

INESTABILIDAD DE LADERAS EN EL BARRIO CERROS DE MARÍN, MARACAIBO, ESTADO ZULIA, VENEZUELA*

Slope instability at barrio (neighborhood) Cerros de Marín,
Maracaibo, Zulia State, Venezuela

*Katty Montiel, Yendry González,
Crismar Loaiza y Edith Gouveia*

RESUMEN:

Se propone la aplicación de técnicas que permitan establecer una zonificación de amenaza geomorfológica para el barrio Cerros de Marín del municipio Maracaibo, expresada en términos de inestabilidad y propensión al colapso de laderas. Se efectuó un estudio de las condiciones biofísicas como litología, procesos morfogenéticos, precipitaciones y el efecto de las actividades humanas, basado en el método heurístico de Van Westen. Mediante la teledetección, inspección de campo y la aplicación de un Sistema de Información Geográfica, se determinaron las limitaciones y áreas críticas con base a tres rangos de amenaza: baja, moderada y alta. El análisis de los mecanismos implícitos en el colapso de material geológico, la estimación sobre la tendencia futura y detección de las áreas de amenaza, constituyen las bases para una adecuada mitigación del problema de procesos de ladera. La evaluación de las condiciones

* Recibido: 20-12-2007.

Aceptado: 28-03-2008.

geomorfológicas, la identificación de áreas de amenaza y el estudio de las características de las construcciones de las viviendas, basada en la tipología constructiva de Ferrer y Lafaille, permiten presentar una serie de planos orientados a la planificación territorial de esta área urbana altamente conflictiva dada la amenaza natural latente y la inadecuada utilización del espacio. Se pretende que esta investigación sirva de marco de referencia e insumo en estudios del componente social, desarrollo urbano y programas de habilitación de barrios.

PALABRAS CLAVE: Barrio, geomorfología, inestabilidad, ladera, formación, Maracaibo, estado Zulia.

ABSTRACT:

The implementation of techniques to establish a zoning range of geomorphological threat to the neighborhood in the hills of Marin, city of Maracaibo is proposed, expressed in terms of the instability of slopes and their propensity to collapse. A study of the biophysical conditions as lithology, morphogenetic processes, rainfall and the effect of human activities was performed based on the heuristic method by Van Westen. Using remote sensing, field inspection and the implementation of a Geographic Information System, the constraints and critical areas were identified in reference to the three ranges of threat: low, moderate and high. The analysis of the mechanisms involved in the collapse of geological materials, the estimates on future trends and the detection of the areas of threat constitute the basis for an adequate mitigation of the problem of slope processes. The evaluation of geomorphological conditions, the identification of areas of threat and the study of the characteristics of the construction of dwellings based on the constructive typology by Ferrer and Lafaille, allow for the presentation of a series of plans aimed at the physical land planning of this highly controversial urban area given the natural latent threats and the inadequate use of space. This research will serve as a frame of reference and input in the social studies component in urban development studies and will empowerment programmes for neighborhoods.

KEY WORDS: Slum, geomorphology, instability, slope, formation, Maracaibo, Zulia state.

INTRODUCCIÓN

A partir del año 1961, las subunidades territoriales de Venezuela (regiones, estados, municipios, etc.) han vivido un proceso de cambios importantes en sus estructuras geográficas y demográficas (Rojas, 2005). En efecto, el crecimiento demográfico que ha experimentado la población venezolana en las últimas décadas y su concentración en los principales centros urbanos, es evidente. Tan solo entre los años 1950 y 2001, el volumen de población se incrementó 4,6 veces al pasar de 5 a 23,3 millones de habitantes, y el país experimentó un acelerado proceso de urbanización que lo llevó a elevar la proporción de población urbana de 40% en 1950, a 88%, en el año 2001 (INE, 2001). Dentro de este acelerado proceso de crecimiento poblacional se destacan extensos barrios que rodean las principales ciudades del país. Estos conglomerados de población se asientan generalmente, en terrenos baldíos o espacios que no fueron contemplados en los planes de ordenamiento territorial, ni en áreas de expansión urbana de las ciudades como aptos para establecer urbanizaciones, lo que genera transformaciones antropogénicas negativas en el espacio.

En muchos casos, las áreas de crecimiento urbano se emplazan en los linderos de reservas forestales, parques nacionales o espacios «peligrosos», es decir, sitios donde al asentarse una comunidad se expondría posiblemente a accidentes o fenómenos naturales potencialmente dañinos, capaces de producir cambios radicales en el ambiente, ante los cuales la población difícilmente puede responder de manera eficaz para evitar pérdidas materiales y humanas. Si a esto se le suma la humanización de los paisajes sin planificación, se observa con preocupación el aceleramiento de este tipo de procesos naturales.

En este sentido, los barrios suelen ocupar lechos de ríos y quebradas, laderas con pendientes pronunciadas, zonas de taludes inestables, rellenos, antiguos cauces de ríos, cañadas, zonas montañosas

propensas a ser afectadas por procesos de ladera y otro tipo de eventos naturales potencialmente destructivos. Como consecuencia, muchas amenazas naturales son debidas a la ligereza e irreflexión del hombre ante el entorno físico, así como en la planificación y aplicación de medidas preventivas y correctivas de los abusos (Montiel y Seco, 2006).

Sobre la base de las ideas expuestas, este trabajo está orientado a establecer una zonificación de amenaza por inestabilidad de laderas del barrio Cerros de Marín del estado Zulia y el análisis de los factores controladores de la inestabilidad, para lo cual se identifican y representan en planos digitales, los procesos de ladera potencialmente dañinos así como también de restricciones de habitabilidad de este espacio y los efectos de las actividades humanas como agente desencadenante de dichos procesos. Se pretende que este análisis constituya un soporte para la realización de una planificación territorial de esta región, basada en el desarrollo urbano y socioeconómico ambientalmente sostenible.

EL PROBLEMA

Las estadísticas a nivel mundial, demuestran que los desastres naturales se están incrementando, lo que genera pérdidas humanas y desequilibrios sociales y económicos. Tan sólo en América Latina se estima que durante el siglo XX, las víctimas fueron aproximadamente, de 5000 por año (ONU, 2005).

La realidad económica y social de un país en vías de desarrollo como Venezuela, se ve reflejada también en los aspectos de crecimiento espacial de sus centros urbanos y barrios hacia sitios no adecuados para asentarse. La necesidad de crear áreas edificables para uso industrial, comercial y residencial, en muchos casos, no está acompañada de un riguroso análisis y conocimiento de los principales factores que controlan las condiciones de la amenaza geomorfológica (litología, pendientes, precipitaciones, cobertura vegetal, grado de meteorización, procesos de ladera, intervención antrópica).

El estado Zulia constituye un polo demográfico importante con alrededor del 13% de la población nacional y más del 90% de su población, se considera urbana. Entre los censos de los años 2001 y 1990, se aprecia que el estado Zulia, tiene una tasa de crecimiento de 33,5%, lo que lo ubica en el sexto lugar de los estados con mayor crecimiento poblacional del país (Rojas, 2005). En relación con las implicaciones, esta región ha sufrido un acelerado y desorganizado crecimiento poblacional, sobre todo en sus principales municipios, por lo cual se convierte en una zona con grandes demandas de espacio para la construcción de viviendas. La ciudad de Maracaibo, no escapa de esta realidad ya que ocupa el segundo lugar entre las ciudades de la actual jerarquía urbana del país (Pulido, 2004). Como centro político-administrativo de la región zuliana, Maracaibo es el municipio con mayor número de habitantes. Su área metropolitana abarca 392,8 km², con una población para el año 2001 de 1.219.927 hab., y 2.928.043 hab., para el año 2007, según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2001). La tasa de crecimiento ha ido aumentando de manera sostenida desde 1991, cuando alcanzaba un valor de 2,34%, hasta el año 1997, cuando registraron un 3,45% (INE, 2001).

Un área vulnerable del municipio Maracaibo es la ocupada por la formación El Milagro, específicamente en su parte más septentrional, donde se encuentra localizado el barrio Cerros de Marín (parroquia Olegario Villalobos). Esta unidad geológica constituye un complejo morfolitológico expuesto en el Arco de Maracaibo en acantilados occidentales de la avenida que lleva su nombre a lo largo de la costa del lago (González de Juana *et al*, 1980), la cual presenta características distintivas de amenaza geomorfológica debido a la fragilidad de las rocas que la constituyen; lo que ocasiona colapso de material rocoso impulsado por fuertes lluvias que al conjugarse con el exceso de peso generado por las construcciones de viviendas y vías de comunicación, aceleran procesos de ladera que afectan a este geosistema, por lo que

cada año son reportados por la prensa regional (Panorama, 1999, 2004, 2006), (La Verdad, 2007), pérdidas humanas y materiales.

Atendiendo a estas consideraciones, la situación planteada se constituye en una meta obligatoria en la investigación geográfica, ya que de ésta estriba la planificación y ordenamiento para dicho espacio; tanto urbanístico como ambiental. El análisis de la amenaza natural es una de las primeras tareas en el manejo de desastres y permite conocer aspectos que determinan el surgimiento, desarrollo y manifestación del fenómeno capaz de causar un desastre, sin lo cual no es posible concebir ni el más elemental plan de manejo (Seco, 2004). Sobre la base de las ideas expuestas, la finalidad de esta investigación es evaluar la amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas en el barrio Cerros de Marín y proporcionar una herramienta a las organizaciones gubernamentales para el ordenamiento territorial y la planificación de los procesos de desarrollo urbano, de acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica del Ambiente (Capítulo I, artículo 3).

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el estado Zulia, municipio Maracaibo, parroquia Olegario Villalobos, específicamente, en el barrio Cerros de Marín, en la estribación septentrional de la Formación El Milagro. Limita al Norte, con la urbanización Las Virginias; al Este, con las riberas del Lago de Maracaibo; al Sur; con la parroquia Santa Lucía, siendo su límite la calle 77 (5 de Julio); y al Oeste, con el sector La Lago, Maracaibo, estado Zulia (figura 1). La parroquia Olegario Villalobos, a pesar de su extensión (15 km²), no posee una alta densidad de población, sin embargo la población se concentra en el centro y sur (barrio Cerros de Marín), mientras que la parte norte presenta una densidad menor.



Figura 1. Localización del área de estudio. Barrio Cerros de Marín, Parroquia Olegario Villalobos. Estado Zulia

CONDICIONES FÍSICO-GEOGRÁFICAS GENERALES

Morfológicamente, el barrio Cerros de Marín, se encuentra emplazado en barrancos escarpados a lo largo de la costa, al noroeste del lago de Maracaibo, con una topografía muy accidentada que evidencia *bad lands* de color marrón rojizo, rebajados y cortados por los trabajos de urbanismos.

La evapotranspiración en la zona excede a la precipitación, lo que define un largo período seco y dos períodos lluviosos al año, además está influenciada por los vientos alisios del Noreste y por una alta insolación promedio. La precipitación media anual varía entre 500 a 900 mm, y según Fuenmayor *et al.*, (1999), el clima del barrio Cerros de Marín, es semiseco, ya que el período húmedo no sobrepasa los tres meses. Sólo se observan tres meses de humedad y ocurren en octubre (107 mm) y noviembre (60 mm), y mayo (60 mm). En consecuencia, el período húmedo es muy corto con tan solo un 35% de lluviosidad y un período seco largo que se extiende, en promedio, casi todo el año.

La vegetación primaria la constituye el bosque muy seco tropical, formado por maleza desértica tropical, monte espinoso tropical y cardonales o matorral espinoso.

En cuanto a la geología, el barrio Cerros de Marín se ubica en cuatro afloramientos prominentes de la formación El Milagro, la cual está conformada por arenas friables, finas a gruesas, muy micáceas, de color crema a pardo rojizo y limos micáceos, interestratificados con arcillas arenosas, con estructuras de derrumbe (González de Juana, Iturralde y Picard, 1980:709). Presenta dos capas de arcillas arenosas y limosas, con abundantes fragmentos y troncos de madera silicificada. Estas capas cubren horizontes caracterizados por abundantes nódulos de hierro y formación laterítica, que fueron interpretados como paleosuelos. El paleosuelo superior, separa la gruesa unidad inferior de la sección arenosa y el inferior está desarrollado sobre el centro del arco de Maracaibo, y separa la formación El Milagro de una unidad verdosa, posiblemente equivalente a la formación Onia. Los minerales más destacados son la moscovita, estaurólita, silimanita, cianita y andalucita.

Martínez (1982), caracteriza los afloramientos donde se asienta el barrio Cerros de Marín, de la siguiente manera: 1) Afloramiento prominente del lado oeste de la avenida 2 El Milagro, con una altura

máxima 8 metros, constituido litológicamente por areniscas duras, delgadas, interestratificadas con arcillas ferruginosas sueltas; prominentes capas de areniscas de grano fino, que cruzan la estratificación; hacia la base del acantilado se presenta una secuencia gruesa de arcilitas y arcillas, intercaladas con areniscas de grano fino a medio con delgadas capas de areniscas de grano fino ferruginosas; 2) Afloramiento localizado 200 m al sur y 100 m al norte de la intersección de la avenida 2 El Milagro con la calle 77-5 de Julio, se encuentra derrumbado en parte, con una altura máxima de 10 m. En la base del talud hay un muro de contención para proteger las viviendas construidas en su tope, donde se aprecia una litología de arenisca de hasta un metro de espesor que cubre el talud. 3) Afloramiento localizado a ambos lados de la calle 77-5 de Julio, 350 m al oeste de la intersección con la avenida 2 El Milagro; con un talud norte de hasta 15 m de altura y constituido litológicamente por una interestratificación de areniscas delgadas, friables y arcillas; mientras que el talud sur posee una altura máxima de 12 m y exhibe una sección de areniscas y una capa de 2 m de espesor de arcillas con lentes muy finos de arenas ferruginosas y arenas conglomeráticas; 4) por último, el afloramiento en la cañada Santa Alicia, el cual forma barrancos de areniscas delgadas, interestratificadas con arcillas sueltas y arenas de grano grueso.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La amenaza y la vulnerabilidad. Según CYTED (2006), la amenaza es el conjunto de señales o indicios percibidos o constatados, que advierten sobre la posible ocurrencia, e incluso la intensidad con la que puede producirse un fenómeno de origen natural o antrópico, por cuyo efecto se podría modificar en forma perjudicial y traumática la situación original de un lugar en lo ambiental, social y económico. Verstappen (1983), a su vez, define el término amenaza como un fenómeno natural o antrópico que puede afectar la vida humana, las

propiedades o las actividades de la sociedad. Otra definición muy utilizada es la ofrecida por Varnes (1984), quien define la amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino dentro de un período específico de tiempo y dentro de un área.

No obstante, la vulnerabilidad es una condición de inseguridad, y/o la debilidad manifiesta de un determinado lugar y comunidad, cuyos recursos socio-culturales, económicos y materiales, son insuficientes o inadecuados para afrontar, por sus propios medios, los efectos y consecuencias de la ocurrencia de fenómenos de origen natural o antrópico (CYTED, 2006:18). Coburn *et al.* (1991), definen la vulnerabilidad como el grado de pérdidas causadas en un elemento determinado (o serie de elementos) resultante de una amenaza dada con un nivel de gravedad también definido. En determinados elementos como grupos de viviendas o edificios, la pérdida se puede definir según la proporción de viviendas o edificios que experimenten algún nivel particular de daño.

En la vulnerabilidad intervienen factores ambientales (práctica agrícola, calidad del agua tratada, niveles de deforestación, entre otros); factores económicos (población involucrada, actividad económica, tenencia y propiedad de inmuebles, entre otros); físicos (relativos a la ubicación de los asentamientos, calidad constructiva, zonificación de asentamientos, sistemas constructivos, entre otros); e ideológicos culturales (abarca visión, conceptos y prejuicios, rol social, pertenencia, identidad, percepción del riesgo, memoria histórica, modelos, patrones de adaptación al entorno, entre otros).

Por otra parte, para Coburn *et al.* (1991), el análisis de la amenaza constituye el proceso de estimación de las probabilidades de ocurrencia de fenómenos potencialmente dañinos, en áreas localizadas y dentro de un determinado período de tiempo. Al respecto, Crozier (1984), destaca que existen diferentes enfoques metodológicos en este campo. Uno de los que ha tenido gran aceptación como criterio de zonificación de

amenaza por inestabilidad de laderas, es el método directo o heurístico, en el cual la cartografía se basa en la experiencia, se establece directamente la relación entre los deslizamientos y sus condicionantes geológico-geomorfológicos (Van Westen, 2003).

Para completar, la inestabilidad de laderas constituye el mecanismo mediante el cual los materiales que constituyen la ladera ajustan su inclinación y altura, según los cambios ocurridos en las condiciones hidroclimáticas, geomorfológicas y bióticas (DeGraff, 1985). Entre los procesos generadores de inestabilidad de laderas se destacan los derrumbes y deslizamientos, en los cuales 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 (*landslides*), aparecen a lo largo de una vertiente, incluso en pendientes débiles (Survey, 1981 en Ayala, 1990).

Existe una variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son relativos a la propia naturaleza o características de las laderas, esos factores pueden ser geológicos: litología (materiales constituyentes, porosidad y permeabilidad), la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades estratigráficas y estructurales y la alteración de las rocas (alteración hidrotermal y/o meteorización), hidrológicos; cambio en las presiones de poros o hidrostáticas y el accionar geomecánico (resistencia a la deformabilidad y cohesión), geomorfológicos; áreas con altas pendientes, geometría de los taludes, topografía irregular y climáticos.

Los factores desencadenantes son aquellos que detonan el colapso de la ladera o parte de ella. Esos factores pueden ser naturales: precipitaciones, infiltración, variaciones de temperatura y sismos; y los antrópicos, donde destacan la deforestación, quemas e incendios forestales, cortes de taludes para construcción de carreteras u otra infraestructura, el asentamiento humano en las laderas, la actividad minera, el uso indebido del suelo, entre otros.

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS EMPLEADAS

El análisis de la amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas y su zonificación, incluyó la definición del criterio biofísico, el cual se fundamenta, en el caso de esta investigación, en el análisis de la geología, geomorfología y el efecto de las actividades humanas mediante el uso de imágenes satelitales e inspecciones de campo que incluyeron la toma y análisis litológico de muestras rocosas de la formación El Milagro, todo ello con la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Teledetección, levantamiento de campo y cartografía. Mediante la interpretación de la imagen satelital suministrada por la Corporación Alcaldía de Maracaibo, Dirección de Catastro, Departamento Mapa Digital, escala de imagen 1:2500, Imagen Ikonos 2001 y la comprobación de campo en el año 2007, se obtuvo el plano geomorfológico presentado en el acápite de discusión de los resultados. Para la evaluación de la vulnerabilidad se analizaron las características de las viviendas (tipología constructiva y niveles de daños) y condiciones de sitio. Tomando como base la litología, aspectos geomórficos, las características y respuestas del suelo, se diseñó el plano de restricciones de habitabilidad del barrio.

Evaluación de la amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas. El estudio se fundamentó en el método heurístico, el cual se basa en el análisis de los procesos geomorfológicos que actúan sobre el terreno, el mapeo de los deslizamientos, mapeo de los factores ambientales de los cuales se suponen 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 rangos de amenaza. Para esta tarea se aplicó el análisis espacial

mediante un SIG, específicamente el IDRISI 3.2, donde el núcleo esencial es el análisis simultáneo de las características temáticas y de la componente espacial de los objetos geográficos (Bosque *et al.*, 1994) y la evaluación multicriterio (EMC), la cual se encuentra integrada a la tecnología SIG, permitiendo automatizar muchos de sus métodos. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC), permitió llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005). La evaluación multicriterio se realizó a través de la combinación lineal ponderada (CLP) de los planos correspondientes a los distintos factores que influyen en la inestabilidad (Ordóñez y Martínez, 2003), la cual permitió obtener el plano de amenaza de inestabilidad de laderas. Su expresión matemática es:

$$M = \sum_i p_i x_i$$

Donde: M= mapa de amenaza; P= pesos asignados a cada factor y X = factores.

Para cada variable geográfica se analizaron las diferentes propiedades que afectan las laderas y en dependencia de su importancia, se establecieron las jerarquías y pesos a los factores considerados, en este caso los valores adoptados tienen un carácter orientativo y están basados en el conocimiento empírico (método heurístico). Se asumió la tasación simple (rating methods), que consiste en prefiar un valor inicial (p.e. 100), a partir del cual se asigna una cantidad en función de la preponderancia de cada criterio, y así cada una de las variables hasta lograr una completa y coherente distribución de los cien valores (Gómez y Barredo, 2005) (cuadro 1).

Cuadro 1. Pesos y valores asignados de acuerdo con el método heurístico

Variables o factores	Peso relativo	Parámetros y/o categorías	Rango de amenaza	Valor
Geomorfológicos	0,35	Deslizamientos activos	Alto	3
		Derrumbes	Alto	3
		Depósitos de ladera o masa deslizada	Moderado	3
		Escurrimiento laminar	Moderado	2
		Creep	Alto	2
		Cárcavas	Moderado	3
		Surcos	Alto	2
		Socavamiento por abrasión eólica	Moderado	3
		Cauce de cañada	Moderado	2
Litológicos	0,35			
		Formación El Milagro	Alto	3
Uso de la tierra	0,25	Residencial	Alto	3

Se consideró la propuesta de Barredo *et al*, (2000) y se definen tres rangos: la *amenaza baja* (1), conforma áreas donde no hay fenómenos dañinos (deslizamientos de tierra, desprendimiento de rocas, entre otros); la *amenaza moderada* (2), representa áreas en que pueden aparecer fenómenos dañinos en los próximos años y que podrían ocasionar algún tipo de impacto negativo a las infraestructuras y edificaciones. Además, los daños esperados son localizados y pueden ser prevenidos con medidas de estabilización relativamente, simples y económicas; y la *amenaza alta* (3), constituye áreas donde la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino en los próximos años puede ser muy frecuente, con daños considerables en las

infraestructuras y edificaciones. Las construcciones nuevas deben acometerse, sólo si se realiza antes un estudio bien detallado.

Análisis litológico de muestras rocosas. Un total de ocho muestras fueron seleccionadas en áreas representativas de la litología de los afloramientos donde se emplaza el barrio Cerros de Marín, en octubre de 2007. La descripción litológica se realizó mediante el uso de ácido clorhídrico, ácido nítrico y una lupa estereoscópica. Las muestras fueron limpiadas con un equipo de destilación (Soxglet) y colocadas en el Porosímetro de Boyle para determinar el volumen de poros en rocas. Este procedimiento se fundamenta en la ley de Boyle:

$$\frac{P_1 V_R}{T_1} + \frac{P_2 V}{T_2} = \frac{P_3 (V_R + V)}{T_3}$$

donde; P_1 = presión de la celda de referencia; V_R = volumen de la celda de referencia P_2 = presión en el volumen desconocido; V = volumen desconocido; T_1, T_2, T_3 = temperaturas absolutas; y P_3 = presión de equilibrio resultante. Previamente se calcularon los valores de longitud y diámetro del volumen total de cada una de las muestras.

Mediante la ecuación: Porosidad = volumen de poros / volumen total, se calculó el valor de la porosidad al helio. Posteriormente, por inyección de mercurio, se estimó la cantidad de poros vacíos presentes y se obtuvo el valor de la capacidad acumulativa de las muestras rocosas (permeabilidad). Las muestras fueron sometidas a un gas bajo condiciones de presión de flujo. Todos estos parámetros fueron llevados a la ecuación de Darcy:

$$V = \frac{q}{A} = -\frac{K}{\mu} \cdot \frac{dP}{dL}$$

donde V = velocidad aparente de flujo; q = tasa de flujo; A = área perpendicular al flujo; k = permeabilidad, Darcy; μ = viscosidad; y dP/dL = gradiente de presión en la dirección del flujo. Los resultados

obtenidos fueron considerados en la asignación de pesos de la litología de acuerdo con el método heurístico (cuadro 1) y en el análisis de la amenaza.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La amenaza por inestabilidad de laderas en el barrio Cerros de Marín

Como es sabido, con frecuencia los deslizamientos, derrumbes y otros procesos de ladera son responsables de desastres naturales que ocurren en laderas inestables. En este contexto, los factores controladores de la inestabilidad como las precipitaciones, red hidrográfica, aspectos litológicos, geomórficos y la actividad antrópica, pueden acelerar la aparición de la amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas.

A juicio de Montiel y Seco (2006), el efecto de convergencia de factores naturales y antropogénicos propicia el desarrollo de variados procesos de ladera, desde el creep hasta derrumbes generalizados, lo que determina una geodinámica activa con altos rangos de amenaza por inestabilidad de laderas en el barrio Cerros de Marín. Se identifican tres rangos de amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas, lo cual amerita tomarse en cuenta para el diseño de viviendas y reforzamiento de las existentes. Dichas consideraciones se fundamentan en los siguientes factores:

- *Factores geomórficos.* La unidad geológica El Milagro constituye un complejo morfolitológico caracterizado por el desarrollo de taludes. La formación de barrancos es debida a la preponderancia de la erosión lineal, es frecuente donde falta una cobertura vegetal continua, capaz de impedir la concentración y penetración de los hilillos de agua (Derruau, 1983:295). Se ubica en regiones de clima subdesértico donde las precipitaciones son torrenciales y de corta duración.

Aunado a esto, la baja coherencia de la litología de los barrancos donde se emplaza el barrio Cerros de Marín, se combina con las altas pendientes y la incidencia antrópica, lo que agudiza la ocurrencia de los procesos erosivos que afectan la calidad de vida y de las propiedades de la zona. Ocurren así, procesos de ladera en las áreas ubicadas al sureste, colindando con la parroquia Santa Lucía y la avenida 2 El Milagro, al norte bordeando la calle 75, especialmente en el borde del talud. Los procesos de ladera predominantes corresponden a derrumbes o desplomes, es decir, desprendimientos repentinos de fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes abruptas y acantilados, por lo que el movimiento es de caída libre (CENAPRED, 2001). Los materiales sueltos son angulosos y heterométricos con diámetros aproximados de 40 a 60 cm, los cuales se inician a partir de una serie de grietas, favorecidos por la presencia de agua en los períodos lluviosos y caracterizados por cicatrices de despeque de 4 a 6 m de ancho, aproximadamente (figura 2).

La presencia de derrumbes en las paredes de los afloramientos de la formación El Milagro y áreas de denudación, evidencian un medio morfodinámicamente activo de elevada inestabilidad de laderas en esta unidad geológica. Los derrumbes se presentan sobre areniscas arcillosas desprovistas de sus cubiertas de alteritas, con altos niveles de meteorización química, debido a la presencia de minerales reactivos al agua como la moscovita, al igual que lo observado por Montiel *et al* (2001), en localidades con predominancia de areniscas y arcillas. Por otra parte, se observan deslizamientos causados por la infiltración del agua y por la inclinación del terreno, con cicatrices de 1,5 a 3 m de ancho y 6,7 m de largo.

Dentro de la dinámica de las vertientes del barrio Cerros de Marín, se evidencia la presencia de cárcavas y surcos excavados por las aguas de lluvias torrenciales de corta duración y por infiltraciones de agua de tuberías rotas, muchas de ellas desconectadas del sistema de drenaje



Figura 2. Cicatriz de desprendimiento de material rocoso y escurrimiento laminar. A la izquierda, se observa una vivienda colapsada en el barrio Cerros de Marín

(figura 3). La concentración de aguas en períodos lluviosos (agosto-noviembre y mayo), propicia un aumento de su energía y desencadena procesos de erosión violenta. Dentro de tales circunstancias, predominan cárcavas de entre 1,3 a 2 m de ancho y 3,5 a 5 m de largo que evidencian la actividad actual, y constituyen zonas de alta amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas.

Las concentraciones de agua y formación de cárcavas están relacionadas con los siguientes factores:

- a) Falta de sistemas de alcantarillado y manejo inadecuado de las aguas servidas en el área urbana, la cual produce focos de erosión. Las infiltraciones en zanjas no revestidas (figura 3), es uno de los casos más graves en el barrio Cerros de Marín, debido al desarrollo de familias de cárcavas de gran tamaño.



Figura 3. Cárcavas por infiltraciones en zanjas no revestidas

- b) El desagüe o entrega de los sistemas de alcantarillados en sitios parcialmente susceptibles, forman grandes cárcavas, que determinan, en muchos casos, los colapsos de tierra.
- c) Falta de sumideros para aguas de lluvias. En este caso, el sistema de alcantarillado no es eficiente en la recolección de las aguas de lluvia y las calles del barrio Cerros de Marín, actúan como sistemas alternativos para el escurrimiento de las aguas, lo que propicia la formación de cárcavas.

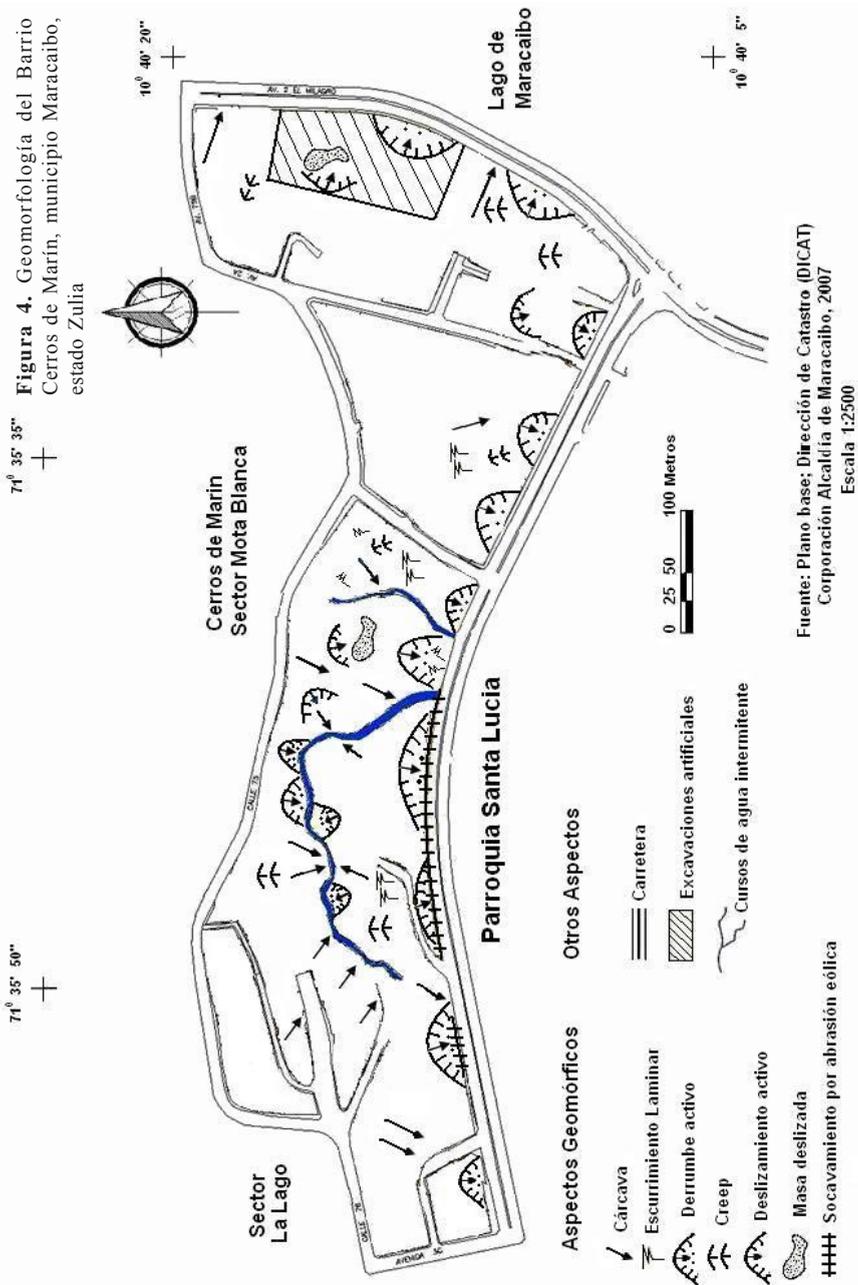
- d) Ejecución inadecuada de los rellenos. Los rellenos sin compactación o compactados inadecuadamente, permiten la saturación y colapso de los suelos sueltos, facilitando los escurrimientos de sedimentos y formación de cárcavas por flujo de los materiales geológicos sueltos.
- e) La disposición inadecuada de la basura sobre los taludes es muy común en este barrio, la cual contribuye con la infiltración, formando depósitos de agua superficiales y corrientes de agua en la interfase entre la basura y los suelos; lo que fomenta el escurrimiento de sedimentos.
- f) Remoción de la vegetación. Al eliminar la protección vegetal original (bosque muy seco tropical), se ha dejado el terreno expuesto al impacto de las gotas de lluvia, las cuales producen erosión laminar, seguida por formación de surcos y cárcavas (figura 4). Además, se observa la presencia de creep o reptación con predominancia del tipo progresiva, y se constituye en un movimiento lento causado por la falta de cubierta vegetal en la litología arcillosa con textura fina y de moderada pendiente.
- *Factores litológicos.* La litología observada corresponde a arenisca de granos medio a grueso, moderadamente escogida, escasamente cementada y con niveles lateríticos, interestratificada con arcilla en parte limosa, con moscovita y arena mal cementada. Sin duda, las areniscas son más firmes que las lutitas pero también son mucho más permeables y permiten la difusión del agua de filtración (Rico y Del Castillo, 1978) y en consecuencia, la disminución de la resistencia. De allí su baja estabilidad estructural y la tendencia de los agregados a desintegrarse fácilmente ante la presencia del agua en estos afloramientos y los consecuentes desplazamientos de material geológico, principalmente en los meses de mayo,

octubre y noviembre (máximos de lluvia), lo que produce problemas en las vías de comunicación principales, colapsos de viviendas, entre otros.

Las rocas de la unidad formacional El Milagro, presentan un alto grado de alteración ferralítica y numerosos niveles lateríticos debido a su alto contenido de óxido de hierro, mineral que ocasiona la descomposición de estas rocas ante la presencia de agentes alterantes como las precipitaciones. Como resultado, la meteorización química, especialmente, la oxidación, juega un papel importante, ya que desmejora la calidad de las rocas y afecta su respuesta geotécnica, aumentando de manera significativa, el nivel de inestabilidad de las laderas (Montiel *et al*, 2001). Este factor, unido a la infiltración de agua en el macizo rocoso y la presencia de las lluvias irregulares, originan desprendimientos de bloques que afectan la población allí asentada, particularmente, en la calle 77 (5 de Julio).

De acuerdo con los datos obtenidos en los análisis convencionales de las muestras de rocas, se evidencia una alta porosidad y permeabilidad en los materiales constitutivos. Dentro de este marco, los análisis de permeabilidad y porosidad (figuras 5 y 6) realizados a un total de ocho muestras tomadas en los afloramientos del barrio Cerros de Marín, en áreas altamente influenciadas por procesos de ladera y, a las cuales se le aplicaron diferentes presiones (400, 800, 1000, 2000, 3000 PSI), reflejan que la mayoría de los valores se ubican en rangos de alta porosidad, es decir, presentan una alta proporción de macroporos, expresados entre 17 y 23 %; y los de permeabilidad, se ubican entre 1600 hasta 89 md, ello indica que tienen una alta capacidad acumulativa para almacenar fluidos (agua) debido a la existencia de poros interconectados en las mismas. Aún con altas presiones de sobrecarga (PSI), los valores de porosidad y permeabilidad, se mantienen elevados.

El paso de fluidos en las rocas de esta unidad formacional, ocasiona efecto de presiones de poro, procesos de meteorización,



desprendimiento, transporte y acarreo. Cabe destacar que la roca in situ, conjuntamente con el manto de alteración, es removida por procesos de ladera a manera de deslizamientos y derrumbes en taludes abruptos y ocasionan áreas de amenaza alta.

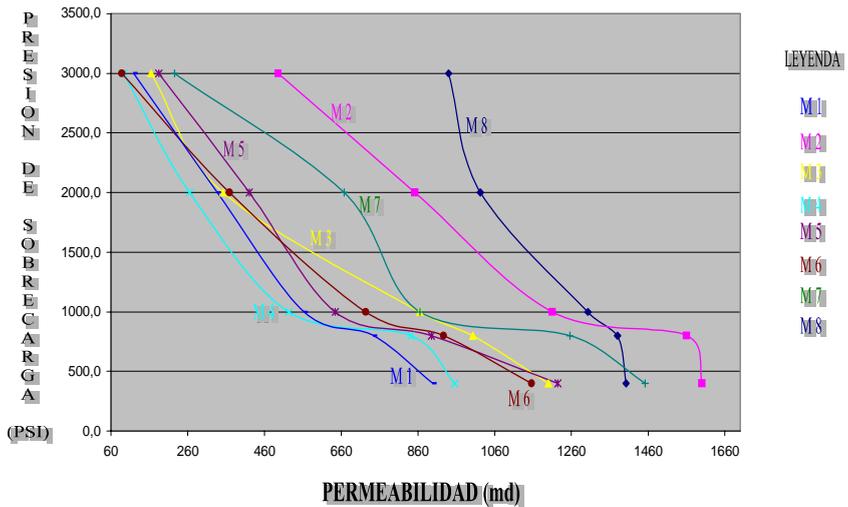


Figura 5. Permeabilidad a diferentes presiones de sobrecarga

- *Factores antropogénicos.* Existen diversos factores generadores de inestabilidad de laderas causada por la actividad del hombre, principalmente por las modificaciones a la geometría de las laderas, excavaciones artificiales, excavaciones para la construcción, procesos de urbanización, rellenos, deforestación y tuberías de agua, entre otras.

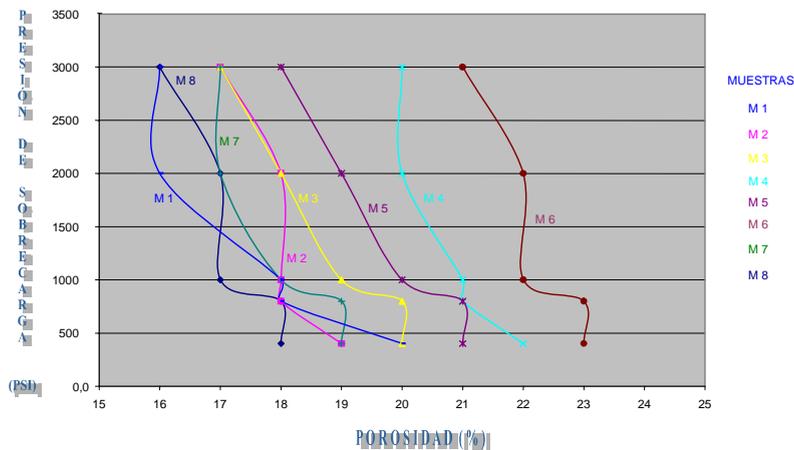


Figura 6. Porosidad a diferentes presiones de sobrecarga

Se observa, en el área de estudio, una relación entre la ocurrencia de procesos de ladera y la rapidez de los procesos de urbanización en el barrio Cerros de Marín en un área geodinámicamente activa y vulnerable al colapso de material geológico. Se aprecia la modificación que la población y los entes gubernamentales han realizado a la geometría de los barrancos, cortándolos para la construcción de vías de comunicación y viviendas. A este respecto, se destacan, en los cortes antrópicos, taludes abruptos y su socavación lateral, en la que podría haber también la acción de la abrasión eólica (figura 4), ocasionado por las corrientes de aire de los vientos alisios del noreste, que se hace más sensible en la proximidad del suelo, ya que la carga del viento disminuye por encima de alturas del orden de 1 a 2 metros (Derruau, 1983). Este desgaste desarrolla profundos canales longitudinales en la base de los afloramientos, los cuales actúan como detonantes de desprendimiento de rocas.

Los rellenos que se presentan en el barrio Cerros de Marín, son generalmente más porosos y permeables que los suelos naturales, lo que favorece acumulaciones de agua en los poros ya que son menos cementados y su estructura es más susceptible a deterioro o colapso por eventos sísmicos y/o lluviosos. El contacto entre el suelo natural y el relleno, constituye una línea de debilidad en la cual se concentran los flujos de agua generadores de inestabilidad. La mayoría de los deslizamientos en el relleno ocurren a los lados del contacto corte-relleno.

Otro de los problemas de origen antrópico relacionado con alta incidencia de procesos de ladera en el barrio Cerros de Marín, lo constituye la deforestación. La tala y quema de la cubierta vegetal (bosque muy seco tropical), conjuntamente con la debilidad litológica en esta unidad formacional, ha acelerado los efectos de la erosión y ocurrencia de deslizamientos. Esta situación es preocupante, sobre todo si se considera que la deforestación ha sido identificada como un elemento muy importante de desestabilización de las laderas urbanas. La situación se agrava aún más cuando se remueve la parte superficial del suelo, la cual funciona como una segunda capa de protección natural contra la erosión e infiltración del agua.

Las repercusiones en cuanto a las excavaciones artificiales (figura 7) que se realizan en la parte norte de los barrancos y con vista al lago de Maracaibo para la construcción de residencias y centros comerciales que desarrollan entes privados, se manifiestan en cambios topográficos, concentración de esfuerzos y descubrimiento de superficies críticas para desplazamientos rocosos por estratificación, fracturas y planos de meteorización, por lo cual representan áreas de amenaza alta.

El fenómeno de excavaciones incluye una relajación de los niveles de esfuerzos a compresión, aumento de los esfuerzos de corte y alteración de las propiedades por cambios físico-químico causados por la exposición al aire y a los cambios de humedad y modificación de las

presiones negativas en el agua de los poros (Sowers, 1985). En consecuencia, se ha generado una serie de derrumbes originados por excavaciones artificiales para la construcción de edificios, donde numerosas familias perdieron partes de sus viviendas y materiales (La Verdad, 2007).



Figura 7. Excavaciones artificiales que generan derrumbes y deslizamientos

VULNERABILIDAD ASOCIADA A LOS TIPOS DE VIVIENDAS

Tomando en cuenta los rangos de amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas existentes en el área de estudio, se intenta establecer la vulnerabilidad en el sentido estricto de la calidad constructiva de las viviendas en el barrio Cerros de Marín, orientada a definir las tipologías constructivas predominantes, basada en la

clasificación propuesta por Ferrer y Laffaille (2004), como base para la posterior estimación de riesgos en caso de presentarse lluvias extremas o un movimiento telúrico.

Se identifican tres tipos de viviendas básicas: Tipo A, viviendas de ladrillo, con piedras ordinarias, viviendas rurales; Tipo B, construcciones de ladrillo, bloques (figura 8), mixtas de albañilería, madera y cinc; y Tipo C, construcciones armadas, diseños estructurales y buenas edificaciones (cuadro 2).

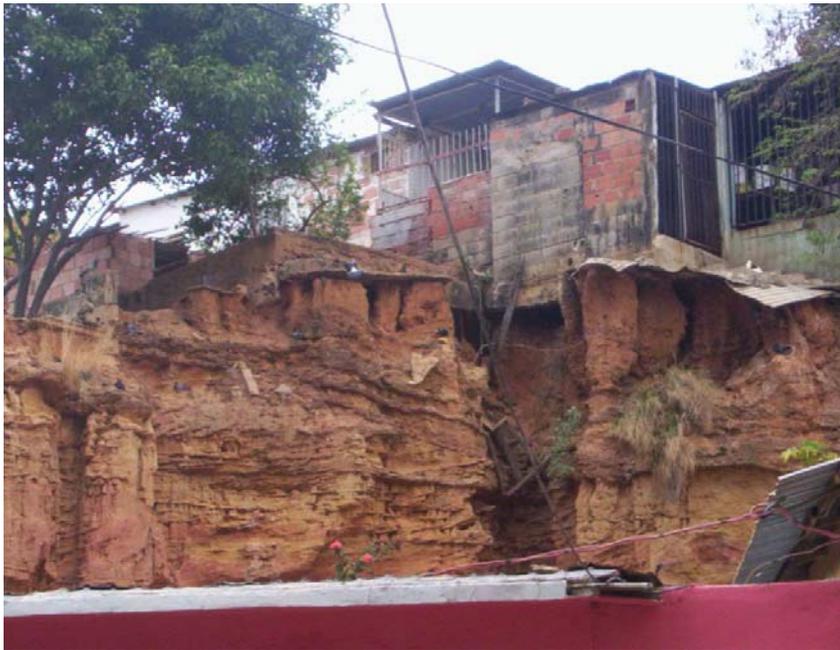


Figura 8. Vivienda artesanal sin soporte estructural al borde del talud. Barrio Cerros de Marín, Municipio Maracaibo, estado Zulia

Es importante puntualizar que las viviendas conocidas como ranchos, no quedan enmarcadas, específicamente en ninguna de las

categorías mencionadas y se toma en consideración que su vulnerabilidad es superior a cualquiera de las anteriores y se clasifican como tipo R (cuadro 2). En el barrio Cerros de Marín, coexisten edificaciones elaboradas con diferentes técnicas constructivas, incluso se identifican viviendas unifamiliares fabricadas mediante una combinación de técnicas asociadas con materiales diversos.

Al igual que lo detectado por Ferrer y Laffaille (2003), en barrios andinos venezolanos, la amenaza por inestabilidad se refleja en los patrones de daños, ya sean por agrietamientos generalizados, derrumbes y deformaciones por deslizamientos, por lo que el monitoreo de la construcción de nuevas viviendas en esta unidad formacional y el reforzamiento de las ya existentes, adquiere singular importancia.

Tomando como base los elementos previamente definidos en el diagnóstico, que incluyó las variables geográficas resaltantes y los rangos de amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas, se diseñó el plano de restricciones de habitabilidad (figura 9), asociado a las siguientes categorías:

- Categoría A: Limitantes asociados al borde del talud: caracterizado por los derrumbes y deslizamientos que bordean el área (figura 10). Se reconoce por la inestabilidad generada en el talud, pendiente muy alta y presencia de agua en el subsuelo en períodos lluviosos. Las grietas y deformaciones en el relieve son propias de esta categoría; adicionalmente se aprecia un conjunto de viviendas ubicadas en el tope del talud. Con base en éste último criterio, la mayoría de estas viviendas, se consideran ubicadas en áreas de moderada y alta amenaza geomorfológica (figura 11), incrementándose en dirección al grupo de viviendas ubicadas en el talud de los afloramientos.

Cuadro 2. Clasificación de las viviendas de acuerdo con la tipología constructiva y grado de vulnerabilidad del barrio Cerros de Marín. Municipio Maracaibo, estado Zulia

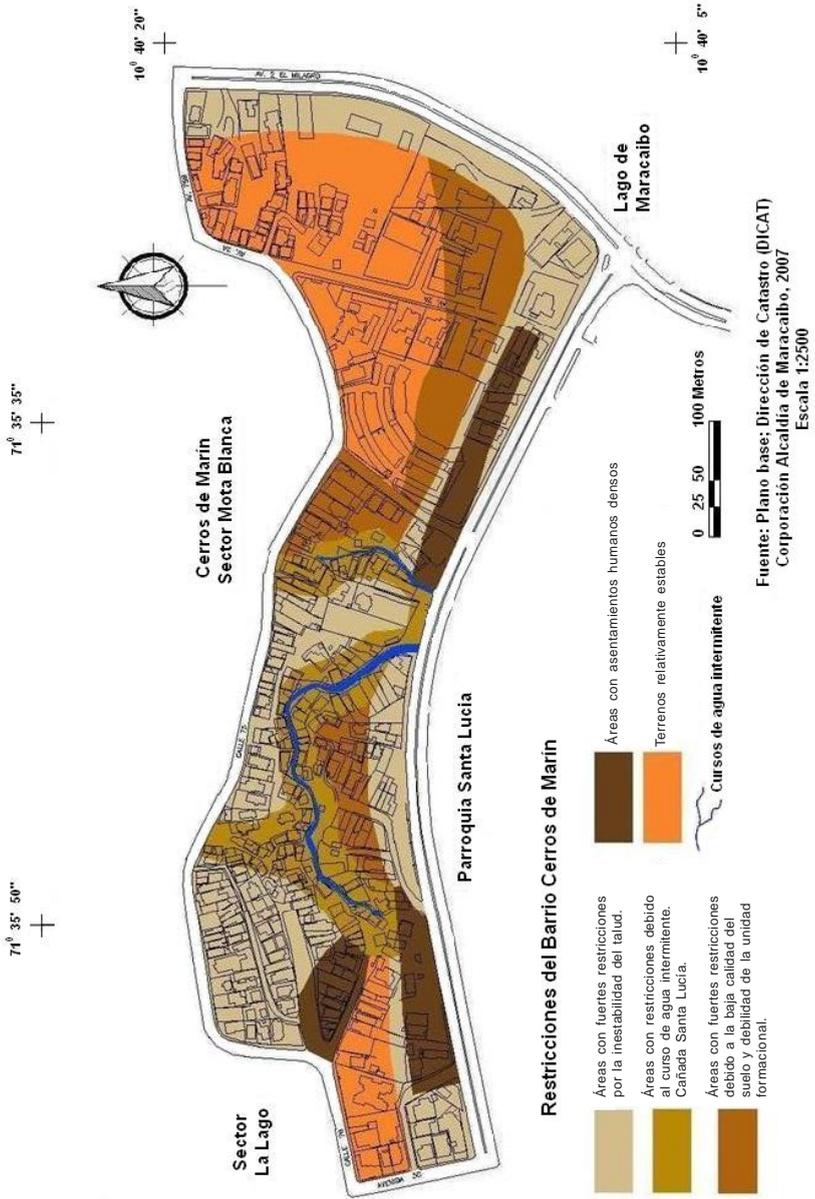
Tipo	Descripción	Vulnerabilidad
R	Rancho: construcciones que poseen niveles superiores de vulnerabilidad en el barrio Cerros de Marín. Su material constructivo son láminas de cinc, en un estado precario. Se encuentran inclinadas según la pendiente, poseen pisos deficientes, agrietados o con ausencia del mismo. Algunas de ellas están ubicadas en la parte más alta del talud, propensas a sufrir daños. En caso de lluvias intensas, sus escombros caerían sobre otras construcciones del barrio.	XI
A1	Tradicional: paredes de adobe y techo de teja: se observan daños de importancia como las fisuras en las paredes, ondulaciones en el piso. En su construcción se observó la falta de tejas en el techado y fracturas del barro cocido.	X
A2	Tradicional: paredes de bahareque y techo de cinc: Los daños causados en este tipo de construcción son por la fragilidad litológica, muchas están cediendo, puesto que se ubican en barrancos de alta pendiente.	VI
A3	Tradicional reforzada: paredes de bloque, techo de cinc y columnas. Se caracterizan por las roturas en las paredes y el colapso de partes de la construcción con pisos agrietados por el desplazamiento del terreno. Muchas de ellas ubicadas sobre el talud y sin ningún tipo de soporte estructural.	VIII
B1	Artesanal: paredes de bloque y techo de cinc: presentan pocas grietas en las paredes. Estas construcciones están ubicadas en áreas de amenaza moderada, sus pisos no poseen grietas frescas, pero se pueden observar los cercos desplazados e inclinados.	V
B2	Artesanal: paredes de bloque, techo de cinc, columnas y vigas. No se observaron daños relevantes. Algunas de estas viviendas se ubican sobre el talud y no tienen ningún tipo de soporte estructural.	III
C	Diseño estructural: poseen varios pisos estructurales, sus paredes y sus pisos no poseen grietas, ubicadas en terrenos planos, poseen tuberías de desagües. Se ubican en las áreas de amenaza baja.	I

Simbología: I: mejor, XI: peor, según Ferrer y Laffaille, 2004.

- Categoría B: Limitantes asociadas con el material rocoso desprendido: la gran cantidad de masas de bloques heterométricos y arenas desprendidas (figura 12), debido al corte de las laderas, falta de cubierta vegetal, litología débil, pendiente alta y meteorización profunda, determinan esta categoría. Se destaca la presencia de viviendas cercanas a zonas de derrumbes y en consecuencia, ubicadas en áreas de alta amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas.
- Categoría C: Limitantes asociadas con la dinámica de la cañada Santa Alicia: muchas de las viviendas que constituyen el barrio Cerros de Marín están ubicadas en los bordes, incluso dentro del lecho de esta cañada. Obviamente, existe una amenaza real en época de altas precipitaciones o por algún evento climático anómalo, relacionado con la posible crecida de la cañada, el transporte de sedimentos y la amenaza relacionada con represamientos de aguas. Esta situación hace que estas viviendas se ubiquen en zonas de alta amenaza, sobre todo, si se considera la inexistencia de un muro de contención que las proteja.

En síntesis, se presenta un cuadro con los rangos de amenazas geomorfológicas por inestabilidad de laderas detectadas en el barrio Cerros de Marín y recomendaciones para cada uno de los rangos definidos (cuadro 3).

Figura 9. Restricciones de habitabilidad en el Barrio Cerros de Marín, municipio Maracaibo, estado Zulia





Fuente: Imagen satelital. Corporación Alcaldía de Maracaibo, 1996
Figura 10. Vista Aérea de zonas de derrumbes y deslizamientos. Barrio Cerros de Marín, municipio Maracaibo, estado Zulia.

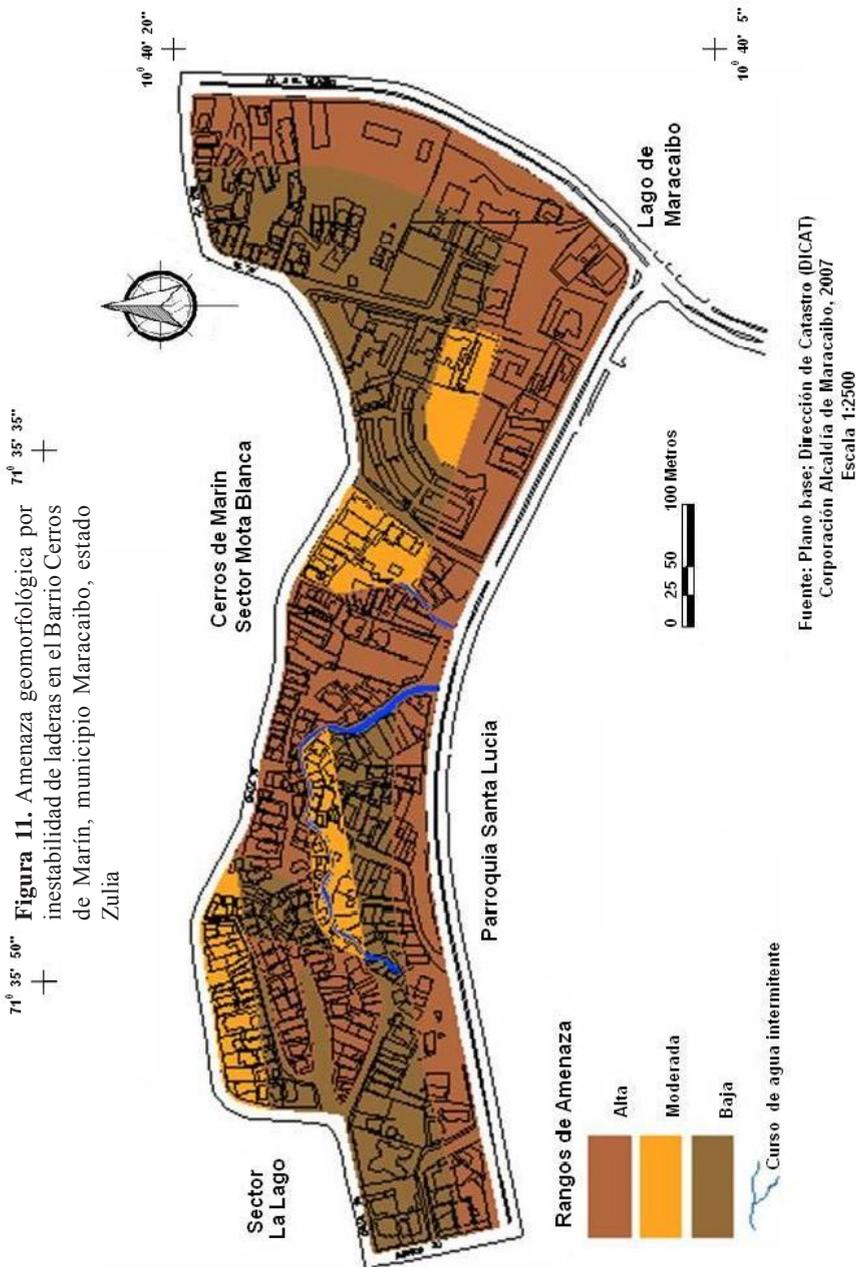




Figura 12. Viviendas ubicadas en áreas de derrumbes

Cuadro 3. Recomendaciones para la habitabilidad en el barrio Cerros de Marín. Municipio Maracaibo, estado Zulia

Rangos de amenaza	Restricciones o limitaciones de áreas de habitabilidad en el barrio Cerros de Marín	Recomendaciones puntuales
Alto	Al sureste, colindando con la parroquia Santa Lucía y la av. 2 El Milagro, al norte bordeando la calle 75, específicamente al borde de talud, se presentan suelos inestables y áreas de arrastre de material rocoso por la cañada Santa Alicia.	<ul style="list-style-type: none"> • Desalojar viviendas del tipo (R, A1, A2 y A3). • Reforzar las viviendas de otra tipología. • Diseñar muros de contención en las zonas de mayor densidad de población. • Reubicar las construcciones y familias por la ocurrencia de un posible colapso. • Embaulamiento del cauce de la cañada Santa Alicia.
Moderado	Al centro y borde noroeste del barrio, se observa alta inestabilidad del material litológico de la formación El Milagro.	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzamiento y mejoras de las viviendas tipo B1 y B2.
Bajo	Al noroeste y noreste del barrio, se presenta una amenaza asociada al colapso del talud y fragilidad de las edificaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de monitoreos geomorfológicos periódicos del lugar para asegurarse de evitar algún colapso por la inestabilidad de la litológica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las características geográficas del barrio Cerros de Marín, evidencian medios morfodinámicamente activos y altos índices de amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas, intensificados por la intervención irreflexiva de la sociedad mediante el crecimiento de la población en éste lugar con alta probabilidad de ocurrencia de eventos geomorfológicos perjudiciales.
2. La población construye viviendas en zonas propensas a procesos de ladera, con pendientes inclinadas. Además, en sus construcciones no incluyen un buen sistema de drenaje y desagües, lo que debilita el terreno por las infiltraciones. Así mismo construyen en áreas muy próximas al lecho de redes hídricas, eliminan la vegetación indiscriminadamente, por lo cual se convierten en ente generador y acelerador de procesos de ladera que arrastran consigo lo que esté a su paso, como ocurrió en el año 2005, con el desplazamiento de material rocoso en el cerro donde se encuentra la Torre Mara, que trajo consigo el cierre de la Av. El Milagro, y obstaculizó el paso vehicular y peatonal por varios días (Panorama, 2005).
3. La estructura litológica de la unidad formacional El Milagro, se encuentra caracterizada por presentar altos niveles de porosidad y permeabilidad, así como también elevados contenidos de arenas y arcillas y óxido de hierro, lo que la hace vulnerable a procesos meteorizantes y sufrir desplazamientos de material geológico.
4. La evaluación geomorfológica será de gran utilidad para la planificación y ordenamiento territorial de este paisaje antroponatural, y contribuirá con la reducción de pérdidas materiales y humanas, debido a la nefasta práctica de ubicar centros

poblacionales sin un adecuado conocimiento técnico, lo cual debe ser sustituido por políticas coherentes y de desarrollo sostenible de desarrollo urbano.

5. El estudio de la tipología constructiva de las viviendas del barrio Cerros de Marín, orienta y previene a las autoridades civiles sobre su vulnerabilidad ante la ocurrencia de algún evento natural, así como también, el control de la intervención antrópica en el ambiente, de tal forma que garantice la reducción de procesos destructivos por la inestabilidad de laderas.
6. La presentación de un plano de restricciones de habitabilidad del barrio Cerros de Marín, constituye un aporte que permite el manejo adecuado del área y por consiguiente, un ordenamiento de esta porción de la región zuliana.

Se recomienda:

1. Desarrollar programas de concientización a la comunidad, para el uso adecuado de este espacio geográfico con características notorias de amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas.
2. Adoptar un conjunto de políticas para orientar y ordenar el desarrollo urbano del barrio y establecer correctivos en áreas degradadas.
3. Apoyar iniciativas políticas a fin de mejorar el marco legal para el manejo integral de áreas de amenaza geomorfológica por inestabilidad de laderas.
4. Valorar los estudios de la tipología constructiva de las viviendas del barrio Cerros de Marín, para la posible reubicación de la población, y de esa manera evitar las pérdidas humanas y materiales.
5. Tomar en cuenta el plano de restricciones de habitabilidad en el barrio Cerros de Marín propuesto a la hora de diseñar construcciones en el área.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el apoyo financiero para la realización de esta investigación. Especial gratitud al TSU en Informática, Rodolfo Javier La Torre y al TSU en Geología, Humberto Linares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, F. (1990). Análisis de los conceptos fundamentales de riesgo y aplicación a la definición de tipos riesgos geológicos. *Boletín Geológico Minero*. Vol. 101. No. 3. España, pp. 108-119.
- Barredo, J.; Benavides, H.; y Van Westen, C. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *ITC Journal, JAG*. 2 (1), pp. 9-23.
- Bosques, J; Escobar, F; García, E y Salado, M. (1994). *Sistemas de Información Geográfica: Práctica con ARC/INFO e IDRISI*. Edición Rama. USA. 478 p.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2001). *Inestabilidad de laderas*. Serie Fascículos. México, 36 p.
- Crozier, M. (1984). *Landslides: causes, consequences and environment*. Croom Helm. London.
- Coburn, A., Spence, R. y Pomonis, A. (1991). *Vulnerabilidad y evaluación del riesgo. Programa de entrenamiento para el manejo de desastres*. PNUD, Cambridge Architectural Research Limited, Cambridge, U. K.
- CYTED (2006). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Actores y roles en la gestión de riesgos. *RED XIV-G Habitad en riesgo*. La Asunción- Paraguay, 113 p.

- DeGraff, J. V. (1985). *Landslide Hazard on St. Lucia, West Indies*. Washington, D.C. Organization of American States.
- Derruau, M. (1983). *Geomorfología*. Editorial Ariel. Barcelona-España, 528 p.
- Ferrer, C. y Laffaile, J. (2003). Un ensayo de zonificación física para la habilitación de barrios en los Andes venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*. Volumen 44(2), pp. 247-267.
- Ferrer, C. y Laffaile, J. (2004). Una aproximación al estudio de niveles de susceptibilidad en un barrio ubicado en la ciudad de Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. Volumen 45(1), pp. 11-34.
- Fuenmayor W., Strauss E., Romero J. (1999). *Geografía Física de Venezuela*. Editorial. EDILUZ. Maracaibo-Venezuela. 260 p.
- Gómez, M. y Barredo, J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del Territorio*. Editorial Alfaomega. 2da edición. México, 279 p.
- González De Juana, C; Iturralde de A., A y Picard, X. (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Tomo II. Ediciones Foninves. Caracas -Venezuela, 1031 p.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2001). *XIII Censo General de Población y Vivienda*. Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo.
- La Verdad (2007). *En peligro más de 40 personas por derrumbes en Cerros de Marín*. Cuerpo C. pág. 4. Periódico Regional, Estado Zulia.
- Ley Orgánica del Ambiente de la República Bolivariana de Venezuela (1980). Palacio de Miraflores. Caracas.
- Martínez, A. (1982). *Banco de Piedras. Una monografía sobre la formación El Milagro*. Edición de edreca editores para el Banco de Maracaibo. Maracaibo-Venezuela. 166 p.
- Montiel, K., Acosta, C. y Maldonado H. (2001). Geodinámica Ambiental de la cuenca del río San Pedro. Flanco Norandino Venezolano. *RA'EGA o Espacio Geográfico en Análise*. Universidad Federal Do Paraná, Brasil. Número 5, pp. 144-172.

- Montiel, K. y Seco, R. (2006). Niveles de peligro de inestabilidad de las laderas de un sector del flanco norandino venezolano: Monte Carmelo- Estado Trujillo. *Revista Espacio y Desarrollo*. Universidad Pontificia del Perú. Lima-Perú. Número 18, pp. 29-48.
- Organización de Naciones Unidas (2005). *Examen de la estrategia y plan de acción de Yokohama para un mundo más seguro*. Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres en Kobe, Hyogo, Japón.
- Panorama (1999). *La tragedia pudo ser evitada*. Cuerpo 1. Pág. 8. Periódico Regional, Estado Zulia.
- Panorama (2004). *A punto de desplomarse casas en Cerros de Marín*. Cuerpo 1. Pág. 4. Periódico Regional, Estado Zulia.
- Panorama (2006). *Advierten sobre nuevos derrumbes en los Cerros de El Milagro*. Cuerpo 1. Pág. 3. Periódico Regional, Estado Zulia.
- Pulido, N. (2004). Globalización y surgimiento de ciudades “intermedias” en América Latina y Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. Volumen 45(1), pp. 91-121.
- Rico, A. y Del Castillo, H. (1978). *La Ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Volumen 1. Editorial Limusa. México. 459 p.
- Rojas, A. (2005). La geografía poblacional venezolana entre dos censos: un final de siglo y el comienzo de otro. *Revista Geográfica Venezolana*. Volumen 46(2), pp. 11-23.
- Ordóñez, C. y Martínez, R. (2003). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con IDRISI 32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*. Editorial Alfaomega. México. 227 p.
- Seco, R. (2004). *Geomorfología*. Editorial Félix Valera. La Habana - Cuba, 410 p
- Sower, P. (1985). *Erosión Urbana en Colombia*. Simposio Nacional de Control de Heroazo. Bauru, Brasil.
- Van Westen, J. (2003). *GISSIZ: training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation*. Handout conferences, ITS, Enschede, The Netherlands.

Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Commission on Landslides of IAEG. UNESCO. Natural Hazards No. 3. pp. 10-61.

Katty del Valle Montiel Alborno. Licenciada en Educación, Mención Geografía. MSc. en Geología. Candidata a doctora en Ciencias Geográficas, Universidad de La Habana, Cuba. Profesora Titular de la Universidad de Zulia (LUZ). Investigadora y coordinadora responsable de la línea de investigación “Geodinámica Ambiental y Riesgos Naturales” del Centro de Estudios Geográficos (CEG) de LUZ. Jefa del Departamento de Geografía de LUZ, 2004. Miembro del Comité Académico de la Maestría en Geografía, Mención Docencia LUZ, 2004. Directora del CEG de LUZ, 2002. Miembro del Comité Internacional del Seminario Latinoamericano de Geografía Física. Profesora de las cátedras: Geomorfología, Geografía Física de Venezuela y Geología Ambiental del Departamento de Geografía de LUZ. PPI, Nivel I. Correo electrónico: delvallemontiel@hotmail.com

Yendry González Bravo. Licenciado en Educación, Mención Geografía (LUZ). Auxiliar de investigación de la Línea de investigación «Geodinámica Ambiental y Riesgos Naturales» del Centro de Estudios Geográficos (LUZ). Profesor en la U.E. Manuel Ángel Puchi Fonseca. Correo electrónico: ygonzálezb@hotmail.com.

Crismar Loaiza Arellano. Licenciada en Educación, Mención Geografía (LUZ). Auxiliar de investigación de la Línea de

investigación “Geodinámica Ambiental y Riesgos Naturales” del Centro de Estudios Geográficos (LUZ).
Correo electrónico: cloaizaluz@hotmail.com.

Edith Luz Gouveia Muñetón. Licenciada en Educación, Mención Geografía. MSc. en Gerencia Educativa. Candidata a doctora en Ciencias de la Educación, Universidad Rafael Beloso Chacín. (URBE). Profesora Agregada de la Universidad de Zulia (LUZ). Investigadora de la línea de investigación “Geodinámica Ambiental y Riesgos Naturales” del Centro de Estudios Geográficos (CEG) de LUZ. Actual Miembro del Comité Académico de la Maestría en Geografía, Mención Docencia de LUZ, 2007. Directora del CEG de LUZ, 2007. Profesora de las cátedras: Métodos y Técnicas de Investigación Geográfica y Didáctica de la Geografía del Departamento de Geografía de LUZ. PPI, Candidato.
Correo electrónico: edithgouveia@yahoo.com

