
Zonificación y jerarquización por amenaza torrencial de las quebradas que cruzan la Troncal 5 entre Las Playitas y Mesa Bolívar, cuenca del río Mocotíes, Mérida-Venezuela

Zoning and ranking of creeks by threat of torrential floods crossing the Road 5, between Las Playitas and Mesa Bolívar Mocoties River Basin, Mérida-Venezuela

Raúl Vidal*, Alex Barrios* y Francisco Rivas*

Recibido: 18/08/2013

Aceptado: 20/11/2013

Resumen

Como una herramienta de ayuda en la gestión del riesgo por crecidas torrenciales en la cuenca del río Mocotíes Mérida -Venezuela se realiza una zonificación de la amenaza torrencial de los cauces que atraviesan el eje vial principal, carretera Troncal 5, entre Las Playitas y Mesa Bolívar. Se realizó una jerarquización de 74 microcuencas torrenciales aplicando un método de evaluación espacial multicriterio a través de un Sistema de Información Geográfica. Se utilizaron 4 criterios: susceptibilidad a movimientos en masa, índice de Melton, pendiente del terreno de la zona ribereña y precipitación máxima de 1 hora de duración y 10 años de período de retorno. La amenaza torrencial de cada microcuenca se calculó como el promedio ponderado del valor de los 4 criterios anteriores, los cuales fueron previamente normalizados a una escala común. Los pesos aplicados a cada factor se determinaron mediante juicio de expertos, aplicando matrices de comparación por pares. Los resultados indican que 8 de las 74 microcuencas evaluadas están en la máxima categoría de amenaza torrencial muy alta y 18 microcuencas en la categoría alta. Es decir, 35% de los torrentes identificados presentaron una elevada amenaza torrencial. Los resultados de la zonificación se muestran en un mapa.

Palabras claves: amenaza torrencial, evaluación espacial multicriterio, cuenca, Mocotíes.

*Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida -Venezuela.

Abstract

As a tool for the study of risk management during debris flood of the Mocoties river basin Mérida –Venezuela a zoning debris flow hazard is made, of the torrents crossing the main road 5, which goes between Las Playitas Mesa Bolivar. The classification of 74 streams of the left side of the Mocoties basin was conducted. Identified micro basins, using a spatial multipurpose criteria with the help of a geographic information system. The following four criteria were used: susceptibility to mass movement, Melton Index, soil slope of riverside area and maximal precipitation of one hour and ten years of return period. The torrential threat from each micro basin was calculated as the weighted average of the four criteria mentioned before. They were previously normalized to a common scale. The applied weighs to each factor were chosen by judgment of experts, applying a matrix for comparing pair of data. The results showed that 8 out of 74 micro basins studied fall in very high hazards and 18 micro basins in category high. Summarizing, 35% of the identified torrents have a high torrential hazards. The results of the zoning by hazard of torrential floods are shown on a map.

Key words: torrential threat, multicriteria spatial evaluation, river basin, Mocoties.

Introducción

Durante el mes de febrero de 2005, específicamente el día 11, se presentó una vaguada sobre la cuenca del río Mocotíes, de 5 días de duración, dejando damnificados, pérdidas de viviendas, muertos y daños al 60% de la infraestructura urbana (IERU, 2009). Si bien se ha dicho que se trató de una tormenta extraordinaria, Laffaille *et al.*, (2005) basado en métodos indirectos, debido a que lamentablemente las estaciones meteorológicas dentro de la cuenca no registraron los datos de precipitación, señalan que “una estimación muy preliminar indicaría un período de retorno de 40-50 años: esas lluvias pueden ser catalogadas como ‘cincuentenaria’ y no deberían ser consideradas como “precipitaciones extremas”. El hecho de que gran parte de la vialidad resultó destruida, específicamente la Troncal 5, al igual que otros sistemas de líneas vitales, incomunicó parcialmente algunos poblados y tuvo el efecto de potenciar las versiones que sostenían la tesis de total destrucción del valle y sus poblados, por causa de la acción de un fenómeno natural inusitado (Laffaille *et al.*, 2005).

Las características morfológicas de la cuenca del río Mocotíes, obligan a un trazado del eje vial principal por la margen izquierda del río, siguiendo una línea paralela al cauce a lo largo de su extenso valle. Las características torrenciales de las decenas de cauces que la atraviesan, hacen que la vialidad principal se constituya en un elemento frecuentemente impactado por las crecidas del río Mocotíes y de los afluentes de su vertiente izquierda y no sólo por las crecidas de mayor magnitud, como la de febrero 2005, sino también por las de menor magnitud, que frecuentemente ocasionan interrupciones del tránsito y altos costos en lo económico por remoción de escombros.

Como una herramienta de apoyo a la planificación de actividades para el manejo del riesgo por crecidas torrenciales, en el presente estudio se propone como objetivo realizar una zonificación de las quebradas, basada en la amenaza por crecidas que representa cada uno de los cauces que atraviesan la vía principal: carretera Troncal 5, entre Mesa Bolívar y Las Playitas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La cuenca del río Mocotíes, localizada en los Andes venezolanos (figura 1), es una unidad hidrográfica de 511 km², de relieve montañoso, con un rango altitudinal entre 300 y 3600 msnm; definida por dos vertientes asimétricas y atravesada por un amplio y definido valle aluvial (Roa, 2007). La vertiente izquierda, ocupa un área de 170 Km² un tercio del área de la cuenca con afluentes de régimen intermitente y, al contrario de la vertiente derecha, donde los afluentes del río Mocotíes son principalmente de régimen permanente, todos los afluentes son de comportamiento torrencial. La carretera principal dentro de la cuenca se emplaza sobre la margen izquierda del río Mocotíes, haciéndose, por tanto, ampliamente amenazada ante las crecidas torrenciales de los numerosos tributarios provenientes de la vertiente izquierda.

La vertiente izquierda de la cuenca del río Mocotíes fue dividida para la presente investigación en 74 microcuencas torrenciales, con tamaños entre 0,18 km² y 7,90 km².

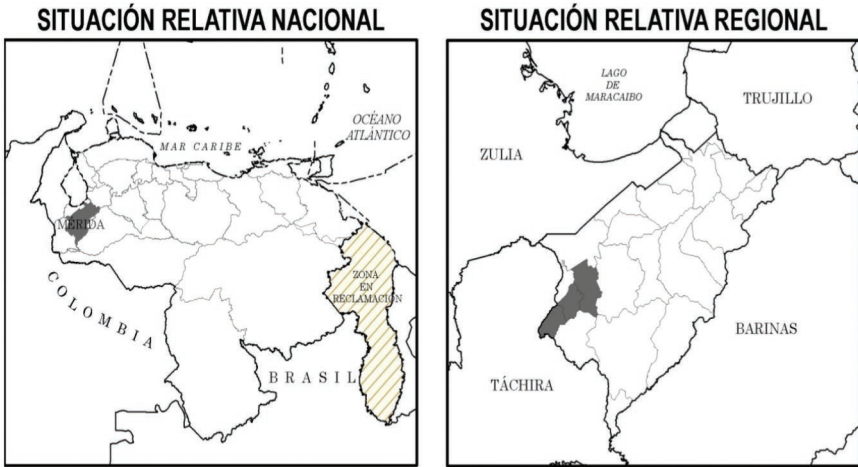


Figura 1. Ubicación del área de estudio.
Fuente: Elaboración Propia

Metodología

La delimitación de cada microcuenca se obtuvo aplicando la interfaz para ArcGis del modelo hidrológico SWAT, denominada ArcSWAT (Winchell *et al.*, 2010), específicamente la sección sobre “delimitación de cuencas”. Como dato de entrada se utilizó un modelo digital de elevaciones (MDE), correspondiente a la superficie de la cuenca del río Mocotíes, extraído de la base de datos pública de la NASA (SRTM, “The Shuttle Radar Topography Mission) de 90 m de resolución, el cual fue recortado al tamaño de la cuenca del río Mocotíes y remuestreado para llevarlo a una resolución de píxel de 10 m. Una vista del MDE se muestra en la figura 2(a). El otro dato de entrada fue la red de cauces, previamente digitalizadas a partir de mapas cartográficos a escala 1:25.000 (figura 2b).

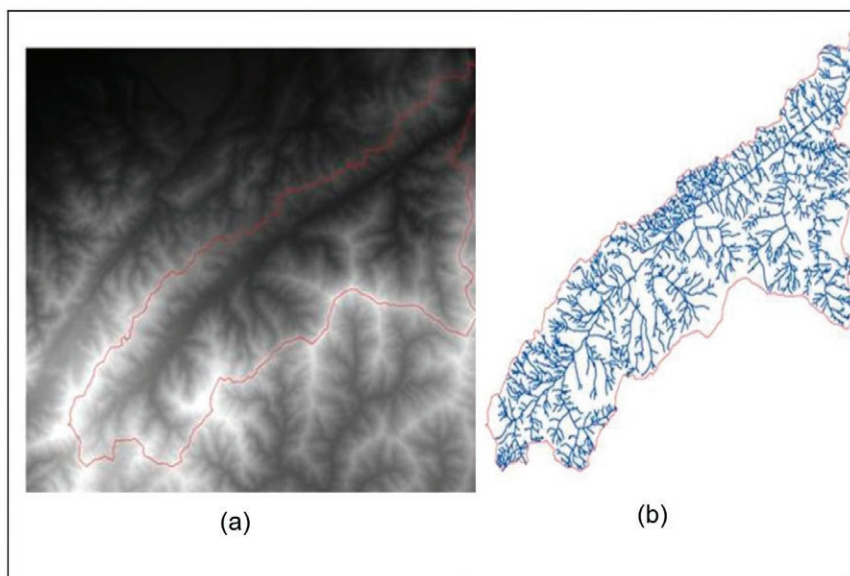


Figura 2. Modelo digital de elevaciones (a) y drenajes digitalizados (b) utilizados en la delimitación de microcuencas.
Fuente: Elaboración Propia.

Identificando como sitio de cierre de las microcuencas el punto sobre la vialidad principal objeto de estudio (carretera Troncal 5, entre Mesa Bolívar y Las Playitas), se obtuvieron los polígonos de divisorias de cada microcuenca (figura 3) y su respectiva superficie (ver tabla 1).

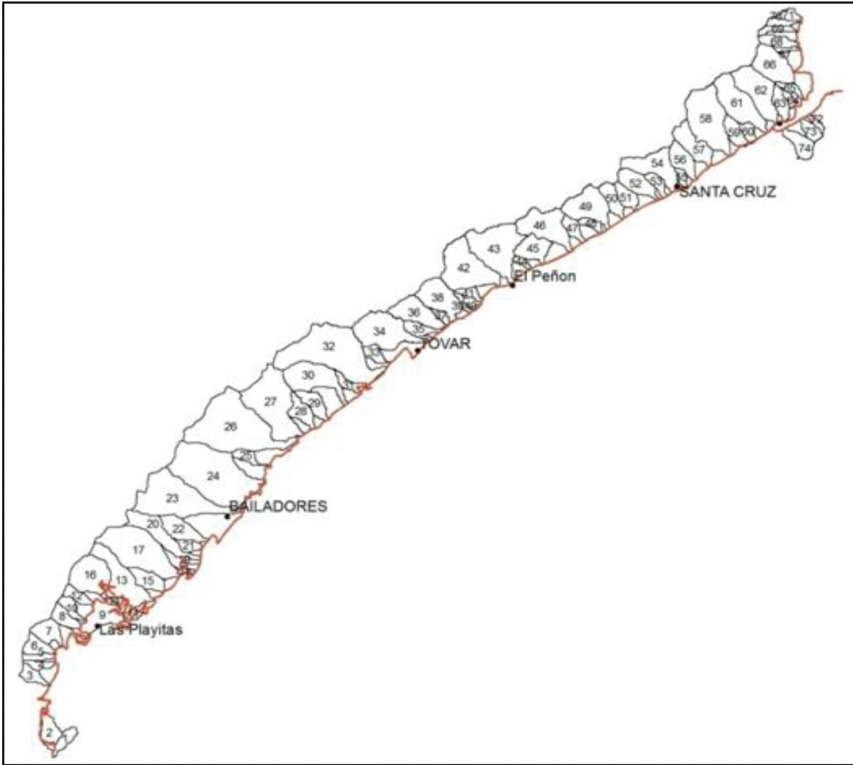


Figura 3. Microcuencas delimitadas en la vertiente izquierda de la cuenca del río Mocotíes.

Fuente Elaboración Propia

La jerarquización de torrentes dentro de la cuenca del río Mocotíes se realizó siguiendo un método de evaluación espacial multicriterio (EEMC), aplicado mediante un sistema de Información Geográfica (SIG) (Montoya *et al.*, 2009; Roa, 2007)

El principal factor utilizado para el análisis multicriterio fue la susceptibilidad a movimientos en masa elaborado por PNUD-Fundapris (2008) (figura 4). Este factor, a su vez, fue el resultado de la combinación de 5 factores condicionantes de los movimientos en masa: pendiente del terreno, geología, geomorfología, cobertura vegetal y orientación de taludes (PNUD-Fundapris, 2008).

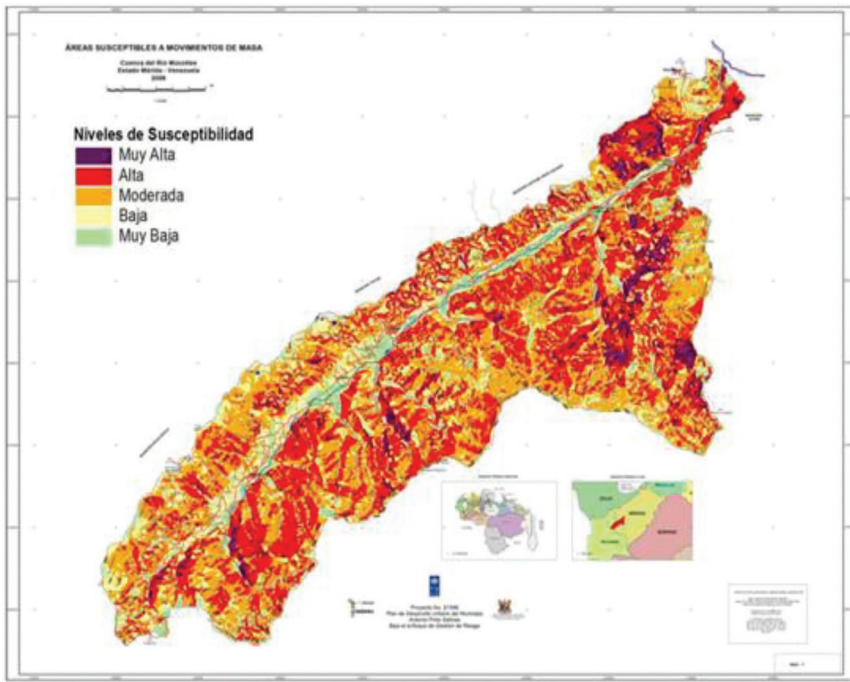


Figura 4. Susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Mocotés. (Fuente: PNUD-Fundapris ,2008)

Un segundo factor para la EEMC fue el Índice de Melton, el cual es una medida de la torrencialidad de una cuenca que intenta medir indirectamente la ocurrencia o no de flujo de detritus y de la severidad de éste. El índice de Melton queda definido por la siguiente expresión:

Dónde: $cotaMax$ y $cotaMin$ son las altitud máximas y mínimas respectivamente, expresadas en km; y $área$, es la superficie de la microcuenca en km^2 , para lo cual se apoya en el mapa de pendientes. (figura 5).

Diversos estudios (Millard *et al.*, 2006, Iroume, 2003) sugieren que valores del índice de Melton mayores a 0,6 representan una alta torrencialidad asociada a la ocurrencia de flujo de detritus.

Un tercer factor para la EEMC, el cual es una medida complementaria de la severidad y frecuencia del flujo de detritus,

fue la pendiente del terreno de la franja contigua al cauce principal. Se consideró una franja de 100 metros de ancho, teniendo al cauce como punto central, es decir cerca de 50 m de ancho por cada margen del cauce, (figura 6).

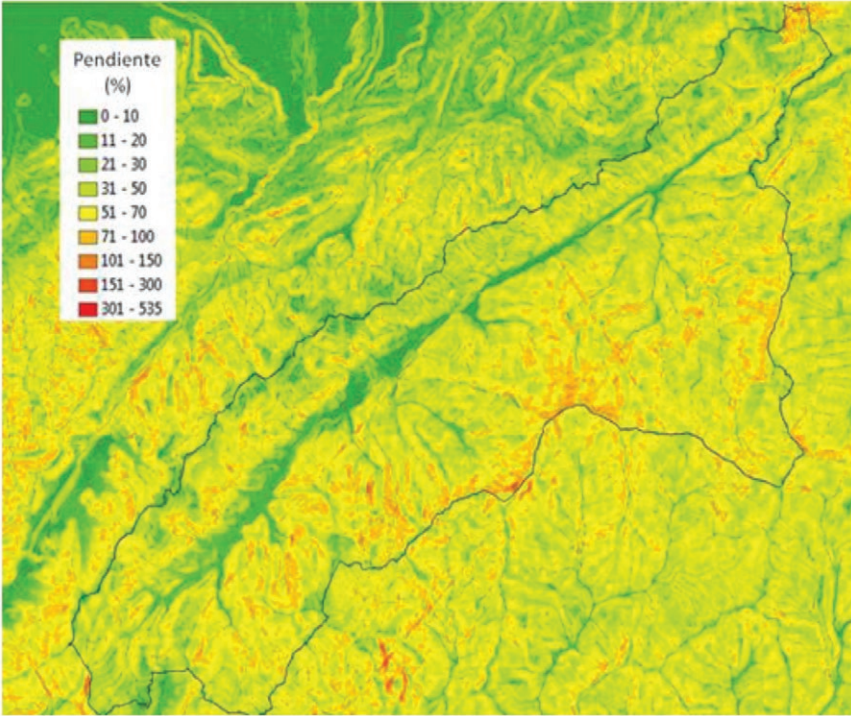


Figura 5. Pendiente del terreno: cuenca del río Mocotíes
Fuente: Elaboración Propia

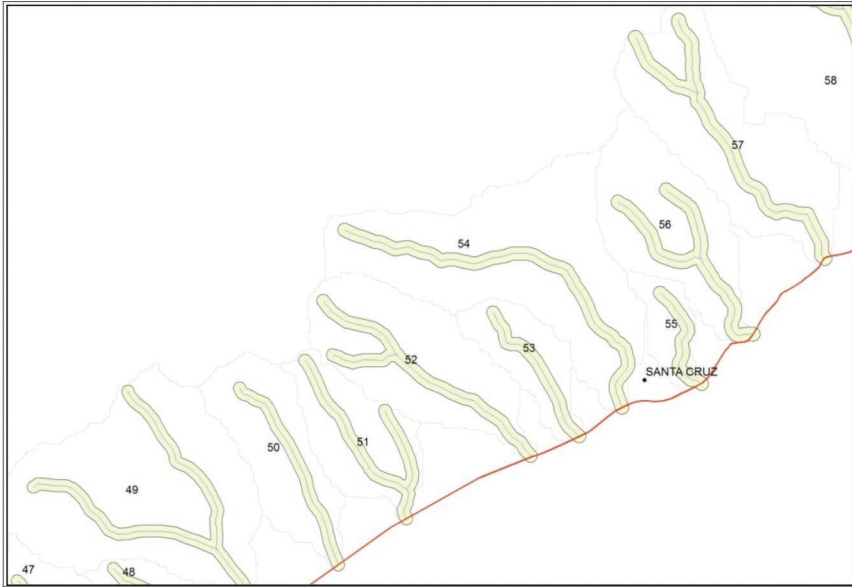


Figura 6. Franja riparia de 100 m de ancho (sector ilustrativo).

Fuente Elaboración Propia.

Un cuarto y último factor considerado para la EEMC, fue la precipitación. Como los tres primeros criterios miden el potencial que tiene una cuenca de generar mayor o menor torrencialidad ante un nivel de crecida dado, se trata sólo de una susceptibilidad. Para considerar la ecuación completa de una amenaza se necesita alguna medida de la magnitud y frecuencia del detonante principal, la precipitación. El criterio empleado en el presente estudio fue la lluvia de diseño para una duración de 1 hora y un período de retorno de 10 años, (figura 7).

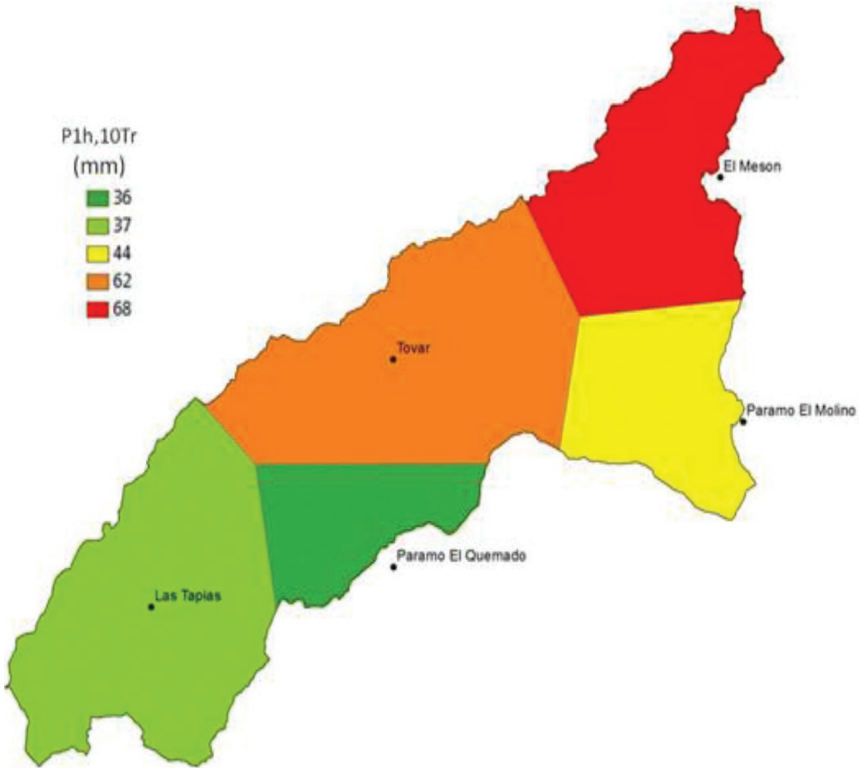


Figura 7. Zonas con igual intensidad de la lluvia para 1 hora de duración y 10 años de periodo de retorno. Cuenca del río Mocoties.
Fuente Elaboración propia.

Debido a que los 4 factores a utilizar en la Evaluación Espacial Multicriterio son cuantificados con escalas numéricas desiguales, se aplicó una normalización de cada factor mediante la división de sus valores por el máximo de la serie.

La amenaza torrencial de cada quebrada se calculó como un promedio ponderado del valor de los 4 criterios utilizados. Los pesos a asignar a cada criterio fueron establecidos mediante juicio de expertos, aplicando matrices de comparación por pares (Barredo, 1996, Gómez y Barredo, 2005, entre otros), obteniéndose los siguientes resultados: 41% (susceptibilidad a movimientos en masa); 29% (precipitación de 1h y $Tr=10$ años); 17% (Índice de Melton); y 13% (pendiente del terreno en la franja ribereña de 100 m).

Resultados

Distribución espacial de los factores para la EEMC

Un valor del Índice de Melton se calculó para cada microcuenca. Aplicando una operación de estadística zonal entre el mapa de polígonos de las microcuencas y el modelo digital de elevaciones, se obtuvieron las cotas máximas y mínimas de cada microcuenca. Considerando la superficie de la microcuenca, se aplicó la ecuación del índice de Melton. En el tabla 1 se observan los resultados, los cuales tuvieron un rango entre 0,33 y 1,16; predominando los valores mayores a 0,6, el umbral a partir del cual se considera que pueden ocurrir flujos de detritos. Las quebradas con los índices más altos fueron San Buenaventura (1,16) y El Zapote (1,02)

Sobreponiendo el mapa de microcuencas al de susceptibilidad a movimientos en masa se determinó un valor medio de este factor para cada microcuenca (las categorías de susceptibilidad se mantuvieron igual al mapa original PNUD-Fundapris (2008): (1, muy baja; 2, baja; 3, moderada; 4, alta y 5, muy alta). En el tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, observándose valores entre 2,08 y 4,38, con predominancia de las categorías moderada a muy alta (47% de las microcuencas con valores mayores a 3,0). Las microcuencas con las mayores susceptibilidades a movimientos en masa fueron las quebradas La Victoria, El Barro, Mocotíes y San Pedro.

Para el cálculo de la pendiente del terreno en el corredor de 100 m de ancho a lo largo del cauce principal de cada torrente, se determinaron previamente dos subproductos: un mapa de pendientes de la cuenca del río Mocotíes y el mapa con la zona riparia de 100 m de ancho de los principales cauces de las microcuencas. En la figura 5 se muestra el mapa de la pendiente del terreno, elaborado a partir del MDE, mientras que en la figura 6 se ilustra el corredor ripario, o zona buffer, de un pequeño sector del área de estudio. Superponiendo los mapas de las zonas riparias sobre el mapa de pendiente, se determinó la pendiente media de la franja riparia, cuyos resultados, con un rango de 17% a 58%, se presentan en el tabla 1 (columna Pend50), correspondiendo las mayores cifras a las qdas. El Zapote y La Grande (tributario 2).

A cada microcuenca del estudio se asignó una precipitación máxima de 1 hora de duración y 10 años de período de retorno, con base a la información de la estación de precipitación más cercana, aplicando el método de los Polígonos de Thiessen. Se calcularon lluvias extremas, utilizando la distribución de probabilidades de Gumbel a las series de precipitación anual máxima de 1 hora de duración, en 5 estaciones meteorológicas dentro de la cuenca del río Mocotíes: El Mesón (3108), Tovar (3141), Páramo El Molino (3070), Páramo El Quemado (3005) y Las Tapias (3132). En la figura 7 se muestra el resultado obtenido, donde se observa que todas las microcuencas localizadas al noreste de la cuenca del río Mocotíes están expuestas a lluvias de mayor intensidad. En primer lugar, estarían las microcuencas del sector cercano al eje vial Santa Cruz de Mora-La Victoria, donde la lluvia máxima resultó igual a 68 mm; en segundo lugar, las microcuencas cercanas al tramo Tovar-El Peñón, donde la lluvia máxima fue igual a 62 mm; para el resto del área el valor fue de 37 mm. En el tabla 1 se muestran los resultados por microcuenca.

Los valores obtenidos anteriormente para los 4 factores de la evaluación espacial multicriterio, se normalizaron con base en los máximos valores de cada factor. Posteriormente, aplicando los pesos o factores de ponderación señalados anteriormente, se calculó el valor promedio ponderado de la amenaza torrencial (tabla 2). Los promedios anteriores se llevaron a valores categóricos de amenaza: 1 muy baja, 2 baja, 3 moderada, 4 alta y 5 muy alta. En la figura 8 se presenta una expresión espacial de los promedios calculados.

Los resultados señalan que 8 de las 74 microcuencas tienen la máxima categoría de amenaza torrencial, estas son: qda. El Zapote, qda. La Victoria, qda. La Victoria 2, qda. San Buenaventura, qda. La Agüita 2, qda. El Barro, qda. San Pedro y qda. Mocotíes, lo que fue confirmado con las observaciones y entrevistas en campo. A esta máxima categoría de amenaza se agregan dos microcuencas qda. Los Cedros y qda. San Rafael, debido a su comportamiento torrencial recurrente verificado en los últimos eventos hidroclimáticos, aun cuando sus respectivos cálculos indicaban categoría 3 (amenaza

moderada). Los resultados muestran también un total de 18 torrentes en el tramo vial Las Playitas-Mesa Bolívar, con alto nivel de amenaza torrencial (categoría 4), de manera que se puede decir que un 35 % de los torrentes identificados en el área de estudio presentaron una amenaza torrencial de alta a muy alta (categorías 4 y 5).

Tabla 1. Microcuencas y factores de la evaluación multicriterio.

Subc	NOMBRE	Superf. (km ²)	CotaMin (msnm)	CotaMax (msnm)	Índice Melton	Suscep. Movi. Masa	Pend 50m (%)	Pmax _{TR1} 0.01h (mm)
1	Qda. Zarzales (Parte alta)	0.6305	2973	3367	0.50	2.97	30.2	37
2	Qda. El Oso (Parte alta)	1.0791	2955	3364	0.39	2.61	38.0	37
3	Qda. Aguadita (Tributario)	0.6606	2958	3613	0.81	2.08	45.2	37
4	Qda. La Grande (Tributario 1)	0.4304	2971	3560	0.90	2.28	46.7	37
5	Qda. La Grande (Tributario 2)	0.4138	2966	3577	0.95	2.42	50.1	37
6	Qda. La Grande (Tributario 3)	0.8736	2984	3600	0.66	2.70	56.2	37
7	Qda. La Grande (Tributario 4)	1.1788	2950	3573	0.57	2.81	40.5	37
8	Qda. Rincón Las Playitas (Trib. 1)	0.8436	2740	3459	0.78	2.85	47.7	37
9	Qda. Rincón Las Playitas	2.7457	2254	3250	0.88	2.83	30.9	37
10	Qda. Rincón Las Playitas (Trib. 2)	0.6090	2790	3443	0.84	2.37	43.6	37
11	Interfluvio a Mocoties(Qda Guaripa)	0.2899	2137	2458	0.60	3.13	27.3	37
12	Qda. Rincón Las Playitas (Trib. 3)	0.6242	2758	3449	0.87	2.45	43.9	37
13	Qda. Las Águilas (Parte baja)	3.4841	2096	3355	0.53	2.98	32.8	37
14	Qda. Las Águilas (Tributario 1)	0.2666	2410	2860	0.87	3.55	40.8	37
15	Afluente a Mocoties (Las Tapias)	1.0992	2055	2849	0.76	3.13	43.0	37
16	Qda. Las Águilas (Parte alta)	2.6622	2613	3439	0.51	3.18	49.5	37
17	Qda. Seca	5.1006	2007	3360	0.60	3.10	40.5	37
18	Qda. Seca (Cono)	0.1776	1894	2044	0.64	2.20	17.2	37
19	Interfluvio Mocoties (Qda. Morena)	0.6064	1850	2600	0.96	2.59	29.9	37

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2. Cálculo de la amenaza torrencial (Resultados ordenados de mayor a menor amenaza)

Subc	NOMBRE	Valores normalizados				Promedio Ponderado	Categoría Amenaza
		Índice Melton	Suscep. Movi. Masa	Pend _{50m}	Pmax _{T₁₀,d_{1h}}		
64	Qda El Zapote	0.879	0.815	1.000	1.000	0.865	5
62	Qda. La Victoria	0.500	1.000	0.702	1.000	0.851	5
74	Qda La Victoria 2	0.603	0.848	0.891	1.000	0.825	5
67	Qda San Buenaventura	1.000	0.729	0.699	1.000	0.815	5
72	Qda La Agüita 2	0.819	0.700	0.955	1.000	0.804	5
58	Qda. El Barro	0.397	0.940	0.623	1.000	0.803	5
59	Qda. San Pedro	0.517	0.890	0.597	1.000	0.797	5
61	Qda. Mocoties	0.500	0.893	0.559	1.000	0.792	5
60	Interfluvio Mocoties (San Pedro)	0.526	0.804	0.741	1.000	0.779	4
65	Qda. La Muda	0.707	0.742	0.713	1.000	0.777	4
63	Qda La escuadra	0.655	0.764	0.693	1.000	0.777	4
47	S/N	0.690	0.769	0.800	0.912	0.770	4
66	Sin Nombre (S/N)	0.422	0.791	0.712	1.000	0.755	4
73	Qda La Agüita 3	0.569	0.701	0.847	1.000	0.755	4
52	Qda Romero 1 o el Mamón	0.422	0.780	0.685	1.000	0.748	4
68	Qda Los Algarrobos	0.647	0.674	0.756	1.000	0.745	4
48	S/N	0.647	0.731	0.652	0.912	0.732	4
53	Qda San José	0.569	0.692	0.637	1.000	0.728	4
69	Los Higueros 1	0.828	0.608	0.594	1.000	0.727	4
28	Afluente Mocoties (Qda. Los Curos)	0.664	0.698	0.695	0.912	0.726	4
29	Qda. las Delicias	0.672	0.673	0.769	0.912	0.725	4
50	Qda Cuba Libre	0.491	0.695	0.678	1.000	0.723	4
51	Qda Romero 2	0.500	0.671	0.683	1.000	0.715	4
46	Qda. El Silencio	0.362	0.779	0.697	0.912	0.714	4
49	Qda. El Tabacal	0.379	0.760	0.677	0.912	0.707	4
70	Los Higueros 2	0.638	0.639	0.535	1.000	0.706	4
56	Qda La Parada	0.466	0.623	0.679	1.000	0.689	3
39	S/N	0.698	0.622	0.597	0.912	0.689	3
41	Qda El Peñoncito	0.569	0.657	0.604	0.912	0.685	3
35	S/N	0.466	0.711	0.522	0.912	0.683	3
14	Qda. Las Águilas (Tributario 1)	0.750	0.811	0.708	0.544	0.680	3
37	S/N	0.552	0.660	0.570	0.912	0.679	3
30	Qda. La Colorada	0.448	0.717	0.489	0.912	0.679	3
36	Bella Vista	0.379	0.727	0.513	0.912	0.675	3
57	Qda. El Diamante	0.414	0.642	0.507	1.000	0.671	3
54	Qda. Los Cedros	0.336	0.678	0.475	1.000	0.670	3 (5*)
43	Qda El Peñón	0.293	0.722	0.599	0.912	0.670	3
34	Qda Matías Codina	0.353	0.700	0.590	0.912	0.669	3
42	Qda. San Rafael	0.293	0.722	0.552	0.912	0.665	3 (5*)
38	La Jabonera	0.284	0.736	0.506	0.912	0.664	3
33	Qda Los Rojas	0.526	0.604	0.609	0.912	0.657	3
55	Qda El Cementerio	0.569	0.553	0.509	1.000	0.657	3
45	Qda El Locho o Totumal	0.353	0.652	0.595	0.912	0.649	3
44	Qda. Caucaquita	0.552	0.574	0.607	0.912	0.649	3
71	Los Higueros 3	0.483	0.548	0.518	1.000	0.643	3
27	Qda. Los Curos	0.414	0.631	0.507	0.912	0.641	3
31	Qda. Guaimaral (Tributario)	0.629	0.592	0.331	0.912	0.637	3
22	Qda. La Chita	0.698	0.697	0.813	0.544	0.637	3
15	Afluente a Mocoties (arriba Las Tapias)	0.655	0.714	0.745	0.544	0.630	3
40	S/N	0.500	0.526	0.685	0.912	0.630	3
32	Qda. Guaimaral	0.379	0.591	0.524	0.912	0.621	3
23	Qda. Agua Sucia	0.526	0.747	0.703	0.544	0.620	3
8	Qda. Rincón Las Playitas	0.672	0.650	0.827	0.544	0.615	2

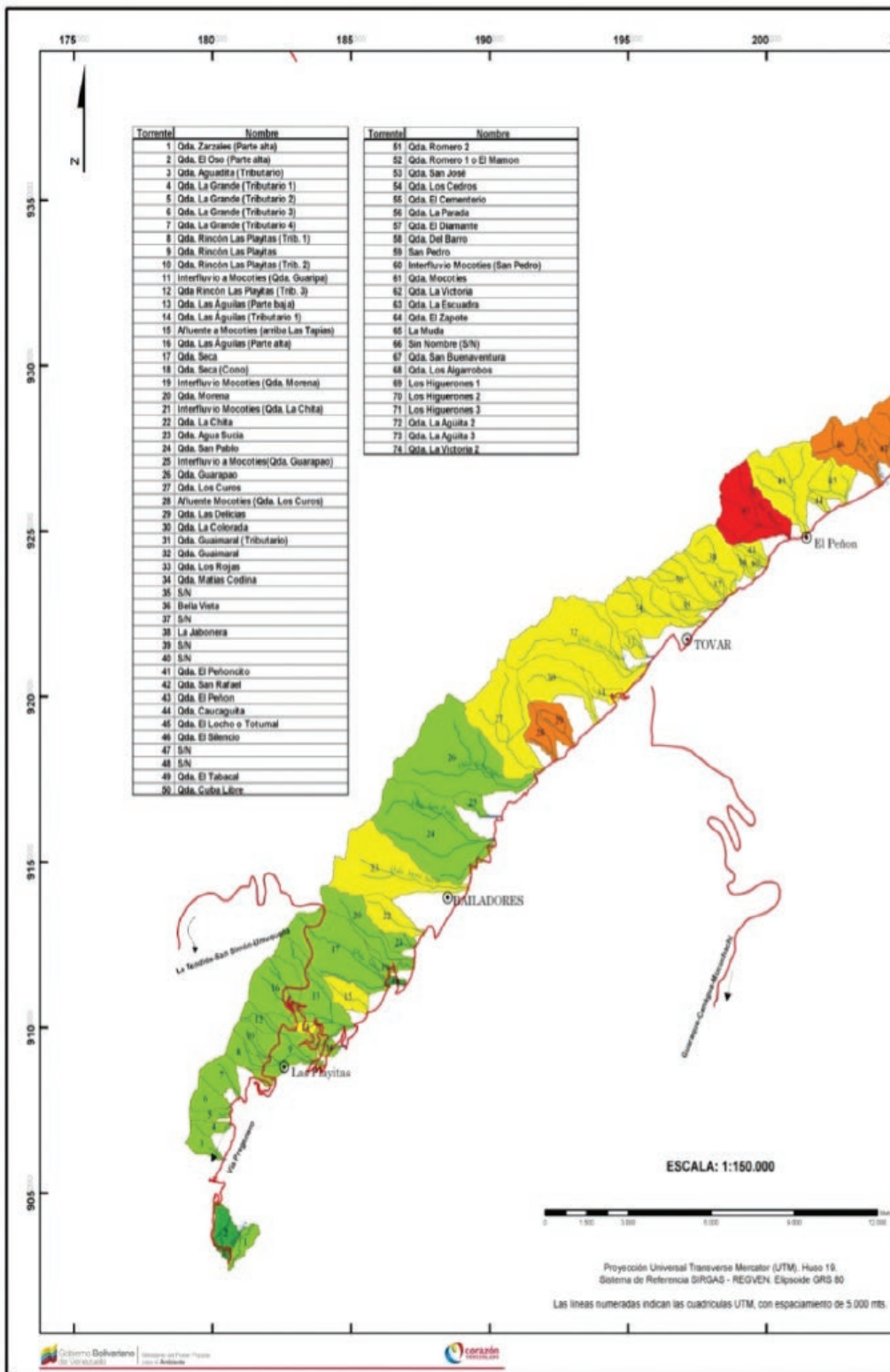


Figura 8. Zonificación y jerarquización de las quebradas según la Fuente

Conclusiones

La metodología multicriterio aplicada para jerarquizar la amenaza torrencial en cuencas montañosas mostró un buen desempeño. Los resultados de esta metodología constituyen una herramienta útil en la planificación y ejecución de actividades para la prevención y control de las crecidas torrenciales.

El tramo ubicado entre El Peñón-Santa Cruz de Mora-La Victoria y Mesa Bolívar de la Troncal 5 resultó con un grado entre muy alta y alta amenaza torrencial, lo cual indica la potencial afectación a la que estarían sometidos estos tramos viales por efecto de las crecidas torrenciales, siendo el sector de Santa Cruz de Mora el más emblemático por encontrarse establecidos importantes centros poblados en el mismo.

Referencias Bibliográficas

- Barredo, J. 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la evaluación del territorio. RA-MA. Madrid, España.
- Gómez, M. y Barredo, J. 2005. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. RA-MA. Madrid, España.
- IERU. 2009. Diseño de metodología para la inclusión de la variable riesgo ambiental en los planes urbanos. Caso de aplicación: Santa Cruz de Mora, estado Mérida. Universidad Simón Bolívar, Instituto de Estudios Regionales y Urbanos. Caracas, Venezuela.
- Iroume, A. 2003. Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la Cordillera de los Andes de la Novena Región de Chile. **Bosque (Valdivia)**, vol. 24, no. 1, pp. 125-135.
- Laffaille, J. Ferrer, C. y Rincón, J. C. 2005. Antecedentes históricos de eventos meteorológicos ocurridos en el valle del río Mocotíes y su impacto geomorfológico. **Revista Geográfica Venezolana**, Número especial 2005, 297-311.
- Millard, T. H., Wilford, D. J. y Oden, M. E. 2006. Coastal fan destabilization and forest management. Res. Sec., Coast For. Reg., BC Min. For., Nanaimo, BC. Tec. Rep. TR-034/2006.
- Montoya, J., Silva, L. J., y González, J. E. 2009. Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la quebrada Doña María. **Revista Ingeniería Universidad de Medellín**, volumen 8, No. 15, pp. 11-29.
- PNUD-Fundapris, 2008. Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle del río Mocotíes. Mérida, Venezuela.
- Roa, J. G. 2007. Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. **Revista Geográfica Venezolana**, Vol. 48(2) 2007, 183-219.
- Winchell, M., Srinivasan R., Di Luzio M., Arnold J. 2010. **ArcSwat Interface for SWAT2009. User's Guide. Blackland Research and Extension Center. Texas**. Recuperado en el 15 de septiembre en <http://swat.tamu.edu/software/arcswat/>.

