

Validación de la técnica compensatoria aditiva para la ponderación de variables que intervienen en la génesis de procesos de remoción en masa

Scarlet Cartaya

scarletcartaya@gmail.com.

Henry Pacheco

henrypacheco@gmail.com.

Williams Méndez

williamsmendez@gmail.com.

Juan Carrera

juan.jmcr14@gmail.com.

Núcleo de Investigación

“Estudios del Medio Físico Venezolano”

UPEL – Instituto Pedagógico de Caracas

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue emplear la herramienta Sistema de Información Geográfica (SIG) y la Técnica Compensatoria Aditiva (TCA), para asignarle pesos ponderados a las variables que intervienen en la activación de procesos de remoción en masa. Para cumplir con este propósito, se seleccionó intencionalmente, un total de 50 investigadores de distintas instituciones a nivel nacional, a los cuales se les solicitó completar una matriz de ponderación con las variables de interés. Se observó una tendencia en asignar mayor porcentaje a las variables geología y pendiente del terreno con un 30 % cada una. La segunda opción correspondió a las formas de relieve con 19 %, y las tercera y cuarta jerarquías a la cobertura vegetal y los conflictos de uso con 15 % y 5 % respectivamente. La aplicación de

Recibido: julio, 2009

Aceptado: septiembre, 2009

la TCA resultó ser una alternativa complementaria al Método Explícito Semianalítico para asignar ponderación a las variables involucradas.

Palabras clave: Técnica Compensatoria Aditiva, procesos de remoción en masa, validación estadística, variables intervinientes, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

Validation of the additive compensatory technique for measurement of variables which intervene in the genesis of mass removal processes

The purpose of this investigation was to use the geographic Information System tool(GIS) and the Additive Compensatory Technique (ACT), to assign measurement to the variables which involve in the activation of processes of removal in mass. To comply this purpose, we intentionally selected a total of 50 investigators from various national institutions to which we asked to complete a matrix of measurement with the variables of interest. We observed a tendency to assign greater percentage to the variables geology and slope of the land with 30% each. The second option corresponded to the forms of relief with 19% and the third and fourth hierarchies to the vegetal cover and the conflicts of usage with 15% and 5% respectively. The application of ACT proved to be a complementary alternative to the semi analitical explicit method for assigning measurement to the variables involved.

Keywords: Additive compensatory techniques, processes of removal in mass, statistical validation, intervening variables, geographic information systems.

RESUMÉE

Validation de la technique à valeur aditive pour donner une pondération aux variables intervenant dans l'activation du processus de remuement en masse

Le but de cette recherche est d'employer l'outil « Système d'Information Géographique (SIG) » et la « Technique à Valeur Additive (TVA) », pour donner une pondération aux variables intervenant dans l'activation du processus de remuement en masse. Pour réussir à faire cela, on a choisi 50 chercheurs de manière intentionnelle. Ces chercheurs, travaillant dans de différentes institutions nationales, ont complété une matrice de pondération avec les variables d'intérêt. On a remarqué une tendance à donner plus de pourcentage aux variables géologie et pente du sol avec 30 % chacune. Le deuxième choix fait référence aux formes de relief avec 19%, et la troisième et quatrième hiérarchie correspondent à la couverture végétale et aux conflits d'usage avec un 15 et 5 % respectivement.

L'application de la TCA c'est une alternative servant à compléter la « Méthode Explicite Semi-Analytique » pour donner une valeur aux variables involucrées.

Mots clés: Technique à Valeur Additive, processus de remuement en masse, validation statistique, variables intervenant, système d'information géographique.

RESUMO

Validação da técnica de compensatórias aditiva de compensação para as variáveis envolvidas na gênese do processo de remoção em massa

O objetivo desta pesquisa foi usar a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a técnica de compensatórias (TCA), ponderada para atribuir pesos para as variáveis envolvidas na ativação de processos de desabamento. Para cumprir este propósito, intencionalmente selecionou um total de 50 pesquisadores de várias instituições nacionais para os quais foram convidados a preencher uma matriz de ponderação das variáveis de interesse. Houve uma tendência para atribuir maior percentual para a geologia e inclinação da terra, com 30% cada. A segunda opção correspondeu às formas de relevo com 19% e no terceiro e quarto hierarquias a vegetação e conflitos de uso com 15% e 5% respectivamente. A aplicação da TCA provou ser uma alternativa complementar ao método explícito semi-analíticas para atribuir peso às variáveis envolvidas.

Palavras-chave: Aditivo técnicas compensatórias, os processos de perda de massa, a validação estatística, as variáveis intervenientes, sistemas de informação geográfica.

Introducción

Los procesos de remoción en masa son una de las causas más frecuentes de desastres siconaturales en Venezuela, afectando continuamente poblaciones, vialidades, líneas y ductos de servicios, escuelas y otras importantes infraestructuras. La definición de medidas adecuadas para prevenir los efectos negativos y reducir las pérdidas ocasionadas por los fenómenos de remoción en masa, requiere conocer las características de los mismos y establecer anticipadamente las áreas donde ellos podrían manifestarse, es decir, identificar las áreas de influencia donde la manifestación de un evento adverso pueda tener impacto.

En la actualidad, la propuesta de una planificación efectiva del uso territorial, emplea tecnologías como la Geomática, constituyendo la más reciente plataforma tecnológica para el manejo de información mediante *hardwares* y *softwares*.

En los últimos años, los deslizamientos ocasionados por las lluvias, dan cuenta de lo vulnerable que son los habitantes de las regiones montañosas ante estas amenazas naturales. Por lo que el objetivo principal de esta investigación fue aplicar la Técnica Compensatoria Aditiva para ponderar las variables que intervienen en el origen de los procesos de remoción en masa en las vertientes de las regiones montañosas venezolanas. Esta técnica se basa en el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) de Thomas Saaty, (1990), de la Evaluación Multicriterios (EMC), con la finalidad de garantizar la mayor objetividad posible en la asignación de pesos a cada una de las variables consideradas intervinientes en la génesis o activación de procesos de remoción en masa.

Situación Problemática

En Diciembre de 1999, por un lapso de 20 días, se registró la presencia de una vaguada en altura sobre el mar Caribe, mucho más persistente que lo normal debido a que fue bloqueado su desplazamiento por la presencia de una zona de alta presión en el océano Atlántico, resultante de los restos de frentes fríos que se desprendían del huracán Lenny, ubicado sobre el Atlántico Norte.

La intensidad y el volumen de las precipitaciones durante los días 14, 15 y 16 de Diciembre de 1999, sumaron más del total de precipitaciones que se han registrado para cualquier año, lo que sobresaturó el suelo y los materiales expuestos principalmente sobre las pendientes de la vertiente norte del Parque Nacional El Ávila en su extremo occidental, generando complejos procesos de remoción en masa. La intensa erosión generó aludes torrenciales de gran fuerza expansiva, y como consecuencia, se registraron grandes pérdidas materiales y humanas, quedando el estado Vargas en una situación de emergencia.

Al no descartarse la probabilidad de ocurrencia de un evento similar al de 1999, se hace necesario generar información detallada para las cuencas de la vertiente norte de la Serranía del Litoral, referente a la zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa, para que los habitantes en conjunto con las autoridades locales tomen las medidas necesarias a fin de minimizar las probabilidades de ocurrencia de desastres sociales. Por esta razón es necesario proponer metodologías para construir mapas de zonifica-

ción de la amenaza por procesos de remoción en masa, bajo criterios sólidos y objetivos.

Justificación de la Investigación

Esta investigación surge de la necesidad de superar las limitaciones que los métodos utilizados en trabajos previos, nos imponen al momento de ponderar y categorizar de la forma más objetiva posible, la asignación de pesos a las variables que en conjunto, causan la activación de los procesos de remoción en masa sobre las vertientes montañosas.

La investigación nace en el año 2005 cuando el equipo de trabajo se inicia en el uso y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los estudios relacionados con los procesos de remoción en masa. Se crea el proyecto titulado "Adaptación de un método para analizar la susceptibilidad a los deslizamientos con Sistema de Información Geográfica, caso: Microcuenca de drenaje de la Quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela", registrado bajo el N° 05-040.

En este primer proyecto se empleó la metodología propuesta por INGEOMINAS de Colombia, para construir mapas de susceptibilidad a los procesos de remoción en masa. La misma consiste en el empleo del Método Explícito Semianalítico para asignar puntajes ponderados a las variables y unidades de las variables, intervinientes en los movimientos gravitacionales. La determinación cuantitativa de las relaciones entre unidades de variables y los procesos de remoción en masa, se realiza mediante el procesamiento geoestadístico de los datos.

Para la construcción de los mapas de susceptibilidad se trabajó con el análisis estadístico univariado y multivariado. El primero, para generar los mapas de susceptibilidad específica, y el segundo, para generar el mapa de susceptibilidad final. Para el cruce de los mapas se diseñó un algoritmo donde se incluyen todas las variables intervinientes.

Sobre la base de los resultados positivos obtenidos en el proyecto anterior, se decidió aplicar la metodología en otras cuencas del mismo sector costero-montañoso. Por ello se concibió en el año 2006, un segundo proyecto titulado: "Aplicaciones de la Geomática en el estudio integral de los deslizamientos en el Macizo El Ávila, tramo central de la Cordillera de la Costa, Venezuela", inscrito con el N° 06-014 en la UPEL-IPC. Se concluyó que la metodología se podía aplicar en todas las cuencas de drenaje de la vertiente Norte de la Serranía del Litoral. Así mismo, se determinó la poca confiabilidad

del Método Explícito Semianalítico para la asignación de pesos ponderados, por no ser tan objetiva.

Pasar de los mapas de susceptibilidad a los mapas de amenaza, implica superar las limitaciones detectadas y avanzar en la búsqueda de un conjunto de métodos que contribuyan a los fines propuestos. Es así como se crea en el año 2007, el tercer proyecto de investigación macro, titulado: "Instrumentación de la Geomática para el estudio de los deslizamientos en el Sistema Montañoso del Caribe, tramo central de la Cordillera de la Costa, Venezuela", registrado con el N° 07-120 en la UPEL-IPC. En este proyecto se emplea el método heurístico, el cual incluye un conjunto de métodos auxiliares que se combinan entre sí, y que nos permiten subsanar las limitaciones encontradas.

Importancia de la Investigación

En Venezuela, las instituciones universitarias deben abordar la temática de la Gestión de Riesgos por mandato del Consejo Nacional de Universidades (CNU) según la resolución emanada el 28 de Noviembre de 1997, orientada a desarrollar proyectos y programas en materia de Educación y Gestión de Riesgos en los ámbitos de aspectos académicos, formación ciudadana y planta física, especificados en el "Plan Hemisférico de Acción del Sector Educativo para la Reducción de la Vulnerabilidad a los Desastres Socio-Naturales" (EDUPLAN Hemisférico), en la I Conferencia Hemisférica del Sector Educativo para la Mitigación de Riesgos y Desastres Socio-Naturales (1998) y la II Conferencia Hemisférica del Sector Educativo para la Reducción de la Vulnerabilidad a los Desastres Socio-Naturales (2000) (Pacheco y Suárez, 2009).

Según la UPEL (2008), Venezuela es un país caracterizado por estar expuesto a la ocurrencia de eventos como sismos, maremotos, lluvias extraordinarias, inundaciones, movimientos en masa, huracanes, tormentas tropicales, incendios, descargas eléctricas, explosiones, amenazas tecnológicas (químicas y/o bacteriológicas) entre otras. Este hecho, y la ocurrencia en tiempos recientes de intensos eventos catastróficos, han conducido al Estado venezolano a solicitar y proponer el desarrollo de políticas para la gestión del riesgo.

Así, la Presidencia de la República en Febrero de 2005, creó la Comisión Nacional de Gestión de Riesgos, constituida por cinco grupos de apoyo, para conformar el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos, donde las Universidades debían participar activamente. Actualmente, con la aprobación de la *Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos* en Enero de 2009, se derogó esa comisión y se creó, según el artículo 10 de la mencionada

Ley, el Consejo Nacional de Gestión Integral de los Riesgos Socionaturales y Tecnológicos como ente rector de la política nacional en esa materia.

Los eventos catastróficos ocurridos recientemente a nivel mundial han puesto de manifiesto la extrema debilidad de la estructura de prevención, protección y respuesta ante los riesgos naturales. El razonamiento clásico de la falta de recursos materiales, humanos o financieros no se puede aplicar debido a la amplia cooperación que la solidaridad internacional aporta en todas las ocasiones. El problema es de naturaleza mucho más profunda y preocupante, por tanto debe abordarse integralmente (Foro Euromediterráneo sobre Prevención de Desastres, 2003).

En atención a esto, a nivel latinoamericano se propone la creación del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y de Respuesta ante Desastres, en el que el Estado a través de su Gobierno y de las instituciones económicas, políticas y sociales, de forma coherente y coordinada, busca prioridades, rediseña estructuras y plantea la búsqueda de sinergias, así se entiende en Arias (s. f.) cuando afirma que la situación actual en materia de Gestión de Riesgos y Respuesta ante los Desastres es muy diferente en cada país, se observa un cierto letargo, pero los respectivos gobiernos e instituciones sociales saben que algo tienen que hacer, y poseen una corriente del conocimiento en materia de política social que puede proporcionar una gran eficiencia al sistema y esa es la gran esperanza de futuro en la América Latina.

Metodología

Técnica Compensatoria Aditiva

En este trabajo se ha elegido para la determinación objetiva de los pesos asignados a los criterios que intervienen en los procesos de remoción en masa, una Técnica Compensatoria Aditiva denominada Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) de Thomas Saaty (1990) de la Evaluación Multicriterios (EMC). Este método se basa en el desarrollo de prioridades (en este caso, la importancia del criterio para la generación de un proceso de remoción en masa), que a su vez son derivadas a partir de una evaluación de concordancia o pairwise, llamados así debido a que sólo se permite el análisis de relación de un par de criterios a la vez. Luego de identificar los pares de criterios, estos son cualificados y cuantificados mediante juicio de expertos.

En este análisis cada parámetro recibe un puntaje de acuerdo al nivel de importancia de la relación de pares analizados. Estos valores de concordancia

son luego ingresados al MJA, convirtiendo esta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineales.

Procedimiento

Se trata de un procedimiento de comparación por pares de los criterios que parte de una matriz cuadrada, en la cual los números de filas y columnas están definidos por el número de factores de inestabilidad considerados. A cada elemento de la matriz se le asigna un valor que representa la importancia relativa del valor de su fila, con respecto a la columna en cuanto a posible inestabilidad.

Se diseñaron la matriz con su correspondiente escala de valoración para estimar el coeficiente, y la guía de instrucciones (ver Cuadros 1 y 2). Se envió vía correo electrónico para ser respondida por un grupo de profesionales previamente seleccionados de manera intencional, especialistas en las áreas de Geomorfología, Geología, Geotecnia, Geografía Física, Ciencias de la Tierra y afines, y pertenecientes a diversas instituciones nacionales e internacionales.

Se recibieron un total de 50 (cincuenta) matrices-muestras, se sometieron a evaluación y se clasificaron en 5 (cinco) grupos según la especialidad de los investigadores. Los resultados obtenidos fueron sometidos a tratamiento estadístico, promediándolos en grupos de investigadores, para un total de cinco grupos. Estos datos sirvieron para la identificación de los criterios de decisión, la estructuración de los factores de una forma jerárquica, el establecimiento de la importancia relativa y la asignación de los pesos a cada variable.

Análisis e Interpretación de los Resultados

Análisis de los Resultados

Como factores condicionantes de los procesos de remoción en masa se seleccionaron las siguientes variables: Geología, Pendiente del Terreno, Formas de Relieve, Cobertura Vegetal y Conflictos de Usos. A cada variable se les asignó pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad, según el criterio de los investigadores consultados. Los resultados muestran claramente una contundente inclinación por parte de los investigadores, hacia las variables Geología y Pendiente del Terreno, con asignaciones promedio de peso ponderado de un 30 % para cada una de ellas, después continúan la variable Formas de Relieve con un 19 %, Cobertura Vegetal con un 15% y finalmente los Conflictos de Usos con un 5 %, según se muestra en los Cuadros 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Cuadro 1

Modelo de Matriz de Jerarquías Analíticas para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) (j)	Geología	Pendiente del terreno	Formas de relieve	Cobertura vegetal	Conflictos de usos	\hat{a}_{xj}	\hat{a}_{xj}/n	Peso relativo $\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n)/\hat{a}_{xj}/n$
Geología	1							
Pendiente del terreno		1						
Formas de relieve			1					
Cobertura vegetal				1				
Conflictos de usos					1			
						$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$		

Cuadro 2

Escala de valoración para estimar el coeficiente a asignarle a cada una de las variables consideradas en la matriz de ponderación

Nivel de importancia	Definición	Descripción
1	Igual preferencia	Los dos criterios (x, j) contribuyen de igual manera a los procesos de remoción en masa
2	Moderada preferencia	Pasadas experiencias favorecen ligeramente al criterio (x) sobre el (j)
3	Fuerte preferencia	Prácticamente la dominancia del criterio (x) sobre el (j) está demostrada
4	Absoluta preferencia	Existe evidencia que determina la supremacía del criterio (x)

Cuadro 3
Promedios parciales de los pesos asignados por el Grupo N° 1 para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) (j)	Geología	Pendiente del terreno	Formas de relieve	Cobertura vegetal	Conflictos de usos	\hat{a}_{xj}	\hat{a}_{xj}/n	Peso relativo $\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n)/\hat{a}_{xj}/n$
Geología	1	2	3	4	4	14,00	2,80	0,35
Pendiente del terreno	0,50	1	2	4	4	11,50	2,30	0,28
Formas de relieve	0,33	0,50	1	3	4	8,83	1,76	0,22
Cobertura vegetal	0,25	0,25	0,33	1	2	3,83	0,76	0,09
Conflictos de usos	0,25	0,25	0,25	0,50	1	2,25	0,45	0,06
$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$							8,08	1

Cuadro 4
Promedios parciales de los pesos asignados por el Grupo N° 2 para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) (j)	Geología	Pendiente del terreno	Formas de relieve	Cobertura vegetal	Conflictos de usos	\hat{a}_{xj}	\hat{a}_{xj}/n	Peso relativo $\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n)/\hat{a}_{xj}/n$
Geología	1	2	2	2	3	10,00	2,00	0,28
Pendiente del terreno	0,50	1	2	3	4	10,50	2,10	0,29
Formas de relieve	0,50	0,50	1	2	3	7,00	1,40	0,19
Cobertura vegetal	0,50	0,33	0,50	1	4	6,33	1,26	0,18
Conflictos de usos	0,33	0,25	0,33	0,25	1	2,16	0,43	0,06
$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$							7,19	1

Cuadro 5

Promedios parciales de los pesos asignados por el Grupo N° 3 para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) (j)	Geología	Pendiente del terreno	Formas de relieve	Cobertura vegetal	Conflictos de usos	\hat{a}_{xj}	\hat{a}_{xj}/n	Peso relativo $\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n)/\hat{a}_{xj}/n$
Geología	1	2	3	4	4	14,00	2,80	0,33
Pendiente del terreno	0,50	1	2	4	4	11,50	2,30	0,27
Formas de relieve	0,33	0,50	1	4	4	9,83	1,96	0,23
Cobertura vegetal	0,25	0,25	0,25	1	3	4,75	0,95	0,11
Conflictos de usos	0,25	0,25	0,25	0,33	1	2,08	0,41	0,05
$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$							8,43	1

Cuadro 6

Promedios parciales de los pesos asignados por el Grupo N° 4 para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) (j)	Geología	Pendiente del terreno	Formas de relieve	Cobertura vegetal	Conflictos de usos	\hat{a}_{xj}	\hat{a}_{xj}/n	Peso relativo $\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n)/\hat{a}_{xj}/n$
Geología	1	1	4	1	4	11,00	2,20	0,28
Pendiente del terreno	1	1	4	3	4	13,00	2,60	0,33
Formas de relieve	0,25	0,25	1	1	4	6,50	1,30	0,16
Cobertura vegetal	1	0,33	1	1	4	7,33	1,46	0,18
Conflictos de usos	0,25	0,25	0,25	0,25	1	2,00	0,40	0,05
$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$							7,96	1

Cuadro 7

Promedios parciales de los pesos asignados por el Grupo N° 5 para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) (j)	Geología	Pendiente del terreno	Formas de relieve	Cobertura vegetal	Conflictos de usos	\hat{a}_{xj}	\hat{a}_{xj}/n	Peso relativo $\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n)/\hat{a}_{xj}/n$	
Geología	1	1	4	1	4	11,00	2,20	0,28	
Pendiente del terreno	1	1	4	3	4	13,00	2,60	0,33	
Formas de relieve	0,25	0,25	1	1	4	6,50	1,30	0,16	
Cobertura vegetal	1	0,33	1	1	4	7,33	1,46	0,18	
Conflictos de usos	0,25	0,25	0,25	0,25	1	2,00	0,40	0,05	
							$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$	7,96	1

Cuadro 8

Promedios parciales de los pesos asignados por grupo para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

Variables Grupos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	\hat{a}_{xj}	Peso ponderado promedio \hat{a}_{xj}/n	
Geología	0,35	0,33	0,28	0,28	0,28	1,51	0,30	
Pendiente del terreno	0,28	0,27	0,33	0,29	0,33	1,50	0,30	
Formas de relieve	0,22	0,23	0,16	0,19	0,16	0,97	0,19	
Cobertura vegetal	0,09	0,11	0,18	0,18	0,18	0,75	0,15	
Conflictos de usos	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,27	0,05	
							$\hat{a}(\hat{a}_{xj}/n) =$	1

Ponderación para cada variable

GEOLOGÍA. Como puede observarse en el Cuadro 8, la variable Geología fue ponderada por los grupos de investigadores con valores que oscilan entre el 35% y el 28%, lo cual se corresponde perfectamente con los planteamientos teóricos postulados en la literatura especializada, asignándole a esta variable una absoluta preferencia, según lo indicado en el Cuadro 2. Entendemos que los investigadores consultados aprecian suficientes evidencias para determinar la supremacía de la Geología sobre las demás variables, considerando su naturaleza, caracteres mecánicos, físicos y químicos, mineralogía, grado de intemperismo y tectonismo (densidad de fracturamiento); así, Urbani (2000, 2002a, 2002b) analiza la geología como una de las principales variables ambientales que intervienen en la estabilidad de vertientes o taludes, y para ello considera los siguientes indicadores:

LITOLOGÍA. Se entiende por litología al conjunto de materiales que conforman la estructura geológica e influyen en el relieve a través de su naturaleza, caracteres mecánicos, físicos y químicos. Se entiende por materiales de la estructura geológica a las rocas, es decir, asociaciones estables de minerales. Para los fines de esta investigación nos interesan los afloramientos litológicos superficiales. Esta puede ser valorada a partir de varias propiedades como: Composición mineralógica o tipo de material (roca o formación superficial), textura, estructura, grado de meteorización y grado de fracturamiento. Para este alcance del modelo, el factor litología se evalúa a partir de la caracterización mineralógica y la información cronoestratigráfica.

ESTRUCTURAS. Teniendo en cuenta que este análisis es regional, el grado de fracturamiento de los materiales litológicos se estima a partir de la cartografía existente de fallas geológicas. Como criterio de valoración de este parámetro, se toma la susceptibilidad directamente proporcional a la densidad de fracturamiento.

GEOTECNIA. Según Galvão y otros (2008) y Cacya (2004), la estabilidad del suelo está controlada por condiciones intrínsecas de orden químico, físico y biológico como: la textura, la estructura, los coloides (calidad mineralógica y física de las arcillas y de la materia orgánica), la profundidad del perfil, la densidad aparente, la porosidad, y la plasticidad entre otras, condiciones que determinan la resistencia al corte y dinámica de factores externos como el agua, la pendiente, el uso y la cobertura vegetal. La estimación de la estabilidad y susceptibilidad de los suelos a procesos morfodinámicos (movimientos en masa) se realiza con base en la estructura y dinámica del agua - óxidos y arcillas -, humus y las fuerzas de atracción y dispersión (fuerzas de Van der Waal's).

Un segundo criterio para la evaluación de la estabilidad o susceptibilidad de los suelos, es la dinámica del agua en el perfil, la cual es controlada por las propiedades fisicoquímicas y biológicas y que a diferencia de la erosión, no actúa un agente de transporte (agua, hielo, viento); sin embargo, el agua se encuentra íntimamente asociada a la estabilidad inicialmente, incrementando el peso de la masa a desplazarse y al ayudar al flujo descendente, una vez iniciado el movimiento en masa, ya que estrecha el límite plástico y en consecuencia promueve el proceso de fluidez.

En promedio, la variable litología fue ponderada con un 30% de influencia para la generación de fenómenos de remoción en masa, lo cual es bastante consistente con los planteamientos teóricos y los eventos ocurridos en el pasado.

PENDIENTE DEL TERRENO. Por su parte la pendiente del terreno fue ponderada con valores que oscilan entre 28% y 33%, resultando en un promedio de 30% similar al de la litología. La alta ponderación para esta variable es perfectamente entendible, por cuanto resulta del desnivel de la superficie, que revela las condiciones de rugosidad natural del terreno. La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable, por lo cual se califica la susceptibilidad con los intervalos de pendientes obtenidos del mapa de pendientes elaborado con la información del mapa topográfico, aumentando la susceptibilidad a mayor grado de inclinación de la pendiente, en función de su energía cinética y potencial.

Para el caso del tramo central de la Cordillera de la Costa, son bien conocidos los altos valores de pendiente que caracterizan a ambas vertientes del Macizo El Ávila, por lo cual la supremacía de esta variable está también plenamente justificada.

FORMAS DE RELIEVE. Las formas de relieve son elementos de la superficie terrestre que se definen por su constitución y características geométricas. Son producto de las interacciones entre los procesos endógenos y exógenos, expresados en la superficie terrestre. Obviamente, la abundancia de vertientes cóncavas, convexas y onduladas en ambas vertientes del Macizo El Ávila, justifica la consideración de la variable Formas de Relieve en el tercer lugar, con valores que oscilan entre 22% y 16% para un promedio general de 19% de ponderación, como factor condicionante de los procesos de remoción en masa.

COBERTURA VEGETAL. Se entiende por cobertura vegetal a la biomasa vegetal natural que cubre a una determinada superficie terrestre. El

tipo, la densidad, la capacidad de interceptación y el área de protección de cobertura vegetal, constituyen factores de resistencia o favorecimiento de procesos morfodinámicos como la erosión y los movimientos en masa. En áreas de alta pendiente y de coberturas vegetales de ciclos biológicos muy lentos y frágiles, toda intervención en éstas, hace que se aumente la susceptibilidad a la erosión, tal como lo consideran Roa (2007) y Sampaio (2006) al definir una relación entre la cobertura vegetal y los fenómenos de remoción en masa en combinación con otras características físicas.

Para el caso específico del área de interés de esta investigación, los investigadores consultados asignaron valores entre 9% y 18% para un promedio de 15%, lo cual le atribuye a esta variable una moderada influencia en la generación de movimientos en masa. Es importante destacar que, al parecer existe una amplia variabilidad de criterios entre los investigadores respecto a la importancia de esta variable, lo cual puede estar relacionado con la influencia diferencial de la vegetación, observada en movimientos gravitacionales ocurridos en el pasado.

CONFLICTOS DE USO. Los conflictos de uso se refieren al grado de conflicto o antagonismo entre el uso actual de un lugar y el uso potencial o el que se le debería dar en función de sus atributos o vocaciones naturales. Este criterio se calcula empleando una técnica cualitativa. Los conflictos pueden clasificarse desde “muy bajo”, “bajo”, “mediano”, “alto”, “muy alto”, hasta “sin conflicto”. Los criterios para definir los usos actuales y potenciales de un lugar se basan en los empleados por los organismos oficiales, algunos de ellos se ajustan según las observaciones en campo y en fotografías aéreas. Si bien no se trata de una variable netamente física, ya que se incorporan usos de tipo humano, tales como áreas de infraestructuras y cultivos; el 90% de los otros usos están asociados a elementos de origen natural.

Los conflictos se presentan cuando la actividad humana se realiza sin una adecuada planificación, especialmente en obras viales (carreteras y puentes) explotación de recursos, desarrollos urbanísticos, rellenos mal diseñados, cortes en el perfil natural de las laderas, deforestación, prácticas agrícolas deficientes en la conservación de suelos, entre otros. Todo esto promueve procesos de inestabilidad en los suelos, que en cierta medida son naturalmente vulnerables a esta clase de fenómenos y tienen graves consecuencias en el futuro. Sin embargo, la baja ponderación otorgada a esta variable por los investigadores de apenas un 5%, seguramente obedece al análisis de eventos ocurridos en el pasado sobre el área de estudio, donde se han presentado movimientos gravitacionales indistintamente en sectores con altos índices de intervención, así como en áreas de las vertientes medias y altas del Guaraira Repano, altamente conservadas.

Conclusiones

Las variables consideradas en este análisis como de mayor influencia en la generación de procesos de remoción en masa, resultaron ser la geología y la pendiente del terreno con un 30 % cada una. El segundo puesto lo ocupa las formas de relieve con 19 %, mientras que la tercera y cuarta jerarquía les corresponden a la cobertura vegetal y los conflictos de uso con 15 % y 5 % respectivamente.

La aplicación de la Técnica Compensatoria Aditiva denominada Método de las Jerarquías Analíticas, resultó ser una alternativa complementaria al Método Explícito Semianalítico para asignar puntajes ponderados a las variables que intervienen en el desenvolvimiento de los procesos de remoción en masa, en vertientes montañosas.

Integrando técnicas de Teledetección con la herramienta SIG se han desarrollado modelos en algunas cuencas de la vertiente Norte de la Cordillera de la Costa y otras en la Cordillera de los Andes venezolanos, donde se han encontrado resultados satisfactorios al calibrar dichos modelos con los registros de eventos ocurridos en las áreas estudiadas.

Los mapas de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa proporcionan una valiosa información sobre las condiciones de estabilidad de amplias regiones, lo que resulta de gran utilidad tanto en la fase de planificación de grandes obras públicas como en su fase de ejecución, a la hora de adoptar las oportunas medidas de prevención y corrección.

Las proyecciones a futuro indican que, con el transcurrir de los años, las tecnologías de la información geográfica se convierten en herramientas de mucha utilidad en el estudio de los fenómenos de remoción en masa, sobretodo por sus aplicaciones para la implementación de sistemas de alerta temprana, con fines preventivos para las comunidades.

Referencias

- Arias Vicente (s. f.). *Sistemas Nacionales de Gestión de Riesgos Catastróficos: Letargo actual y esperanza de futuro en América Latina* [Documento en línea]. Ponencia presentada en la Jornada Técnica sobre Aspectos Jurídicos, Económicos y Sociales de las Catástrofes. Disponible: www.proteccioncivil.org/es/ [Consulta: 2009, Octubre 20]
- Cacya Lourdes (2004). *Métodos de evaluación de los deslizamientos* (Compendio de Trabajos de Investigación CNDG – Biblioteca, 5, pp. 183-194). Lima, Perú: Instituto Geofísico del Perú.

- Foro Euromediterráneo sobre Prevención de Desastres (2003). *Jornada Técnica sobre Aspectos Jurídicos, Económicos y Sociales de las Catástrofes* [Documento en Línea]. Disponible: www.proteccioncivil.org/es/ [Consulta: 2009, Octubre 20]
- Galvão Lênio, Formaggio Antônio, Guimarães Eduardo, y Dar Roberts (2008). Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 63, 259–271.
- Roa José (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48 (2), 183-219.
- Saaty Thomas (1990). *Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarchy Process* (Volume I). New York, USA: Mc Graw Hill.
- Sampaio Eimar (2006). *Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da serra do mar paulista, na escala de 1:10.000*. Tesis de Doctorado no publicada, Universidad Estadual Paulista, Sao Paulo, Brasil.
- Suárez Carlos y Pacheco Henry (2008). Proyectos educativos de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador en gestión de riesgos con alcance nacional. En R. Altez y Y. Barrientos (Coord.), *Perspectivas venezolanas sobre riesgos: Reflexiones y experiencias, Volumen 1* (pp. 101-139). Caracas, Venezuela: Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Vicerrectorado de Investigación y Postgrado / Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias / Instituto Pedagógico de Caracas, Núcleo de Investigación Estudios del Medio Físico Venezolano.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2008). *Especialización en Educación y Gestión de Riesgos*. Caracas, Venezuela: Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Ciencias de la Tierra.
- Urbani Franco (2000). Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999. En: *Memorias del XVI Seminario Venezolano de Geotecnia: Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI, la experiencia para proyectos del futuro* (pp. 179-193). Caracas, Venezuela: Sociedad Venezolana de Geotecnia.
- Urbani Franco (2002a). Geología del estado Vargas y las unidades ígneo-metamórficas de la Cordillera de la Costa. En *Memorias del III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica y III Jornadas de Sismología Histórica* (Colección Serie Técnica N° 2) (pp. 236-240). Caracas, Venezuela: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.
- Urbani Franco (2002b). Nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos* [Revista en DC], 35. Disponible: Geos N° 35/Marzo 2002/UCV/Fundación Geos/Caracas.

Los autores

Scarlet Cartaya

Profesora en Ciencias Sociales Mención Geografía. Magister en Geografía Física. Candidata a Doctora en Ciencias Sociales (FACES – UCV). Miembro activo en el PPI (Nivel II). Profesora Agregado adscrita a la Cátedra de Geografía Física del Departamento de Geografía e Historia del Instituto Pedagógico de Caracas. Celular: 0414-3017791. Correo electrónico: scarletcartaya@gmail.com.

Henry Pacheco

Profesor en Ciencias Naturales Mención Ciencias de la Tierra. Magister en Geografía Física. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería (FI – UCV). Miembro activo en el PPI (Nivel I). Profesor Agregado adscrito a la Cátedra de Geodesia del Departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Pedagógico de Caracas. Celular: 0416-4246203. Correo electrónico: henrypacheco@gmail.com.

Williams Méndez

Profesor en Ciencias Naturales Mención Ciencias de la Tierra. Magister en Geografía Física. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería (FI – UCV). Miembro activo en el PPI (Nivel II). Profesor Agregado adscrito a la Cátedra de Geología del Departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Pedagógico de Caracas. Celular: 0414-2532605. Correo electrónico: williams-mendez@gmail.com.

Juan Carrera

Profesor en Ciencias de la Tierra. Candidato a Magister en Análisis Espacial y Gestión del Territorio (FHE – UCV). Profesor Instructor adscrito a la Cátedra de Geodesia del Departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Pedagógico de Caracas. Celular: 0424-1804947. Correo electrónico: juan.jmcr14@gmail.com.