

Un estudio de amenazas múltiples en la cuenca media del río Chama (Andes centrales venezolanos): caso zanjón El Paraíso

A study about multiple hazards in the basin of the Chama River (Venezuelan central Andes): the case of El Paraiso torrent

Carlos Ferrer* y Jaime Laffaille**

Recibido: enero, 2005 / Aceptado: marzo, 2005

Resumen

La región ubicada entre Mérida – Ejido y Estanques, de clima semi-árido y tectónicamente activa, constituye un magnífico laboratorio para el estudio de una zona sometida a una acelerada expansión urbana. En un pequeño sector de aproximadamente 4 km², márgenes del río Chama, ocupado por el caserío La González el Conjunto Residencial/Urbanización Chama-Mérida, se analizan dos escenarios a partir de la actividad desarrollada por un pequeño torrente: (i) posible reactivación a partir del año 1999 de un muy agresivo flujo de detritos cuyo abanico represó parcialmente (2005) el río Chama; este sistema parece configurar un interesante geoindicador de una tendencia (?) a un significativo incremento de las precipitaciones en esta región. (ii) Amenaza real que el deslizamiento El Paraíso (250.000 – 385.000 m³) pueda convertirse en un alud sísmico, cuyas consecuencias serían desastrosas. Se llama la atención del alto potencial que tiene este torrente de obturar el río Chama. Se señalan las peculiaridades relacionadas con la presencia de dos cuencas de drenajes adyacentes, río La González y quebrada La Sucia, con rocas altamente disímiles que han generado amplios abanicos aluviales. Se adelantan algunos resultados preliminares asociados con ‘crecidas’ del río Chama y la acción de algunos torrentes locales.

Palabras clave: amenazas geomórficas; estabilidad del relieve; flujo de detritos; abanicos de detritos; represamiento.

Abstract

The region located between Mérida-Ejido and Estánques, a tectonically active area with a semi-arid climate, is an ideal laboratory for the study of a subject field which has undergone a steadfast urban expansion. In a small sector of approximately 4 km², on the border of the Chama River, the site of La González village and the housing community of Villa Libertad, two scenarios can be analyzed from the activity developed by a small torrent: (i) a pos-

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela, e-mail: carlosferrerve@yahoo.com

** Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Fundación para la Prevención del Riesgo Sísmico (FUNDAPRIS) Mérida-Venezuela, e-mail: jaime@ula.ve

sible reactivation from the year 1999 of a very aggressive debris flow which fan partially dammed up the Chama river in 2004; the system seems to be an appealing geoinicator of a significant propensity for rainfall in the region; ii) an actual hazard that El Paraiso sliding (250,000 – 385,000m³) may become a seismic avalanche with disastrous consequences. One aspect to be considered with interest is the torrent's increasing potential of obturating the Chama River. Another peculiar aspect to point at is the presence of two adjacent drainage basins, La González river and La Sucia stream, with highly dissimilar rocks which have generated large alluvial fans. Some preliminary results related to the "flooding" of the Chama River and the action of some local torrents have been brought ahead.

Key words: geomorphic hazard; landform stability; debris flow; debris fan; landslide damming; Venezuelan Andes.

Introducción

Toda el área comprendida entre Ejido y Estanques, conocida como la región semi-árida de Lagunilla de Urao, ha venido despertando un especial interés desde la década de los sesenta. No es por mera casualidad que en las primeras etapas de la fundación del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales (Universidad de Los Andes, 1963; 1971), se acometió, con un sentido integral, uno de los estudios más completos que sobre región alguna se ha realizado hasta los momentos en los Andes venezolanos. En esa misma área Tricart y Michele (1965) elaboraron un magnífico trabajo sobre las condiciones geomorfológicas, ilustrado con un mapa en colores.

Toda la región, así definida, posee un doble atractivo: constituye el área de expansión del centro urbano Mérida-Ejido, lo que hace obligatorio definir sus potencialidades y limitaciones; además aquí convergen, desde el punto de vista científico, una variedad de fenómenos que hacen de este lugar un 'verdadero laboratorio natural'. Las condiciones de marcada semi-aridez determinan una

maximización de los procesos geomórficos; ello facilita el análisis de la dinámica y la definición de sus mecanismos. La región permite definir los cambios ocurridos a lo largo del Cuaternario, ya que presenta una sucesión de depósitos prácticamente únicos en los Andes venezolanos. Por tratarse de un sector esencialmente crítico a los movimientos sísmicos, constituye un escenario para los análisis tanto morfotectónicos como estructurales. El objetivo fundamental de este estudio es una evaluación de un pequeño sector, en la cuenca media del río Chama, situado a unos 10 km, en dirección sur-oeste de los centros poblados de Mérida-Ejido. El área así seleccionada es el asiento del pequeño caserío La González y de un proyecto de desarrollo urbanístico, de mediana densidad, denominado urbanización Conjunto Residencial/Urbanización Chama-Mérida, también conocido como Villa Libertad (Figura 1).

En el transcurso del año 1999, un pequeño abanico de detritos se depositó en la margen izquierda del río Chama, frente a La González y a muy poca distancia de la urbanización Chama-Mérida; los

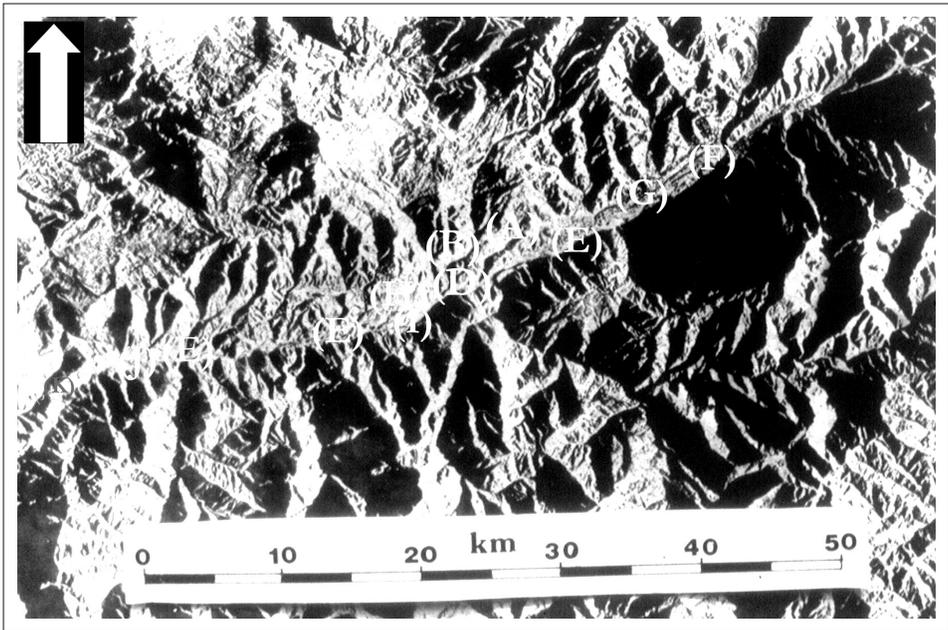


Figura 1. Localización del área de estudio: (a) río La González. (b) Quebrada La Sucia. (c) Poblado La González. (d) Urbanización Chama-Mérida. (e) Río Chama. (f) Ciudad de Mérida. (g) Ejido. (h) El Estanquillo. (i) Deslizamiento La González. (j) Estanques. (k) Río Mocotíes. Localidades referenciadas en el texto. (Figura Base: Petróleos de Venezuela. Levantamiento de Radar: semicontrolado. Hoja N° NC 19-13. Imagen cortesía de C. Schubert - 1992)

materiales provenían de un pequeño torrente conocido en la localidad con el nombre de *zanjón El Paraíso*. A diferencia de oportunidades anteriores, la fuerza del río no pudo arrastrar los sedimentos y el abanico se mantuvo en el lugar. Durante ese año, y los subsiguientes, este depósito continuó su desarrollo en forma de crecimientos sucesivos y superposición de capas individuales que representaban eventos particulares; estos materiales obstruyeron parcialmente (30-40% lo de sección de cauce) el río Chama y generaron su desplazamiento hacia la ribera derecha amenazando, de

esta forma, al poblado con la consecuente situación de alarma e inquietud por parte de sus habitantes. En el transcurso de los años 2000-2001 la cantidad de material depositado en el abanico obligó al río a adosarse hacia el sitio ocupado por el caserío y socavó la parte posterior del terreno de la escuela.

En el mes de abril del año 2003 la situación se tornó crítica: la acumulación de sedimentos adicionales provenientes de la microcuenca El Paraíso, represó parcialmente el río Chama y desvió una parte significativa del caudal hacia el caserío La González, inundado una de

sus calles y causando pánico entre sus habitantes. A partir de este momento se percibió el verdadero nivel de amenaza que implicaba la actividad de este torrente. Durante varios días permaneció en el lugar una pequeña laguna de obturación, lo que obligó a recurrir a la ayuda de maquinaria pesada para despejar el cauce del río Chama.

Ante la diversidad de comentarios, muchas veces contradictorios, acerca del posible origen de este fenómeno y la necesidad de evaluar sus implicaciones se tomó la decisión de realizar una investigación de carácter geológico, geomorfológico e hidrológico que conllevarse a contrastar varios escenarios sobre los niveles de 'riesgo' asociado con el entorno geográfico del zanjón El Paraíso. Adicionalmente, por creerlo pertinente, se amplió para incluir un examen del posible significado de los grandes cuerpos de sedimentos aportados por los sistemas fluviales del río La González y la quebrada La Sucia. Finalmente, se incluye un avance sobre la dinámica del río Chama en el sitio La González y la conducta de la red de torrentes.

Este trabajo, el cual puede ser considerado una continuación del análisis presentado por Laffaille *et al.* (2004), se orienta a tratar de responder una pregunta tan crucial como: ¿Qué condiciones particulares presenta esta área que amerite una evaluación detallada de las condiciones de sitio? Variadas son las razones: (i) presencia de un muy activo deslizamiento en el torrente El Paraíso; denominado deslizamiento El Paraíso (Delgadillo *et al.*, 2004; Laffaille *et al.*,

2004). Movimiento de masa que constituye una real amenaza tanto para el poblado como para el desarrollo urbanístico. (ii) En este sector se da la muy interesante circunstancia de contar con dos cuencas de drenaje adyacentes, río La González y quebrada La Sucia, con unidades rocosas disímiles que originan abanicos aluviales de diferentes conjuntos de facies que a su vez reflejan procesos sedimentarios contrastantes. (iii) El comportamiento hidrológico y el nivel de amenaza del sitio analizado, vinculados con las posibilidades y probabilidades de desborde del río Chama y sus dos afluentes, constituye un aspecto que es necesario tomar en cuenta.

Debido a la importancia que posee todo este sector, el cual incluye la sección comprendida entre el deslizamiento La González y Puente Real (Ferrer *et al.*, 2005; este Número), así como los graves problemas que confrontan las instalaciones de la Penitenciaría del estado Mérida (situada a 2 km al NO), diversos proyectos, orientados a profundizar algunos aspectos tratados en este estudio, se están actualmente llevando a cabo.

Localización y breve descripción de las condiciones físicas

El área de estudio se encuentra localizada en el municipio Sucre del estado Mérida, además de ser asiento del poblado La González y la urbanización Chama-Mérida, incluye un segmento de la vital carretera Mérida-Panamericana (El Vigía), (Figura 1).

El sector se ubica en un valle intramontano donde coinciden tres cursos de drenaje: el más importante, el río Chama; le sigue el río La González, cuyas cabeceras se ubican al noreste y tiene su origen a más de 4.000 msnm en el páramo Los Conejos; la de menor tamaño, quebrada La Sucia, cuya cuenca se localiza al noroeste y nace en el páramo El Tambor. Este curso debe su nombre a la alta cantidad de sedimentos que transporta en suspensión. Topográficamente el área coincide con uno de los extremos de la cuenca de tracción La González; estructura esta descrita originalmente por Schubert (1980a; b; 1982a; b; 1984). El valle así definido alcanza aquí un ancho de 2,5 km y se encuentra limitado por las dos fallas maestras que configuran el corredor formado por la zona de fallas de Boconó. Las vertientes son asimétricas; aquellas situadas al sur poseen alturas que varían de 700 a 1900 msnm y se caracterizan por el corto recorrido de sus torrentes. En contraste, aquellas vertientes situadas al norte, presentan marcadas diferencias, tanto por su extensión, como por el pronunciado gradiente topográfico. Secuencias complejas de grandes abanicos aluviales han tenido sus respectivas fuentes de suministro en estas amplias cuencas (Figura 2).

La vegetación, típicamente semi-xerofítica, es consecuencia del control climático ejercido por la orientación y disposición de los macizos montañosos. El profundo 'cañón' que se dispone a partir del sector de Estanques, al otro extremo de la cuenca de tracción y en dirección oeste, canaliza los vientos pro-

venientes del sur del lago de Maracaibo y mediante un mecanismo, asociado con el efecto 'Fhöhn' descarga gran parte de su contenido de humedad y asciende a lo largo del fondo del valle como un *viento seco*. Ello determina que las precipitaciones alcancen promedios anuales de 509,8 mm (para el período 1971-1996) y temperaturas de aproximadamente 22,5°C (media anual) (datos tomados en la estación San Juan de Lagunillas - serial 3170). Es muy importante resaltar el carácter altamente torrencial de las lluvias en toda esta región, donde el 71,5% del total de precipitaciones en el año se concentran en los meses de abril-junio, y, septiembre-noviembre. La evaporación refleja un valor medio (anual) de 2008 mm, alcanzando un máximo en los meses de julio-agosto) (UFORGA, 1999; Delgadillo *et al.*, 2004).

Numerosas evidencias geomórficas indican que el área ha sido afectada por grandes rupturas superficiales originadas por terremotos. La mayor concentración de epicentros, medidos instrumentalmente, se ha venido presentando hacia el oeste, al norte del cerro San Felipe y cuenca del río Onía; región esta donde se estima la localización del epicentro (macrosísmico) del Gran Terremoto de Los Andes (1894) (Rengifo y Laffaille, 2000). La actividad sísmica de todo este sector de Lagunillas de Urao constituye un factor de serias preocupaciones.

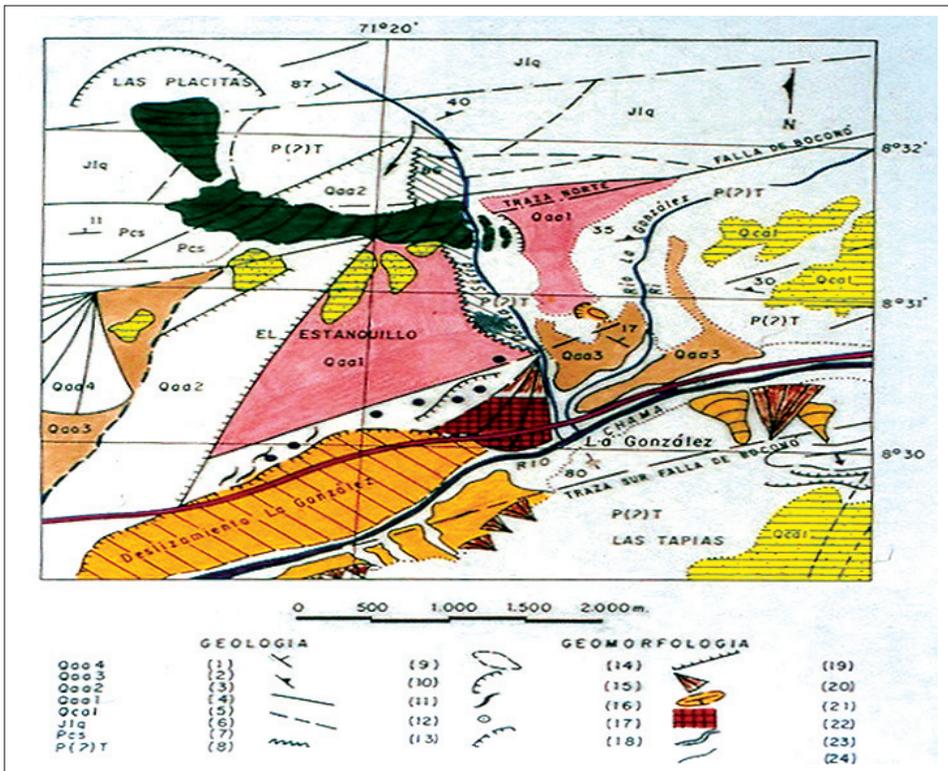


Figura 2. Plano geológico y geomorfológico del sector La González. Leyenda: (1) Cuaternario abanico aluvial Nivel 4. (2) Cuaternario abanico aluvial Nivel 3. (3) Cuaternario abanico aluvial Nivel 2. (4) Cuaternario abanico aluvial Nivel 1. (5) Cuaternario Complejo Aluvial Lagunillas (término informal). (6) Jurásico, Formación La Quinta. (7) Paleozoico superior, Formación Sabaneta. (8) Paleozoico superior, Asociación Tostós. (9) Rumbo y buzamiento de la estratificación. (10) Rumbo y buzamiento de la foliación. (11) Falla (traza) observada. (12) Falla inferida. (13) Discordancia. (14) Masa deslizada. (15) Corona. (16) Grieta de corte. (17) Tubificación (depresión). (18) Cárcava. (19) Escarpa de falla. (20) Abanicos de detritos. (21) Deslizamiento rotacional. (22) Centros poblados y vialidad. (23) Ríos. (24) Quebradas. (Modificado de: Ferrer, 1995)

Antecedentes: algunos elementos históricos y sociales

Una exhaustiva revisión en fuentes hemerográficas, así como entrevistas a pobladores, tanto del caserío La González como de los pocos y dispersos habitantes

del zanjón El Paraíso, descartó la posible intervención antrópica en la reactivación del abanico, tal y como había sido sugerido inicialmente por Laffaille *et al.* (2004). En el mismo sentido el análisis de fotografías aéreas correspondiente a diversos períodos de tiempo, incluso la

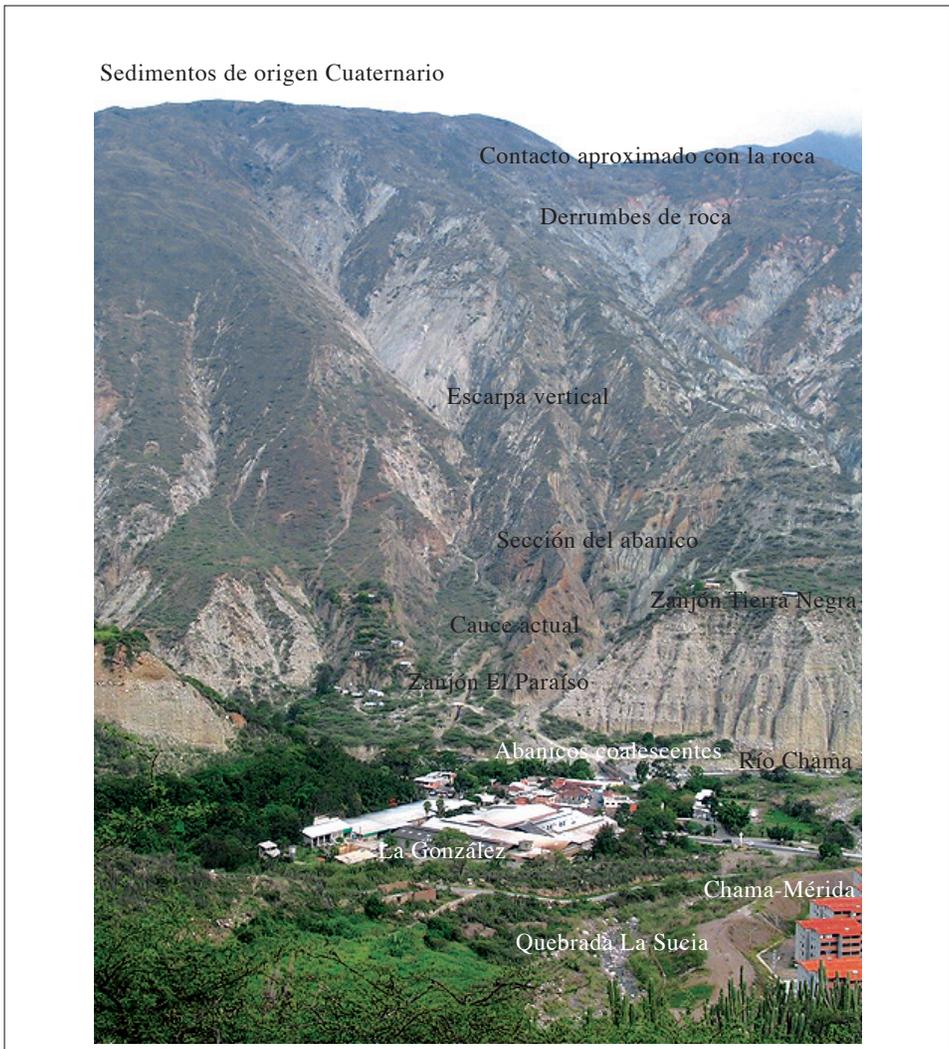


Figura 3. Vista panorámica del sistema correspondiente al zanjón El Paraiso. El sector semiplano, tope superior de la fotografía, se extiende, en espesores altamente irregulares, sedimentos granulares de grava y arena, ocasionalmente cantos, correspondiente al Complejo Aluvial de Lagunillas (Qcal) (término informal). En estos materiales se concentra una dinámica muy agresiva de lavado de finos: procesos estos relacionados con tubificación y carcavamiento. Le infrayace los esquistos y cuarcitas de la Asociación Tostós (Paleozoico superior) dispuestos al N15-20°E y buzando en ángulos de 45-50° al SE; favorables al corte. El zanjón El Paraiso es un curso de segundo orden con un volumen apreciable de materiales en tránsito. Se destaca el deslizamiento planar de El Paraiso con sus múltiples coronas (para detalles la Figura 4). En la sección inferior de este deslizamiento hasta la zona apical del abanico, se dispone una pronunciada escarpa, cuya altura varía de 15 a 20 m. Los abanicos coalescentes correspondientes al zanjón El Paraiso y el zanjón Tierra Negra, constituyen elementos muy activos. (Dirección de la fotografía: S45°E)



Figura 4. Vista parcial de la sección media y superior del zanjón El Paraíso. Las rocas predominantes, esquistos finamente foliados, buzan en ángulo alto (45 -50°) en dirección al torrente y generan importantes volúmenes de materiales que se depositan en el fondo de los cauces. Abundan derrumbes de roca en la sección superior, pero destaca en forma especial el deslizamiento El Paraíso (primer plano). Este movimiento de masa, muy activo, de edad no precisada, presenta una serie de coronas escalonadas y con un volumen estimado de 250.000 - 385.000m³. (Foto tomada desde un helicóptero por Jaime Laffaille)

Misión A34, del año 1952 (la más antigua), no permiten definir con precisión el origen exacto de los factores que dieron inicio a los procesos de desestabilización de esta microcuenca (Figuras 3 y 4).

Especial importancia adquiere el análisis de la tormenta ocurrida el 12 y 13 de septiembre de 1988; este evento destruyó o generó serios daños, en viviendas y vialidad, produjo la reactivación de los flujos de detritos de La Vega de La González (Pérez, 1994), y colapsó el puente Bailey que comunicaba con los pueblos del sur del estado. Los daños en esta estructura fueron

reportados de la siguiente forma: “El lunes (12 de septiembre) mientras llovía fuertemente en el sitio una parte del cerro se desplomó y cayó justamente sobre la plataforma del puente, de estructura de hierro, conocido comúnmente como ‘puente de guerra’ (Diario El Vigilante; 14 septiembre de 1988: pag. 23). Esta información, algo imprecisa, se complementa con lo afirmado por testigos presenciales en el sentido que el zanjón El Paraíso jugó un papel menor en el colapso de esta estructura (Jorge Riera, comunicación personal; 2004), (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Vista aérea del caserío La González en 1980; los llamados ‘zanjones’: El Paraíso (izquierda) y Cerro Negro (derecha) no habían reactivado sus respectivos abanicos, lo que se observa en la fotografía son más antiguos. El cauce del río Chama se alejaba del poblado y se adosaba a su ribera izquierda, separada por un amplio banco lateral. El puente tipo Bailey desapareció con el evento de 1988 (Figura 6) (Fotografía tomada desde un helicóptero por C. Ferrer)



Figura 6. Efectos de la tormenta del 12 de septiembre de 1988 sobre el puente Bailey. Esta estructura sufrió severos daños e incomunicó durante varios días el acceso a los Pueblos del Sur. (Tomado del diario: El Vigilante; 14 de septiembre de 1988; pag. 23)

La reactivación del zanjón El Paraíso parece haberse iniciado en el año 1999; varios factores intervinieron para desestabilizar la ladera dando origen al deslizamiento El Paraíso. Contribución especial ha tenido el proceso de tubificación que afecta los sedimentos ubicados en el tope del macizo, así como la serie de derrumbes de roca que aportan sedimentos a los cauces en las cabeceras del torrente (Figuras 3 y 4). Situación esta que llevó a Laffaille *et al.* (2004) a sugerir ¿cambios climáticos?, o, ¿efectos de la intervención antrópica? Descarta-

do el segundo argumento, con base en los resultados de entrevistas y análisis de fotografías aéreas, queda la primera premisa. El tiempo de registros de precipitaciones es muy corto (1971-1996), ello impide ahondar sobre el tema del cambio climático, no obstante la evolución de algunos procesos geomorfológicos observados en estos últimos años parecen indicar un incremento apreciable de los totales de precipitación (Ferrer *et al.*, 2005; este Número).

El monitoreo constante del zanjón El Paraíso, la evolución del deslizamiento

y las facies del desarrollo del abanico de detritos, pueden constituir magníficos 'geoindicadores' que permitan vigilar la conducta de esta pequeña microcuenca y recabar información que facilite ampliar los márgenes de seguridad del sitio.

Características geológicas y geomorfológicas del área ocupada por La González-Urbanización Chama-Mérida

La cuenca de tracción La González corresponde con un importante cambio de rumbo de la falla de Boconó y le permitió a Schubert (1980a; b) establecer, como criterio, la presencia de una curvatura de alivio. Como había sido expresado con anterioridad, el área de estudio se encuentra definida por las fallas maestras norte y sur, que marcan los límites de esta depresión estructural. Tal y como puede ser apreciado en el mapa de la figura 2, la falla de Boconó define la geometría y extensión de los sistemas depositacionales en todo este sector.

Rocas de la Asociación Tostós (Paleozoico superior) afloran al sur, sector Las Tapias, y se extienden al norte al tapizar todo el fondo del valle. Predominan aquí los esquistos cloríticos, finamente foliados, y en menor proporción las cuarcitas. La disposición general de estas rocas: rumbo general N 15-20°E, y, fuertes buzamientos (45-50°) al SE, controlan, como se verá más adelante, el desplazamiento del deslizamiento El Paraíso (Figura 3). La falla de Boconó define una nítida traza al norte, en lo que

parece el segmento sísmicamente más activo, y pone en contacto las rocas de la Asociación Tostós con los materiales de la Formación La Quinta (Jurásico: conglomerados, brechas, areniscas y limolitas). En la sección superior de la cuenca del río La González, al norte, afloran los gneises bandeados y augengneises de la Asociación Sierra Nevada (Precámbrico superior). Menos uniformes son las unidades que afloran en la cuenca de la quebrada La Sucia; destacan aquí rocas de textura fina, especialmente lutitas y limolitas de las formaciones La Luna y Colón (Cretácico superior), y, limolitas y areniscas de la ya citada, Formación La Quinta. Esta distribución determina el comportamiento diferencial de ambas cuencas: río La González y quebrada La Sucia y definen el carácter de los depósitos en el valle.

Al oeste destacan dos grandes rasgos: el deslizamiento La González y la falla El Estanquillo (Ferrer, 1991; 1995; 1999; Ferrer *et al.*, 1992; Ferrer y Laffaille, 1999; Laffaille *et al.*, 2004; Ferrer *et al.*, 2005; este Número).

Constituye la falla El Estanquillo una estructura notablemente interesante para los aspectos que serán tratados a continuación. Cartografiada originalmente por Tricart y Michele (1965), analizada posteriormente por Ferrer (1991; 1995); autor este que evaluó el papel jugado por esta falla como factor determinante del deslizamiento La González. La falla El Estanquillo es una superficie de ruptura 'fresca', con una escarpa vertical que varía de 7-15 m; de rumbo N23°E, la cual tiende a formar una ligera

flexura al contacto con la traza norte de la falla de Boconó. Evidencias estratigráficas, dos colinas alargadas constituida de sedimentos del Complejo Aluvial de Lagunillas (Qcal), sugieren un posible basculamiento del bloque levantado en dirección suroeste (Figura 2). A esta falla le parece corresponder un mecanismo del tipo 'normal' y un plano de ruptura de ángulo alto y con buzamiento al NO.

Sin quitarle la importancia que puedan tener otras estructuras en la zona, el año 2003 los instrumentos del Laboratorio de Geofísica de la Universidad de Los Andes, detectaron un sismo de 4,3 de Magnitud Richter a 2,5 km al NNO del centro poblado La González (Figura 2). La cercanía a la superficie de ruptura de El Estanquillo con el deslizamiento El Paraíso, incrementa las probabilidades de que este sector se vea afectado por un evento cosísmico. Investigaciones a corto plazo se orientan a contrastar escenarios sísmicos que permitan relacionar Magnitud (M) con distancia a la zona de ruptura (Keefer, 1984).

La secuencia de sedimentos del Cuaternario se encuentra bien representada en toda esta área y ha sido parcialmente ilustrado en la figura 2. Las profundas incisiones que en estos depósitos han generado en ríos y quebradas locales, facilita un detallado análisis. Facies predominantemente fluviales se extienden en ambas riveras del río Chama y topográficamente resulta sencillo reconstruir lo que constituyó un importante período de relleno de valle. Extensos abanicos aluviales (identificados como Qaa3: Figura 2) se extienden desde La González hasta la propia ciudad

de Mérida; un recorrido de aproximadamente 20-25 km en sentido NE. Los sedimentos expuestos alcanzan alturas considerables 40-60 m, y muestran el clásico ciclo de *corte y relleno*.

El escalonamiento de estos grandes sistemas de acumulación alcanzan una magnífica expresión en este sector de La González. Afloran por lo menos seis (6) niveles bien definidos. A partir de la posición topográfica, estado de preservación, ley de corte y parcialmente por el nivel de conservación de los cantos y desarrollo de suelos, se puede asumir una sucesión de edades, relativa, desde los *más antiguos* aluviones viejos (Complejo Lagunillas: Qcal) hasta los niveles más modernos (Qaa6) (Figura 2), (Ferrer, 1995). Los sistemas de abanicos en este sector del río Chama pueden ser separados por facies, lo que refleja la constitución litológica predominante en las fuentes y pueden tener un significado práctico importante.

Aspectos menores, pero no por ello menos importante, lo constituyen dos procesos que alcanzan, en toda esta región, su máxima expresión: los *torrentes* y los *sistemas de cárcavas*. Cauces de primero y segundo orden, de corto recorrido y, por lo general, de régimen hídrico esporádico definen los torrentes. Dinámica que en regímenes torrenciales, como el predominante en esta región, se expresan mediante una fuerte erosión y la transferencia de importantes volúmenes de sedimento. En segundo lugar, la *tubificación* y sus efectos sobre la estabilidad de las laderas y su conexión con la aparición y posterior desarrollo de cárcavas.

Resultados y discusión

Características del ‘zanjón’ El

Paraíso: Análisis de escenarios

El sitio ocupado por el poblado La González, y colateralmente la urbanización Chama-Mérida, presenta un conjunto de limitantes físicas que se traducen en fuertes restricciones para su seguridad: (i) el hecho de encontrarse ubicado a las márgenes del río Chama y la constante amenaza de los desbordes periódicos y de la socavación lateral, y (ii) el comportamiento del zanjón El Paraíso.

El así llamado ‘zanjón’ o ‘torrente’ El Paraíso es una microcuenca alargada, de longitud no mayor a los 1,8 km, orientado al SE y con cauces de segundo orden que se encuentran parcialmente colmatados por el constante aporte de detritos. Materiales estos provenientes de las laderas y mecanismos de transporte asociados con derrumbes y deslizamientos de roca, tal y como puede ser apreciado en la figura 3. Este zanjón El Paraíso, conjuntamente con su vecino, zanjón Tierra Negra, han desarrollado dos activos abanicos de detritos cuya coalescencia se ubican muy cerca del Puente Bailey, (Figura 4). Dos aspectos resaltan en la microcuenca El Paraíso: (i) el colapso de las laderas y la erosión regresiva observada en sus cabeceras, y (ii) la acelerada evolución de los dos abanicos, en especial el abanico El Paraíso (Delgadillo *et al.*, 2004; Laffaille *et al.*, 2004).

La erosión regresiva, cuyas evidencias testimonian una acción muy intensa, se produce en la cabecera del zanjón

El Paraíso y se efectúa por influencia directa de la tubificación. Remanentes de sedimentos asociados con el aluvión viejo (Complejo Aluvial de Lagunillas: Qcal; Ferrer, 1995), cuyos espesores varían de 5 a 12 m y dispuestos en el tope del macizo, Las Tapias y Cerro Negro, facilitan, mediante un gradiente hidráulico favorable, la acción del drenaje subsuperficial. Pero el papel más importante lo está jugando la baja calidad de la roca. Efectivamente, los esquistos de la Asociación Tostós controlan los movimientos de masa y generan los graves problemas de estabilidad observados en este sector.

En la figura 3 se observa una panorámica del deslizamiento de roca El Paraíso. Una estimación muy preliminar del posible volumen involucrado por este movimiento fueron reportados por Delgadillo *et al.* (2004), aplicando el Programa Arc View 3.2, con valores que fluctúan entre 250.000-385.000m³. Este deslizamiento, de tipo planar, está principalmente controlado por la disposición de los planos (NNE) y buzamientos en dirección al corte (45-50° SE); en la figura 3 se observa con nitidez la corona y la masa deslizada. A pocos metros debajo de este deslizamiento El Paraíso se localiza un talud vertical en la roca, cuya altura alcanza los 18-20 m; situación esta que puede dar una elevada energía potencial a todos estos materiales. Las consideraciones ya señaladas no incluyen los sedimentos, dispuestos para su tránsito, ubicados en la sección superior de la microcuenca. Finalmente, el zanjón El Paraíso tiende a favorecer el desarrollo de flujos de detritos, ello se

debe a las características de los esquistos que favorecen la formación de matrices más finas (arenas y limos).

Dos escenarios caben discutir en este punto, ambos preocupantes: precipitaciones que excedan los límites críticos, y, ruptura (sísmica) de algunas de las fallas cercanas.

(i) *Primer escenario*

La microcuenca El Paraíso parece haber entrado en una fase de 'marcado desequilibrio' en fecha posterior al evento de 1999. El desarrollo de secuencias sucesivas de flujos de detritos, incluso mostrando capas superpuestas en el abanico, se ha venido acentuando en estos últimos años, al extremo que en el año 2003, represó y desvió en dirección al poblado de La González al poderoso río Chama (Figuras 7 y 8). Se ha venido realizando un monitoreo periódico de la conducta de este torrente y se han encontrado tres eventos particularmente violentos en los años: 1999; 2001 y 2003. Lo que parece una disminución notable de los períodos de retorno, los que se suponían muchos más largos. Evidencias geomorfológicas parecen indicar un notable incremento de los valores de precipitación en estos últimos años (véase por ejemplo: Ferrer *et al.*, 2005; este Número), lo que resultaría concordante con algunos modelos de comportamiento en escenario de cambio climático; estos tienden a señalar una tendencia a mayor lluviosidad para la región Andina (Roberto Duque; Comunicación Personal; 2005). En el mismo sentido, serie estadísticas de intensidades y profundidades máximas de

precipitación en la región parecen sugerir picos que se repiten con una regularidad asombrosa (A. Delgadillo; Comunicación Personal; 2005). Estas visiones macro hay que contrastarlas con el análisis de la frecuencia de lluvias extremas y sus efectos sobre el potencial erosivo.

Pérez (1994), al analizar el sector comprendido entre la desembocadura del río Nuestra Señora en el río Chama (3,5 km al noreste) y la quebrada La Vizcaína-Puente Real (10,7 km al suroeste), lo que incluye el área de estudio, elaboró una curva límite que le permitió estimar que lluvias cortas con intensidades superiores a $I=10,01D^{-0,742}$, deberían generar flujos de detritos y deslizamientos someros. Valores críticos estos que expresan que con precipitaciones mayores a 5,3 mm en 5 minutos y 6,3 mm en 10 minutos, sería suficiente para 'detonar' ambos procesos.

El umbral crítico, citado en la literatura, a partir de la cual la intensidad erosiva actúa, es 25 mm/h. A partir de este dato, y en base a lo obtenido en el estudio de Delgadillo *et al.* (2004), (Cuadro 1), se estima que lluvias con duración de 60 minutos, coinciden con valores de 37,80 mm; 44,29 mm; 58,55 mm y 64,58 mm pueden ocurrir, teóricamente, cada 5, 10, 50 y 100 años, respectivamente. Valores estos que sobrepasan holgadamente el umbral ya señalado. En la actualidad se adelantan algunas estimaciones (empleando relaciones lluvia-escorrentía) sobre los caudales máximos para diferentes períodos de retorno de los torrentes El Paraíso y Tierra Negra.

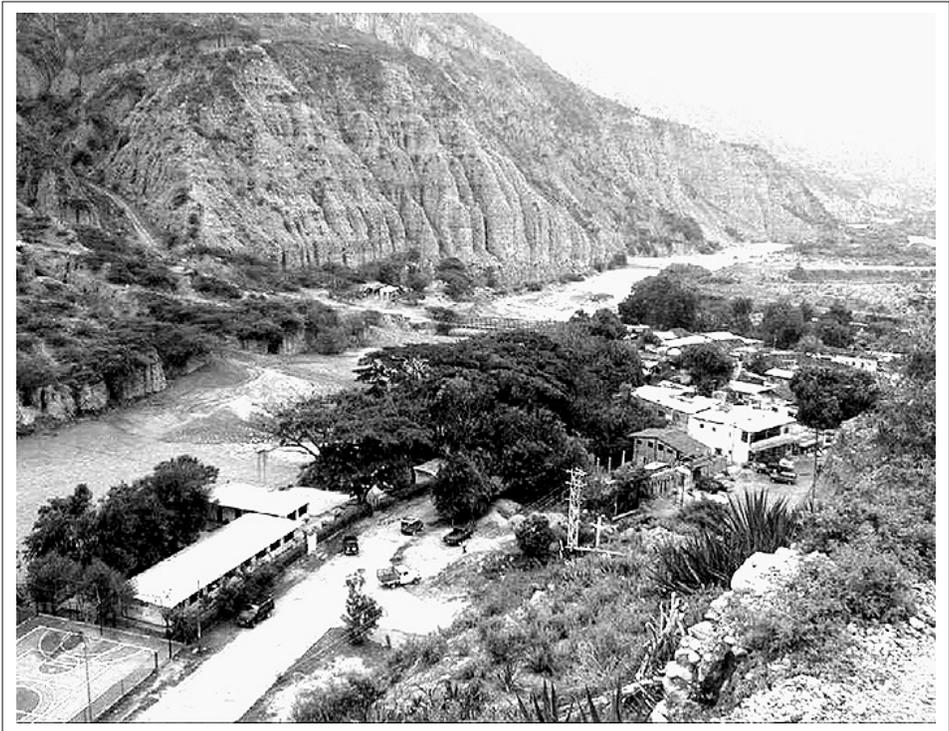


Figura 7. Vistas aguas abajo del río Chama en el sitio ocupado por el caserío La González. A raíz de una tormenta ocurrida en abril del año 2003, el abanico de detritos de El Paraíso represó parcialmente al río Chama y formó una pequeña laguna, tal como se observa en la imagen. Afortunadamente el río causó pocos daños debido al carácter, más bien 'moderado', del evento. Es notoria la alta fragilidad de toda esta área

Cuadro 1. Profundidades máximas de precipitación en mm para diferentes frecuencias y duraciones. Estación San Juan de Lagunillas (serial 3170)

Periodo de retorno (Tr)	Duración en minutos				
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
Tr= 1.10 años	4,25	6,65	9,85	13,62	17,30
Tr= 2 años	7,71	12,51	16,76	23,02	28,02
Tr= 5 años	10,87	17,87	23,08	31,60	37,80
Tr= 10 años	12,97	21,42	27,26	37,28	44,29
Tr= 20 años	14,97	24,82	31,27	42,73	50,50
Tr= 50 años	17,57	29,23	36,47	49,78	58,55
Tr= 100 años	19,52	32,53	40,36	55,07	64,58

Tomado de: Delgadillo *et al.*, 2004



Figura 8. Abanico de detritos El Paraíso. Se observa el amplio desarrollo del depósito y la superposición, sección apical, de dos eventos diferentes. El empuje ejercido por los flujos de detritos, generados en este torrente, ha obligado al río Chama a adosarse a su ribera derecha. En el primer plano se observa el abanico de Tierra Negra. Imágenes tomadas desde el puente sobre el río Chama (mayo de 2003)

(ii) Segundo escenario

Un posible detonante sísmico tiene que ser necesariamente analizado y tomado como una posibilidad real. Los datos históricos sobre eventos extraordinarios ocurridos en la región son escasos y a veces dudosos (Ferrer *et al.*; este Número). No obstante, existen suficientes evidencias geomorfológicas de ‘rupturas frescas’. Toda el área de estudio, como parte del corredor de fallas de Boconó, presenta una alta densidad de fallamiento. Dos estructuras requieren un estudio

detallado: la cercana falla El Estanquillo y aquella situada a muy poca distancia de rumbo N 67°E y a menos de 300 m de la urbanización Chama-Mérida, que parece haber sido responsable del sismo detectado el año pasado (Figura 2). Son estrictamente necesarios estudios mucho más detallados, preferiblemente modelos del tipo magnitud sísmica vs. distancia al plano de ruptura, para precisar en detalles algunos valores cuantitativos de la amenaza real. Las condiciones dadas en el zanjón El Paraíso, con un desliza-



Figura 9. Vista tomada desde el zanjón El Paraíso en dirección N50°O; destacan: el caserío La González (primer plano) y las edificaciones de la urbanización Villa Libertad (al fondo)

miento activo, de masa considerable (250-385.000 m³), con valores de pendiente muy altos y poblaciones situada a poca distancia de su radio de acción (Figuras 3 y 9), configuran un cuadro de alto riesgo.

Significado de los espesos sistemas de abanicos aluviales: implicaciones desde el punto de vista de amenazas

Tal y como ha sido expresado en párrafos precedentes, uno de los aspectos dignos de destacar en el área de estudio es la distribución de por lo menos seis (6) diferentes unidades depositacionales

separadas por niveles topográficos. Las fuentes de suministro más importantes se ubican al norte: cuencas del río La González y quebrada La Sucia (Figura 2).

En este estudio destacan dos grandes niveles de acumulación: los abanicos más altos correspondiente al Qaa1, identificados con colores rosados en la figura 2, y, el nivel Qaa3, de color marrón. El primero de ellos, altamente complejo y ubicado al extremo noroeste, debe su origen a la acción de la quebrada La Sucia y casi enteramente controlada su depositación por procesos tipo flujos de detritos. El segundo, a un nivel más bajo

y probablemente de un intervalo más joven, se relaciona con una dinámica más fluvial. Resaltan en este último la presencia de estratos planares; no obstante que la estratificación es cruda, originadas por crecidas torrenciales laminares (sheetfloods) y numerosas estructuras de corte y relleno seguidos por un notable afinamiento hacia arriba.

Es interesante que dos cuencas de drenaje situadas una al lado de la otra de tamaños diferentes pero de similar clima y vegetación, igual orientación, y densidades de drenaje análogas, pendiente media de los cauces principales y en general para las cuencas y condiciones neotectónica idénticas, fueran capaces de generar depósitos de facies tan disímiles y mediante procesos tan radicalmente dispares. Mientras los gneises de la Asociación Sierra Nevada (Precámbrico superior), que afloran extensamente en la cuenca del río La González, fueron capaces de generar volúmenes significativos de sedimentos cuyas texturas varían de arenas gruesas a muy gruesas, gránulos, guijarros, cantos y bloques, con fracciones muy pequeñas de limo y arcilla. En contraste la quebrada La Sucia expone, en su cuenca superior, amplias extensiones ocupadas por lutitas, limolitas, areniscas, con amplio espectro de tamaños, y calizas; rocas estas capaces de generar matrices finas que le confieren un alto grado de fluidez a los sedimentos transportados. Vale la pena destacar que a pesar de que la cuenca de la quebrada La Sucia es de menor tamaño que su contraparte, los volúmenes de sedimentos aportados son significativamente mayores.

Son notables e históricamente documentadas, las deformaciones por repetición progresiva, grandes y muy activos deslizamientos como el de La Playa (ampliamente reportado por Singer *et al.*, 1983). La actividad de este movimiento de masa se remonta al año 1693 y conforma complejos desplazamientos que abarcan: flujos de lodo y tierra, aludes, flujos deslizamientos y otros observados en los alrededores del poblado de Jají. El predominio de texturas limo arcillosas facilita el colapso de las laderas, las cuales tienden a tener una respuesta rápida al agregársele volúmenes adicionales de agua. Estos materiales se saturan con mayor rapidez debido a sus condiciones de baja permeabilidad, situación que se complica al disminuir la presión de poros y que por lo general se traduce en la generación de flujos de detritos. De las observaciones de campo y análisis preliminar de estos sedimentos, se puede asegurar que la quebrada La Sucia, cuyo nombre proviene de la alta cantidad de materiales en suspensión que transita a lo largo de su cauce, en escenarios de alta precipitación se comporta como un verdadero flujo de detritos. Esto puede tener consecuencias negativas para el sitio que ocupa la urbanización Chama-Mérida. Un agravante adicional lo constituye la aseveración de testigos que han presenciado eventos de obturación de esta quebrada en localidades muy cercanas; así mismo la preservación de un puente de arco, construido de mampostería, correspondiente a la antigua carretera Trasandina, pudiera sugerir que la quebrada La Sucia no ha experimentado

un evento extremo por lo menos desde el año 1925 (?).

En fin, las implicaciones en la conducta hidráulica de ambos cursos deben ser analizadas cuidadosamente, de forma de obtener una evaluación precisa de los diferentes niveles de amenazas, así como la vulnerabilidad física y social. Toda esta información como base de un estudio integral de riesgo presente en este pequeño sector, cuyos resultados puedan ser extrapolados a otras regiones montañosas con condiciones parecidas.

Dinámica del río Chama en La González y comportamiento de la red de torrentes ubicados al noroeste de la urbanización Villa Libertad

Delgadillo *et al.* (2004) estimaron, debido a la notoria ausencia de estaciones fluvigráficas, para el río Chama, sitio ocupado por el poblado La González y para un área de 1892,6 km² (superficie de la cuenca ante de la confluencia del río La González), caudales de 1065,7 m³/s; 1179,0 m³/s, y, 1295,1 m³/s para períodos de retorno de 50, 100 y 200 años, respectivamente. Estos valores no incluyen aportes de sedimentos, lo que no deja de ser significativo al tratarse de cursos con comportamiento torrencial. Jáuregui (1997), al analizar los parámetros de diseños para algunas obras en la urbanización Chama-Mérida, estimaron crecidas para 100 años de 1108,59 m³/s y 1814,15 m³/s, con una socavación por parte del río Chama entre 1,16 y 2,80 m; ello sin tomar en cuenta la erosión lateral que este curso ha venido realizando a la altura del poblado La González (antes

del puente Bailey) debido a la acción de los flujos provenientes, principalmente, del zanjón El Paraíso (Figuras 5 y 6).

Para el río La González las estimaciones varían de 279,2 m³/s a 310,2 m³/s para períodos de retorno de 100 y 200 años, respectivamente. Para el caso de la quebrada La Sucia las estimaciones para 100 años alcanzan caudales de 189,3 m³/s; valor este utilizado para el diseño de las obras de protección de la urbanización Villa Libertad (Jáuregui, 1997).

Estas estimaciones no incluyen aportes de sedimentos, que parecen alcanzar volúmenes apreciables en el caso de la quebrada La Sucia, tal y como fue comentado en páginas precedentes, ni la posibilidad de represamientos en el sitio ocupado por el abanico de detritos de El Paraíso (Figura 7). Ferrer *et al.*, (2005; este Número) en base a observaciones realizadas en el sector de Puente Real, 10,6 km al suroeste del poblado La González y a partir del estudio de dos profundos paleocauces, llegaron a estimar caudales máximos de: 4.203,7 m³/s y 8.966,98 m³/s. Valores estos muy aproximados, debido a la técnica utilizada, y que atribuyeron a represamientos ocurridos aguas arriba al punto seleccionado y en el río Chama. De estos represamientos naturales se tiene certeza de que por lo menos uno, en base a los testimonios de testigos presenciales, ocurrió a principio de la década de los treinta.

La presencia de un conjunto de cárcavas situadas muy cerca de la urbanización Chama-Mérida, sitio conocido como las curvas de Caparú, en la hoy abandonada carretera Trasandina

(1925), llamó la atención de Delgadillo *et al.* (2004); en especial el torrente Caparú y la Cárcava Grande. Estimaciones realizadas por UFORGA (1999), según un período de retorno de 100 años, dieron caudales máximos de 6,62 m³/s para una microcuenca de 10,4 has correspondiente al torrente Caparú y 2,44 m³/s para la Cárcava Grande (4,8 has). Estos valores que pueden ser considerados conservadores para el caso de cursos efímeros y en una región altamente torrencial, pueden llegar a constituir una seria amenaza para el conjunto residencial Chama-Mérida debido a: (i) deficiente distribución de las edificaciones (algunas de ellas colocadas peligrosamente en el eje de los torrentes); (ii) posible aceleración del proceso de tubificación y problemas, locales, de asentamientos diferenciales, y, (iii) aportes de material sólido a partir de las paredes de las cárcavas debido a socavación lateral.

Conclusiones

La región semi-árida de Lagunillas de Urao que se extiende desde aproximadamente la desembocadura del río Nuestra Señora en el río Chama hasta el sector de Estanques – Cerro San Felipe, y que tectónicamente coincide con la cuenca de tracción La González, constituye la zona natural de expansión de los centros urbanos Mérida-Ejido.

La intensificación de este acelerado proceso de ocupación se ha traducido en un incremento de los proyectos urbanísticos, es el caso de las edificaciones

correspondientes a la urbanización Chama-Mérida, instalaciones como el Centro Penitenciario, hoy en día con graves daños y la importante vía, altamente vulnerable, que comunica esta parte central del estado Mérida con la ciudad de El Vigía (carretera Mérida-Panamericana), entre otras obras importantes de infraestructura. En diversas oportunidades se ha llamado la atención sobre las fuertes restricciones que tiene todo el área para su futuro desarrollo y lo imprescindible que resulta adelantar proyectos que de forma pertinente permitan definir una zonificación detallada y precisar los niveles de susceptibilidad y vulnerabilidad (Ferrer, 1991a; 1995; Ferrer y Dugarte, 2004; Ferrer y Laffaille, 1999; 2004; Ferrer *et al.* 2005, este Número).

Lugar privilegiado para el estudio de los mecanismos relacionados con amenazas naturales y evaluación de vulnerabilidades (físicas y sociales) ocupa el conjunto urbano conformado por el caserío La González y la urbanización Chama-Mérida. Con el objetivo de contestar parcialmente algunas de estas cuestiones, este estudio se orientó a: (i) definir dos hipótesis extremas para el caso del zanjón El Paraíso; (ii) plantear la necesidad de un estudio sedimentológico que explicara la dinámica, altamente disímil, de los grandes espesores de abanicos aluviales del sector y, (iii) una aproximación al posible comportamiento del río Chama y algunos torrentes del sector. Estudios en detalle se están llevando a cabo en estos momentos sobre los dos últimos puntos señalados.

La dinámica del zanjón El Paraíso, pequeño torrente ubicado en la margen izquierda del río Chama y frente al case-río La González, se ha venido acelerando a partir de estos últimos años; eventos especialmente significativos, tanto por la intensidad de lluvias y los consecuentes volúmenes de sedimentos acarreados, se produjeron durante los años 1999, 2001 y 2003. Se desconoce la fecha exacta a partir de la cual la microcuenca entró en desequilibrio. El proceso más importante se relaciona con la presencia de un deslizamiento de roca, de tipo planar, cuyo desplazamiento está favorecido por las bajas condiciones físicas de la roca (esquistos finamente foliados) y la disposición del macizo en dirección al corte. Sucesivas coronas marcan nítidamente el área de despegue y la masa deslizada (altamente metaestable), cuyo volumen se estimó inicialmente entre 250-385.000 m³ (Delgadillo *et al.*, 2004). Adicionalmente derrumbes de roca en la sección superior contribuyen con la colmatación parcial de los cauces; la acción de la tubificación se restringe a los espesores, más bien moderados, de una secuencia de sedimentos ubicados en el tope y cuya contribución debe ser considerada más bien modesta. Elemento esencial lo constituye un muy agresivo abanico de detritos, que incluso llegó a represar parcialmente el río Chama el año 2003 (abril).

Dos escenarios se analizan en este contexto: (i) totales de precipitación que excedan los umbrales críticos y, (ii) las posibilidades de un detonante sísmico y sus consecuencias.

Estudios previos realizados por Pérez (1994) expresan que volúmenes mayores a 5,3 mm en un lapso de 5 minutos y 6,3 mm en 10 minutos, serían suficientes para generar flujos de detritos o deslizamientos de poco espesor (someros). Los resultados obtenidos por Delgadillo *et al.* (2004) coinciden con estos datos para períodos de retorno de 1 a 2 años (Cuadro 1). Pero al tomar como umbral crítico 25 mm/h, límite donde los mecanismos asociados con la intensidad erosiva se disparan, se tiene que los períodos de retorno estimados para cinco años y duración de la precipitación entre 30 y 60 minutos, serían: 31,60 y 37,80 mm, respectivamente. Datos estos que indicarían, a corto plazo, una importante activación del torrente El Paraíso. Un peligro mayor sería el eventual represamiento del río Chama y la desaparición del case-río La González.

Esta premisa, vertida en este escenario, hace obligatorio una evaluación de la conducta del llamado zanjón El Paraíso orientado a: (1) instrumentar un monitoreo constante de todo este sector y en especial bajo la ocurrencia de tormentas. (2) Aplicación de modelos que de forma cuantitativa permitan proyectar la evolución del deslizamiento El Paraíso. (3) Analizar en detalle el potencial de represamiento, volúmenes implicados e impacto aguas abajo a lo largo del río Chama. Medir los niveles de percepción y diseñar un programa comunicacional dirigido a concientizar a los habitantes de toda esta área.

La actividad sísmica, expresada por temblores medidos en fecha reciente

(2003) y reforzada por la presencia de numerosas superficies de rupturas, frescas, a muy poca distancia del caserío La González – urbanización Chama-Mérida, indudablemente que tendrá incidencia sobre la estabilidad del deslizamiento El Paraíso y las probabilidades que el mismo pueda ser transformado en un alud sísmico. Sería importante orientar las investigaciones hacia dos aspectos cruciales: precisar las posibles relaciones entre magnitudes estimadas y distancias a planos de ruptura de origen sísmico (siguiendo el modelo planteado por Keefer, 1984) y, como premisa fundamental establecer un enfoque modelístico para aludes de roca (para una revisión Dorrén, 2003). Esta posible línea de trabajo debe incluir: (i) un estudio, cuyos alcances vayan más allá del aquí presentado, donde se evalúe en detalle las características de la cuenca superior del torrente El Paraíso, como fuente de suministro y una ubicación de los materiales que puedan ser desplazados. (ii) Determinación de la ruta que podría ser seguida por la masa en caso que se produjese el alud. (iii) Una estimación de la velocidad que podría alcanzar esta masa, longitud de la zona recorrida y las áreas a ser afectadas. El modelo debería ser capaz de estimar la capacidad de formación y posterior ruptura de la laguna que debería formarse a partir de la obturación del río Chama.

Sin alarmismos innecesarios, el escenario de un alud sísmico luce como una amenaza potencialmente real.

La presencia de espesos depósitos relacionados con complejos sistemas de

abanicos aluviales, cuyos relictos se conservan al norte del río Chama, brindan una magnífica oportunidad de analizar dos grandes cuencas de drenaje adyacentes, con unidades de roca altamente disímiles y con capacidad de producir sedimentos de litofacies altamente contrastantes: flujos de detritos y torrentes de detritos (fluvial). El significado práctico de estas condiciones y su posible impacto en estas poblaciones, deben ser analizados en detalle.

Como parte de esta visión sobre las amenazas múltiples presentes en este sector medio de la cuenca del río Chama, es oportuno mencionar los niveles de peligro por crecidas, socavación lateral y desbordes generalizados. Se han estimado caudales de 1065,7 m³/s y 1179,0 m³/s para períodos de retorno de 50 y 100 años, respectivamente (Delgadillo *et al.*, 2004). Cálculos estos que no incluyen aportes de sedimentos que, como es ampliamente conocido, puede tener una influencia decisiva en la real conducta de estos cursos. La dinámica de una serie de pequeños torrentes puede tener un impacto localizado, especialmente sobre algunas edificaciones en la urbanización Chama-Mérida peligrosamente localizadas.

Agradecimientos

Los autores dejan su especial testimonio de agradecimiento al Geog. Juan Cristóbal Rincón por los innumerables esfuerzos dedicados a la búsqueda de material histórico y arqueológico de las fuentes. Al

Ing. Geol. Patxi Viscarret por el valioso apoyo en las tareas de exploración de campo a lo largo del 'zanjón'. Al TSU Jorge Riera por los detalles relacionados con el evento del 12/13 de septiembre del año 1988; donde actuó como diligente y abnegado rescatista. Las ideas vertidas en el texto fueron beneficiadas por las discusiones sostenidas con el Antropólogo Rogelio Altez y la Geog. Marbella Dugarte; un agradecimiento a ambos por la exhaustiva revisión del manuscrito. Muchas valiosas observaciones fueron aportadas por los Brs. Alejandro Delgadillo y Daniel Ferrer. Las diagramaciones se deben a Reina Albornoz, Consuelo Vargas R. y a Reinaldo Sánchez. Le agradecemos a la Dra. Delfina Trinca Figuera por los oportunos consejos dirigidos a mejorar la calidad del texto. Un especial agradecimiento a la Fundación para la Prevención del Riesgo Sísmico del estado Mérida (FUNDAPRIS) por el apoyo a este trabajo.

Referencias citadas

- DELGADILLO, A.; FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 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 V Congreso Venezolano de Geografía*. 1-14. Mérida-Venezuela (29 noviembre-3 diciembre). (CD-ROM; Trabajo N° 17: Tema III Geomorfología. Amenazas Naturales y Riesgos Ambientales).
- DORREN, L. K. A. 2003. *A review of rockfall mechanics and modelling approaches*. **Progress in Physical Geography**. 27 (1): 69-87.
- FERRER, C. 1991a. *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 la Excursión. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Publicaciones del Post-grado en Ordenación Territorial. Curso de Actualización Profesional: Geomorfología Aplicada y Riesgos Naturales, 26 p.
- FERRER, C. 1991b. *Posibles relaciones entre movimientos de masa y fallamiento activo en un segmento de la falla de Boconó*. **Revista Geográfica Venezolana**, 32 (2): 49-88.
- FERRER, C. 1995. *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 Mérida-Venezuela. Mapa Geológico. Escala 1:25.000, (Inédito).
- FERRER, C. 1999. *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 DUGARTE, M. 2004. Carretera Mérida-Panamericana y algunos problemas geomorfológicos: desafíos y perspectivas de un programa estratégico

- de mantenimiento. *Memorias del V Congreso Venezolano de Geografía*. 61. Mérida-Venezuela (29 de noviembre-3 diciembre). (CD-ROM; Trabajo N° 19: Tema III: Geomorfología. Amenazas Naturales y Riesgos Ambientales).
- FERRER, C.; GIRALDO, C. y SCHUBERT, C. 1992. Guía de la excursión a lo largo de la falla de Boconó. *Segundo Simposio de Fallas Activas y Deformaciones Cuaternarias en la cordillera de los Andes*. 1-45. Mérida – Venezuela (20-24 enero).
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 1999. Urbanización Chama-Mérida: entre mitos y realidades. Una evaluación de las condiciones sísmicas y geomorfológicas de un Proyecto Urbanístico. *VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*. 32-46. Mérida-Venezuela (12-15 mayo).
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2000. Evidencias históricas y geomorfológicas de fallamientos secundarios. *Segundas Jornadas de Sismicidad Histórica en Venezuela*. 34. Mérida-Venezuela (04-06, mayo).
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 2004. *Formación de una laguna de obturación en el río Chama (Andes venezolanos): Posible efecto cosísmico del terremoto del 19 de febrero de 1845*. **Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela**. 94: 77-79.
- FERRER, C.; LAFFAILLE, J. y RINCÓN, J. C. 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.
- 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. 32p. + Anexos, (Inédito).
- KEEFER, D.K. 1984. *Landslides caused by earthquakes*. **Geological Society of American Bulletin**. 95: 406-421
- LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y VISCARRET, P. 2004. *Activación del abanico aluvial del zanjón El Paraíso (sección del río Chama) ¿indicador geológico de cambios climáticos o efectos de la intervención antrópica en un proceso natural?* **Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela**. 94: 105-107.
- 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).
- PÉREZ, R. 1994. *Relaciones entre procesos geomorfológicos y precipitaciones máximas extremas en vertientes semiáridas de la cuenca media del río Chama, estado Mérida*. Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 195 p. + anexos, (inédito).
- RENGIFO, M. y LAFFAILLE, J. 2000. *Reevaluación del sismo del 28 de abril de 1894*. **Acta Científica Venezolana**. 51: 200-215.
- SCHUBERT, C. 1980a. *Late Cenozoic pull-apart basins, Boconó fault zone, Venezuelan Andes*. **Jour. of Structural Geology**. 2: 463-468.
- SCHUBERT, C. 1980b. *Morfología neotectónica de una falla rumbo-deslizante e informe preliminar sobre la falla de Boconó*. **Acta Científica Venezolana**. 31: 98-111.

- SCHUBERT, C. 1982a. *Neotectonics of Boconó fault, western Venezuela*. **Tectonophysics**. 85: 205-220.
- SCHUBERT, C. 1982b. *Cuencas de tracción en los Andes meridionales y en las montañas del Caribe, Venezuela*. **Acta Científica Venezolana**. 33: 369-395.
- SCHUBERT, C. 1984. *Basin formation along Boconó-Morón-El Pilar fault system, Venezuela*. **Journal of Geophysical Research**. 89: 5711-5718.
- SINGER, A.; ROJAS, C. y LUGO, M. 1983. **Inventario nacional de riesgos geológicos. Estado preliminar**. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Caracas-Venezuela, 128 p.
- TRICART, J. y MICHEL, M. 1965. *Mono-graphie et carte géomorphologique de la région de Lagunillas (Andes vénézuéliennes)*. **Revue de Géomorphologie Dynamique**. XV (1, 2, 3): 1-33.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. 1963. *Estudio integral de la cuenca del Chama: Sector de Lagunillas de Urao*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela. Informe Técnico, (2 volúmenes) 552 p. (Inédito).
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. 1971. *Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Informe Técnico, (7 volúmenes) 552 p. (Inédito).
- UFORGA – ULA. 1999. *Obras de control de torrentes y estabilización de cárcavas y taludes en el área del conjunto residencial Chama-Mérida, municipio Sucre*. Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales. Fac. de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Informe Técnico. 100 p. + anexos, (inédito).