

Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masa originados por las precipitaciones entre Camurí Chico y Punta Tigrillo, estado Vargas, Venezuela

Hazard Zoning of the threat of mass wasting processes caused by rainfall between Camuri Chico and Punta Tigrillo, Vargas state, Venezuela

Arismar Marcano Montilla

arismarcano@gmail.com

Scarlet Cartaya Ríos

scarletcartaya@gmail.com

**Universidad Pedagógica Experimental Libertador,
Instituto Pedagógico de Caracas**

Recibido en mayo de 2013 y publicado en septiembre 2013

RESUMEN

El objetivo fue zonificar la amenaza por movimiento de remoción en masa considerando las precipitaciones como factor desencadenante, entre las quebradas Camurí Chico y El Tigrillo, estado Vargas, con el fin de contribuir a la planificación preventiva y correctiva de riesgos locales. Se empleó: (a) análisis geoestadístico univariado y multivariado para la obtención de mapas de susceptibilidad específica ponderada y susceptibilidad final; (b) aplicación de la Teoría Compensatoria Aditiva del Método de Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC) para asignar pesos a las variables; y (c) determinación del óptimo pluviométrico y el mapa de isoyetas para generar el mapa de amenaza a los procesos de remoción en masa. Se concluye que 90,99% del área se encuentra mediana a extremadamente amenazada a deslizamientos por la influencia del desencadenante precipitación, concentrada en las cuencas altas y medias, siendo los abanicos donde se acumulan los materiales removidos y asiento de la población.

Palabras clave: Zonificación de Amenazas; proceso de remoción en masa: precipitaciones

ABSTRACT

The goal is to zone the threat of landslide movement considering rainfall as a trigger, between the creek to creek Camurí Chico El Tigrillo, Vargas state, in order to contribute to preventive and corrective planning local risk for development sustainable. This research explanatory used: (a) univariate and multivariate geostatistical analysis for obtaining specific susceptibility maps and susceptibility weighted end, (b) applying Additive Compensatory Theory of Analytic Hierarchy Method (MJA) Assessment Multicriteria (EMC) to assign weights to the variables, and (c) determining the optimal rainfall isohyets and map to generate map of threat to mass wasting processes. We conclude that 90.99% of the study area is medium to extremely threatened to landslides triggered by the influence of rainfall, concentrated in the upper and middle reaches, where the fans where materials accumulate seat removed and the population.

Key words: *Hazard zoning; mass movements; rainfalls*

INTRODUCCIÓN

En 1999, Venezuela fue impactada por un evento fluviotorrencial originado por fuertes precipitaciones que desencadenaron afectación en el estado Vargas debido a las características geológicas, geomorfológicas, topográficas del área y su ocupación indiscriminada que vulneró a su población y la mantuvo en esa condición en años posteriores al evento.

En este sentido, el objetivo de la investigación fue zonificar la amenaza a movimientos de remoción en masa, considerando las precipitaciones como factor desencadenante, entre la quebrada Camurí Chico hasta la quebrada El Tigrillo, estado Vargas, Venezuela, empleando los Sistemas de Información Geográficos (SIG), con el fin de contribuir a una planificación preventiva y correctiva de los riesgos locales en favor de un desarrollo urbano sustentable.

De acuerdo con Torres (2005), el riesgo de desastre y la debida atención a la gestión del mismo, es un sentir latente en Latinoamérica, indistintamente de las condiciones climáticas, poblacionales, políticas y culturales, a lo cual debe atenderse como una perspectiva local. En la actualidad, el manejo de este tema, va cobrando relevancia, debido a

las pérdidas económicas y humanas que los desastres han producido, elevando las condiciones de pobreza existentes en nuestros países. Por ello Torres (2005), indica que el uso de los SIG resulta crucial y necesario en el análisis de todas las etapas o fases de ciclos de desastres, y que deben ser aplicados para generar mayores beneficios en la planificación del territorio, prevención y mitigación.

Es esta consideración que lleva a entender el por qué García *et. al.* (2006) asegura que los SIG, constituyen actualmente una herramienta poderosa para la recopilación, almacenamiento, actualización, análisis y visualización de la información concerniente a la evaluación y manejo de riesgos naturales, facilitando la toma de decisiones en caso de desastres, concretamente en su caso, en la ocurrencia de riesgos sísmicos; pero que puede ser aplicado para otros eventos como movimientos de remoción en masa e inundaciones.

Autores como Lima y González (2000); González y Lima (2001) y Gutiérrez *et. al.* (s/f), han abordado la temática de riesgos por deslizamientos; con el énfasis de generar mapas a través de la aplicación de los Sistemas de Información Geográficos. Por su parte, Villanueva (2004), empleó la herramienta SIG para generar mapas pero de susceptibilidad. En este orden de ideas, el método Mora-Vharson fue el empleado por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (2004) y Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador (2004) para generar mapas de susceptibilidad a deslizamientos en Nicaragua y El Salvador, respectivamente.

Hay otras aplicaciones con la herramienta, no solo para generar mapas sino llegar a establecer las zonificaciones de esas áreas susceptibles y amenazadas. En cuanto a esto, investigadores como Plaza *et. al.* (2000); Ojeda *et. al.* (2001); Cartaya (2005) y Cartaya *et. al.* (2006), han elaborado mapas de zonificación de peligros o amenazas y susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, respectivamente, con el soporte de los SIG.

En líneas generales, los mapas generados en todas las investigaciones reseñadas, pueden ser utilizados para la toma de decisiones, la definición de las medidas de prevención y control, la planificación de medidas de vigilancia y educación ambiental; (Abarca y Quiroz, 2005, p.17; Echeverri

y Valencia, 2004, p. 44) además, la planificación del uso del terreno, explotación de los recursos naturales y el desarrollo de infraestructuras, urbanismos y líneas vitales (Mora Chinchilla, 2004, p.2) todo esto debido a la facilidad en el análisis, procesamiento de información espacial y mayor cantidad y diversidad de información (Guerra, *et. al.* 2004, p. 11).

La presente investigación se sustentaría, en principio, en la metodología aplicada de INGEOMINAS, propuesta por Ojeda *et. al.* (2001) pero, al analizar, que la misma estaba propuesta para cuencas alejadas a zonas costeras; se consideró pertinente asumir el método heurístico, el cual permite integrar técnicas diversas y más ajustadas a la realidad de las cuencas (desde Camurí Chico hasta Punta Tigrillo, estado Vargas) en el borde costero objeto de estudio.

Entendiendo que la amenaza se refiere a la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos físicos que afectan al ser humano, implicando que, será concebido como factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, en este caso, los movimientos de remoción en masa, expresado por un peligro latente asociado a un desencadenante como las precipitaciones, se asume que los mapas a generarse no pueden ser de riesgos, a pesar que diversos autores así los definen, porque el riesgo implica una acción del fenómeno natural sobre el espacio vulnerable, y esta última se establece como la conjunción de elementos sociales y cualitativos, por lo que no son cartografiables. Es entonces, cuando se maneja como mapas de amenazas, a las cartas geográficas que se generarán a partir de la acción de elementos desencadenantes como las precipitaciones, sobre áreas que tienden a ser susceptibles a estas constituyendo así una amenaza a que se movilicen las vertientes.

En cuanto a la diversidad de términos para denotar globalmente a la amenaza a cartografiar, como por ejemplo: fenómenos de remoción en masa, movimientos de terreno, deslizamientos, deslizamientos de terreno, deslizamientos de vertientes, movimientos de laderas, deslizamientos de vertientes, derrumbes, entre otros; en esta investigación, se empleará para reconocer a todos los desplazamientos de material litológico expuesto a los agentes de intemperismo, desplazados pendiente abajo por la gravedad y las precipitaciones, como Movimiento de Remoción en Masa.

En virtud de ello, se inicia el artículo con la caracterización física del sector, importante por demás ya que contextualizan las variables a considerar para obtener la zonificación. Luego se especifica detalladamente la metodología estructurada y ensayada, la cual se considera parte de los aportes del estudio, presentando finalmente el modelo generado a través del SIG, empleando el software MapInfo (v.9.0), para analizar la distribución espacial de la amenaza, considerando la posible afectación a los centros poblados allí establecidos.

El área está objeto de este estudio, se ubica en el estado Vargas, Venezuela, específicamente, en el sector centro norte costero, desde Camurí Chico hasta Punta Tigrillo entre los 10°30' y 10°35' N y 66°52'30" y 66°45' W, conformada por siete (7) cuencas que son: Camurí Chico, San Julián, Quebrada Seca, Río Cerro Grande, Tanaguarena, Carmen de Uría y El Tigrillo, alcanzando una superficie de 77,79 Km² y un tramo de costa de 24,43 Km de longitud, en jurisdicción del Municipio La Guaira; parroquias Macuto, Caraballeda y Naiguatá del estado Vargas, que incluyendo 35,4 Km² de las áreas circundantes a las cuencas, que comprende el cuadrante de estudio, corresponden a un área total de 113,14Km² (figura1).

En cuanto a los relieves, estos alcanzan alturas máximas entre los 1000 msnm y los 2480 msnm en la Cuenca del Río Cerro Grande. En las cuencas y microcuencas que comprenden la investigación, se pueden determinar dos (2) unidades de relieve con formas topográficas: (a) de sur a norte, y perpendicular a la línea de costa, se encuentra la cadena montañosa, con pendientes escarpadas superiores a los 21° y, (b) los abanicos aluviales, definidos por Larsen *et. al.* (2002), como "formaciones terrestres de inclinación leve en forma de cono o abanico creadas en el transcurso de miles a millones de años por la deposición de sedimento erosionado en la base de las cordilleras de montañas" (p.1) y coluviales, que no son más que "materiales que se han deslizado en una ladera, por efecto de la gravedad; generalmente se presentan muy caóticos, desordenados y en condiciones de estabilidad precaria" (Murguerza, 2009.p 56); que se extienden desde los 100 msnm hasta el nivel de base final, con pendientes medias y bajas, inferiores a 7°.

Urbani (2002) describe la Serranía del Litoral de la Cordillera de la Costa, y concretamente entre las quebradas Camurí Chico y El Tigrillo, como dos fajas fácilmente cartografiables y bien distinguibles, de orígenes (en tiempo, espacio y procesos geodinámicos) diferentes, identificándolas como Asociación Metamórfica La Costa, ubicada en el tramo norte y de edad Mesozoica y la Asociación Metamórfica Ávila, extendida al centro del sistema montañoso y de edad Paleozoica-Precámbrica, caracterizadas litológicamente por: (a) *Esquistos de Tacagua* (Complejo La Costa, del Jurasico-Cretácico); (b) *Complejo San Julián* (Paleozoico- Pre Cámbrico); (c) *Augengneis de Peña de Mora* (Pre Mesozoico); (d) *Metagranito de Naiguatá*, (Pre Mesozoico); (e) *Meta ígneas de Tócome* (Pre Cámbrico-Paleozoico) (Urbani, 2005; Código Geológico de Venezuela de PDVSA – INTEVEP, 2010)

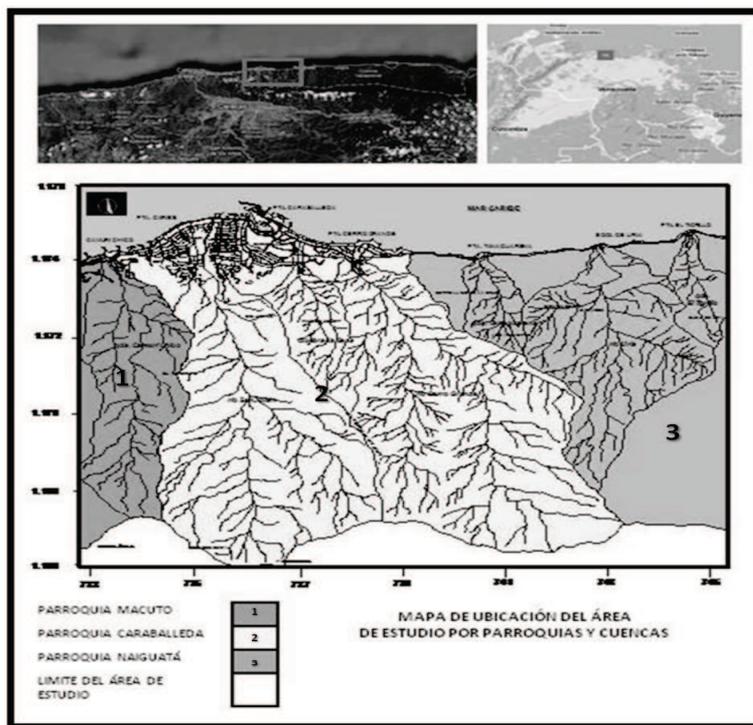


Figura 1. Mapa de Ubicación del Área de Estudios por Parroquias y Cuencas. Modificado de Proyecto Ávila, Mapa de Riesgo, a escala 1:25.000 del IGVS/MARN, 2002, Caracas

Para clasificar climáticamente el área de estudio (como parte del análisis del desencadenante) se utilizaron los datos 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). Las estaciones Maiquetía y Macuto presentan datos de precipitación media mensual entre los años 1951-1999, que sirvieron para la caracterización de las cuencas entre quebrada Camurí Chico y quebrada Tigrillo. La estación Naiguatá con registros entre 1951-2006, sirvió para representar las cuencas bajas del área de estudio. Mientras que las estaciones Los Castillitos y Fila Maestra (1951-1999), y Humboldt (1970-2003) se emplearon como representaciones de las cuencas altas.

La motivación para la selección de estas estaciones y su respectiva discriminación, son coherentes con la disponibilidad de la data; la cercanía al área de estudio, y finalmente, al considerar que dicha área está emplazada entre el borde costero y la Serranía del Ávila (de norte a sur, respectivamente), propiciando una importante modificación climática influenciada por la orografía, y la relación de marítimidad.

Interpretando el climograma representativo para la parte baja de las cuencas (Maiquetía), se puede señalar que la temperatura promedio anual es de 26°C, con promedios mensuales superiores a los 24°C para todos los meses, siendo el más cálido septiembre (27,5°C) y el más frío febrero (24,4°C). En las cuencas altas, la temperatura promedio anual es de 16,8 °C, siendo el mes de febrero el más frío (15, 1°C) y el mes más cálido octubre (17,9°C) (figura 2).

Al resultar amplitudes térmicas promedios de 3,1°C para la cuenca baja y 2,8°C para la cuenca alta, reflejan que las temperaturas no fluctúan de manera significativa durante el año. Al no superar los 5°C de amplitud térmica, se consideran tipo isotérmicos, o de igual temperatura, típico a los regímenes de temperatura en la zona intertropical donde se encuentra ubicada Venezuela, y en menor proporción, el área de estudio: el litoral central del estado Vargas. La diferencia de temperaturas entre la cuenca alta y baja se debe al factor orográfico.

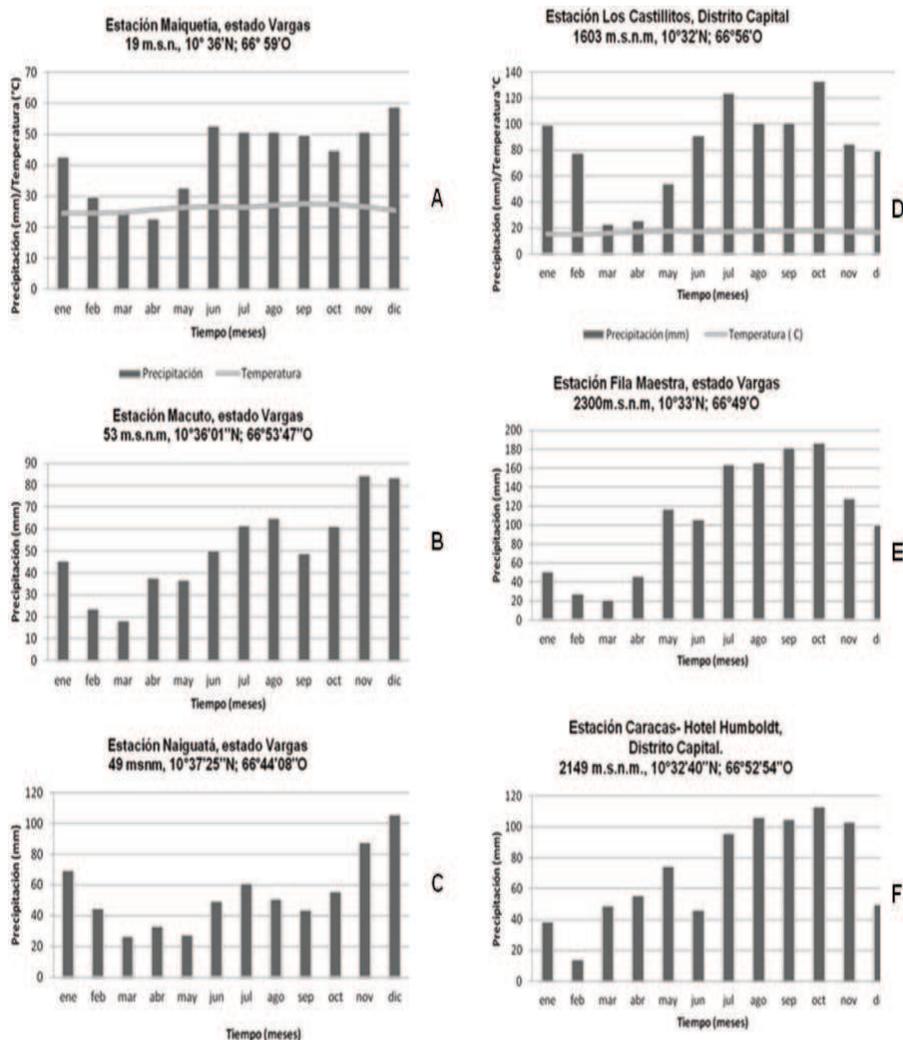


Figura 2. Climogramas y pluviogramas representativas para la cuenca alta y baja del área de estudio: (A) Estación Maiquetía, (B) Estación Macuto y (C) Estación Naiguatá, (D) Estación Los Castillitos, (E) Caracas- Hotel Humboldt, de Distrito Capital y (F) Estación Fila Maestra del estado Vargas. Datos tomados de Dirección de Hidrología y Meteorología del MARN/SINAIHME (2008)

Considerando la altitud de las estaciones sinópticas y pluviográficas representativas para el área de estudio, se ubican en el piso térmico

Tropical (TR) en la cuenca baja: Maiquetía 26°C a 43 msnm; Macuto 53 msnm; y Naiguatá 49 msnm; mientras que, para la cuenca alta, se ubican en el piso térmico Templado (TE) la estación Los Castillitos con 16,8°C y 1603 msnm, y en el piso Frío (FR) en las estaciones Caracas- Hotel Humboldt (2149 msnm) y Fila Maestra (2300 msnm).

En cuanto a las precipitaciones, estas son escasas en el área de estudio, con mayor aridez en la parte baja de las cuencas. Presentan valores anuales superiores a 514mm (estación Maiquetía) superando los 1000 mm en la cuenca alta en la Fila Maestra. En mayor detalle, al analizar la distribución pluviométrica anual por cada estación, en las estaciones de la parte baja de las cuencas, la estación Maiquetía, es la más árida de todas, registrando montos máximos de 53 mm en junio (temporada que se extiende hasta septiembre, sobre 51 mm) y otro punto máximo en diciembre alcanzando su mayor monto anual, 59 mm; mientras que los montos mínimos se presentan en marzo con 25 mm y abril con 23 mm, siendo este el más seco.

Otras estaciones que ilustran el mismo comportamiento son Macuto, cuyo monto anual de 620,4 mm, alcanza sus mínimos entre febrero y mayo, teniendo a los meses de abril y septiembre como más seco con 38 mm y 43 mm, respectivamente. Los máximos se pueden apreciar desde junio hasta agosto, siendo este último el mayor con 65,3 mm; además de un repunte entre octubre y diciembre, alcanzando los mayores valores de precipitación a comparación del resto del año, donde noviembre alcanza 83,6 mm. De igual manera, la estación Naiguatá presenta un monto total de 660,8 mm con máximos entre junio y enero, donde diciembre es el mayor con 106 mm y mínimos entre febrero y mayo; con 27 mm en marzo.

En función de ello, Foghin (2002) indica que este sector de costa rectilíneo producto del intenso sistema de fallas este- oeste, ocasionan que “los vientos alisios discurran paralelos a la línea de costa, lo cual genera un conjunto de condiciones atmosféricas y oceanográficas (subsistencia y surgencia) desfavorables al ascenso de las masas de aire y, por tanto, a la formación de nubosidad y precipitaciones” (p. 126).

Esta es la causa que predomine la evaporación sobre la precipitación, y que estas sean tan escasas, pero torrenciales; lo que define Goldbrunner (citado en Foghin, 2002) como Semiárido (sa) y Semihúmedo1 (sh1) según las categorías pluviométricas complemento de los pisos térmicos de este autor.

Las estaciones ubicadas en la parte alta de las cuencas: Caracas-Hotel Humboldt presenta un monto anual de 853,7 mm, Los Castillitos 995 mm y Fila Maestra presenta la mayor pluviosidad con 1295 mm. En los tres casos, se evidencian los máximos pluviométricos entre junio y agosto; con otros máximos en octubre; motivado a la altura y procesos meteorológicos regionales. En este sentido, estas estaciones superan el 80% de su precipitación anual desde mayo a noviembre; por lo que según las categorías pluviométricas se ubican en Semihúmedo 1 (sh1) Caracas-Hotel Humboldt y Semihúmedo 2 (sh2) Los Castillitos, Fila Maestra (Goldbrunner citado en Foghin, 2002, p.102) y de acuerdo a los tipos pluviométricos, se encuentra en el tipo costero montano.

En resumen, las estaciones analizadas se caracterizan por temperaturas altas durante todo el año, precipitaciones en promedio escasamente superiores a los 500 mm, una evaporación que la excede casi al doble de esta proporción y aumentos de los montos por la acción de la Zona de Convergencia Intertropical en los meses centrales (en promedio de mayo a septiembre, para la parte baja de las cuencas y se extiende hasta octubre en la parte alta) y otro pico máximo en diciembre- enero (en la parte baja) producto de la influencia de las actividades extratropicales y la influencia sobre el borde costero; comprendiendo de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, climas tropicales esteparios (BSHi) para las cuencas bajas y clima tropical seco (Awi) e incluso, Templados de Altura (CHwi) en las cuencas altas.

En otro orden de ideas, la caracterización morfométrica de las cuencas que conforman el área de estudio: Camurí Chico, San Julián, Quebrada Seca, Cerro Grande, Tanaguarena, Uría y El Tigrillo; se realizó en función de las variables siguientes: (a) escala de la cuenca, (b) gradiente y forma

del relieve de la cuenca, (c) forma de la cuenca, y (d) extensión de la red de drenaje.

Los datos del cuadro 1 reflejan que las áreas de drenajes estudiadas corresponden a sistemas hidrogeomorfológicos de pequeñas proporciones, favoreciendo la ocurrencia de crecidas y lapsos cortos de tiempo de concentraciones en posibles tormentas de intensidad significativa, duración y extensión, como se observó en 1999 y en menor proporción en 2005.

En cuanto a los gradientes y las formas de los relieves en las cuencas (cuadro 1), se encuentra que al analizar la topografía del área, se puede decir, que las cuencas están divididas en tres sectores: (a) uno montañoso con pendientes abruptas que abarcan las mayores extensiones de las cuencas y que poseen alturas máximas comprendidas entre los 1000 msnm en las quebradas Tanaguarena y El Tigrillo, y los 2480 msnm en el río Cerro Grande; produciendo una altura promedio de 1688msnm en toda la extensión del área de estudio; (b) el sector de abanicos aluviales, que poseen pendientes promedio 14,5°(26%) en los cauces principales, poco pronunciadas o moderadas, con alturas cercanas a los 100 msnm (desde los ápices de los abanicos hacia la línea de costa); y finalmente, (c) en algunos casos, las planicies costeras hasta la línea de costa.

Los radios de los relieves indican la proporción de kilómetros de longitudes de las cuencas, existe un incremento promedio en las alturas, lo cual es un valor significativo para cuencas extendidas en sistemas montañosos, indicando una vez más el incremento de las pendientes y estimulantes del potencial de erosión en el área.

Al determinar las formas de las cuencas se obtiene que sean alargadas casi rectangulares, coherentes con las cuencas montañosas como las estudiadas. Según Méndez *et. al.* (2007), dichos resultados sirven para indicar que las cuencas poseen bajas probabilidades de experimentar frecuentes crecidas, debido a que su forma no permite exponer toda su superficie al radio de acción de una determinada tormenta. Pese a

esto, los autores afirman que son relativas estas consideraciones, ya que dependen de los tamaños o extensiones de las tormentas, de las duraciones e intensidades de las mismas, y de las magnitudes extremas del fenómeno (p. 10).

La red de drenaje de Camurí Chico, San Julián, Quebrada Seca, Cerro Grande, Tanaguarena, Uría y El Tigrillo, están constituidas por cauces o corrientes de aguas de cortos recorridos y regímenes intermitentes, (cuadro 1) con patrones de drenaje de tipo dendrítico y subdendríticos.

Las densidades de drenajes presentan valores medios, lo cual indica que la mayor parte de la superficie experimenta escorrentía concentrada, por lo que es de suponer una alta tasa de erodabilidad en toda su extensión, inestabilidad morfogenética y por ende gastos sólidos significativos, en presencia de tormentas de lluvias de alta intensidad y duración (Méndez *et. al.*, 2007, p. 12).

Otro análisis realizado a las redes de drenajes consistió en determinar los órdenes de las corrientes, concretándose en estar comprendidos entre 3 y 5, ser de cortos recorridos y poseer corrientes de primer orden en 75%, lo cual influye significativamente en la reducción de los tiempos de concentración de la microcuenca en presencia de tormentas (Méndez *et. al.*, 2007).

Por todo lo señalado, se puede decir que estas cuencas, corresponden a sistemas hidrogeomorfológicos de pequeñas y medianas dimensiones. Al poseer su nivel de base final en el mar, se definen como exorreicas, siendo su desplazamiento sur-norte perpendicular a la línea de costa y con competencias para el arrastre de material producto de la activación de torrentes, propiciando erosión en las partes altas y medias, y de acumulación en las partes bajas.

Cuadro 1. Características morfométricas de las cuencas y microcuencas de drenaje entre Camurí Chico y El Tigrillo, estado Vargas, Venezuela

VARIABLES	PARAMETROS	Unidades	VALOR POR CUENCAS							TOTAL
			Qda. CAMURI CHICO	Qda. SAN JULIAN	Qda. SECA	Río CERRO GRANDE	Qda. TANAGUARENA	Río URÍA	Qda. TIGRILLO	
Escala de la cuenca	Área (A)	Km ²	9,945	22,32	3,246	25,54	2,20	12,37	2,15	77,79*
	Perímetro (P)	Km	16,88	24,64	9,730	24,07	6,81	17,24	7,49	106,8*
	Longitud (L)	Km	6,84	9,13	4,15	8,96	2,74	6,36	3,10	5,897**
	Ancho (W)	Km	1,453	2,444	0,782	2,85	0,80	1,944	0,69	1,567**
	Diámetro (D)	Km	3,56	14,21	2,07	16,26	1,41	7,88	1,38	6,681**
Gradiente y forma del relieve de la cuenca	Altura máxima(H)	msnm	2180	2280	1040	2480	1000	2060	1000	1688**
	Altura mínima(h)	msnm	0	0	0	0	0	0	0	0
	Relieve máximo(H _b)	msnm	2180	2280	1040	2480	1000	2060	1000	1688**
	Radio del relieve (R)	-	0,31	0,24	0,25	0,27	0,36	0,32	0,32	0,284**
	Pendiente media del perfil longitudinal corriente principal (Sm)	%	22	15	23	22	38	29	31	26**
	Elongación (Se)	-	0,46	0,50	0,43	0,56	0,57	0,55	0,47	0,50**
	Forma de la cuenca (Ff)	-	0,21	0,26	0,18	0,31	0,29	0,30	0,22	0,25**
	Coefficiente de compacidad (Kc)	-	1,50	1,46	1,51	1,33	1,28	1,36	1,43	1,41**
	Longitud corriente principal (Lcp)	Km	8,06	10,19	4,09	11,8	2,88	7,39	3,29	6,8**
	Extensión de la red de drenaje	Longitud total de las corrientes red de drenaje (Ct)	Km	36	80,2	17,4	112,5	13,4	59,4	8,19
	Densidad de drenaje (Dd)	Km/ Km ²	3,61	3,59	5,37	4,45	6,09	4,80	3,79	4,23**

Nota. El total se expresa en *Sumatorias/ **Promedios

En relación con la vegetación, de acuerdo al mapa de Hubber y Alarcón (1988) y la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV, 2002), se caracterizar por formaciones xerófitas de Espinares (Cardonales y Espinares) en la franja litoral y a medida que se incrementa la altitud, se aprecian formaciones de Bosques Tropicales; Bosques Premontanos de altura (Deciduos, Semi-deciduos, Transicionales, de Galerías, entre otros); Arbustales y Matorrales; ecotonos de matorrales- sabanas ralas, dando paso a las sabanas; para finalizar con zonas agrícolas y áreas urbanas, que se deben a las actividades humanas.

MÉTODO

Investigación de tipo explicativa, de diseño cuasi experimental; basado en el método heurístico que se sustenta 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 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) en el que se elabora una serie de mapas temáticos, los cuales se evalúan separadamente y después se integran para alcanzar una evaluación general del área.

Para lograr estas actividades se aplicó el análisis espacial mediante un SIG, específicamente el MapInfo y la Teoría Compensatoria Aditiva del Método de Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC), la cual se encuentra integrada a la tecnología de los SIG, permitiendo automatizar muchos de sus métodos. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) facilitó llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005; y Montiel, Montes y Gouveia, 2009).

Los procedimientos que se llevaron a cabo se tienen: (a) estructuración de la información temática base; (b) definición de las variables y generación de mapas temáticos digitalizados; (c) análisis estadístico de las variables

geográficas y superposición de los mapas; (d) obtención del mapa de susceptibilidad síntesis; (e) análisis de los valores de precipitación como factores desencadenantes, para obtener el mapa de amenaza respectivo.

Mapas de Susceptibilidad Ponderada y Mapa de Susceptibilidad Síntesis

A partir de los mapas base, se multiplica 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 (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto), la cartografía obtenida se denominó mapas de susceptibilidad específica ponderada.

El mapa de susceptibilidad síntesis se elaboró mediante el análisis multivariado, en el cual son sumados digitalmente por el SIG, los cuatros mapas de susceptibilidad específica ponderada (geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflicto de uso) (figura 4). En este procedimiento se utilizó el siguiente algoritmo modificado de Sánchez *et. al.* (2002):

$$SF = \frac{SGs(pp)35\% + SGm(pp)20\% + SPn(pp)35\% + Scu(pp)10\%}{Ntv}$$

Donde:

SF	Susceptibilidad final
SGs	Susceptibilidad de la variable Geología de superficie ponderada
SGm	Susceptibilidad de la variable Geomorfología ponderada
SPn	Susceptibilidad de la variable Pendiente media del terreno ponderada
SCu	Susceptibilidad de la variable Conflictos de uso ponderada
Pp	Peso ponderado de la variable obtenido del MJA
Ntv	Número total de variables

Análisis de las precipitaciones como factor desencadenante

Para realizar este análisis se consideraron los óptimos pluviométricos ya que es uno de los rasgos más reconocidos de la distribución de la precipitación en la altitud en la Serranía del Ávila. Tal óptimo corresponde a una elevación para la cual la precipitación es máxima entre el nivel base y la cima de la cordillera, en este caso a los 1500 msnm, de acuerdo al cálculo realizado para la cuenca de la qda. San José de Galipán, estado Vargas; del proyecto PROCEDA, del Departamento de Ingeniería Hidrometeorológico (DIH) de la UCV (Pacheco, 2011).

La ubicación altitudinal de este parámetro dependerá de las características del sistema montañoso. Variará considerando la humedad absoluta del nivel de base del valle y de las circulaciones locales. Por encima del óptimo pluviográfico, la disminución de la humedad del aire con la altura a escala global y de la cantidad de agua precipitable en las nubes convectivas a escala local son los dos factores que explican la disminución de la precipitación con la altura a las montañas más altas.

Por ello, se propuso reconocer las lluvias medias anuales promedios a partir del mapa de isoyetas de Zambrano (1970) y los datos de precipitación Dirección de Hidrología y Meteorología del MARN/ Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME, 2008), ya que los datos se presentan en promedio superior a los diez (10) años en 60% de ciento treinta y siete (137) estaciones pluviométricas empleadas como muestras, de las cuales veintiséis (26) pertenecen al litoral central venezolano, encontrándose dentro de la data específicamente localidades cercanas o pertenecientes al área de estudio como Maiquetía, Macuto, Camurí Chico, San Julián y Uría, por citar algunos ejemplos.

La escasa información y poca sistematización para obtener los datos climáticos, así como la comprobación por contraste de datos de la vigencia y congruencia de este mapa de isoyetas con los valores de precipitación anual obtenida en los datos del SINAIHME, permitieron validar y emplear esta fuente como desencadenante a amenazas por movimientos en masa.

Igualmente, se consideró los óptimos pluviométricos por las condiciones de altitud y su influencia para modificar el clima en la cordillera, siendo estipulado en los 1500 msnm (Pacheco, 2011), por lo que se asignaron los grados de amenaza mayor torno a las bandas de precipitación superior al óptimo pluviométrico disminuyendo progresivamente hasta llegar a la línea de costa (cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de unidades de precipitación para el mapa de amenaza por precipitación

Código	Isoyetas (mm)	Valor
1	500-600	1
2	600-700	2
3	700-800	3
4	800-900	4
5	900-1000	5
6	1000-1100	5
7	1100-1200	5
8	1200-1300	5
9	1300-1400	5

Al ubicar el óptimo pluviométrico en la cota de los 1500 msnm, se procedió a ponderar las bandas de precipitación del mapa de isoyetas considerando los mayores hacia el óptimo disminuyendo a la línea de costa (Figura 5). Este valor dado en grados de intensidad, se sumó a los porcentajes obtenidos en los mapas de susceptibilidad, utilizando la siguiente fórmula:

$$H1 = St + fd1$$

Donde:

- H1 representa la amenaza por precipitaciones
- St es la susceptibilidad del terreno
- Fd1 la acción de las precipitaciones desencadenantes

Finalmente, para fines de calibrar el modelo, se superpuso el mapa de amenaza a los movimientos de remoción en masa por las precipitaciones con el de deslizamientos, este último contiene información de los eventos extraordinarios de 1951, 1999 y 2005, digitalizados a través de las imágenes Ikonos (2000), Landsat (2000) y Spot 5 (2005). Calculando el área deslizada en cada unidad de las variables, se emplea la herramienta SIG, para determinar tanto el área de la superficie deslizada como el área de cada unidad, en kilómetros cuadrados (Km²). Este procedimiento se realizó

con la intención de verificar si las zonas con mayor número de remoción de material que corresponden a los eventos, coinciden con la zona de mayor amenaza generadas con el cruce de las capas, a través del SIG.

RESULTADOS

Al analizar la figura 3, se puede apreciar que predominan las áreas de muy alta y alta susceptibilidad con 95,72Km², es decir un 84,6%, seguido por las medias con 8,74% y de bajas a muy bajas con 6,72%, coincidentes con los afloramientos de las diversas formaciones geológicas que le dan sustento, principalmente Esquistos de Tacagua, Peña de Mora y la Asociación Metamórfica del Ávila, que presentan la más elevada categoría de susceptibilidad. Al unir esta variable con altas pendientes, la supremacía de las laderas rocosas y poco disectadas, conforman las zonas de altas susceptibilidades a ser removidas en el conjunto del área de estudio.

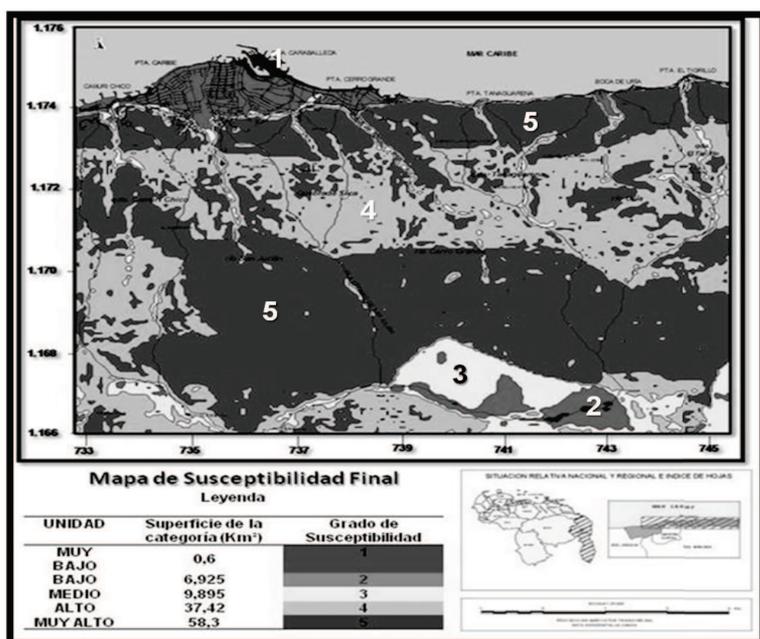


Figura 3. Mapa de Susceptibilidad Síntesis. Generado por el SIG

Por su parte en la figura 4, se representa la combinación del mapa de Isoyetas propuesto por Zambrano (1970) que contrastado por la data de precipitaciones anuales del SINAIHME, fue validado para ser empleado como desencadenante a los movimientos de remoción en masa, con las bandas resultantes de la determinación de los óptimos pluviométricos

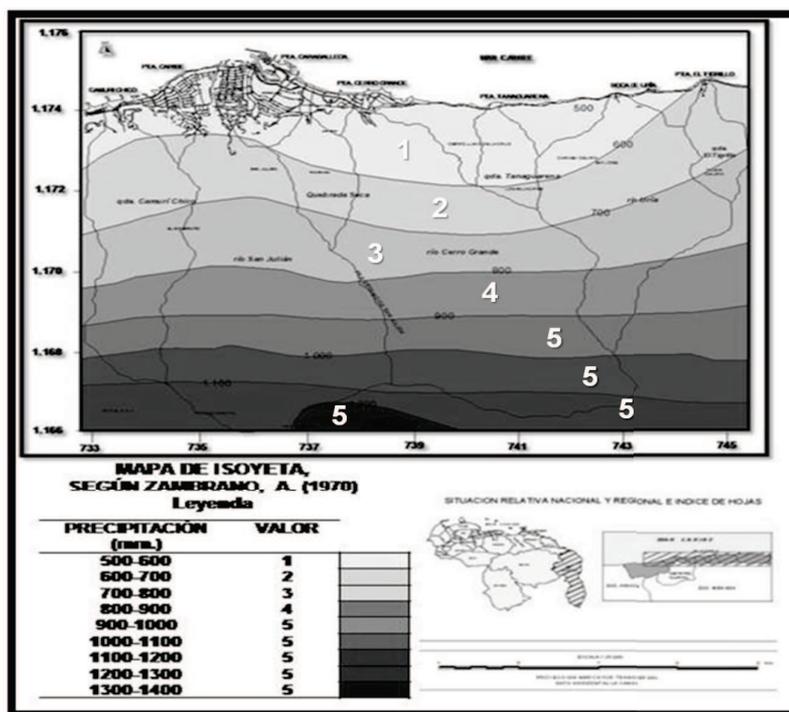


Figura 4. Mapa de Isoyetas. Tomado de Zambrano, A. (1970) Estudio Fisiográfico y Regional de la “Cuenca del Tuy”. *Boletín de Geología*, 11(21), 5-203. Modificado por el SIG, a partir de la determinación del óptimo pluviométrico.

Como se puede apreciar en el mapa de amenazas a los movimientos de remoción en masa por las precipitaciones (figura 5), la posibilidad generarse nuevamente deslizamientos por las lluvias anuales son altas ya que predominan las unidades de *Muy Alta* amenaza, con 39,69 Km² de superficie, lo que equivale al 35,08% del área de estudio; seguido por la unidad de *Alta* amenaza que se extiende en 35,59 Km², representando proporcionalmente, el 31,45% de la misma área.

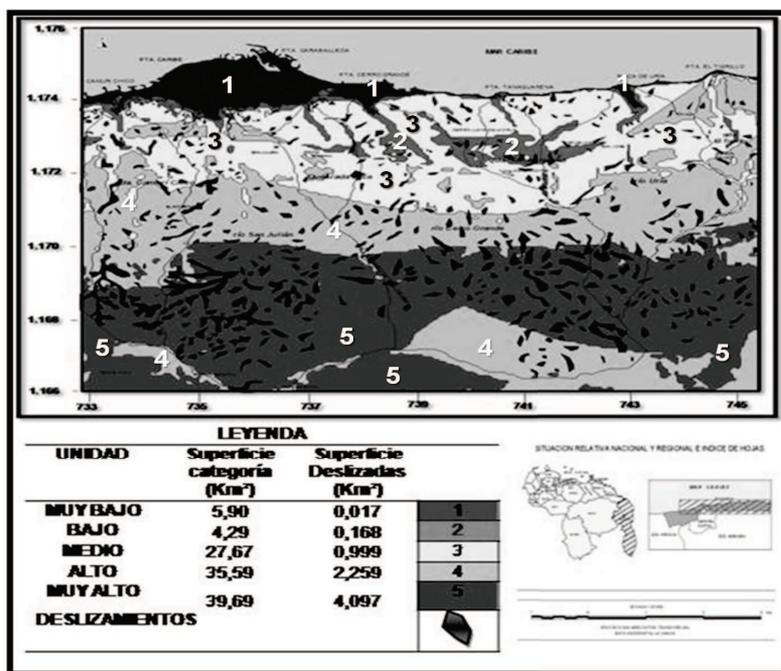


Figura 5. Mapa de Superposición de la superficie removida y de Amenazas a los Movimientos de Remoción en Masa con las Precipitaciones como desencadenante. Generado por el SIG.

Si se considera la amenaza *Media*, que cuenta con 27,67 Km² lo que equivale a 24,45%, resulta que el 90,99% del área de estudio se encuentra mediana a extremadamente (muy alta) amenazada a la ocurrencia de deslizamientos por la influencia del desencadenante precipitación. Dicha situación, se concentra en el sur disminuyendo hacia el norte de las cuencas, es decir, desde las partes altas de las cuencas disminuyendo progresivamente hacia la línea de costa, donde se evidencian los grados de amenazas más bajos (grado 1 y 2) representados en unidades de *Baja* con 4,29 Km² (3,79%) y *Muy Baja* con 5,90 Km² (5,21%) por superficie.

Estos resultados pueden ser comprendidos al reconocer las relaciones entre las variables de estudio y la ubicación dentro de la cuenca. Las laderas rocosas y poco disectadas con altas pendientes, entre 21° y 45°, y una geología de alto grado de susceptibilidad a deslizarse, caracterizan

a esta área altamente amenazada, teniendo como parcial atenuante, el muy bajo conflicto de uso producto de su carácter de resguardo al ser un ABRAE. Sin embargo, existen áreas agrícolas, asentamientos campesinos dispersos en las cuencas medias y medias altas, incendios forestales naturales o provocados, y deslizamientos antiguos o nuevos para 1999 (ya que las imágenes empleadas son del 2000 y 2005, limitando el reconocimiento de áreas removidas con anterioridad) que han inducido la pérdida parcial de la cobertura vegetal, que propician esa sensibilidad en las cuencas, lo que la hacen estar extremadamente amenazada. Mientras que, en las partes bajas de las mismas, donde cambia la pendiente y se emplazan los abanicos aluviales, las áreas urbanas y la canalización de los ríos y quebradas minimizan estas amenazas.

Estas correlaciones entre las variables: geología, pendiente, geomorfología y conflicto de uso, se hacen consistentes al calibrar el modelo, ya que al superponer la capa de deslizamientos sobre el mapa de amenazas generado, se observa que las áreas de mayor movimiento de remoción en masa, coinciden con las unidades de muy alta a mediana amenaza como lo indica la cuadro 3 y la figura 6, ya que en conjunto abarcan 102, 95Km² del total del área de trabajo, lo que significa un 97,53%, siendo la unidad de *Muy Alta* la predominante con 54,33% de área removida.

Cuadro 3. Datos de la superposición del mapa de amenaza por precipitaciones a los fenómenos de remoción en masa y representación de la superficie deslizada.

Código	Unidad	Sup. de la categoría (Km ²)	Porcentaje Superficie Categoría (%)	Sup. Deslizadas (Km ²)	Porcentaje Superficie deslizada por categorías (%)	Grado de Amenaza
1	Muy Bajo	5,90	5,21	0,017	0,22	1
2	Bajo	4,29	3,79	0,168	2,22	2
3	Medio	27,67	24,45	0,999	13,24	3
4	Alto	35,59	31,45	2,259	29,96	4
5	Muy Alto	39,69	35,08	4,097	54,33	5
	Total	113,14	100,00	7,540	100,00	

CONCLUSIONES

La geología de superficie y la pendiente son las variables fundamentales para la generar amenazas a los procesos de remoción en masa por las precipitaciones, siendo 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 y condicionan la amenaza, en un porcentaje superior al 90% del total de su extensión territorial.

Este señalamiento no quiere decir que los centros urbanos (ubicados en los abanicos y zonificados como de muy baja amenaza) están exentos, al contrario, al continuar asentamientos descontrolados y anárquicos, el deterioro ambiental y la pérdida de cobertura vegetal, bien sea por causas naturales o antrópicas, se estará estimulando el incremento de la amenaza a expensas de la ocurrencias de eventos naturales normales para desencadenarlos, amplificándose cuando se está en presencia de estos mismos eventos naturales pero en condiciones extraordinarias. Además se debe considerar que estos centros, al emplazarse en los abanicos aluviales, que presentan una suerte de captación final de los deslizamientos desarrollados en las cuencas medias y altas, generan a estos asentamientos de manera indirecta amenazas que el modelo no percibe, pero que representan posibilidades de afectación.

REFERENCIAS

Abarca, O. y Quiroz, J. (2005). Modelo cartográfico de riesgo de incendios en el Parque Nacional Henry Pittier. Estudio de caso: Vertiente sur, área colindante con la ciudad de Maracay. Maracay, Aragua: *Agronomía Tropical*, 55(1)

Autoridad Única de Área para el Estado Vargas / Ecology and Environment. (2002). Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental

- del Eje Arrecife – Los Caracas: Mapa 4.1, escala 1:25.000. En *Autoridad Única de Área para el Estado Vargas* [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.auae.gov.ve> [Consulta: 2003, Diciembre 21]
- Cartaya, S. (2005). *Adaptación y aplicación de un modelo para el análisis espacial de la susceptibilidad a deslizamientos, empleando SIG, en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, Estado Vargas-Venezuela*. Trabajo de ascenso no publicado. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas, Venezuela
- Cartaya, S, Méndez, W y Pacheco, H. (2006) *Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfico*. *Interciencia* 9(31) 638-646
- Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales/ Sistema Nacional De Información Hidrológica Y Meteorológica (SINAIHME), 2008, *Data Climática de las estaciones (A) Maiquetía, (B) Macuto (C) Naiguatá del estado Vargas, (D) Los Castillitos, (E) Caracas- Hotel Humboldt, de Distrito Capital y (F) Estación Fila Maestra del estado Vargas*. Datos sin publicar. Caracas
- Echeverri, y Valencia. (2004). Análisis de los deslizamientos en la cuenca de la Quebrada La Iguaná de la ciudad de Medellín a partir de la interacción lluvia- pendiente-formación geológica. *Medellín, Colombia: 71(142), 33-45*
- Foghin, S. (2002). *Tiempo y Clima de Venezuela, Aproximación a una geografía Climática del territorio venezolano*. Caracas, Venezuela: *Colección Clase Magistral 1*, Universidad Pedagógica Experimental Libertador
- García, J., Monnar, O., Zapata, J., Arango, E., y López, P. (2006). *Sistema de Información Geográfica para el manejo y evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba*. [Artículo en línea]. Disponible:<http://www.espejos.unesco.org.uy/simplac2002/ponencias/geom%E1tica%202002/GEO50.doc>. [Consulta: 2006, diciembre 17]
- Gómez, M. y Barredo, J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: Ra-Ma

- González, M. y Lima, Y. (2001). *Cartografía del riesgo a los deslizamientos en la zona central del principado de Asturias*. Disponible: <http://www.mappinginteractivo.com> [Consulta: 2006, Diciembre 21]
- Guerra, F., González, J., Gómez, H. (2004), Análisis de la estabilidad morfodinámica utilizando unidades de paisajes y SIG, microcuenca La Bermeja, estado Táchira, Venezuela. [Documento CD]. En V Congreso Venezolano de Geografía, Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela
- Gutiérrez, J., Castrillo, J. y Hervouet, Y. (s/f). *Cartografía de riesgo naturales utilizando sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG). Alrededores de la ciudad de Valera*. Disponible: <http://www>. [Consulta: 2006, Diciembre 21]
- Hubber, O., y Alarcón, C. (1988). *Mapa de la vegetación de Venezuela* [Mapa a escala 1:2.000.000]. Caracas, Venezuela: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
- Imagen satelital *LANDSAT TM+* de abril de 2000
- Imagen satelital *Ikonos TM+* de abril de 2000
- Imagen satelital *Spot5 TM+* de abril de 2005
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (2004). Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua. El Método Mora-Vahrson. Proyecto de Mitigación de Georriesgos en Centroamérica. Managua, Nicaragua: INETER/SNET/ Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales
- Larsen, M.; Wieczorek, G.; Eaton, S; Morgan, B. y Torres- Sierra, H. (2002). *Peligros Naturales en los abanicos aluviales: El desastre ocasionado por flujos detríticos e inundaciones repentinas* [folleto]. Disponible: http://www.fs_103_01_508.sp.pdf. [Consulta: 2010, Enero 28]
- Lima Y. y González, M. (2000). Sistema de Información Geográfica (SIG) para generar mapas de riesgo a los deslizamientos [Documento en DC]. En *Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela*, Caracas. Disponible: Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela, Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2000. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos

- 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 Chinchilla, (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica, Proyecto FUNDEVI. San José de Costa Rica: Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación
- Ojeda, J, Castro, E., Valencia, A., 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
- Pacheco, H. (2011) *Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa en la Vertiente Norte del Macizo Ávila, utilizando las Tecnologías de la Información Geográfica*. Tesis de Doctorado no publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas
- Plaza, G.; Galárraga, R.; Valverde, J.; Proaño, O, y Jiménez, E. (2000) Zonificación del peligro por deslizamientos, flujos de lodo y escombros y sismos. El caso de de la ciudad de Bahía de Caráquez, Ecuador. [Documento en DC]. En *Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela: Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela*, Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería 2000. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos
- PDVSA-Intevep. (2010). *Código Geológico de Venezuela*. [Pagina Web]. Disponible: <http://www.pdvs.com/lexico/> [Consulta: 2010, Marzo 16]
- Sánchez, Urrego, Mayorga y Vargas. (2002). *Modelo para el pronóstico de la amenaza por los deslizamientos en tiempo real*. [Documento CD]. En Simposio Latinoamericano de Control de Erosión. Santa Fe de Bogotá, Colombia

- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (2004). Memoria Técnica para el Mapa de Susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador. San Salvador: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales
- Torres, J. (2005). *Reflexiones del V curso internacional sobre el manejo de SIG para La mitigación de los riesgos de desastres*. [Artículo en línea]. Disponible: http://geofocus.rediris.es/2005/Informe7_2005.pdf. [Consulta: 2006, diciembre 19]
- 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
- Urbani, F. (2005) Síntesis de la nomenclatura de la unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME)*, 42(2)
- Van Westen (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/>. [Consultado: 2006, diciembre 13]
- Villanueva, C. (2004). *Aplicación de Sistemas de Información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a riesgos naturales*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil, Proyecto Sistema de Información Geográfica (GEODECI)
- Zambrano, A. (1970). Estudio Fisiográfico y Regional de la “Cuenca del Tuy”, *Boletín de Geología*, 11(21), 5-203