

**Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la cuenca del río San Julián, estado Vargas, Venezuela**

Analysis the spatial distribution of the mass movements susceptibility, used Geographic Information Systems (GIS), in the drainage catchments the San Julian River, Vargas state, Venezuela

**Arismar Marcano Montilla**

arismarcano@gmail.com

**Scarlet Cartaya Ríos**

scartaya@yahoo.es

**Universidad Pedagógica Experimental Libertador.**

**Instituto Pedagógico de Caracas**

**RESUMEN**

*El objetivo fue analizar la distribución espacial de la susceptibilidad a movimientos en masa (MRM), en la cuenca del Río San Julián. Investigación de tipo correlacional – explicativo, cuasi experimental, basado en el método heurístico, aplicando herramienta SIG MapInfo, análisis geo estadístico univariado y multivariado, y Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multi-criterios (EMC) para obtener mapas de susceptibilidad específica ponderada y susceptibilidad final. El análisis de variables permitió reconocer que la cuenca posee 95% del área tipificado como de Muy Alta y Alta susceptibilidad a los MRM, donde convergen unidades litodémicas como los Esquistos de Tacagua y Peña de Mora; pendientes abruptas (superiores a 20°) y laderas rocosas, coincidiendo con la distribución espacial de los deslizamientos cartografiados post evento en un 99%, generando una confiabilidad del modelo superior al 90%. Esto implica que existe la probabilidad de nuevas afectaciones, por lo que se deben desarrollar planes de gestión de riesgos locales.*

**Palabras clave:** Zonificación; susceptibilidad; remoción en masa; SIG; estado Vargas

## ABSTRACT

*The objective was to analyze the spatial distribution of susceptibility to mass movement(MRM) in the basin of the Rio San Julian. Research type-explanatory-correlational, quasi-experimental, heuristic-based method, using MapInfoGIS tool, univariateand multivariategeo-statistical analysis, and method of Analytical Hierarchy Process(MJA) of Multi-criteria Evaluation(EMC) for specified weighted susceptibility maps andfinalsusceptibility. Analysis of variables allows us to recognize that the basinhas 95% of the area classified asVery High, High susceptibility to MRM, where units converge lithology as Tacagua Shale and Peña de Mora, steep slopes(above 20)slopes rock, coinciding with the spatial distribution of landslides mapped post-event by 99%, generating a reliability of over 90%model. This point to the likelihood of new patient, so you must develop management plan soflocal risks.*

**Key words:** *Spatial distribution; susceptibility; mass movements; Vargas state*

## INTRODUCCIÓN

Venezuela es un país con una importante línea de costa, que se ha visto sacudido por eventos naturales de considerables magnitudes, trayendo como consecuencia saldos lamentables en materia de fallecidos, heridos, damnificados, y pérdidas materiales. En 1999, Venezuela fue impactada por un evento fluvio-torrencial originado por fuertes y persistentes precipitaciones que lograron desencadenar una vasta afectación por las características del área circundante, lo que demuestra que no se está exento ni mucho menos preparados para situaciones de emergencia; como lo han demostrado eventos ocurridos en el Limón, estado Aragua en 1987; Vargas, Miranda, Carabobo y Falcón en diciembre de 1999; Santa Cruz de Mora, estado Mérida en febrero de 2005; Vargas en julio- agosto de 2006; Barlovento 2010 – 2011, entre otros.

Dentro de las más de veinte cuencas y micro cuencas de drenaje que se activaron, una de las áreas más afectadas por dichos eventos fue la cuenca del río San Julián, debido a su abanico aluvial que es coalescente con

los originados por las Quebradas Camurí Chico (oeste) y Quebrada Seca (este), en donde se emplazan importantes asentamientos poblacionales, infraestructuras de carácter urbanística y turística, recreacionales, que son significativas para la economía de la entidad; coincidiendo con lo expresado por Noriega (2007), al señalar que:

...los destrozos superaron 80% de las infraestructuras de estos asentamientos, como los casos de Carmen de Uría, Quebrada Seca, Los Corales, Macuto, La Guaira, Marapa-Piache, La Pichona y Ezequiel Zamora... resultando, 54.392 damnificados y 240 mil afectados cuyas viviendas podían ser recuperadas”, considerando que fueron un total “40.600 viviendas afectadas en el deslave”. (Segúncifras de Protección Civil, citado en Noriega, ob.cit.).

Ello conllevó a que el 28 de Diciembre de 1999 el Gobierno Nacional de Venezuela decretara a Los Corales como “campo santo,” junto a Macuto y Carmen de Uría; llevando a la reflexión acerca de cuáles son los planes del uso del espacio en la actualidad, cuando se puede apreciar que, con la excepción de Carmen de Uría, donde fue emplazado una unidad militar, los demás sectores están siendo repobladas en muchos casos de manera espontánea e inadecuada, con la invasión de infraestructuras declaradas como inhabilitadas y que después de tantos años no han sido demolidas o clausuradas.

Este panorama, observable en sectores como Los Corales, está sirviendo de asentamiento a personas que no son los dueños originales de dichas estructuras, sin las medidas sanitarias adecuadas y refundando un área de riesgo que aún no termina de sanarse.

En este sentido, se requiere elaborar planes de gestión comunitaria de riesgos locales, sobre la base de las características físico naturales de las cuencas de drenaje, para lo cual los Sistemas de Información Geográficos (SIG) son herramientas viables, que permitan generar información básica para esos planes de gestión local de los riesgos, y así minimizar los mismos, mejorando paulatinamente, la calidad de vida de las personas

y la sustentabilidad necesaria para atenuar los reclamos que el ambiente está haciendo, y que tan negligentemente hemos afrontado.

Considerando lo anterior, el propósito de este artículo es divulgar los resultados de la investigación, donde se analizó la distribución espacial de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en función de los factores físico-naturales de la vertiente norte de la Serranía Litoral, considerando variables intervinientes como la geología de superficie, las formas de relieve, pendiente media del terreno y los conflictos de usos. De esta manera que se genera información base para la gestión comunitaria de los riesgos locales, optimizando la toma de decisiones en búsqueda de un futuro más seguro y sustentable.

Esta investigación es parte del macro-proyecto “Instrumentación de la Geo-mática al estudio de los deslizamientos del sistema montañoso del Caribe, Cordillera de la Costa, Tramo Central, Venezuela” (Registro 07-120) inscrito en la línea de investigación de “Estudios en Geografía de los Riesgos Naturales y Antrópicos, Eco geografía y Conservación de los Recursos Naturales” (Registro 05-003) del Núcleo de Investigaciones “Estudio del Medio Físico Venezolano” del Departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Pedagógico de Caracas.

## **MÉTODO**

Por las complejidades del área y comprendiendo que la gestión de riesgos es de carácter particular, en esta investigación se empleo el método heurístico, el cual se basa en el análisis de los procesos físicos que actúan el área de estudio, el mapeo de los movimientos en masa, mapeo de los factores ambientales que afectan directa e indirectamente a 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, 2006). Para ello se elaboraron una serie de mapas temáticos, los cuales se evalúan separadamente y después se integran para alcanzar una evaluación general del área. Sin embargo,

existen diversas metodologías propuestas para realizar zonificaciones, como la propuesta por Mora y Vahrson (1992); Ojeda, Castro, Valencia y Fonseca (2001) de INGEOMINAS de Colombia; y Mora-Vahrson-Mora (2002); por citar algunos ejemplos.

El análisis espacial se realizó mediante el uso de un SIG y la integración de la Evaluación Multi-criterios (EMC), lo que facilitó llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005; y Montiel, Montes y Gouveia, 2008; Marcano, 2010).

### **Estructuración Temática**

Al considerar que la obtención de mapas donde se distribuye la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa para analizar su distribución espacial, se eligió un número determinado de variables y procedimientos, como lo propone INGEOMINAS de Colombia (Ojeda, Castro, Valencia y Fonseca, 2001) a saber: geomorfología, geología de superficie, pendiente media del terreno (a partir de cartas topográficas a escala 1:100.000 y 1:25.000, Hojas *El Caribe* 6847-IV-NE; *Los Chorros* 6847-IV-SE; del MARNR/Dirección de Cartografía Nacional, 1979) y conflictos de uso (a partir de la conjugación de los mapas de uso actual y uso potencial de la tierra) y la ubicación de los movimientos de remoción en masa (a partir de las imágenes Ikonos, 2000, Landsat, 2000 y Spot 5, 2007); obtenidos del Instituto Geográfico Venezolano "Simón Bolívar" en su *Proyecto Ávila - Mapa de Riesgo* (2002) y del *Plan de Ordenamiento Territorial* de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV, 2005) que posteriormente fueron constatados en campo.

Topografía. A partir de las cartas topográficas básicas previamente digitalizadas, se generó el Modelo de Digital de Terreno (MDT), con la aplicación del procedimiento del kriging ordinario en una interpolación de red de triángulos irregulares a 30 metros. Sobre este MDT se genera el mapa de pendiente media del terreno, con intervalos que se construyeron considerando la topografía del lugar a partir del método de análisis de distribución de pendientes (AUAEV, 2005).

Geomorfología. El mapa geomorfológico se estructuró considerando las formas geomorfológicas descritas a partir de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV, 2002) y el “Proyecto Ávila – Mapa de Riesgo” (MARN/IGVSB, 2002).

Geología. El mapa de geología de superficie, muestra la relación entre las características de tipo geológico como las estructuras y la litología, tomado de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV, 2002), el “Proyecto Ávila – Mapa de Riesgo” (MARN/IGVSB, 2002) y Urbani (2002). El mapa geológico muestra unidades clasificadas según su origen, pero con un enfoque hacia la determinación de los factores que afectan la resistencia de los materiales, la intensidad de los fenómenos que actúan sobre ellos y los cambios que producen a corto plazo a los deslizamientos.

Hidrología. La capa fue tomada del “Proyecto Ávila–Mapa de Riesgo” (MARN/IGVSB, 2002); estableciendo de esta manera la red de drenaje del área de estudio. Sobre este mapa, se procedió a generar nuevas capas que sirvieron para caracterizar las propiedades morfo métricas de la red de drenaje. (Strahler y Strahler, 1989; Méndez, Córdova, Cartaya y Pacheco, 2007).

Climatología. La información fue obtenida a través de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales/ Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME, 2008) con series de datos de precipitación media mensual entre 1951- 1999 para las estaciones Maiquetía, Macuto; 1951-2006 Estación Naiguatá; que sirvieron como información representativa para la cuencas bajas del área de estudio; mientras que registros de 1951-1999 para la Estación Los Castillitos y Fila Maestra, y 1970-2003 para la Estación Climatológica Humboldt, que se emplearon como representaciones de las cuencas altas.

Con los respectivos datos de las seis (6) estaciones: tres (3) para las cuencas bajas y tres (3) para las cuencas altas, se procedió a construir

pluviogramas y climogramas (de acuerdo a los datos obtenidos: sólo las Estaciones de Maiquetía y Los Castillitos).

Conflicto de Uso. Esta carta se generó a partir de los cruces de dos cartas previas que son: (a) la capa de uso actual, construida a partir de las visitas al campo y el Orto-foto a escala 1:25000, Hojas *El Caribe* (6847-IV-NE) y *Los Chorros* (6847-IV-SE), y (b) la capa de uso potencial, construida a partir del Plan de Ordenamiento Territorial de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV, 2005). Esta variable, se maneja en esta investigación como indicador del efecto de la actividad antrópica sobre los suelos.

Elaboración de los mapas temáticos básicos. Los mapas se procesaron bajo la plataforma SIG MapInfo Professional y la aplicación (para la pendiente e hipsometría) del módulo Vertical Mapper, facilitados por el Laboratorio de Geomática del Subprograma de Maestría en Geografía, Mención Geografía Física, y el Laboratorio de Cartografía del Departamento de Ciencias de la Tierra, ambos en el Instituto Pedagógico de Caracas.

En el caso de los mapas topográficos, a escala 1:100.000 y 1:25.000, Hojas *El Caribe* (6847-IV-NE) y *Los Chorros* (6847-IV-SE) del MARNR/ Dirección de Cartografía Nacional (1979), que se adquirieron versión impresa y en formato CD (digital) se procedió a convertirlas en imágenes ráster y a geo-referenciarlas, expresados en proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), tanto en el Sistema Geodésico Datum La Canoa, Huso 19, como en el Sistema Geodésico SIRGAS-REGVEN GRS80, Huso 19 para dar cumplimiento con el Artículo 11 de la Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional (2000). Este procedimiento culminó en la construcción de tablas de información dentro del Sistema de Información Geográfico.

Finalmente, se elaboraron los mapas índices que corresponden a las variables de análisis, ellos son: (a) geología de superficie, (b) geomorfología, (c) pendiente media del terreno y (d) conflictos de uso. Estos se emplearon

para generar posteriormente, los mapas de susceptibilidad específicos ponderados y de susceptibilidad final.

Superposición de capas y Análisis estadístico de las variables geográficas. El objetivo de esta etapa fue abordar a cada una de las variables para otorgarle sus respectivos valores y de allí obtener los mapas de susceptibilidad por cada variable. Es por esta razón, que al superponer las capas descritas anteriormente, que son: (a) geología de superficie, (b) geomorfología, (c) pendiente media del terreno, y (d) conflictos de uso con los movimientos de remoción en masa digitalizados a través del análisis visual a las imágenes Ikonos (2000), Landsat (2000), Spot 5 (2007) fue posible calcular el área deslizada en cada unidad de las variables, empleando la herramienta SIG, para determinar tanto el área de la superficie deslizada como el área de cada unidad, en Kilómetros Cuadrados (Km<sup>2</sup>); datos básicos que se requieren para realizar el análisis geoestadístico univariado, de manera que se pueda obtener los mapas de susceptibilidad específica ponderada, y estadística multivariada para la generación del mapa de susceptibilidad final.

Para determinar el peso que cada unidad de terreno tiene con relación a la propensión de deslizamientos, se empleó la Técnica Compensatoria Aditiva para la ponderación de variables que intervienen en la génesis de procesos de remoción en masa (TCA) basada en el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP) de Saaty (1990; 2008); Roa (2007), de la Evaluación Multicriterios (EMC) (Gómez y Barredo, 2005).

Para fines de su aplicación, se procedió a enviar vía correo electrónico, a un grupo de expertos en las áreas de Geografía Física, Geología, Ciencias de la Tierra, Biogeografía, Geomorfología, Educación Ambiental, entre otros, y diversas instituciones nacionales e internacionales, Matrices de Jerarquías Analíticas por cada una de las variables, cuyos resultados obtenidos se procesaron estadísticamente para generar las matrices de jerarquización de cada una de las variables del estudio.



Con los resultados obtenidos en la ponderación de la variable, se procedió a calcular los estadísticos para lograr los mapas de susceptibilidad específica ponderada, a partir de la definición de los rangos.

Obtención del Mapa de Susceptibilidad. En el SIG, los mapas se generan mediante una operación geométrica de dos capas de polígonos y almacenaje en una capa resultado, preservando los atributos de cada una de ellas, siendo resultado de la superposición de cada uno de los polígonos con los de la otra capa, de manera que se incluyen correlacionándose los valores y su superficie deslizada. Esto significa que a mayor el número de deslizamientos y menor la superficie, mayor es la probabilidad de inestabilidad de la ladera.

Una vez realizado, se procedió a multiplicar el peso de la unidad en porcentajes por el peso ponderado de la variable. Con la data producto de la operación matemática, se recodificaron y reajustaron los rangos, manteniendo las cinco (5) categorías de susceptibilidad, la cartografía obtenida se denominó mapas de susceptibilidad específica ponderada (Cartaya, 2005).

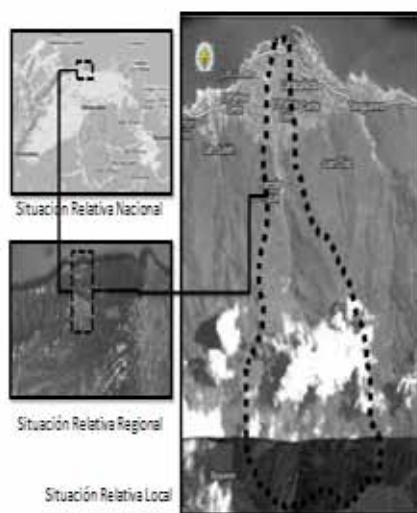
El mapa de susceptibilidad final se elaboró mediante el análisis multivariado, en el cual son sumados digitalmente por el SIG, los cuatro mapas de susceptibilidad específica ponderada.

Posterior a todas las superposiciones contiene exclusivamente las combinaciones de los atributos provenientes de los mapas básicos. Finalmente, para fines de calibrar el modelo, se superpuso el mapa de susceptibilidad final con el de deslizamientos, este último contiene información de los eventos extraordinarios de 1951, 1999 y 2005. Este procedimiento se realizó con la intención de verificar si las zonas con mayor número de deslizamientos, que corresponden al evento extraordinario, coinciden con la zona de mayor susceptibilidad a los deslizamientos, que fue generada a través del SIG.

## RESULTADOS

### *De cartografía básica a mapas índices*

La cuenca del Río San Julián está ubicada geográficamente en la región centro norte costera de Venezuela, en el centro oriente del estado Vargas. Fisiográficamente, se ubica en la vertiente Norte de la Serranía del Ávila, concentrándose gran parte de su cuenca media alta en las áreas pertenecientes al Parque Nacional El Ávila, que está protegido bajo la figura de Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE). Político-administrativamente, esta cuenca está enmarcada en la Parroquia Caraballeda, colindando en su vertiente occidental con la Parroquia Macuto. Al norte, limita con el Mar Caribe, mientras que por el este, con las cuencas de drenaje de Quebrada Seca y el río Cerro Grande, pertenecientes a la misma Parroquia, entre los 10°35'Norte y 66° Oeste; y los 1.166.000m- 1.176.000m Norte, y 735.000m. -739.000m aproximadamente y 22,32 Km<sup>2</sup> de área. (Figura 1)



**Figura 1.** Ubicación geográfica relativa de la cuenca del río San Julián, estado Vargas

Esta cuenca de drenaje, posee una superficie total de 22,32 Km<sup>2</sup> y un tramo de costa de 1,273 Km de longitud, en los cuales se evidenciaron a través del procesamiento de las imágenes Ikonos, Landsat (2000) y Spot 5 (2007) movimientos de remoción en masa que alcanzaron los 2,248 Km<sup>2</sup>, significando el 10% del área de trabajo.

En este sector, se asientan importantes barrios y urbanismos, como Los Corales, áreas de interés turístico- recreacional, el Parque Nacional El Ávila y uno de los tres sectores decretados camposantos, que se vieron afectados de manera importante durante los eventos adversos de 1999 y 2005.

Considerando las variables de estudio, se obtuvo la siguiente zonificación a procesos de remoción en masa:

- **Geología de superficie.** Se identificaron cinco (5) unidades. Al zonificar los movimientos de remoción en masa se percibe que la unidad con mayor extensión y la tercera con mayor superficie removida es el Complejo San Julián ya que posee 36,4% de área por 32,5% de los MRM. Así mismo, la Asociación Metamórfica del Ávila que cubre la segunda mayor extensión con 30,7% es la unidad con más alta superficie deslizada cercana a los 34,3%. Esta situación contrasta con los Aluviones, por ejemplo, que no poseen superficie deslizada.
- **Geomorfología.** Las laderas estructurales poco disectada coinciden con la superficie más extensa al poseer un 86,5% y con mayor proporción de MRM con 94,64%, que unida a las laderas rocosas en los valles en "V" que posee 3,13% de superficie removida totalizan aproximadamente el 98% de los 2Km<sup>2</sup> de los movimientos. Esto implica que, considerando las formas geomorfológicas evidenciadas en la zona de trabajo, las más afectadas por los MRM son las laderas, considerándose entonces las más inestables. Por su parte los lechos de crecidas con a gradación de bloques y lodo, junto a los antiguos conos de deyección representan menos peso por unidad removida al ser inferior al 1%.

- *Pendiente media del Terreno.* Entre los cuatro (4) rangos de pendientes que abarcan de 21° a mayor de 42° (21°-28°: 12,5%; 28°-35°: 24,19%; 35°-42°: 26,6% y mayor a 42°: 25,4%) totalizan el 88,69% del área de estudio, concentrando el 94,98% de los movimientos de remoción en masa cartografiados. Esto conlleva a comprender, que la remoción se hacen más frecuentes en los rangos de pendientes abruptas (superiores a 20°) lo que convierte a estas laderas rocosas y escarpadas como poco estables a inestables. En contraste, las pendientes menos pronunciadas son más estables y presentan menos deslizamientos, pero circunscritos a pequeñas extensiones de terreno debido a una homogénea cadena montañosa que se minimizan en el cono hasta alcanzar la línea de costa.
- *Conflicto de Uso.* Predomina la unidad de muy bajo conflicto (94,98%) ya que coincide con la vasta extensión del Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) en el Parque Nacional El Ávila, concentrando el 99,5% de los movimientos de remoción en masa cartografiados en el área. En síntesis, la unidad de muy bajo conflicto ocupa la totalidad de la superficie removida, siendo lo más importante de este hecho, que, donde la extensión es superior y con mayor área deslizada es la de menor población por su condición de ABRAE. Existen menos del 1% de deslizamientos en las otras unidades, donde además, se ubican las concentraciones poblacionales.
- Posteriormente, basados en la Técnica Compensatoria Aditiva para la ponderación de variables que intervienen en la génesis de procesos de remoción en masa (TCA), aplicando el método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o AnalyticHierarchyProcess (AHP) de Saaty (1990; 2008) y Roa (2007), de la Evaluación Multicriterios (EMC) de Gómez y Barredo (2005), se diseñaron matrices para cada una de las variables asumidas en el estudio, a saber: geología de superficie, geomorfología, pendiente medio del terreno y conflicto de uso, para generar los mapas de susceptibilidad específica ponderada.

#### *Mapas de Susceptibilidad Específica Ponderada*

- *Geología de Superficie.* Las unidades con mayor peso, dentro de la variable geología, son: (a) el Augengneis de Peña de Mora, (b) los

Esquistos de Tacagua, y (c) Aluvión Cuaternario, (rango  $\geq 0,14$ ) con grado de susceptibilidad 5. Por su parte, la Asociación Metamórfica del Ávila y el Complejo San Julián obtuvieron el grado 4 (rango entre 0,10- 0,13).

- **Geomorfología.** En esta variable, la unidad con más peso es la Ladera Estructural poco disectada con categoría de susceptibilidad 5; junto con la ladera rocosa con valles en V (rangos  $\geq 0,20$ ). En contraste, las colinas bajas al poseer rangos entre 0,16-0,19, obtuvieron un grado 4; continuando los lechos de crecidas (rangos entre 0,12-0,15) con grado 3 y finalmente; los conos antiguos (rangos 0,05- 0,11) son de grado de susceptibilidad 2.
- **Pendiente media del terreno.** Las matrices fueron construidas con los rangos obtenidos a través del tratamiento de pendiente. Las unidades con mayores pesos está conformada por los rangos de pendiente más abruptas, siendo mayor a  $42^\circ$  y  $35^\circ$ -  $42^\circ$  ambos con grado de susceptibilidad 5 ( $\geq 0,18$ ). Así mismo, el rango de 28-35, el de 21-28 y de 14-21 son categorizados con grado 4 (0,14- 0,17). Sin haber datos para el grado de susceptibilidad 3, de 7-14, obtiene el grado 2 (0,06- 0,09), finalizando con la pendiente de menor inclinación, inferior a  $7^\circ$ , con grado de susceptibilidad 1 ( $\leq 0,05$ ).
- **Conflicto de Uso.** La unidad presente en la zonificación con mayor peso es la de conflictos *Muy Bajos* coincidente con el Parque Nacional El Ávila, por lo que su grado de susceptibilidad es 1. Contrastantemente, la segunda unidad con mayor peso es la de conflictos *Muy Altos* compaginable con los centros urbanos principalmente espontáneos, siendo flanqueado por conflictos *Altos* con categoría 4, con desarrollos urbanos, recreacionales y otros. Finalmente, los conflictos *Medios y Bajos* obtienen grados 3 y 2 respectivamente, siendo muy escasos y de manera transicional.

Al medir las variables entre sí, sin considerar las individualidades de las unidades que las conformaron, se pudo observar, que la geología de superficie obtiene el mayor peso relativo con 39%, coherentemente fueron por considerable diferencia la variable de mayor peso por los investigadores, correspondiendo a los sustentos teóricos que refieren su

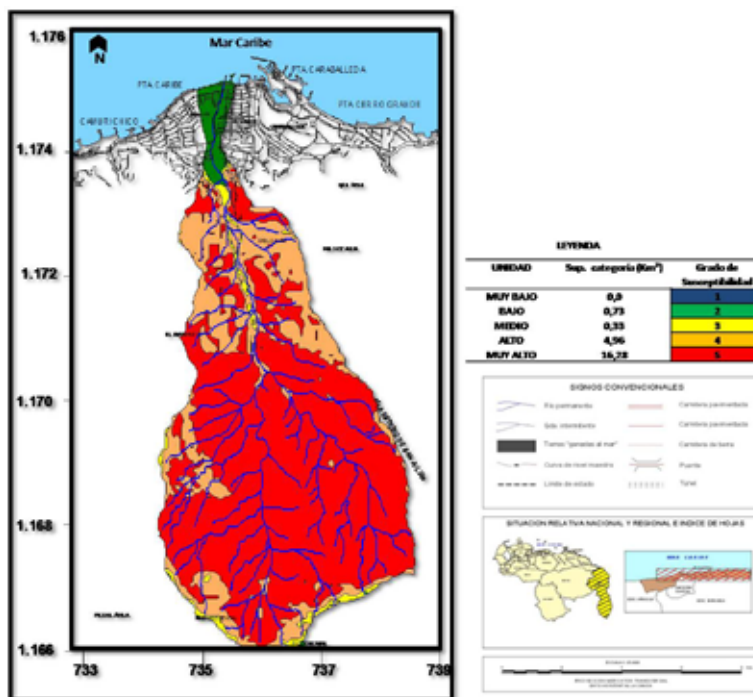
importancia en los movimientos de remoción en masa al considerar la litología y los productos obtenidos debido a la exposición de los agentes de intemperismos; la tectónica y su influencia en el comportamiento de la roca, significando esto, la resistencia y modo de desplazamiento producto de las fracturas existentes; su comportamiento geotectónico o los aspectos principales del perfil del suelo que confieren su estabilidad (textura, porosidad, profundidad, drenaje, entre otros).

La pendiente media de terreno junto a la gravedad son dos (2) elementos determinantes para producir energías que estimulan los movimientos de remoción en masa. Coherentemente con lo indicado en la literatura que le atribuye como principal factor influyente en los movimientos de vertientes, refiere un peso de 29%. Al analizar rangos de pendientes en este sistema montañoso donde predominan los superiores a 21°, (altos y muy altos) siendo estos promedios donde se concentran las mayores áreas de zonificación de movimientos de remoción en masa, es razonable que la pendiente sea seleccionada en esta posición significativa.

En cuanto a la geomorfología, ponderada con 23% es producto de la valoración de las formas cóncavas y convexas presentes en colinas y valles que abundan en el área, que al vincularse con las otras variables, justifican la condición de esta variable en dicha proporción.

En último lugar, los conflictos de uso con un contrastante 6% es la única variable socio-ambiental incluida, debido a que son las diversas acciones antrópicas las que podrían estar estimulando los procesos de remoción en masa, por las construcciones de infraestructuras (viviendas, vialidad, cortes de carreteras, y actividades agrícolas, por citar algunos) sin planificación urbana sustentable.

Paradójicamente recibe una ponderación prácticamente insignificante (en comparación con las otras variables) y esta situación podría estar referida a que, al superponer los deslizamientos y visitar los movimientos en esta área, surgen tanto en las partes bajas intervenidas por los seres humanos y en las partes altas del sistema orográfico donde se encuentra el Parque Nacional El Ávila, y con él, resguardo y control de uso.

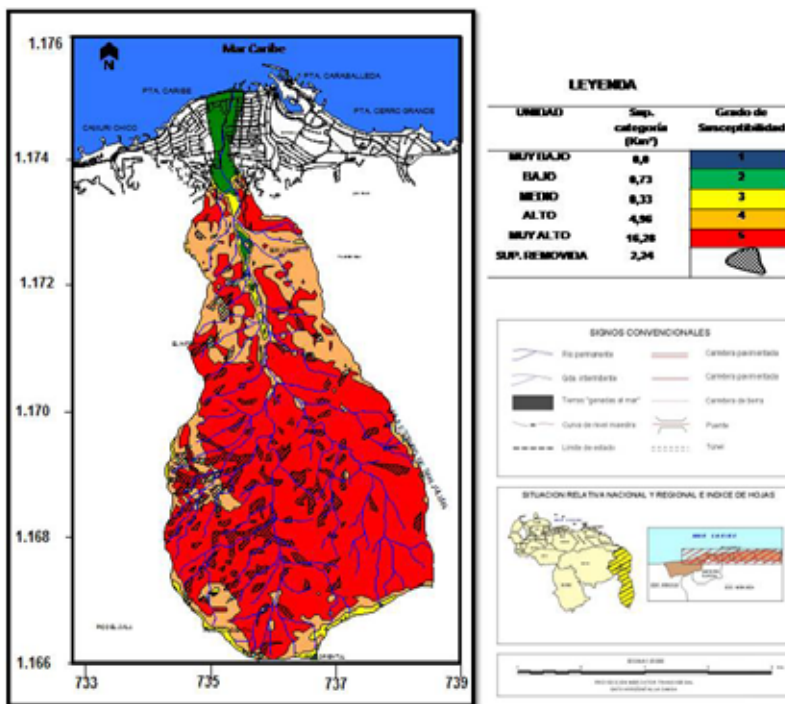


Retomando la categoría con mayor extensión (Muy Alta), esta coincide geológicamente con las formaciones de los Esquistos de Tacagua, los Augengneis de Peña de Mora y la Asociación Metamórfica del Ávila; las laderas estructurales poco disertadas y las laderas rocosas con valles en “V” con pendientes medias del terreno abruptas superiores a los 28 y muy bajos a medios conflictos de uso; siendo enmarcada en las áreas de categoría *Alta*, que se circunscriben a la formación de San Julián, pendientes medias de terreno muy diversas pero predominando las altas (superiores a los 21), con muy bajos conflictos de uso y formas topográficas de laderas en general. En síntesis, predominan las áreas de muy alta y alta susceptibilidad seguido por las medias y bajas.

El segundo indicador a considerar para el análisis de este mapa, consiste en la calibración del modelo a partir de la superposición de la capa de deslizamientos y el mapa de susceptibilidad final, donde se expresa que según los polígonos generados por el SIG, las categorías *muy alta* y *alta* poseen mayor probabilidad a deslizarse, en un área integrada superior al 90% de manera homogénea en los 22,32Km<sup>2</sup> de la cuenca (Figura 3).

De alguna manera, al recordar que los deslizamientos fueron cartografiados con la ayuda de las imágenes de satélites Ikonos y Landsat, ambas del año 2000, se infiere que estos deslizamientos fueron producto de los eventos fluvio-torrenciales de 1999, por lo que, al considerar que alcanzan en extensión 2,24 Km<sup>2</sup>, implica que motivado a este fenómeno cercano al 10% del área de estudio sufrió movimientos de remoción en masa, que trajeron como consecuencias graves afectaciones a las personas y a las infraestructuras.





**Figura 3.** Mapa de Superposición del Mapa de Susceptibilidad Final y el de Superficie Removida. Generado por el SIG

Debe destacarse el hecho, que en algunos sectores de alta concentración de población, en todo el abanico aluvial de Caraballeda, presentan Bajos valores de susceptibilidad, con 3,27% pudiendo generar una falsa percepción de seguridad, por cuanto se ha demostrado en eventos anteriores que los materiales producidos en las zonas de Alta y Muy Alta Susceptibilidad que alcanzan el 95,1% del área de estudios son transportadas a las áreas más pobladas como Los Corales, Palma Este y Palma Oeste, y los Barrios de Palo de Agua, San Julián y Juan Díaz; en intervalos muy cortos de tiempos de concentración de las quebradas, por ejemplo los calculados para la quebrada Curucutí, en el mismo estado Vargas, de 23 a 38 minutos aproximadamente (Méndez, Córdova, Cartaya y Pacheco, 2007. p 16).

## **CONCLUSIONES**

El producto de este cruce indica que son las áreas más susceptibles a los procesos de remoción en masa, las cuencas altas y medias bajas, donde predominan las formaciones geológicas de los Esquistos de Tacagua, la Asociación Metamórfica del Ávila y los Augengneis de Peña de Mora, que combinadas con laderas rocosas y pendientes abruptas (superiores a los 21°) categorizan a la mayor parte del área en zonas de muy alta a alta susceptibilidad.

El determinar cuantitativamente las relaciones entre unidades y movimientos en remoción en masa, a través de procesos geo-estadístico; otorgó la posibilidad de reconocer que unidades por variables tienden a removerse en mayor proporción, pero además contribuyó a la calibración del modelo de susceptibilidad específica ponderada de cada variable y al modelo de susceptibilidad final; ratificando que las áreas de muy alta y alta susceptibilidad corresponden a la distribución del 99% (2,23 Km<sup>2</sup>) del total de los movimientos de remoción en masa en el área de trabajo.

Los Sistemas de Información Geográficos, son una alternativa viable, económica y dinámica que permitan contar con la información necesaria para tomar decisiones, en futuros planes de desarrollo y ordenación del territorio.

En función del desarrollo de los SIG, la aplicación de la Técnica Compensatoria Aditiva del método de las Jerarquías Analíticas de la Evaluación Multicriterios, con la finalidad de asignar puntajes ponderados a las variables y unidades de las variables, permitió la optimización y mayor objetividad en el peso de las misma, en este caso concreto, en coherencia con lo planteado por los fundamentos teóricos, la geología de superficie (39%) y la pendiente media del terreno (29%), son las variables fundamentales para la generar susceptibilidad a los procesos de remoción en masa.

Finalmente, se puede decir que el área de estudio es muy susceptible a ser removida, por lo que no es de olvidar los episodios de 1951, 1999, 2005

y 2010; sino de aprender y ordenar el territorio, para que su uso y disfrute sea más ambientalmente responsable y por ende, más sustentable.

## REFERENCIAS

- Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV)/CORPOVARGAS. (2002). *Proyecto de control de erosión del Río Cerro Grande Parroquia Caraballeda, estado Vargas*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.auev.gov.ve/auev/Cerro%20Grande.pps>. [Consulta: 2010, febrero 25]
- Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV). *Plan De Ordenamiento Y Reglamento De Uso Del Área De Protección Y Recuperación Ambiental Del Estado Vargas (Eje Arrecife-Los Caracas)*. (2005, Enero 21) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.758 (Extraordinario)
- Cartaya, S. (2005). *Adaptación y aplicación de un modelo para el análisis espacial de la susceptibilidad a deslizamientos, empleando SIG, en la micro cuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, Estado Vargas-Venezuela*. Trabajo de ascenso no publicado. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas, Venezuela
- Castro, E., Valencia, A., Ojeda, J., Muñoz, F., y Fonseca, S. (2001). *Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica*. Santa Fé de Bogotá, Colombia: INGEOMINAS / Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca / Escuela Colombiana de Ingeniería
- Gómez, M. y Barredo, J. (2005) *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: Ra-Ma
- Imagen satelital *LANDSAT TM+* de abril de 2000
- Imagen satelital *Ikonos TM+* de abril de 2000
- Imagen satelital *Spot 5 TM+* de abril de 2007
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002a). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Balance Morfodinámico, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor

- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002b). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Formas de Relieve, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002c). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Geología, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002d). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Hipsometría, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002e). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Pendientes, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002f). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Procesos Geomorfológicos, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002g). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Vegetación, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela: Autor
- Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 37.002, Julio 20, 2000
- Marcano, A. (2010). *Zonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en las cuencas comprendidas entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, Estado Vargas, Venezuela*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas, Venezuela
- Méndez, W.; Córdova, J.; Cartaya, S. y Pacheco, H. (2007). Geomorfología y respuesta hidrológica de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV*. 22(1), 5-20
- 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 Geográfica Venezolana*, 50(1), 131-155
- Mora, R., Vahrson, W. (1992). *Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la Prevención

- de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC). [Artículo en línea]. Disponible:<http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>
- Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S. (2002). *Mapa de Amenaza de Deslizamiento*. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC). [Artículo en línea]. Disponible:<http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>
- Noriega, N. (2007). *A 8 años de la Tragedia, no termina de pasar*. [Artículo en línea]. Disponible: <http://www.eluniversal.com> Consulta: [2008, febrero 5]
- Roa, J. G. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes de satélites: Cuenca del río Mocoties, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2), 183-219
- Saaty, T. (1990). *Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarchy Process* (Volume I). N.Y. New York, USA: Mc Graw Hill
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1). 83-98
- Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (2008) *Data de precipitación media anual* [Estaciones Maiquetía, Macuto, Naiguatá, Humboldt, Los Castillitos, Fila Maestra]. Caracas: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1979). El Caribe, *hoja 6847-IV- NE* [Mapa Topográfico escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1979). Los Chorro, *hoja 6847- IV-SE* [Mapa Topográfico escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1979). Caracas, *hoja 6847* [Mapa Topográfico escala 1:100.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1995). El Caribe, *hoja 6847-IV-N* [Ortofotomapa a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor

- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1995). Los Chorros, *Hoja 6847-IV-SE* [Ortofotomapa a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Strahler, A. y Strahler, A. (1989). Geografía Física. Barcelona, España: Omega
- Urbani, F. (2002, 14 de septiembre) *El río Miguelena de Camurí Grande: Una ventana a la geología de la Cordillera de la Costa* [Guía de Excursionismo]. Guía de Excursiones Geológicas N° 02-1. Caracas, Venezuela: Sociedad Venezolana de Geólogos
- Van Westwer (2006). *Introducción a los deslizamientos: Mapeo de los Deslizamientos empleando fotografías aéreas*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.itn.nl/...140%20Amenaza%20%por%20deslizamientos/.pdf>. [Consultado: 2006, diciembre 13]