
MODELO DE ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

SCARLET CARTAYA, WILLIAMS MÉNDEZ y HENRY PACHECO

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es adaptar y aplicar un modelo para la zonificación y análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa empleando estadística multivariada y un Sistema de Información Geográfica (SIG), como una alternativa metodológica que permita colocar en manos de entes gubernamentales y de las comunidades una herramienta que facilite la toma de decisiones. Para el procesamiento, análisis y síntesis de las diferentes variables (geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflictos de uso), se utilizaron sistemas automatizados de análisis de data espacial como el Módulo Vertical Mapper de MapInfo para el manejo de la información altimétrica, ArcShell para facilitar el ajuste y arreglo de las capas temáticas, y ArcView para realizar los cruces de capas temáticas in-

dices y presentación final de los mapas. Se concluyó que a) en cuanto a la adaptación del modelo original propuesto por INGEOMINAS de Colombia, la coincidencia con la fotointerpretación del evento estudiado, en el litoral central de Venezuela, es de 80%, por lo que la calibración se puede calificar como exitosa; y b) en cuanto a la aplicación del modelo modificado, que la zona de más alta susceptibilidad a los procesos de remoción en masa en el área de la microcuenca seleccionada está localizada en la parte baja de la misma, donde coinciden la unidad geomorfológica denominada conjunto de laderas de vertientes disectadas, el litodemo Esquistos de Tacagua, el rango de pendiente media del terreno de 18-33%, y donde no existen conflictos de uso.

Introducción

El estado Vargas, en el litoral central de Venezuela, sufrió una serie de modificaciones por efecto de las extraordinarias precipitaciones que se produjeron en diciembre de 1999, cuando se combinaron fenómenos meteorológicos y geológicos que intensificaron la actividad hidrogeomorfológica sobre la franja costera. La intensidad y volumen de las precipitaciones sobresaturó el suelo y generó violentos movimientos en masa en las vertientes, desde las partes más altas de la

zona occidental de la Serranía de El Ávila hasta la costa. La acentuada erosión generó aludes torrenciales de los tipos flujos de detritos y coladas de barro de gran fuerza expansiva, que se volcaron sobre los espacios que servían de asentamiento a la población. Como consecuencia se registraron grandes pérdidas humanas y materiales, quedando el estado en una situación de emergencia, que hasta ahora solo ha sido parcialmente superada.

Desde el evento denominado "la Tragedia de Vargas, diciembre de 1999", cada vez que llueve en la región, sus habitantes reviven la catástrofe,

tal vez en menor escala, como evidenciaron las lluvias de noviembre-diciembre de 2000, y las de enero-febrero de 2005, que ocasionaron inundaciones y procesos de remoción en masa del tipo flujo de barro, cuyo saldo se expresó principalmente en daños a bienes materiales. Al no descartarse la probabilidad de ocurrencia de un evento similar al de 1999, se hace necesario generar información detallada de cada una de las cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo de El Ávila, y en especial la concerniente a la zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, de tal

PALABRAS CLAVE / Estadística Multivariada / Estado Vargas / Procesos de Remoción en Masa / Quebrada Curucutí / SIG /

Recibido: 06/01/2006. Modificado: 18/07/2006. Aceptado: 28/07/2006.

Scarlet Cartaya. Profesora en Ciencias Sociales, mención Geografía. M.Sc. en Geografía Física, Universidad Pedagógica Experimental Libertador - Instituto Pedagógico de Caracas (UPEL-IPC), Venezuela. Candidata a Doctora en Ciencias Sociales, Universidad Central de Venezuela (UCV). Profesora, UPEL-IPC, Venezuela. Dirección: Departamento de Geografía e Historia, UPEL-IPC. Av. Páez, El Paraíso, Caracas 1010, Venezuela. e-mail: scartaya@yahoo.com

Williams Méndez. Profesor en Ciencias de la Tierra, mención Geografía Física. M.Sc. en Geografía Física, UPEL-IPC, Venezuela. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería, UCV, Venezuela. Profesor, UPEL-IPC, Venezuela. e-mail: wjmendezmata@yahoo.com

Henry Pacheco. Profesor en Ciencias de la Tierra, mención Geografía Física. M.Sc. en Geografía Física, UPEL-IPC, Venezuela. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería, UCV, Venezuela. Profesor, UPEL-IPC, Venezuela. e-mail: henrypacheco2005@yahoo.com

forma que los habitantes del área en conjunto con las autoridades locales, tomen las medidas necesarias para prevenir desastres, conociendo cuáles son las áreas más propensas de ser activadas.

El objetivo del presente estudio es adaptar y aplicar el prototipo utilizado por INGEOMINAS (Instituto de Investigaciones Geológico-Mineras de Colombia; Castro *et al.*, 2001) para el análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, como alternativa metodológica en estudios de esta naturaleza. Se empleó el Sistema de Información Geográfica (SIG), la estadística no paramétrica y el método explícito semianalítico, para asignar peso a las variables. Se tomó como área ejemplo para la aplicación del modelo, a la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, ubicada geográficamente en la región centro-norte de Venezuela, en el sector centro occidental del estado Vargas, al sureste del aeropuerto internacional de Maiquetía “Simón Bolívar”, extendida sobre la vertiente norte del macizo de El Ávila en su extremo occidental (Figura 1). La zona está definida por las coordenadas angulares 10°33'08"-10°36'23"N y 66°57'38"-66°59'14"O, y por las coordenadas UTM N1167200m-N1173170m y E720300m-E723230m (Cartografía Nacional, 1979). Se eligió esta microcuenca debido a que fue una de las menos afectadas durante la catástrofe, y en cuyo abanico aluvial se localiza una importante infraestructura aduanera, portuaria y aeroportuaria, así como un número significativo de unidades educativas y viviendas.

No fue interés de este estudio llegar a elaborar el mapa de amenaza por procesos de remoción en masa, ya que ello implica trabajar con los detonantes, como las precipitaciones y/o la sismicidad, lo cual requeriría de mayor tiempo y de un equipo multidisciplinario de trabajo, aunque está considerado como una segunda fase de la investigación.

Para la síntesis y procesamiento de la información de las diferentes

variables (geología de superficie, geomorfología, conflicto de uso y pendiente media del terreno), se utilizaron sistemas automatizados de análisis de datos espaciales como MapInfo, con el módulo Vertical Mapper para trabajar altimetría (hypsometría, mapa de pendiente); ArcShell para facilitar el ajuste y arreglo de las capas temáticas; y ArcView para cruzar las capas temáticas y obtener los mapas de síntesis.

El primer SIG utilizado para zonificar procesos de remoción en masa tipo deslizamiento fue presentado por Newman *et al.* (1978) en California, EEUU. Posteriormente se han reportado en la literatura centenares de casos utilizando diferentes técnicas y concepciones teóricas. La mayoría corresponden a investigaciones relacionadas con zonificación cualitativa de amenazas, con énfasis en la entrada de información geomorfológica, utilizando modelos muy sencillos pero poco reales. Destaca la utilización de SIG para análisis de susceptibilidad a los deslizamientos por el U.S. Geological Survey (Brabb, 1984, 1987; Brabb *et al.*, 1989). Estos estudios tomaron en cuenta otros factores diferentes a los geomorfoló-

gicos como geología, pendientes y deslizamientos activos.

Recientemente, los trabajos de esta naturaleza combinan la herramienta SIG con el análisis estadístico multivariado, así como modelos determinísticos utilizando factores de seguridad, como lo presentado por Carrara (1983) en Italia.

Marco Físico del Área Seleccionada para la Aplicación del Modelo

Geología

La geología regional del estado Vargas está representada por afloramientos de rocas metamórficas pertenecientes a las fajas asociación metamórfica La Costa y asociación metamórfica Ávila, que en conjunto definen la vertiente norte del macizo El Ávila o la cadena montañosa del litoral central, sobre la cual se emplaza la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, área de interés del presente estudio. La franja litoral sobre la cual se asienta la mayor parte de la población del estado Vargas, está geológicamente constituida por los depósitos aluviales de origen fluvio-torrencial y del Holoceno, que han dado origen a los extensos abanicos y/o conos de deyección que controlan la morfología de la línea de costa. La asociación metamórfica La Costa está compuesta por unidades litodémicas cretácicas, tales como mármol de Antímano, anfíbolita de Nirgua, esquisto de Tacagua y serpentinita. Afloran las rocas de la asociación metamórfica Ávila, con edades desde el pre-Cámbrico al Paleozoico, que corresponden a cuerpos de composición granítica (augengneis de Peña de Mora). Las rocas graníticas están entremezcladas o envueltas por rocas esquistosas de típica naturaleza metasedimentaria (algunos de los tipos de esquisto del complejo San Julián), de probable edad Paleozoica (MMH, 1970; MEM, 1997; Urbani, 2000a, 2000b, 2002a, b, c, d; Urbani *et al.*, 2000).

Relieve

La microcuenca en estudio se comparte entre dos grandes unidades

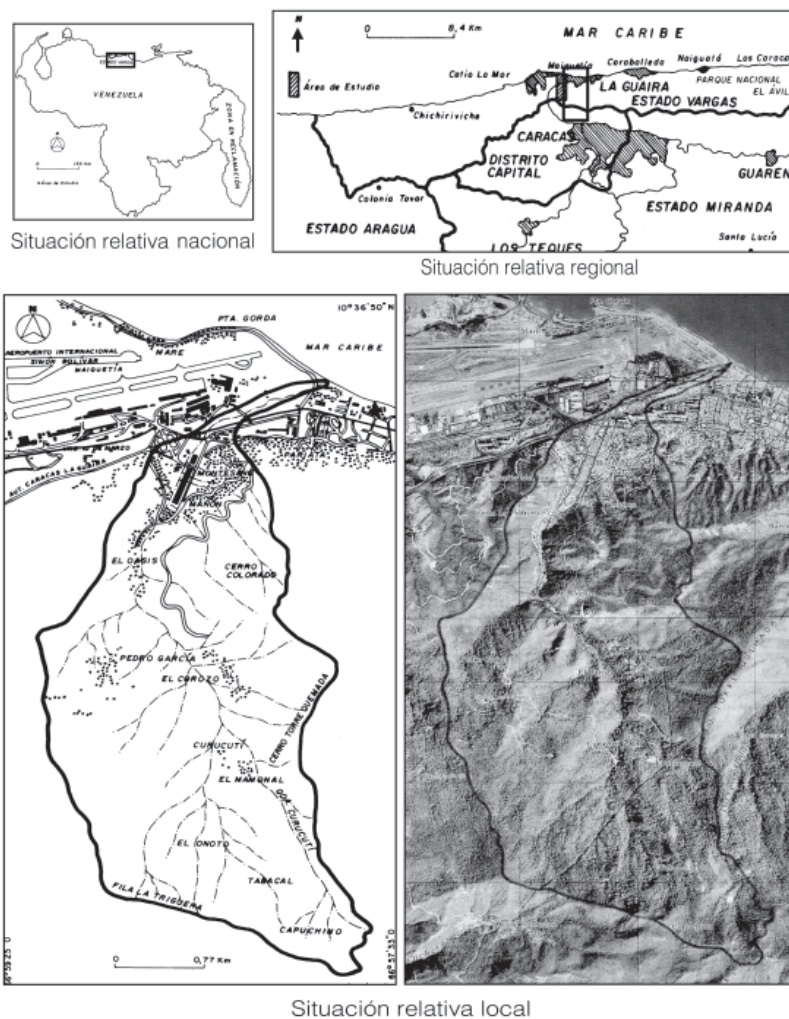


Figura 1. Localización del área de estudio.

de relieve con topografías contrastantes: a) un sector montañoso que abarca la mayor parte del área, con alturas entre 100 y >1400msnm, y pendientes entre 3 y 45%; y b) una unidad de abanico coluvio-aluvial emplazado en la parte baja o terminal de la microcuenca, con elevaciones desde 0msnm en la línea de costa y base del abanico, hasta 200msnm en el ápice del mismo, y pendientes entre 0 y 18% (AUAEV, s.f.).

Clima

Las características climáticas del área se establecieron a partir del análisis e interpretación de promedios mensuales y totales anuales de temperatura media (1973-1989), precipitación (1950-1983) y evaporación (1970-1980) correspondientes a las estaciones Maiquetía, Maiquetía-Aeropuerto y Los Castillitos de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales de Venezuela.

La temperatura media en la parte baja de la microcuenca presenta un promedio anual de 26,6°C, mientras que en la parte alta el promedio anual es de 17°C. La amplitud térmica anual es relativamente más amplia en la parte alta de la microcuenca, con un valor de 3,2°C, que en la parte baja, donde es de 2,8°C. El régimen térmico anual es de tipo bimodal. Las precipitaciones, en general, son escasas en toda la microcuenca, con totales anuales que apenas superan los 500mm en todos los casos, siendo éstos de 521,4mm y 647,6mm para la parte baja, y de 551,7mm para la parte alta. Tales montos anuales determinan categorías pluviométricas semi-árida a semi-húmeda para la parte baja del área, y semi-árida para la parte alta, y se clasifican como tipos pluviométricos costero central (Foghin, 2002). La evaporación en la parte baja de la microcuenca, muestra valores mensuales elevados, por encima de los 130mm en todos los casos, y un total anual de 1860,7mm, lo que supera significativamente los valores mensuales y anuales de precipitación. El régimen evaporimétrico anual también exhibe un comportamiento de tipo bimodal. El tipo climático del área corresponde a un BShi (clima tropical estepario) de acuerdo con la clasificación de Köppen de 1936.

Hidrografía

La microcuenca de drenaje corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de pequeñas dimensiones, de carácter exorreico, con orientaciones norte-sur y perpendicular a la línea de costa. La densidad del drenaje es media y tiene influencia en la generación de crecidas. La red de drenaje es un sistema de

orden 4, con relación de bifurcación media de 4,69 y alta torrencialidad (Méndez, 2005; AUAEV, s.f.).

Vegetación

De acuerdo con la clasificación fisionómica y estructural de la vegetación utilizada en MARNR (1983) y IGVS (2002), en el área de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, se encuentran las siguientes formaciones vegetales: a) espinar tropical con densidades de cobertura rala, media y densa (cardonales y espinares); b) matorral tropical con densidades de cobertura rala, media y densa; c) bosque tropical de alturas baja y media, y densidad de cobertura media; d) bosque premontano de alturas baja y media, y densidad de cobertura media (bosques deciduo, semi-deciduo y transicional); y e) bosque de galería.

Metodología

La cartografía automatizada y las operaciones con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se están convirtiendo en una herramienta importante en la mayoría de las actividades de investigación y producción. Un SIG es un sistema de información utilizado para ingresar, almacenar, recuperar, manipular, analizar y obtener datos geoespaciales, a fin de brindar apoyo en la toma de decisiones. Los componentes claves de un SIG son un sistema de computación, datos espaciales y usuarios. Un sistema de computación para un SIG está compuesto de hardware, software y procedimientos diseñados para manejar captura de datos, procesamiento, análisis, modelado y visualización de datos geoespaciales (Murai, 1999). Sin embargo, pocos son los investigadores, en particular en Venezuela, que han explotado la tecnología SIG en el estudio de ubicación y control de deslizamientos u otras catástrofes naturales (Lima de Montes y González, 2002).

Castro *et al.* (2001), investigadores de INGEOMINAS de Colombia, propusieron diferentes métodos para zonificar la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en laderas, según el nivel de estudio, las escalas sugeridas para esos niveles y los factores que hay que considerar en una zonificación. De acuerdo como se sintetizan los factores o capas de información para obtener el mapa final de susceptibilidad, clasifican los métodos en: implícito, semi-implícito y explícitos. Este último se divide en: empírico, semianalítico y analítico.

Esta metodología comprende las fases de trabajo siguientes: (a) estructuración de la información temática base, (b) definición de las variables y ge-

neración de mapas temáticos digitalizados, (c) análisis geoestadístico y superposición de mapas, y (d) mapa de susceptibilidad final y calibración del modelo.

Estructuración de la información temática base

Para el caso de estudio se eligieron mapas topográficos a escalas 1:100000 y 1:25000 de Cartografía Nacional (1979) así como los mapas temáticos, tales como, geomorfología, geología de superficie, vegetación, uso potencial, uso actual, red de drenaje (escala 1:25000), y algunos de susceptibilidad (inundaciones y procesos de remoción en masa), que se emplearon sólo con fines comparativos y se tomaron del Proyecto Ávila - Mapa de Riesgo del Instituto Geográfico Venezolano "Simón Bolívar" y del Plan de Ordenamiento Territorial de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas y Ecology and Environment (AUAEV, 2003). Para identificar las áreas con procesos de remoción en masa, se emplearon fotos aéreas de la misión 0304193, N° 678, 679, 680, 681, 682, a escala: 1:25000 de Febrero de 2002.

Definición de las variables y generación de mapas temáticos digitalizados

Se eligió un número determinado de variables, según lo proponen Castro *et al.* (2001) de INGEOMINAS de Colombia: ubicación de los procesos de remoción en masa (a partir de las fotografías aéreas del año 2002, donde se evidencian los efectos del evento de diciembre de 1999), geomorfología, geología de superficie, pendiente media del terreno (a partir de cartas topográficas), y conflictos de uso (a partir de la conjugación de los mapas de uso actual y uso potencial de la tierra). Con la información cartográfica verificada se procedió a su transformación en mapas digitales para emplearlos en el SIG. La información en papel fue escaneada para obtener imágenes raster, y luego se digitalizaron en pantalla para ser vectorizadas.

Se trabajó con la plataforma SIG MapInfo (versión 5.5) y ArcView (versión 9.0). Para la comprobación y eliminación de los posibles errores cometidos, tales como, existencia de líneas duplicadas, sueltas, inexactitud de contornos, entre otros, se empleó el módulo auxiliar ArcShell (versión 3.2). Esto se hizo con la finalidad de no invalidar los resultados finales por la propagación de pequeños errores. Para la elaboración del mapa de pendientes e hipsométrico se utilizó el módulo de altimetría Vertical Mapper (versión 3.3) que funciona en

MapInfo y se compararon con los mapas de pendiente e hipsométrico existentes. (IGVSB, 2002).

Una vez elaborados los mapas, se definieron los atributos que describen los diferentes elementos geográficos mediante la adición de nuevos elementos a las tablas asociadas con cada capa temática, definición del diccionario de datos y las relaciones entre las tablas de atributos.

Análisis geoestadístico y superposición de mapas

En esta parte del desarrollo del modelo se empleó el método explícito semianalítico, que combina los factores de clasificación del método explícito empírico, el cual consiste en asignar 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 da como resultado un mapa de valores numéricos que se pueden dividir por intervalos para definir zonas con distintos niveles de amenaza relativa.

Esta técnica combina mapas cualitativos, por lo que es factible emplear la aplicación del SIG. El método se puede alternar con formulaciones matemáticas como el análisis estadístico univariado y el multivariado. En este trabajo se utilizó el análisis multivariado, ya que se cuenta con una muestra estadística representativa de los procesos de remoción en masa y se puede generar un mapa de distribución de la susceptibilidad, pudiéndose luego combinar con otros mapas donde se representan las variables o factores involucrados. Para calcular el peso o grado de influencia de cada factor interno del terreno, se empleó la fórmula propuesta por Castro *et al.* (2001):

$$W\% = \frac{DZX}{S} \times 100$$

donde W: peso o susceptibilidad de la UCV (Unidad Cartográfica de Variable) respecto al movimiento en masa analizado, DZX: superficie (km²) acumulada de deslizamiento que hay sobre la UCV, y S: superficie total (km²) acumulada de la UCV.

Todos los datos obtenidos con la aplicación de la fórmula anterior en cada UCV se llevan a intervalos, considerando la media y la desviación estándar. Luego, estos intervalos y las categorías de susceptibilidad se ajustan a juicio de expertos. Los mapas obtenidos con este procedimiento fueron denominados "mapas de susceptibilidad específica", ya que sólo brindan información acerca de cuál unidad es más susceptible a ser removida en cada variable.

Mapa de susceptibilidad final y calibración

Una vez establecida semicuantitativamente las relaciones de peso en los diferentes mapas de susceptibilidad específica, se procedió a otorgarles pesos ponderados a cada variable, lo que implicó recurrir al juicio de expertos. Con los datos producto de la operación matemática, se recodificaron y reajustaron los intervalos, manteniendo las 5 categorías o grados de susceptibilidad (1: muy baja, 2: baja, 3: media, 4: alta, y 5: muy alta). La cartografía obtenida así fue denominada "mapas de susceptibilidad específica ponderada". 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. En este procedimiento se utilizó el siguiente algoritmo, modificado de Sánchez *et al.*, (2004):

$$SF = \frac{SGs(pp\%) + SGm(pp\%) + SPm(pp\%) + SCu(pp\%)}{Ntv}$$

donde SF: susceptibilidad final, pp%: peso ponderado de la variable en porcentaje, SGs: susceptibilidad de la variable geología de superficie, SGm: susceptibilidad de la variable geomorfología, SPm: susceptibilidad de la variable pendiente media del terreno, SCu: susceptibilidad de la variable conflictos de uso, y Ntv: número total de variables.

Para fines de calibración del modelo se cruzó el mapa de susceptibilidad final con el de procesos de remoción en masa. Este último contiene información del evento extraordinario de diciembre de 1999.

Resultados y Discusión

Zonificación de los procesos de remoción en masa

El área de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí es de 927,70ha (AUAEV, s.f.) y los procesos de remoción en masa dentro de la microcuenca de drenaje representan el 0,91% del área total, es decir, 8,57ha.

En las unidades de geología de superficie del mapa de zonificación de los procesos de remoción en masa se observa que sobre el esquistos de Tacagua (217ha) predominan estos procesos (7,05ha de un total de 8,56ha removidas; AUAEV, 2003; IGVSB, 2002). Esto contrasta con la unidad aluvión Cuaternario, que no registra procesos de remoción en masa y con las otras formaciones litológicas, con menos de 1ha afectada.

De las 11 unidades geomorfológicas, sólo 5 presentan evidencias de procesos de remoción en masa: i) conjunto de laderas de vertientes disectadas (4,89ha), ii) laderas de vertientes onduladas disectadas (1,46ha), iii) lecho de crecidas con agradación de bloques y lodos (0,18ha), iv) conjunto de laderas de vertientes onduladas disectadas (1,10ha), y v) conjunto de laderas de vertientes cóncavas a onduladas (0,94ha; IGVSB, 2002). De todas las unidades anteriores, parece ilógico observar superficies de procesos de remoción en masa en el "lecho de crecidas con agradación de bloques y lodos"; sin embargo, tal apreciación puede deberse al hecho de que se cartografiaron tanto las cicatrices como las zonas de acumulación del material desplazado.

En el mapa de pendiente media del terreno, el intervalo donde se registran más procesos de remoción en masa es el de 18 a 33% con 5,06ha removidos de 569,20ha totales. El otro intervalo significativo es de 3 a 1%, que ocupa 282,60ha con 3,13ha afectadas. El intervalo 33-45% registra menos de 1ha y el de 0-3% no registra procesos de remoción en masa (IGVSB, 2002).

En el mapa de conflictos de uso, los grados extremos son los que registran afectación. En las zonas urbanas y de desarrollos informales de alto conflicto prácticamente no se registraron procesos de remoción en masa (0,99 de 68ha), y en zonas sin conflictos de uso se alteraron 7,57 de 764,90ha totales de la unidad. En los conflictos medio y bajo, no hubo afectación (AUAEV, 2001; IGVSB, 2002).

Posteriormente, estos datos se vaciaron en un nuevo formato para ser procesados y determinar el peso que tienen las unidades en cada variable. De esta forma se obtienen los insumos básicos que se requieren para construir los mapas de susceptibilidad específica.

Una vez obtenida la zonificación de las áreas susceptibles a los procesos de remoción en masa, es posible integrar la información con modelos hidrológicos que suministren los tiempos de concentración de los flujos y proponer la instalación de sistemas de alerta temprana que le permitan a la población establecer las medidas preventivas y de respuesta, para minimizar los efectos adversos de los fenómenos estudiados.

En la actualidad y para los fines señalados, la necesidad de manejar simultáneamente gran cantidad de datos de diversas tipologías, así como la rápida evolución de las características de algunos de éstos, hace que la cartografía convencional resulte insuficiente, siendo necesario orientar los esfuerzos e investigaciones a sistemas integra-

dos y automatizados de almacenamiento de datos geográficos, análisis matemáticos de los mismos y presentación de los resultados, tanto en forma alfanumérica como gráfica, por lo tanto el uso de SIGs en este trabajo es de suma importancia, al permitir desarrollar las aplicaciones comentadas anteriormente y obtener resultados que podrán usarse para el manejo de riesgos en los diferentes niveles de la planificación del desarrollo.

Mapas de susceptibilidad específica

En la variable geología (Tabla Ia), la unidad de mayor peso es el esquisto de Tacagua (3,25%) con grado de susceptibilidad 5, en relación con mármol de Antímamo (1,38%) con grado de susceptibilidad 4, serpentinita (0,46%) de grado 2, complejo San Julián (0,09%) y aluvión Cuaternario, ambos con grado de susceptibilidad 1.

En la variable geomorfología (Tabla Ib), el conjunto de laderas de vertientes disectadas posee el mayor peso (15,04%), le continúan en orden decreciente, las laderas de vertientes onduladas disectadas (1,11%), el lecho de crecidas con agradación de bloques (1,05%), el conjunto de laderas de vertiente cóncava a onduladas (0,70%) y el conjunto de laderas de vertientes cóncavas a onduladas (0,59%). Los grados de susceptibilidad son 5, 4, 4, 3 y 2, respectivamente, y el resto de las unidades geomorfológicas, que no se mencionaron, no poseen registros de procesos de remoción en masa, por lo que se les asignó grado 1, ya que no se puede descartar la probabilidad de ocurrencia de estos procesos en ellas.

En los intervalos de pendiente media del terreno (Tabla Ic), el de mayor probabilidad de ocurrencia es el de 3-18% (grado 4), los de mediana probabilidad los rangos 18-33% y 33-45% (grado 3 cada uno) y con baja probabilidad el intervalo 0-3% (grado 1).

Debido a que el lecho de crecidas con agradación de bloques se encuentra ubicado en el intervalo de pendiente media del terreno, que va de 3 a 18%, y éste posee una alta probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa, es de suponer que por la configuración de esta unidad geomorfológica y dadas las características topográficas, el mismo está confinado a un valle aluvial estrecho y los procesos de remoción en masa probablemente se pueden generar en las vertientes con fuerte pendiente, aledañas al lecho de crecida. Esta información se deduce de los datos obtenidos, pero no se pudo verificar en campo por el difícil acceso a la zona, las malas condiciones de la vialidad y los altos niveles de inseguridad.

Con relación a la variable conflictos de uso (Tabla Id), el más alto grado de susceptibilidad (grado 4) se encuentra en los polígonos que representan al más alto grado de conflicto (1,46%); seguido por el de sin conflicto de uso con 0,99%, pero que generó un grado medio de susceptibilidad (grado 3), y el resto de los grados de conflictos dieron categoría de susceptibilidad 1. Esto se debe a que aún cuando los procesos de remoción en masa del evento de diciembre de 1999 no estuvieron relacionados con los conflictos de uso, fue en esa zona donde se produjo el mayor número de movimientos: Es por ello que cuando se le asigna

peso dentro de la variable a la unidad de conflictos de uso afectada, genera una categoría elevada de susceptibilidad.

Mapas de susceptibilidad específica ponderada

La geología de superficie fue ponderada con 40%, la geomorfología con 30%, la pendiente media del terreno con 20% y los conflictos de uso con 10%. Estos porcentajes se atribuyeron según la intervención que cada variable tiene en la génesis de los procesos de remoción en masa. Se le otorgó el valor más alto a la

TABLA I
CÁLCULO ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR EL PESO DE DIFERENTES VARIABLES EN LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN LA MICROCUCENCA DE LA QUEBRADA CURUCUTÍ, ESTADO VARGAS, VENEZUELA

Código	Unidad	Superficie de la unidad (ha)	Superficie removida (ha)	Peso de la unidad (%)	Grado de susceptib.	Color
a) Variable: Geología de superficie						
1	Aluvión Cuaternario	58,90	0,00	0,00	1	Azul
2	Mármol de Antímamo	11,60	0,16	1,38	4	Anaranjado
3	Esquistos de Tacagua	217,00	7,05	3,25	5	Rojo
4	Serpentinita	210,90	0,98	0,46	2	Verde
5	Complejo San Julián	429,40	0,37	0,09	1	Azul
	Total	927,80	8,56	5,18		
b) Variable: Geomorfología						
1	Acumulaciones mixtas de glaciares, terrazas y abanicos	29,70	0,00	0,00	1	Azul
2	Acumulaciones mixtas con colinas y restos de abanicos y terrazas	23,20	0,00	0,00	1	Azul
3	Conjunto de laderas de vertientes disectadas	32,50	4,89	15,04	5	Rojo
4	Laderas de vertientes onduladas disectadas	131,20	1,46	1,11	4	Anaranjado
5	Lecho de crecidas con agradación de bloques	17,10	0,18	1,05	4	Anaranjado
6	Conjunto de laderas de vertientes cóncavas a onduladas	158,00	1,10	0,70	3	Amarillo
7	Conjunto de laderas de vertientes cóncavas a onduladas	240,60	0,94	0,39	2	Verde
8	Conjunto de laderas de vertientes onduladas	43,30	0,00	0,00	1	Azul
9	Laderas de viga convexas densas	215,90	0,00	0,00	1	Azul
10	Cumbre colinada con evidencia de paleomodelado de erosión	35,40	0,00	0,00	1	Azul
11	Cimas de cumbres ligeramente onduladas	0,80	0,00	0,00	1	Azul
	Total	927,70	8,57	18,29		
c) Variable: Pendiente media del terreno						
1	0-3%	10,70	0,00	0,00	1	Azul
2	3-18%	282,60	3,13	1,11	4	Anaranjado
3	18-33%	569,20	5,06	0,89	3	Amarillo
4	33-45%	65,20	0,39	0,60	3	Amarillo
	Total	927,70	8,58	2,59		
d) Variable: Conflicto de uso de la tierra						
1	Alto	68,00	0,99	1,46	4	Anaranjado
2	Medio	82,70	0,00	0,00	1	Azul
3	Bajo	12,00	0,00	0,00	1	Azul
4	Sin Conflicto	764,90	7,57	0,99	3	Amarillo
	Total	927,60	8,56	2,45		

TABLA II
CÁLCULO ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR EL PESO PONDERADO DE LAS DIFERENTES VARIABLES EN LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CURUCUTÍ, ESTADO VARGAS, VENEZUELA

Código	Unidad	Superficie de la unidad (ha)	Superficie removida (ha)	Peso de la unidad (%)	Ponderación de la variable	Grado de susceptib.
a) Variable: Geología de superficie						
1	Aluvión Cuaternario	58,90	0,00	0,00	0,00	1
2	Mármol de Antimano	11,60	0,16	1,38	0,55	4
3	Esquistos de Tacagua	217,00	7,05	3,25	0,40 1,30	5
4	Serpentinita	210,90	0,98	0,46	0,19	2
5	Complejo San Julián	429,40	0,37	0,09	0,03	1
	Total	927,80	8,56	5,18		
b) Variable: Geomorfología						
1	Acumulaciones mixtas de glaciares, terrazas y abanicos	29,70	0,00	0,00	0,00	1
2	Acumulaciones mixtas con colinas y restos de abanicos y terrazas	23,20	0,00	0,00	0,00	1
3	Conjunto de laderas de vertientes onduladas disectadas	32,50	4,89	15,04	4,51	5
4	Laderas de vertientes onduladas disectadas	131,20	1,46	1,11	0,33	3
5	Lecho de crecidas con agradación de bloques	17,10	0,18	1,05	0,30 0,31	3
6	Conjunto de laderas de vertientes cóncavas a onduladas	158,00	1,10	0,70	0,21	3
7	Conjunto de laderas de vertientes cóncavas a onduladas	242,70	0,94	0,39	0,12	2
8	Conjunto de laderas de vertiente onduladas	43,30	0,00	0,00	0,00	1
9	Laderas de viga convexas densas	215,90	0,00	0,00	0,00	1
10	Cumbre colinada con evidencia de paleomodelado de erosión	35,40	0,00	0,00	0,00	1
11	Cimas de cumbres ligeramente onduladas	0,80	0,00	0,00		1
	Total	927,70	8,57	18,29		
c) Variable: Pendiente media del terreno						
1	0-3%	10,70	0,00	0,00	0,00	1
2	3-18%	282,60	3,13	1,11	0,20 0,22	3
3	18-33%	569,20	5,06	0,89	0,18	2
4	33-45%	65,20	0,39	0,60	0,12	2
	Total	927,70	8,58	2,59		
d) Variable: Conflicto de uso de la tierra						
1	Alto	68,00	0,99	1,46	0,15	2
2	Medio	82,70	0,00	0,00	0,10 0,00	1
3	Bajo	12,00	0,00	0,00	0,00	1
4	Sin Conflicto	764,90	7,57	0,99	0,10	1
	Total	927,60	8,56	2,45		

TABLA III
DATOS DE LA SUPERPOSICIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD FINAL CON EL DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Categoría de susceptibilidad	Superficie de la categoría (ha)	Superficie de la categoría (%)	Superficie removida (ha)	Superficie removida (%) (Evento 1999)
Muy Bajo	375,34	40,45	0,00	0,00
Bajo	329,20	35,48	1,36	0,14
Medio	18,56	2,02	0,16	0,01
Alto	168,29	18,14	2,17	0,23
Muy Alto	36,31	3,91	4,88	0,52
Total	927,70	100,00	8,57	0,90

a la pendiente media del terreno, aunque este factor es ampliamente mencionado en la literatura, como el de mayor influencia en los procesos de remoción en masa, en el caso particular de la microcuenca en estudio, el intervalo de 3-18% fue donde sucedieron más desplazamientos de material; por ello se le concedió sólo el 20% del total. Los conflictos de uso al igual que las pendientes, no tuvieron relevancia, ya que precisamente en donde no hay conflictos de uso, fue la zona con mayor densidad de procesos de remoción en masa.

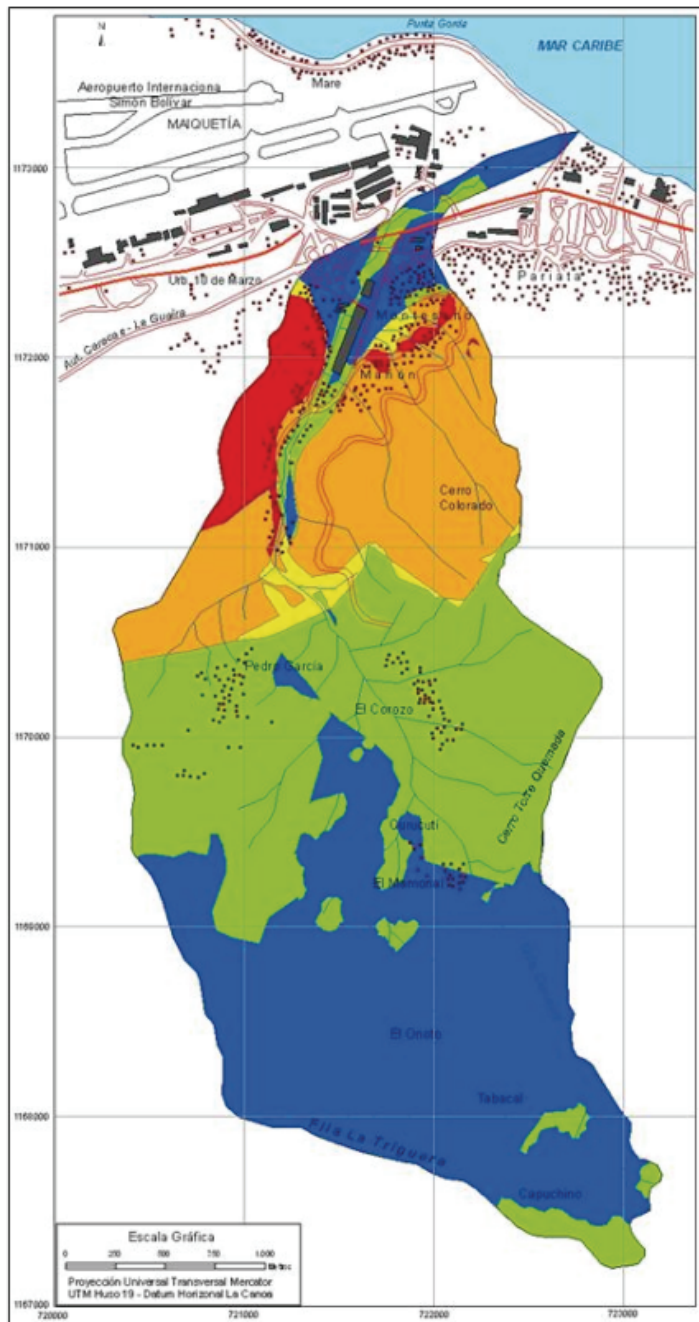
Los valores que resultan de este procedimiento son más bajos que los calculados para los mapas sin ponderar. Con relación a estos últimos se observa que se mantiene la tendencia, es decir, siguen siendo más altas las mismas unidades en cada variable, pero con los intervalos de valores categoriales de susceptibilidad recalculados y ajustados a la nueva data. La geología de superficie ponderada no varió con respecto al no ponderado (Tabla IIa). Las laderas de vertientes onduladas disectadas y el lecho de crecidas con agradación de bloques y lodos, pasaron de grado 4 a grado 3 en el mapa geomorfológico ponderado (Tabla IIb). En el mapa ponderado de pendiente media del terreno, los valores de los intervalos 3-18, 18-33 y 33-45%, disminuyen a grados 3, 2 y 2, respectivamente, manteniéndose como una variable de baja influencia en los procesos de remoción en masa, ya que sus máximos alcanzan solo hasta la categoría 3 de susceptibilidad (Tabla IIc). Finalmente, el mapa de conflictos de uso (Tabla IId) es más homogéneo, quedando reducido su alcance a grado 2 y 1 de susceptibilidad, siendo el dato más elevado, el alto grado de conflicto, representado por las zonas de vivienda informal (barrios). Es importante resaltar que en el mapa no ponderado, la zona sin conflicto de uso alcanzó grado 3 de susceptibilidad, pero como la mayor parte de ese polígono lo ocupa el Parque Nacional El Ávila y en él no se registraron procesos de remoción en masa importantes, el sistema lo reclasifica a grado 1 en el mapa ponderado.

Cabe destacar que la ponderación se realizó considerando la influencia diferencial de cada parámetro o factor de terreno sobre la estabilidad o susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa. Para ello se analizó espacial y digitalmente los diferentes mapas de susceptibilidad temáticos para establecer los pesos en porcentaje de acuerdo al juicio de expertos con técnicas de evaluación multicriterio.

Mapa de susceptibilidad final y calibración del modelo

En el mapa de susceptibilidad final, generado de la superposición algorítmica de

geología, ya que ésta jugó un papel fundamental en los eventos de diciembre de 1999. Las unidades geomorfológicas empleadas están estrechamente vinculadas a la geología y a las condiciones climáticas del área, por lo que se les dio el segundo peso en la ponderación. En cuanto



Ubicación regional



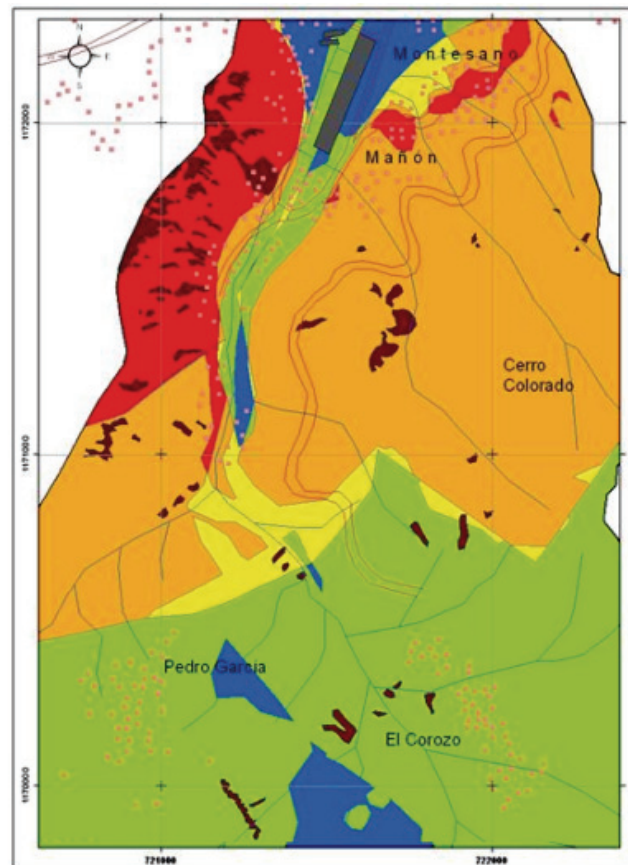
Ubicación Nacional



Categoría de Susceptibilidad	Área (ha)	%
Muy alto	30,31	3,91
Alto	168,29	8,14
Medio	18,58	2,00
Bajo	329,29	35,49
Muy bajo	375,74	40,45
Total	927,70	100,00



Figura 2. Mapa de susceptibilidad final a los procesos de remoción en masa.



Categoría de Susceptibilidad Final	Superficie de la Unidad (ha)	Superficie deslizada (ha)
Muy alto	36,31	4,88
Alto	168,29	2,17
Medio	18,56	0,16
Bajo	329,20	1,36
Muy bajo	375,74	0,00
Total	927,70	8,57

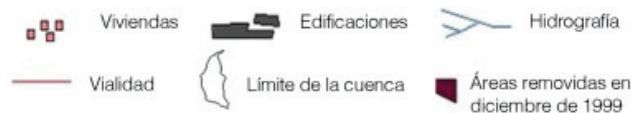
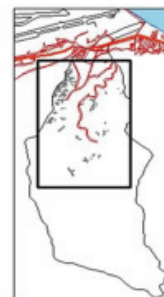


Figura 3. Calibración del modelo.

as capas de susceptibilidad específica ponderada, solo se muestra la probabilidad con la que se puede producir un movimiento de masa (Figura 2). Se aprecia que existen zonas con susceptibilidad de categoría "muy alta"; la mayoría está situada en la cuenca baja, donde coinciden la unidad geomorfológica deno-

minada "conjunto de laderas de vertientes disectadas", la formación geológica esquistos de Tacagua, los intervalos de pendiente media del terreno de 18 a 33% y sin conflictos de uso. Se observan, algunas pequeñas áreas de "muy alta" susceptibilidad en la unidad geomorfológica "laderas de vertientes onduladas disectadas", igualmente ubicada sobre los esquistos de Tacagua y con el mismo rango de pendiente (18-33%), pero en una zona de conflicto medio a alto. En el mapa síntesis, predominan las áreas de "muy baja" a "baja" susceptibilidad, abarcando el 75% de la superficie de la microcuenca de drenaje, es decir, 704,54 de 927,70ha. Las áreas

de “muy alta” a “alta” susceptibilidad corresponden solo a una susceptibilidad de 204,6ha, lo que representa 22,05% del total; las de mediana susceptibilidad son prácticamente inexistentes, ocupando el 2%, y se comportan como una especie de área de transición (Tabla III).

En atención a estos resultados, se debe aclarar que es fundamental conocer el nivel de incertidumbre del modelo, para lo cual se calibró superponiendo al mapa final de susceptibilidad, el área deslizada durante el evento extremo de diciembre de 1999 (Figura 3), encontrando que menos del 1%, es decir, sólo 8,57 de 927,70ha totales de la microcuenca fue removido. Sin embargo, de ese 1%, el 82,26% (4,88 y 2,17ha) se localiza dentro de la zona que abarca las categorías de susceptibilidad “muy alta” y “alta” (Tabla IV). Este resultado indica la validez del modelo, con un grado de incertidumbre menor al 20%, por lo que se propone su aplicación en ambas vertientes del macizo El Ávila y otras regiones del país con características físico-geográficas similares, por constituir una herramienta de análisis apropiada para proponer acciones estratégicas a la comunidad y a los organismos locales, que produzcan respuestas oportunas y eficaces ante las amenazas estudiadas.

De aquí se desprende una serie de ventajas y desventajas de la aplicación de los SIG, en estudios de esta naturaleza:

- Se puede utilizar una mayor variedad de técnicas de análisis, debido a la velocidad de los cálculos y a que las técnicas complejas requieren la superposición de un número grande de mapas y tablas.
- Es posible mejorar los modelos, evaluando los resultados y ajustando las variables de entrada. En ocasiones se utiliza un sistema de ensayo y error, corriendo el modelo varias veces hasta obtener un resultado satisfactorio.
- En el transcurso del análisis generalmente se obtiene nueva información, la

cual puede ser actualizada rápidamente en los modelos.

- Entre las desventajas se puede mencionar el relativo largo tiempo de digitalización y el peligro de poner mucho énfasis en el análisis de datos con poca influencia, lo cual puede convertir al modelo en un ejercicio teórico no aplicable.

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, llegando a obtener un mapa que englobe las características de todos ellos. Si bien clásicamente los trabajos de este tipo se abordan con sistemas raster, la utilización de un sistema vectorial para la realización de análisis espacial que implique superposiciones, permite trabajar con mapas a diferentes escalas. Sin embargo, hay que precisar que las dificultades surgidas en el momento de realizar los análisis con un sistema de tipo vectorial aumentan exponencialmente con el número de variables involucradas, lo que no sucede con otro tipo de sistemas.

Como producto del modelaje, que implicó el cruce geométrico de los mapas ponderados, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa de la microcuenca de la quebrada Curucutí, en el municipio Maiquetía del Estado Vargas. Para obtener el mapa final, empleando plataforma SIG, se seleccionaron 4 variables con incidencia en la remoción de material, a saber, geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflictos de uso. Cada variable fue sometida a un análisis estadístico para observar cuales valores son más frecuentes en la zona afectada, y con base en estos resultados, clasificar los mapas para ser superpuestos. Se emplearon dos tipos de superposiciones: sin ponderar las variables (mapa de susceptibilidad específica) y ponderando las variables (mapas de susceptibilidad específica ponderada).

Las adaptaciones incorporadas al modelo original consistieron en adición de la ponderación, ya

que sólo se basan en los pesos sin ponderar, y cambio de los rangos y las categorías de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa.

Con la aplicación del modelo resulta que la zona de más alta probabilidad a los procesos de remoción en masa en la microcuenca objeto de estudio es el sector donde coinciden la formación geológica Esquisto de Tacagua, el Conjunto de Vertientes Disectadas, las Pendientes Medias entre 3 y 18%, y las Zonas sin Conflictos de Uso. Del mapa final se puede deducir que la zona con alta potencialidad a desplazarse no abarca grandes superficies, sino que está reducida y dispersa en algunos sectores dentro de la microcuenca. El modelo se ajusta a la realidad en un 80%, por lo que sus resultados son bastante confiables.

Se recomienda pasar a una segunda etapa de la investigación, la cual consistirá en incorporar los detonantes, tales como las precipitaciones y/o los sismos, para generar mapas de amenaza por procesos de remoción en masa. Otra recomendación es la de usar el modelo como una herramienta de pronóstico de orden local, que permita orientar acciones tendentes a la prevención y mitigación de los efectos que puedan ocasionar los procesos de remoción en masa.

REFERENCIAS

AUAEV (2003) *Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife-Los Caracas*. Autoridad Única de Área para el Estado Vargas / Ecology and Environment. Caracas, Venezuela. www.aaev.gov.ve (Consulta 21/12/2003).

AUAEV (s.f.) *Proyectos*. Autoridad Única de Área para el Estado Vargas. Venezuela. www.aaev.gov.ve

Brabb EE (1984) Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. En *4th Int. Symp. on Landslides*. Canadá. pp. 58-72.

Brabb EE (1987) Analyzing and portraying geologic and cartographic information for land planning, emergency response and decision-making in San Mateo county. En *SIG'87*. Am. Soc. Photogrammetry Remote Sensing. Falls Church, VI, EEUU. pp. 362-374.

Brabb EE, Guzzetti F, Mark R, Simpson RW (1989) The extent of landsliding in Northern New Mexico and similar semi-arid regions. En *Landslides in a Semi-Arid Environment*. Inland Geol. Soc. Riverside, CA, EEUU. Vol. 2, pp. 163-173.

Carrara A (1983) Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Math. Geol.* 15: 403-427.

Cartografía Nacional (1979) *Hojas Maiquetía (6847-IV-NO) y 23 de Enero (6847-IV-SO)*. Caracas, Venezuela.

Castro E, Valencia A, Ojeda J, Muñoz F, Fonseca S (2001) *Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica*. INGEOMINAS / Corporación

TABLA IV
PORCENTAJE DE REPRESENTACIÓN DE LA SUPERFICIE DESLIZADA EN CADA CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD

Categoría de susceptibilidad	Superficie de la categoría (ha)	Superficie removida (ha)	Porcentaje que representa la superficie removida en cada categoría de susceptibilidad
Muy Bajo	375,34	0,00	0,00
Bajo	329,20	1,36	15,86
Medio	18,56	0,16	01,88
Alto	168,29	2,17	25,32
Muy Alto	36,31	4,88	56,94
Total	927,70	8,57	100,00

- Autónoma Regional del Valle del Cauca / Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 166 pp.
- Foghin S (2002) *Tiempo y clima en Venezuela: Aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Miranda José Manuel Siso Martínez. Caracas, Venezuela. 98 pp.
- IGVSB (2002) *Proyecto Ávila. Mapa de Riesgo*. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela.
- Lima de Montes Y, González Moradas MR (2002) Método de validación de Sistema de Información Geográfica para la obtención de mapas de susceptibilidad a deslizamientos. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=303145> (Consulta 25/11/2004).
- Méndez W (2005) *Estudio hidrogeomorfológico de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, vertiente norte del Macizo del Ávila, estado Vargas, Venezuela*. Tesis. Universidad Pedagógica Experimental Libertador - Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela. 129 pp.
- MARNR (1983) *Mapa de la vegetación actual de Venezuela*. Escala 1:500000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela.
- MEM (1997) *Léxico estratigráfico de Venezuela*. 3ª ed. Publicación Especial N°12. Boletín de Geología. Ministerio de Energía y Minas. Caracas, Venezuela. Tomos I y II.
- MMH (1970) *Léxico estratigráfico de Venezuela*. 2ª ed. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Caracas, Venezuela.
- Murai S (1999) *SIG, Manual Base: Conceptos Fundamentales*. Selper, 15: 1-72.
- Newman EB, Paradis AR, Brabb EE (1978) *Feasibility and cost of using a computer to prepare landslide susceptibility maps of the San Francisco Bay region, California*. Bulletin 1443. U.S. Geological Survey. Reston, VI, EEUU. 29 pp.
- Sánchez R, Urrego LF, Mayorga R, Vargas G (2004) Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamientos en tiempo real. En *Simposio Latinoamericano de Control de erosión, Colombia*. www.ideam.gov.co
- Urbani F (2000a) Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos* 33. Actualizado en *Geos* 35: marzo, 2002 (en CD).
- Urbani F (2000b) Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999. En *Mem. XVI Sem. Venez. de Geotecnia: Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI, la experiencia para proyectos del futuro*. Sociedad Venezolana de Geotecnia. Caracas, Venezuela. pp. 179-193.
- Urbani F (2002a) El río Miguelena de Camurí Grande, estado Vargas: Una ventana a la geología de la Cordillera de la Costa - Guía de excursión. *Excursiones Geológicas N°02-1*. Sociedad Venezolana de Geólogos. Caracas, Venezuela.
- Urbani F (2002b) Geología del área de la autopista y carretera vieja Caracas - La Guaira, Distrito Capital y estado Vargas: Guía de excursión. *Geos* 35.
- Urbani, F (2002c) Geología del estado Vargas y las unidades ígneo-metamórficas de la Cordillera de la Costa. En *Mem. III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica y III Jornadas de Sismología Histórica*. Colección Serie Técnica N°2. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Caracas, Venezuela. pp. 236-240.
- Urbani F (2002d) Nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos* 35 (en CD).
- Urbani F, Rodríguez J, Barboza L, Rodríguez S, Cano V, Melo L, Castillo A, Suárez J, Vivas V, Fournier H (2000) Geología del estado Vargas, Venezuela. En *Sem. Int. Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela*. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

ADAPTATION AND IMPLEMENTATION OF A ZONING MODEL FOR MASS MOVEMENT SUSCEPTIBILITY THROUGH OF A GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

Scarlet Cartaya, Williams Méndez and Henry Pacheco

SUMMARY

The main purpose of this study is to adapt and apply a model for the zonation and analysis of the spatial distribution of susceptibility to mass movement, using multivariate statistics and Geographical Information System (GIS), as a methodological alternative for decision-making by governmental organizations and communities. Automatic spatial data analysis systems were used for processing, analysis and synthesis of the different variables (surface geology, geomorphology, terrain slope and use conflicts). These systems were the Vertical Mapper Module of MapInfo, used for handling of altimetric information, ArcShell to facilitate adjustment and ArcView for arrangement of the thematic layers and final

map presentation. It was concluded that a) the adaptation of the original model, suggested by INGEOMINAS, Colombia, had an 80% coincidence with the photointerpretation of the studied event, in the central coast of Venezuela and, therefore, the calibration of the model was regarded as successful; and b) in the implementation of the modified model the zone of highest susceptibility to mass movement in the selected micro-basin is an area located in low terrain, where the so-called dissected slope hillsides geomorphological unit coincides with the Tacagua Schist Lithodeme, a mean slope range of 18-33%, and where there are no use conflicts.

ADAPTAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM MODELO DE ZONIFICAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE AOS PROCESSOS DE REMOÇÃO EM MASSA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Scarlet Cartaya, Williams Méndez e Henry Pacheco

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é adaptar e aplicar um modelo para a zonificação e análise da distribuição espacial da susceptibilidade a processos de remoção em massa empregando estatística multivariada e um Sistema de Informação Geográfica (SIG), como uma alternativa metodológica que permita colocar a disposição de entes governamentais e das comunidades uma ferramenta que facilite a tomada de decisões. Para o processamento, análise e síntese das diferentes variáveis (geologia de superfície, geomorfologia, pendente média do terreno e conflitos de uso), se utilizaram sistemas automatizados de análise de data espacial como o Módulo Vertical Mapper MapInfo para a manipulação da informação altimétrica, ArcShell para facilitar o ajuste e arranjo das capas temáticas, e

ArcView para realizar os cruzamentos de capas temáticas índices e apresentação final dos mapas. Concluiu-se que a) referente à adaptação do modelo original proposto por INGEOMINAS de Colombia, a coincidência com a fotointerpretação do evento estudado no litoral central de Venezuela é de 80%, pelo que a calibração pode ser qualificada como exitosa; e b) a respeito da aplicação do modelo modificado, que a zona de mais alta susceptibilidade aos processos de remoção em massa na área da microbacia selecionada está localizada na parte baixa da mesma, onde coincidem a unidade geomorfológica denominada conjunto de ladeiras de vertentes dissecadas, o litodema Esquisto de Tacagua, a faixa de pendente média do terreno de 18-33%, e onde não existem conflitos de uso.