

Respuesta hidrogeomórfica de una cuenca altamente asimétrica. La tormenta del 11 de febrero del 2005 y su impacto en el río Mocotíes. Mérida-Venezuela

Hydrogeomorphic response of a highly asymmetric basin.

The storm of the February 11, 2005 and its impact on Mocoties River.

Mérida-Venezuela

Dugarte Marbella¹, Ferrer Carlos¹ y Delgadillo Alejandro¹

Recibido: octubre, 2013 / Aceptado: mayo, 2014

Resumen

En la cuenca del río Mocotíes, al igual que en muchos valles andinos, resaltan dos marcadas asimetrías: la topográfica con vertientes ubicadas al sur-sureste, que ocupan el 67,4% de la superficie, y una relevante disimilaridad litológica. Este singular contraste permite explicar la respuesta de esta cuenca a las lluvias inusuales caídas el 11/02/2005, en un mes históricamente seco. Dos sectores se comportaron de forma diferente: la sección media-superior de la cuenca, la cual experimentó una conducta que varió desde desbordamientos de algunas quebradas, hasta torrentes de detritos siguiendo mecanismos tipo crecidas ‘normales’-flujos hiperconcentrados; y la sección media-inferior, caracterizada por modestos drenes y relieves de menor longitud, que aportaron los mayores volúmenes de sedimentos (flujos de detritos). Los mayores daños se concentraron en sectores bien localizados, tal y como fue pronosticado en los años 2002 y 2004, lo que recalca la importancia de trabajos de este tipo, orientados a cumplir metas fundamentalmente prospectivas.

Palabras clave: Lluvias inusuales; perfiles de meteorización; flujos de detritos; flujos hiperconcentrados; Andes venezolanos.

Abstract

Mocoties river basin, as well as many Andean valleys, presents two noticeable asymmetries: topographic asymmetries with slopes located in the south-southeast, covering 67.4% of the surface, and a very relevant lithologic dissimilarity. This particular contrast explains the response of this basin to the unusual rainfalls observed on February 2nd 2005, a historically dry month. Two sectors behaved differently: the middle-upper section of the basin showed a variation that ranged from overflowing of some streams to debris torrents that followed flood-hyperconcentrated flows patterns; and the middle-lower section characterized by modest drains and low relief which provided the highest volumes of sediments (debris flows). Most of the damage was concentrated in well located areas, as it was forecasted in 2002 and 2004. Therefore, this fact emphasizes the importance of this kind of studies that pursuit the achievement of fundamentally prospective goals.

Key words: Unusual rainfalls; weathering profiles; debris flows; hyperconcentrated flows; Venezuelan Andes.

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Mérida-Venezuela. Correo electrónico: dugarte@ula.ve; carlosferrer@ula.ve; geobeat@gmail.com

1. Introducción

La cuenca del río Mocotíes se localiza al occidente del estado Mérida, en los Andes venezolanos, y posee un área aproximada de 517,6 km². En ella se ubican los municipios Rivas Dávila, Tovar y parte de Antonio Pinto Salinas y Sucre, cuyas respectivas capitales son: Bailadores, Tovar, Santa Cruz de Mora y Lagunillas, esta última ubicada fuera del perímetro de la cuenca. Su principal afluente, el río Mocotíes, se origina de la unión de la quebrada Las Tapias y el río Zarzales, a unos 1.850 msnm, y desemboca en el río Chama en la cota 320 msnm, después de un recorrido aproximado de unos 60 km (Figura 1).

El área de estudio tiene gran importancia económica, orientada a las actividades agrícolas, de producción cafetalera, hortícola y florística ubicadas principalmente al suroeste de Bailadores y alrededores de Santa Cruz de Mora, que abastecen tanto necesidades locales como a la región occidental y centro norte del territorio nacional, así como de servicios, sin dejar de lado el potencial turístico. Se considera una zona estratégica por el sitio de ubicación, ya que presenta un eje vial donde la carretera Trasandina conecta los principales centros poblados de la cuenca con el estado Táchira y la ciudad de Mérida; asimismo, a algunos pueblos del sur del estado (El Molino, Canagua, Guaraque, entre otros) que negocian su

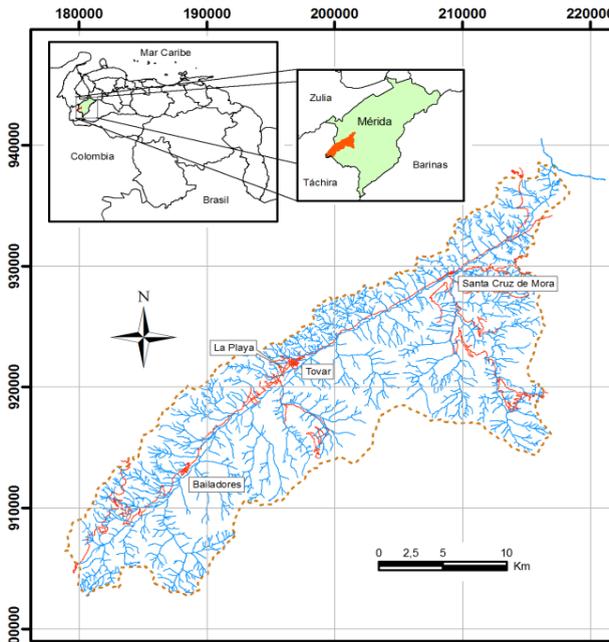


Figura 1. Localización de la cuenca del río Mocotíes en el estado Mérida. Se muestran los principales centros poblados y la red hidrográfica

producción en esta zona (Dugarte, 2002; Dugarte y Ferrer, 2004).

La cuenca del río Mocotíes fue testigo de una fuerte tormenta ocurrida entre los días 07 y 12 de febrero de 2005, alcanzando un máximo de lluvia la noche del día 11, luego de 4 a 5 horas de precipitaciones continuas. Este evento se considera inusual por presentarse en un mes históricamente seco. Desafortunadamente y como consecuencia del sistemático desmantelamiento de la red de estaciones pluviométricas, se desconoce el total de las lluvias caídas. La magnitud del evento y su impacto en la cuenca del río Mocotíes se expresa extraoficialmente mediante cifras: 41 fallecidos, 63 desaparecidos, 3.170 damnificados, 2.262 refugiados y 536 viviendas destruidas (Lamas, 2005). Más del 80 % de las fatalidades responden a personas ajenas al lugar, ubicadas en el terminal de pasajeros de Santa Cruz de Mora, avenida Perimetral y áreas adyacentes. Debido a lo intenso de las precipitaciones se había restringido el paso vehicular a la parte media y alta de la cuenca, así como por los túneles de la autopista Rafael Caldera, lo que trajo como consecuencia una gran aglomeración de personas en tránsito (Dugarte y Ferrer, 2007b).

Igualmente, las precipitaciones generaron el desborde del río Chama y afectaron amplias zonas del sur del lago de Maracaibo en el estado Mérida, ocasionando considerables daños en el sistema de vialidad, infraestructura de viviendas y agricultura en general. Esto hizo que el Instituto de Protección Civil y Administración de Desastres del Estado Mérida

(Inpradem) catalogara el evento como un 'desastre'; sin contar las amplias áreas afectadas por las lluvias en los estados Falcón y Vargas.

Los objetivos de este trabajo se fundamentan en evaluar el impacto de la tormenta de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes, así como, comparar los efectos del evento con resultados obtenidos en estudios previos (Dugarte, 2002; Dugarte y Ferrer, 2004, entre otros) y, calibrar, mediante información reciente, los alcances de este tipo de trabajos; todo ello orientado a resaltar el papel que juegan los análisis previos de parámetros significativos con fines prospectivos.

Las técnicas utilizadas en la elaboración de este trabajo corresponden a procedimientos y normas de amplia aceptación y extensamente divulgadas en la literatura (Turner y Schuster, 1996). Se debe resaltar la gran utilidad de las fotografías tomadas en helicóptero por parte de la Guardia Nacional Bolivariana en conjunto con la Aviación Militar Bolivariana (16/02/2005) y del vuelo del 26/02/2005 (ULA-INTI-Ejército).

2. Investigaciones previas

La cuenca del río Mocotíes ha sido centro de atención para un número importante de investigaciones, las cuales abarcan intereses muy variados. En este sentido, la cobertura geológica regional fue levantada por García *et al.* (s/f), mientras que las exploraciones a los cuerpos mineralizados de Bailadores se apoyan en los trabajos de Sifontes y García (1975),

Rendón *et al.* (1985) y Sifontes (1989). La eventual explotación de estas minas y su potencial de impacto fueron analizadas por Briceño y Ferrer (1992); entretanto, la realidad socio-productiva y los impactos agroecológicos fueron ampliamente tratados por Rojas (1987). Por otra parte, la clasificación y levantamiento de los suelos de la cuenca constituyó un buen aporte de Castillo *et al.* (1972) y Castillo y Castillo (1970).

El área de estudio ha sido afectada históricamente por la amenaza sísmica; de hecho es testigo del mejor ejemplo de los efectos de un terremoto (1610) en los Andes venezolanos (Singer y Lugo, 1982; Soulas y Singer *et al.* 1987; Singer, 1998; Ferrer y Laffaille, 1998). Asimismo, se han evaluado las consecuencias del sismo de 1894 (Rengifo y Laffaille, 2000) y el historial sísmico regional ha sido enfocado por Audemard y Singer (1996) y Audemard (1997).

Adicionalmente, en el estudio hidrológico regional realizado por Duque y Barrios del año 1987, se simulan diferentes hidrogramas de crecidas y se estima la producción de sedimentos de numerosos sistemas fluviales del estado Mérida, donde se destaca la generación de caudales máximos del río Mocotíes hasta su confluencia con el río Chama. Investigaciones más recientes basadas en la evaluación de los factores condicionantes: geología, geomorfología y valores de pendiente, así como en el análisis morfométrico de la red de drenaje, se deben al trabajo pionero de Dugarte (2002). Las principales conclusiones de dicho estudio fueron presentadas dos meses antes de la

denominada tragedia del Mocotíes por Dugarte y Ferrer (2004). Es importante señalar que el enfoque heurístico aplicado a aquellas áreas definidas previamente como inestables, correspondió casi con exactitud a los sectores que sufrieron los mayores impactos en la tormenta del 11 de febrero de 2005.

El evento hidrogenomorfológico sucedido en la cuenca del Mocotíes tuvo amplias repercusiones en la generación de trabajos para esa área, por ejemplo, la Corporación de los Andes organiza un Foro de emergencia, orientado a definir las causas, efectos y medidas a tomar para la gestión de riesgos en el área afectada donde participaron varios investigadores y se generó una publicación (Corpoandes, 2005); así es como la prensa se hizo eco de lo allí ocurrido y desplegó una amplia información (Avenidaño, 2005; Diaz, 2005). El evento y sus consecuencias es analizado técnicamente por Ferrer (2005), Laffaille *et al.* (2005a; 2005b), Dugarte y Ferrer (2007a; b) y Ferrer *et al.* (2007), mientras que el resumen de los antecedentes históricos de los principales eventos de lluvias máximas ocurridos durante el siglo XX y sus efectos geomorfológicos e hidrológicos, fueron ampliamente discutidos por Laffaille *et al.* (2005).

Otras investigaciones que abordan la jerarquización de los torrentes, ubicados en los tres municipios principales que comprenden la cuenca del Mocotíes: Antonio Pinto Salinas, Tovar y Rivas Dávila, fueron elaboradas por Rodríguez (2005), Zurbarán (2006) y Morales (2006); en tanto que en la estimación de los niveles

de potencialidad torrencial de la cuenca destaca el trabajo de Rivas (2006) y Rivas *et al.* (2009), ello sin dejar de lado la identificación de áreas susceptibles a crecidas torrenciales de la quebrada Mejía elaborada por García (2008).

Transcurridos dos años del evento, Ayala *et al.* (2007) presentaron un análisis de la subcuenca el Guayabal y el impacto de las lluvias de febrero de 2005; así mismo, Roa (2007) hace una estimación de áreas susceptibles a ser afectadas por movimientos de masa mediante el uso de imágenes de satélite y técnicas vinculadas con los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Trabajos estos en los que hubiese sido interesante tomar en cuenta las investigaciones y experiencias previas obtenidas en el área de estudio. Mediante un convenio con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Fundación para la Asesoría del Riesgo Sísmico (Fundapris) se adelantó un análisis de los posibles escenarios de riesgo sísmico, riesgos por crecidas y movimientos de masa para la cuenca del Mocotíes (PNUD, 2008). En lo referente a la estimación de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno de las principales subcuencas del área, vale la pena mencionar el trabajo de Delgadillo y Páez (2008) y más específicamente, para el caso de la subcuenca de la quebrada San Francisco, resalta el trabajo de Superlano (2010).

Adicionalmente, el Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales (IGCRN, 2006; 2008) formuló, a través del Postgrado en Ordenación del Territorio y Ambiente, los lineamientos

para los planes de ordenamiento territorial de los municipios Antonio Pinto Salinas y Tovar respectivamente; mientras que la Alcaldía del municipio Rivas Dávila, con la especial asesoría de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, elaboró su plan de ordenación del territorio en el año 2007. Del mismo modo, Páez (2010) realizó la zonificación de amenazas naturales con fines de ordenamiento territorial, a partir de las áreas susceptibles a movimientos de masa y subcuencas propensas a generar crecidas, en la parroquia Santa Cruz de Mora del municipio Antonio Pinto Salinas; entretanto Rojas (2010) analizó algunas variables vinculadas con la gestión de riesgos de desastres en el contexto del desarrollo sostenible en el mismo municipio y Bongiorno *et al.* (2010) abordaron un análisis de los aspectos geológicos en el evento del 2005, específicamente en los sectores ubicados entre el Peñón y La Victoria.

Más recientemente, destaca el trabajo de Fernández y Parra (2011), dirigido a estimar la vulnerabilidad social en Santa Cruz de Mora.

3. Algunos aspectos físicos de la cuenca del río Mocotíes

La marcada influencia tectónica ejercida por la zona de fallas de Boconó le confiere a la cuenca del Mocotíes, una típica morfología rectangular. Como característica importante resalta la significativa asimetría de las vertientes que rodean el valle del río Mocotíes; las laderas orientadas

al noroeste ocupan una superficie que alcanza el 32,58 %; su contraparte (sureste) se extiende al restante 67,42 %. Este contraste define conductas hidráulicas dispares entre ambos macizos.

La distribución temporal de las precipitaciones presenta, en líneas generales, dos períodos húmedos en los meses de abril-mayo, y octubre-noviembre, alternados con dos períodos secos. Los promedios de precipitación para las estaciones: Santa Cruz de Mora (serial 3065, período 1949-1972), Tovar (serial 3141, período 1968-1994) y Tovar (serial 3069, período 1950-1973), resultan ser de 1.029,2 mm; 1.077,0 mm y 890,9 mm respectivamente, así como 718,5 mm en la antigua estación La Playa (serial 3066, período 1949-1970) y 686,4 mm en la estación Bailadores (serial 3167, período 1970-1982). En general, existe una notable disminución de los totales de precipitación a medida que se incrementa la altitud de las estaciones analizadas.

El conjunto rocoso que aflora a lo largo de la cuenca corresponde con el basamento andino, descrito ampliamente como complejo Iglesias; en el sentido que son las rocas de mayor antigüedad. La información geológica de la cuenca del río Mocotíes se debe, principalmente, a los trabajos llevados a cabo por el Ministerio de Energía y Minas a finales de la década de los setenta (García *et al.*, s/f; 1977). La asociación Sierra Nevada (Precámbrico Superior), unidad litoestratigráfica (litodemo) relacionada con el mencionado complejo que, en el área de estudio, aflora en su mayoría en las laderas orientadas al noroeste (vertiente izquierda); se

extiende desde el noroeste de Bailadores (N° 1 en la figura 2) hasta la quebrada Los Cedros al noroeste de Santa Cruz de Mora (N° 18). En esta unidad afloran principalmente gneises bandeados, litología que se presenta en un 90 %, esquistos y rocas graníticas. En la asociación Sierra Nevada se desarrollan profundos perfiles de meteorización (suelos residuales), lo que le confiere una conducta muy particular a las quebradas y torrentes que caracterizan estas vertientes. Igualmente esta asociación se localiza en la vertiente derecha, al extremo suroeste, entre el río Zarzales (N° 5) y quebrada Las Tapias (N° 6); y en la sección media de la quebrada Mejía (N° 10), (Figura 2).

Por otra parte, la mayor extensión de las unidades rocosas se corresponde con la asociación Mucuchachí (Permo-Carbonífero), con predominancia de filitas y cuarcitas, que ocupa casi la totalidad de las vertientes situadas al suroeste, sur y sureste de la cuenca del Mocotíes. El comportamiento inestable de las filitas (rocas predominantes) y cuarcitas se debe tanto al alto grado de fracturamiento, como a la disposición favorable al corte de los planos de foliación y diaclasas. Entre otras unidades de roca que afloran en las laderas orientadas al noroeste (vertiente izquierda) se encuentran: la asociación Tostós (Paleozoico Superior), que ocupa dos áreas extensas distribuidas a los extremos noroeste-noreste, y se caracteriza por la predominancia de esquistos micáceos y cuarcitas altamente afectados por la tectónica. Areniscas y limolitas de la formación Sabaneta han sido detectadas en la sección superior de

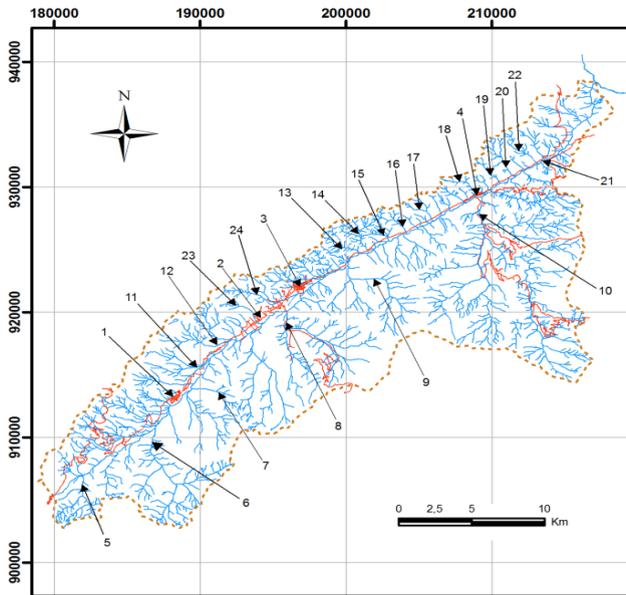


Figura 2. 1. Bailadores; 2. La Playa; 3. Tovar; 4. Santa Cruz de Mora. Otras localidades: 5. Río Zarzales; 6. Qda. Las Tapias; 7. Qda. Nieto; 8. Qdas. San Francisco-Carrizal; 9. Qda. Cucuchica; 10. Qdas. Mejía-El Guayabal-San Isidro; 11. Qdas. San Pablo-Bodoque; 12. Qda. Guarapao; 13. Qda. San Rafael; 14. Qda. Cacaguito; 15. Qda. San Diego; 16. Qda. El Silencio; 17. Qda. El Tabacal; 18. Qda. Los Cedros; 19. Qda. El Diamante; 20. Qda. El Barro; 21. Puente Victoria; 22. Qda Mocotíes; 23. Qda Las Delicias; 24. Qda Guaimaral.

la cuenca, específicamente en la divisoria de los ríos La Grita y Mocotíes (Dugarte y Ferrer, 2007a; b).

Dos bloques de rocas cretácicas constituidos predominantemente por lutitas, areniscas y calizas afloran igualmente en estas laderas; uno ubicado muy cerca de la confluencia del río Mocotíes con el río Chama, constituido por las formaciones Río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho, Luna y Colón-Mito Juan, y otro constituido por las unidades Aguardiente, Capacho y Luna, situado entre las quebradas Los Cedros (Nº 18), El Barro (Nº 20) y quebrada Mocotíes (Nº 22), controlado este último por un juego de fallas inversas de bajo ángulo y con una vergencia

al noroeste, que constituyen elementos claves en el comportamiento de estos drenes.

Por último, se evidencian rocas intrusivas que ocupan pequeñas áreas, distribuidas en forma dispersa a lo largo de toda la cuenca. En general, estas unidades presentan muy alto fracturamiento y una profunda alteración, lo que hace que su comportamiento sea muy frágil y las haga responsables de los mayores espesores de perfiles de meteorización observados en el área de estudio. En general, los conjuntos rocosos que afloran en la cuenca, sobre todo los ubicados en la vertiente izquierda del río Mocotíes, se presentan bastante fracturados a conse-

cuencia de la tectónica, lo que favorece un comportamiento geotécnico de la roca que contribuye con su inestabilidad-disponibilidad para el aporte de materiales a ser movilizadoss posteriormente.

4. Características morfométricas

Con respecto a las características morfométricas de la cuenca del río Mocotíes se pueden observar en el cuadro 1, algunos aspectos de la red de drenaje, a partir de los datos obtenidos por Dugarte (2002). Entre ellos se tiene que el cauce principal cuenta con un número de orden 6, aunado a unas relaciones de bifurcación (Rb) que van desde 4,0 hasta 4,94, valores que podrían estar asociados con una posición intermedia entre picos de crecidas menos súbitos y crecidas más violentas (Dugarte y Ferrer, 2007b).

En lo referente a los números de orden se tienen en conjunto más de 2.000 drenes, con una longitud total de cauces

de 1.452,4 km en un área de 517,6 km², lo que permite estimar una densidad de drenaje de 2,8 km/km²; ello puede verse traducido en mayores posibilidades de ocurrencia de eventos de crecidas, por tratarse de una cuenca que se encuentra muy bien drenada y que presenta en líneas generales, suelos poco profundos y de baja permeabilidad.

Probablemente esto se debe a que la ladera orientada al suroeste de la cuenca se corresponde con la vertiente de mayor superficie, constituida por filitas y cuarcitas de la asociación Mucuchachí, con texturas arcillo-arenosas y limo-arcillosas, con baja infiltración y desarrollo de perfiles de meteorización poco profundos, lo que influye en la presencia de un gran número de tributarios a nivel superficial. Ello no excluye aquellos volúmenes de agua que se infiltran y percolan a través de los planos de fractura.

En un análisis más detallado del comportamiento de las subcuencas a partir de los resultados obtenidos por Delgadi-

Cuadro 1. Algunas características de la red de drenaje de la cuenca del río Mocotíes

| Orden de los cauces (u) | Número de orden (Nu) | Relación de bifurcación Rb= Nu/ Nu+1 | Longitud de los cauces (km) SLi, u | Longitud promedio de los cauces de orden u. (km) Lu=SLi,u/ Nu | Densidad de drenaje (km/km ²) Dd=SSliu/Área |
|-------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| 1 | 1684 | 4,33 | 912,25 | 0,54 | 2,8 |
| 2 | 389 | 4,37 | 278,20 | 0,72 | |
| 3 | 89 | 4,94 | 148,70 | 1,67 | |
| 4 | 18 | 4,50 | 54,75 | 3,04 | |
| 5 | 4 | 4,00 | 13,50 | 3,38 | |
| 6 | 1 | | 45,00 | 45,00 | |
| | | | S=1452,4 | | |

Fuente: Modificado de Dugarte (2002)

llo y Páez (2008), se pueden definir las quebradas que presentaron los mayores problemas durante la tormenta de febrero de 2005 y cuáles pueden tener mayor propensión a crecidas de cara al futuro; ello si se considera la forma y densidad de drenaje (Cuadro 2). De esta información se desprende que las subcuencas analizadas se puedan subdividir en dos grandes grupos.

En un primer grupo, las subcuencas de las quebradas San Francisco, Guarapao y San Pablo-Bodoque, presentan densidades de drenaje de moderadas a altas y sus formas varían desde ensanchada a muy alargadas. Las mismas siguieron un mecanismo tipo torrente de detritos para la primera y tipo crecidas ‘normales’¹ para las dos segundas, donde ciertamente la fracción sólida fue menor y los aportes de volúmenes considerables de agua fueron claves, de hecho sus depósitos ocuparon una amplia superficie de explayamiento, ocasionando desbordes generalizados, especialmente en la parte baja de la quebrada Guarapao.

La subcuenca de la quebrada San Francisco, con un área de 45,42 km² (segunda en superficie detrás de la quebrada Mejías con 114,71 km²), se constituyó en una de las áreas de mayor impacto (Dugarte y Ferrer, 2007b) donde se concentraron importantes daños materiales; en este sentido, se puede señalar, que entre los factores que pudieron haber jugado un papel importante, destacan: (i) su extensión y morfología ensanchada; (ii) su alta susceptibilidad a generar movimientos de masa, así como, (iii) la localización de importantes núcleos de la tormenta, concentrados en esta zona.

Un segundo conjunto conformado por las microcuencas Cacagiito, San Rafael y San Diego orientadas al noroeste, presentan laderas de considerable menor extensión, con superficies inferiores a los 5 km² y valores de pendiente promedio del cauce principal superiores al 15% (Delgadillo y Páez, 2008); ello aunado a unas morfologías que van desde ligeramente ensanchadas a ensanchadas (con la excepción de la microcuenca San Rafael) y unas densidades de drenaje excesivamente altas, superiores a los 4,1 km/km², constituyen aspectos que tienden a incrementar la ocurrencia de crecidas y movimientos de masa. Con respecto a este último punto, la presencia de amplios y profundos perfiles de meteorización, localizados en las fuentes de suministro de las mencionadas microcuencas, dieron origen a intensos flujos de detritos en todo este sector.

En este sentido, cabe resaltar que la pequeña cuenca San Diego con tan sólo 1,48 km², fue la que generó los mayores volúmenes de materiales; los abanicos de detritos depositados por esta quebrada llegaron alcanzar espesores de incluso 15-20 m (Dugarte y Ferrer, 2007b).

5. Una aproximación a la definición de áreas susceptibles a movimientos de masa

Tal y como se ha insistido en este trabajo, uno de los aspectos claves del área de estudio, lo constituye la alta disparidad de las unidades de roca que a su vez son separadas por el cauce del río Mocotíes.

Cuadro 2. Relaciones entre algunos parámetros morfométricos, su propensión a generar crecidas y la conducta seguida durante la tormenta de febrero de 2005

| Subcuencas (numeradas en la figura 2) | Área (km ²) | Longitud axial (La) en km | Relación o factor forma de Horton $Rf=A/La^2$ | Forma | Densidad de drenaje (km/km ²) | Propensión a generar crecidas | Respuesta ante el evento analizado |
|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------|---|----------------------------------|---|--|--|
| San Francisco | 45,42 | 8,50 | 0,63 | Ensan- chada | 1,60 | Alta, debido a la forma de la subcuenca y moderada por densidad de drenaje | Los daños más extendidos se localizaron en esta subcuenca. El fenómeno siguió un mecanismo tipo torrente de detritos |
| San Pablo-Bodoque | 7,77 | 6,46 | 0,19 | Muy Alargada | 2,64 | Baja desde el punto de vista de la morfología de la subcuenca, aunado a una alta densidad de drenaje | Aportó volúmenes importantes de agua, comportándose como una crecida 'normal' |
| Guarapao | 8,06 | 5,69 | 0,25 | Alargada | 2,19 | Baja en relación con la forma de la subcuenca y alta debido a la densidad de drenaje | Esta subcuenca produjo caudales considerables. La morfología tipo 'embudo' generó un represamiento con amplias superficies de explayamientos |
| Cacagüito | 4,24 | 2,98 | 0,48 | Ligera- mente en- sanchada | 4,42 | Alta propensión a ser afectada por crecidas | Mecanismos relacionados con flujos de detritos favorecida por la forma, la densidad de drenaje y las características litológicas |
| San Rafael | 3,99 | 3,61 | 0,31 | Ligera- mente alargada | 4,11 | Baja de acuerdo a la relación de forma de Horton, aunado a una cuenca muy bien drenada | Mecanismos relacionados con flujos de detritos, favorecida, por alta densidad de drenaje y las características litológicas |
| San Diego | 1,48 | 1,58 | 0,59 | Ensan- chada | 5,03 | Alta propensión de ser afectada por crecidas y movimientos de masa. Favorecida por la forma y la densidad de drenaje | Sector ubicado entre Tovar-Santa Cruz de Mora. Mecanismos relacionados con flujos de detritos, debido a la existencia de una activa fuente de suministro |

Filitas y cuarcitas de la asociación Mucuchachí afloran extensamente al suroeste, sur y sureste, con aproximadamente el 60 % del total.

Algo más dispersos, los gneises bandeados y graníticos de la asociación Sierra Nevada extensamente intrusionados por una amplia variedad de texturas de masas de granito, que cubren un área del 20 a 25 %. El resto: 15-20 % corresponden a cuarcitas y esquistos de la asociación Tostós, distribuidos preferentemente a los extremos noroeste y noreste, seguidos de las areniscas de la formación Sabaneta y el bloque Cretácico localizado entre Puente Victoria (Nº 21) y la quebrada El Diamante (Nº 19), en la que predominan lutitas, areniscas y calizas.

Aquellas áreas susceptibles a movimientos de masa, señaladas en el trabajo del PNUD (2008), se corresponden en líneas generales con cuatro grandes núcleos, con un alto potencial de colapso: un área muy bien definida ubicada entre las quebradas La Victoria (Nº 21) y El Diamante (Nº 19) y una serie de laderas muy sensibles ubicadas, en forma dispersa, en las quebradas Guayabal (Nº 10), San Isidro (Nº 10) y Ovallos, todas afluentes de la quebrada Mejía. En las subcuencas San Francisco-El Carrizal (Nº 8) y las Tapias (Nº 6), las vertientes inestables se orientan al suroeste (más húmedas), mientras que en la quebrada Las Delicias (Nº 23), en el sector La Playa, se localizan laderas muy inestables, lo que sirve de recordatorio del alud sísmico de La Playa (1610).

6. Evento de lluvia del febrero del 2005

Lamentablemente y debido al desmantelamiento de las estaciones pluviográficas en la cuenca del Mocotíes, no se pudo registrar el evento de lluvia de febrero de 2005. Así, se desconocen las cantidades de lluvia que afectaron al área objeto de estudio; salvo la investigación hecha por Rojas (2010), a partir de la información suministrada por un modelo de pronóstico numérico de alta resolución regional, con todas las limitaciones que implica no poseer información directa de pluviógrafos en la cuenca del Mocotíes, en la que se estima una magnitud de 95 mm de precipitación en el área para el momento del evento, el día 11 de febrero sin considerar las lluvias antecedentes. A diferencia de lo ocurrido en la cuenca del Mocotíes, en el estado Vargas donde se midió el fenómeno a través de diferentes estaciones automatizadas, incluidas las pertenecientes al programa de investigación PROCEDA (Proyecto Cuenca Experimental del San José de Galipán) liderado por la Universidad Central de Venezuela, registrando entre el 07 y 10 de febrero precipitaciones acumuladas para las estaciones Manzanares, San José y Macuto de 304,9 mm; 426,9 mm y 431,0 mm respectivamente (Flores *et al.*, 2010).

En un contexto general-regional se pueden plantear algunas hipótesis que permiten explicar la ocurrencia de la tormenta. Para el caso de Venezuela, los meses de enero, febrero y marzo se caracterizan por ser normalmente secos; sin embargo, en ocasiones se presentan

restos o relictos de frentes fríos de origen extratropical que pueden producir abundantes precipitaciones en el período seco (diciembre-marzo). Estos fenómenos atmosféricos están asociados a masas de aire frío provenientes del hemisferio Norte que se encuentra en invierno astronómico y se reconocen como una franja o banda alargada de nubes orientadas en forma paralela a los Andes venezolanos (dirección noreste-suroeste).

Los restos de frentes fríos pueden, adicionalmente, colisionar o chocar con diferentes grupos de nubes originadas por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), generando volúmenes apreciables de lluvia que pueden actuar como mecanismo desencadenante de crecidas excepcionales y movimientos de masa. Es oportuno señalar que la ZCI, controla buena parte de la actividad atmosférica de la zona ecuatorial-tropical y causa, en Venezuela, la mayoría de las lluvias en los períodos comprendidos entre mayo-junio y septiembre-octubre; de allí que su activación se hace poco frecuente en la época seca.

En las imágenes de satélite correspondientes a la figura 3, se aprecia la secuencia a nivel regional, del evento ocurrido entre el 07 y el 12 de febrero de 2005; en efecto, se observa que las lluvias excepcionales que ocasionaron la tragedia del Mocotíes fueron causadas por la llegada de restos de frentes fríos, los cuales colisionaron con un conjunto de nubes originadas por la ZCI, que se desplazaban en sentido noreste, desde el sureste, sur y suroeste de Venezuela. Estas lluvias no sólo afectaron a la cuenca del Mocotíes, al sur

del lago de Maracaibo y al litoral central (estado Vargas), sino también provocaron el desbordamiento del río de Oro en los municipios Bucaramanga y Girón del departamento de Santander en Colombia, con láminas de precipitación que alcanzaron incluso los 233 mm en la estación Llano Grande, y los 230 mm en la estación Palo Gordo del vecino país, para los días 7 y 8 de febrero de 2005; así como 156 mm y 155 mm durante los días 10-11/02/2005, en las mismas estaciones (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB y Geotecnología LTDA (2005a; b). Igualmente, estas lluvias afectaron a 21 municipios más del mencionado departamento con aproximadamente 6.000 viviendas destruidas, 6.349 familias afectadas y 53 víctimas (Naciones Unidas-Colombia Sala de Situación Humanitaria, 2005).

Evidencias observadas indican que estas lluvias 'inusuales', por estar fuera del período normal del régimen de precipitaciones en la región, no parecen haber configurado un 'evento extremo' y que sin duda el río Mocotíes ocupó, parcialmente en algunas secciones, su cauce excepcional (Dugarte y Ferrer, 2007b). Este caudal se vio acrecentado por los aportes de la quebrada San Francisco y los represamientos generados por la secuencia de abanicos depositados a lo largo del río Mocotíes, provenientes de las quebradas ubicadas en las laderas orientadas al noroeste-norte (vertiente izquierda) de la cuenca, entre Tovar y Puente Victoria (Figura 2), especialmente la obturaciones ocurridas por las quebradas El Tabacal (N° 17) y Los Cedros (N° 18).

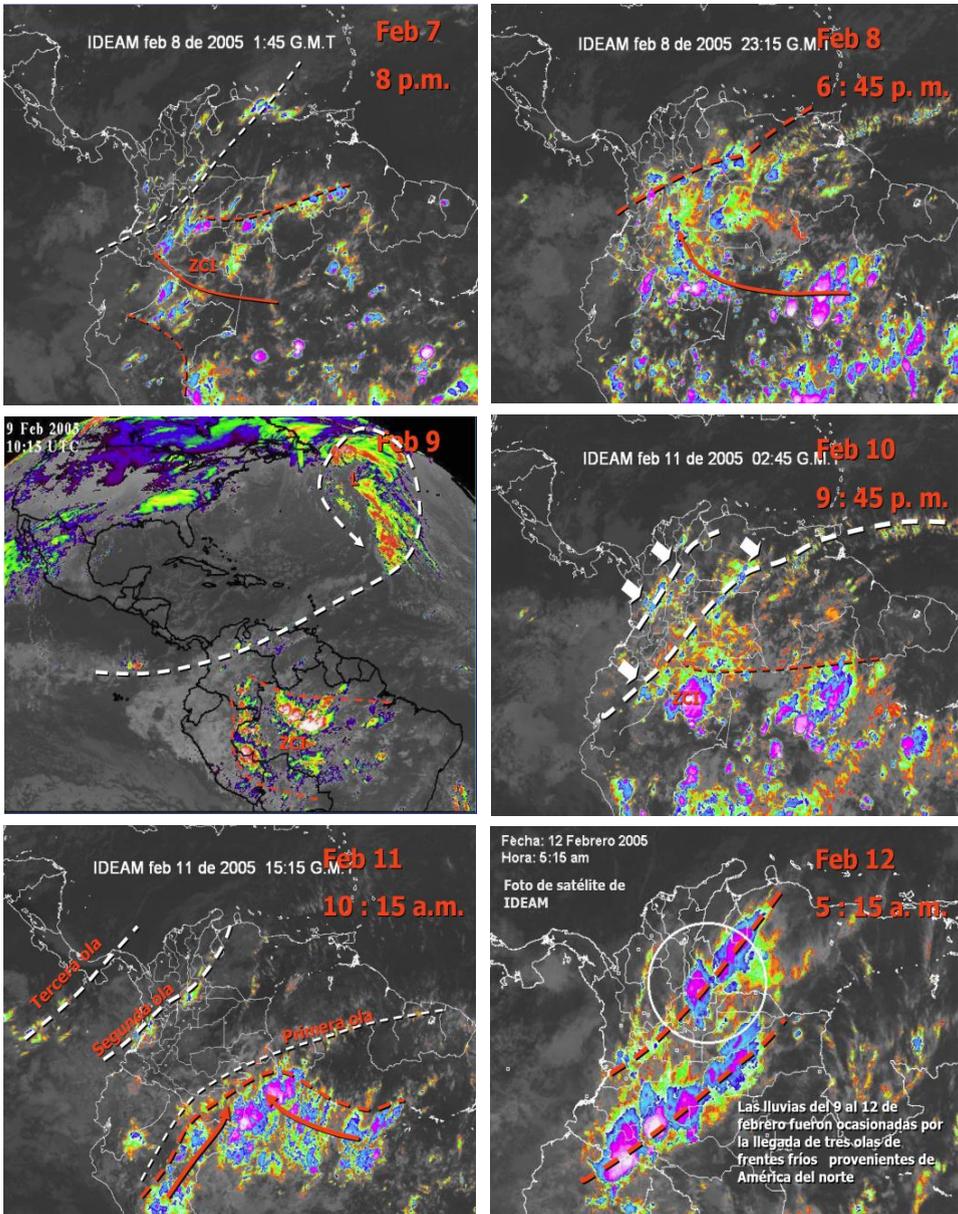


Figura 3. Secuencia a escala regional del evento ocurrido entre el 07 y el 12 de febrero de 2005, a partir de las imágenes satélite de la Earth Science Office de la Nasa (www.ghcc.msfc.nasa.gov), del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y Suarez (2012)

Debido a la escasez de datos pluviométricos, ya comentada en párrafos precedentes, y como punto clave de discusión se puede plantear que la tormenta (que alcanzó un pico de lluvia de 4 a 5 horas en la noche del 11/02/2005 de acuerdo a testigos presenciales) pudo haberse desplazado a baja altura, siguiendo un patrón desde el sureste-suroeste al noreste, ya que los daños y los efectos generados por el desplazamiento de materiales se concentraron, en primer lugar, en la cuenca de la quebrada San Francisco (Nº 8), en la perimetral de Tovar, así como en las quebradas San Pablo-Bodoque y Guarapao; y en segundo lugar, en las quebradas ubicadas en la vertiente izquierda del río Mocotíes entre Tovar (Nº 3) y Puente Victoria (Nº 21). El impacto fue mucho menor aguas arriba de la cuenca en la confluencia del río Zarzales (Nº 5) con la quebrada Las Tapias (Nº 6). Grandes daños, como es el caso del poblado El Guayabal, parecen haber tenido su origen en las construcciones ubicadas en el cauce de la quebrada con el mismo nombre (importante afluente de la quebrada Mejía Nº 10).

Como comentario final: las fuertes precipitaciones que afectaron a todo el litoral central, entre el 15 y el 17 de febrero de 1951 con graves daños y pérdidas de vidas, fueron causadas igualmente por la llegada de restos de frentes fríos, además el fenómeno impactó, al igual que la tormenta de 2005, extensas áreas en la cuenca del río Mocotíes. Esta observación dará bases para analizar un patrón meteorológico con periodos de retorno cada ¿50-60 años?

7. Evaluación geomorfológica de los sectores más afectados por la tormenta de febrero de 2005

La distribución de las precipitaciones caídas en la cuenca no fueron uniformes; tampoco los daños reportados. Los impactos se concentraron en los siguientes sectores: (i) sección superior de las subcuencas San Pablo-Bodoque (Nº 11) y Guarapao (Nº 12); (ii) subcuenca San Francisco (Nº 8) y, (iii) microcuencas torrenciales ubicadas entre Tovar-Puente Victoria (Figura 2), así como en la quebrada El Guayabal al sur de Santa Cruz de Mora, cuyos efectos fueron ampliamente tratados por Ayala *et al.* (2007). Más adelante se mencionan algunas consecuencias dejadas por este evento en las áreas del sur del lago de Maracaibo.

7.1 Sección superior de las subcuencas San Pablo-Bodoque y Guarapao (i)

Este conjunto de quebradas, ubicadas entre las poblaciones de La Playa y Bailadores (Figura 2), previamente referenciadas en el cuadro 2, tuvieron una respuesta similar ante el evento del 11 de febrero; es decir, se comportaron siguiendo un mecanismo tipo crecida ‘normal’, según la clasificación utilizada por Costa (1984), donde los aportes de agua fueron claves, ocupando amplias superficies de explayamiento, especialmente en la parte inferior de la quebrada Guarapao (Figura 4).

Dos aspectos son dignos de destacar en esta sección del valle: (a) topográficamente, el sector de La Playa forma una



Figura 4. En la fotografía se puede observar el comportamiento de la quebrada Guarapao (N° 12 de la Figura 2), a poca distancia de la población de La Playa como consecuencia de la tormenta. Destaca en este caso, una dinámica más relacionada con una respuesta hidráulica, con desbordes que ocuparon la totalidad del abanico. (Imagen cortesía del vuelo ULA-INTI-Ejército del 26/02/2005)

especie de ‘embudo’ que obliga al río Mocotíes a transitar por una estrecha garganta; aguas arriba la sección se amplía en el sitio conocido como El Dique y El Rincón de la Laguna; (b) esta situación, muy particular, es consecuencia de la obstrucción dejada por el sismo del 03 febrero de 1610 (Singer, 1998; Singer y Lugo, 1982; Ferrer y Laffaille, 1998) y muy probablemente otros eventos históricos de igual o mayor magnitud². Esta quebrada, Guarapao, cuya área cubre 8,06 km² (Cuadro 2), parece haber tenido una dinámica muy activa en el tiempo, tal y como lo reflejan los testimonios de algunos habitantes de La Playa, en especial la referencia sobre un evento de lluvias extraordinario que ocurrió a principios del siglo XX (?), y cuya consecuencia más importante fue la destrucción de un tem-

plo. Estas ruinas pueden ser fácilmente reconocidas hoy en día (O. Gorrochotegui, Comunicación Personal, 2001; referenciado en Laffaille *et al.*, 2005, y Duterte y Ferrer (2007a; b); lo que difiere de lo afirmado por Duterte (2002).

La cuenca de captación de esta quebrada se corresponde con los esquistos micáceos y cuarcitas de la asociación Tostós (Paleozoico Superior), y con los gneises bandeados y graníticos de la asociación Sierra Nevada (Precámbrico Superior), los cuales se encuentran profundamente fracturados y meteorizados. En las mencionadas condiciones, estos materiales poseen un alto potencial de remoción.

A partir de las evidencias de campo y del análisis de las imágenes aéreas ‘frescas’, se puede confirmar que en este sec-

tor de Guarapao se produjo, por un lado, un represamiento de magnitud más bien moderada, y, por otro, probablemente el hecho más importante, que la tormenta del 11/02/2005 movilizó en este sitio principalmente agua con cantidades menores de sólidos. Ello tiene una particular importancia en el bajo nivel de daños que experimentó esta área.

Una estimación visual de los aportes del río Mocotíes, aguas abajo de la sección analizada, pudo ser apreciada en el año 2005, en la confluencia de este curso con la quebrada San Francisco.

7.2 Subcuenca de la quebrada San Francisco (ii)

Alcanza una extensión de 45,42 km² (Cuadro 2) y se caracteriza por presentar fuertes valores de pendiente, en gran parte superiores al 45 %, y una dinámica geomórfica muy intensa. Dugarte (2002) llegó a detectar una serie de aspectos que definen un área altamente sensible, entre las que destacan: condiciones estructurales que generan un alto fracturamiento en las filitas altamente foliadas y cuarcitas de la asociación Mucuchachí; en este sentido, se llegaron a definir una serie de fallas secundarias, muy densas, con trazas de 1 a 9 km de longitud de clara orientación oeste-noroeste, y una alta densidad de planos de foliación y diaclasas a favor de la cara libre de los taludes y laderas. Esta situación pone a la disposición grandes volúmenes de sedimentos, lo que hace de estos macizos rocosos, áreas altamente propensas a la ocurrencia de movimientos de masa.

Es importante señalar, sobre todo con fines prácticos, que el fenómeno generado en esta cuenca se puede relacionar con torrentes de detritos, donde el elemento agua jugó un papel importante con respecto al aporte de sólidos movilizados el 11 de febrero; situación que era de esperarse en una cuenca con el alto potencial de generar estos procesos y con condiciones geomecánicas de los macizos como los descritos.

Un análisis detallado del mapa geomorfológico de Dugarte (2002) y PNUD (2008) permite visualizar que el sector Carrizal, ubicado en la margen izquierda de la quebrada San Francisco y cuyas laderas se orientan al noreste, constituye el macizo más sensible y cuyos niveles de estabilidad relativa fueron clasificados en su momento por Dugarte (2002), como 'potencialmente inestables' e 'inestables'. Esta área resultó ser la más afectada de la subcuenca y, aparentemente, fue la que aportó considerables volúmenes de material al cauce de la quebrada San Francisco, generando grandes daños en su sección inferior, lo que, sin duda, colaboró en el desbordamiento del río Mocotíes. El impacto dejado por las lluvias analizadas demuestra la importancia que tiene el hecho de contar con información de este tipo, para el uso racional de los recursos.

Especial relevancia adquiere el comportamiento del río Mocotíes en el segmento comprendido desde la desembocadura de la quebrada San Francisco (Nº 8) hasta las proximidades del abanico formado por la quebrada La Cucuchica (Nº 9), en un trayecto de unos 5,7 km.

Gran parte de los daños propiciados directamente por el río Mocotíes, se concentraron en esta sección, evidenciándose por la destrucción de una gran parte de la avenida Perimetral de Tovar y de numerosas viviendas. Esta conducta hidráulica del río Mocotíes se puede explicar por las características de su cauce que en aproximadamente 600-700 m, a partir de la unión con la quebrada San Francisco, entalla profundamente un relicto de sedimentos del Cuaternario y corta, más adelante, las rocas del basamento (flitas de la asociación Mucuchachí) en las cercanías del sector La Vega, aumentando significativamente su pendiente longitudinal.

Como consecuencia de este proceso de incisión vertical, que afecta a la llamada Galera de Tovar, se produce una pronunciada garganta y un incremento importante en el aporte de sedimentos. Estas condiciones topográficas inciden en un notable incremento de la velocidad del río que se traduce, a su vez, en una violenta salida y un verdadero explayamiento de los materiales aguas abajo. Se puede pensar que el curso del río Mocotíes tendió a comportarse localmente, bajo una conducta muy semejante a la dinámica de un abanico de detritos. Esta hipótesis podría explicar, parcialmente, los niveles de destrucción en el sitio. Los daños generados se debieron tanto a la socavación lateral como a la salida parcial del agua, sedimentos y escombros del cauce del río.

Las fotografías aéreas tomadas previamente, a la modificación del cauce del río Mocotíes para construir la avenida

Perimetral, muestran un patrón de drenaje con alta tendencia a ser anastomosado. Esta respuesta hidráulica del curso corrobora las condiciones críticas de la sección y obliga a restringir su uso en lo referente a la construcción de viviendas. Es interesante recordar que el área descrita parece haber acomodado la mayor parte del caudal generado por la 'ola de descarga', luego de colapsar la laguna de obturación en La Playa, originada por el sismo de 1610 (Ferrer y Laffaille, 1998).

7.3 Microcuencas torrenciales ubicadas entre Tovar (Nº 3) y Puente Victoria (Nº 21) (iii)

Otra de las áreas, extremadamente sensibles, que se vieron fuertemente afectadas como consecuencia de la tormenta lo constituyeron aquellos sectores ubicados en la vertiente izquierda del valle del río Mocotíes. Se trata de una colina alargada de aproximadamente 21,7 km de largo por 3,5 km de ancho, de relieve moderado, con alturas entre 600-1.100 msnm y caracterizada por una serie de pequeñas quebradas de corto recorrido (Cuadro 2).

Esta colina puede ser a su vez subdividida en tres sectores, respondiendo al control litológico: el primero se extiende desde Tovar (Nº 3) hasta la quebrada El Tabacal (Nº 17); las subcuencas y microcuencas localizadas aquí se encuentran altamente influenciadas por los profundos perfiles de meteorización generados por la descomposición de las rocas de la asociación Sierra Nevada. El segundo grupo que abarca desde la quebrada El Tabacal (Nº 17) hasta la quebrada Los

Cedros (N° 18), también conocida como La Cascada o Pañoleta, en Santa Cruz de Mora (Figura 5a y 5b); estos cursos están influenciados tanto por el material antes mencionado como por los esquistos de la asociación Tostós. El tercer sector se relaciona con la presencia de un 'bloque tectónico', constituido por rocas cretácicas y en posición estructural muy compleja, que definen el comportamiento de las quebradas de este sector hasta el sitio de Puente Victoria. Sin duda, el papel jugado por la litología previamente descrita, estructuralmente muy debilitada por un extenso fracturamiento y de baja calidad geotécnica, ha determinado la conducta de estas quebradas y controlado tanto la geometría, mecanismo y carácter sedimentológico de todos estos sistemas de abanicos de detritos.

Los efectos de las precipitaciones caídas entre los días 07-10 de febrero, consideradas 'lluvias antecedentes', deben

haber saturado parcialmente tanto los espesos perfiles de meteorización como las rocas profundas y muy fracturadas, dando origen a una secuencia importante de flujos de detritos y flujos de lodo.

Por otra parte, la crecida del río Mocotíes generó un represamiento temporal en su desembocadura con el río Chama y la acción combinada de los dos drenes causó graves daños a la autopista Rafael Caldera (vía que une la ciudad de Mérida con El Vigía).

Los impactos generados por esta tormenta al sur del lago de Maracaibo no han sido evaluados en profundidad; tal objetivo escapa a este trabajo. Sin embargo, vale la pena nombrar dos aspectos que llaman la atención: (i) la presa del río Onia estuvo a punto de colapsar como consecuencia de una erosión regresiva que casi afecta el aliviadero de esta importante obra, diseñada para el control de inundaciones, y (ii) según los poblado-

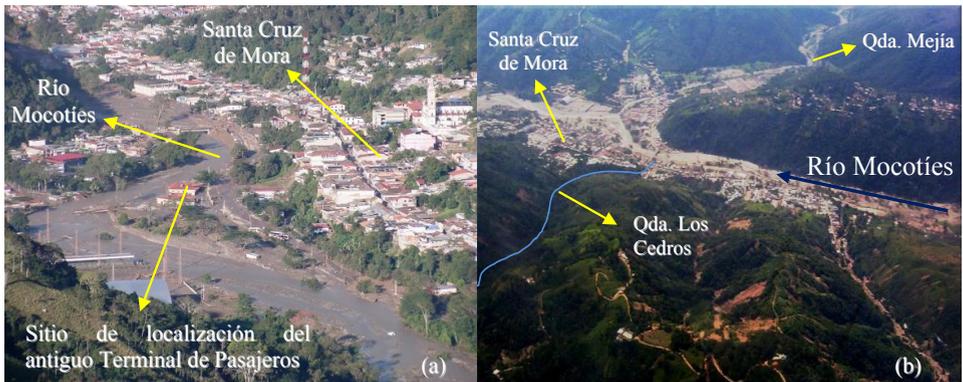


Figura 5. (a) La mayoría de las pérdidas de vidas humanas ocurrieron en esta área de la población de Santa Cruz de Mora, especialmente en el Terminal de Pasajeros; la mayor parte no eran habitantes de la cuenca y al restringirse el paso de vehículos quedaron 'atrapados'. (b) En contraste con la figura 4, las quebradas de todo este sector generaron violentos flujos de detritos, destruyendo casi la totalidad de los pequeños poblados y ocasionando represamientos del río Mocotíes; ambos factores agravaron el problema. En el sector Los Cedros (N° 18 de la Figura 2), la población demostró una envidiable cultura preventiva. Para detalles ver el texto

res de Santa Bárbara y San Carlos del Zulia, se trató de uno de los desbordamientos más grandes registrados en la historia (?). En contraste con estas afirmaciones, en el interesante trabajo llevado a cabo por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2013), se señala que las inundaciones que se presentaron en la zona sur del lago, a partir del evento de febrero del 2005, fueron relativamente bajas, ello en comparación con los eventos de crecidas de abril de 1969, abril-mayo de 1972, diciembre de 1975-enero de 1976 y noviembre-diciembre de 2010.

8. Discusión y conclusiones

Entre los aspectos más resaltantes de la cuenca del río Mocotíes se encuentra su marcada asimetría. Este rasgo es contrastante entre las vertientes ubicadas al noreste-noroeste de menor extensión de aquellas dispuestas al sureste-suroeste. A esta diferenciación topográfica se le agrega la disimilaridad litológica de los macizos rocosos separados por el río Mocotíes. Esta realidad contrapuesta permite explicar la respuesta de estos terrenos ante un evento inusual, como fue la tormenta de febrero de 2005 y cuya explicación del fenómeno resulta una tarea obligatoria, a casi una década de su acontecimiento.

En el mismo sentido hay que hacer énfasis en la importancia de los levantamientos geomorfológicos de tipo heurístico, como el elaborado por Dugarte (2002), cuyos resultados fueron presentados en el V Congreso Venezolano de

Geografía, tan sólo dos meses antes de ocurrir la tormenta (Dugarte y Ferrer, 2004), y donde se pronosticaba el comportamiento de aquellas subcuencas que sufrieron los mayores impactos. Ello resalta el potencial de estas herramientas prospectivas potenciadas por el uso de los Sistemas de Información Geográfico (SIG) y la posibilidad de establecer escenarios, en el caso de la prevención y gestión de riesgos (Ferrer, 2005; PNUD, 2008; Delgadillo y Páez, 2008).

En el período comprendido entre el 07/02 y el 12/02 del año 2005, el fenómeno hidrometeorológico ya analizado, afectó a los Andes venezolanos, amplias zonas al sur del lago de Maracaibo y el estado Vargas (litoral central), además causó el desbordamiento del río de Oro que perjudicó a varios municipios del departamento de Santander en Colombia. Se trató de un evento inusual, ya que las precipitaciones se presentaron en un mes tradicionalmente seco. Desafortunadamente, y debido a la ausencia de estaciones pluviográficas operativas en la cuenca del Mocotíes, no fue posible medir dicho evento, salvo la información recopilada de testigos presenciales, en la que se señala que las lluvias alcanzaron un 'pico' durante 4-5 horas, en la noche del 11 de febrero. Los pocos registros fluvio-gráficos existentes de la antigua estación Mocotíes en Puente Victoria, se corresponden con tan sólo 2 años de registros (1968 y 1969), por lo que tampoco se dispone de información de caudales medidos durante el evento en estudio. Salvo las estimaciones realizadas por E. Jáureguí y E. Mora en el año 2005, a partir de

indicadores de crecidas (marcas frescas), en la desembocadura del río Mocotíes en el río Chama (puente Caña Brava), que les permitió calcular una crecida máxima de aproximadamente 700 m³/s para este importante evento (Eugenio Mora, Comunicación Personal, 2013).

Con base en los resultados aquí expuestos, la tormenta siguió una clara dirección sureste-suroeste al noreste, con la característica de que pudo haberse desplazado a baja altura. En el registro histórico se tienen evidencias no conclusivas de una tormenta ocurrida en el mes de febrero del año 1910 (?), que ocasionó serios daños (evidencias de ruinas en una Iglesia de La Playa); estas lluvias, al parecer siguieron un patrón similar a las aquí analizadas. La tormenta de febrero del año 1951, mejor documentada, afectó las mismas localidades que la ocurrida en el 2005: cuenca del río Mocotíes, sur del lago de Maracaibo y estados Falcón y Vargas.

Los registros de las antiguas estaciones Tovar (serial 3069), Santa Cruz de Mora (serial 3065) y La Playa (serial 3066), muestran unos valores acumulados de precipitación para el mes de febrero del año 1951 de: 284,5 mm; 143,0 mm y 176 mm, profundidades considerables de lluvias, si se toma en cuenta que los registros históricos promedios del mes de febrero en dichas estaciones no sobrepasan los 45 mm de lámina y las medias anuales de todo el período de medición alcanzan como máximo, un valor de 1.029,2 mm en la estación Santa Cruz de Mora. Adicionalmente en la estación Zea (serial 3063, período 1949-1970),

muy cercana a la cuenca del Mocotíes, se registró en febrero de 1951 un total de 340,5 mm; siendo el promedio anual de la estación igual a los 1.111,0 mm y de 69,4 mm la media histórica para el mes de febrero.

Ello parece demostrar, como se puede observar en la secuencia de imágenes de la figura 3, que los períodos secos pueden ser interrumpidos por restos de frentes fríos provenientes del hemisferio norte, que pueden colisionar con la activación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), tal y como ocurrió en febrero del 2005; todo lo anterior da la posibilidad de plantear un origen y un patrón meteorológico del evento de lluvia analizado, semejante a los ocurridos históricamente y con un período de retorno de 50-60 años (?).

De los resultados del análisis morfo-métrico, se resalta que aquellas subcuencas que ocupan las mayores extensiones se ubican al este y sureste del río Mocotíes, es el caso de las quebradas San Francisco (45,42 km²) y Mejía (114,71 km²); mientras que los sistemas de drenaje ubicados al noreste y noroeste ocupan áreas mucho más modestas con la presencia inclusive de microcuencas. Para resaltar esta asimetría un 67,42 % de la superficie total se distribuye al sur, a diferencia del 32,58 % de su contraparte.

El comportamiento geomorfológico de la cuenca del río Mocotíes fue mucho más complejo que el planteado por Roa (2007), a partir del uso de imágenes de satélite. Sin duda la evaluación fue rápida, que es la principal utilidad de esta técnica, pero indudablemente para ser

efectiva se requería de un buen control de datos en tierra y una adecuada consulta a la abundante bibliografía que se había generado antes y después de la tormenta.

En el caso concreto del análisis de los efectos hidrogeomorfológicos de la tormenta de febrero de 2005, dos sectores destacan como respuesta de la cuenca al evento: (i) áreas ubicadas aguas arriba de la ciudad de Tovar, y (ii) sección media-inferior de la cuenca, desde este centro urbano hasta la desembocadura del río Mocotíes con el río Chama.

8.1 Áreas afectadas en la sección media-superior de la cuenca (i)

Las subcuencas Guarapao (Nº 12) y San Pablo-Bodoque (Nº 11) poseen densidades de drenajes altas, mientras que la subcuenca de la quebrada San Francisco (Nº 8) presenta un factor forma que la categoriza como ensanchada, aspectos estos que incrementan las probabilidades de ser afectadas por ‘crecidas normales’. De acuerdo al patrón seguido por estas lluvias, la subcuenca de la quebrada San Francisco fue precisamente la que sufrió los mayores daños materiales y aportó un caudal apreciable al cauce del río Mocotíes. Además de los aspectos morfométricos que indicaban el potencial de crecidas, la litología y el comportamiento geomecánico de los macizos jugó un papel muy importante en la respuesta hidrológica y geomorfológica de esta cuenca.

Las quebradas Guarapao y San Pablo-Bodoque (muy cerca de La Playa) presentaron un comportamiento similar a

un desbordamiento. La topografía suave del lugar (valores de pendiente menores al 3%) y el efecto de ‘embudo’ favorecido por las colinas de obturación generadas por el sismo de 1610 y otros movimientos sísmicos, influyeron notablemente en esta situación, así como en el moderado-bajo aporte de sólidos. Caso particular lo constituye la garganta, de corto recorrido y sección muy estrecha, ubicada entre la desembocadura de la quebrada San Francisco y el río Mocotíes en la llamada Galera de Tovar, en las cercanías del sector La Vega (Figuras 6a y 6b). Los efectos hidráulicos de esta topografía se traducen en reguladores de crecidas, retención de volúmenes importantes de sedimentos, represamientos y un incremento notable de la velocidad aguas abajo.

Un aspecto muy parecido fue reportado por Ingenieros de Santis CA (1991) y Ferrer y Dugarte (2005), en la cuenca del río Yacambú en el estado Lara. El efecto local sobre la avenida Perimetral de la ciudad de Tovar (Figura 7) que, además de explicar los severos daños ocurridos en el sitio, sirve de alerta para los planificadores urbanos. De hecho fue el violento explayamiento a la salida de la garganta, aunado a un cambio en los valores de pendiente y la acumulación de materiales, lo que generó un mecanismo del tipo abanico de detritos. Fenómeno que se repitió, lógicamente con menor magnitud, en la tormenta del 22-23 de abril del año 2012, y que afectó a varias viviendas de la margen izquierda del río Mocotíes a la altura de la estación de los Bomberos de Tovar (estación de Bomberos Número 3, General Francisco Picón González), ge-



Figura 6. (a) Vista panorámica aérea del Sector La Vega en Tovar: en puntos se observan, los límites del cauce del río Mocotíes luego del evento del 11/02/2005; las flechas segmentadas muestran los procesos intensos de socavación lateral por parte del mencionado sistema fluvial, en una de las áreas más afectadas. (b) En este sector de La Vega, el río Mocotíes tuvo un comportamiento, localmente semejante a la dinámica de un abanico de detritos. Se observa adicionalmente, la garganta (demarcada con la elipse) o canal de transporte que efectúa el traslado de la carga líquida-sólida y que corta la 'Galera de Tovar', así como la sección que recibe o acumula los sedimentos: el abanico delimitado con líneas segmentadas. (Fotografías cortesía de la Guardia Nacional Bolivariana y la Aviación Militar Bolivariana, pertenecientes al vuelo en helicóptero del 16/02/2005)

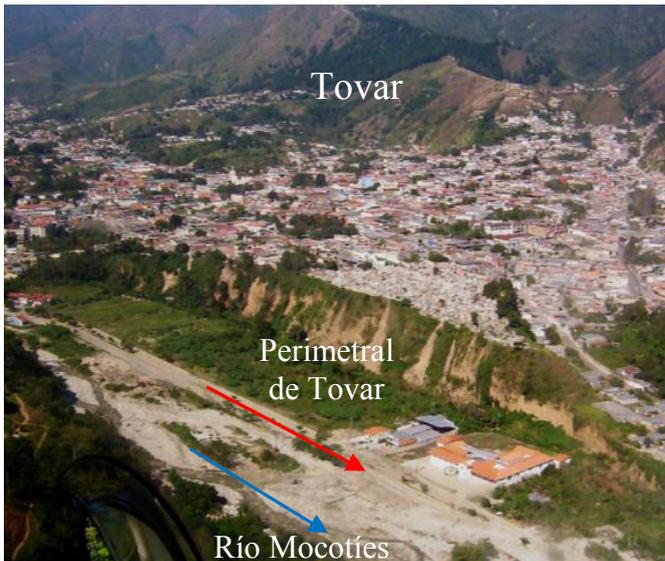


Figura 7. Vista panorámica aérea de una parte de la Perimetral de Tovar, la cual se constituyó en una de las áreas de más afectadas por parte del río Mocotíes durante el evento del 11/02/2005. Al fondo se observa la ciudad de Tovar, emplazada sobre abanicos aluviales coalescentes del Pleistoceno Tardío. (Imagen cortesía del vuelo ULA-INTI-Ejército del 26/02/2005)

nerando el desborde del río hacia la Perimetral (metros abajo de la sede del PD-VAL-Tovar). Es importante señalar que el evento de abril del 2012 dejó unas 300 familias damnificadas y unas 70 familias incomunicadas en la toda la cuenca del Mocotíes (Sánchez, 2012).

8.2 Sección media-inferior de la cuenca (ii)

Al seguir la trayectoria de la tormenta, sureste-suroeste al noreste, las mayores láminas de precipitación se concentraron en las laderas y microcuencas situadas de la margen izquierda del río Mocotíes entre Tovar (3) y Puente Victoria (Figura 2). De allí la paradoja: modestos drenes de áreas variables entre 1,48 km² y 4,24 km² (Cuadro 2), aportaron grandes cantidades de sedimentos en forma de flujos de detritos, contribuyendo a generar espesos abanicos. Estos cuerpos sedimentarios contribuyeron a la extensa destrucción de la vía carretera principal y numerosas viviendas.

Dos ejemplos se pueden sintetizar de lo ocurrido a lo largo de esta sección: La quebrada San Diego (N^o 15) y la quebrada Los Cedros (N^o 18). En el caso de la microcuenca San Diego se trata de uno de los drenes que aportó mayores sedimentos; abanicos de detritos con espesores superiores a los 15 metros con un área de captación de apenas 1,48 km², un factor forma de 0,59; aunado a una muy alta densidad de drenaje de 5,03 km/km² (Cuadro 2) y una pendiente media del cauce principal de 21,5%. Estas particularidades morfométricas le confieren a la

quebrada San Diego una alta propensión a la generación de crecidas en tiempos de concentración muy cortos. A ello se le agrega las condiciones del material: el relativo fácil acceso a lo largo del cauce permitió observar en campo los amplios cuerpos graníticos de texturas variables de granular a pegmatítica, alojadas en la roca huésped (gneises bandeados densamente diaclasados). El desarrollo de profundos perfiles de meteorización, estimados en espesores mayores a los 40 metros, indudablemente contribuyó con la generación de complejos movimientos de masa, que alimentaron los flujos de detritos presentes en este sector y que se constituyen a su vez en ejemplos clásicos³.

En cuanto al comportamiento de la quebrada Los Cedros, ubicada en Santa Cruz de Mora, este adquiere especial relevancia debido a los múltiples represamientos y generación de sucesivas rupturas que alimentaron el abanico donde se asienta el barrio La Carmania. En la desembocadura de esta quebrada con el río Mocotíes se generó, en el evento de febrero de 2005, un represamiento y desvío del curso en dirección al sector El Aserradero, al Terminal de Pasajeros y hacia la quebrada Mejía (10). Esta dramática situación produjo la mayor cantidad de fatalidades durante la tormenta⁴.

En este contexto es importante analizar la conducta de la subcuenca Mejía-Guayabal (10), la cual alcanza la mayor extensión en el área de estudio (114,7 km²), y cuya respuesta a la tormenta del año 2005, está relacionada con flujos hiperconcentrados; y donde además los

desbordes fueron generalizados en algunas secciones. La presencia de diques de protección aguas abajo de la confluencia de las quebradas Guayabal y San Isidro, para formar la quebrada Mejía, indican que este comportamiento se ha repetido en el pasado. Consideración aparte merece la quebrada El Guayabal, reportada por Ayala *et al.* (2007) como un área altamente inestable. Los problemas de índole geomorfológica se asocian a las características estructurales de las filitas finamente foliadas y las cuarcitas de la asociación Mucuchachí (Paleozoico Superior). Esta unidad rocosa genera perfiles de meteorización poco espesos y el mecanismo observado en las laderas del Guayabal es común en otras áreas donde aflora este conjunto rocoso en los Andes venezolanos.

Es oportuno señalar, a manera de conclusión, que el aporte de estudios de este tipo donde se realiza la evaluación de las condiciones previas de los terrenos y la calibración posterior de los resultados, constituye sin duda un valioso aporte a la planificación, ordenamiento territorial y aquellos programas a ser instrumentados en la Gestión del Riesgo, especialmente en una región que puede ser considerada altamente frágil, sometida a severos procesos de intervención antrópica y donde eventos como el ocurrido en febrero del año 2005 deben constituir escenarios altamente probables, que se repitan en el futuro.

9. Agradecimientos

Los autores desean testimoniar su agradecimiento a Raúl García Jarpa, Presidente de Corpoandes, por su oportuna invitación a participar en el Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos (en marzo de 2005). A las periodistas M. Avendaño y D. Díaz, del Diario Frontera, y María de los Angeles Pérez de ULA TV, por la receptividad, honestidad profesional y difusión equilibrada de los hechos, acaecidos en la cuenca del río Mocotíes, así como a nuestro amigo Jaime Laffaille por sus aportes y compañerismo. Un reconocimiento a la profesora Ada Moreno por su ayuda en el diseño de las figuras y en la revisión del manuscrito y al profesor Roberto Duque por facilitar los registros históricos de precipitación del área de estudio. Recomendaciones e ideas puntuales hechas a este artículo fueron realizadas por el profesor Eugenio Mora y las profesoras Junnyluz Méndez y María Isabel Rojas, a quienes también extendemos nuestro agradecimiento.

Los autores agradecen igualmente los aportes de los evaluadores anónimos, cuyas observaciones ayudaron a mejorar notablemente el texto de este trabajo.

10. Notas

1. Costa (1984) clasifica los flujos de sedimentos/agua en cauces, en tres tipos: crecidas 'normales' (*water flood*) con una relación 1-40% de sólidos vs agua; flujos hiperconcentrados: 40-70 % de sólidos, y flujos de

detritos/lodo: hasta 70-90% de sólidos. Este último proceso se clasifica como un movimiento de masa.

2. En el año 2009 se realizó una serie de perforaciones en el Rincón de La Laguna (La Playa); estos trabajos fueron coordinados por Maximiliano Bezada y su equipo de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador y donde también participaron J. Laffaille y C. Ferrer. En esta exploración preliminar del subsuelo se detectaron espesores de sedimentos fluvio-lacustres de hasta 9 metros.
3. En la vía Tovar-Zea se puede observar en un talud de corte de la carretera un magnífico ejemplo de un profundo perfil de meteorización (cerca de 80 m de espesor), desarrollado en estos gneises de la asociación Sierra Nevada y extensamente intrusionados por cuerpos graníticos.
4. Un aspecto que complementa los alcances de este trabajo y que merece un reconocimiento especial, tiene que ver con los niveles de percepción de las comunidades. En la quebrada Los Cedros (Nº 18; Figura 2), en Santa Cruz de Mora, como consecuencia de la tormenta, se reactivó un abanico de detritos que afectó al barrio La Carmania. Resulta pedagógico analizar la respuesta dada por los habitantes de esa comunidad en función de una 'cultura de prevención'. Relatan los moradores que las lluvias precedieron en cinco o seis días al evento principal y notaron además represamientos en varios segmentos de la quebrada e instrumentaron una red sencilla de vigilancia. En la noche de la tormenta (11 de febrero), algunos testigos observaron una interrupción del caudal y desalojaron todo el sector buscando sitios que les brindasen una mayor protección. De

esta forma, entre doscientas sesenta (260) y doscientas noventa (290) personas se desplazaron hacia una colina cercana que les sirvió como refugio temporal y punto de observación del flujo y de la destrucción de sus viviendas. Testimonios recogidos por Marbella Dugarte, Jaime Laffaille y Carlos Ferrer en septiembre de 2005.

11. Referencias citadas

- AUDEMARD, F. 1997. *Holocene and historical earthquakes on the Bocono fault system, southern Venezuelan Andes: Trench confirmation*. **J. Geodynamic**. 24: 1-4.
- AUDEMARD, F. y A. SINGER. 1996. *Active fault recognition in northwestern Venezuela and its seismogenic characterization: Neotectonic and paleoseismic approach*. **Geofísica Internacional**. 35: 245-255.
- AVENDAÑO, M. 2005. *En cuatro áreas se sectorizó impacto directo de la tormenta del Mocotíes* (Entrevista a: M. Dugarte y C. Ferrer). **Diario Frontera**, 13 de mayo, p B1.
- AYALA, R.; PÁEZ, G. y F. ARAQUE. 2007. *Análisis geomorfológico de la microcuenca El Guayabal, a propósito de la ocurrencia de las lluvias excepcionales de febrero 2005. Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela*. **Revista Geográfica Venezolana**. 48: (1) 59-82.
- BONGIORNO, F.; GONZÁLEZ, L.; BELANDRÍA, N. y R. PÉREZ. 2010. *Análisis de vulnerabilidad y aspectos geológicos in-fluyentes en los sucesos del año 2005 en el valle del Mocotíes, estado Mérida*. **Revista Ciencias e Ingeniería**. 31 (2): 69-76.
- BRICEÑO, H. y C. FERRER. 1992. *El conflicto agrominero de Bailadores: Un intento de*

- evaluar los impactos ambientales en una comunidad agrícola de los Andes venezolanos. Revista Geográfica Venezolana.* 33 (2): 189-228.
- CASTILLO, M. y J. CASTILLO. 1970. *Clasificación interpretativa de los suelos y condiciones del clima en la cuenca del Mocotíes, estado Mérida. Revista Geográfica Venezolana.* XI: (24-25) 55-67. (Publicada en 1974).
- CASTILLO, J.; SALAS, F.; TRUCIC, M. y R. MARRANTE. 1972. *Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón - Subproyecto N° 1 Suelos - Oficina de Publicaciones Geográficas.* Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. ULA-Mérida. 130 p. (Inédito).
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) y GEOTECNOLOGÍA LTDA. 2005a. *Documento de diagnóstico amenazas de inundación y erosión en el río Oro.* Volumen 0: Introducción. En: Suárez J. (coord.). 32 p. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?download=220:219-tomo0-riodeoro-introduccion-resumen-ejecutivo>
- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) y GEOTECNOLOGÍA LTDA. 2005b. *Documento de diagnóstico amenazas de inundación y erosión en el río Oro.* Volumen 2: Meteorología e información hidrológica. En: Suárez J. (coord.). 75p. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?download=224:223-tomo2-riodeoro-meteorologiaehidrologia>
- COSTA, J. 1984. Physical geomorphology of debris flows. En: J. E Costa y R. J. Fleisher (eds.). **Development and Applications of Geomorphology.** 268-317. Springer-Nerlag, Berlin.
- CORPORACIÓN DE LOS ANDES, 2005. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos.* Publicaciones de la Corporación de los Andes. 64 p. Mérida-Venezuela (4 de marzo).
- DELGADILLO, A. y G. PAEZ. 2008. Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas. En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (coord.). **Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida.** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)-Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS). 73 p. (Inédito).
- DÍAZ, D. 2005. *Cultura de la prevención debe llegar hasta el último barrio de Mérida* (Entrevista a: M. Dugarte y C. Ferrer). **Diario Frontera**, 19 mayo, p B1.
- DUGARTE, M. 2002. *Evaluación de áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masa en la cuenca del río Mocotíes del estado Mérida.* Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Tesis de Magister Scientiae en Manejo de Cuencas Hidrográficas. 111 p.
- DUGARTE, M. y C. FERRER. 2004. Una aproximación al estudio de los problemas de

- inestabilidad en la cuenca del río Mocotíes. *Memorias del V Congreso Venezolano de Geografía*. 1-13. Mérida-Venezuela. (29 de noviembre al 03 de diciembre). Tema III Geomorfología. Amenazas Naturales y Riesgos Ambientales.
- DUGARTE, M. y C. FERRER. 2007a. Tormenta de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes (Andes meridionales). Escenario de contrastes: El antes, durante y después. *Memorias del XI Encuentro de Geógrafos de América Latina*. 1-21. Bogotá-Colombia. (26 al 30 de marzo), (CD-ROM; Mesa 3. Los Retos Ambientales Hemisféricos, el Desarrollo Económico y la Sostenibilidad Ambiental).
- DUGARTE, M. y C. FERRER. 2007b. La geomorfología y su potencial como herramienta prospectiva ante los desastres naturales: Caso de la tormenta de febrero de 2005 en la cuenca del río Mocotíes. *IX Congreso Geológico Venezolano*, Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela (21-25 de octubre), (CD-ROM).
- DUQUE, R. y A. BARRIOS. 1987. *Actualización del estudio de las crecidas de la zona sur del lago de Maracaibo, estado Zulia*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) y Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Tomos 1 y 2. Proyecto. 132 p. + Anexos. (Inédito).
- FERNÁNDEZ, C. y C. PARRA. 2011. *Estimación de la vulnerabilidad social ante amenazas por crecidas y movimientos de masa. Santa Cruz de Mora, municipio Antonio Pinto Salinas-estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 149 p. + Anexos. (Inédito).
- FERRER, C. 2005. *Impacto geomorfológico del evento ocurrido el 11 de febrero en el valle del Mocotíes y en la vía Mérida-Panamericana*. Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y Medidas para una Gestión de Riesgos. Publicaciones de la Corporación de los Andes. 9-17. Mérida-Venezuela (4 de marzo).
- FERRER, C. y M. DUGARTE. 2005. *Geología y geomorfología de la cuenca del río Yacambú. Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Unidad de Prestación de Servicios y Proyectos Forestales, Geográficos, Agropecuarios y Ambientales-Universidad de Los Andes (UFORGA-ULA). Mérida-Venezuela. (Capítulo 2). Informe Técnico, 116 p. (Inédito).
- 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.; DUGARTE, M. y G. ROA. 2007. Fenómeno hidrometeorológico e impacto geomorfológico dejado por la tormenta del siete al trece de febrero de dos mil cinco, en la cuenca del río Mocotíes, Andes venezolanos. En: J. Muñoz (ed.). **Experiencias andinas en mitigación de riesgos geológicos**. Publicación Geológica Multinacional, N° 5. 83-87. Programa Multinacional Andino (PMA: GCA). Santiago de Chile.
- FLORES, H.; GARCÍA, R.; LÓPEZ J.; SALCEDO, A. y M. NALEZZO. 2010. La cuenca experimental de San José de Galipán. En: López J. (ed.). **Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes Científi-**

- co-tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos.** 161-176. Editorial Gráficas Lauki. Caracas-Venezuela.
- GARCÍA, R.; RONDÓN, F. y G. CANELÓN. s/f. *Mapa geológico de la región de Tovar - Guaraque-Mesa Bolívar-Bailadores (Esc. 1:50.000)*. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología. Caracas-Venezuela.
- GARCÍA, R.; CANELÓN, G. y G. HARDER. 1977. Geología de la región al sur de Bailadores, estados Táchira y Mérida. *Memorias del V Congreso Geológico Venezolano*. 415-447. Caracas-Venezuela.
- GARCÍA, R. 2008. *Identificación y jerarquización de áreas susceptibles a crecidas torrenciales en la subcuenca quebrada Mejías. Municipio Antonio Pinto Salinas, estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 114 p. (Inédito).
- INGENIEROS DE SANTIS, CA. 1991. *Estudio geológico-geomorfológico y de vulnerabilidad de la cuenca del río Yacambú, estado Lara*. Caracas-Venezuela. Informe Técnico, 568 p. (Inédito).
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IGCRN) 2006. *Plan de ordenación del territorio del municipio Antonio Pinto Salinas-edo. Mérida: Respuesta a una vaguada*. Postgrado en Ordenación del Territorio y Ambiente. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 160 p. (Inédito).
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IGCRN) 2008. *Ordenamiento territorial del municipio Tovar: Diagnóstico y propuestas*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Postgrado en Ordenación del Territorio y Ambiente. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 152 p. (Inédito).
- LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y J. RINCÓN. 2005. *Antecedentes históricos de eventos meteorológicos ocurridos en el valle del río Mocotíes y su impacto geomorfológico*. **Revista Geográfica Venezolana**. Número Especial. 297-311.
- LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y M. DUGARTE. 2005a. *Evaluación de campo del sector La Victoria-Santa Cruz de Mora-Tovar-San Francisco. Estudio preliminar de algunos de los efectos geomorfológicos del evento meteorológico observado el día 11 de febrero del año 2005*. **Boletín de la Historia de las Geociencias en Venezuela**. 97: 28-36.
- LAFFAILLE, J.; FERRER, C. y M. DUGARTE. 2005b. Efectos geomorfológicos del evento de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes. En: V. Jiménez (ed.). **Gestión integral de riesgos**. 41-46. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Serie: Conocimiento para el Desarrollo Sustentable.
- LAMAS, J. 2005. Efecto social del evento de Santa Cruz de Mora. *Foro: Tragedia en el Valle del Mocotíes, Causas y medidas para una gestión de riesgos*. Publicaciones de la Corporación de los Andes. 47-53. Mérida-Venezuela (4 de marzo).
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE. 2013. *Diagnóstico preliminar de la zona Sur del Lago de Maracaibo-estado Zulia, para la elaboración de los términos de referencia del convenio Venezuela-Japón*. Viceministerio del Agua. Dirección General de Equipamiento Ambiental. Dirección de Operación y Manteni-

- miento de Obras. Caracas-Venezuela. 403 p. + Anexos. (Inédito).
- MORALES, P. 2006. *Jerarquización de torrentes en el municipio Rivas Dávila y en la parroquia San Francisco, municipio Tovar, estado Mérida*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 57 p. (Inédito).
- NACIONES UNIDAS-COLOMBIA SALA DE SITUACIÓN HUMANITARIA. 2005. *Ficha técnica situación humanitaria. Departamento de Santander*. Informe, 27 p. (Inédito).
- PAEZ, G. 2010. *Zonificación de amenazas naturales con fines de ordenamiento territorial. Caso: Parroquia Santa Cruz de Mora, municipio Antonio Pinto Salinas-estado Mérida*. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela. Tesis Magister Scientiae en Ordenación del Territorio y Ambiente. 203 p.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) 2008. Plan de desarrollo urbano del municipio Antonio Pinto Salinas bajo el enfoque de gestión de riesgo. Caracterización de la cuenca del valle de Mocotíes. Mérida. En: Ferrer, C. y Dugarte, M. (coord.). **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)-Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida (FUNDAPRIS)**. (Inédito).
- RENDÓN, M.; SLAIMEN, Z. y R. SIFONTES. 1985. Geoquímica de los minerales metálicos de los sulfuros de Bailadores, estado Mérida, Venezuela. *VI Congreso Geológico Venezolano* 4167-4175. Venezuela (29 de septiembre-06 de octubre).
- RENGIFO, M. y J. LAFFAILLE. 2000. *Reevaluación del sismo del 28 de abril de 1894. Acta Científica Venezolana*. 51: 200-215.
- RIVAS, G. 2006. *Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes. Mérida, Edo. Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 71 p. (Inédito).
- RIVAS, G.; OVALLES, Y.; SOTO, A.; RAMÍREZ, G.; RIPANTI, F. y J. LEÓN. 2009. *Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes. Revista Forestal Venezolana*. 53: (1) 33-41.
- ROA, J. 2007. *Estimaciones de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: Cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana*. 48: (2) 183-219.
- RODRIGUEZ, L. 2005. *Jerarquización de torrentes del municipio Antonio Pinto Salinas, cuenca del río Mocotíes, estado Mérida*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 81 p. (Inédito).
- ROJAS, J. 1987. *Diferenciación socio-productiva e impactos agroecológicos en los Andes Venezolanos. Revista Geográfica Venezolana*. 28: 5-91.
- ROJAS, M. 2010. *Gestión de riesgos de desastres un elemento fundamental en el desarrollo sostenible, caso de estudio: municipio Antonio Pinto Salinas; Mérida-Venezuela. GEOMINAS*. 38 (52): 85-88.
- SÁNCHEZ, D. 2012, 24 abril. *Lluvias dejan a otras 300 familias damnificadas en el Mocotíes. Diario Frontera*. 4-5.
- SIFONTES, R. 1989. *Metamorfismo y deformación en el yacimiento de sulfuros de Lima*

- II, Bailadores, estado Mérida, Venezuela. *VII Congreso Geológico Venezolano*. 2006-2030. Barquisimeto-Venezuela (12-18 de noviembre).
- SIFONTES, R. y D. GARCÍA. 1975. Prospección geológico-minera de la región de Bailadores-Guaraque, estado Mérida (Resumen). *Congreso Latinoamericano de Geología*, 2. Caracas, 1073. **Bol. Geol. Pub. Esp.**, 7. MMH, Caracas, 5: 3.699-3.700.
- SINGER, A. 1998. *Evaluación retrospectiva de los efectos geológicos destructores del terremoto de 1610 en los Andes venezolanos del siglo 17 y de observaciones de campo actuales*. **Revista Geográfica Venezolana**. 39 (1 y 2): 289-296.
- SINGER, A. y M. LUGO. 1982. *El alud sísmico del 03-02-1610 en el valle del Mocotíes (Andes venezolanos). Confrontación con los testimonios del siglo XVII y de las evidencias de campo actuales* (Resumen). **Acta Científica Venezolana**. 33: 214.
- SOULAS, J. y A. SINGER. 1987. Mapa evidencias de actividad cuaternaria en las fallas. En: Soulas, J. P., Singer, A. y Lugo, M. (eds). **Tectónica cuaternaria, características sismogénicas de las fallas de Boconó, San Simón y del Piedemonte Occidental Andino y efectos geológicos asociados a la sismicidad histórica**. Proy. SUMANDES: FUNVISIS - MARAVEN S.A. 90 p. Informe Técnico. (Inédito).
- SUAREZ, J. 2012. *Principales causas de la catástrofe ocurrida en el río Oro en febrero de 2005*. Sitio web del Ing. Jaime Suárez. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/18-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html> 200-4-1-ppt-resumen.
- SUPERLANO, W. 2010. *Estudio de crecidas máximas usando el modelo de simulación hidrológica HEC-HMS en la subcuenca San Francisco, municipio Tovar, estado Mérida*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 97 p. (Inédito).
- TURNER, A. K. & R. L. SCHUSTER. 1996. (Eds.). **Landslides. Investigation and mitigation**. National Academy Press, Washington DC. 674 p.
- ZURBARAN, S. 2006. *Jerarquización de torrentes en el municipio Tovar, cuenca del río Mocotíes, Mérida*. Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Trabajo Especial de Grado, 76 p. (Inédito).

Fecha culminación: mayo, 2013

Lugar: Mérida-Venezuela