

Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero de 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela

*Geomorphologic analysis of the unusual February 2005 rainfall tragedy:
El Guayabal microwatershed, Mocotíes River watershed,
Mérida State-Venezuela*

Ayala Rubén*, Páez Gustavo y Araque Fany****

Recibido: noviembre, 2005 / Aceptado: mayo, 2006

Resumen

Luego de las lluvias excepcionales del 11 y 12 de febrero del 2005 se realiza un análisis geológico-geomorfológico y morfométrico de la quebrada El Guayabal, afluente de la quebrada Mejías en la cuenca del río Mocotíes. Este análisis reveló que la microcuenca El Guayabal presenta características favorables para la concentración del escurrimiento y, por tanto, elevación del pico de crecida, y generación de movimientos de masa. Se demuestra que el comportamiento hidrológico y morfodinámico de esta microcuenca, ante la presencia de lluvias excepcionales, la convierte en una zona potencialmente peligrosa con posibilidades de altos niveles de destrucción y de pérdida de vidas humanas.

Palabras clave: morfometría de cuencas; crecidas; movimientos de masa; vulnerabilidad; Andes venezolanos.

Abstract

After the unusual February 11th and 12th 2005 rainfalls, a geological-geomorphological and morphometric analysis in the El Guayabal brook, a Mejías brook affluent, in the Mocotíes River watershed is carried out. This analysis showed the El Guayabal micro watershed had favourable characteristics to concentrate runoff, and therefore, increase the peak of rise and generate mass movements. It also demonstrated that this micro watershed hydrological and morphodynamical behaviour, in the exceptional rainfall presence, makes it a potentially dangerous area with high levels of destruction and loss of human lives probabilities.

Key words: watershed morphometrics; rise; mass movements; vulnerability; Venezuelan Andes.

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, e-mail: ayalar@ula.ve, Mérida-Venezuela

** E-mail: paezgustavo@ula.ve; 3araque24_7@hotmail.com

Introducción

Para efectos de esta investigación, una cuenca hidrográfica se considera como un geosistema integrado por 3 subsistemas: el biótico (flora y fauna), el abiótico (litología, geomorfología, clima, suelos, hidrografía) y el antrópico o socioeconómico (intervención, uso y explotación, por parte del hombre, de los recursos naturales presentes en una cuenca). Estos subsistemas se interrelacionan entre sí para generar un producto final, es decir, un espacio geográfico concreto y definido con características particulares que permiten discernir una cuenca de otra. Por otra parte, en la actualidad, la cuenca hidrográfica también es asumida como una unidad de análisis espacial por excelencia, para abordar estudios de distinta naturaleza con fines de planificación y ordenación territorial.

Desde el punto de vista hidrológico, las cuencas se pueden clasificar en dos grupos: cuencas pequeñas y cuencas grandes, y según La Unión Geofísica Americana (citada por Hernández y López, 1972: 53), *“desde el punto de vista hidrológico una característica distintiva de una cuenca pequeña es que el efecto del escurrimiento superficial sobre las vertientes más que el efecto del flujo en los cauces es el factor dominante que controla los picos de crecidas”*. En consecuencia, una cuenca de poca superficie es frágil, vulnerable y sensible a precipitaciones de alta intensidad y de corta o larga duración. Esto se justifica dado que en las cuencas grandes el efecto del flujo en el cauce o el efecto del almacenamien-

to en el valle es mucho más pronunciado y así tal sensibilidad se encontrará minimizada e inclusive erradicada, mientras que en las primeras ocurre lo contrario.

En este sentido, al considerar como una cuenca pequeña a toda aquella cuya superficie sea inferior a 130 km² (Hernández y López, 1972), la cuenca o microcuenca El Guayabal, con 44 km² de superficie aproximadamente, entra en esta categoría siendo, por tanto, susceptible a lo antes mencionado.

Durante los días 11 y 12 de febrero del año 2005 se suscitó un inusual evento meteorológico que generó lluvias excepcionales de magnitudes significativas en la cuenca del río Mocotíes las que, aunadas a sus características físico-naturales y de intervención antrópica, coadyuvaron al desencadenamiento de un fenómeno de acción multifactorial que, en el caso de la microcuenca de la quebrada El Guayabal, se tradujo en pérdida de vidas humanas (2 personas fallecidas) y cuantiosos daños materiales, entre los cuales se cuentan 137 viviendas afectadas (21 totalmente destruidas) y, aproximadamente, 514 metros de vialidad asfaltada destruidos.

Según Hernández y Tamayo (1976), por lo general, una cuenca con superficie inferior a 50 km² se considera de carácter torrencial. La quebrada El Guayabal es el principal afluente de la quebrada Mejías y ésta última es el principal afluente del río Mocotíes. La microcuenca El Guayabal cuenta con una superficie de 44,031 km², donde más del 70% presenta una orografía accidentada, con fuertes pendientes en las vertientes (> 45%), mien-

tras que en el cauce principal están por el orden del 25%, lo cual califica a esta microcuenca como torrencial y le confiere mayor peligrosidad ante la ocurrencia de precipitaciones anómalas o excepcionales, ya que se pueden generar picos de crecidas con gran poder de arrastre de sedimentos, cuyas repercusiones obligan a prestar especial atención a la forma como se encuentra ocupado, usado e intervenido ese espacio geográfico.

Objetivos

- Analizar la morfometría de la microcuenca El Guayabal para dilucidar su influencia en la concentración del escurrimiento y violentos picos de crecidas.
- Analizar las características geológicas-geomorfológicas de la microcuenca, junto a los procesos de carácter hidro-geomorfológicos que se activaron en la misma durante el evento del 11 y 12 de febrero del 2005.
- Establecer la relación entre los índices morfométricos calculados para la microcuenca El Guayabal, sus características geológicas-geomorfológicas y la posibilidad de generar picos de crecidas violentas bajo la acción de precipitaciones excepcionales.

Materiales y métodos

- A través del cálculo y análisis de los valores de los índices morfométricos: factor forma, relación de circularidad, pendiente media de la cuenca y del cauce principal, y características de

la red de drenaje se estableció la influencia de la morfometría en la concentración de la escorrentía.

- El mapa base y los cálculos de variables y parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada El Guayabal se hicieron con base en las hojas N° 5841 II SO, SE y 5840 I NO, NE a escala 1:25.000, edición 1976-77, de la Dirección de Cartografía Nacional.
- Para el análisis de la pendiente se realizó un mapa de sectores de pendiente con la ayuda del software ArcGis 8.3, a partir del mapa base. Los rangos de pendiente considerados para la microcuenca son los propuestos por Pérez (1979, citado en Ruiz, 2001).
- Se llevaron a cabo ocho salidas de campo sucesivas para efectos del diagnóstico, reconocimiento y levantamiento de los procesos hidro-geomorfológicos que se activaron en el área posterior a la tragedia, y para establecer el nivel de afectación de las viviendas y de la infraestructura vial entre otros. El criterio en el cual nos basamos para contabilizar el número de viviendas destruidas y afectadas es el mismo que utilizó el PNUD (2000) para cuantificar los daños ocurridos en el estado Vargas en diciembre de 1999. En este sentido, se catalogaron como afectadas todas aquellas viviendas con cualquier grado de afectación, por debajo del nivel de destrucción total, y destruida, aquellas cuya pérdida fue total.

Descripción general del área de estudio

Geográficamente, la microcuenca de la quebrada El Guayabal se localiza en la región de los Andes centrales venezolanos, siendo el afluente principal de la subcuenca de la quebrada Mejías y, esta última es tributaria del río Mocotíes, tal y como se observa en la figura 1. La misma cuenta con una superficie aproximada de 44 km², que representa el 8,4 % de la superficie total de la cuenca del río Mocotíes. Astronómicamente, se ubica entre las coordenadas 8° 22' 40" y 8° 17' 36" de latitud norte, y entre los 71° 35' 15" y 71° 34' 48" de longitud oeste, mientras que desde el punto de vista político-administrativo pertenece al municipio Antonio Pinto Salinas del estado Mérida.

La quebrada El Guayabal nace en el páramo de río Negro, a los 3175 msnm, recorriendo 10,5 km hasta su confluencia en la cota 655, con la quebrada San Isidro para formar, aguas abajo, a partir de allí, la quebrada Mejías y desembocar, posteriormente, en el río Mocotíes en la cota 570. Limita por el norte con la quebrada Mejías y la loma de Paiva; por el sur con el páramo de río Negro; por el este con la microcuenca de San Isidro y, por el oeste, con la Teta del Diablo y el páramo de Paiva (Figura 2).

Más del 70% del área se corresponde con montañas de vertientes que presentan pendientes fuertes y escarpadas, las cuales van desde inferiores al 15% en el fondo de valle, hasta superiores al 40% en promedio en más del 80% del área correspondiente a las vertientes (Figura 3).

En el 90% del área de la microcuen-

ca aflora la Asociación Mucuchachí, con presencia de un 75% de filitas-pizarras y un 25% de cuarcitas; en el 10% restante aflora la Asociación Sierra Nevada.

En gran parte del área, esta litología se encuentra deformada (plegada) y muy fracturada, como consecuencia de la influencia tectónica de la zona de fallas de Boconó, cuya traza se encuentra al norte de la microcuenca El Guayabal; de la presencia de la falla secundaria La Ranchería (de tipo inversa), la cual atraviesa el área de estudio en sentido noreste-suroeste (30 °), y de un conjunto de fallas menores. Tales características de los macizos rocosos en esta área han coadyuvado a la generación de movimientos de masa en las laderas (Figura 4).

En las vertientes se observan procesos geomorfológicos representados principalmente por derrumbes, dadas las fuertes pendientes, deslizamientos y escurrimiento difuso débil, en áreas poco intervenidas, y de moderado a fuerte en zonas muy intervenidas (surcos y cárcavas), (Figura 4). Por su parte, en el fondo de valle dominan los procesos de erosión-transporte-acumulación, desborde y socavación basal por parte de la quebrada Guayabal, lo que afecta tanto a las viviendas que se localizan en las márgenes de la misma como a la vialidad.

El clima varía con la altura, desde el piso premontano mesotérmico, en la confluencia de la quebrada El Guayabal con la quebrada San Isidro (cota 655), hasta el montano bajo y alto microtérmico, en las divisorias de agua de la microcuenca a más de 2.500 y 3.000 msnm. Estos pisos altitudinales condicionan la aparición de

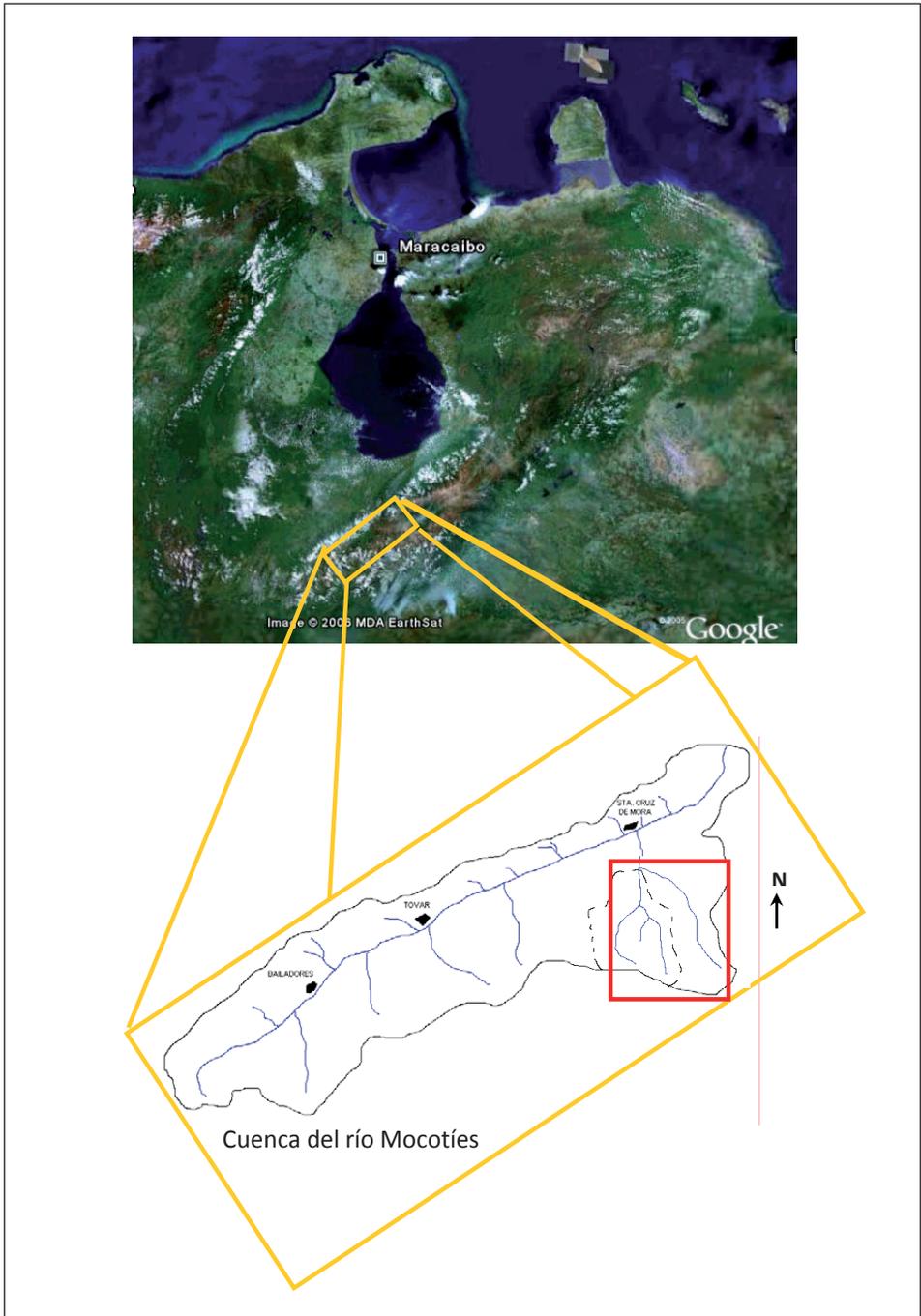


Figura 1. Localización relativa de la microcuenca El Guayabal

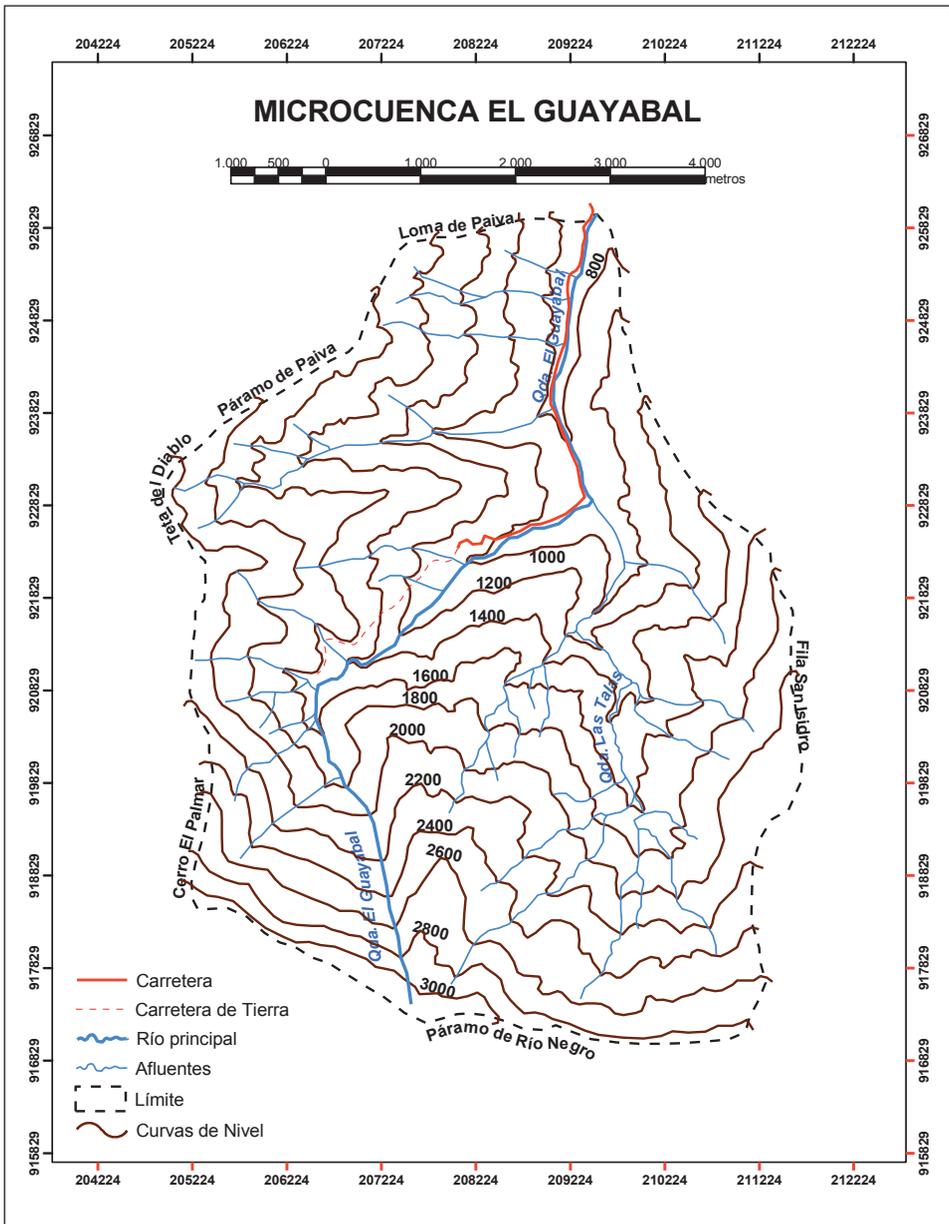


Figura 2. Microcuenca El Guayabal

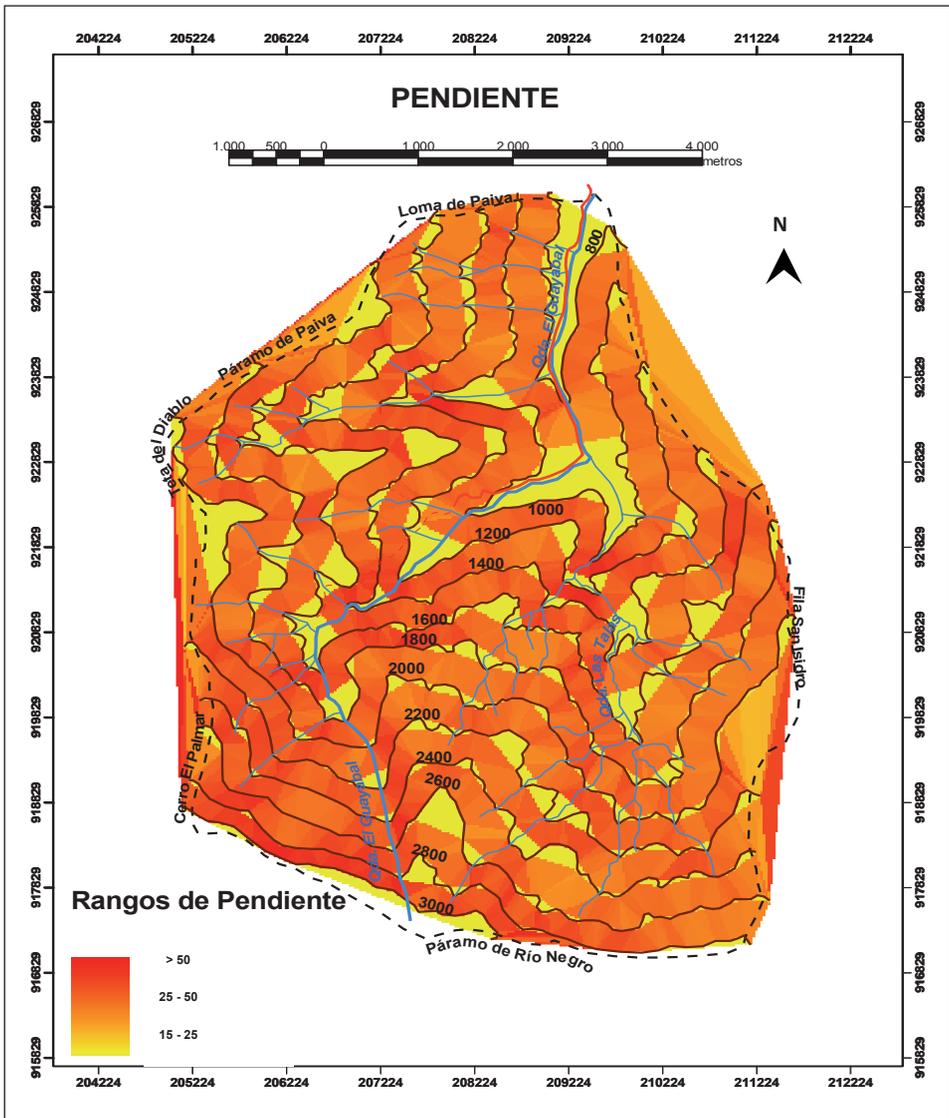


Figura 3. Mapa de sectores de pendientes

distintas zonas de vida en la microcuenca que van, según la clasificación de Holdridge (Ewel y Madriz, 1968), desde la selva estacional, pasando por el bosque húmedo montano bajo hasta la selva nublada o bosque montano alto.

Los suelos en las vertientes son de poco desarrollo a consecuencia de las fuertes pendientes, mientras que en el fondo de valle son más desarrollados, debido a las pendientes suaves que han favorecido la acumulación de material de

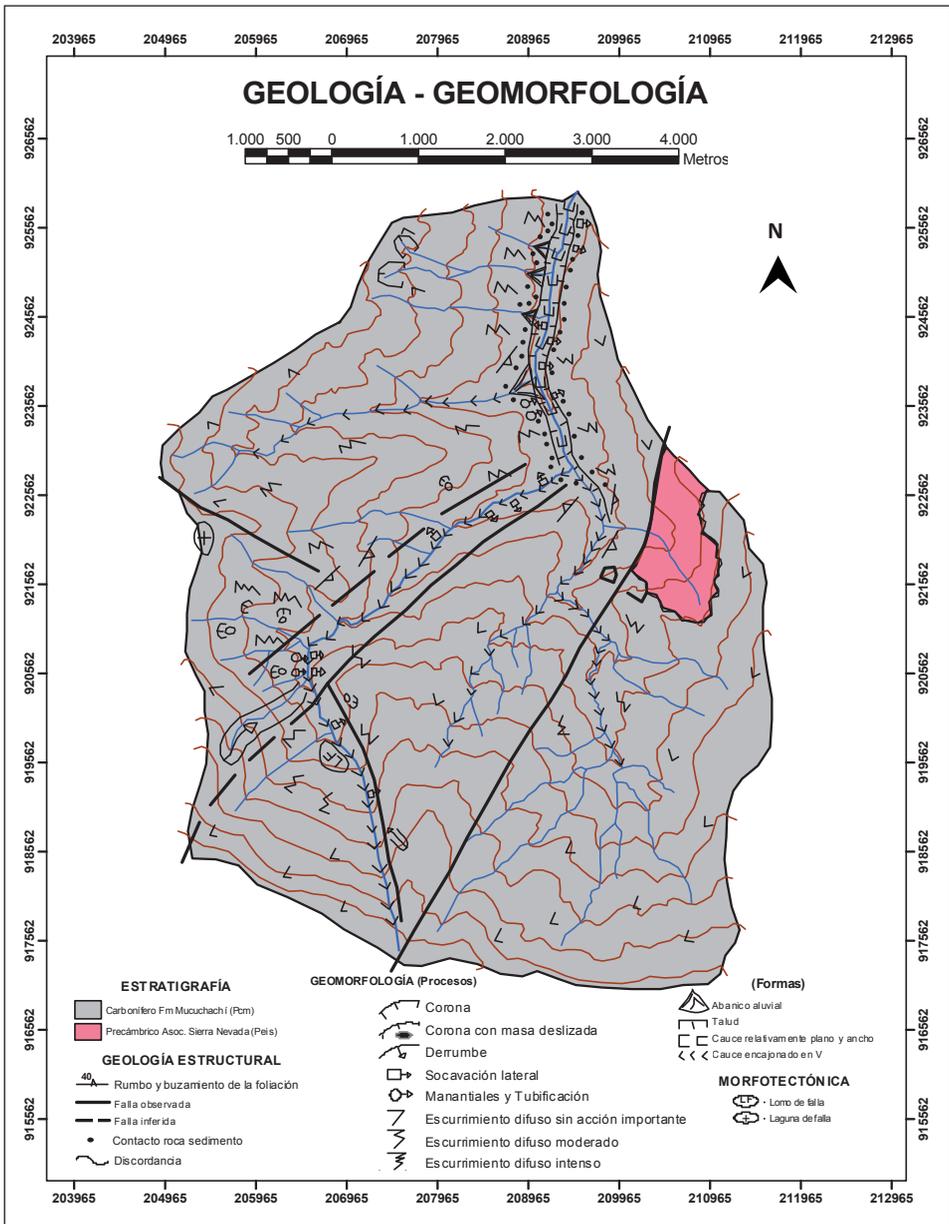


Figura 4. Geología y geomorfología de la microcuenca El Guayabal

pequeños depósitos aluviales, por parte de la quebrada, en forma de terrazas longitudinales en ambos márgenes de la quebrada, lugar donde se asienta más del 70% de la aldea El Guayabal y un tramo importante de la carretera principal que comunica dicha aldea con la población de Santa Cruz de Mora, capital del municipio Antonio Pinto Salinas.

Análisis morfométrico

Las características a considerar en el análisis morfométrico son: el factor forma, relación de circularidad, pendiente media de la cuenca y del cauce principal, y las características de la red de drenaje.

El primer parámetro morfométrico a analizar es el factor forma, el cual es un factor de proporción entre el área de una cuenca rectangular (ideal) y el área de una cuenca real, que establece la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud axial, calculada mediante la fórmula $F_f = \text{Área} / \text{Longitud axial}$. La principal ventaja de este índice cuantitativo es la de permitir obtener una idea acerca de la posibilidad de la ocurrencia de crecidas. El coeficiente arrojó un valor de 0,55 (Cuadro 1) que equivale, según Ruiz (2001), a una cuenca de forma cuadrática con desembocadura en uno de sus vértices, lo cual indica que el recorrido del escurrimiento no es tan corto, favoreciendo de manera moderada la concentración de escorrentía y la generación de crecidas, por ende los niveles de amenaza también deberán ser moderados. En general, según Ruiz (2001), cuencas con índices de

factor forma altos son propensas a desarrollar mayor violencia en sus crecientes.

La relación de circularidad o coeficiente de compactibilidad de Gravelius, es un coeficiente abstracto que depende de la forma de la cuenca. Para una cuenca circular el valor de este coeficiente es 1 (Ruiz, 2001). En nuestros cálculos este coeficiente arrojó un valor de 0,80 (Cuadro 1), cercano a 1, lo que indica que la forma de la cuenca es casi circular. Esto facilita que las lluvias puedan ocurrir simultáneamente sobre toda la cuenca, además de disminuir los tiempos de concentración de los flujos de aguas superficiales, hecho este que se agrava ante la presencia de pendientes generalizadas de fuerte declive para toda la microcuenca, contribuyendo aún más con las crecidas violentas y con el incremento del nivel de amenaza por crecidas en el área.

Al analizar la pendiente media de la cuenca (Figura 3) y del cauce, la perspectiva sobre un nivel de amenaza moderada sufre un cambio sustancial. En el cálculo de la pendiente media de la cuenca se obtuvo un valor de 62,47% situándose en la categoría de muy escarpada, según la clasificación propuesta por Pérez (1979, citado por Ruiz, 2001).

Por su parte, el cálculo de la pendiente media del cauce arrojó un valor de 26,8 % (15° aproximadamente), que supera el valor propuesto por Zinck (1980) para valles secundarios (comúnmente con pendientes entre 10 y 20%), drenados por quebradas afluentes al curso superior de ríos principales. Por lo tanto, de acuerdo a la pendiente media de su cauce, se puede catalogar a la quebrada

Cuadro 1. Cálculos de los parámetros morfométricos considerados

Factor Forma	$F_c = \text{Área} / (\text{Longitud Axial})^2$	$F_c = 44,031 / (8,95)^2 = 0,55$
Relación de Circularidad	$R_c = 4\pi * \text{Área} / (\text{Perímetro})^2$	$R_c = 12,566 * 44,031 / 702,25 = 0,80$
Pendiente Media de la cuenca	$P_{mc} = \Sigma \text{long. Curva} * \text{Equidistancia} / \text{Área}$	$P_{mc} = 275,1 * 0,1 / 44,031 = 62,47\%$
Pendiente Media del Cauce Principal	$P_{mca} = (\text{Dist. Vertical} / \text{Dist. Horizontal}) * 100$	$P_{mca} = (2520 / 10574) * 100 = 26,8\%$
Densidad de Drenaje	$D_d = \Sigma \text{long. Cauces} / \text{Área}$	$D_d = 134,2 / 44,031 = 3,05 \text{ Km} / \text{Km}^2$
Densidad de Cauce	$D_c = \Sigma N^\circ \text{ de Cauces} / \text{Área}$	$D_c = 162 / 44,031 = 3,7 \text{ cauces} / \text{Km}^2$

El Guayabal como torrencial, donde los aportes laterales bajo la forma de abanicos de detritos son predominantes y hasta casi exclusivos, no queriendo decir con esto que no puedan presentarse depósitos longitudinales muy pedregosos y con poca selección granulométrica, como los que se observan en el tramo medio superior de la misma, los cuales pueden ser observados más adelante en las figuras 10a y 10b.

Analizando el perfil longitudinal (Figura 5 y Cuadro 2) de la quebrada El Guayabal, y otras características inherentes al fondo de valle, se logra comprender la dinámica fluvial de la quebrada y los procesos que la misma generó el 11 de febrero del 2005.

Tomando en consideración la pendiente promedio del cauce calculada por tramos, se puede calificar a la quebrada El Guayabal, desde su nacimiento a 3.175 msnm aproximadamente hasta la cota 1.000, como de carácter torrencial, lo que se traduce en una mayor velocidad

del agua, mayor capacidad de erosión y transporte de sedimentos por parte de la misma, que aumenta con el caudal de crecida; esto debido a que la pendiente en estos tramos supera el 10 %. A partir de la cota 1.000 aguas abajo se suscita un cambio muy brusco de la pendiente, la cual en promedio es de 6 %, disminuyendo drásticamente la velocidad del agua y dominando los procesos de sedimentación sobre la erosión y el transporte, hasta su confluencia con la quebrada San Isidro, para finalmente formar la quebrada Mejías en la cota 655.

Finalmente, la densidad de drenaje resultó ser de 3,05 km/km², es decir, 3,05 km de cauce drenan la microcuenca por cada km², mientras que la densidad de cauces arrojó un valor de 3,7 cauces / km², es decir, que existen 3,7 cauces por cada km² de la cuenca. A nivel referencial, las densidades altas se encuentran por encima 10 km/km² hasta valores de 300 (Linsley R., *et al.*, 1982; en Hernández, 1987). Para el caso de la micro-

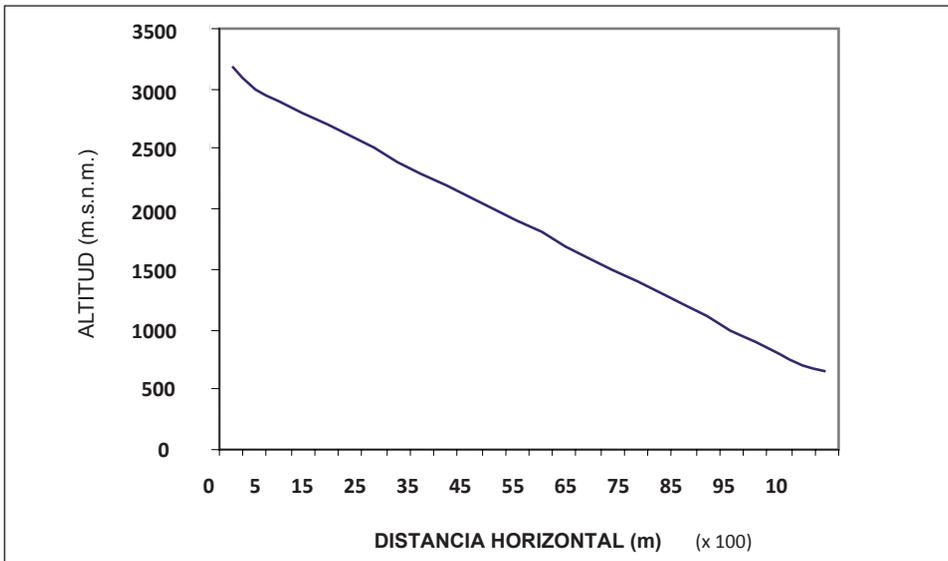


Figura 5. Perfil longitudinal de la quebrada El Guayabal

cuenca El Guayabal, tanto la densidad de drenaje como la densidad de cauces arrojaron valores cercanos a tres, lo cual se puede explicar debido al nivel de fracturamiento de la litología (filitas y pizarras principalmente) presente en el área. El fracturamiento favorece las tasas de infiltración (disminuyendo el escurrimiento), a pesar que las filitas y pizarras, en este tipo de climas húmedos, evolucionan a suelos con texturas predominantemente arcillosas, y pueden constituirse en materiales blandos de poca consistencia y de más fácil erodabilidad (Ruiz, 2001). Sin embargo, las fuertes pendientes generalizadas en las vertientes traen como consecuencia la disminución de las tasas de infiltración, lo que ayuda a incrementar el escurrimiento superficial. Esto genera arrastre significativo de sólidos, en presencia de tormentas de lluvias de alta in-

tensidad y duración.

El patrón de drenaje (patrón mixto dendrítico-rectangular) presente en la microcuenca es producto del efecto combinado de la litología (patrón dendrítico) y control estructural (patrón rectangular), donde los ángulos de intersección entre los afluentes y el cauce principal son de 90° aproximadamente, lo cual evidencia la influencia tectónica en la red de drenaje (Figura 2). En esa figura también se observa el cambio abrupto del cauce principal (90° aprox.), el cual presumimos se debe a un control estructural.

Los valores obtenidos en cada uno de los parámetros anteriores permiten decir que, si bien es cierto el valor del factor de forma no determina la generación de crecidas violentas, al adicionársele el efecto que confiere una pendiente promedio de la cuenca muy escarpada y una pendiente

Cuadro 2. Cifras del perfil longitudinal de la quebrada El Guayabal

TRAMO	COTA (msnm)	PROGRESIVAS	DESNIVEL (m)	DIST.HORZ.(m)	PENDIENTE (%)
	3175	0 + 000			
1			137	175	78,3
	3000	0 + 175			
2			100	150	66,7
	2900	0 + 325			
3			100	150	66,7
	2800	0 + 475			
4			100	225	44,4
	2700	0 + 700			
5			100	225	44,4
	2600	0 + 925			
6			100	100	100
	2500	1 + 025			
7			100	350	28,6
	2400	1 + 375			
8			100	225	44,4
	2300	1 + 600			
9			100	325	30,8
	2200	1 + 925			
10			100	375	26,7
	2100	2 + 300			
11			100	200	50
	2000	2 + 500			
12			100	125	80
	1900	2 + 625			
13			100	112	89,3
	1800	2 + 737			
14			100	350	28,6
	1700	3 + 087			
15			100	250	40
	1600	3 + 337			
16			100	350	28,6
	1500	3 + 687			
17			100	562	17,8
	1400	4 + 249			
18			100	750	13,3
	1300	4 + 999			
19			100	200	50
	1200	5 + 199			
20			100	275	36,4
	1100	5 + 474			
21			100	425	23,5
	1000	5 + 899			
22			100	800	12,5
	900	6 + 699			
23			100	1250	8
	800	7 + 949			
24			100	1500	6,7
	700	9 + 449			
25			45	1125	4
	655	10 + 574			

de cauce considerada como torrencial, se puede considerar la microcuenca como un área con una gran probabilidad de ocurrencia de picos de crecidas violentas, esto justificado porque se infiere que gran parte del agua, en caso de presentarse precipitaciones extremas en el área, se convertirán en escurrimiento superficial, a pesar del fracturamiento, dado que la fuerte inclinación de las vertientes no permite que las tasas de infiltración sean significativas.

En el mismo orden de ideas, una pendiente de cauce en la categoría de torrencial en algunos tramos de la quebrada, le confiere una gran capacidad de erosión y transporte de sedimentos. Aunado a esto la velocidad que la corriente es capaz de adquirir, en caso de suscitarse tormentas concentradas, puede ocasionar desbordamiento de la quebrada y socavación lateral del cauce, generando un mayor grado de afectación para la población que se asienta principalmente en el fondo de valle.

Análisis de los procesos hidrogeomorfológicos activos post-tragedia

Imágenes de satélite del 11 y 12 de febrero de 2005, disponibles en la página Web de la NASA (www.weather.msfc.nasa.gov), muestran la nubosidad generada por el fenómeno meteorológico ocurrido en la cuenca del Mocotíes, el cual, según Dugarte y Ferrer (Diario Frontera, 13/05/05), fue consecuencia de una masa de aire cargada de humedad proveniente

del océano Atlántico, que se formó por una elevación de la temperatura en 2° C de la superficie del océano. Esto generó una mayor producción de nubosidad, y una mayor inestabilidad en la atmósfera a nivel de la línea ecuatorial. Esta masa se desplazó en sentido este-oeste, por el norte de la región del Amazonas (Brasil), suscitando fuertes precipitaciones al norte del país vecino y al sur de Venezuela.

En su recorrido este-oeste, al llegar a las estribaciones de la cordillera andina colombiana, la masa de aire modificó su trayectoria hacia el noroeste y, posteriormente, hacia el noreste, penetrando en el valle longitudinal de la cuenca del río Mocotíes, donde por efecto orográfico el aire ascendió generando la fuerte tormenta excepcional de los días 11 y 12 de febrero de 2005.

Es importante acotar que aproximadamente 15 días antes del 11 de febrero, e inclusive meses antes, venían ocurriendo precipitaciones constantes y repetitivas, lo que se conoce como lluvias antecedentes. Esto favoreció la saturación de la capacidad de campo del suelo, lo que aunado a las características físico-naturales de la cuenca, produjo crecidas violentas de todas las quebradas y torrentes y, en consecuencia del río Mocotíes, donde, a su vez, se originaron innumerables movimientos de masas, siendo estos dos factores, principalmente, los que modificaron totalmente el paisaje de la región.

A la realidad antes expuesta no escapó la microcuenca El Guayabal, ya que la misma forma parte de la hoya hidrográfica del río Mocotíes. También en esta microcuenca se activaron una serie de pro-

cesos de origen hidro-geomorfológico, los que sumados a sus características físicas y al grado de intervención antrópica que presenta en la actualidad, significaron un verdadero desastre para las comunidades asentadas en esa área.

Para efectos de esta investigación y de acuerdo a los diferentes procesos que se generaron dentro del área ésta fue dividida en dos unidades geomorfológicas distintas: unidad de vertiente y unidad de fondo de valle.

Unidad de vertiente

Desde el punto de vista estratigráfico, la Asociación Mucuchachí tiene proporciones variables de filitas-pizarras y cuarcitas, dominando en un 90% del área aproximadamente, y el 10% restante se corresponde con un afloramiento de La Asociación Sierra Nevada. La primera está constituida en más de un 75% por filitas y filitas pizarrosas, en un 20% cuarcitas, mientras que en la segunda, predominan los gneises y las rocas graníticas en más de un 90%, siendo el 10% restante esquistos. El aspecto común es que las rocas de estas asociaciones presentan un alto grado de fracturamiento, el cual se agudiza cerca de los planos de falla. Esto obedece a la influencia de la falla de Boconó con su traza al norte de la microcuenca (falla rumbo deslizante a la derecha) y una falla secundaria denominada La Ranchería de tipo inversa (Dugarte, 2002), la cual atraviesa la microcuenca en sentido noreste-suroeste.

Otra prueba de la actividad tectónica del área es la presencia de un número de fallas menores, las cuales poseen diferen-

tes rumbos que han originado algunas morfoestructuras vistas y descritas en campo, tales como un lomo de falla que desvía uno de los afluentes donde nace la quebrada El Guayabal, aproximadamente en la cota 1.600 (Figuras 6a y 6b), y la presencia de una pequeña laguna de falla en la divisoria de agua del lugar conocido como La Teta del Diablo al oeste del área de estudio (Figuras 7a y 7b).

Las filitas de la Asociación Mucuchachí evolucionan a texturas de tipo arcilloso en los perfiles de meteorización, dado su contenido mineralógico y por las condiciones climáticas-tectónicas que predominan en la zona. Estos perfiles son poco desarrollados debido al fuerte declive de las vertientes que favorece la remoción en masa. Por otro lado, en algunos sitios el intenso fracturamiento de la roca ha favorecido los procesos de infiltración y, por ende, un mayor desarrollo de los perfiles de meteorización, como es el caso de las rocas graníticas de la Asociación Sierra Nevada, las cuales se encuentran con un alto grado de fracturamiento donde se evidencia una fuerte infiltración, lo que ha conllevado a la aparición de perfiles de meteorización bastantes desarrollados, donde predominan las texturas arenosas.

Por otro lado, se cuantificaron de 4 o más familias de diaclasas en diferentes afloramientos rocosos, con presencia de familias secundarias, las cuales presentan espaciamientos que varían de 2,5 a 4 cm. El alto grado de fracturamiento que presenta el material litológico aumenta la susceptibilidad a la generación de movimientos de masa. A su vez, los planos



Figura 6a.



Figura 6b.



Figura 7a.



Figura 7b.

de foliación se orientan N ($40^\circ - 45^\circ$) E, mientras que los buzamientos fluctúan entre los 50° y 70° NE, en su mayoría a favor de los taludes de caminos y carreteras, así como en el sentido de la pendiente de las vertientes.

Los perfiles de meteorización fluctúan en espesor de 10 a 15 metros, y a pesar de ser poco desarrollados, con respecto a espesores de 60 m en algunas áreas de la cuenca del Mocotíes, se constituyen como material potencial a ser removido en las laderas que presentan fuerte pendiente.

Por otro lado, en diferentes puntos de la carretera principal de El Guayabal y el

camino carretero de tierra que conduce al sector de Las Espensas -sector de mayor altitud de la microcuenca- se pueden observar orificios y pequeños canales en los taludes de carretera y márgenes de la quebrada, en la mayoría de los cuales brota el agua en forma de manantiales. Este tipo de rasgos, que pueden ser atribuidos a procesos de tubificación o sufusión (erosión en túnel), se observaron principalmente hacia la cuenca alta donde también se distinguen drenajes fantasmas.

La conjunción de la litología de la zona muy fracturada y plegada, con presencia

de varias familias de diaclasas, perfiles de meteorización de poco desarrollo, pero en pendientes fuertes y accidentadas, generalizadas en todas las vertientes, texturas predominantemente arcillosas que tienen la propiedad de almacenar más agua que las texturas arenosas y por ende incrementar su peso, buzamientos en su mayoría superiores al 50 % a favor de la pendiente y procesos de sufusión, aunado a las lluvias antecedentes que ocasionaron una saturación de agua en el suelo y subsuelo e incrementaron así el peso del mismo, propició la generación de movimientos de masa en las vertientes.

Las zonas montañosas tropicales tienen una gran susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa debido a que, por lo general, en ellas se reúnen cuatro elementos clave para su desencadenamiento: topografía, sismicidad, meteorización y precipitaciones intensas (Suárez, 1998); si a esto se le agrega la intervención antrópica, podemos observar como se pueden acelerar este tipo de procesos naturales.

Es importante destacar que entre los diferentes movimientos de masa que se suscitaron en la microcuenca, se destaca uno por su magnitud y, además, porque puede constituirse en un alerta ante la posibilidad de la ocurrencia de otro u otros de similar envergadura, los que aguas abajo podrían ocasionar graves consecuencias. Se trata de un derrumbe en roca que se generó entre el cerro El Palmar y un sitio conocido como la Teta del Diablo a 2.200 msnm, divisoria de aguas entre el municipio Antonio Pinto Salinas y el municipio Tovar, y que se extiende

aguas abajo hasta la margen izquierda de la quebrada El Guayabal en la cota 1.483. El mismo tiene una longitud aproximada de 1 a 1,05 km, un ancho promedio de 10 a 12 metros y una profundidad que disminuye con la altitud, que va desde los 15 m en las márgenes de la quebrada El Guayabal, en la cota 1.483, hasta aproximadamente los 10 m en promedio, en su nicho de desprendimiento a 2.200 msnm. Se le da a conocer en esta investigación como el derrumbe de 'Las Espensas' con relación al sector donde se generó (Figura 8).

Del análisis del levantamiento en campo de este derrumbe se desprende lo siguiente:

1. La existencia de una gran masa de roca, perfil de meteorización y árboles que se desprenden de la ladera aguas abajo, como consecuencia del peso del agua en el suelo y de la densa cobertura vegetal de la zona sobre rocas muy fracturadas.
2. El desprendimiento aguas abajo sobre una pendiente accidentada mayor al 40 % en promedio, va removiendo todo a su paso: vegetación, suelo y rocas.
3. Posteriormente queda expuesta una cicatriz donde el agua, a través de la erosión lineal concentrada, ha dado origen a una cárcava (activa), con la consecuente aparición de surcos que tienden a evolucionar a cárcavas en sus márgenes, con el agravante que cada vez que llueve el material en tránsito y de los flancos es removido.

Es pertinente acotar que en la vegetación de la margen derecha, en el punto de con-



Figura 8. Derrumbe 'Las Espensas'

fluencia entre este afluente intermitente y la quebrada, se consiguieron evidencias del impacto de rocas y lodo sobre los troncos de los árboles, a una altura aproximada de 3 m., sin contar los 3 metros de profundidad que tiene el cauce en esa sección.

Aguas abajo de dicha confluencia, específicamente entre la cota 1.458 y 1.430, se visualizó un sitio que, por sus características particulares, se puede constituir como un lugar con un alto nivel de susceptibilidad a la generación de un represamiento de la quebrada. Tales características se exponen a continuación:

- Valle estrecho en forma de ‘garganta’ de aproximadamente 50 m de longitud por unos 5 m de ancho promedio.
- En ambas márgenes se observan afloramientos rocosos de alturas considerables, con presencia de 3 a 4 familias de diaclasas, y perfiles de meteorización y sedimentos potenciales de ser removidos. Ambos taludes poseen pendientes que sobrepasan el 60 %.
- Sobre los taludes se observan árboles de gran desarrollo (> a 20 m de altura característicos de esa zona húmeda), algunos socavados en las raíces y otros derribados por la última crecida en el cauce de la quebrada, los cuales se constituyen en elementos potenciales para formar represamientos una vez que colapsen.
- Por otro lado, se observan megabloques o grandes rocas en esa sección del cauce, lo que constituye material en tránsito susceptible de ser movilizadado al generarse otra crecida y obstruir a la misma, como el bloque de

26.5 m de largo, 12,5 metros de alto y 12 m de ancho aproximadamente, hallado en la cota 1.430, en el cauce de la quebrada, que deja un ancho del cauce de solo 3 m por donde transita la quebrada.

- Por último, la pendiente de 25 % en esta sección del cauce, le confiere a la quebrada un carácter torrencial con alto poder de erosión y transporte de sedimentos, lo cual nos hace pensar que a la hora de formarse un represamiento en esta área, el gradiente hidráulico tenderá a elevarse. Esto permite inferir que a la hora de crearse una ola de descarga, la misma transitará a gran velocidad, evento que puede ocasionar graves daños aguas abajo.

Por otro lado, para efectos de esta investigación, la intervención antrópica se consideró de un modo cualitativo, entendiéndose como: la forma en que el hombre interviene, explota, modifica y hace uso de los recursos presentes en el medio ambiente para satisfacer sus necesidades y/o desarrollar actividades económicas.

En el caso de la microcuenca El Guayabal, la intervención antrópica se manifiesta en las laderas, a través del desarrollo de actividades agrícolas de plantaciones de café en vertientes de solana (generan más erosión que las plantaciones en vertientes de umbría), siembras de cambur (bananas) y en menor extensión, cítricos, tomate, caña de azúcar y maíz entre otros, además de pequeños conucos destinados a la subsistencia. También se visualizan grandes extensiones que han sido defo-

restadas (presencia de pastizales), con la finalidad del desarrollo de la ganadería de altura (potreros).

Esto ha ocasionado que en las vertientes, bajo estas condiciones, se observen procesos de erosión lineal en surcos, surcos evolucionando a cárcavas y cárcavas propiamente dichas, donde la vegetación autóctona está casi totalmente ausente.

A su vez, esto ha ocasionado que en algunos puntos de la vialidad agrícola, los taludes colapsen y se observen movimientos de masa en vertientes, los cuales se generaron antes y después del evento del 11 y 12 de febrero, quedando algunos terrenos proclives a la generación de los mismos.

Esto se corroboró en campo donde fue posible medir en la cota 1.830 una corona de 60,60 m de longitud, con un desnivel hasta un punto de ángulo de reposo de 46,10 m, donde existen grandes contenidos de arcilla, pequeñas áreas cenagosas y vegetación propia de esos ambientes, lo que indica que muy probablemente hay procesos de infiltración a nivel subsuperficial de la masa, la cual es factible a deslizarse, contribuyendo este factor a inestabilizar aún más a la misma. Dicha grieta en el suelo presenta un ancho de 15-20 cm, en una zona de potrero con una pendiente de 71 %. Condiciones similares a ésta se observaron en otros sitios de las vertientes de acceso difícil.

Es importante acotar que parte del área de la cuenca de captación de la microcuenca se encuentra bajo la figura legal del Parque Nacional 'General Juan Pablo Peñalosa', decretado en el año 1989, con la finalidad de, por un lado,

mitigar la desmedida intervención que en su parte alta experimenta toda la cuenca del río Mocotíes y, por otro lado, para que contribuyera a la protección de áreas boscosas y cuencas de captación de sus afluentes como zonas por excelencia productoras de agua.

Sin embargo, en la realidad no funciona al 100% de esta manera, ya que, en el caso específico de la microcuenca El Guayabal, se constató en campo que una superficie considerable del parque se encuentra deforestada e intervenida para el desarrollo de la ganadería de altura, donde además no se respetan los 300 m de ancho a partir de ambos lados de las divisorias de agua que establece la Ley Forestal de Suelos y Aguas (República de Venezuela, 1989), en el numeral 2, artículo 17, capítulo II que versa sobre Zonas Protectoras.

Unidad de fondo de valle

Es importante resaltar en este punto que más del 70 % (7,4 km) del recorrido de la quebrada El Guayabal es de carácter torrencial, con el agravante de que más del 70% de la población se asienta en las márgenes de la misma, lo cual se denomina construcción de vulnerabilidad (Figura 9).

El fondo de valle de esta microcuenca es estrecho y de poco desarrollo, por ende los sedimentos longitudinales de la quebrada son poco desarrollados (Figura 10a y 10b), ya que el ancho promedio del valle, de unos 90 a 100 m, no lo permite y su longitud es aproximadamente de 3,5 km como valle propiamente dicho, desde el parque La Cascada, El Guayabal en



Figura 9. Construcción de vulnerabilidad en las márgenes de la quebrada El Guayabal



Figuras 10a y 10b. Depósitos longitudinales en las márgenes de la quebrada El Guayabal

la cota 1.200 hasta la confluencia de la quebrada Guayabal con la San Isidro en la cota 655. Esto favorece los procesos de desborde y socavación basal en taludes de carretera y de vertientes, como efectivamente se corroboró en campo afectan-

do a la infraestructura vial (puentes, carreteras) y a las viviendas, y ocasionando además pérdidas de vidas humanas.

Por otro lado, en el cauce de la quebrada el material en tránsito es significativo. Se observa la presencia de rocas de

pocas dimensiones hasta bloques de gran tamaño, aunado a la existencia de gran cantidad de árboles derribados y otros que lograron, posterior al evento del mes de febrero, permanecer erguidos. Además de colmar el cauce de la quebrada, este material potencialmente puede ser movilizado por la quebrada durante alguna crecida y ocasionar aún más daños a la población.

Adicionalmente, la construcción de vulnerabilidad se acentúa más en el fondo de valle, que es definida en el presente trabajo como la ocupación de espacios por parte del hombre, no aptos por sus características de sitio (pendiente accidentada, terrenos inestables, riberas de quebradas o ríos, etc.) para localizar viviendas o centros poblados, actividades económicas, etc.

En el área de estudio, la mayoría de las viviendas han sido construidas en las márgenes de la quebrada no respetando

los 25 metros que establece la Ley Forestal de Suelos y Aguas en el numeral 3, artículo 17, capítulo II que versa sobre Zonas Protectoras a ambos márgenes de un curso de agua no navegable. Esto con el agravante de que existen viviendas que se encuentran a sólo 1,5 a 2 metros de desnivel con respecto a la quebrada e inclusive algunas se encuentran casi al nivel de la misma, siendo más vulnerables a la hora de crecidas y desbordamientos. En campo se contabilizó el número de viviendas localizadas en ambas márgenes de la quebrada, destruidas totalmente y las afectadas; a su vez, los tramos en metros de carretera asfaltada que fueron destruidos por la abatida de la quebrada, cifras que se muestran en los cuadros 3 y 4.

Finalmente, según información suministrada por los habitantes de la zona, perecieron 2 personas de edad adulta los días de la tragedia.

Cuadro 3. Número de viviendas totalmente destruidas y afectadas

Grado de afectación	Nº	%
Viviendas destruidas totalmente	21	15.3
Viviendas afectadas	116	84.7
Total de Viviendas localizadas en ambas márgenes de la quebrada	137	100

Cuadro 4. Tramos de carretera asfaltada destruidos por las quebradas El Guayabal y Mejías

Cota (msnm)	606-694	694-730	730-759	759-850	850-916	916-945	>945	Total (metros)
Tramos de carretera asfaltada afectados	85,2	210	50	15	74	50	30	514,20

Conclusiones y recomendaciones

La microcuenca El Guayabal, por sus características morfométricas, tales como forma, circularidad, red de drenaje y pendiente media, se cataloga como un área con una probabilidad moderada a alta de ocurrencia de crecidas con picos violentos, lo que aunado a la pendiente promedio del cauce, le confiere al escurrimiento superficial en el fondo del valle, en más de un 70 % del recorrido de la quebrada, un carácter torrencial que se traduce en una mayor velocidad del agua, y por ende en una mayor capacidad de erosión y transporte de materiales de dimensiones heterogéneas como se corroboró en campo.

A consecuencia de las precipitaciones anómalas que se suscitaron en el mes de febrero del 2005, se activaron procesos geomórficos que aceleraron los procesos modeladores de las vertientes y, además, coadyuvaron a la aparición de áreas con gran potencial de generar nuevos movimientos de masa, sean del tipo deslizamientos o derrumbes principalmente, los cuales se han generado tanto en áreas donde la intervención antrópica no es muy significativa (caso del derrumbe 'Las Espensas'), o donde el nivel de exposición del suelo ante los agentes externos se hace presente.

El fondo de valle se constituye como el área 'receptora' de los materiales provenientes de las laderas a consecuencia de los procesos geomórficos activos en las mismas y, a su vez, es el lugar, donde por gravedad, el escurrimiento superficial y subsuperficial finalmente se va a concen-

trar y a discurrir a lo largo del cauce de la quebrada, con el agravante que en dicha zona se localiza, a ambos márgenes, más del 70 % de la aldea El Guayabal, viéndose afectados sus bienes muebles e inmuebles, por la socavación basal y por impacto directo (desborde) de la quebrada. Información recabada en campo muestra 21 viviendas con pérdidas totales, 53 con pérdidas parciales y 63 con pocas pérdidas, 514 m de vialidad asfaltada completamente destruida y dos puentes, mientras que 2 personas perecieron.

Dentro de esta investigación también se logró comprobar cómo el hombre, a través de sus actividades, funge como agente modificador del paisaje, acelerando así los procesos modeladores del terreno, desencadenados a consecuencia de la intervención de los espacios naturales para su aprovechamiento socioeconómico, desconociendo en gran medida las consecuencias que a corto, mediano o largo plazo se pueden generar en su contra, convirtiéndose en un área de alta vulnerabilidad como respuesta propia a los diferentes procesos que en ella se llevan a cabo.

El alto nivel de intervención de las laderas, manifestado a través de la desaparición de grandes lotes de vegetación natural, la implantación de potreros para el desarrollo de la ganadería de altura, los cultivos anuales y la aplicación del riego por aspersión en algunas zonas, aunado a las condiciones físico naturales que imperan en el área, se conjugan para acelerar los procesos naturales en zonas de vertiente.

Como resultado de lo señalado anteriormente, se recomienda:

El despeje en el cauce principal de la quebrada de los grandes árboles que se encuentran tanto en pie como en el medio del cauce, como los que se encuentran caídos dentro del mismo, ya que potencialmente pueden obturar el canal y represar la quebrada en aquellas secciones más angostas.

La construcción de obras de ingeniería en lugares donde se amerite, tales como: muros de gaviones en aquellas áreas más afectadas por los procesos de socavación basal, ya que éstos disipan la energía del agua y amortiguan la embestida de la misma ante el impacto directo; así como muros de protección en aquellos lugares donde las viviendas se encuentran al mismo nivel del cauce de la quebrada o, en su defecto, la reubicación de esas viviendas. La construcción de muros se facilita, ya que se cuenta en el lugar con rocas apropiadas para su construcción (gneis, granitos, cuarcitas).

La siembra de bambú en forma de cadena y con poco espaciamiento permite que, a medida que se desarrolla y se transforme en un “muro” natural, actúe como protector eficiente de los taludes de carretera y viviendas, mitigando así la socavación basal y desborde de la quebrada.

Llevar a cabo una serie de estudios técnicos con la finalidad de fijar las áreas más aptas y apropiadas para la localización de la población afectada o no, y la construcción de viviendas seguras, minimizando la presión o impacto sobre las condiciones naturales del área.

Preparar y educar a la población con la finalidad de crear sistemas de alerta

temprana ante eventos de menor o similar magnitud a los del mes de febrero del 2005, con la finalidad de instruir a la población a convivir con las amenazas que presenta el área.

Agradecimientos

Deseamos agradecer los comentarios críticos del profesor Gustavo Silva, lo que sin duda alguna mejoró los alcances de este estudio. Al Ing. Evans Severino por su aporte en algunas consideraciones desde el punto de vista ingenieril. Al Sr. Isaac, Sr. Santos y a la Sra. Francisca quienes con su valiosa ayuda en cuanto a transporte, comida y exploración del área, fueron pieza fundamental para el trabajo de campo. A los Brs. Mariela Bastos y Jesús Boada por su colaboración en algunas de las salidas de campo.

Referencias citadas

- DUGARTE, M. 2002. *Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del río Mocotíes, estado Mérida*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP), Mérida-Venezuela. Tesis Magíster Scientiarum en Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- DIARIO FRONTERA. 2005. *En cuatro áreas se sectorizó impacto directo de la tormenta del Mocotíes*. Cuerpo B, Edición del 13 de mayo. Mérida-Venezuela.

- EWEL, J. y S. MADRIZ. 1968. **Zonas de vida de Venezuela**. Editorial Sucre. Caracas-Venezuela.
- HERNÁNDEZ, E. y J. LÓPEZ. 1972. *Conceptos sobre manejo de cuencas montañosas*. **Revista Forestal Venezolana**. XV (22): 53-81.
- HERNÁNDEZ, E. y L. TAMAYO. 1976. *Aspectos metodológicos y legales de la delimitación de áreas inundables en cuencas montañosas*. **Annales Juris Aquarum**, Volumen II. Mérida-Venezuela.
- HERNÁNDEZ, E. 1987. *Manejo de cuencas*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida-Venezuela.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLO (PNUD); CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO (CAF). 2000. **Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999**. CDB Publicaciones. Caracas. Venezuela. 224 p.
- RUIZ, E. 2001. *Hidrología. Evolución y visión sistémica. La morfometría de cuencas como aplicación*. UNELLEZ. Barinas-Venezuela.
- REPÚBLICA DE VENEZUELA. 1989. *Ley Forestal de Suelos y Aguas*. Gaceta Oficial N° 1.004 (1966), 2.022 (1977), 34.321 (1989), Caracas-DC, Venezuela.
- SUÁREZ, J. 1998. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Bucaramanga-Colombia.
- ZINCK, A. 1980. **Valles de Venezuela**. Cuadernos Lagoven. Editado por el Departamento de Relaciones Públicas de Lagoven, Filial de Petróleos de Venezuela, S.A.
- URL: www.weather.msfc.nasa.gov