

Abanico El Palón: evidencia cosísmica del alto grado de vulnerabilidad de la cuenca del río Chama, estado Mérida-Venezuela*

Alluvial debris fan of El Palón: Coseismic evidence of vulnerability high level at the Chama River's basin, Mérida State-Venezuela

Ayala Rubén*

Recibido: marzo 2005 / Aceptado: junio 2005

Resumen

A unos 2,5 Km al noreste de Tabay, vertiente izquierda del río Chama, en el sitio llamado El Palón, existe un torrente, donde la severidad de las pendientes supera los 30°, el fracturamiento de la rocas es elevado y los niveles de humedad excesivos. La falla de Boconó genera un escenario tectónico bajo el cual se produjo el 17/11/1998 un sismo (4.2 Richter) al este del lugar, generando deslizamientos rotacionales precedidos de pequeñas 'explosiones', debido al efecto descompresivo de la roca que siguieron una ruptura secuencial a manera de 'tajadas', alimentando al torrente con materiales que, impulsados por el agua y la gravedad, desencadenaron procesos tipo flujo de detritos formando un abanico de detritos al pie de la vertiente. Numerosas evidencias geomorfológicas sugieren cierta frecuencia de estos procesos. Se analiza la información técnica existente sobre el fenómeno y el papel de la sismicidad, deslizamientos rotacionales y flujos de detritos en su formación y posterior evolución.

Palabras clave: deslizamientos rotacionales; flujos de detritos; fracturamiento cosísmico; zona de fallas de Boconó; abanicos de detritos; Andes venezolanos.

Abstract

About 2.5 Km Northeast of Tabay, on the left margin of Chama river, at the Palón place, there is a torrent where the slope severity is over 30°, the rocks are very fractured and there are high infiltration water levels. Under the Boconó Fault's tectonic, it occurred a seismic movement (4.2 Richter) on 17/11/1998 to the east of the study area, producing various rotational landslides after small explosions by the rocks descompressive effect. The material added fed the torrent, and helped by water and gravity attraction, started a flow debris process, making an alluvial debris fan at the foot of the hill. Geomorphologic features indicate some periodicity in this process. We analyze different technical reports about this phenomenon and the seismicity, rotational landslides and debris flows roles in its origin and evolution.

Key words: rotational landslides; debris flows, co-seismic fracturing; Boconó fault zone; alluvial debris fan; Venezuelan Andean.

* Universidad de Los Andes, Escuela de Geografía, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Laboratorio de Geomorfología, Departamento de Geografía Física, email: ayalar@ula.ve

Introducción

Los abanicos aluviales son depósitos clásicos de geometría cónica que se desarrollan en zonas adedañas a las porciones que delimitan los escarpes de los altos geomorfológicos (laderas montañosas), donde el aporte de sedimentos es alto y las corrientes son confinadas a valles angostos que desembocan dentro de una cuenca adyacente (Nilsen, 1982; Einsele, 1992; Einsele, *et al.*, 1991). Los abanicos aluviales como elementos distintivos del relieve han sido ampliamente reconocidos como una de las principales características geomorfológicas en regiones montañosas áridas y semiáridas (Beaty B. Chester, en Rachocki & Church, 1990); sin embargo, pueden generarse también en regiones montañosas húmedas donde las lluvias son torrenciales, la severidad de las pendientes de las laderas es elevada y el grado de alteración de las rocas que las conforman es alto, como es el caso del área que nos ocupa. Estos rasgos geomorfológicos son característicos de las laderas que flanquean el valle del río Chama a lo largo de todo su recorrido.

A unos 2,5 Km al noreste del poblado de Tabay, justamente en el sector llamado Raíz de Agua, sitio conocido como El Palón, en la vertiente izquierda del río Chama, ha tenido lugar, desde el 16 de diciembre del año 1998, la formación y posterior evolución de un abanico de detritos que ha venido aumentando sus dimensiones con el pasar del tiempo amenazando a las comunidades asentadas aguas abajo del mismo. El objetivo de este artículo es analizar el origen y los procesos evolutivos

de este abanico, con especial atención al papel que juegan la sismicidad, los deslizamientos rotacionales y los flujos de detritos en su formación y posterior evolución. Así como también destacar el alto grado de vulnerabilidad, ante dichos procesos, de las comunidades asentadas aguas abajo del área estudiada.

Localización y características generales del área de estudio

El área de los deslizamientos se ubica en una colina alargada con rumbo aproximado N35-40°E que sirve de divisoria de aguas entre el río Chama y la quebrada La Mucuy y corresponde a una pequeña microcuenca representada por un torrente situado en el denominado sector Raíz de Agua, sitio conocido como El Palón, en la vertiente izquierda del río Chama, frente a San Jerónimo (Figura 1), enmarcada dentro de las coordenadas UTM: E= 274600 m; 275850 m y N= 95250 m; 956500 m. La estructura geológica está controlada principalmente por la traza maestra de la zona de fallas de Boconó, la cual en este sector presenta un rumbo aproximado N 35° E y puede alcanzar los 2,5 Km de ancho. La litología predominante consiste en gneises cuarzo-feldespáticos, gneises graníticos, gneises anfíbolíticos y algunos gneises migmatíticos y cuarcitas de la Asociación Sierra Nevada perteneciente al Complejo Iglesias de Edad ¿Precámbrico?, cuyos planos de foliación se disponen con rumbo aproximado paralelo al del fallamiento regional.

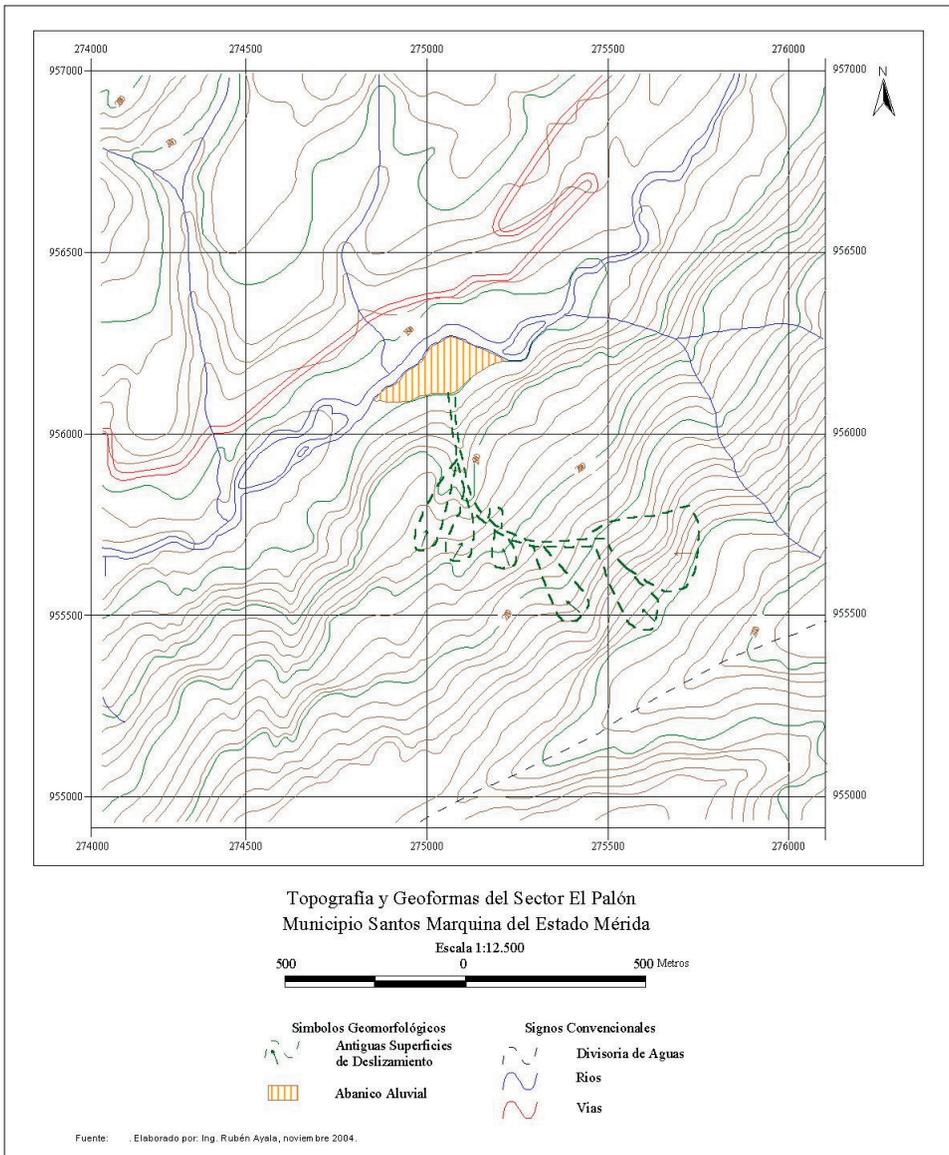


Figura 1. Topografía y geoformas del sector El Palón

Materiales y métodos

- Se revisaron los informes técnicos realizados sobre el abanico por distintos organismos.
- Se realizó un levantamiento de campo haciendo uso de brújula, GPS, cámara fotográfica y piqueta, durante el cual se hicieron mediciones de la superficie del abanico a través de poligonales. También se realizó una poligonal a lo largo de buena parte del torrente de desagüe, se tomaron rumbos y buzamientos de los planos de foliación de las rocas metamórficas de la Asociación Sierra Nevada, así como de los planos de las discontinuidades (diaclasas) principales; además se identificaron toda una serie de características geomorfológicas que corroboran los procesos que se mencionan durante el transcurso de este trabajo.
- Se empleó la carta topográfica Tabay 5941-I-NE para la realización de un mapa base a escala 1:12500, el cual se digitalizó con el software Arc View 3.2. Sobre el mapa base se vació la información geomorfológica obtenida a partir del análisis detallado de las fotografías aéreas 084, 085 y 086 de la Misión 010473, año 1979, dicha información fue corroborada con el reconocimiento intensivo de campo (Figura 1).
- Utilizando como base el mapa topográfico, con curvas de nivel cada 20 m., se generó un mapa de sectores de pendientes (Figura 2). Para la delimitación de los sectores de pendiente, se tomó en cuenta el ángulo de fricción interna teórico de los materiales que componen las vertientes: gneises cuarzo-feldespáticos, gneises graníticos, gneises anfibolíticos y algunos gneises migmatíticos y cuarcitas de la Asociación Sierra Nevada perteneciente al Complejo Iglesias de Edad ¿Precámbrico?, así como algunos cuerpos ígneos intrusivos (granitos). De esta manera se establecieron seis rangos de pendiente, donde el rango intermedio (29° - 43°) engloba al rango de ángulos de fricción interna de las rocas presentes en el área y los rangos más bajos obedecen al tipo de

Cuadro 1. Valores típicos de parámetros de resistencia para rocas (Hoek y Bray, 1981)

Tipo de roca	Peso unitario seco kN/m ³	Cohesión(Mpa)	Angulo de fricción (o)
Rocas ígneas duras: granito basalto	25-30	35-55	35-45
Rocas metamórficas: cuarcitas, gneis, pizarras	25-28	20-40	30-40
Rocas sedimentarias duras: calizas, dolomías, areniscas	23-28	10-30	35-45
Rocas sedimentarias blandas: areniscas, lutitas, limonitas	17-23	1-20	25-35

Tomado de Suárez, J., 1998

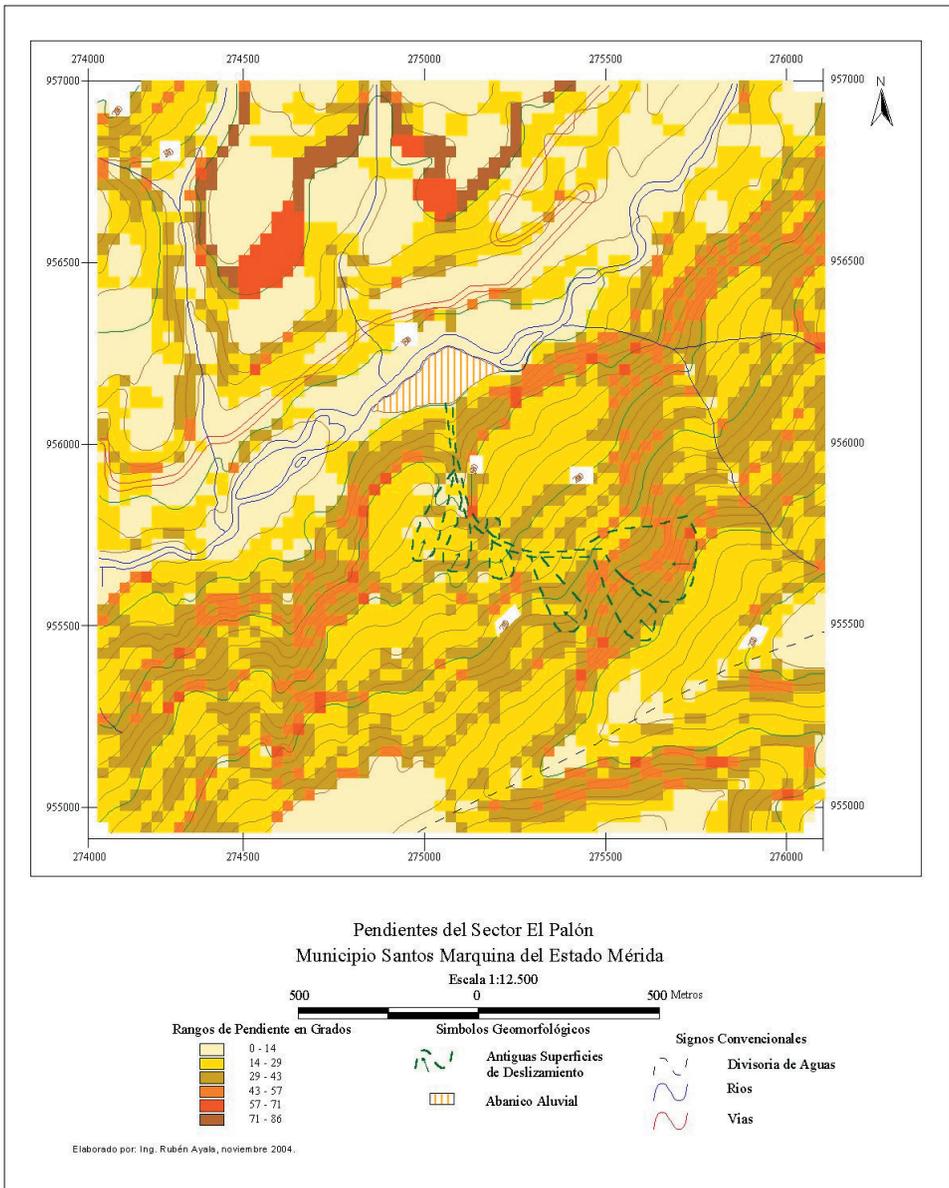


Figura 2. Pendientes del sector El Palón

material aluvional depositado en el abanico.

- Se contrastó la información recabada en los distintos informes revisados con la información levantada en campo y a través de fotografías aéreas para tratar de establecer las causas de la formación del abanico y sus procesos evolutivos.
- Se analizaron los resultados y se establecieron las causas y los procesos evolutivos del abanico.

Resultados y discusión

Diversas instituciones como el MARNR (Herrera, 1998; Chomiak, 1999; Prieto, López y Severino, 1999), Fundapris, Gobernación del Estado Mérida, Alcaldía del Municipio Santos Marquina, Corpoandes, Cuerpo de Bomberos del Estado Mérida e Impradem, realizaron estudios en fechas recientes a la formación del abanico, acerca del posible origen de los deslizamientos que produjeron el material que dio origen al mismo. Ferrer (1998), en un informe realizado para FUNDEM, sostiene que el detonante de los deslizamientos de El Palón fue un sismo de 4.2 grados en la escala de Richter con epicentro a unos 35 Km, al este de la ciudad de Mérida (cerca de Gavídea?) y registrado en el Laboratorio de Sismología de La Universidad de Los Andes, el cual ocurrió el 17 de noviembre de 1998. Precisamente el Sr. Frank Franco, propietario de la finca donde se ubica la sección de despegue del deslizamiento principal, reportó grietas observadas, caídas de ár-

boles y ruidos provenientes del subsuelo, a raíz del fuerte temblor que fue sentido por los vecinos de la zona.

Por otro lado Chomiak (1999), en un informe técnico realizado para el MARNR, señala que la ocurrencia de lluvias excepcionales fue el detonante que activó el deslizamiento. En abril de 1999, los ingenieros Ramón Prieto y Gerardo López del MARNR y Evans Severino de la Comisión Nacional de Minas presentaron un informe (Prieto, López y Severino, 1999) de la situación del deslizamiento El Palón, señalando que la causa del mismo fue la combinación de varios factores tales como: ubicación del sector en las cercanías de una falla geológica, un movimiento telúrico, poca cohesión del terreno y saturación del suelo.

El resultado del análisis que se realizó de las fotografías aéreas 084, 085 y 086 de la Misión 010473, año 1979, que corresponden al área de estudio reveló la existencia de algunas superficies de deslizamiento antiguas ocultas parcialmente por una cobertura vegetal arbórea bastante densa, y se debe resaltar que el torrente presenta una fuerte desviación que resulta atípica (Figura 3), tomando en cuenta que las altas pendientes (Figura 2) y el poder erosivo de este tipo de corrientes, generalmente les confiere un patrón rectilíneo. La abrupta desviación mencionada hace pensar en un control estructural.

El régimen tectónico compresivo correspondiente al levantamiento de la cordillera de Los Andes venezolanos ha generado un fuerte plegamiento e intenso fracturamiento en los macizos rocosos



Figura 3. Fotografía aérea del área de estudio tomada en el año 1979. Las líneas amarillas corresponden a posibles coronas de antiguas superficies de deslizamiento repobladas por una densa vegetación. Obsérvese que el torrente (línea azul segmentada) no es rectilíneo, sino que presenta una desviación apreciable

que componen la vertiente izquierda del río Chama en el área de estudio, generando un patrón de diaclasamiento que conjuga varias familias de diaclasas (más de

cuatro), las cuales fueron observadas en campo.

La exploración de campo también permitió observar distintas superficies

actuales de deslizamiento con coronas que pueden sobrepasar los 150 m, entre las cuales resalta la del área de despegue del deslizamiento principal que se extiende por aproximadamente 350 m (Figuras 1, 3, 4 y 5). Actualmente, el perfil de meteorización del suelo en todas las áreas de despegue ha sido bastante removido, dejando expuestas las rocas del sustrato, altamente fracturadas (Figuras 6 y 7).

El análisis de los resultados obtenidos, así como el contenido de los informes previos realizados sobre el fenómeno, nos permite proponer el fracturamiento cosísmico como principal mecanismo detonante en la generación de los deslizamientos que aportaron el material para la formación del abanico de El Palón. Como afirma Suárez, J. (1998), la

fracturación o agrietamiento del suelo y de los macizos rocosos pueden ocurrir como un efecto directo de los esfuerzos inducidos por un sismo en áreas donde se experimentan diversas intensidades de las ondas sísmicas, lo cual se denomina fracturamiento cosísmico, donde la magnitud de los agrietamientos depende de la cercanía al epicentro, de las características topográficas y de la estructura geológica de la ladera afectada, ocurriendo especialmente, en la corona de taludes de alta pendiente y escarpes semiverticales como los presentes en el área del abanico El Palón. La orientación de las fisuras dependerá principalmente de la geología y topografía y es independiente de las características del sismo; generalmente, las fracturas son de tensión y el movimiento



Figura 4. Se observan varias superficies de deslizamiento en la parte media del torrente



Figura 5. Se observa la corona de despegue del deslizamiento principal



Figura 6. La masa de suelo está siendo removida dejando al descubierto el sustrato rocoso. Nótese el tamaño de los bloques caídos y el volumen de material aportado



Figura 7. Se observa el sustrato rocoso al descubierto. Nótese la intensidad del fracturamiento y la infiltración de agua

puede describirse como una inclinación con centro de giro profundo.

Suárez, J. (1998) también sostiene que generalmente el fracturamiento cosísmico es generado por sismos de magnitud mayor a 5 grados Richter, lo cual hace pensar que en el caso que nos ocupa, no estaríamos en presencia de este tipo de proceso, ya que el sismo registrado en el área para el momento en que se produjo el abanico fue menor (4,2 Richter); sin embargo, Jean P. Vargas Atoche (2002) estima que sismos tan pequeños de magnitud 4.0 podrían reactivar deslizamientos de pendiente susceptible, y en las fotografías aéreas pueden observarse varias superficies de deslizamiento antiguas, la mayoría de las cuales fueron reactivadas.

Esto permite afirmar, como bien lo señalan Ferrer y Laffaille (1999), que lo ocurrido en este sitio es simplemente la reactivación de antiguos deslizamientos debido a la fracturación cosísmica del macizo rocoso por algún sismo de gran magnitud que probablemente ocurrió en fechas anteriores al sismo de 1894 y que no fue registrado. Evidencia de esto es el hecho que las antiguas superficies de deslizamiento fueron repobladas por una densa vegetación boscosa, la cual debe haber durado más de un centenar de años en crecer. La perturbación sísmica a la que Ferrer (1998), y Ferrer y Laffaille (1999) hacen referencia, no hizo más que reactivar dichos procesos, originando varios deslizamientos que pudieron haber

sido precedidos por algunas explosiones producto del efecto descompresivo de la roca.

Posteriormente, las grandes cantidades de agua proveniente de las intensas precipitaciones y del riego de las parcelas de cultivo situadas en la cima de la colina se han venido infiltrando a través de las grietas, generando un intenso flujo de aguas subterráneas con elevadas presiones de poro que erosionan las fracturas (Figuras 8 y 9), trayendo como consecuencia la ocurrencia de nuevos deslizamientos y caídos (desprendimientos), tanto de rocas como de suelo, ayudado por las altas pendientes de las laderas. Los materiales así generados, junto con la cobertera vegetal arrasada han venido a parar al torrente de desagüe, donde alimentados por los altos contenidos de agua y ayudados por las pendientes, han generado procesos de flujos de detritos.

La formación del abanico

Generalmente, un abanico de detritos se forma debido al aporte de sedimentos hacia un canal o torrente principal generalmente angosto y con pendiente elevada (mayor a los 22°), donde la acción de la gravedad y las aguas de escorrentía que confluyen en dicho torrente desencadenan procesos del tipo flujo de detritos. El volumen total de detritos es depositado en la desembocadura del canal de desagüe, debido a la disminución de la velocidad como producto del cambio abrupto de pendientes al pie del talud, generando un depósito cónico de pendiente moderada que irradia igualmente en todas direc-

ciones a partir de la desembocadura del torrente principal o ápice del abanico. Los principales procesos que intervienen en la formación de estos abanicos son los flujos (que pueden variar desde flujos de lodo hasta flujos de detritos, según sea el contenido de agua y el tamaño de las partículas). Beaty B. Chester (en Rachochocki & Church, 1990), afirma, basado en observaciones de más de 30 años, que los abanicos aluviales de las Montañas Blancas de California y Nevada han sido construidos principalmente por procesos de flujos de detritos.

En el caso específico que nos atañe la evidencia aportada por las características tanto físicas como morfológicas del abanico de El Palón (las cuales coinciden con las características mencionadas por Beaty (1990), indica que el mismo fue formado por procesos de flujos de detritos. Entre dichas características se tiene:

- a. La distribución de tamaño de los materiales sobre la superficie del abanico (mezcla de materiales que va desde finos hasta bloques de gran tamaño con muy pobre escogimiento), con un irregular pero perceptible decrecimiento del tamaño en dirección a la parte distal del abanico, corriente abajo (Figuras 10 y 11), indicando que la depositación por corrientes (en canales de drenaje) ha sido de menor importancia.
- b. Los cortes de los canales de corrientes revelan flujos de detritos superpuestos, antiguos y recientes (Figura 12), pudiéndose observar hasta tres niveles de depositación que corresponden a diferentes eventos de flujos de detritos);



Figura 8. El círculo amarillo señala un posible túnel generado por erosión subterránea o tubificación (piping). La coloración oscura indica la presencia de humedad en las cercanías del mismo

c. Los canales de drenaje del abanico cambian frecuentemente de dirección durante los flujos (flujos de detritos), debido a la obstrucción de los canales preexistentes por los detritos acarreados por los mismos; en el caso de este estudio se pudo observar la ocurrencia de este fenómeno en el lapso comprendido entre la primera inspección

de campo, el 20-03-2004 y la segunda, el 07-05-2004. En la primera inspección el canal principal de drenaje (ubicado en la región central del abanico) era el único canal activo (Figura 13); en la segunda inspección el canal principal se encontraba obstruido por una masa de detritos (Figura 14); en una tercera visita, el 10-05-2004 se



Figura 9. Los círculos amarillos señalan posibles vías de drenaje subterráneo (tubificación). Nótese el cambio de coloración en las cercanías de los mismos indicando la presencia de humedad



Figura 10. Puede observarse el decrecimiento general del tamaño de los detritos hacia la parte más distal del abanico



Figura 11. Obsérvese el aumento en la proporción de grandes bloques hacia el ápice del abanico

pudo observar que el canal principal se encontraba de nuevo activo. Esta dinámica, que se ha comenzado a incrementar con la llegada del período de lluvias, señala que es un abanico

activo, el cual fue formado por flujos de detritos que fueron alimentados por material aportado producto de deslizamientos rotacionales, como lo sugieren las características de las su-



Figura 12. Perfil del abanico en el canal de drenaje principal hacia la parte media del mismo. Las líneas punteadas delimitan distintos eventos de deposición

perfiles de deslizamiento existentes en la microcuenca de recepción del torrente y demás características observadas en este estudio, así como lo refieren los distintos informes que se han realizado sobre este evento.

Evolución y nivel de amenaza actual del abanico

Para el año 2001, el abanico medía aproximadamente 50 m de ancho por una altura que variaba de 0,5 a 4 m en su eje central (Veliz, 2001). En el año 2002 la ingeniero Zenaida Chomiak midió la superficie del abanico arrojando 30.5 has.



Figura 13. Canal principal de drenaje activo (ubicado en la región central del abanico). La flecha indica el canal de drenaje secundario, bloqueado para ese momento

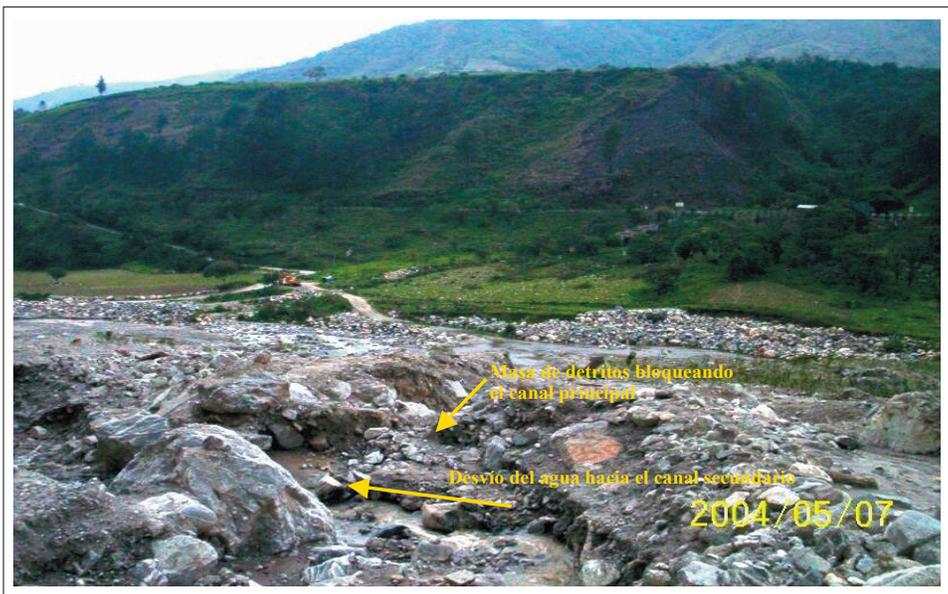


Figura 14. Canal principal de drenaje bloqueado (ubicado en la región central del abanico). La flecha inferior indica el canal de drenaje secundario, activo para ese momento

Actualmente, en marzo del 2004 presenta 34.5 has, de superficie con un espesor o altura que varía desde 2.8 m en la región distal más occidental, aumentando hasta 7,5 m aprox. en su eje central, para luego disminuir a unos 3,20 m hacia la parte más oriental. Promediando estos espesores y multiplicando luego por el área medida se obtiene un volumen aproximado de 1.372.500 m³ de sedimentos, a pesar de que una buena parte del material es constantemente removido por máquinas de una compañía arenera perteneciente a habitantes de la zona.

Aunque el volumen de sedimentos que componen el abanico es considerable y existe una desviación apreciable del curso del río hacia su margen derecha (comparar Figura 1 con Figura 3), el cauce del mismo en este tramo es bastante ancho, aproximadamente unos 200 m, lo cual atenúa la probabilidad de un represamiento. Sin embargo, tomando en cuenta la intensidad de diaclasamiento del macizo rocoso, la elevada saturación de agua, el valor de las pendientes y el escenario sismo-tectónico del área, no se descarta la posibilidad que ante la presencia de un sismo de magnitud mayor a seis en la escala de Richter, un volumen mayor de detritos pueda ser movilizado causando un eventual represamiento del río y aumentando el grado de vulnerabilidad de las comunidades asentadas aguas abajo en caso de la posterior ruptura del mismo, lo cual generaría una ola de descarga de consecuencias catastróficas. Esto plantea la necesidad inminente de reubicar todas las comunidades aguas abajo del lugar de deslizamiento, fuera

de las áreas de influencia por inundación del río Chama.

Nota

- * Una versión preliminar de este trabajo titulada, "Deslizamiento El Palón: Evidencia Cosísmica del Alto Grado de Vulnerabilidad de la Cuenca del río Chama" fue presentada por Carlos Ferrer y Rubén Ayala en el marco del V Congreso Venezolano de Geografía, celebrado en Mérida del 29-11-04 al 03-12-04.

Referencias citadas

- CHOMIAK, Z. 1999. *Deslizamiento ocurrido a unos 2,5 Km al noreste del poblado de Tabay, estado Mérida, sitio conocido como 'El Palón' muy cerca de la calera y al frente de San Jerónimo. Margen izquierda del río Chama, municipio Santos Marquina*. Informe. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Dirección General de Infraestructura.
- EINSELE, G.; RIZKEN, W. and SEILACHER, A. 1991. **Cycles and events in stratigraphy**. Springer-Verlag, Berlin, 955 p.
- EINSELE, G. 1992. **Sedimentary basins. Evolution, facies and sedimentary budget**. Springer-Verlag, Berlin, 628 p.
- FERRER, C. 1998. *Evaluación Preliminar del Deslizamiento 'El Palón'; noreste de Tabay, estado Mérida. (16, diciembre de 1998)*. Fundación para el Manejo de Emergencias, Desastres Naturales y Defensa Civil (FUNDEM).
- FERRER, C. y LAFFAILLE, J. 1999. *Evaluación del deslizamiento 'El Palón'; noreste*

- de Tabay, estado Mérida. (16, diciembre de 1998). Segundo Informe. Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). Mérida.*
- HERRERA, I. 1998. *Situación existente en el sector Loma de San Jerónimo, en jurisdicción del municipio Santos Marquina. Informe. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Dirección Estatal Ambiental-Mérida.*
- NILSEN, T. H. 1982. Alluvial fan deposits. In: Scholle, P.A., and Spearing, D., (eds.), **Sandstone depositional environments: Tulsa, Oklahoma.** American Association of Petroleum Geologists Memoir 31, p. 49-86.
- PRIETO, R.; LÓPEZ, G. y SEVERINO, E. 1999. *Situación presente en el sector Hacienda y Vega, a raíz de las crecidas del río Chama y del deslizamiento El Palón, municipio Santos Marquina. Informe. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Dirección Estatal Ambiental-Mérida.*
- RACHOCKI, H and CHURCH, M. 1990. **Alluvial Fans.** John Wiley & Sons Ltd.
- SUAREZ, J. 1998. **Estabilidad de taludes en zonas tropicales.** IIED. Bogotá. 540 p.
- VELIZ L., R. 2001. *Amenazas y riesgos por inundaciones en el valle del Chama del municipio Santos Marquina. Estado Mérida.* CDCHT-ULA. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. 101 p.
- VARGAS, A. J. P. 2002. *Deslizamientos inducidos por sismos y sus efectos sobre abanicos aluviales.* Compendio de Trabajos de Investigación. CNDG-Biblioteca. Instituto Geofísico del Perú. V.3. p. 125-136.