

Aspectos hidrogeomorfológicos de un sector de los Andes merideños (Venezuela): Un intento de zonificación por crecidas y flujos de detritos

Hydrogeomorphologic aspects of a site in Mérida State Andes (Venezuela):

A zoning attempt because of floods and debris flows

Delgadillo Alejandro*, Ferrer Carlos* y Dugarte Marbella*

Recibido: marzo, 2008 / Aceptado: febrero, 2009

Resumen

La región semiárida de Lagunillas de Urao constituye el área natural de expansión del eje urbano Mérida-Ejido-Tabay y se caracteriza por presentar fuertes limitantes relacionadas con una variedad de amenazas de índole natural. El sector seleccionado para este estudio puede ser considerado como muestra, de los muchos problemas que se tendrán que encarar, en un área sometida a fuertes presiones urbanísticas. A pesar de la deficiencia de los datos, debido al desmantelamiento de la red climatológica, se estimó con los registros existentes que algunas láminas de lluvia exceden los umbrales críticos considerados para períodos de retorno muy cortos y en lapsos menores e iguales a una hora. A partir de consideraciones morfométricas, análisis de lluvias extremas, estimación de caudales máximos y evidencias geomorfológicas, se estableció una zonificación de aquellas áreas propensas a ser afectadas por crecidas torrenciales e impactos, directos e indirectos, debido a la acción de flujos de detritos. Los torrentes locales constituyen la mayor amenaza a corto plazo. Se subrayan algunas limitaciones del análisis hidrológico al no tomar en cuenta los procesos geomorfológicos y su historia a largo plazo.

Palabras clave: Lluvias extremas; caudales máximos; torrentes; flujos de detritos; Andes venezolanos.

Abstract

The semiarid region of Lagunillas de Urao constitutes the natural area of expansion of Mérida - Ejido - Tabay Urban axis and it is characterized by having strong limitations related to a variety of natural hazards. The selected site for this study can be considered as a sample of the many problems that will have to be faced in an area subdued to strong urban pressures. Despite data deficiency due to the disassembling of climatic station network, it was estimated with existing records that some rainfall depths exceed the considered critical thresholds for very short return periods and at an hour or shorter intervals. A zoning of those areas prone to be affected by floods and direct or indirect impacts, due to debris flows,

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela. E-mail: geobeat@gmail.com; carlosferrerve@yahoo.com; dugarte@ula.ve

was established, taking into account morphometric considerations, peak rainfall analysis, peak discharge estimations and geomorphologic evidences. The local torrents are the main short term hazard. Some analysis limitations in the hydrological analysis are highlighted, because geomorphologic processes and their history are not considered.

Key words: Extreme rainfalls; peak discharges; torrents; debris flows; Venezuelan Andes.

1. Introducción

La evaluación de las características físicas y el estudio de las condiciones socio-económicas de las áreas de expansión de la gran mayoría de los centros urbanos ubicados en los Andes venezolanos, tanto los localizados en áreas intercordilleras como en regiones piedemontinas, constituyen un tema obligado de estudio. La ciudad de Mérida y sus satélites, Ejido y Tabay, no escapan a esta realidad con restricciones comunes a todas ellas: serias limitaciones de orden físico, tal es el caso de aquellas áreas con fuertes limitantes topográficas, insuficiencia de terrenos para desarrollos urbanísticos, necesidad de grandes inversiones y un notorio incremento de la presión ejercida por grupos humanos para ocupar sitios sensibles, todo ello acompañado de una deficiente política habitacional.

El sector comprendido entre el poblado de La González y el Conjunto Residencial Villa Libertad, también conocido como Urbanización Chama-Mérida, puede ser considerado metafóricamente como la puerta de acceso a la región semiárida de Lagunillas de Urao: área natural de expansión del eje urbano Mérida-Ejido-Tabay (Figura 1).

Este trabajo tiene como objetivo principal definir un conjunto de amenazas

que aumentan los niveles de riesgo en el área de estudio. A partir de un reconocimiento geológico y geomorfológico, determinación de algunos parámetros morfométricos, análisis de lluvias extremas y estimación de caudales máximos, se ensaya una zonificación que engloba las amenazas por crecidas torrenciales y flujos de detritos.

Se resaltan dos aspectos principales: por un lado, las limitantes de los análisis de crecidas cuando se abordan como un problema estadístico de datos hidrológicos y, por el otro, la necesidad de reforzar ese enfoque con una visión geomorfológica orientada a asegurar la viabilidad de los proyectos de ingeniería.

2. Localización y breve descripción de las condiciones físicas

El área de estudio se localiza en la confluencia del río La González y la quebrada La Sucia con el río Chama, en los Andes centrales venezolanos. Comprende específicamente el poblado de La González y el Conjunto Residencial Villa Libertad (Chama-Mérida), municipio Sucre del estado Mérida (Figura 1). El sector se encuentra limitado por las trazas norte, sísmicamente más activa, y sur de la zona de fallas de Boconó en lo que ori-

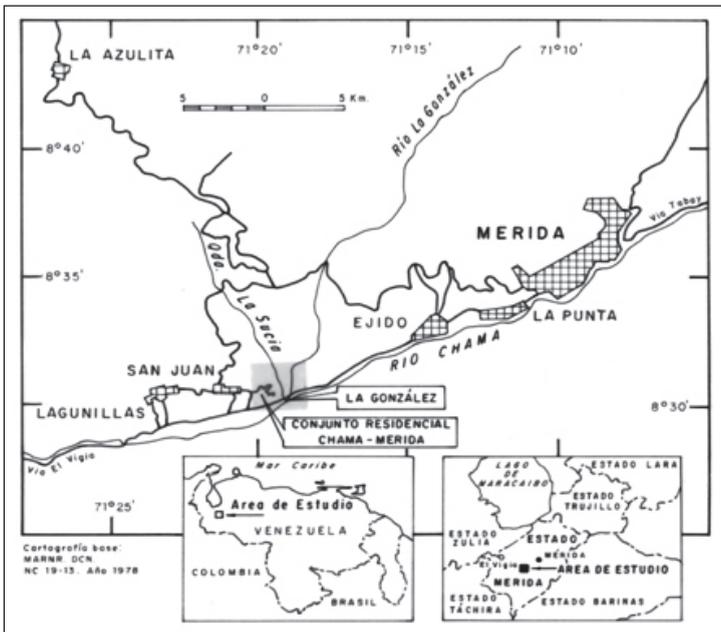


Figura 1. Localización del área de estudio. La tendencia del crecimiento del eje urbano Mérida-Ejido-Tabay se orienta a la ocupación de terrenos situados al suroeste: San Juan y Lagunillas. Esta región, semiárida, presenta fuertes limitaciones debido al déficit crónico de agua, comportamiento torrencial de los drenes y serios problemas de índole geomorfológico y sísmico. El desarrollo, hacia el noreste, se ve constreñido por una topografía de valles estrechos y abruptas laderas

ginalmente Schubert (1980; 1982; 1984; 1985) denominó Cuenca de Tracción La González.

La definición de las condiciones físicas así como el análisis de las limitantes y las restricciones de los terrenos en esta futura área urbana, ha sido tema de interés de distintos investigadores, tal y como ha sido plasmado en varios artículos científicos, entrevistas e informes técnicos dispersos y de difícil acceso (Tricart y Michele, 1965; Cabello, 1966; Schubert y Vivas, 1993; Pérez, 1994; Jáuregui, 1997; Rojas, 1997; UFORGA - ULA, 1999; Jáuregui y Mora, 2000; Delgadillo, 2005; Delgadillo

et al., 2004; 2007; Ferrer, 1996; Ferrer y Laffaille, 1999; 2005; Ferrer et al., 2005; entre otros).

En el sitio seleccionado se adelantó, a mediados y finales de la década de los noventa, un controversial proyecto urbanístico denominado 'Conjunto Residencial Villa Libertad'. El mismo consistía en una serie de edificaciones a ser desarrolladas en las adyacencias de la vía que une a Mérida con El Vigía; el proyecto sólo se completó en su parte norte, la del sur fue paralizada. Esta iniciativa puede ser tomada en cuenta como un ensayo de las dificultades que deberán ser afrontadas a

medida que la expansión del eje urbano, producto de una gran presión social y política, siga extendiéndose a estas zonas de frágil equilibrio (Figuras 2a y 2b).

Las cuencas de captación del río La González y quebrada La Sucia presentan grandes contrastes. Estas disparidades incluyen aspectos morfométricos, hidrológicos y litológicos, los cuales llamaron la atención de Ferrer y Laffaille (2005). Resalta la forma alargada de la cuenca del río La González versus la morfología ligeramente ensanchada de la quebrada La Sucia; ello incide en la conducta hidráulica y en el comportamiento de los picos de crecidas, tal y como se verá más adelante. Mientras que en las secciones superiores de la quebrada La Sucia afloran extensamente rocas blandas (areniscas, limolitas y lutitas -secuencia del

Mesozoico), estimadas en un 80% de su superficie total (Ministerio de Energía y Minas, 1981), en su vecina predominan rocas duras (gneises y esquistos de la Asociación Sierra Nevada -Precámbrico?) Al sur, en el valle altamente asimétrico del Chama, se distribuyen esquistos y cuarcitas (Asociación Tostós del Paleozoico inferior) que ejercen una gran influencia sobre los torrentes locales (para detalles: Ferrer, 1996; Ferrer y Laffaille, 2005), (Figura 3).

Existe una marcada diferencia entre las litofacies de los abanico-terrazas ubicados aguas arriba y aguas abajo del área estudiada. Para el primer caso operó una dinámica predominantemente longitudinal (de noreste a suroeste), expresada en el amplio abanico-terrazza de Mérida. En contraste, y a partir del sitio ocupado por

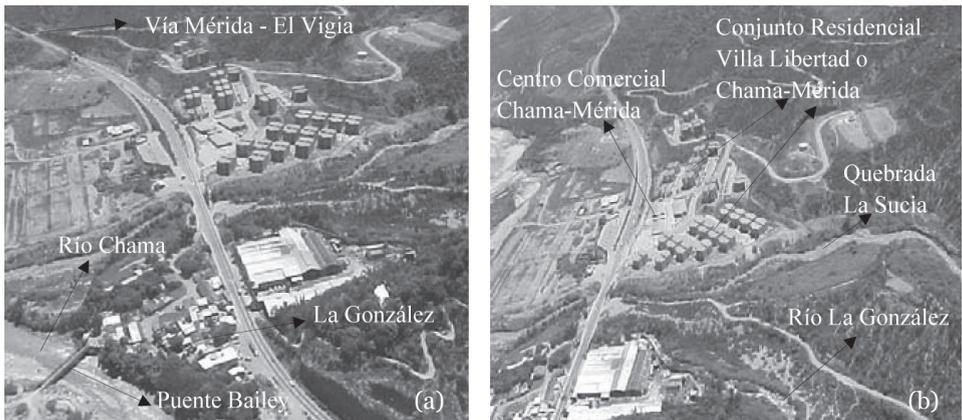


Figura 2. Detalles del área de estudio: (a) Panorámica del caserío La González y del desarrollo urbanístico conformado por el Conjunto Residencial Villa Libertad. La construcción en los terrenos situados al sur (izquierda de la carretera) fue paralizada por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (b) Detalles del urbanismo; se trata de aproximadamente 54 edificios. Se destacan en la imagen la quebrada La Sucia y el río La González. (Orientación de las fotografías: noreste-suroeste y noroeste-sureste respectivamente; vistas tomadas desde un helicóptero por N. Ramírez, mayo, 2006)

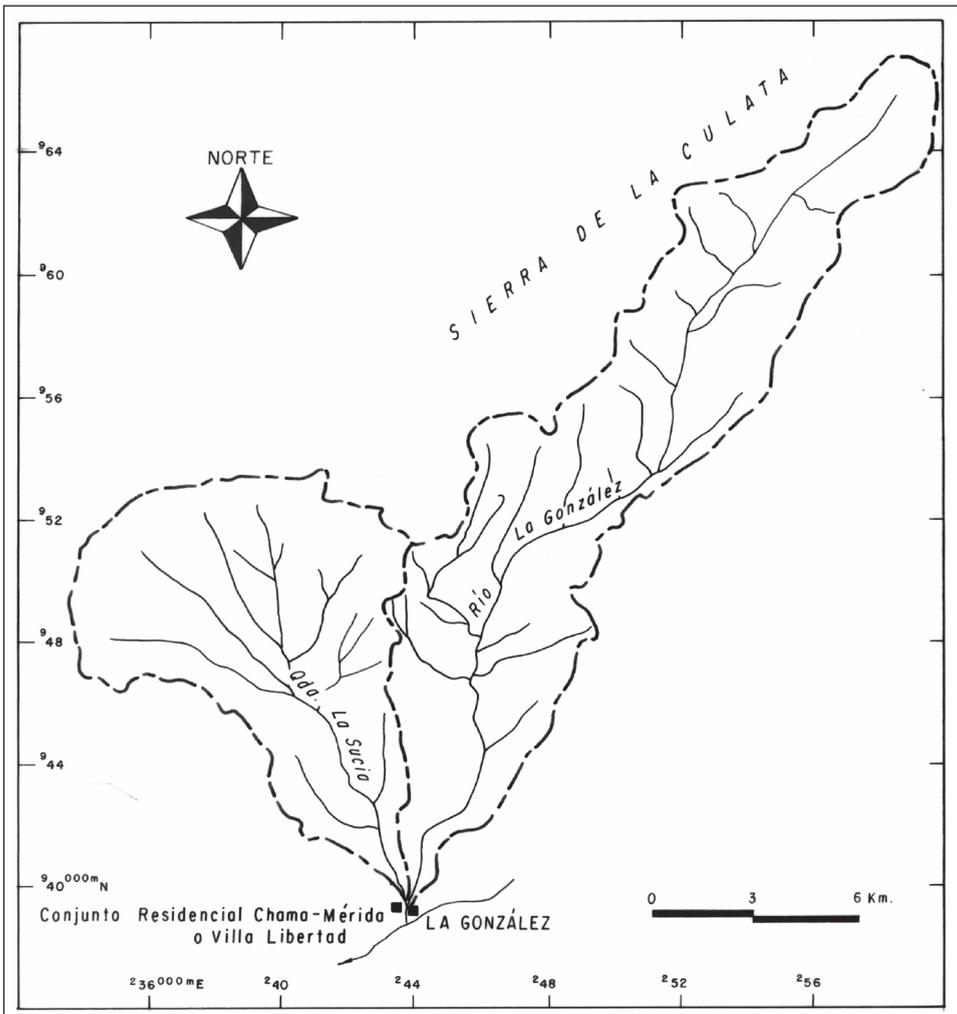


Figura 3. Cuencas del río La González y la quebrada La Sucia; es notable la diferencia entre la forma: alargada versus ligeramente ensanchada. A este contraste morfométrico hay que agregar las diferencias litológicas: rocas duras y resistentes para la primera; blandas y fácilmente removibles para la segunda. Estas características definen en buena medida, la extensión y la geometría de los abanicos desarrollados por cada uno de estos drenes

el poblado La González, la dirección del eje de acumulación se situaba preferentemente al norte y en sentido perpendicular al valle. Esta situación puede tener una explicación tectónica relacionada con

la evolución de la cuenca de tracción así como los significativos desplazamientos, rumbo deslizantes, de la traza norte de la falla de Boconó. Ello sin subestimar la serie de eventos paleoclimáticos que debie-

ron haber jugado un papel fundamental en la transformación de esta sección del río Chama.

Resaltan en el presente estudio las condiciones climáticas: el área se ubica dentro del 'bolsón' semiárido de Lagunillas de Urao. Esta particularidad, no única en los Andes venezolanos, se encuentra asociada con la orientación y exposición del relieve y con los patrones de circulación y dirección de los vientos (Ferrer, 1999a; Ferrer y Laffaille, 2005; Ferrer *et al.*, 2005). En las estaciones climatológicas más cercanas: San Juan de Lagunillas (serial 3170; período 1971-1996), Tostós (serial 8057; período 1970-1991) y en la antigua estación Lagunillas (serial 3055; período 1950-1967), se han registrado precipitaciones promedios anuales de 509,8 mm; 539,6 mm y 457,7 mm respectivamente; datos estos que contrastan con el régimen de lluvias de la ciudad de Mérida, donde se presentan valores promedios de 1690,6 mm para la estación Mérida-Aeropuerto, en 50 años de registros (período 1956-2006).

En la cercana estación San Juan de Lagunillas se tienen valores mínimos de precipitación de 323,1 mm en el año 1991 y máximos de 712,3 mm en 1981, con un 72 % de las lluvias concentradas en los períodos de abril a junio y de septiembre a noviembre, además de unas temperaturas medias anuales de 22,5 °C y unos valores de evaporación superiores a los 2000 mm (UFORGA-ULA, 1999; Delgadillo *et al.*, 2004; Ferrer y Laffaille, 2005). Mientras que en la estación Tostós, ubicada al sur, se han registrado valores mínimos de precipitación de 321,6 mm en el año

1984 y máximos de 748,3 mm en 1970; con un 76,1 % de las lluvias concentradas igualmente en los trimestres de abril a junio y de septiembre a noviembre. Cabe destacar que las lluvias máximas típicas del área poseen un carácter esencialmente torrencial, con una alta concentración de las precipitaciones caídas en breves lapsos de tiempo.

Las condiciones climáticas esbozadas con anterioridad han influido sobre el desarrollo de una vegetación típicamente semixerófitica en toda el área; de hecho la unidad ecológica se corresponde con el arbustal espinoso, donde la mayor limitante es la baja precipitación anual: entre 400 y 700 mm (Ataroff y Sarmiento, 2004; Márquez y Sampson, 2004). Este tipo de vegetación deja al descubierto grandes porciones de la superficie del terreno, lo que favorece la ocurrencia de: (i) eventos de tipo hidrológico de gran magnitud, con una conducta esencialmente torrencial, y (ii), el desarrollo e intensificación de procesos geomorfológicos en toda el área.

3. Materiales y métodos de trabajo

De particular importancia resultó la consulta del material cartográfico y aerofotográfico en la elaboración del presente trabajo. Entre ellos se destacan mapas a 1:25.000 (Cartografía Nacional: restitución a partir de las fotografías aéreas de la Misión A34, año 1952, escala 1:40.000) y planos a 1:5.000, elaborados por el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida (INPRAD-DEM) en el año 1996.

Para aspectos puntuales, en el área cubierta por el 'Conjunto Residencial Villa Libertad', se utilizó el plano topográfico (escala 1:2.000) elaborado por Jáuregui y Mora (2000). La información geológica fue tomada de los mapas a escala 1:50.000 del Ministerio de Energía y Minas (1981) y 1:25.000 de Ferrer (1995). Las fotografías aéreas se corresponden con la Misión 010486 del año 1996 a escala 1:5.000 (INPRADEM). Para el levantamiento de los aspectos geomorfológicos se utilizaron una serie de técnicas basadas en una detallada fotointerpretación y en trabajos de campo. La geocronología relativa de los depósitos sedimentarios se estableció con base en la posición geomorfológica de las formas de acumulación. Los mencionados aspectos geomorfológicos fueron llevados a su expresión cartográfica, a escala 1:5.000, mediante el uso del software Arc View 3.2. En el cálculo de las pendientes medias de las cuencas del río La González y la quebrada La Sucia se aplicó el método de Alvord, mientras que en los valores de pendiente promedio correspondiente a los cauces principales, se emplearon criterios clásicos basados en perfiles longitudinales. Para determinar la morfología de la cuenca se utilizó la relación de forma de Horton y para la red de drenaje, la técnica propuesta por Horton ligeramente modificada por Strahler (1964).

En el análisis de frecuencias de las intensidades máximas de precipitación, se ajustaron los registros pluviográficos a la distribución de probabilidad de Gumbel o de Valor Extremo Tipo I, por ser una de las más usadas en la simulación de

tormentas de lluvia (Chow *et al.*, 1994); para alcanzar este propósito se utilizó el programa AJUSTEV3 (Duque, 2006). En la estimación de los caudales máximos, y debido a la ausencia de estaciones hidrométricas en este sector, se procedió a aplicar diferentes métodos entre los que destacan el uso de ecuaciones potenciales para el caso del río Chama; la utilización del método de C. O. Clark y de la Curva S y el hidrograma unitario triangular (Guevara y Cartaya, 1991; Chow *et al.*, 1994; Aparicio, 2001) para el caso de la quebrada La Sucia y el río La González; mientras que en el torrente El Paraíso y otros torrentes locales, ubicados al sur del caserío La González, se aplicó la clásica fórmula racional y el modelo de simulación hidrológica EVENTO (Duque y Barrios, 1988). Es oportuno señalar que varias de las estimaciones de caudales picos, para diferentes períodos de retorno, se presentaron previamente en Delgadillo (2005), Delgadillo *et al.* (2007), Ferrer y Laffaille (2005).

A partir de la estimación de los caudales máximos, se procedió a cartografiar las manchas de crecida. Para ello se determinaron las cotas de niveles máximos de los tirantes de agua, mediante la elaboración de perfiles transversales (con equidistancias de 50, 100 y 200 m) en los cauces de los ríos Chama y La González, así como en la quebrada La Sucia. Esta información se obtuvo a partir del plano topográfico a escala 1:2.000 (Jáuregui y Mora, 2000) y de algunas secciones transversales levantadas por Jáuregui (1997) y Jáuregui y Mora (2000). Además de lo anterior se aplicó el método abre-

viado para el cálculo de áreas de Chow *et al.* (1994) y la ecuación de Manning, con el objetivo de estimar la velocidad de las corrientes y los posteriores caudales en cada sección levantada, tomando en cuenta un incremento de 0,5 m para cada tirante de agua. En aquellas zonas donde no se contaba con perfiles transversales de los cauces, se consideró una franja de protección de 25 m en ambos márgenes de ríos, quebradas, torrentes y cárcavas, empleando los 'buffers' del ArcView 3.2. En cuanto a las posibilidades de ocurrencia de flujos de detritos de la quebrada La Sucia, se empleó una parte de la zonificación propuesta por Kellerhals y Church (1990).

4. Características hidrogeomorfológicas del sitio de emplazamiento del Conjunto Residencial Villa Libertad (Chama-Mérida) y del poblado de La González

Esta pequeña sección del río Chama fue analizada en detalle por Ferrer y Laffaille (2005); autores que hicieron hincapié en factores tan importantes como: (i) la pronunciada asimetría de este sector intercordillerano, como elemento fundamental para explicar los extensos cuerpos sedimentarios desarrollados en la margen derecha del río Chama; (ii) las disparidades litológicas presentes en las cuencas de la quebrada La Sucia y el río La González, como base para diferenciar entre facies del tipo flujo de detritos de las facies fluviales respectivamente, y (iii), el análisis de dos escenarios relacionados

con lluvias que superen determinados umbrales críticos y los posibles efectos cosísmicos en un área donde existen evidencias de una alta sismicidad (Cluff y Hansen, 1969; Grases, 1980; Grases *et al.*, 1999; Rengifo y Laffaille, 2000).

A nivel de detalle se puede apreciar, en las figuras 4 (a y b) y 5, que el área seleccionada en este estudio se emplaza en buena medida tanto en la sección apical de un abanico depositado por la quebrada La Sucia, como en una serie de pequeños abanicos de detritos provenientes de un conjunto de cárcavas locales. Los espesores del abanico mayor alcanzan hasta los 12 m y están constituidos por una mezcla de fragmentos embutidos en una matriz fina (Rojas, 1997). Destaca en la imagen de la figura 5 el 'corte' dejado por el torrente Caparú.

El río La González y la quebrada La Sucia han jugado un papel predominante en el desarrollo de la serie de acumulaciones que caracterizan toda esta área. Facies fluviales, representadas en varios niveles, se extienden hacia el sector noreste; en contraste, sedimentos asociados con depósitos correspondientes a flujos de detritos afloran al norte y noroeste (Figura 4a; 4b). Las acumulaciones más antiguas se distribuyen, en forma de relictos aislados, a lo largo del sector norte y sur; se trata de una combinación de facies aluviales y posiblemente lacustres, las cuales han servido parcialmente de fuente de suministro mediante un proceso de canibalización, a los intervalos más jóvenes (Tricart y Michele, 1965; Ferrer, 1995; 1996; Ferrer y Laffaille, 2005).

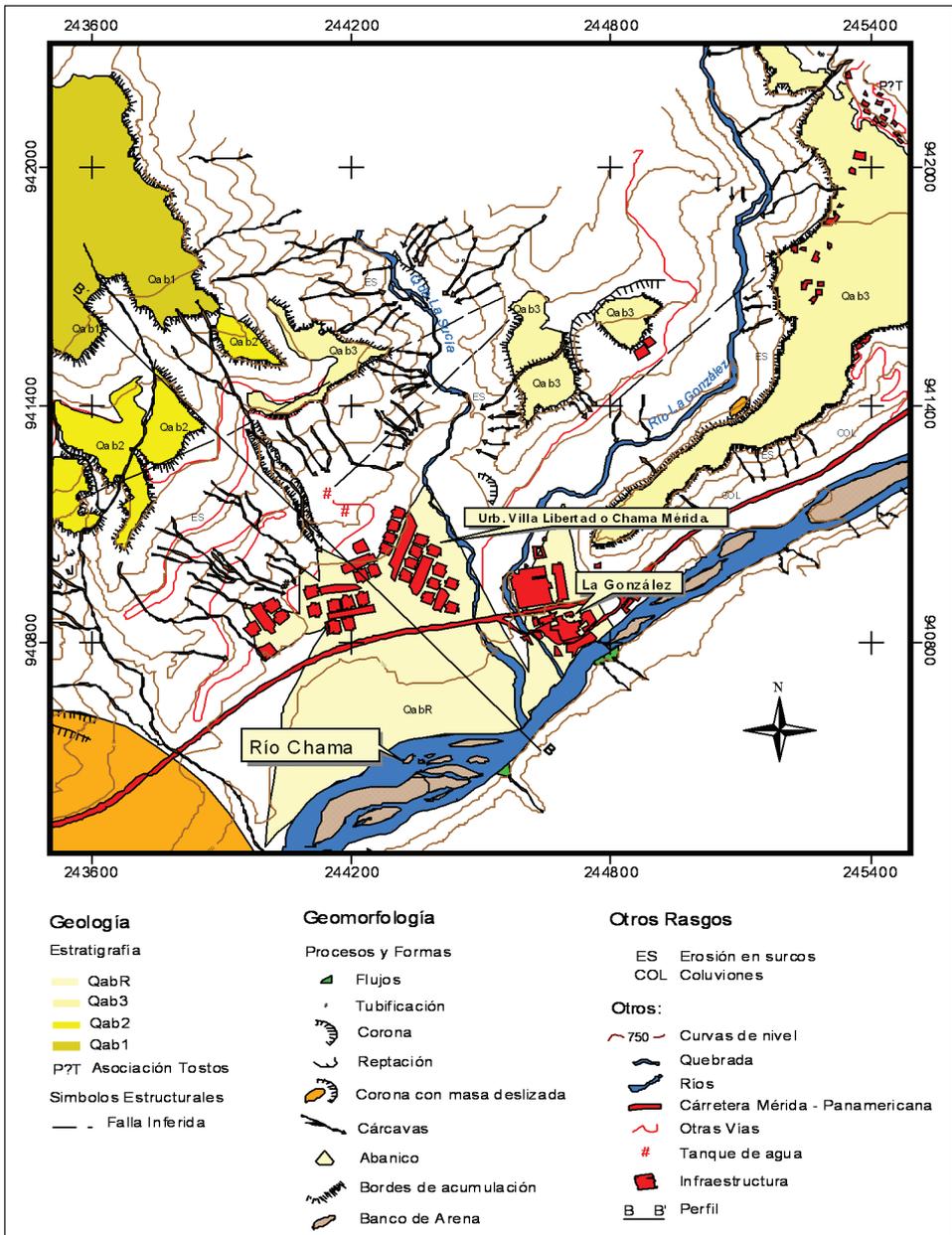


Figura 4a. Detalles de algunos aspectos geológicos y geomorfológicos que caracterizan el sitio de emplazamiento de la urbanización Villa Libertad y del caserío La González. Estratigrafía: diferentes abanicos aluviales son separados por altura y corresponden a diversos niveles; los cuales varían del más antiguo (Qab1) al más reciente (QabR). Fuera del área de estudio afloran relictos de una secuencia del Cuaternario todavía más vieja y que ha sido canalizada por estos intervalos más jóvenes (Tricart y Michele, 1965; y denominada como término 'Informal' Complejo Aluvial Lagunillas por Ferrer, 1995; Ferrer y Laffaille, 2005). La Asociación Tostós corresponde con el Paleozoico superior y aflora, como basamento, en todo el fondo del valle.

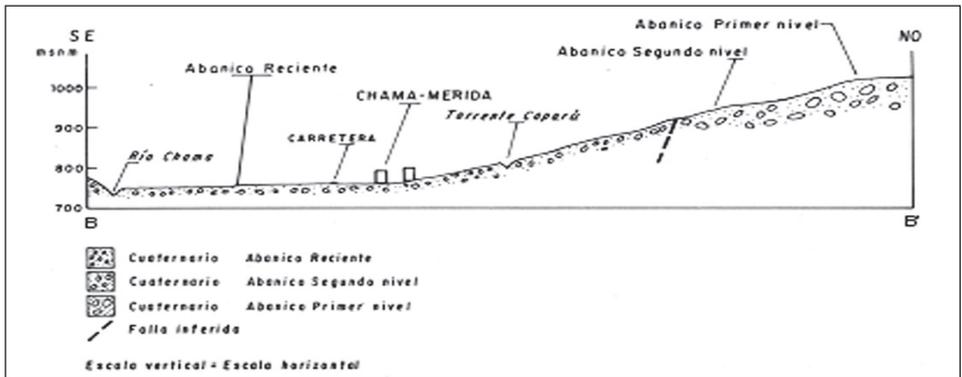


Figura 4b. Detalles de algunos aspectos geológicos y geomorfológicos que caracterizan el sitio de emplazamiento de la urbanización Villa Libertad y del caserío La González. Perfil generalizado (la escala vertical es la misma del plano)

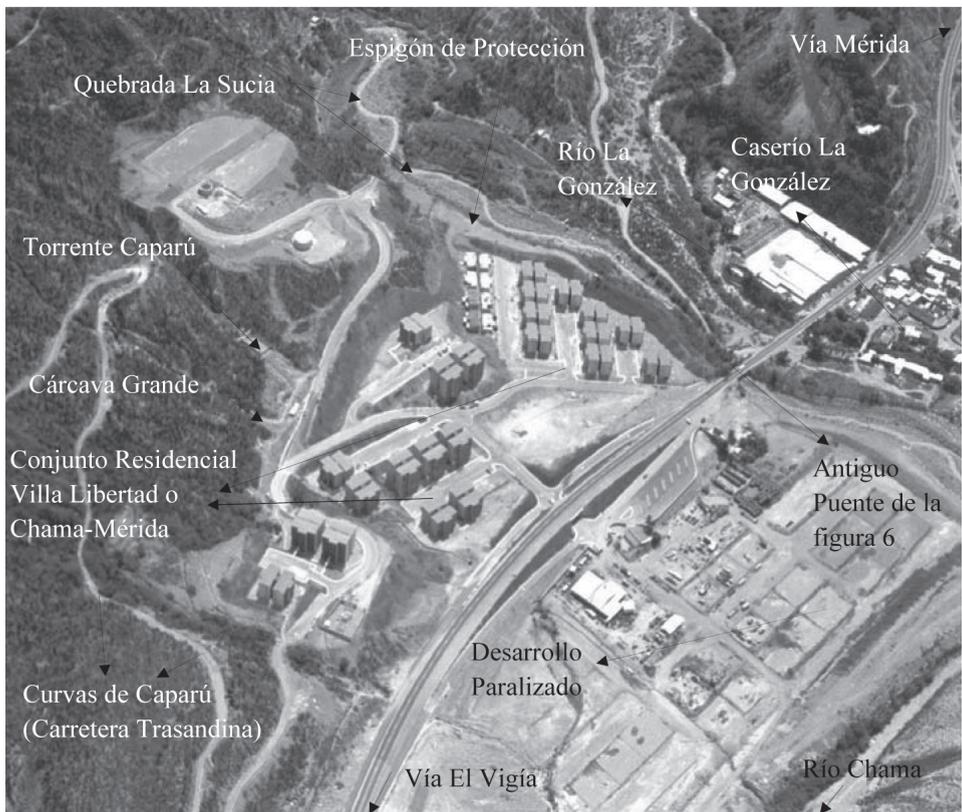


Figura 5. Detalles del sitio ocupado por el caserío de La González y el Conjunto Residencial Villa Libertad (explicaciones en el texto). (Fotografía cortesía: Instituto de Infraestructura del Estado Mérida, marzo de 2004). (Dirección de la imagen: noroeste-sureste)



Figura 6. Detalles del puente de mampostería sobre la quebrada La Sucia. Datos reportados por Jáuregui (1997) indican que esta sección no ha experimentado una crecida extraordinaria, en los últimos 100 años, que supere un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{s}$

El sitio de emplazamiento del caserío La González corresponde fundamentalmente a una serie de abanicos aluviales modernos, edificados por la acción del río La González; la disposición y estructura de los sedimentos así lo sugieren. Estos materiales difieren radicalmente de los acumulados por la quebrada La Sucia, lo que es un reflejo de las condiciones predominantes en sus respectivas cuencas.

El torrente Caparú, cuyos detalles hidrogeomorfológicos serán discutidos más adelante, constituye una de las amenazas más serias, ya que un núcleo importante de edificaciones se encuentran situadas directamente en su eje (Figura 5). Para

el control hidráulico se construyeron y se llevaron a cabo una serie de diques y otras medidas de estabilización. Lo más sensato habría sido revisar a nivel de proyecto la ubicación de las construcciones y respetar la tendencia natural de este sistema, de régimen esporádico, a expresarse libremente. El resto de los edificios, extremo inferior izquierdo de la figura 5, han sido construidos parcialmente sobre materiales granulares depositados en forma de abanicos de detritos por algunas cárcavas locales (Figura 4a). En el primero de ellos se presenta un intenso proceso de tubificación que, además de tener el potencial para generar un reaco-

modo de las partículas en el subsuelo y producir problemas de asentamientos, tiende a desarrollar surcos y depresiones en el terreno. Este proceso de subdrenaje, largamente subestimado, constituye una fuerte limitante para el desarrollo urbano de toda esta región semiárida.

El poblado La González enfrenta dos serias amenazas: (i) los embates del río Chama, y (ii), una dinámica muy agresiva proveniente del torrente El Paraíso ubicado al sureste (Figura 4); expresada en una sucesión de flujos de detritos y la presencia de un deslizamiento activo (El Paraíso), (Ferrer y Laffaille, 2005).

5. Análisis de los resultados

5.1 Aspectos morfométricos

En la figura 3 se muestra el contraste entre las cuencas del río La González y la quebrada La Sucia. La primera de ellas ocupa una extensión aproximada de 111 km² con una morfología muy alargada (factor forma de 0,16); lo que tiende a generar crecidas más graduales y menos violentas. Este curso de quinto orden constituye el tercer tributario más importante del río Chama. En contraste, la cuenca de la quebrada La Sucia posee un área de 66 km² y una longitud de cauce de 16 km; con una forma ligeramente ensanchada, lo que se expresa en tiempos de concentración más cortos y en la generación de caudales más violentos que su contraparte. Estos aspectos se resaltan al comparar la red de drenaje de ambos sistemas fluviales.

La cuenca del río La González posee un número de orden (Nu) mayor a 450 cauces; con 207,93 km de longitud de los cauces y una relación de bifurcación (Rb) de 4,74. Este valor puede expresar picos de crecidas con tendencia a generar eventos 'moderados'.

Sí se analiza en detalle los resultados obtenidos para la cuenca de la quebrada La Sucia, se tiene un total de 132 km de longitud de cauces; 144 drenajes de orden u; una Rb promedio de 4,84. La densidad de drenaje (Dd) de 2,0 km/km², puede ser considerada alta y representa un área bien drenada; ello se traduce, en términos hidrológicos, en una buena respuesta para el momento en que ocurra una tormenta. La pendiente promedio para el río La González es de 10,6 %; en el perfil longitudinal, estos valores de pendiente fluctúan entre el 5 % a más del 80 %, correspondiente este último valor a la gran escarpa (falla de Jají) ubicada en La Chorrera de La González. Para el caso de la quebrada La Sucia, la pendiente media de su cauce alcanzó un 11,6 %. Estos datos confirman lo obvio; se trata de drenes de tipo torrencial.

5.2 Análisis de lluvias extremas: intensidades, frecuencias y profundidades máximas

Para el estudio de este importante parámetro fueron utilizados los datos de la estación San Juan de Lagunillas (3170); estos registros fueron ajustados a la distribución de Gumbel (valor extremo tipo I), por ser la función de probabilidad de más amplio uso, para simular las precipitaciones máximas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Intensidades máximas de precipitación (en mm/h) para diferentes frecuencias y duraciones menores e iguales a una hora (Estación San Juan de Lagunillas: 3170)

Periodo de retorno (Tr) en años	Duración en minutos				
	5	10	15	30	60
1.10	51,20	39,82	39,40	27,24	17,30
2	92,89	74,91	67,04	46,04	28,02
5	130,96	107,01	92,32	63,20	37,80
10	156,27	128,26	109,04	74,56	44,29
20	180,36	148,62	125,08	85,46	50,50
50	211,69	175,03	145,88	99,56	58,55
100	235,18	194,79	161,44	110,14	64,58

Con estas estimaciones se demuestra que una de las características más interesantes de las precipitaciones en esta región

semiárida son las lluvias de alta intensidad concentradas en poco tiempo. Por ejemplo, se observa que valores de $28,02 \text{ mmh}^{-1}$, $37,80 \text{ mmh}^{-1}$ y $44,29 \text{ mmh}^{-1}$, para períodos de retorno de 2, 5 y 10 años respectivamente, superan el umbral crítico de intensidad erosiva de 25 mmh^{-1} reportada en la literatura (Hudson, 1971; López, 2000). A partir de estos datos se elaboraron las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para tres períodos de retorno, que se muestran en la figura 7. Esta información fue utilizada para la estimación de algunos valores de caudales máximos.

A partir de los resultados reportados por Delgadillo (2005) y Delgadillo *et al.* (2007), se puede deducir que aquellas láminas superiores a los 45 mm,

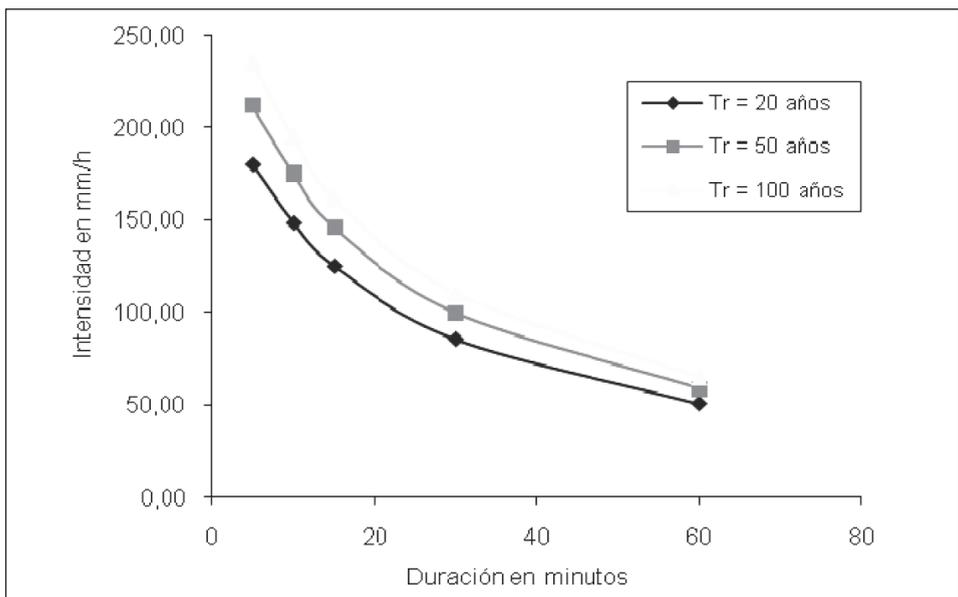


Figura 7. Curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para duraciones de 5, 10, 15, 30 y 60 minutos y períodos de retorno de 20, 50 y 100 años. Estación San Juan de Lagunillas

consideradas por Páez *et al.* (1989) como tormentas de gran erosividad, pudieran presentarse en intervalos de recurrencia superiores a los 10 años, pero inferiores a los 20 años en 60 minutos de duración. En un trabajo sobre flujos de detritos, realizado por Pérez (1994) para las áreas cercanas al río Nuestra Señora y la quebrada La Vizcaína (a 4 y 6 km del área de estudio, respectivamente) e incluso para los torrentes ubicados en la vertiente izquierda del poblado La González, se tiene que a partir de un umbral de intensidad $I = 10,01 D^{-0,742}$ pueden ocurrir tormentas de 63,27 mm/h para una duración de 5 minutos y con períodos de retorno inferiores a los 2 años, pero superiores a los 1,10 años, mientras que en duraciones de 10, 15, y 30 minutos se obtienen intensidades máximas de precipitación de 37,83; 28,00 y 16,74 mm/h, respectivamente. Estos valores, que pudieran repetirse en períodos de recurrencia inferiores a

los 2 años, podrían desarrollar flujos de detritos de mediana a baja magnitud en el área de estudio.

5.3 Particularidades hidrológicas de los principales drenes

Los aspectos hidrológicos del área de estudio fueron separados, para un mejor tratamiento, en: río Chama antes y después de la confluencia del río La González, y, por separado este último curso con la quebrada La Sucia.

Los caudales máximos del río Chama, estimados en la cercanía del poblado La González (sitio del puente Bailey) y que abarca 1.892,6 km² de su cuenca, se muestran en el cuadro 2. Para tener una idea de lo que expresan estas cifras es oportuno señalar que la crecida histórica más importante registrada por el río Chama y medida en Ejido (Estación: 0125), con un área de la cuenca de 1.130 km², resultó ser de: 419,70 m³/s (abril,

Cuadro 2. Caudales máximos del río Chama para diferentes frecuencias y considerando los aportes de sedimentos (antes de la confluencia con el río La González)

Periodos de Retorno (Tr) en años	Caudales Máximos (m ³ /s) (*)	Incremento del 15 % (sólidos) (m ³ /s)	Incremento del 30 % (sólidos) (m ³ /s)	Caudales Máximos (m ³ /s) (**)	Incremento del 15 % (sólidos) (m ³ /s)	Incremento del 30 % (sólidos) (m ³ /s)
5	-	-	-	600,5	690,6	780,7
10	-	-	-	713,28	820,3	927,3
25	952,8	1.095,7	1.238,6	878,10	1.009,8	1.141,5
50	1.065,7	1.225,6	1.385,4	999,55	1.149,5	1.299,4
100	1.179,0	1.355,9	1.532,7	1.108,59	1.274,9	1.441,2
200	1.295,1	1.489,4	1.683,6	-	-	-

(*) Ajuste a una ecuación potencial. (**) Datos tomados de Jáuregui y Mora (2000)

1972); con una frecuencia de ocurrencia ubicada entre los 20 y los 50 años. Con la idea de no subestimar el caudal sólido se agregó un incremento del 15 y 30 %; además se incluyen las estimaciones realizadas por Jáuregui y Mora (2000) en la misma sección.

Es importante señalar que la acción del torrente El Paraíso, sitio del caserío La González, ha represado el río Chama en diversas oportunidades, especialmente el 24 y 25 de abril de 2003 (detalles en el trabajo de Ferrer y Laffaille, 2005). Los flujos de detritos generados a partir de ese torrente podrían originar un embalse de obturación y producir una ola de descarga de avenidas significativas, análogas a aquellas crecidas con períodos de retorno poco frecuentes (para casos históricos: Ferrer, 1999b; Ferrer y Laffaille, 1998; 2005). Las estimaciones de crecidas máximas para el río La González y la quebrada La Sucia se muestran en el cuadro 3.

Estos resultados muestran estimaciones muy cercanas entre sí, a partir de la

aplicación de métodos diferentes. Es muy probable que los caudales máximos para ambos cursos estén en esos órdenes de magnitud.

La tendencia del río Chama, en las secciones ubicadas después de la confluencia del río La González y la quebrada La Sucia, es acumular sedimentos e incrementar la socavación lateral hacia la ribera derecha, impulsado por la acción de los torrentes locales; situación que parece agravarse debido a la intervención humana. Los caudales máximos estimados para 50, 100 y 200 años son: 1.512 m³/s; 1.672,7 m³/s y 1.840 m³/s, respectivamente. En este sector el perfil longitudinal del río Chama es de menor pendiente debido a la influencia del deslizamiento La González y procesos de obturaciones naturales (Tricart y Michele, 1965; Ferrer, 1991; 1993; 1999b; Ferrer *et al.*, 2005). De hecho, es a partir de la cota 740 msnm, aproximadamente en La González, donde el río Chama presenta una pendiente inferior al 2 % (Silva, 1999).

Cuadro 3. Caudales máximos estimados para el río La González y la quebrada La Sucia

Drenaje	Períodos de retorno (Tr) en años	Caudales máximos (m ³ /s) (*)	Incremento del 15 % (sólidos) (m ³ /s)	Caudales máximos (m ³ /s) (**)	Incremento del 15 % (sólidos) (m ³ /s)
Río La González	50	253,3	291,3	277,1	318,7
	100	279,2	321,1	311,7	358,5
	200	310,2	356,7	346,3	398,2
Quebrada La Sucia	50	193,1	222,1	169,9	195,4
	100	214,5	246,7	189,6	218,0
	200	234,7	269,9	204,5	235,2

(*) Método C.O. Clark. (**) Hidrograma unitario triangular

5.4 Dinámica de los torrentes y cárcavas locales

Se trata de una serie de cursos efímeros (Figura 8a), de pequeño recorrido, con fuertes pendientes y tiempos de concentración muy cortos; en síntesis una dinámica muy activa. La observación empírica indica que sus períodos de retorno son probablemente muy cercanos entre un evento y otro; ello constituye una seria amenaza tanto para el poblado de La González como para el Conjunto Residencial Villa Libertad.

5.5 Torrentes situados al sur del poblado La González

El torrente El Paraíso (Figura 8a; Cuadro 4) fue descrito originalmente por Ferrer y Laffaille (2005). Estos autores llamaron la atención por los altos niveles de erosión y capacidad de arrastre. Otro sistema muy activo lo constituye el torrente Tierra Negra, responsable de la destrucción del puente Bailey (Figura 2a) en la tormenta del 14 de septiembre de 1988 (Ferrer y Laffaille, 2005). El torrente señalado con el N° 3 (Figura 8a), es el que

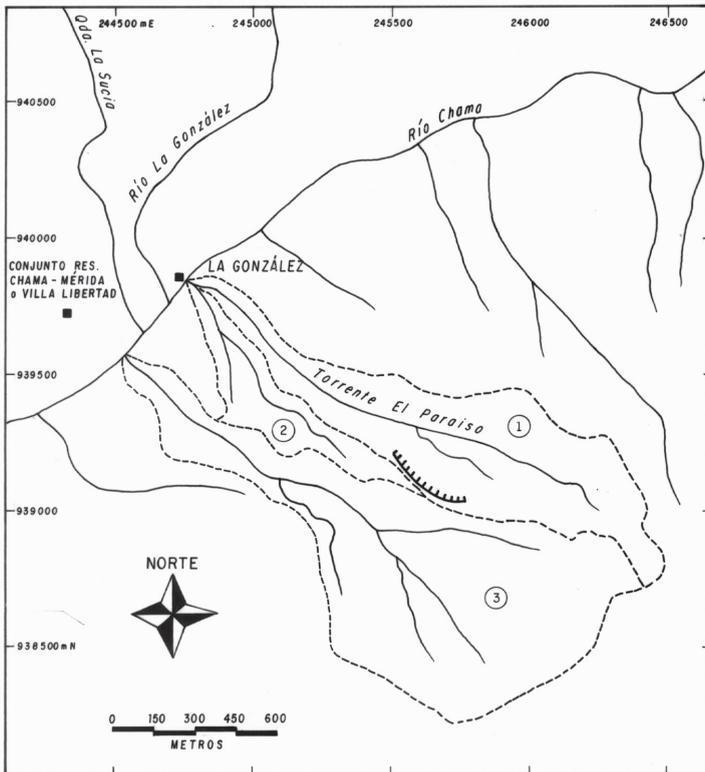


Figura 8a. Localización de torrentes y cárcavas en el área de estudio. Sistemas ubicados al sur del poblado La González.

Cuadro 4. Caudales máximos de los torrentes ubicados al sur del poblado La González

Nombre	Área (ha)	Pendiente promedio del cauce principal (%)	Pendiente media del torrente (%)	Longitud (km)	Desnivel (m)	Periodos de retorno (Tr) (años)	Modelo Evento (m ³ /s)		Fórmula Racional (m ³ /s)	
Torrente El Paraíso (Figura 8a)	54,2	44,5	56(1) 70(2)	2,0	890	20	5,9	8,9 (**)	11,8	17,7 (**)
						50	8,7	13,1 (**)	13,7	20,6 (**)
						100	11,0	16,5 (**)	15,2	22,8 (**)
Torrente Tierra Negra (Figura 8a)	75,0	33,6	56(1) 70(2)	1,0	370	20	0,8	1,0 (*)	3,8	4,9 (*)
						50	1,6	2,1 (*)	4,5	5,9 (*)
						100	2,1	2,7 (*)	5,0	6,5 (*)
Torrente N° 3 (Figura 8a)	83,1	31,4	55,4(1) 58,5(2)	2,2	690	20	4,5	5,9 (*)	16,5	21,5 (*)
						50	8,1	10,5 (*)	19,2	25,0 (*)
						100	11,3	14,7 (*)	21,3	27,7 (*)

Método de Alvord. ArcView 3.2. (*) Aportes de sedimentos equivalente al 30 % del caudal líquido. (**) Aportes de sedimentos equivalente al 50 % del caudal líquido

abarca la mayor extensión (Cuadro 4). Si se analiza la historia reciente de este grupo de torrentes, especialmente a partir del año 1999, se notará que el torrente El Paraíso ha sido el más activo. Dos factores permiten explicar esta conducta: valores de pendiente muy pronunciados (cerca de la sección apical de los abanicos hay una escarpa de aproximadamente 20 m de altura y pendiente de 70 - 80 %) y la presencia del deslizamiento El Paraíso. La acción combinada de estos drenes han obligado al río Chama a adosarse a su ribera derecha, generando fuertes problemas de erosión lateral.

5.6 Torrentes ubicados al noroeste de la Urbanización Villa Libertad

En este sector se localizan los dos torrentes más importantes (Caparú y Cárcava Grande) y una serie de siete cárcavas (Figura 8b), cuyas principales características se sintetizan en el cuadro 5. Para este análisis se utilizaron los resultados estimados por UFORGA-ULA (1999). Se resalta aquí la importancia de los torrentes Caparú y Cárcava Grande, ya que por tratarse de cursos efímeros pueden generar crecidas excepcionales o, más grave aún, flujos de detritos,

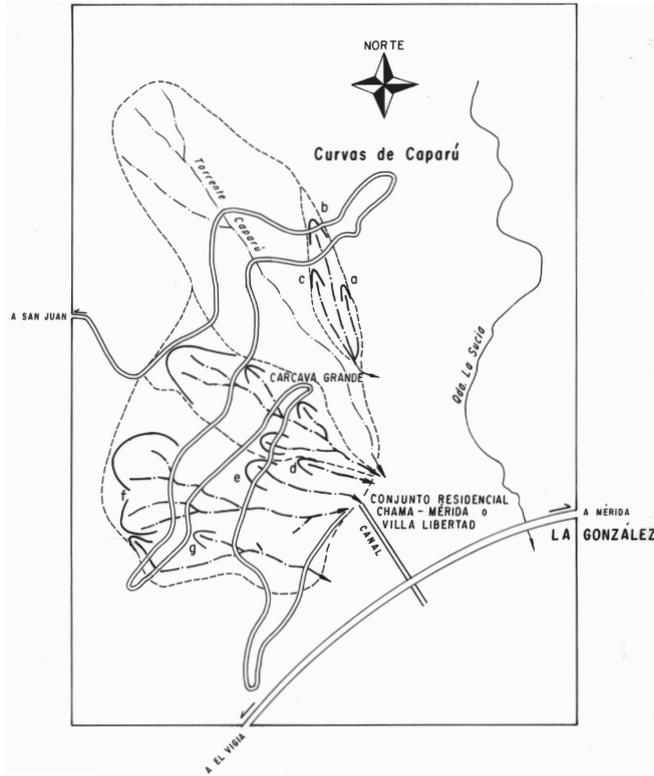


Figura 8b. Localización de torrentes y cárcavas en el área de estudio. Sistemas situados al noroeste de la Urbanización Villa Libertad. Modificado de UFORGA-ULA (1999)

Cuadro 5. Caudales máximos para los torrentes y cárcavas situados al noroeste del Conjunto Residencial Villa Libertad (Chama - Mérida). (Para localización: Figura 8b)

Nombre	Área (ha)	Pendiente promedio del cauce principal (%)	Longitud (m)	Desnivel (m)	Modelo Evento Q_{100} (m ³ /s) (*)	Caudal con aporte de sólidos (m ³ /s) (*)	
Torrente Caparú	10,4	33,3	750	250	5,09	6,62 (1)	
Cárcava Grande	4,8	39,1	350	137	2,34	3,51 (2)	
Grupo de Cárcavas	a	0,70	25,0	100	25	-	-
	b	0,90	85,0	200	170	-	-
	c	0,68	30,0	150	45	-	-
	d	0,47	29,5	95	28	-	-
	e	0,67	46,5	125	58	1,68	-
	f	3,71	37,1	350	130	3,19	-
	g	1,87	27,1	425	115	-	-

(1) Aporte de sedimentos 30 %. (2) Aporte de sedimentos 50 %. (*) Tomado de UFORGA - ULA (1999)

con el agravante de que impactarían directamente algunos edificios del Conjunto Residencial Villa Libertad.

Después de realizar las diferentes estimaciones de caudales máximos y el respectivo reconocimiento geológico y geomorfológico, se procedió a cartografiar las manchas de crecida para diferentes períodos de retorno y las zonas de impacto directo e indirecto debidas a la ocurrencia de flujos de detritos (Figura 9).

6. Discusión y conclusiones

Una de las características climáticas más interesantes del área de estudio, como parte de la región semiárida de Lagunillas de Urao, lo constituye la conducta de las precipitaciones y, como consecuencia, la marcada presencia de un régimen altamente torrencial. De los resultados expuestos anteriormente llama la atención que para períodos de retorno (Tr) de apenas dos años y con tormentas estimadas de $28,02 \text{ mmh}^{-1}$, se supera el umbral crítico de 25 mm en una hora de duración (Hudson, 1971) a partir del cual se pueden producir procesos erosivos, principalmente generación de surcos y profundización de cárcavas, que afectarían al poblado de La González y en especial al proyecto urbanístico Villa Libertad. Asimismo, para períodos superiores a los 10 años, las intensidades máximas en una hora de duración, pueden superar los $44,29 \text{ mmh}^{-1}$ (Cuadro 1). Con fines comparativos, y a partir de datos provenientes de los ambientes húmedos de

Hong Kong, Brasil y Japón, Ferrer y Ayala (1997), reportaron que intensidades de lluvias superiores a 20 mmh^{-1} ; 40 mmh^{-1} y 60 mmh^{-1} (con diferentes lluvias antecedentes) son consideradas límites críticos para dar origen a diferentes tipos de movimientos de ladera.

Es importante resaltar que magnitudes de lluvia ocurridas en 15 minutos para un período de retorno (Tr) de 2 años, así como las precipitaciones de 30 y 60 minutos de duración, con un período de recurrencia de tan solo 1,10 años, superan el valor crítico de $12,7 \text{ mm}$ de lámina para considerar las tormentas como erosivas (Paéz *et al.*, 1989). En síntesis, las profundidades de las lluvias en el área exceden los límites críticos seleccionados en períodos de retorno muy cortos y en duraciones menores e iguales a una hora; factor éste que incrementa la susceptibilidad del área a ser afectada por procesos erosivos y a la generación de movimientos de masa.

Delgadillo (2005), al analizar las series de tiempo en lo referente a precipitaciones máximas anuales, determinó tres picos para los años 1973, 1984 y 1995, en unas seis y doce horas de duración, respectivamente. Estos máximos se repiten en intervalos de 11 años con incrementos menores (iguales a una hora) cada 3 - 5 años, así que, de haberse mantenido el mismo comportamiento, es factible que durante los años 1999, 2000 y 2001, tuviera lugar una mayor lluviosidad en el área (en 1999 y 2001 se reactivó el abanico El Paraíso).

Cabe preguntarse: ¿Cómo estas condiciones climáticas podrían impactar la

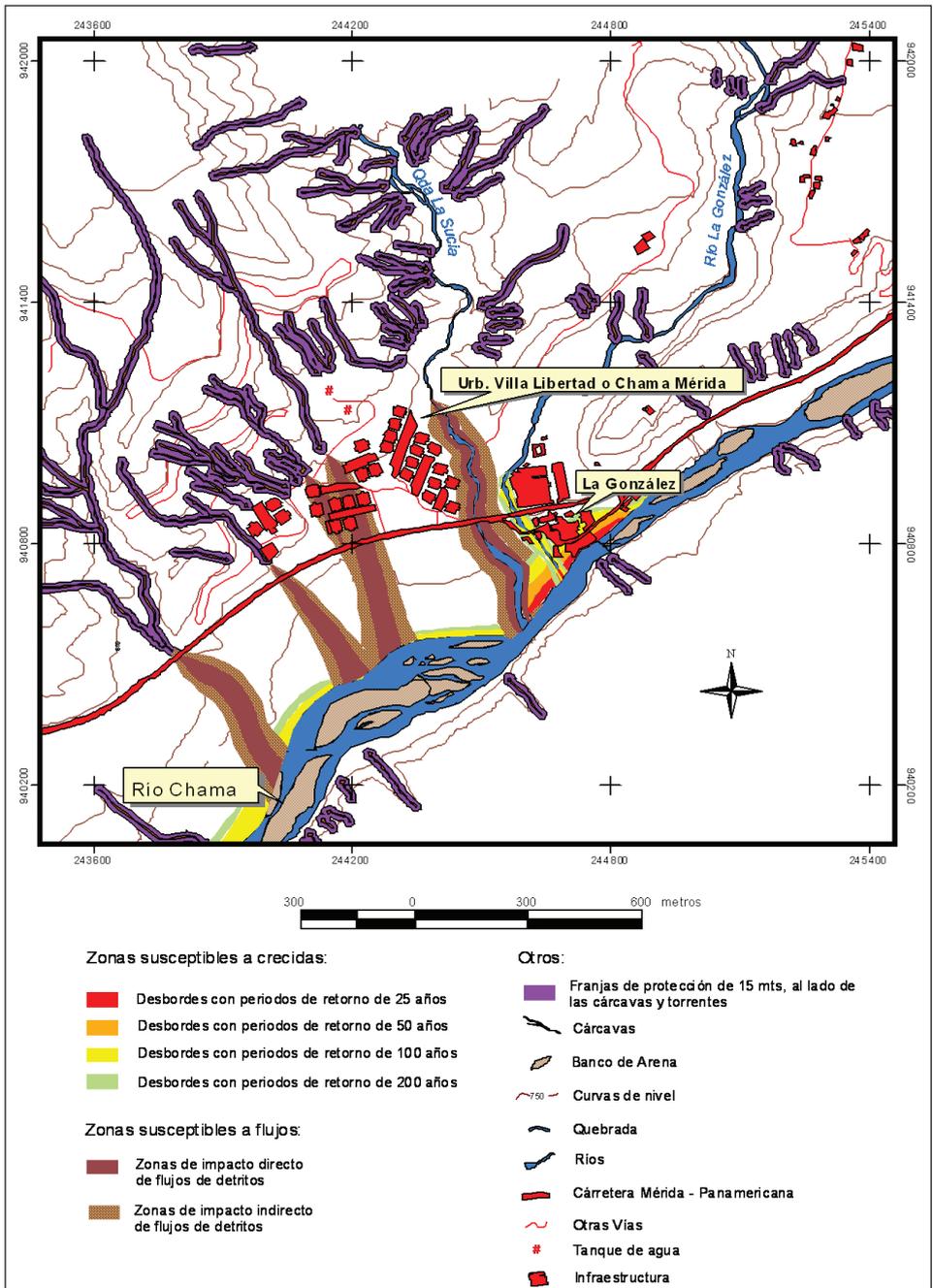


Figura 9. Estimación de aquellas áreas propensas a ser afectadas por crecidas torrenciales y flujos de detritos en La González y en la Urbanización Villa Libertad. (Comparar con la Figura 5; para detalles ver el texto)

conducta de los drenes locales? Con la finalidad de canalizar la discusión y obtener una idea más clara, el área se dividió en: (i) río Chama aguas arriba del poblado La González; (ii) el río La González y la quebrada La Sucia; (iii) importancia de los torrentes y cárcavas menores; y, (iv) río Chama aguas abajo de la quebrada La Sucia.

(i) Río Chama aguas arriba del poblado La González: La dinámica fluvial del río Chama, en el sitio ocupado por el poblado La González, se concentra fundamentalmente en la socavación lateral de su margen derecha, inducida por el torrente El Paraíso. Al representar las estimaciones de caudales máximos en el plano (Figura 9) se observa que, para períodos de retorno de 50 y 100 años, la mancha de crecida se extiende a partir del eje del río, 40 y 65 m, respectivamente. Con la idea de enfatizar la importancia de otras variables, especialmente la geomorfológica, es oportuno recordar que en la tormenta de abril del año 2003, donde el abanico El Paraíso obstruyó parcialmente al río Chama, se generó un caudal equivalente a una crecida con períodos de retorno ubicados entre 25 - 50 años. Afortunadamente el represamiento no alcanzó volúmenes considerables y no se presentaron mayores daños, ya que el exceso de caudal se canalizó a lo largo de la calle principal del poblado que actuó como una especie de aliviadero.

(ii) El río La González y la quebrada La Sucia: Los resultados, en relación a

la conducta hidrológica, obtenidos en ambos cursos parecen diferir notablemente entre sí. Al comparar los niveles máximos de agua para caudales picos con diferentes períodos de retorno (Cuadro 3) y a lo largo de varias secciones en el río La González, se observa que aquellas áreas con 1 % y 0,5 % de posibilidades de sufrir un evento torrencial, con períodos de retorno de 100 y 200 años, pueden, al desbordarse, abarcar una superficie de 20 y 35 m, a ambos lados del cauce (detalles sobre los perfiles transversales pueden ser consultados en Jáuregui, 1997; Jáuregui y Mora, 2000 y Delgadillo, 2005). En la figura 9 se muestran las manchas obtenidas en la desembocadura de este curso.

El caso de la quebrada La Sucia puede ser interesante a manera de ilustración de lo aquí discutido. Jáuregui (1997) calculó una capacidad hidráulica de 480 m³/s, lo que supera unas 2,5 veces la crecida de diseño (estimada para 100 años); señala además, que los eventos torrenciales a lo largo de su cauce han sido inferiores a 100 m³/s; esto último pudiera explicar la supervivencia del puente de mampostería (Figura 6). A partir de estos datos, el autor recomienda una serie de medidas estructurales.

Las condiciones de inestabilidad presentes en la cuenca alta de la quebrada La Sucia fueron señaladas por Ferrer (1996) y Ferrer y Laffaille (2005), sin indicar distribución y magnitud de los sitios inestables, no obstante sus observaciones delatan el alto po-

tencial de generación de movimientos de masa, especialmente flujos de detritos. Hay muchas evidencias sedimentológicas para comprobar que éste ha sido el mecanismo predominante (Tricart y Michele, 1965; Ferrer, 1991); de allí que, en el mapa de la figura 9 y debido a las limitaciones de la data hidrológica, se prefirió separar en áreas de impacto directo e indirecto de flujos de detritos. Entre los factores que limitan la definición precisa de estas zonas, tal y como lo sugieren los trabajos de Thurber Consultants (1983a y 1983b, citados por Kellerhals y Church, 1990), se tiene que no hay estudios detallados de la cuenca superior que permitan definir sectores críticos, con la ubicación y estimación de los volúmenes de aquellos movimientos de masa activos; no se han definido aquellas litologías propensas a generar deslizamientos y flujos (se estima un área superior al 50 % de la superficie total cubiertas por rocas altamente friables); y la falta de registros históricos limita la aplicación de escenarios basados en probabilidades de ocurrencia. Una adecuada zonificación en el abanico acumulado por la quebrada La Sucia debe considerar, además de las amenazas inducidas por flujos de detritos, otros dos procesos importantes: avulsión o cambios violentos en la posición y dirección del cauce principal y desbordes de tipo torrencial; es la única garantía de obtener una zonificación ajustada a las condiciones de sitio.

Así mismo, es importante señalar que la zonificación propuesta en este estudio es sólo indicativa y preliminar, y las estimaciones no se refieren a eventos asociados con potenciales rupturas de presas naturales o artificiales.

- (iii) Torrentes y cárcavas menores: La dinámica reciente observada en la serie de torrentes ubicados al sur del poblado La González (El Paraíso, Tierra Negra y N° 3), (Figura 8a), constituye un claro ejemplo de un proceso de inestabilización acelerada de todas estas laderas. El torrente N° 3 alcanza el mayor potencial de acarreo: caudales de 21,3 y 27,7 m³/s, con 30 y 50 % de aportes sólidos en un período de retorno de 100 años (Cuadro 4); su mayor acción se concentra en la socavación lateral del espigón de protección en la ribera derecha del río Chama (Figura 5). El más activo de estos sistemas es el torrente El Paraíso, cuyas características más resaltantes fueron descritas por Ferrer y Laffaille (2005) y Delgadillo *et al.* (2007); este torrente pudiera ser considerado como un geoindicador para que, mediante monitoreo constante, se pueda confirmar una posible tendencia a que este sector, que constituye una parte importante de la región semiárida de Lagunillas de Urao, sea testigo de un incremento de las precipitaciones. El torrente Caparú y la Cárcava Grande fueron captados y canalizados en una desviación del flujo en dirección al sureste. Todo este conjunto de torrentes, incluidas las cárcavas de menores dimensiones (Cuadro 5), fueron

profundamente intervenidos en la etapa previa de movimiento de tierra. Hay que señalar que las obras de estabilización y corrección de torrentes se diseñaron y construyeron después de finalizado el Conjunto Residencial Villa Libertad. Un evento extraordinario, con período de retorno igual o mayor a 100 años, pudiera superar los caudales de diseño estimados en: 6,62 m³/s (con sólo 30 % de aporte de sedimentos) y 3,51 m³/s (50 % aporte de sedimentos) para el torrente Caparú y la Cárcava Grande, respectivamente (Cuadro 5), (UFORGA-ULA, 1999). En la figura 9 se estimó el área potencial a ser cubierta por impactos directos e indirectos de flujos sin considerar los posibles efectos positivos de las obras de control y mitigación. En función de lo aquí expuesto se puede observar el riesgo que afrontan las edificaciones allí situadas.

- (iv) Río Chama después de la confluencia del río La González y la quebrada La Sucia: Una de las características más resaltantes de esta sección, ubicada aguas abajo del área de estudio, es la tendencia del río Chama a depositar sedimentos. Este hecho está vinculado a una disminución de la pendiente del perfil longitudinal, debido a la influencia del megadeslizamiento La González (Tricart y Michele, 1965; Ferrer, 1991). Reportes de obturaciones del cauce de este curso, especialmente el ocurrido en la década de los treinta, pueden variar entre las estimaciones hidrológicas más sofisticadas (Ferrer *et al.*, 2005).

Para concluir, el área seleccionada para este estudio es una muestra de los problemas que pueden ser encontrados en una región que será sometida a una gran presión urbanística. Dos aprendizajes se desprenden de este trabajo: (1) es estrictamente necesario contar con estudios detallados previo a cualquier desarrollo urbanístico. La experiencia del Conjunto Residencial Villa Libertad o Chama-Mérida constituye un 'buen ejemplo de lo que no se debe hacer'; (2) las herramientas hidrológicas por sí solas presentan muchas limitaciones; existen eventos de crecidas que se escapan de los registros y métodos convencionales. Si se asume a las avenidas como un análisis estadístico de datos hidrológicos se pueden acarrear numerosos daños socioeconómicos y pérdidas de vidas humanas. En este sentido, hacemos nuestras las palabras de Victor Baker "*...en la naturaleza los fenómenos reales, por ejemplo las crecidas, son mucho más diversos y complejos que las simplificaciones que los análisis estadísticos puedan abarcar*" (Baker, 1994: 144).

7. Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los profesores: Eduardo Jáuregui y Eugenio Mora por facilitar copia de los estudios hidrológicos-hidráulicos elaborados en el área de análisis y al Profesor Silvio Rojas por permitir el acceso al estudio geotécnico del subsuelo. Los registros hidroclimáticos utilizados fueron gentilmente cedidos por el Profesor Roberto Duque del CI-

DIAT-ULA. Un especial reconocimiento a los aportes realizados por los evaluadores anónimos, cuyas observaciones contribuyeron a mejorar los alcances de este trabajo. Algunas fotografías fueron suministradas por el Geóg. Nerio Ramírez de INPRADEN y Leonardo Colmenares. También expresamos nuestro agradecimiento al Geóg. Luis Dugarte, por elaborar varias de las figuras que acompañan este trabajo; a la Lic. Aracely Ramírez y la Geóg. Caribay Márquez por las correcciones y comentarios al trabajo.

8. Referencias citadas

- APARICIO, F. 2001. **Fundamentos de hidrología de superficie**. Limusa-Noriega Editores. México. 303 p.
- ATAROFF, M. y L. SARMIENTO. 2004. Las unidades ecológicas de los Andes de Venezuela. En: La Marca, E. y P. J. Soriano (eds.). **Rep- tiles de los Andes de Venezuela**. 11-96. Fundación Polar, Conservación Internacional, CODEPRE-ULA, Fundacite Mérida, BIOGEOS. Mérida-Venezuela. 173 p.
- BAKER, V. 1994. *Geomorphological understanding of floods*. **Geomorphology** 10(1): 139-156.
- CABELLO, O. 1966. *Estudio geomorfológico del área de Mérida y sus alrededores*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 140 p.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D. y L. MAYS. 1994. **Hidrología aplicada**. Mc-Graw Hill. Santa Fe de Bogotá. 584 p.
- CLUFF, L. & W. HANSEN. 1969. *Seismicity and seismic geology of northwestern Venezuela*. Woodward-Clyde and Associates. Caracas-Venezuela. Informe Técnico presentado a la Compañía Shell de Venezuela, 77 p. (Inédito).
- DELGADILLO, A. 2005. *Una visión de los procesos geodinámicos en el área de La González - Urbanización Chama - Mérida (municipio Sucre del estado Mérida): Definición de niveles de susceptibilidad a movimientos de masa y otras limitantes*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 143 p. (Inédito).
- DELGADILLO, A.; FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 2004. Caserío La González-Urbanización Villa Libertad: Un estudio de amenazas múltiples y vulnerabilidad en la cuenca media del río Chama (Andes venezolanos). *Memorias del Quinto Congreso Venezolano de Geografía*. 1-14. Mérida-Venezuela. (29 de noviembre al 3 de diciembre). (CD-ROM; Trabajo N° 17: Tema III Geomorfología. Amenazas Naturales y Riesgos Ambientales).
- DELGADILLO, A.; FERRER, C. y M. DUGARTE. 2007. Sector La González-Urbanización Chama: Un ensayo para La definición de algunas limitantes físicas en los Andes centrales venezolanos. *Memorias del IX Encuentro de Geógrafos de la América Latina*. 1-20. Bogotá-Colombia (26 al 30 de marzo). (CD-ROM; Mesa 3. Los Retos Ambientales Hemisféricos, el Desarrollo Económico y la Sostenibilidad Ambiental).
- DUQUE, R. 2006. *Programa AjusteV3*. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- DUQUE, R. y A. BARRIOS. 1988. *Modelo EVENTO*. Centro Interamericano de Investigación

- Ambiental y Territorial (CIDIAT). Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- FERRER, C. 1991. *Posibles relaciones entre movimientos de masa y fallamiento activo en un segmento de la falla de Boconó*. **Revista Geográfica Venezolana**. 32 (1):49-88.
- FERRER, C. 1993. *Cerro Chorote: Ejemplo de un bloque deslizado en una falla activa de los Andes venezolanos*. IV Encuentro de Geógrafos de América Latina, Tomo 1: 441-453. Mérida-Venezuela (27 de marzo al 4 de abril).
- FERRER, C. 1995. *Condiciones geomorfológicas y neotectónicas de un segmento de la falla de Boconó ubicado entre la ciudad de Mérida-Lagunillas de Urao y La Palmita, estado Mérida*. Guía de Excursión. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 35 p.
- FERRER, C. 1996. *Evolución geológica de un segmento de la falla de Boconó durante el Neógeno: Implicaciones tectónicas y sedimentológicas del sector Tabay-Estanques (estado Mérida)*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mapa Geológico. Escala 1:25.000. (Inédito). Mérida-Venezuela.
- FERRER, C. 1999a. La región de los Andes y su espacio geográfico. *Memoria de las Jornadas Geográficas*. 393-408. Caracas-Venezuela.
- FERRER, C. 1999b. *Represamientos y rupturas de embalses naturales (lagunas de obturación) como efectos cosísmicos: Algunos ejemplos en los Andes venezolanos*. **Revista Geográfica Venezolana**. 40 (1): 109-121.
- FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 1998. *El alud sísmico de La Playa: Causas y efectos*. *El Terremoto de Bailadores (1610)*. **Revista Geográfica Venezolana**. 39 (1 y 2): 23-86.
- FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 1999. *Urbanización Chama - Mérida: Entre mitos y realidades. Una evaluación de las condiciones sísmicas y geomorfológicas de un Proyecto Urbanístico*. *Memorias del VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*. 32-46. Mérida-Venezuela. (12-15 mayo).
- FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 2005. *Un estudio de amenazas múltiples en la cuenca media del río Chama (Andes centrales venezolanos)*. **Revista Geográfica Venezolana**. Número Especial: 93-117.
- FERRER, C.; LAFFAILLE, J. y J. C. RINCON. 2005. *Evidencias de la formación y ruptura de una presa natural en la cuenca media del río Chama (Andes centrales venezolanos): Limitaciones de los catálogos históricos*. **Revista Geográfica Venezolana**. Número Especial: 62-92.
- FERRER, M. y F. AYALA. 1997. *Relaciones entre desencadenamiento de movimientos y condiciones meteorológicas para algunos deslizamientos de España*. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Vol. I: 185-198. Granada-España.
- GRASES, J. 1980. *Investigaciones sobre sismos destructores que han afectado el centro y occidente de Venezuela*. Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo. 2 Tomos. Caracas-Venezuela. (Inédito).
- GRASES, J.; ALTEZ, R. y M. LUGO. 1999. *Catálogo de sismos sentidos, y destructores, Venezuela 1530-1998*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Caracas-Venezuela, 389 p.

- GUEVARA, E. y H. CARTAYA. 1991. **Hidrología: Una introducción a la ciencia hidrológica aplicada**. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela. 358 p.
- HUDSON, N. 1971. **Soil conservation**. Billing & Sons Ltd, Guildford, London and Worcester for the publishers. B T Batsford Limited. London. 320 p.
- JÁUREGUI, E. 1997. *Río Chama y quebrada La Sucia. Estudio hidrológico e hidráulico y obras de protección*. Instituto de la Vivienda y Acción Social (IVASOL). Mérida-Venezuela. 32 p. + Anexos. (Inédito).
- JÁUREGUI, E. y E. MORA. 2000. *Estudio hidrológico e hidráulico del río Chama en el sector La González*. Mérida-Venezuela. 77 p. + Anexos. (Inédito).
- KELLERHALS, R. & M. CHURCH. 1990. Hazard management fans, with examples from British Columbia. En: Rachoeki, A. y Church, M. (eds.). **Alluvial Fans: A Field Approach**. 335-354. John & Wiley Sons ltd., Chichester.
- LÓPEZ, R. 2000. **Degradación del suelo. Causas, procesos, evaluación e investigación**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental Territorial (CIDIAT). Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 259 p.
- MÁRQUEZ, C. y A. SAMPSON. 2004. *Prioridades geográficas de conservación en la ecorregión Bosques Montanos de los Andes venezolanos*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 285 p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 1981. *Mapa geológico de la región de Mérida, estado Mérida*. Dirección de Geología. Mérida-Venezuela. Escala 1:50.000. (Inédito).
- PÁEZ, M.; RODRÍGUEZ, O. y J. LIZANO. 1989. Potencial erosivo de la precipitación en tierras agrícolas de Venezuela y su influencia en la conservación del suelo. En: Páez, M. (eds.). **La erosión hídrica. Diagnóstico y control**. 45-58. Alcance 37 de la Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela.
- PÉREZ, R. 1994. *Relaciones entre procesos geomorfológicos y precipitaciones máximas extremas en vertientes semiáridas de la cuenca media del río Chama. Estado Mérida*. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado. 200 p. (Inédito).
- RENGIFO, M. y J. LAFFAILLE, 2000. *Re-evaluación del sismo del 28 de abril de 1894. Acta Científica Venezolana*. 51: 200-215.
- ROJAS, S. 1997. *Estudio geotécnico del subsuelo para investigar las condiciones de cimentación y la estabilidad de taludes, para el caso de las obras civiles de movimiento de tierra y edificaciones pertenecientes al desarrollo habitacional Chama-Mérida*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Unidad de Asesoría, Proyectos e Innovación Tecnológica (UAPIT). Mérida-Venezuela. Proyecto 53 p. + Anexos. (Inédito).
- SCHUBERT, C. 1980. Morfología neotectónica de una falla rumbo-deslizante e informe preliminar sobre la falla de Boconó, Andes merideños. **Acta Científica Venezolana**. 31: 98-111.
- SCHUBERT, C. 1982. *Cuencas de tracción en los Andes merideños y en las montañas del caribe*. **Acta Científica Venezolana**. 33: 389-395.

- SCHUBERT, C. 1984. *Basing formation along the Boconó - Morón - El Pilar fault system, Venezuela*. **Journal of Geophysical Research**. 89: 5711-5718.
- SCHUBERT, C. 1985. Cuencas cenozoicas tardías de Venezuela. *Memorias del VI Congreso Geológico Venezolano*. 2663-2679. Caracas-Venezuela. (29 de septiembre - 6 de octubre).
- SCHUBERT, C. y L. VIVAS. 1993. **El Cuaternario de la cordillera de Mérida. Andes Venezolanos**. Universidad de Los Andes-Fundación Polar. Mérida-Venezuela. 345 p.
- SILVA, G. 1999. *Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela*. **Revista Geográfica Venezolana**. 40(1): 9-42.
- STRAHLER, A. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En: Chow, V (ed.). **Handbook of Applied Hydrology**. Mc Graw-Hill. New York-USA. Mc Graw-Hill
- THURBER CONSULTANTS, 1983a. *Floodplain management on alluvial fans*. Report to British Columbia Ministry of Environment, Water Management Branch. 33 p. (Inédito).
- THURBER CONSULTANTS, 1983b. *Debris torrent and flooding hazards, highway 99, Howe Sound*. Report to British Columbia, Ministry of Transportation and Highways. 25 p. (Inédito).
- TRICART, J. y M. MICHEL. 1965. *Monographie et carte géomorphologique de la région de Lagunillas (Andes vénézuéliennes)*. **Revue de Géomorphologie Dynamique**. XV (1-2-3): 1-33.
- UFORGA-ULA. 1999. *Proyecto: Obras de control de torrentes y estabilización de cárcavas y taludes en el área del conjunto residencial Chama-Mérida, municipio Sucre*. Instituto de la Vivienda y Acción Social (IVASOL). 100 p. + Anexos. (Inédito).