

NIVELES DE PELIGRO DE INESTABILIDAD DE LAS LADERAS DE UN
SECTOR DEL FLANCO NORANDINO VENEZOLANO: MONTE
CARMELO, ESTADO DE TRUJILLO

Katty Montiel A.¹ y Ricardo Seco H.²

¹ Centro de Estudios Geográficos. Universidad del Zulia, Venezuela.

² Facultad de Geografía. Universidad de La Habana, Cuba.

RESUMEN

Con la intención de establecer una zonificación de los niveles de peligro de inestabilidad de laderas de la región de Monte Carmelo, se efectuó un análisis de las condiciones geográficas mediante la aplicación del método heurístico de Van Westen (2003) y de un SIG. Los resultados obtenidos arrojaron tres niveles de peligro de inestabilidad: *peligro bajo* (no se presentan fenómenos dañinos, aunque se podrían presentar en los próximos años), *peligro moderado* (moderada probabilidad de que aparezcan fenómenos dañinos que ocasionen algún tipo de impacto negativo en los próximos años) y *peligro alto* (probabilidad alta de ocurrencia de un fenómeno dañino para la población en los próximos años). Los mapas de zonificación de áreas de peligro serán de gran utilidad para la planificación de los territorios y para la defensa civil, al contribuir a la reducción de pérdidas materiales y humanas que puedan producirse ante la ocurrencia de estos fenómenos.

Palabras clave: flanco norandino venezolano, peligro de inestabilidad de laderas, región de Monte Carmelo, aplicación de un SIG

ABSTRACT

A zonation of slope instability hazard levels of the Mount Carmelo region was carried out based on an analysis of the geographical conditions using the Van Westen (2003) heuristic method and GIS. Three levels of instability hazard were established: *low hazard areas* (no actual harmful phenomena is recorded, although it might occur over the next years), *moderate hazard* (medium probability that harmful processes might appear over next years) and *high hazard* (high probability of harmful processes over the next years.) Zonation maps showing hazard areas will be very useful for physical planning and population protection, taking into consideration that these maps may reduce economic losses and human casualties due to the above mentioned natural hazards.

Key words: Venezuelan Andes northern flank, slope instability hazard, mass movements, Monte Carmelo region, GIS application

1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los estudios sobre la zonificación para el asentamiento y el desarrollo poblacional han hallado, en los últimos años, una magnífica oportunidad a raíz del marcado interés del gobierno nacional venezolano por lograr una verdadera prevención de desastres, lo que se refleja en la ejecución de programas de Gestión de Riesgos y Reducción de Desastres, Vivienda y Hábitat, coordinados por el Consejo Nacional de Viviendas. En este sentido, y en términos geomorfológicos, las montañas aparecen entre los tipos de relieve más frágiles, agredidos y modificados debido a sus características físico-geográficas —es decir, las geomórficas— y por su potencial de recursos naturales de diverso tipo.

Más del 80% de la población venezolana se concentra en regiones montañosas y piedemontinas, donde las limitaciones relacionadas con exceso de pendientes, unidades rocosas frágiles, sismicidad, dinámica asociada con abanicos aluviales, entre otras, pueden ser consideradas comunes (Ferrer 2002). Las cuencas de los ríos Buena Vista y Mimbós de la región de Monte Carmelo no escapan a estas características, ya que en ellas se desarrolla un conjunto de procesos geomórficos concentrados en un área relativamente pequeña. Además, eventos meteorológicos extremos ocurridos en los últimos años aumentan la fragilidad de este relieve. El flanco norandino venezolano ha estado caracterizado por eventos naturales entre los que se destacan los procesos de movimiento de masa (Singer 1983). Estas características indujeron su selección como zona de investigación.

2. EL PROBLEMA

Los problemas de inestabilidad de las laderas son cada día más acuciantes en el flanco norandino venezolano, por lo que el relieve se convierte en un componente físico-geográfico de singular importancia en el análisis de los problemas ambientales, al ser modificado por el efecto combinado de alteraciones en otros componentes o directamente por el hombre y su dinámica socioeconómica, la que a su vez determina o influye sobre los cambios en otros componentes.

Según Díaz *et al.* (2002), la posición científica fundamental que más se desarrolla en estos momentos guarda relación con el importante papel que el hombre ha jugado en el surgimiento de transformaciones negativas en la naturaleza, tanto irreversibles como reversibles, mediante la explotación irracional de los recursos naturales y el uso de la tierra. Estas transformaciones ambientales se producen por acciones antrópicas y por fenómenos naturales sobre un fondo geomorfológico, por lo cual el análisis del relieve y de su base geológica juega un importante rol.

Con la intención de establecer una zonificación de los niveles de peligro de inestabilidad de las laderas de las cuencas de los ríos Buena Vista y Mimbós de la región de Monte Carmelo, se efectuó un análisis detallado de las condiciones geológicas-geomorfológicas, climáticas y del uso actual de la tierra para definir los

mecanismos responsables de la inestabilidad. Se aplicó, mediante un SIG, una matriz de análisis espacial que permitió la manipulación conjunta de datos cualitativos y cuantitativos de cada una de las variables involucradas. El resultado de la sumatoria de variables incidentes en la dinámica espacial reflejó diferentes rangos de peligro, y se obtuvieron con ello los mapas digitales de niveles de peligros de inestabilidad de laderas, con el objetivo fundamental de orientar estudios detallados que permitan el ordenamiento de dicha importante parte del flanco norandino venezolano.

3. MARCO GEOGRÁFICO GENERAL

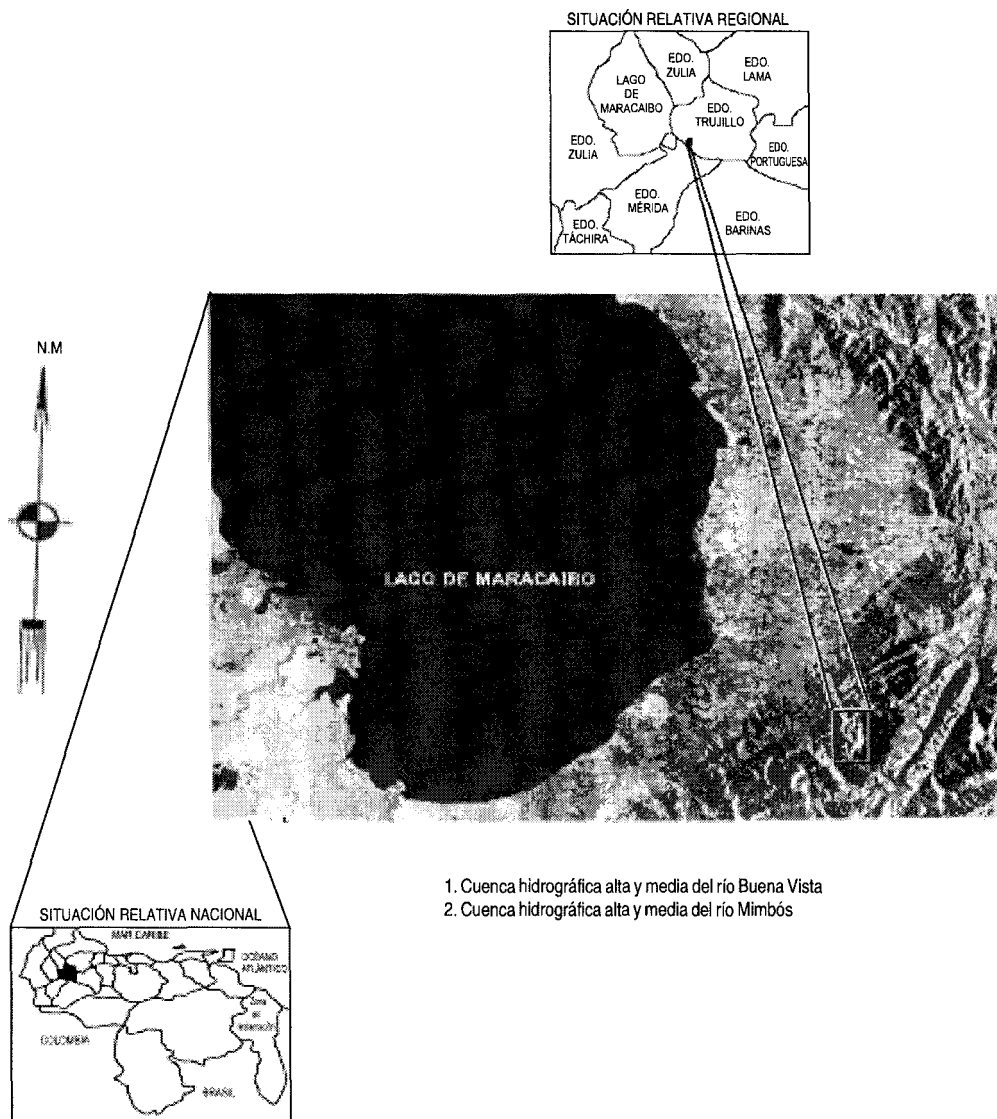
El área de estudio se encuentra conformada por las últimas estribaciones de la serranía septentrional (Sierra del Norte) de los Andes venezolanos, la cual constituye gran parte del flanco norte del sistema andino. Comprende parte del municipio Monte Carmelo y, en menor proporción, de los municipios Rafael Rangel y Escuque del Estado de Trujillo (figura 1). El área se localiza entre los 70° 47' 00" y 70° 50' 30" de longitud oeste y los 9° 11' 00" y 9° 16' 30" de latitud norte. Abarca un área aproximada de 65 km², con elevaciones comprendidas entre los 300 metros en la zona de piedemonte y 1.500 metros en la zona montañosa.

4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

a) *Unidad de piedemonte.* Abarca una porción del piedemonte andino-lacustre. En la parte más baja, el relieve varía de ondulado a quebrado, integrado por colinas de baja altitud con pendientes que oscilan entre 5 y 35%. Las precipitaciones varían entre 1.100 mm/año sobre el contacto de la planicie con el piedemonte y disminuyen progresivamente hasta 950 mm/año sobre el contacto del piedemonte con la zona montañosa. La temperatura media anual oscila entre los 24°C y 27°C. La red hidrográfica presenta un patrón de drenaje dendrítico. Se observa una textura gruesa y un régimen hídrico estacional.

b) *Unidad de montañas bajas.* El relieve varía de accidentado a abrupto con pendientes que oscilan entre 30 y 60%. Se trata de relieves estructurales complejos, formados por montañas bajas redondeadas, falladas y laderas muy inclinadas. El patrón dendrítico se encuentra mal desarrollado, con pocos tributarios y drenes por lo general de régimen permanente.

c) *Unidad de montañas medias.* Presenta un relieve bastante accidentado de pendientes comprendidas entre 36 y 65%. Constituye medios de ablación de tipo montañas medias redondeadas con crestas pronunciadas y muy disectadas. En las unidades de montañas bajas y medias, las precipitaciones sobrepasan los 1.150 mm/año, como es el caso de Monte Carmelo. La temperatura media anual oscila entre los 18°C y 24°C. El drenaje presenta una textura fina y cursos de régimen permanente.



1. Cuenca hidrográfica alta y media del río Buena Vista
2. Cuenca hidrográfica alta y media del río Mimbós

Figura 1. Localización de la región de Monte Carmelo
 Fuente: Imagen de Radar PDEVESA S.A., 1992

5. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Estratigrafía local. González de Juana (1980) hace una descripción de las rocas que afloran en la región de Monte Carmelo, la cual se presenta en el siguiente cuadro (figura 2):

ERA	SISTEMA	PISOS	FORMACIÓN	ESPESOR (mts)	LITOLOGIA GRÁFICA	COMPOSICIÓN LITOLOGICA	AMBIENTE
CENOZOICO	TERCIARIO	MIOCENO MEDIO	PALMAR	340		ARENISCAS MACIZAS, BIEN ESTRATIFICADAS, CON MARCAS DE RIZADURAS Y FOSILES DE VEGETACIÓN	AGUAS SALOBRES A MARINAS DE POCA PROFUNDIDAD BAJO CONDICIONES DE CUENCAS INESTABLES
		MIOCENO INFERIOR A MEDIO	MISOA	860		LUTITAS DE COLOR GRIS MEDIANO A OSCURO; MACIZAS, A FISILES Y CONCRECIÓNARIAS. LUTITAS LIMOLITICAS, ARENSICAS Y LIMOLITAS IRREGULARMENTE INTERCALADAS. SE CARACTERIZA POR UN ELEVADO CONTENIDO DE GLAUCONITA	MARINO SOMERO AGUAS MARINAS DE MEDIANA PROFUNDIDAD
		EOCENO SUPERIOR	CAUSPALMI	128		ARENISCAS, LIMOLITAS Y LUTITAS INTERCALADAS CON ALGUNAS CAPAZ DE CALIZAS EN LA PARTE INFERIOR. LAS ARENAS PRESENTAN TAMAÑOS VARIADOS DE GRANOS PERO EN GENERAL SON DE GRANO FINO Y GRADAN A LIMOLITAS	MARINO SOMERO A PARALICO
		EOCENO INFERIOR A MEDIO	MISOA	860		ARENISCAS, LIMOLITAS Y LUTITAS INTERCALADAS CON ALGUNAS CAPAZ DE CALIZAS EN LA PARTE INFERIOR. LAS ARENAS PRESENTAN TAMAÑOS VARIADOS DE GRANOS PERO EN GENERAL SON DE GRANO FINO Y GRADAN A LIMOLITAS	MARINO SOMERO A PARALICO
		EOCENO SUPERIOR	CAUSPALMI	128		ARENISCAS, LIMOLITAS Y LUTITAS INTERCALADAS CON ALGUNAS CAPAZ DE CALIZAS EN LA PARTE INFERIOR. LAS ARENAS PRESENTAN TAMAÑOS VARIADOS DE GRANOS PERO EN GENERAL SON DE GRANO FINO Y GRADAN A LIMOLITAS	MARINO SOMERO A PARALICO
MESOZOICO	CRETACEO	CONACIENSE MAESTRICH TIENSE	LA LUNA COLÓN	300		LUTITAS MICROFOSILIFERAS, UNIFORMES, MACIZAS DE COLOR OSCURO.	MARINO, RELATIVAMENTE PROFUNDO
		BARREMIENSE - ALBIENSE SUPERIOR	PEÑAS ALTAS	1640		CALIZAS Y LUTITAS CALCAREAS FETIDAS, DELGADAMENTE ESTRATIFICADAS Y LAMINAS DENSA DE COLOR GRIS OSCURO A NEGRO, ES FRECUENTE ENCONTRAR FTANITA EN FORMA DE VETAS Y NODULOS.	MARINO BATIAL HASTA APROX. 1000 mts DE PROFUNDIDAD
		BARREMIENSE - ALBIENSE SUPERIOR	PEÑAS ALTAS	1640		CALIZAS MECIZAS EN LA BASE, SEGUIDAS POR UN INTERVALO DE ARENSICAS Y CALIZAS INTERESTRATIFICADAS, CALIZA HACIA LA PARTE SUPERIOR CARACTERIZADA POR SU ABUNDANTE CONTENIDO DE GRANDES OSTIONES.	PLATAFORMA PROFUNDA
PALEOZOICO	SUPERIOR	CARBONIFERO	LOS TORRES	1170		METACONGLOMERADOS COMPACTOS, BIEN CEMENTADOS Y ESQUITOS ESTAUROLITICOS GRANATIFEROS DE COLOR NEGRO BRILLANTE Y GRANO FINO, CUARCITAS CALCAREAS DE COLOR GRIS CLARO A OSCURO, COMPACTADAS; METALMOLITAS MACIZAS, COMPACTADAS, FILITAS BIOTICAS DE COLOR GRIS PLOMO, ANFIBOLITAS MACIZAS NEGRAS Y CUARCITAS MICACEAS.	MARINO, BAJO CONDICIONES EUXINICAS Y SIN CORRIENTES DE FONDO
PRECAMBRIICO	PROTEROZOICO	GRUPO IGLESIAS		620		GNEISES Y ESQUISTOS BIMICEOS, GNEISES SILLIMANITICOS Y ESQUISTOS BIMICEOS GRANATIFEROS. ESTAUROLITICOS Y ROCAS ANFIBOLITICAS.	FACIES DE LOS ESQUITOS VERDES Y ANFIBOLITA ALMANDINICA

Fuente: Adaptado por Montiel 2006

Figura 2. Columna litoestratigráfica de la región de Monte Carmelo

6. MARCO METODOLÓGICO

El método empleado en este trabajo para la zonificación de peligros de inestabilidad de laderas es el directo o heurístico, propuesto por Van Westen (2003), en el cual la cartografía se basa en la experiencia y se establece directamente la relación entre los deslizamientos y sus condicionantes geológico-geomorfológicas. Con la ayuda de los SIG, se le asignan pesos de significación ponderados (técnicas de indización) a los distintos factores geológico-geomorfológicos que condicionan los procesos de inestabilidad de ladera y, posteriormente, se combina cada uno de estos factores mediante el empleo de técnicas de evaluación multicriterio.

El trabajo de desarrolló en tres fases:

I. Fase de documentación:

- 1) Revisión y estudio de la información básica y material cartográfico y aereofotográfico.
- 2) Teledetección. Se realizó un análisis fointerpretativo a partir de las fotos aéreas pancromáticas de la región a escala 1:25.000 mediante el cual se ubicaron los movimientos de masa y otros procesos que afectan las laderas de las cuencas.
- 3) Selección de los frentes de trabajo con el objeto de verificar en el campo el mayor número de unidades delimitadas con anterioridad y definir las más representativas.

II. Fase de reconocimiento:

- 1) Observación e identificación de las condiciones geográficas del área, lo cual se realizó con un enfoque holístico (aspectos geológicos, aspectos geomórficos e hidrológicos, clima, uso de la tierra y actividad antrópica).
- 2) Recolección de muestras rocosas.
- 3) Rectificación y actualización de los datos y de interpretaciones iniciales en la teledetección.

III. Fase de síntesis:

- 1) Análisis de muestras litológicas.
- 2) Desarrollo de un banco de datos textual y vectorial a través de un SIG —el PC ARC/INFO (ESRI 1990)—, el cual está constituido por una serie de módulos para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de datos geográficos y posee una estructura de base de datos relacionados para el manejo de datos espaciales y no espaciales (Ponte y Bastidas 1993).
- 3) Conversión de mapas de formato analógico a formato digital (Bosque *et al.* 1994) mediante la introducción de las coberturas, manteniendo las características iniciales de los datos espaciales.
- 4) Sobreposición automática de las variables geográficas de la región de Monte Carmelo.

- 5) Análisis espacial. El núcleo esencial de esta fase es el análisis simultáneo de una característica temática y del componente espacial de los objetos geográficos, lo cual constituye una de las principales características para las que los SIG han sido diseñados (Bosque *et al.* 1994). A partir de los mapas iniciales y mediante la aplicación de funciones analíticas concretas, se crearon mapas de trabajos intermedios para llegar a elaborar los mapas finales —todo lo cual representa, precisamente, la solución al problema planteado (Borcosque 1992)—. En estos, cada unidad espacial está definida por un peso total, lo cual permite la creación de nuevos elementos en los mapas resultantes: niveles de peligro de inestabilidad de las laderas de las cuencas hidrográficas de los ríos Buena Vista y Mimbós.

7. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Se presentan los mapas digitales de peligro de inestabilidad de las laderas de las cuencas hidrográficas de los ríos Mimbós y Buena Vista de la región de Monte Carmelo, así como también el análisis respectivo con base en las condiciones geográficas presentes de acuerdo con el enfoque geomorfológico, el cual se realiza para determinar la inestabilidad de áreas extensas y utiliza información general y variada. Su objetivo es determinar la variación espacial de la inestabilidad en las laderas y su representación cartográfica mediante mapas de peligro (Hansen 1984).

Los resultados obtenidos se fundamentan en la definición propuesta por Varnes (en Van Westen 2003) acerca de que la zonación del peligro por inestabilidad de laderas consiste en el mapeo de áreas con igual probabilidad de ocurrencia de deslizamiento en un periodo de tiempo delimitado. Según los criterios de Barredo *et al.* (2000), el grado de peligro de la inestabilidad de las laderas de la región de Monte Carmelo se considera y se representa mediante un SIG, a saber:

- Peligro bajo: abarca áreas donde no hay fenómenos dañinos (deslizamientos de tierra, desprendimiento de rocas, entre otros); se espera que ocurra durante los próximos años. Se asume que el uso de la tierra sea el mismo.
- Peligro moderado: en esta área, la probabilidad de que aparezcan fenómenos dañinos que pudieran ocasionar algún tipo de impacto negativo en infraestructuras y edificaciones durante los próximos años es moderada. Además, los daños esperados son localizados y pueden ser prevenidos mediante medidas de estabilización relativamente simples y económicas.
- Peligro alto: ocupa áreas donde es alta la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino durante los próximos años. Se espera que este evento ocasione daños considerables en la infraestructura y edificaciones. La construcción de nuevas infraestructuras en esta área solo debe acometerse si antes se realiza un estudio detallado.

8. LA INESTABILIDAD DE LADERAS DE LA REGIÓN DE MONTE CARMELO

El efecto de la convergencia de factores naturales y antropogénicos propicia el desarrollo de variados procesos de ladera, desde la reptación hasta derrumbes generalizados, lo que determina una geodinámica activa con altos niveles de peligro de inestabilidad de laderas en la región de Monte Carmelo. Esta característica de peligro alto se relaciona, principalmente, con las condiciones climáticas, geológicas y pendiente. Todos los movimientos que ocurren sobre una vertiente son más o menos función de su inclinación (Gueremy 1981) y de las prácticas agrícolas no conservacionistas, que reducen notablemente la vegetación primaria en zonas de pendientes pronunciadas.

El piedemonte presenta una morfodinámica proclive a la inestabilidad, debido al control ejercido por la falla de Las Virtudes. El peligro de inestabilidad es moderado en las áreas cubiertas por vegetación. Se agudiza (peligro alto) aun más cuando ha sido fuertemente intervenido por conucos y pastos. Constituye un medio morfodinámicamente activo (Montiel 1995).

El alto porcentaje de rocas cataclásticas en las formaciones aflorantes origina amplios sistemas de fracturas y diaclasas que fungen como poros secundarios, los cuales aumentan el avance de fluidos hacia el interior de la roca y ocasionan procesos de alteración mineralógica profunda, meteorización, desprendimiento y transporte (Montiel *et al.* 2001), así como también el lavado de materiales finos por infiltración, esto último evidenciado por los resultados de densidad de granos de los análisis convencionales (figuras 3 y 4).

Los valores de porosidad y permeabilidad indican que las veinte muestras analizadas con sus respectivas gemelas meteorizadas presentan rangos de medianos a bajos (figuras 3 y 4), y demuestran que tienen una capacidad acumulativa moderada. Esta es aumentada por el intenso fallamiento de la zona y la gran debilidad a los esfuerzos de deformación de la mayoría de las unidades formacionales aflorantes (figura 2), con la consecuente infiltración y retención de agua. Ello genera derrumbes poderosamente influidos por la supresión del soporte artificial y la presión del agua sobre paredes y grietas que erosiona el talud por la base, lo cual facilita el desprendimiento del material (Flageollet 1989). La influencia geológica sobre el drenaje es limitada a causa de la poca resistencia de la roca.

Al mismo tiempo, esta capacidad acumulativa de agua en la roca contribuye notablemente a la meteorización química (específicamente a la oxidación). El grado de alteración que presentan las rocas se debe a los altos contenidos de feldespatos, unos minerales inestables que ocasionan la descomposición de las unidades litológicas aflorantes ante los agentes meteorizantes, lo que aumenta el nivel de inestabilidad de las laderas por movimientos de masa y propicia un peligro alto. Estos movimientos pueden ser derrumbes o deslizamientos; los materiales desplazados pueden incluir formaciones superficiales o rocas *in situ*; tienen límites nítidos y representan, generalmente, una parte limitada de la vertiente. Los deslizamientos

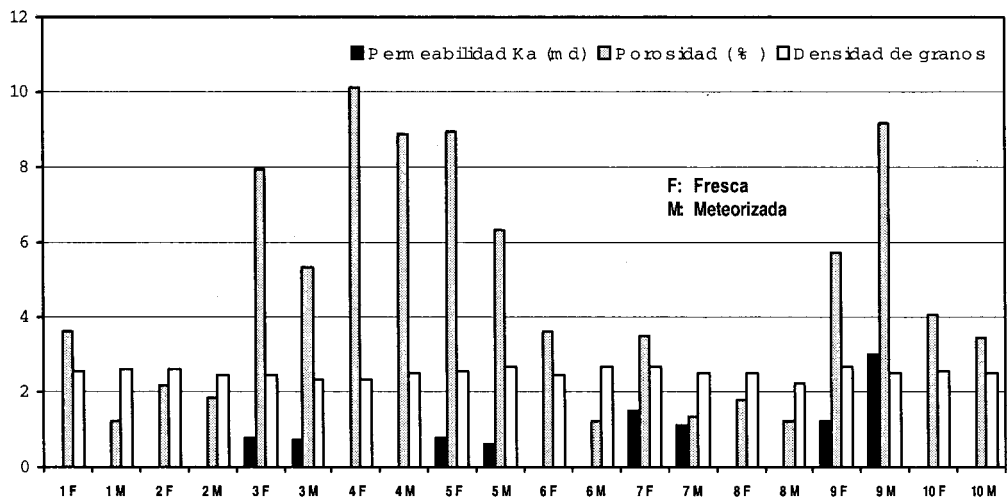


Figura 3. Resultados de los análisis convencionales de la litología de la región de Monte Carmelo

Fuente: Montiel 2006

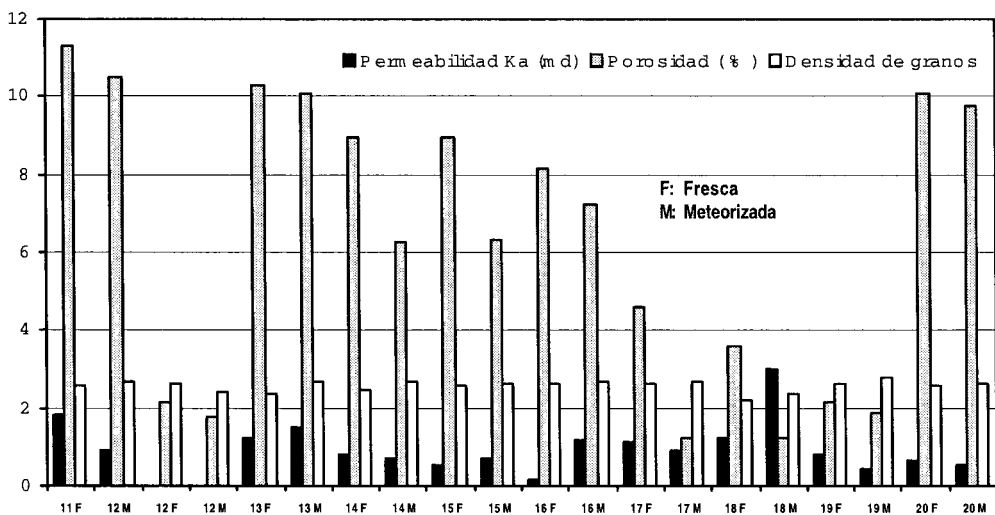


Figura 4. Resultados de los análisis convencionales de la litología de la región de Monte Carmelo

Fuente: Montiel 2006

(*landslides*) aparecen a lo largo de una vertiente, incluso en pendientes débiles (Castillo 1995).

La cuenca del río Buena Vista se caracteriza por una geodinámica que genera condiciones precarias de equilibrio morfológico y fuertes desequilibrios fluviales. Esto es demostrado por la presencia de cicatrices alargadas con aspectos de arañazos, acarcavamientos profundos, numerosas zonas de derrumbes y amplias áreas de denudación (figura 5). Especial significado adquiere la intervención antrópica, al dejar desprovistas a las formaciones geológicas aflorantes de sus cubiertas de alteritas, lo que induce un aumento de los procesos erosivos y gravitacionales en las áreas deforestadas y con fuertes pendientes. La influencia negativa de estos procesos antropogénicos, unida a las condiciones naturales, contribuyen al desarrollo de medios morfodinámicamente activos y de peligro alto (figura 6).

La concentración de agua en la roca, los bajos índices de permeabilidad, la alta porosidad secundaria y el alto porcentaje de formaciones con predominio de lutitas, limolitas y areniscas friables (figura 2) con fuertes pendientes, en la región de Monte Carmelo y especialmente en las áreas de escasa cobertura vegetal, propician procesos de escurrimiento lineal, los cuales se manifiestan a manera de surcos capaces de arrastrar cargas del tamaño de gravas (figura 5). Sobre la litología esquistosa, se presentan amplios anfiteatros cóncavos que funcionan como cuencas de recepción de tipo torrencial.

Los complejos morfolitológicos favorecen la remoción de grandes volúmenes de material geológico a manera de deslizamientos y derrumbes; dicha remoción incluye todos los materiales que pueden ser puestos en movimiento, rocas coherentes y formaciones de pendientes diversas (Moret, en Flageollet 1989), sobre todo en las áreas deforestadas, quemadas, con pastos y cultivos de conucos, y en vertientes con estratos que decrecen en su resistencia si aumentan el contenido de agua en las rocas (Cooke y Doornkamp 1974), generadoras de alto peligro, donde el balance morfológico se inclina a favor de erosión. Esto trae como consecuencia un adelgazamiento de los suelos y la aparición de pedregosidad en la superficie.

Cuando están protegidas por una vegetación densa, las unidades de montañas bajas y medias se presentan como un medio de equilibrio estable y peligro bajo; solo ocurren derrumbes que resultan del socavamiento mecánico de los taludes por procesos de fragmentación y/o alteración que debilitan su base, especialmente donde las rocas que forman la parte baja del talud son de menor cohesión y, por lo tanto, menos resistentes a los agentes erosivos que los estratos superiores (Flageollet 1989).

De igual forma, hacia las partes terminales de la litología granítica, metaconglomerática y esquistosa, se manifiestan cicatrices de desprendimiento masivo recolonizadas por vegetación arbórea. En las zonas cultivadas con café, en áreas con pendientes fuertes, se observa un peligro moderado debido a la protección que ejerce este tipo de cultivo al suelo.

Numerosas son las áreas de peligro alto en la cuenca hidrográfica del río Buena Vista (figura 6), donde rocas ígneas y metamórficas tienden a comportarse como

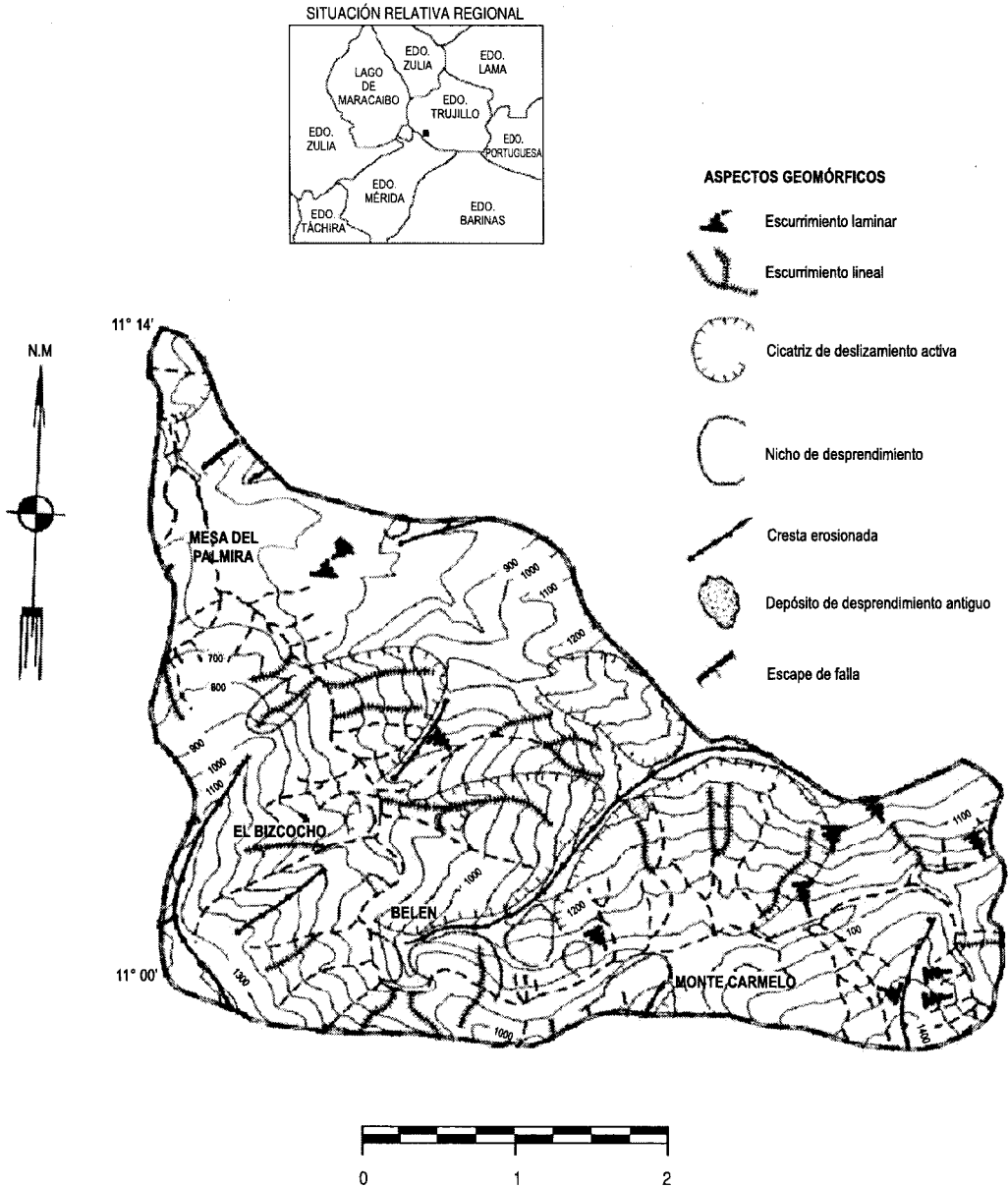


Figura 5. Geomorfología de la cuenca hidrográfica del río Buena Vista (Montiel 1995)

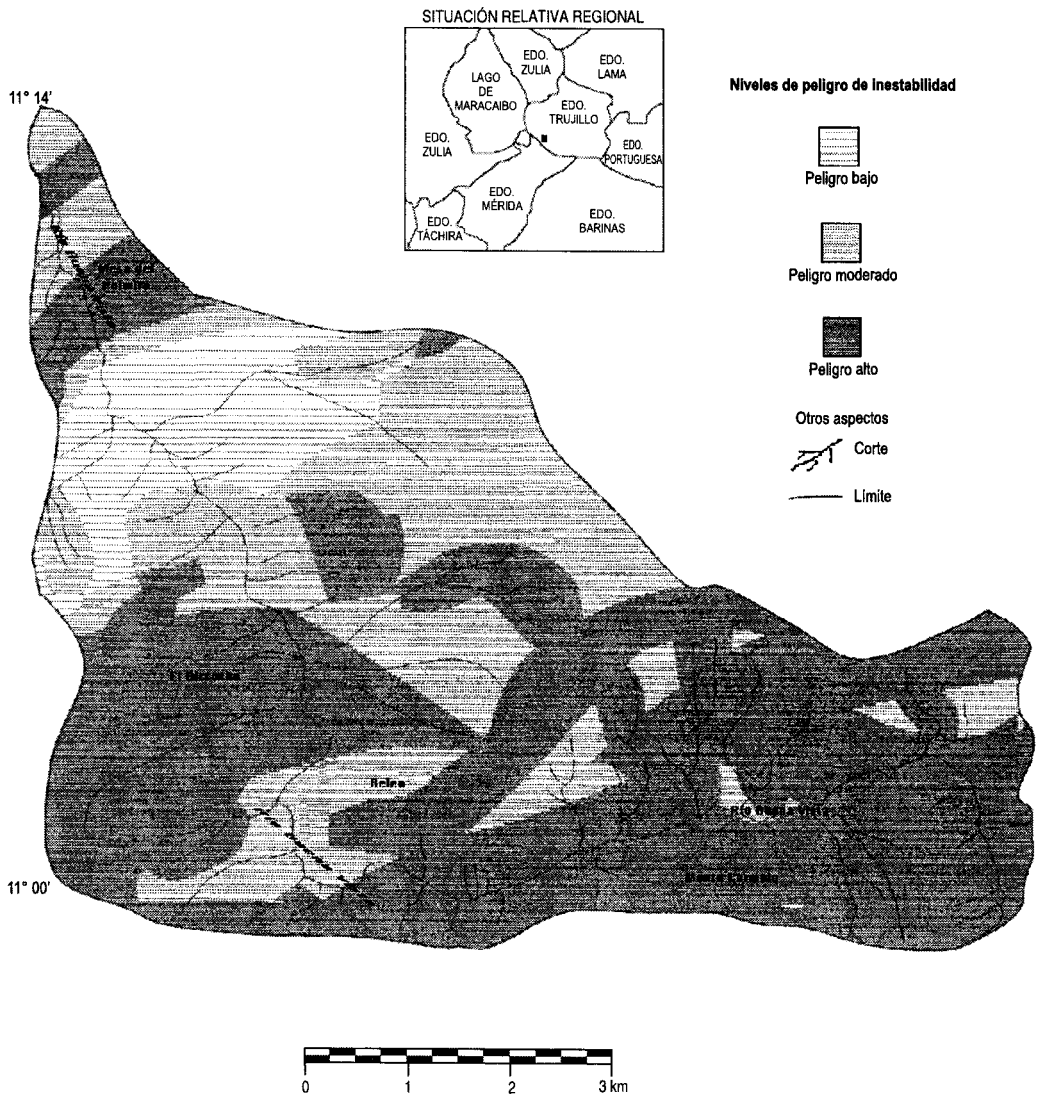


Figura 6. Peligro de inestabilidad de laderas de la cuenca hidrográfica alta y media del río Buena Vista

débiles. Estas rocas son consideradas moderadamente fuertes a fuertes en condiciones geodinámicas diferentes. También existe alto peligro de inestabilidad de laderas en rocas sedimentarias del Cretáceo, las cuales se encuentran muy afectadas por morfoalineamientos y deslizamientos, es decir, movimientos ladera abajo de la masa de suelo, detritos o roca que ocurren sobre una superficie reconocible de ruptura o discontinuidad geológica importante, como lo es la falla del río Buena Vista. Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimiento (Hutchinson 1988).

Asimismo, en las rocas sedimentarias del Paleozoico, se destacan áreas de peligro alto, susceptibles a generar movimientos de masa y planos favorables al colapso, caracterizadas por materiales rocosos blandos que facilitan la acción del agua y susceptibles a ser afectadas por eventos torrenciales recurrentes (figura 6).

La cuenca media del río Mimbós se caracteriza, según Montiel (1995), por una litología lutítica y de calizas lodosas (figura 2) y por procesos de erosión activados en porciones deforestadas o de escasa cobertura vegetal. En este sentido, la litología ocasiona deslizamientos cuando el material permeable se dispone sobre el material impermeable, arcilloso e hidratado (Varnes 1978).

Los morfoalineamientos han dado lugar a una serie de extensos volcamientos de rocas cretácicas en sentido principalmente longitudinal hacia la cuenca del lago Maracaibo (figura 7); tales volcamientos provocan cambios bruscos de buzamiento y son aprovechados por los agentes exógenos para conformar una morfología denudativa. A lo largo de la falla Las Carmelitas, se generan una serie de movimientos de masa asociados a la fuerte trituración tectónica del material geológico localizado en el plano de esta estructura (figura 8), lo cual induce a un peligro alto (figura 9).

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Las características físico-geográficas de la región de Monte Carmelo propician altos índices de peligros de inestabilidad de las laderas, intensificados por un proceso espontáneo de intervención antrópica causado, a su vez, por el crecimiento de centros poblados y por prácticas agrícolas no conservacionistas.
- 2) La nefasta práctica de ubicación de centros poblacionales y el uso de la tierra sin un adecuado conocimiento técnico deben ser sustituidos por una política coherente y sostenida.
- 3) La utilización de las herramientas de la teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica en la investigación, para la representación, el análisis y la edición cartográfica, trae consigo un conjunto de ventajas relacionadas con el aumento de la precisión en los resultados, la reducción del tiempo para obtenerlos y la capacidad para alcanzar nuevas fronteras en el estudio de los peligros naturales que no estaban al alcance de los métodos tradicionales.

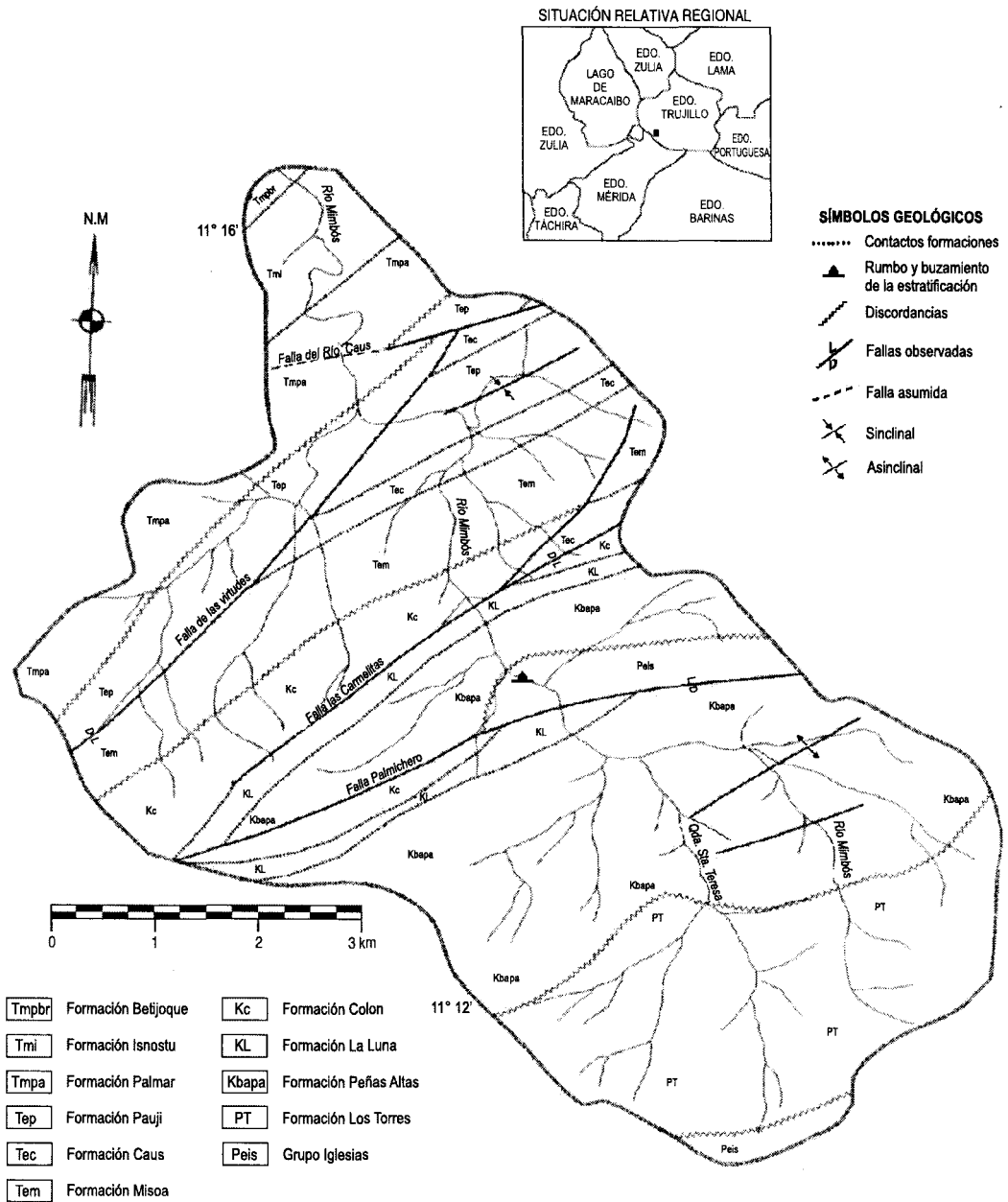


Figura 7. Geología de la cuenca hidrográfica del río Mimbós

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (adaptado por Montiel 2006)

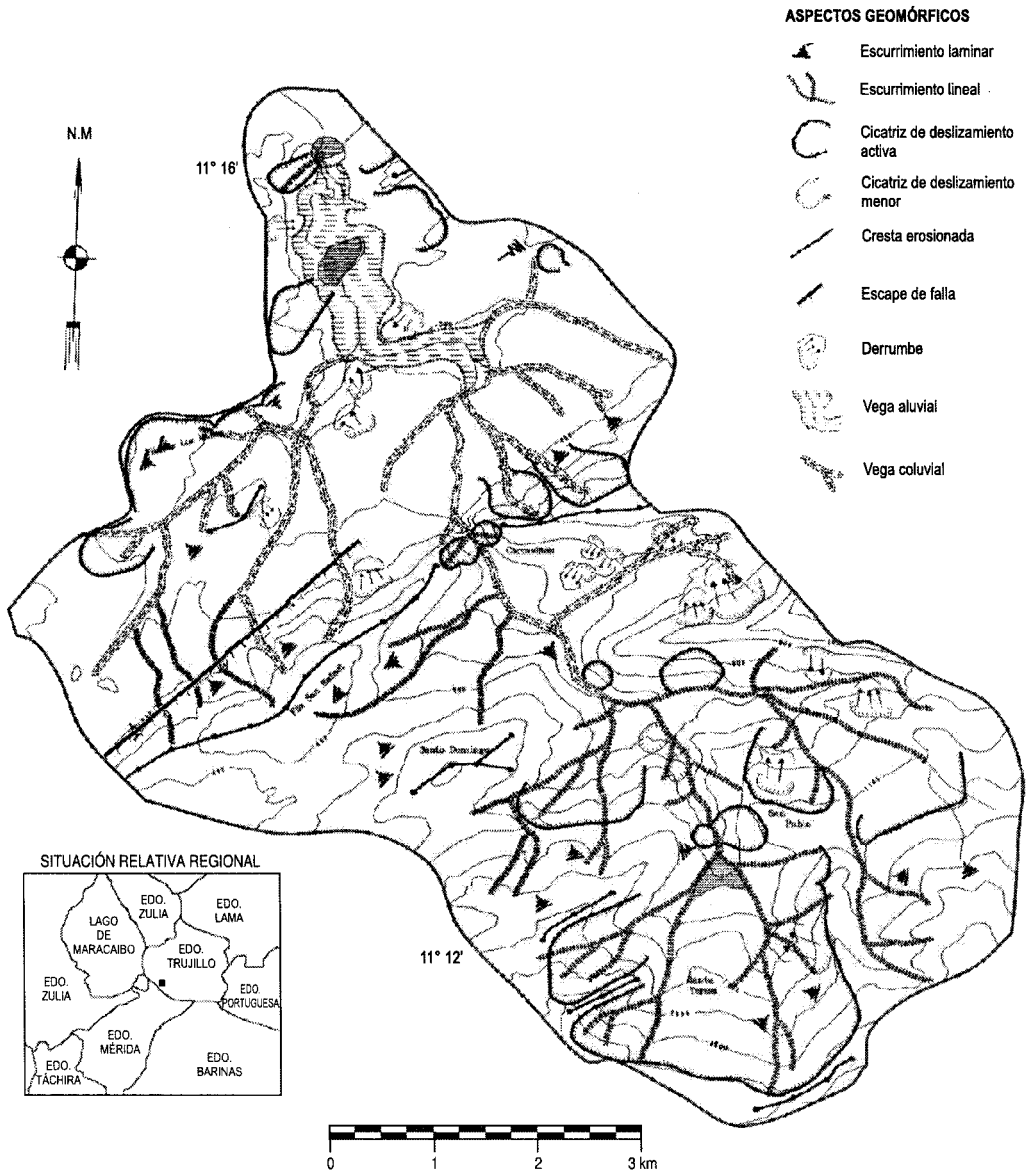


Figura 8. Geomorfología de la cuenca hidrográfica del río Mimboes (Montiel 1995)

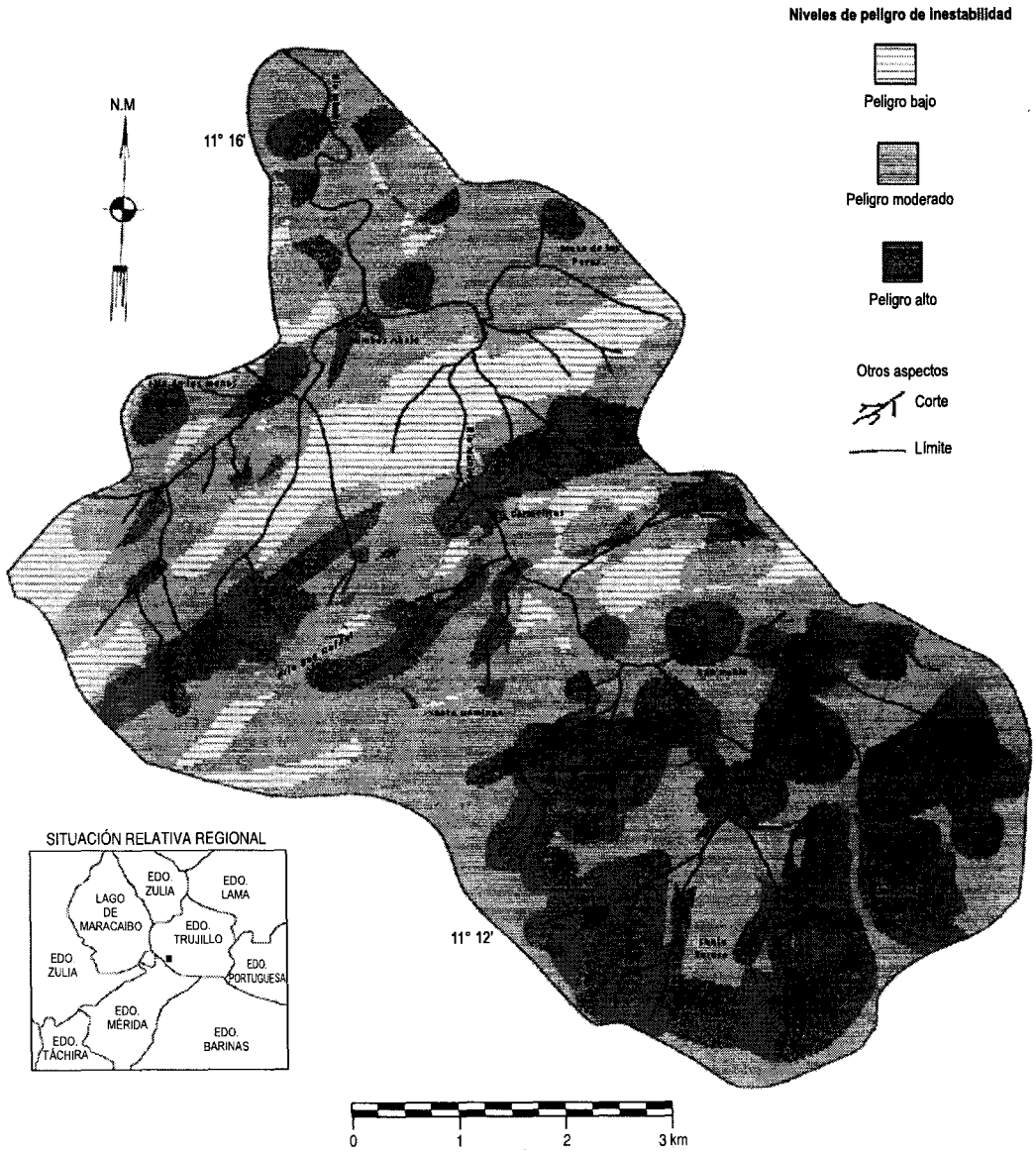


Figura 9. Peligro de inestabilidad de las laderas de la cuenca hidrográfica del río Mimbós

- 4) La elaboración de los mapas de zonificación de las áreas de peligro de inestabilidad de laderas será de gran utilidad para la planificación de los territorios y para la defensa civil, al contribuir a la reducción de pérdidas materiales y vidas humanas que puedan producirse ante estos fenómenos.
- 5) Se recomienda la elaboración de un Plano de Uso Recomendado de la Tierra de las cuencas de los ríos Buena Vista y Mimbós, orientado como instrumento para labores de autogestión que permitan a la población interpretar la esencia de este tipo de estudio, así como desarrollar programas dirigidos a concientizar a los pobladores en materia de comportamiento ante desastres y de aceptación de la existencia de áreas cuya intervención debe ser severamente restringida.
- 6) Los principios expuestos en este ensayo respecto de la región de Monte Carmelo pueden ser empleados en la investigación de otros sectores del flanco norandino venezolano, pues los elementos utilizados son parámetros geomorfológicos repetitivos, mensurables y sobre los cuales existen escasos estudios.

BIBLIOGRAFÍA

- BARREDO, J., A. BENAVIDES Hervás y C. VAN WESTEN
 2000 "Comparing Heuristic Landslide Hazard Assessment Techniques Using GIS in the Tirajana Basin, Gran Canaria Island, Spain". *ITC Journal, JAG*, vol. 2, N° 1, pp. 9-23.
- BOSQUE S, F.J. ESCOBAR, E. GARCÍA y M. SALADO
 1994 *Sistemas de Información Geográfica: práctica con ARC/INFO e IDRISI*. Madrid: Rama.
- BORCOSQUE, J.
 1992 *Sistemas de Información Geográfica (SIG). Conceptos, estructuras y aplicaciones en la captación, procesos y análisis de datos sobre ambiente y recursos naturales*. Santiago de Chile: CEPAL.
- CASTILLO, J.
 1995 "Los factores geográficos en los procesos de derrumbe y deslizamiento". *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, pp. 41-42.
- COOKE, R. y J. DOORNKAMP
 1974 *Geomorphology in Environmental Management*. Londres: Oxford University Press.
- DÍAZ, L., J. SANTANA, y R. REYES
 2002 "El análisis geomórfico-ambiental en territorios montañosos". *II Seminario Latinoamericano de Geografía Física*. Maracaibo.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI
 1990 "Understanding GIS. The ARC/INFO Meted". Redlands: ESRI .

- FLAGEOLLET, J.
1989 *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Paris: Masson.
- FERRER, C.
2002 "Evolución de las condiciones físicas de los barrios: un aporte metodológico". *II Seminario Latinoamericano de Geografía Física*. Maracaibo.
- GONZÁLEZ de Juana
1980 *Geología de Venezuela y de sus campos petrolíferos*. Tomos I y II. Caracas: FONINVES.
- GUEREMY, P.
1981 "Raport Introductif. Actes de Premier Forum Français de Geomorphologie". *Revue de Geomorphologie Dynamique*. Centre de Geographie Aplique Strabur.
- HANSEN, M.
1984 "Strategies for Classification of Landslides". En D. Brunsten y D. Prior (editores). *Slope Instability*. Nueva York: John Wiley and Sons, pp 1-25.
- HUTCHINSON, J.
1988 "Mass movements". En R.W. Fairbridge (editor). *Encyclopedia of Earth Science Series*. Volumen 3. Nueva York: Reinhold, pp. 688-695.
- MONTIEL, K.
1995 "Características geológicas y geomorfológicas de la región de Monte Carmelo. Flanco norandino". *Revista Geográfica Venezolana*, N° 36, pp. 31-61.
- MONTIEL, K., C. ACOSTA y H. MALDONADO
2001 "Geodinámica ambiental de la cuenca del río venezolano San Pedro. Flanco norandino". *RAEGA o Espaço Geográfico. Análise*, N° 5, pp. 149-172.
- PONTE, R y M. BASTIDAS
1993 "Modelo potencial de erosión generado por un SIG para la cuenca del lago de Valencia-Venezuela". *IV Encuentro de Geógrafos de América Latina*. Mérida, marzo-abril 1993.
- SINGER, A., C. ROJAS y M. LUGO
1983 *Inventario nacional de riesgos geológicos. Estudio preliminar*. Caracas: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.
- VAN WESTEN, C.
2003 "GISSIZ: Training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation". *Handout Conferences*. Enschede: ITC.
- VARNES, D. J.
1978 "Slope Movements. Types and Processes". En Schuster, R. y L., Krizak (editores). *Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report, N° 176. Washington: National Academy of Sciences, pp. 11-33.