047,61 ha) está representado por la categoría de alta y baja susceptibilidad respectivamente, y en menor proporción se encuentran las áreas de muy baja (5,60 %; 3.734,92 ha) y muy alta (0,16 %; 106,41 ha) susceptibilidad. Las zonas con amenazas a flujos de terreno o a deslizamientos (afecciones del sub-suelo), también están influenciadas por factores desencadenantes como fallas, fuertes pendientes, erosión, sismicidad, saturación del material con agua y la inestabilidad en taludes y vertientes.

Palabras clave: movimientos de remoción en masa, inestabilidad, vulnerabilidad, sistemas de información geográfica, Boconoito.

ABSTRACT

The susceptibility to ground flows in the upper zone of the San Genaro de Boconoito municipality, Portuguesa state, Venezuela, was evaluated in the year 2020. The methodology was based on the characterization of the rainfall regime, geomorphological landscapes, morphodynamic environments, slopes, geological formations, faults, seismic zones and soil cover. These variables were worked in Quantum GIS (QGIS) software as thematic layers of the national cartography at a scale of 1:25,000 and/or 1:100,000. The Analytical Hierarchies Method (AHM) of the Multicriteria Evaluation (MCA) was used to assign weighted scores to each variable, and to calculate the susceptibility of the terrain through the Weighted Average Method equation. The scale used for the susceptibility map design was: very high (4.1 - 5), high (3.1- 4), medium (2.1 - 3), low (1.1 - 2) and very low (<1.1). The study area is influenced by rainfall ranging between 1,000 and 3,000 mm per year, the presence of the Pagüey, Yuca river and

(*) Recibido: 03-04-2022

Aceptado: 20-03-2023

¹Ingeniería de Recursos Naturales Renovables. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ, Guanare 3350, Po. Venezuela, eileenvcg@gmail.com; ²Centro Cartográfico. Instituto de Biodiversidad. Universidad Ezequiel Zamora, UNELLEZ. Guanare 3350 Po. Venezuela. E-mail: jhonmendez5466@gmail.com

Guache river geological formations, a hilly and mountainous system, and by seismic zones 4 and 5. The 52.29 % (34,872.78 ha) of the study area is influenced by medium landslide susceptibility, 25.39 % (16,930.51 ha) and 16.57 % (11,047.61 ha) is represented by the high and low susceptibility categories respectively, and in smaller proportions are areas of very low (5.60 %; 3,734.92 ha) and very high (0.16 %; 106.41 ha) susceptibility. Areas with ground flow or landslide hazards (subsoil conditions) are also influenced by triggering factors such as faults, steep slopes, erosion, seismicity, water saturation of material and instability of talus and hillsides.

Key words: landslide movements, instability, vulnerability, geographic information systems, Boconoito.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos de remoción en masa o procesos gravitacionales (derrumbes, deslizamientos, flujos de terreno, solifluxión) son procesos de movilización lenta o rápida de volúmenes de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (Hauser 1993), que pueden ser naturales como antrópicos, los cuales causan daños importantes en lugares de altas pendientes. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir este tipo de problemas, debido a que generalmente se conjugan cuatro elementos fundamentales para la generación de fenómenos de remoción en masa: gradiente topográfico, sismicidad, meteorización de la roca parental y lluvias intensas (Suárez 1998). A través de estos fenómenos se contribuye a la inestabilidad de las laderas y a la modificación de la topografía del terreno.

Para Tarbuck *et al.* (2005), los procesos gravitacionales son ejemplos de acontecimientos geológicos, de movimientos pendiente abajo de roca y suelo, bajo la influencia directa de la gravedad. Los procesos gravitacionales se producen cuando el material se mantiene bastante coherente y se mueve a lo largo de una superficie bien definida, una falla o un plano de estratificación que es aproximadamente paralelo a la pendiente. Cuando la unidad de roca se ve socavada en la base de la pendiente, pierde apoyo y la roca acaba por desprenderse. A veces, los deslizamientos de roca se desencadenan cuando la lluvia lubrica la superficie subyacente en el lugar donde la fricción ya no basta para mantener la unidad rocosa en su lugar. Como consecuencia, los deslizamientos de roca tienden a ser más comunes durante épocas de frecuentes lluvias abundantes (Tarbuck *et al.* 2005).

La gravedad es la fuerza que controla los procesos gravitacionales, pero varios factores desempeñan un papel importante en cuanto a la superación de la inercia y la creación de movimientos descendentes. Mucho antes de que se produzca un movimiento de terreno, varios procesos actúan para debilitar el material de la pendiente, convirtiéndolo en un material susceptible. La fuerza de la pendiente se debilita hasta que cruce el umbral de la estabilidad a la inestabilidad. Un acontecimiento de este tipo que inicia el movimiento descendente se denomina desencadenante. Este acontecimiento no es la única causa del proceso gravitacional, sino sólo la última de muchas causas. Entre los factores comunes que desencadenan los procesos gravitacionales se cuentan la saturación en agua del material, el exceso de inclinación de las pendientes, la eliminación de la vegetación anclada y las vibraciones del suelo por sismicidad (Tarbuck *et al.* 2005).

En el caso de la eliminación de la vegetación como desencadenante, Tarbuck *et al.* (2005) afirman que las plantas protegen contra la erosión hídrica en vertientes y contribuyen a la estabilidad de las pendientes, pues sus sistemas radicales unen el suelo. Cuando se elimina el anclaje de la vegetación, los materiales de superficie suelen desplazarse pendiente abajo, en ocasiones se debe a la reducción de la infiltración del agua, lo cual se traduce en un aumento de la escorrentía superficial durante las lluvias y la consecuencia es la aparición de torrentes peligrosos de barro viscoso y derrubios rocosos. Sin embargo, en los flujos de terreno y, en general, los movimientos de remoción en masa son sobre todo afecciones en el sub-suelo (Manto de alteración y roca madre), y sus principales factores son la estructura rocosa, la sismicidad y la

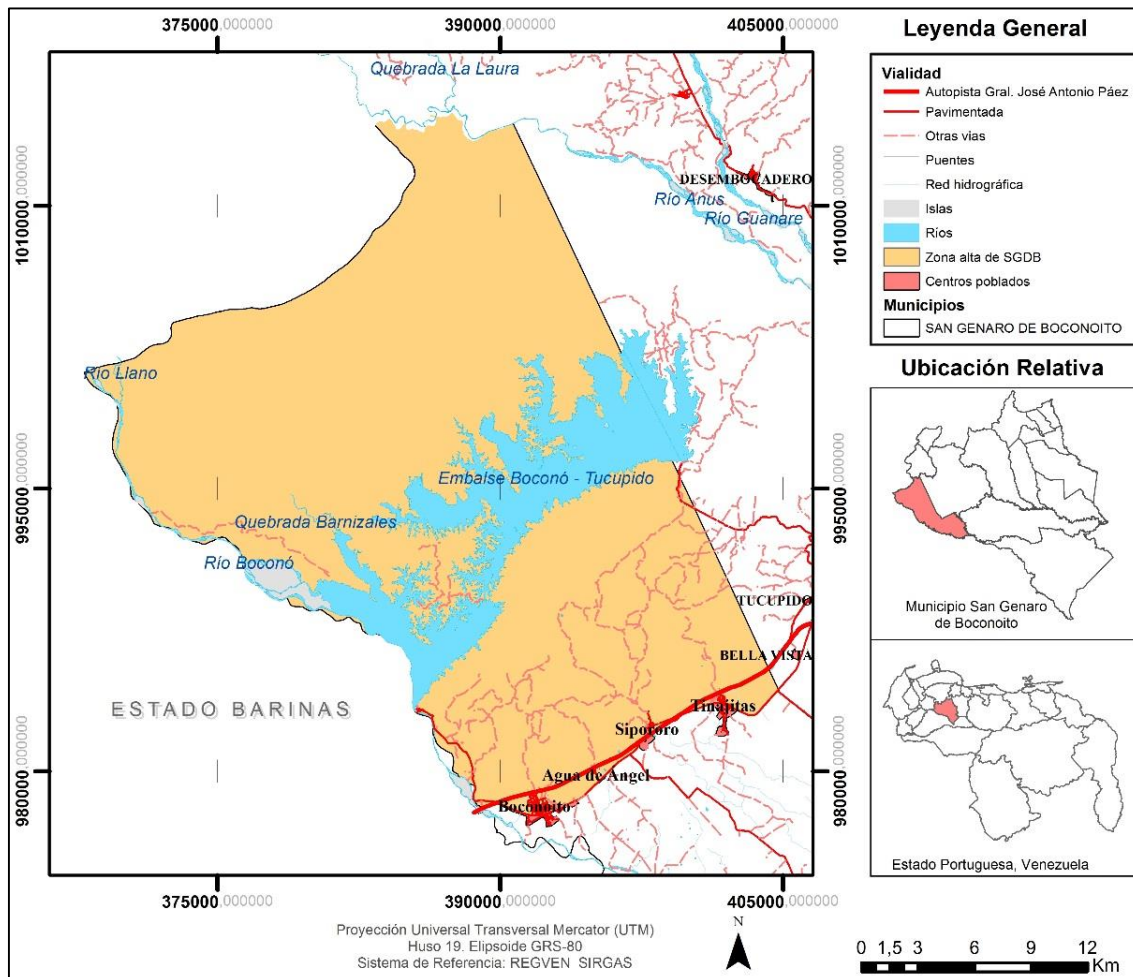
presencia de agua subterránea (Luis Rengel, comunicación personal, 5 de octubre de 2021).

Es de destacar que, la búsqueda de evidencias como los registros históricos y actuales, como los informes, las publicaciones científicas, los periódicos y los estudios cartográficos, que permita la identificación y ubicación de un movimiento de ladera, y principalmente la caracterización directa en campo, son fuente primordial para estudiar la susceptibilidad a procesos gravitacionales. Para Díaz (2013), Venezuela en los últimos 20 años ha estado sometida a estos eventos adversos que provocan muertes, lesiones, daños y pérdidas de propiedades.

A partir de los supuestos anteriores y del concepto susceptibilidad, definido por Becerra (2006) como el grado de predisposición que tiene un sitio o área en el que se genere una amenaza, debido a sus condiciones intrínsecas y factores detonantes, se evalúa la susceptibilidad a flujos de terreno en la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito, estado Portuguesa, Venezuela.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio cuenta con una superficie de 66.692,23 ha., y corresponde a la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito, estado Portuguesa, Venezuela. Está limitada al sur por la carretera nacional troncal 05, entre las coordenadas UTM Huso 19, 365653 E / 1014883 N y 404819 E / 978762 N (Figura 1).



La zona alta del municipio San Genaro de Boconoito se encuentra en la vertiente sur de La Sierra de Trujillo, pertenece a la región fisiográfica de la Cordillera de Mérida. Su elevación oscila entre 200 y 1.600 msnm, caracterizada por sistema de piedemonte y montañas bajas. Estas condiciones ubican al área de estudio en dos períodos de lluvia bien definidos, uno seco en los meses de diciembre a marzo y uno de lluvia, correspondiente a los meses de abril a noviembre. El total promedio de precipitación para el período de 1.989-1.999 en el área de estudio fue de 1.727,8 mm, según los datos de MARN (2000) y recopilados por Niño (2002).

En el área de estudio se encuentran tres cuencas hidrográficas de importancia, al oeste y al sur la cuenca del río Boconó, al noreste la cuenca del río Anús y en el centro-norte la cuenca del río Tucupido. Todas ellas son parte de la cuenca del río Guanare. Las principales formaciones geológicas presentes son Pagüey, Río Yuca, Parángula, Guanapa, Río Guache y Plano Inclinado del Pleistoceno Superior (BIOCENRO 1999). Por otra parte, se encuentra dentro de las zonas sísmicas 4 y 5, según la clasificación para Venezuela (FUNVISIS 2002), estas indican un riesgo intermedio y elevado respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó la susceptibilidad a flujos de terreno en la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito con el uso de sistemas de información geográfica (SIG), a partir de una serie de variables naturales representadas por capas espaciales de la cartografía nacional contenida en el Centro Cartográfico de la UNELLEZ Portuguesa. Las capas se evaluaron separadamente y después se integraron para alcanzar una característica general del área. La metodología se sustenta en la aplicación de INGEOMINAS, propuesta por Ojeda *et al.* (2001). Sin embargo, se integró la información temática disponible en capas geoespaciales y las situaciones actuales como la deforestación. Se empleó el modelo basado en la Teoría Compensatoria Aditiva del Método de Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC), el cual consiste en asignar, en un panel de expertos, puntajes

ponderados a cada variable para indicar el grado de contribución a la inestabilidad del terreno. La suma de los puntajes de todos los factores, arrojó como resultado un mapa de valores numéricos que se pueden dividir por intervalos para definir zonas con distintos niveles de amenaza relativa. Esto facilita procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005 y Montiel *et al.* 2009). El procesamiento fue realizado en QGIS 2.18 (2016) bajo el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) huso 19 en REGVEN, datum oficial para Venezuela.

Las variables consideradas fueron el régimen de lluvias o agresividad pluvial, paisajes geomorfológicos, medios morfodinámicos, pendiente, formaciones geológicas, fallas, zonas sísmicas, cobertura del suelo. Estas se seleccionaron atendiendo lo considerado por Sidle y Ochiai (2006) quienes señalan que los procesos gravitacionales también pueden originarse debido a factores naturales como la geología, las características edáficas, la geomorfología, los factores hidrológicos, la dinámica de la cobertura vegetal y la actividad sísmica del sitio. El peso dado a cada variable de análisis (Tabla 1) dependió de su importancia en la decisión según la bibliografía revisada (Schargel *et al.*, 1999; Ojeda *et al.*, 2001; Sidle y Ochiai, 2006; Cartaya *et al.*, 2006; Cartaya *et al.*, 2008) y de sugerencias de expertos (Rengel, L., comunicación personal, 5 de octubre de 2021), el cual tiene una sumatoria de 100 %. Las características de cada variable fueron tabuladas en los atributos de capas vectoriales en el software QGIS, luego se rasterizaron para superponerlas usando la escala de susceptibilidad propuesta por Cartaya *et al.* (2006): Muy alta (4,1 – 5,0), Alta (3,1 – 4,0), Media (2,1 – 3,0), Baja (1,1 – 2,0) y Muy baja (<1,10) (Tabla 2). Para aplicar la calculadora ráster se usó la ecuación del Método de Promedio Ponderado (Sánchez *et al.* 2004), dada por:

$$S_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i \cdot P_i) \quad \text{Dónde: } S_p, \text{ Susceptibilidad ponderada; } X_i, \text{ Variable analítica; } P_i, \text{ Peso de la variable; } n, \text{ Número de variables.}$$

Tabla 1. Variables consideradas y ponderación de factores.

Variable	Factores
Agresividad pluvial (10 %)	Régimen de precipitación: Muy bajo (2), bajo (4), moderado (6), alto (8), muy alto (10).
Paisaje geomorfológico (15 %)	Planicie de explayamiento (0), Valle (2), Valle entre colinas (4), Piedemonte, Colinas (6), Montañas masivas (8), Valle de montaña, Montañas en filas (10).
Medios morfodinámicos (10 %)	Estables, estabilizados (1); casi estables (4), erosión local ligera, erosión laminar por escurrimiento sobre vertientes (6), inundable por desbordamiento de ríos, posibles movimientos en masa, erosión por surcos (8).
Pendiente (15 %)	Plana < 1 % (1), Ligeramente ondulada 2 - 8 % (3), Moderadamente ondulada 9-20 % (6), Fuertemente ondulada 21- 44 % (8), Quebrado > 45 % (10)
Formaciones geológicas (15 %)	Aluviones (1); Plano inclinado Pleistoceno superior (2); Guanapa (4); Pagüey (6); Parángula, Río Guache, Río Yuca (8).
Fallas (15 %)	Poco influyente (0), Medianamente influyente (5), Muy influyente (10)
Zona sísmica (15 %)	Zonas de bajo riesgo de 0 a 2 (2); zonas intermedias de 3 y 4 (6); zonas de elevado riesgo de 5 a 7 (8).
Cobertura y uso del suelo (5 %)	Cuerpos de agua, centros poblados, bosques (2), sabanas con arbustales, matorrales (4), pastizales (7), cultivos, extracción mineral, suelos desnudos (10).

Tabla 2. Modelo de categorías de susceptibilidad a flujos de terreno ponderados.

Categoría	Escala	Color
Muy alta	4,1 – 5	Rojo
Alta	3,1 – 4	Naranja
Media	2,1 – 3	Amarillo
Baja	1,1 – 2	Verde
Muy baja	<1,1	Azul

Cartaya *et al.* (2006), Cartaya *et al.* (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Susceptibilidad a flujos de terreno

A continuación se presenta el mapa de susceptibilidad a flujos de terreno de la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito (Figura 2).

Como se refleja en la Figura 3, la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito presenta características de inestabilidad distribuidas en cinco rangos:

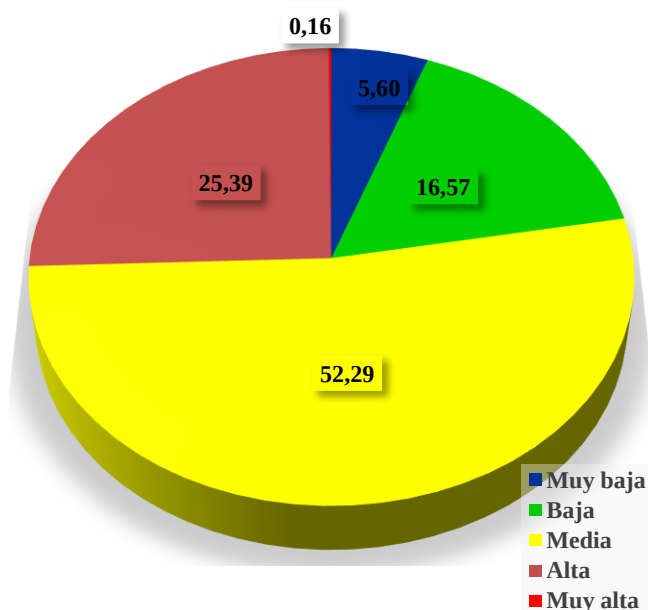


Figura 3. Porcentaje de las categorías de susceptibilidad a flujos de terreno de la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito.

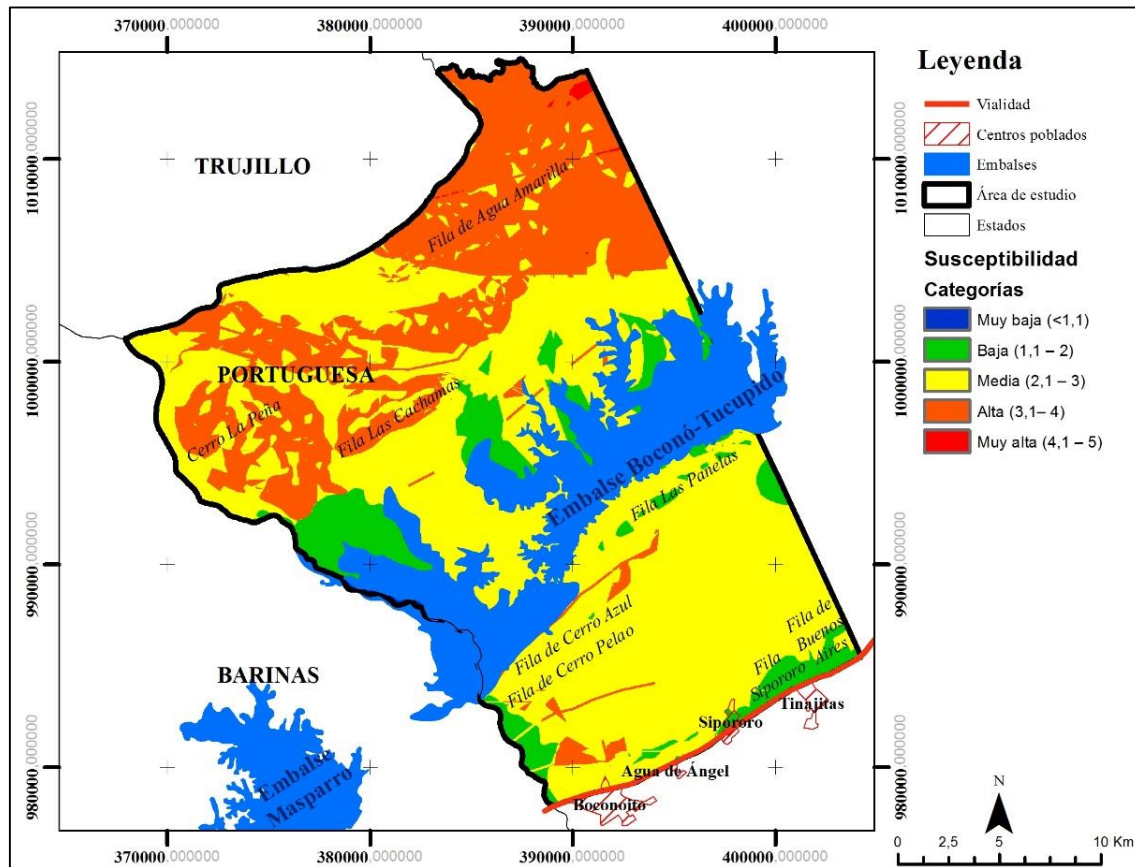


Figura 2. Mapa de susceptibilidad a flujos de terreno en la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito, estado Portuguesa, Venezuela.

Susceptibilidad muy baja: está representada por 5,60 % (3.734,92 ha) de la superficie total, y corresponde a algunas zonas del vaso del Embalse Boconó-Tucupido. Es la categoría de menor riesgo y no representa ningún peligro.

Susceptibilidad baja: representa 16,57 % (11.047,61 ha) del área estudiada. En la Figura 2, se puede observar que se ubica principalmente en los alrededores del Embalse Boconó-Tucupido, sobre valles y vegas fluviales del río Boconó y de otros afluentes. Generalmente está comprendida con material litológico compuesto por gravas, arenas, limos y arcillas de procesos dinámicos de inundación por desborde de ríos, de pendientes < 1 %, influenciada por el establecimiento de pastizales y agricultura de subsistencia.

Susceptibilidad media: las 34.872,78 ha que abarca representa 52,29 % del área de estudio. Gran parte de la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito y mayoritariamente al sur de esta, corresponde a la categoría susceptibilidad media, incluso algunas áreas que se encuentran bajo la influencia de flujo de tierra y deslizamiento de rocas. Es de destacar, que áreas pertenecientes a los paisajes de montañas en fila y masivas que poseen condiciones de pendientes similares y su erosión viene dada en áreas afectadas por movimientos gravitacionales, generalmente poco susceptibles a estos procesos, debido a la presencia de vegetación, tal es el caso de bosques que se encuentran sin intervención aparente y ligeramente intervenidos, proporcionan mayor estabilidad de suelos, laderas y taludes, y no condicionan el desarrollo de estos eventos.

Asimismo, se encuentra el sistema colinar, con pendientes que varían de moderadamente onduladas o inclinadas a fuertemente onduladas que oscilan entre 9 – 20%, donde en su cobertura vegetal destacan: las sabanas con chaparrales y con matorrales, relictos de bosque y relictos de bosque con sábanas y los medios dinámicos de influencia corresponden a la erosión local y procesos que varían de estables a casi estables. Cabe mencionar que, la zona correspondiente a esta categoría se ve afectada por la intervención de la cobertura vegetal. Por ello, la importancia de conservar la vegetación, ya que juega un papel esencial en la disminución del nivel de amenaza y el riesgo de ocurrencia de movimientos en masa.

Susceptibilidad alta: comprende 25,39 % (16.930,51 ha) del área de estudio. Aunque estas localidades están representadas por bosques sin intervención y bosques ligeramente intervenidos, constituye un alto riesgo a los procesos gravitacionales y a la erosión, ya que principalmente está dominada por paisajes de montañas en fila y montañas masivas (Fila de Agua Amarilla, Cerro La Peña, Fila Las Cachamas) con pendientes fuertemente onduladas que van de 21 – 45 %, valles de montaña con pendientes moderadamente ondulado o inclinadas que oscilan entre 1 – 20 %. Parte del sistema colinar específicamente entre la fila del sector

Cerro Azul, Cerro Pelao y sector La Romera, corresponden a esta categoría. En estos sectores destacan las formaciones geológicas con litología de baja estabilidad a taludes, como el caso del Pagüey y Río Guache, que ocasionan alta susceptibilidad. Estas condiciones más los deslizamientos, desplomes y flujos observados en las imágenes satelitales y la influencia de la zona sísmica cinco, ubican la zona norte del área de estudio en esta categoría (Figura 2).

Susceptibilidad muy alta: es la menos representada en el área de estudio (0,16 %; 106,41 ha) y es la de mayor riesgo (Figura 4). En ella se evidencian dos escenarios principales, ubicados entre los paisajes de valles de montaña con pendientes moderadamente onduladas o inclinadas que oscilan entre 1 – 20 % y montañas en filas con pendientes fuertemente onduladas que oscilan entre 21 – 45 %, al noreste del Embalse Boconó-Tucupido, influenciados por la fallas existentes, por la litología, los medios dinámicos de erosión y acumulación local y de posibles movimientos en masa con erosión de cárcavas, sobre la formación Río Guache, entre las zonas sísmicas con magnitudes de 4 y 5. Estas condiciones le proporcionan una baja estabilidad de taludes. La zona actualmente se encuentra bajo dominio de agricultura de subsistencia y cafetales.



Figura 4. Mosaico de imágenes satelitales que muestran flujos de terreno en zonas de susceptibilidad muy alta.

Al superponer estos niveles de alta susceptibilidad a flujos de terreno con los movimientos detectados en las imágenes satelitales, se evidencia la coincidencia de amenazas por movimientos gravitacionales. En su mayoría son observados solifluxión, hundimientos, deslizamientos y derrumbes (Figura 4).

De acuerdo con Marcano y Cartaya (2013), la geología de superficie y la pendiente, son las variables fundamentales para generar amenazas a los procesos de remoción en masa por las precipitaciones, siendo las áreas más susceptibles a los procesos gravitacionales. No obstante, localidades zonificadas como muy baja o baja susceptibilidad, por ejemplo, abanicos aluviales, glaciares, planicies de explayamiento, entre otras, no están exentas de un flujo de terreno, ya que el deterioro ambiental y la pérdida de cobertura vegetal, bien sea por causas naturales o antrópicas, puede influir en una amenaza.

A propósito D'Amario (2016) afirma que los resultados de la función ecosistémica controlan la erosión y los procesos gravitacionales. Resulta que es imprescindible preservar la vegetación nativa para evitar la pérdida de suelo ocasionada por el agua de las lluvias. Ahora bien, el área de estudio se caracteriza por formar parte de las áreas bajo régimen de administración especial (ABRAEs), debido a que gran parte de ella se

encuentra dentro de la zona protectora de cuencas hidrográficas, especialmente de los ríos Boconó y Tucupido, que tiene como función conservar los recursos naturales de la zona. Sin embargo, estos recursos se encuentran fuertemente intervenidos principalmente por el aumento de la frontera agrícola para satisfacer las necesidades de la población humana que allí habita.

En consecuencia, el inadecuado manejo de los recursos naturales, la deficiencia de conocimiento en cuanto a la ordenación del territorio y al continuo cambio en el uso del patrón del suelo (pastizales y cultivos), han contribuido a la degradación de esta zona, lo que ocasiona erosión local, incorporación de sedimentos al vaso del Embalse Boconó, alteración de la calidad del agua, disminución de caudales, susceptibilidades al terreno, contribución al desequilibrio del microclima y al cambio climático global, disminución de la calidad de vida de los pobladores, entre otros. A todo esto, es necesario la implementación de un ordenamiento integral del territorio, como afirma Cortés (2009), que permita adecuar las actividades económicas, turísticas y de uso de la tierra, considerando que es un sector afectado por fallas tectónicas, por flujos de terreno, por deslizamientos de detritos y por erosión de las laderas, dado al régimen de alta pluviometría bien definido (Figura 5).

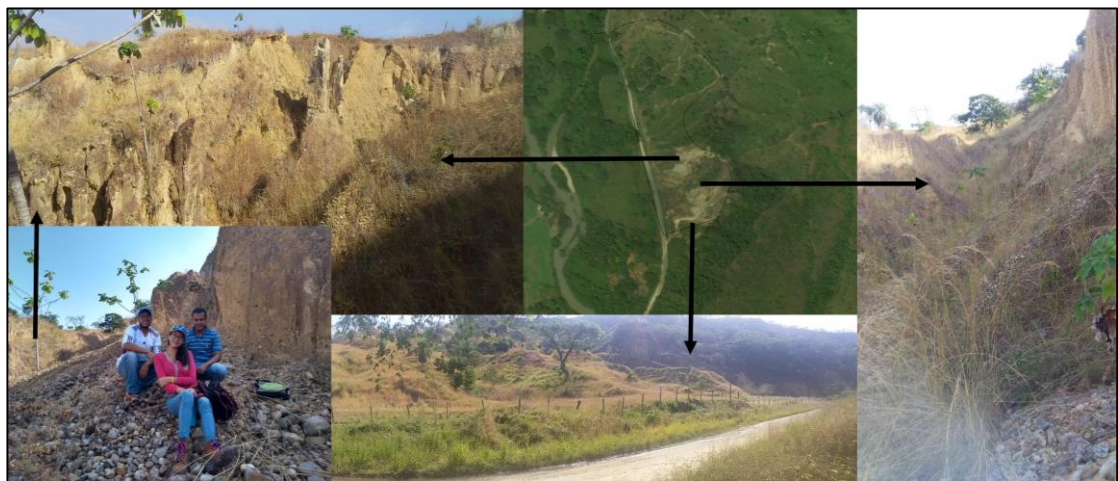


Figura 5. Erosión, afloramientos y flujo de derrubios en el sector Puente Páez.

CONCLUSIONES

Los sistemas de información geográfica son una herramienta valiosa para abordar trabajos que requieran modelar múltiples variables, debido al gran volumen de información que pueden procesar, a su capacidad de generar topología y, por lo tanto, a la posibilidad de realizar la superposición de mapas y englobe de Geographic las características inherentes.

La zona alta del municipio San Genaro de Boconoito presenta condiciones geológicas, geomorfológicas y posibles desencadenantes de movimientos que favorecen el desarrollo de flujos de terreno, dado a que las zonas que presentan más susceptibilidad a procesos gravitacionales son las influenciadas por fallas, por alta pendiente del sistema montañoso propio de la Sierra de Trujillo, por movimientos activos, por erosión hídrica y por la estructura litológica de las formaciones Pagüey, Parángula, Río Yuca y Río Guache, que tienen poca estabilidad en taludes y vertientes.

En resumen, la zona alta del municipio San Genaro de Boconoito presenta cinco categorías de susceptibilidad a movimientos de remoción en masa. La mayor superficie está representada por la susceptibilidad media con 52,29 % (34.872,78 ha), seguidamente el área que se encuentra al norte del Embalse Boconó-Tucupido presenta susceptibilidad alta, con una superficie de 25,39 % (16.930,51 ha), en menor proporción se ubica a los alrededores del Embalse, el área con susceptibilidad baja, con una superficie de 16,57 % (11.047,61ha) y las áreas de muy baja susceptibilidad representan el 5,60 % (3.734,92 ha) de la superficie total, y corresponde a algunas zonas del vaso del Embalse Boconó-Tucupido. Finalmente, la susceptibilidad muy alta cuenta con una superficie de 0,16 % (106,41 ha), ubicada al noreste del Embalse Boconó-Tucupido, influenciados por las fallas existentes, los medios dinámicos de erosión y posibles movimientos en masa.

Según lo observado en las imágenes de satélite, los flujos de terreno como los deslizamientos en este caso, ocurren con frecuencia en zonas de pendientes muy

pronunciadas, que por suerte son inhabitadas. Sin embargo, flujos de terreno en Cerro Azul, Villanueva, La Romera, Las Peñitas y Puente Páez, han ocasionado daños e incidentes a caminos carreteros y otras vías. El daño más notorio es la degradación de suelos por erosión. De seguir así, se podrían propiciar flujos de terrenos de mayor intensidad o aumentar zonas a alta susceptibilidad.

REFERENCIAS

- Becerra, C. 2006. Análisis de riesgo natural por remociones en masa, carretera El Cobre, División El Teniente. Rancagua, Chile. Corporación Nacional del Cobre (CODELCO). 150 p.
- BIOCENRO. 1999. Caracterización físico natural para el desarrollo regional de occidente a escala 1:250.000. Informe técnico. Centro Para el Estudio de la Biodiversidad Neotropical, Universidad Experimental de los Llanos (UNELLEZ). Guanare, Venezuela.
- Cartaya, S., Méndez, W. y Pacheco, H. 2006. Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. *Interciencia* 31 (9): 638-646.
- Cartaya, S., Pacheco, H. y Méndez, W. 2008. Metodología empleada para la zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en cuencas de drenaje del estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación* 64: 161-188.
- Cortés, V. 2009. Mecanismos de disparo de los procesos de remoción en Masa en el valle de Orosi. *Rev. Reflexiones* 89 (1): 9-28.
- D'Amario, M. 2016. Evaluación del riesgo de erosión hídrica, su distribución espacial y el efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo, en la cuenca hidrográfica del Río Tunuyán Superior (Mendoza). Tesis de grado para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de

- Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina. 65 p.
- Díaz, C. 2013. Lineamientos para la gestión de riesgos por susceptibilidad a movimientos gravitacionales, parroquia San Juan de Guanaguanare, Guanare, Portuguesa, Venezuela. Tesis de Pregrado. Ingeniería de los Recursos Naturales Renovables. UNELLEZ. Guanare. 99 p.
- FUNVISIS. 2002. La investigación sismológica en Venezuela. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Caracas, Venezuela. ISBN 980-6069-11-0.
- Gómez, M. y Barredo, J. 2005. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, España: Ra-Ma. 279 p.
- Hauser, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín 45: 7-29.
- Marcano, M. y Cartaya, S. 2013. Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, estado Vargas, Venezuela. Revista de Investigación 37 (80): 189-214.
- MARNR. 2000. Valores promedios mensuales de precipitación (mm) en las estaciones Guanare, Mesa de Cavacas, Sipororo y Desembocadero para el Período 1989-1999. MARNR. Guanare.
- Montiel, R.; Montes, E. y Gouveia, E. 2009. Un ensayo de zonificación de áreas susceptibles a inestabilidad de laderas en el flanco norandino de Venezuela. Revista Geografía Venezolana 50 (1): 131-155.
- Niño, S. M. 2002. Propuesta de ordenamiento ambiental del sistema de embalses Boconó-Tucupido y su área de influencia. Trab. Esp. Grado. MSc. Planificación de los Recursos Naturales Renovables. UNELLEZ, Guanare. 151 p.
- Ojeda, J, Castro, E., Valencia, A., Muñoz, F. y Fonseca, S. 2001. Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica INGEOMINAS, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 199 p.
- QGIS. 2016. Quantum Geographic Information System Development Team. Open Source Geospatial Foundation Project. En: <http://qgis.osgeo.org>
- Sánchez, R., Urrego, L., Mayorga, R. y Vargas, G. 2004. Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. En Simposio Latinoamericano de Control de erosión, Colombia.
- Schargel, R., Cuello, N., Utrera, A. y Rivero, J. 1999. Informe Técnico: Sensibilidad. Caracterización físico natural para el desarrollo regional de occidente. Centro Para el Estudio de la Biodiversidad la Cuenca del río Viejo Neotropical (BIOCENTRO), Universidad Experimental de los Llanos (UNELLEZ). Guanare, Venezuela. 29 p.
- Sidle, R. y Ochiai, H. 2006. Processes, Prediction, and Land Use. Unión Geofísica Americana, Washington. 307 p.
- Suárez, J. 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga, Colombia. 540 p.
- Tar buck, E., Lutgens, F., y Tasa, D. 2005. Ciencias de la Tierra. Madrid: Pearson Educación S. A. 736 p.