

Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa desencadenados por la sismicidad

Methodology for mass movements hazard zoning triggered
by seismicity

Arismar Marcano

arismarcano@gmail.com

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

Artículo recibido en septiembre de 2015 y publicado en enero 2016

RESUMEN

El trabajo zonifica los sectores expuestos a la amenaza por movimientos en masa desencadenados por actividad sísmica. El área de estudio abarca las cuencas desde Camurí Chico hasta El Tigrillo (estado Vargas, Venezuela). Tal escogencia obedece a: (a) es sísmicamente activa y con evidente control tectónico; (b) la inestabilidad de las laderas ejemplificadas en eventos como los de 1951, 1999 y 2005; e (c) inexistencia de mapas de microzonificación sísmica. La investigación se basa en el método heurístico, empleando análisis geoestadístico univariado y multivariado para la obtención de mapas de susceptibilidad; la aplicación del Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC) para asignar pesos ponderados a las variables, y el método de conformación de zonas buffer, para generar el mapa de amenaza. La calibración del modelo arrojó que el 95,5 % de los movimientos en masa, se encuentran en las unidades de Muy Alta y Alta amenaza.

Palabras clave: Mapa de amenaza; sismicidad; evaluación multicriterios; zonas buffer; Sistema de Información Geográfico (SIG)

ABSTRACT

The work zones the sectors exposed to the movements mass hazard triggered by the seismic activity. The study area extents the catchments from Camurí Chico to El Tigrillo (Vargas State, Venezuela). Such selection obey to: (a) is a seismically active area and with tectonic control evident;

(b) the hillside instability exemplified in events like them of 1951, 1999 and 2005; and (c) nonexistence of seismic microzoning maps. This investigation it is based on the heuristic method, using univariate and multivariate geostatistical analysis for the obtaining of susceptibility map; application of Analytical Hierarchies Method (AHM) of the Multicriteria Evaluation (MCE) to assign weight weighted to the variables, and the buffer zones conformation method, to generate the hazard map. The model was calibrated and there was obtained that 95,5 % of the movements mass are in the units defined like Very High and High hazard.

Key words: Hazard map; seismicity; multicriteria evaluation; buffer zones; GIS

INTRODUCCIÓN

Venezuela, al norte forma parte del límite entre las placas del Caribe y Suramericana, generando una zona de alta fricción que ha dado origen a un importante sistema de fallas activos de tipo horizontal dextral (ver gráfico 1), cercano a 100 Km de extensión y demarcado por el sistema costero montañoso presente en: la Cordillera de los Andes, la Cordillera de la Costa en su tramo Central y el Macizo Oriental, definidas como las fallas de Oca- Boconó- San Sebastián- El Pilar.

Uno de los mayores potenciales de riesgo de afectación a las comunidades y a la propiedad son sin duda, las actividades sismológicas, debido a la gran cantidad de población que vive en zonas de alta amenaza sísmica.

Según Vásquez (s/f), la sismicidad en Venezuela está caracterizada por una alta tasa de microsismicidad (eventos de magnitud ≤ 3) y eventos de magnitud intermedia (entre 3 y 5), aunque la historia sísmica del país revela que han ocurrido más de 130 sismos que han causado algún tipo de daños en poblaciones venezolanas, siendo el más destructivo de todos el que ocurrió el 26 de marzo de 1812 y que afectó seriamente ciudades importantes como Mérida, Barquisimeto y Caracas, causando más de 20.000 víctimas, es decir, un 5% de la población estimada para la época (p. 2).

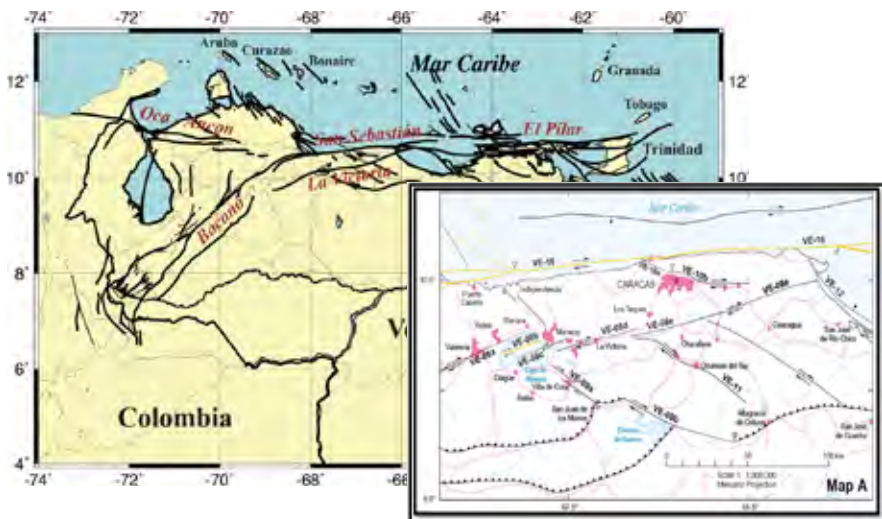


Gráfico 1. Mapa de fallas principales de la región centro-norte de Venezuela según Beltrán. Tomado de “Mapas de Fallas Cuaternarias de Venezuela” a escala 1:2.000.000 por R. Vásquez, 2000, Caracas.

Concretamente, el estado Vargas, producto de su ubicación geográfica, se caracteriza por tener alta propensión a eventos que pueden amenazar naturalmente, a las comunidades allí emplazadas.

Algunas de estas amenazas que están persistentemente alrededor de la entidad, son: (a) estar ubicados geográficamente en una zona sísmica; (b) converger en un área de alteraciones meteorológicas producidas por el paso de huracanes y tormentas tropicales que se desplazan por el Mar Caribe al norte del país; (c) la frecuente ocurrencia de movimientos en remoción en masa y aludes torrenciales, asociadas a la sismicidad del área y a precipitaciones de tipo torrenciales, (d) lo antiguo de las formaciones rocosas y los procesos de meteorización y erosión de las pendientes que caracterizan a la cadena montañosa ubicada en la región centro norte costera, conocida como la Cordillera de la Costa; (e) la posibilidad de ocurrencia de tsunamis que afecten su borde costero, asociados a la diversidad de actividades volcánicas submarinas que se gestan en el arco del Caribe.

En la investigación realizada por Romero y otros (2006), dirigida a caracterizar los suelos del estado Vargas, se determinó que los sedimentos de las zonas de Macuto, Caraballeda y Tanaguarena están conformados por tres capas: sedimentos sueltos, sedimentos compactados (aluvión) y sedimentos consolidados. Las velocidades de ondas sísmicas (ondas P y S) no presentan una marcada variación entre los distintos conos aluviales. Estas diferencias, propician diferencias de velocidades, cambiando dependiendo de la profundidad y la consolidación del material.

Según el mapa de amenaza sísmica (ver gráfico 2), se aprecia que el área de estudio se ubica en la categoría máxima (0,29), lo que implica una gran amenaza. La evaluación de la amenaza sísmica a partir de los rangos de aceleración señalan al estado Vargas y el Distrito Capital como una gran zona de amenaza, pero sin lograr mayores discriminaciones entre las áreas, lo que no es muy significativo para estudios en cuencas específicas especialmente en la vertiente norte del estado, donde los movimientos en masas son recurrentes y se intenten correlacionar con la sismicidad como desencadenante de dichos movimientos. Tanto es así, que FUNVISIS (2003), reconoció “los escasos éxitos de proyectos de microzonificación sísmica llevados a cabo en Caracas, Mérida, Cumaná y Barquisimeto, no atribuibles a falta de pericia ni recursos técnicos” (p. 171).

En función de esto, FUNVISIS (2003), señala que es un reto para la investigación el seguir abordando los riesgos ambientales urbanos y vulnerabilidad en Caracas y el estado Vargas estableciéndose como objetivos el estudio de aludes como fuente de riesgo—presente y pasado; deslizamientos de Gramoven y Blandín; aspectos geológicos y fallamiento activo en la quebrada Camurí Chico; Punta de Mulatos como testigo de eventos históricos; identificación y diferenciación entre sedimentación proximal y distal en abanicos aluviales.

Como se aprecia, son las actividades sísmicas y los movimientos en masa los más influyentes en las modificaciones geográfico-físicas, así como estar muy relacionadas con los últimos eventos (como los de 1999

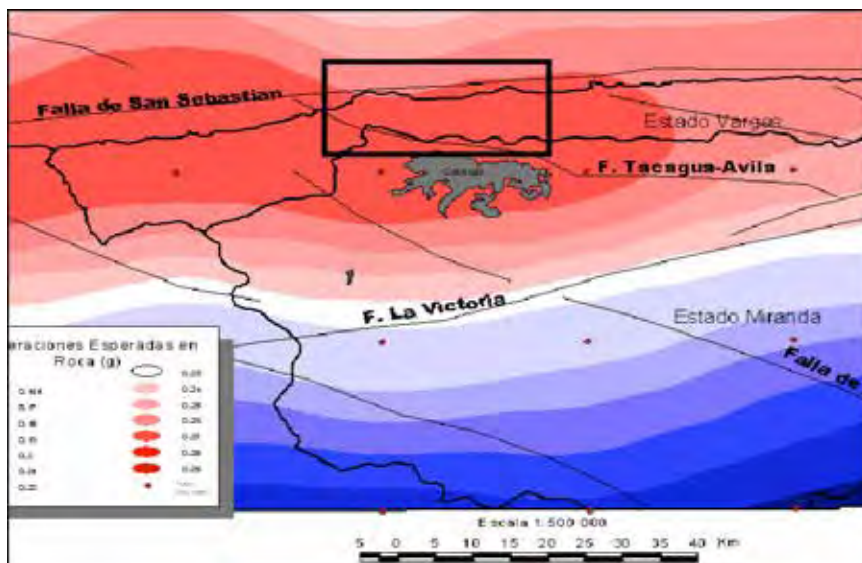


Gráfico 2. Evaluación de la amenaza sísmica, aceleraciones esperadas en roca. Tomado de “Síntesis de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela” por F. Urbani, 2005, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), 42 (2).

y 2005), que persisten en la memoria del colectivo, por lo determinante de sus daños, algunos, que aún no se logran subsanar.

De allí que el objetivo de la presente investigación fue zonificar los sectores expuestos a amenaza a movimientos en masa desencadenados por la actividad sísmica, como ensayo metodológico para la obtención de estos mapas de amenaza.

El área de estudio seleccionado comprende las cuencas ubicadas desde Camurí Chico hasta El Tigrillo, en el estado Vargas, Venezuela. Tal escogencia obedece a tres factores: (a) es un área sísmicamente activa y con evidente control tectónico en las laderas y las redes de drenajes; (b) la conocida inestabilidad de las laderas ejemplificadas en eventos como los de 1951, 1999 y 2005; (c) inexistencia de mapas de microzonificación sísmica para el área.

Algunas consideraciones sobre los movimientos en masa en el área de estudio

El objeto de este trabajo no es describir los tipos de movimientos ocurridos en el estado Vargas, y que al considerar que en el país no existen registros de esas clasificaciones tan detalladas, se reconocerán a todos, sin importar su origen, como movimientos en masa.

La afectación que sufrieron más de veinte (20) cuencas y microcuencas que se activaron por los eventos fluviotorrenciales, desencadenando aludes torrenciales durante 1999, fue impactante por el grado de afectación y lo reciente en nuestro pasado histórico. Sin embargo, los registros de diversas crónicas e investigaciones, relatan que ya para 1773, 1780, 1781 y 1798, se habían producido eventos inquietantes en el área.

De acuerdo a lo señalado por Cárdenas (2000) y Pacheco (2002), un testigo en el río Osorio indicó, que en 1798, aumentó su caudal entre el 11 y el 13 de febrero de dicho año debido a fuertes precipitaciones que se extienden por 60 horas; el centro de La Guaira se ve afectado siendo destruidas algunas casas, siendo verdaderamente, de una magnitud destructiva.

Pese a que posterior a este evento, se dieron otros ocho (8) en los años 1892 y 1909: que afectaron a las cuencas Piedra Azul, Osorio, San José de Galipán, y el río Mamo; 1912: afectando a Anare y Los Caracas; 1914: donde se vio afectada la quebrada Camurí Chico; 1924 y 1938: afectando a las quebradas Curucutí, Piedra Azul, Osorio y Naiguatá. En 1944, el río Mamo sufrió daños, mientras que, en 1948, las cuencas afectadas fueron más numerosas: Piedra Azul, Osorio, el Cojo, San José de Galipán y Camurí Chico.

En 1951, un fenómeno meteorológico similar sucede en la misma zona del 15 al 17 de febrero cuando el río Naiguatá cambia de cauce arrasando consigo numerosas casas mientras que otros ríos como el Osorio y el Caracas crecen por las precipitaciones afectando, el primero de ellos, a la ciudad de La Guaira. Estas precipitaciones se calcularon en cerca de 530 mm de agua en tan sólo 60 horas (Cárdenas, 2000). Además de

las mencionadas, otras quebradas igual se activaron como por ejemplo, Chichiriviche, Mamo, La Zorra, Tacagua, Piedra Azul, Punta de Mulatos, San José de Galipán, El Cojo, San Julián, Cerro Grande, Uría, Anare, y el Limón (Pacheco, 2002, p. 170) (ver gráfico 3).

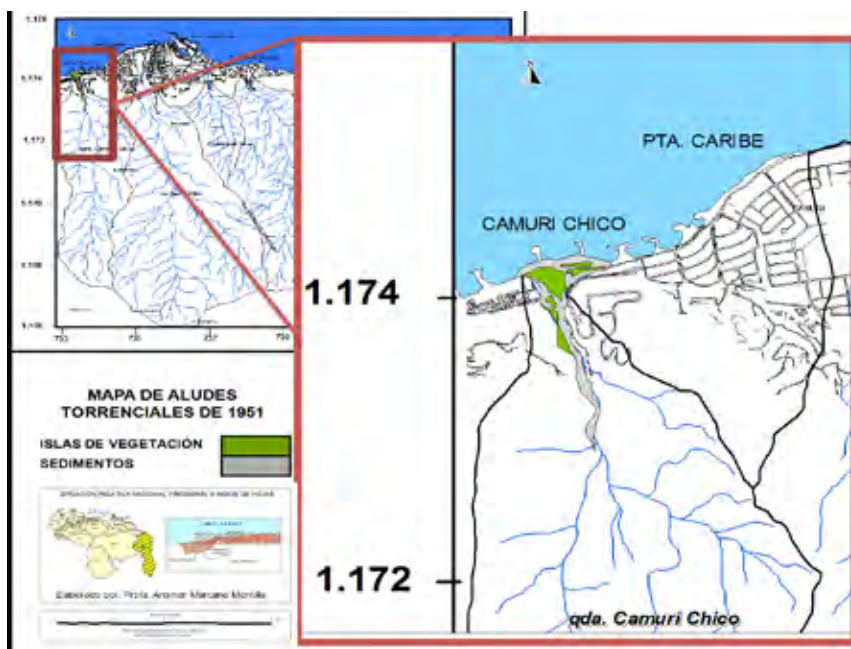


Gráfico 3. Mapa de aludes torrenciales de 1951. Tomado y modificado de “Proyecto Ávila: Mapa de Riesgo” a escala 1:25.000 por IGVS/MARN, 2002, Caracas.

Como antesala a 1999, en 1954 el río Los Caracas, y en 1969 el río Naiguatá, generaron estragos en las costas varguenses. En diciembre de 1999, se volvió a presentar este tipo de fenómeno, pero en esta oportunidad lo hizo con una intensidad y una violencia nunca vista, porque aunque las características fueron similares a las del año 1951, las consecuencias negativas fueron muy superiores debido, entre otros factores, a que las precipitaciones fueron mayores y la población de la franja costera era también muy superior.

Una comparación dada sólo en población, y por supuesto ocupación del espacio, según el censo de 1950 el Departamento Vargas, hoy estado Vargas, contó con 85.889 habitantes; en 1961 aumentó a 141.270 habitantes, hasta que en 1971 totalizó 202.382 habitantes, mientras que según el censo de 1990 superaba los 280.480 habitantes, representando en este periodo de tiempo un incremento de 194.600 habitantes, es decir, un incremento de más de 300% en 50 años, y si se considera que la mayor parte de la nueva población se asentó en los lechos de inundación y en los conos de deyección de los ríos y quebradas, se puede entender la gran afectación de las personas y de las infraestructuras (Pacheco, 2002, p. 131).

Posterior a los eventos de aludes torrenciales de 1999, las principales afectaciones, pueden esquematizarse en: (a) 70% de la población del estado fue afectada (unas 240.000 personas); (b) evacuación de más de 100.000 personas; (c) 10% de las viviendas destruidas (8.000); (d) 5 hospitales y ambulatorios dañados; (e) sistemas de aguas negras y blancas colapsados; (f) 85% vialidad troncal destruida; (g) paralización del puerto, aeropuerto y actividad recreacional; (h) 30% infraestructura educativa afectada; (i) 4.000 MM\$ en daños materiales; (j) se manejan cifras de 12.000 a 15.000 víctimas, entre muertos y desaparecidos (Genatios y Lafuente, 2003; Lafuente y Genatios, 2005).

Lo cierto es que, los aludes torrenciales generaron una modificación socioeconómica en la población y en el país, pero también se modificó la línea de costa, con las formaciones de nuevas acumulaciones, como los deltas estudiados por Marcucci (2000a) en Los Corales y Uría, como resultante del flujo de detritos, diferenciándose sólo en la litología que sustenta el material desplazado.

En definitiva, fueron estos flujos o aludes torrenciales los que generaron daños severos a las poblaciones esencialmente ubicadas en las partes bajas de las cuencas, a la diversidad de los ecosistemas y a las relaciones económicas y sociales en la entidad (ver gráficos 4, 5 y 6).



Gráfico 4. Vista de la urbanización “Los Corales” después de diciembre de 1999 (Enero, 2010).



Gráfico 5. Vista aérea de la garganta de la cuenca del río Cerro Grande después de diciembre de 1999. Tomado de “Proyecto de Control de Erosión del Río Cerro Grande, Parroquia Caraballeda, estado Vargas” por AUAEV, (s/f).



Gráfico 6. Vista aérea de la desembocadura en la cuenca del río Cerro Grande después de diciembre de 1999. Tomado de “Proyecto de Control de Erosión del Río Cerro Grande, Parroquia Caraballeda, estado Vargas” por AUAEV, (s/f).

MÉTODO

La investigación de tipo correlacional, explicativa, y de diseño cuasi experimental se basó en el método heurístico, con la aplicación de: (a) análisis geoestadístico univariado y multivariado para la obtención de mapas de susceptibilidad específica ponderada y susceptibilidad final; (b) aplicación del Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC); (c) generación del mapa de amenaza a movimientos en masa por sismicidad, a través de las siguientes etapas:

Estructuración temática

Al considerar que la obtención de mapas donde se distribuye la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa para analizar su distribución espacial, se eligió un número determinado de variables y procedimientos, como lo propone INGEOMINAS de Colombia (Ojeda y otros 2001) a saber: geomorfología, geología de superficie, pendiente media del

terreno (a partir de cartas topográficas a escala 1:100.000 y 1:25.000, Hojas El Caribe 6847-IV-NE; Los Chorros 6847-IV-SE; del MARNR/Dirección de Cartografía Nacional, 1979) y conflictos de uso (a partir de la conjugación de los mapas de uso actual y uso potencial de la tierra) y la ubicación de los movimientos de remoción en masa (a partir de las imágenes Ikonos, 2000, Landsat, 2000 y Spot 5, 2007); obtenidos del Instituto Geográfico Venezolano "Simón Bolívar" en su Proyecto Ávila - Mapa de Riesgo (2002) y del Plan de Ordenamiento Territorial de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV, 2005) que posteriormente fueron constatados en campo.

Elaboración de los mapas temáticos básicos

Los mapas se procesaron bajo la plataforma del Sistema de Información Geográfico SIG MapInfo Professional y la aplicación (para la pendiente e hipsometría) del módulo Vertical Mapper, facilitado por el Laboratorio de Cartografía del Departamento de Ciencias de la Tierra, del Instituto Pedagógico de Caracas.

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

Finalmente, se elaboraron los mapas índices que corresponden a las variables de análisis, ellos son: (a) Geología de superficie, (b) geomorfología, (c) pendiente media del terreno y (d) conflictos de uso. Estos se emplearon para generar posteriormente, los mapas de susceptibilidad específicos ponderados y de susceptibilidad final (ver gráfico 7).

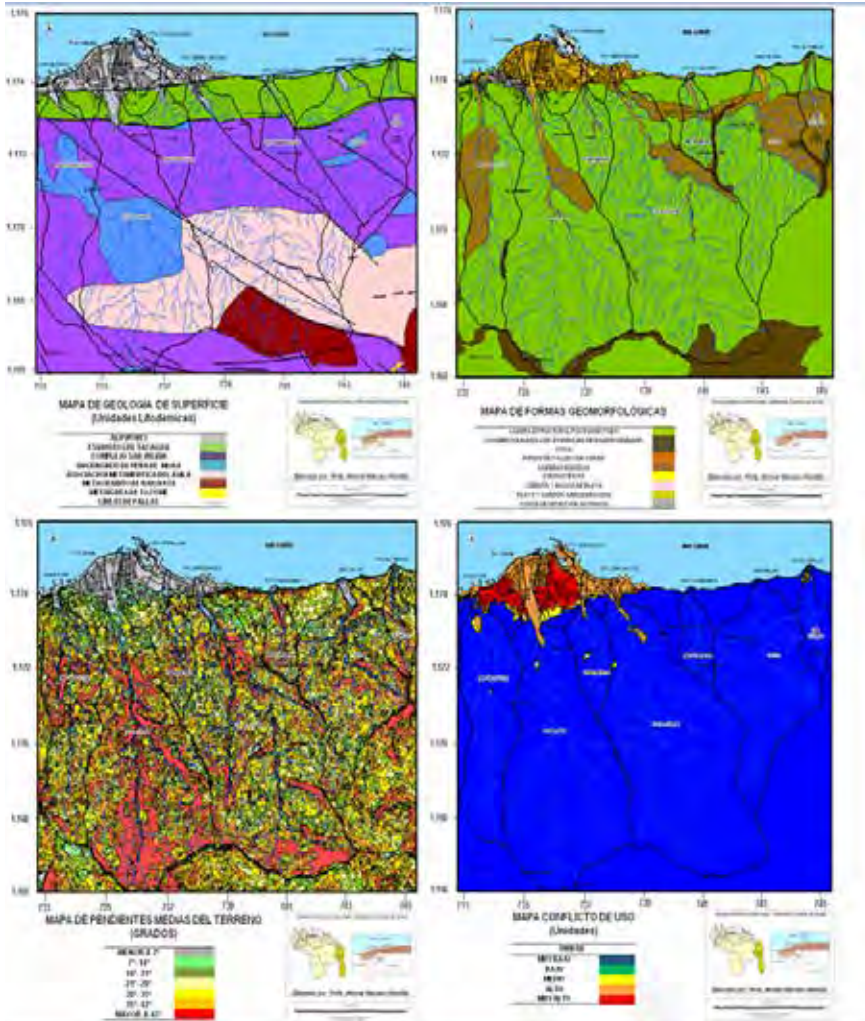


Gráfico 7. Mapas básicos considerando las variables: Geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflicto de uso. Generados por el SIG a partir del “Proyecto Ávila: Mapa de Riesgo” a escala 1:25.000 por IGVS/ MARN, 2002, Caracas y el MDT. Georeferenciada con la proyección cartográfica UTM-SAD69, Uso Horario 19, Hemisferio Nor.

Superposición de capas

El objetivo de esta etapa fue abordar a cada una de las variables para otorgarle sus respectivos valores y de allí obtener los mapas de susceptibilidad por cada variable. Es por esta razón, que al superponer las capas descritas anteriormente, que son: (a) geología de superficie, (b) geomorfología, (c) pendiente media del terreno, y (d) conflictos de uso con los movimientos en masa digitalizados a través del análisis visual a las imágenes Ikonos (2000), Landsat (2000), Spot 5 (2007) fue posible calcular el área removida en cada unidad de las variables, empleando la herramienta SIG, para determinar tanto el área de la superficie deslizada como el área de cada unidad, en Kilómetros Cuadrados (Km²); datos básicos que se requieren para realizar el análisis geoestadístico univariado, de manera que se pueda obtener los mapas de susceptibilidad específica ponderada, y estadística multivariada para la generación del mapa de susceptibilidad final (ver gráfico 8).

Análisis estadístico de las variables geográficas

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

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

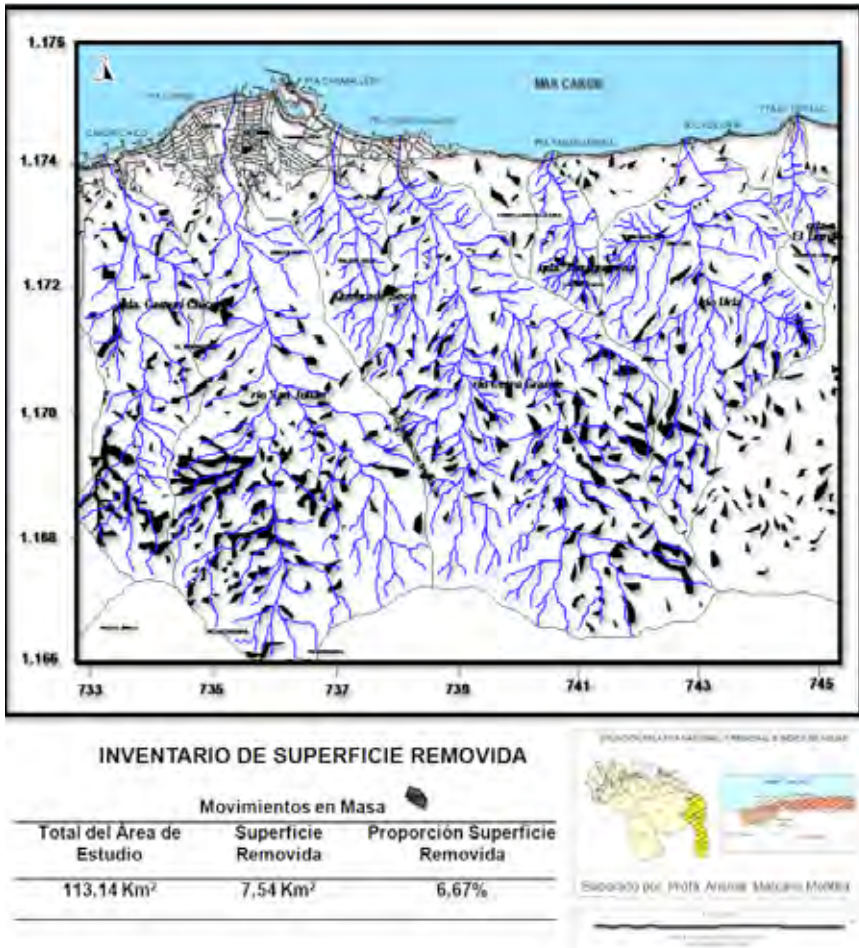


Gráfico 8. Inventario de superficie removida. Cartografiado a partir del análisis e interpretación de las imágenes Ikonos, 2000; Landsat, 2000 y Spot 5, 2007.

Con los resultados obtenidos en la ponderación de la variable, se procedió a calcular los estadísticos para lograr los mapas de susceptibilidad específica ponderada, a partir de la definición de los rangos. Igual procedimiento se efectúa para ponderar las variables para obtener el mapa de susceptibilidad final, como se ejemplifica en el cuadro 1.

Cuadro 1. Matriz de Jerarquías Analíticas para la ponderación de susceptibilidad final, de las variables intervinientes en la génesis de los movimientos en masa

(x) /	(j)	Geología	Pendiente del terreno	Geomorfo- logía	Conflictos de usos	Σx_j	$\Sigma x_j/n$	Peso relativo
Geología		1	2	3	4	10	2,50	0,39
Pendiente media del terreno		0,50	1	2	4	7,5	1,87	0,29
Geomorfología		0,33	0,50	1	4	5,83	1,45	0,23
Conflictos de usos		0,25	0,25	0,25	1	1,75	0,43	0,06
$\Sigma(\Sigma x_j/n)=$							6,27	1,00

Obtención del mapa de susceptibilidad

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

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

El mapa de susceptibilidad final se elaboró mediante el análisis multivariado, en el cual son sumados digitalmente por el SIG, los cuatros mapas de susceptibilidad específica ponderada (ver gráfico 9).

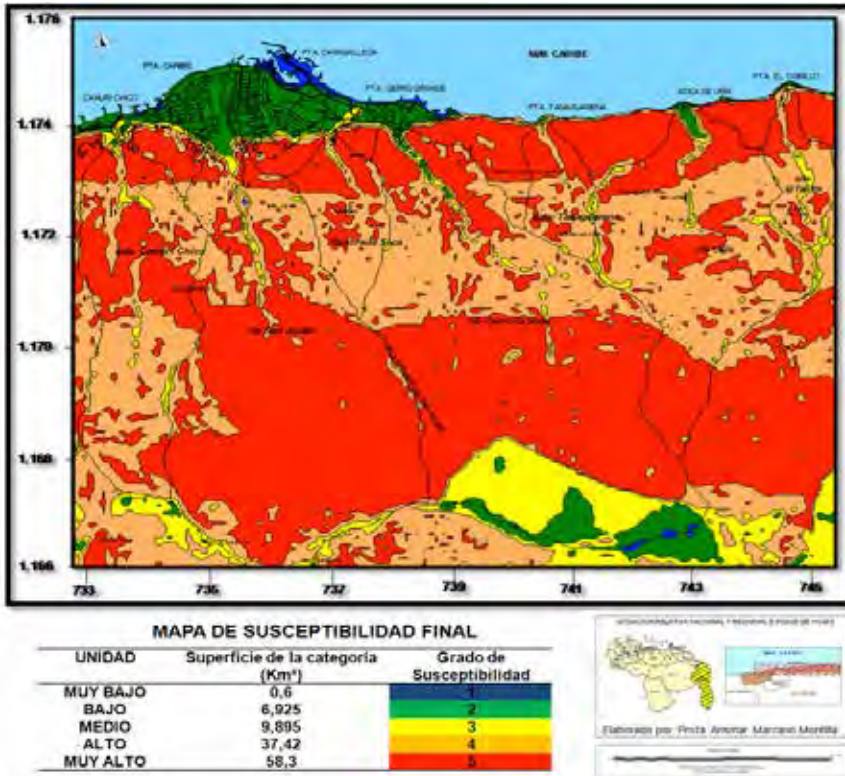


Gráfico 9. Mapa de susceptibilidad final. Generado por el SIG. Georeferenciado con la proyección cartográfica UTM-SAD69, Uso Horario 19, Hemisferio Norte.

Obtención del mapa de amenaza

Para considerar áreas de sismicidad y generar el mapa de amenaza a movimientos en masa por sismicidad, se asumió el método propuesto por Saha, Gupta y Arora (2002) y Saha y otros (2004); conformando áreas de influencias a derrumbes o zonas buffer, tantas como fuese necesarias para abarcar toda el área de estudio.

Al establecer que las áreas de influencia o zona buffer son de 500 metros cada uno, se conformaron 5 buffer (ver cuadro 2), los cuales serían ponderados de acuerdo a su cercanía con la falla y los contactos litoló-

gicos, por lo que, mientras más próximo se está de las líneas de falla y contactos, menor sería el buffer y mayor su ponderación. De esta manera, los buffer fueron ponderados inversamente proporcionales a su distancia, como se aprecia en el mapa de las zonas buffer (ver gráfico 10).

Cuadro 2. Categorías de unidades de buffer para el mapa de amenaza por sismicidad

Código	Buffer (m)	Valor
1	500	5
2	1000	4
3	1500	3
4	2000	2
5	2500	1

Este valor dado en grados de intensidad, se sumó a los porcentajes obtenidos en los mapas de susceptibilidad, utilizando la siguiente fórmula propuesta por Castro (2001, p. 98) modificada:

$$H = St + Fd$$

Donde:

- H = representa la amenaza sísmica
- St = es la susceptibilidad del terreno
- Fd = la acción sísmica desencadenante

Posteriormente, se redefinen los rangos manteniendo el número de categorías, asignadas a amenazas (cuadro 3). Finalmente, se procedió a calibrar el modelo al superponer la capa de áreas removidas o deslizadas dibujadas y procesadas a través del análisis visual de las imágenes Ikonos (2000), Landsat (2000) y Spot 5 (2007), que posterior a su georreferenciación, sirvieron para construir los polígonos representativos de los movimientos ocurridos activados durante los eventos fluviotorrenciales de 1999 y 2005.

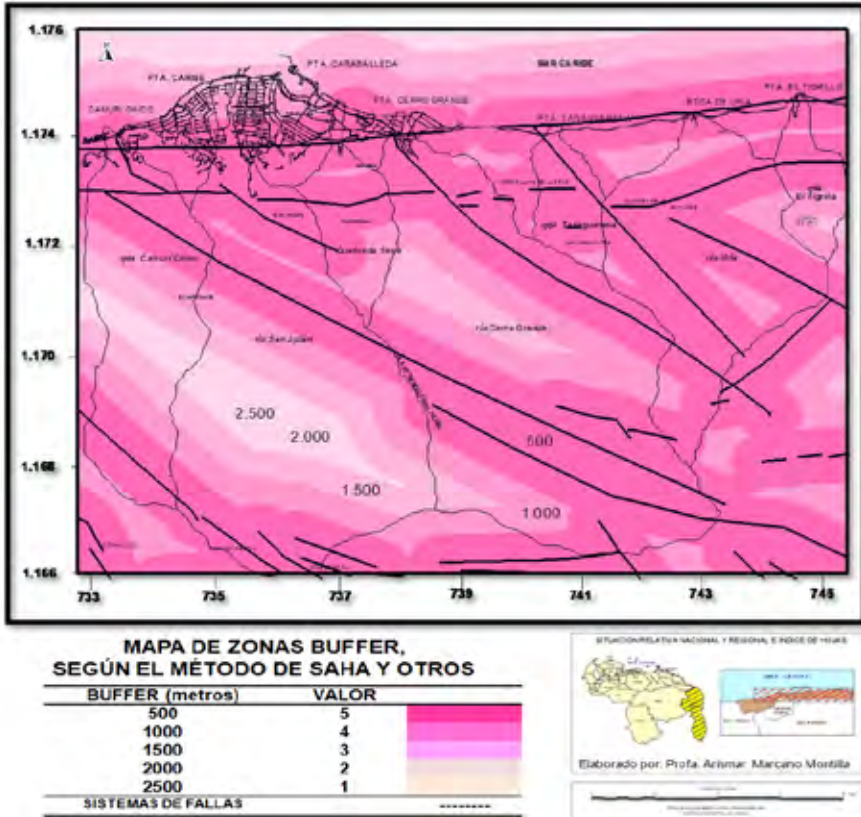


Gráfico 10. Mapa de Zonas Buffer. Generado por el SIG, basado en el Método de Saha, Gupta y Arora (2002) y Saha y otros (2004) International Journal of Geographical Information Science. 19(10), p. 1149–1175. Georeferenciada con la proyección cartográfica UTM-SAD69, Uso Horario 19, Hemisferio Norte

Cuadro 3. Categorías de amenaza a los movimientos en masa desencadenados por la actividad sísmica

Valor	Rango	Categoría de Amenaza	Color
1	≤2	Muy baja	Azul
2	2-4	Baja	Verde
3	4-6	Media	Amarillo
4	6-8	Alta	Naranja
5	8 ≥	Muy Alta	Rojo

RESULTADOS

Al observar el mapa generado (ver gráfico 11), se puede apreciar que existe un determinante predominio de la categoría *Muy Alta*, con una extensión de 90,21 Km² lo que equivale a un 79,73 % del área total de estudio; seguida por la categoría de *Alta* amenaza que significativamente, es menor a la anterior con 17,94 Km², lo que representa proporcionalmente un 15,85 %.

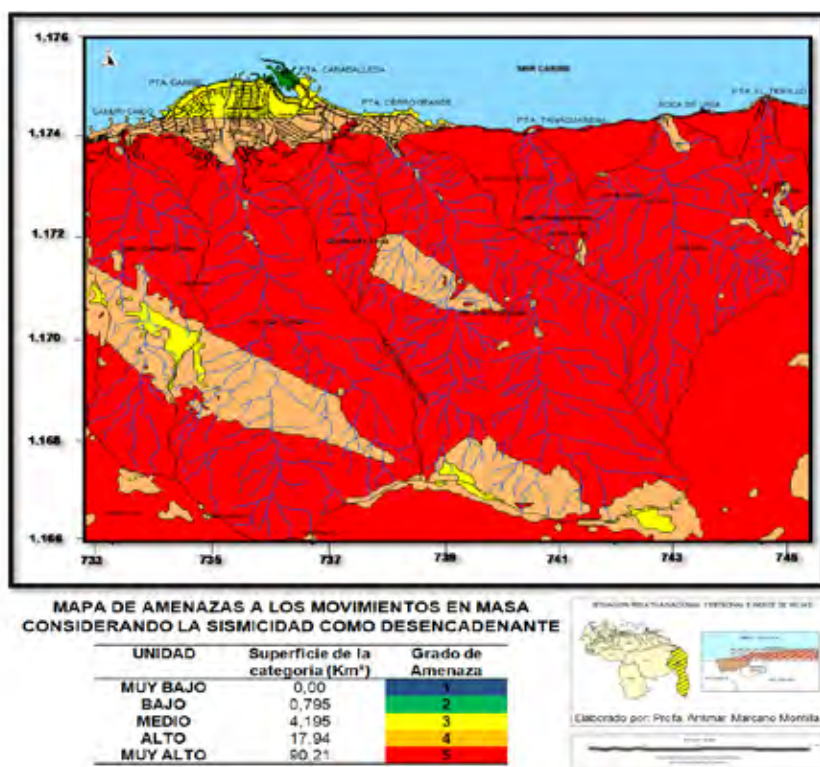


Gráfico 11. Mapa de amenazas por movimientos en masa con la sismicidad como desencadenante. Generado por el SIG.

En conjunto, estas dos unidades totalizan 108,15 Km² (95,58 %); seguida de una estrecha franja de amenaza Media, que alcanza 4,195 Km² (3,70 %) que se presenta como una zona transicional a las categorías de menor superficie de área como lo son las de Bajas y Muy Bajas amenazas, que en conjunto alcanzan 0,79 Km² (0,7 %) del cuadrante de investigación, porque no se evidencia la menor unidad.

Al calibrar el modelo, por medio de la superposición de la capa de deslizamientos sobre este mapa de amenazas a movimientos de remoción en masa por las acciones sísmicas, se mostró una total correspondencia con lo cartografiado, el 83,18 % de los deslizamientos se encuentran en la unidad definida como de Muy Alta amenaza; seguida por la unidad de Alta amenaza con el restante 16,32 %; ya que sólo 0,49 % de los deslizamientos se encuentran la zona de Media amenaza, que se definió en líneas anteriores como transicional; totalizando el 100 % de los deslizamientos. No se evidencia superficie de Muy Baja amenaza, y la categoría identificada como Baja, no presenta deslizamientos (ver gráfico 12).

La distribución de la alta amenaza es muy homogénea, limitando prácticamente en las cuencas bajas, en el abanico aluvial de Caraballeda y en la parte final de los lechos de crecidas de las pequeñas quebradas como Quebrada Seca y Tanaguarena, así como el borde costero circundante a la quebrada El Tigrillo o el río Uría; donde se aprecia alta amenaza disminuyendo su intensidad en el área del cono. Es importante resaltar que el borde costero que se mantiene como de Muy Alta amenaza, se debe a la presencia del sistema de falla que se desplaza en dirección este- oeste y que en el área de trabajo se define como las zonas de fallas del Caribe.

CONCLUSIONES

Las conclusiones están orientadas en dos grandes vertientes, por una parte, el ensayo metodológico “*per se*” y por otra parte, el mapa generado.

En función del ensayo metodológico, el desarrollo de los SIG y la aplicación de la Técnica Compensatoria Aditiva del Método de las Jerarquías

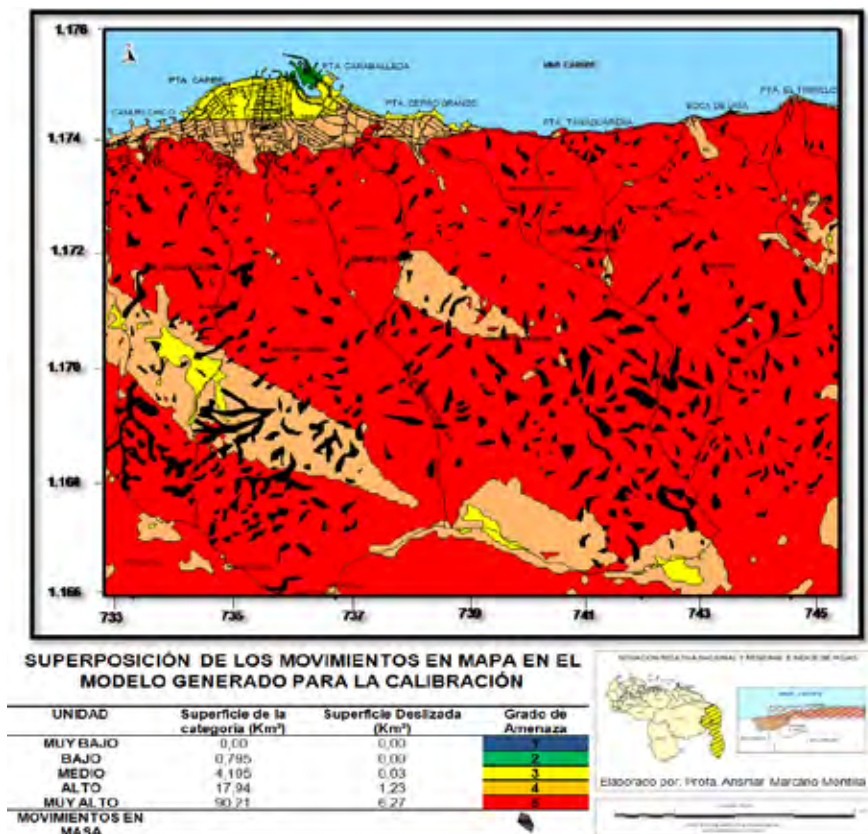


Gráfico 12. Superposición del inventario de Movimientos en Masa con el mapa de amenazas generado por el SIG.

Análíticas (MJA) de la Evaluación Multicriterios (EMC), con la finalidad de asignar pesos ponderados a las variables y unidades de las variables, permitió la optimización y mayor objetividad en el peso de las misma, en este caso concreto, en coherencia con lo planteado por los fundamentos teóricos, la geología de superficie y la pendiente, son las variables fundamentales para generar amenaza por movimientos en masa activados por la sismicidad.

Así mismo, se necesita mayor y mejor plataforma de información en cuanto a: (a) inventarios de movimientos de remoción en masa, que per-

mitan su clasificación; (b) el desarrollo de mapas de microzonificación sísmica para tener datos reales, y generar nuevas aproximaciones a mapas de amenazas considerando los sismos como desencadenantes o por otra parte, mejorar la metodología para las aproximaciones sin la necesidad de desarrollar las microzonificaciones.

El mapa generado, propicia diversas afirmaciones e inferencias, de las cuales se hará mención de las siguientes: (a) el área de trabajo es muy susceptible a desplazarse; (b) presenta muy alta probabilidad a removerse por la actividad sísmica, que además es un sistema activo de manera importante; (c) la mayor amenaza (que está catalogada como Muy Alta) y distribución de las remociones se encuentran potencialmente, en las áreas menos habitadas, que pertenecen o colindan con el Parque Nacional El Ávila, a excepción de la Parroquia Caraballeda, donde los Barrio San Julián, Coropal y Quebrada Seca, por señalar algunos ejemplos, se encuentran dentro de esta zonificación. Así mismo, toda la franja costera entre la Urbanización Tanaguarena y Carmen de Uría, que incluyen la faja donde está emplazada la carretera Caraballeda- Naiguatá, que es la principal vía de comunicación entre el litoral central y los “pueblos de la costa”; (d) Las importantes zonas urbanas residenciales y recreacionales, emplazadas en el abanico aluvial, como lo son: Urbanización y Balneario Camurí Chico, Los Corales, Palma Oeste y Palma Este, El Caribe, El Caraballeda Golf y Yatch Club, Urbanización y Conjunto Residencial Tanaguarena, por ejemplo, se encuentran en la zona de Alta amenaza a remoción por actividad sísmica.

Esta apreciación, conlleva a la necesidad de generar planes de información, manejo y gestión del territorio y de los riesgos, eficaces y eficientes para producir alertas tempranas y minimizar la vulnerabilidad (en cuanto a conocimientos, poca precaución e invasiones de infraestructuras anteriormente afectadas) de las comunidades y así, disminuir sus potenciales riesgos.

REFERENCIAS

- Audemard, F. (2000). Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Venezuela and its Offshore Regions. USGS Open-File report 00-0018 [Página web]. USGS; open file reports ofr – 00-0018). [Consulta: 2015, marzo 26]
- Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV). *Plan De Ordenamiento Y Reglamento De Uso Del Área De Protección Y Recuperación Ambiental Del Estado Vargas (Eje Arrecife-Los Caracas)*. (2005, Enero 21) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.758 (Extraordinario)
- Cárdenas, A. (2000). Análisis del fenómeno ocurrido en el litoral venezolano en diciembre de 1999. *Revista Geográfica de Venezuela*, 41(2), 273-280
- Cartaya, S. (2005). *Adaptación y aplicación de un modelo para el análisis espacial de la susceptibilidad a deslizamientos, empleando SIG, en la micro cuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, Estado Vargas- Venezuela*. Trabajo de ascenso no publicado. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas, Venezuela
- FUNVISIS (2003) Treinta años de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (1972–2000) y la celebración de dos importantes eventos científicos. [Editorial]. Caracas, Venezuela: *Revista Geográfica Venezolana*, 44(2). 1-5
- Genatios, C. y Lafuente, M. (2003) *Lluvias torrenciales en Vargas, Venezuela, en diciembre de 1999. Protección Ambiental y Recuperación Urbana*. [Artículo en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-00300204&script=sci_arttext. [Consulta: 2008, febrero 26]
- Gómez, M. y Barredo, J. (2005) *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: Ra-Ma.
- Imagen satelital *LANDSAT TM+* de abril de 2000
Imagen satelital *Ikonos TM+* de abril de 2000
Imagen satelital *Spot 5* de 2007

-
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002a). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Balance Morfodinámico*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002b). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Formas de Relieve*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002c). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Geología*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002d). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Hipsometría*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002e). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Pendientes*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002f). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Procesos Geomorfológicos*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2002g). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Vegetación*, escala 1:25.000. Caracas, Venezuela: Autor
- Lafuente, M. y Genatios, C. (2005, enero 12) *Los desastres son sociales más que naturales Vargas, cinco años después*. [Artículo en línea]. Disponible en: <http://www.voltairenet.org/article123220.html>. [Consulta: 2006, febrero 26]
- Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 37.002, Julio 20, 2000
- Marcucci, E. (2000). La formación de deltas como resultados de los flujos de Detritus ocurridos en diciembre de 1999 en Carmen de Uría y en Los Corales, Litoral Central de Venezuela [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
- 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, G. (2002) *Las iras de la Serranía. Lluvias torrenciales, avenidas y deslaves en las Cordillera de la Costa, Venezuela: un enfoque histórico*. Caracas: Tropykos
- Roa, J. G. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes de satélites: Cuenca del río Mocoties, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2), 183-219
- Romero, M., Cragno, A., Schmitz, M. y Ambrosio (2006). Caracterización de suelos con métodos geofísicos en La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas, Venezuela. *Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME)*. 44(1).16-29
- Saaty, T. (1990). *Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarch Process* (Volume I). N.Y. New York, USA: Mc Graw Hill
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hieracchy process. *Int. J. Services Sciensces*, 1(1). 83-98
- Saha, Gupta y Arora (2002) GIS- based landslide Hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. *Int. J. Remote Sensing*, 23(2), 357-369
- Saha, Arora, Gupta, Viridy y Csaplovics (2004) GIS-based route planning in landslide-prone areas. *International Journal of Geographical Information Science* 19(10), 1149–1175
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1979). El Caribe, *hoja 6847-IV- NE* [Mapa Topográfico escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1979). Los Chorros, *hoja 6847- IV-SE* [Mapa Topográfico escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1979). Caracas, *hoja 6847* [Mapa Topográfico escala 1:100.000]. Caracas, Venezuela: Autor

- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1995). El Caribe, *hoja 6847-IV-NE* [Ortofotomapa a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. (1995). Los Chorrros, *hoja 6847-IV-SE* [Ortofotomapa a escala 1:25.000]. Caracas, Venezuela: Autor
- 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)
- Vásquez, R. (s/f) *Aporte de la red sísmológica nacional en la evaluación de la amenaza sísmica de Venezuela*. [Artículo en línea]. Disponible en <http://opsu.sicht.ucv.ve/bvd/pdf/funvisis-raquel%20vasquez.pdf>. [Consulta: 2010, febrero 26]