



**Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo**  
Collapse of the El Guamito Dam (Venezuela) to the Extraordinary Rains of December 1999: Hydro-geomorphological Conditioners in the Guapo River Basin

Williams Méndez<sup>1,2</sup>; José Córdova<sup>3</sup>; Carlos Suárez<sup>2</sup>; Henry Pacheco<sup>4</sup> & Loan Landaeta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Construcciones Civiles, Avenida José María Urbina, EC130105, Portoviejo, Provincia de Manabí, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Centro de Investigación Estudios del Medio Físico Venezolano, Avenida José Antonio Páez, El Paraíso, CP 1020, Caracas, Distrito Capital, Venezuela

<sup>3</sup>Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos y Sistemas, Valle de Sartenejas, Baruta, CP 1080, Estado Miranda, Venezuela

<sup>4</sup>Universidad Técnica de Manabí,

Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Ingeniería Agrícola, Lodana, EC13132, Provincia de Manabí, Ecuador.

E-mails: williamsmendez@gmail.com; jrcordova@gmail.com; carturo7982@yahoo.es; henrypacheco@gmail.com

Recibido em: 17/07/2018 Aprobado em: 20/09/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_3\\_319\\_332](http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_319_332)

## Resumen

La infraestructura del proyecto original de la presa del río Guapo en el sitio El Guamito (estado Miranda, Venezuela), construida y puesta en servicio durante el periodo 1975-1977, colapsó en Diciembre de 1999 como consecuencia de las lluvias extraordinarias observadas en ese mes, que produjeron caudales máximos con magnitudes superiores al caudal de diseño de la obra. En tal sentido, es necesario analizar la relación entre la respuesta hidrogeomorfológica de la cuenca del río Guapo generada por este evento extraordinario de lluvias, las características de los medios físico y biológico y las condiciones que éstos determinaron para el colapso de la presa. Se caracterizaron las variables de los medios físico y biológico, en particular los aspectos climáticos e hidrológicos. Se midieron y calcularon los parámetros morfométricos de la cuenca y de su red de drenaje. Las características topográficas y geomorfológicas se describieron con la construcción de perfiles. Los elementos físicos y biológicos (geología, relieve, geomorfología, topografía, suelo, vegetación, clima, drenaje e hidrología) que coexisten en el área de la cuenca tienen una influencia importante en el condicionamiento de las respuestas hidrogeomorfológicas (inundaciones, producción y acarreo de sedimentos y procesos de remoción en masa) del sistema. Las características morfométricas de la cuenca indican una alta correspondencia entre estos aspectos y el colapso del aliviadero, ya que favorecieron los altos caudales que se estimaron en el sitio de la presa durante la ocurrencia del evento adverso.

**Palabras-clave:** cuenca de drenaje; respuesta hidrogeomorfológica; lluvias extraordinarias; infraestructura hidráulica; geomorfología fluvial.

## Abstract

The infrastructure of the original Guapo river dam project at El Guamito site (Miranda state, Venezuela), built and commissioning during the 1975-1977 period, collapsed in December 1999 as a result of the extraordinary rains observed at that time, which generated maximum discharges with magnitudes higher than the design discharge of the work. Therefore, it is necessary to analyze the relationship between the hydro-geomorphological response of the Guapo river basin generated by this extraordinary rains event, the characteristics of the physical and biological media, and the conditions that these determined for the collapse of the dam. Variables of the physical and biological media, in particular climatic and hydrological aspects, were characterized. Morphometric parameters of the basin and its drainage network were measured and calculated. Topographic and geomorphological features were described with the construction of profiles. The physical and biological elements (geology, relief, geomorphology, topography, soil, vegetation, climate, drainage and hydrology) that coexist in the area of the basin have an important influence on the hydro-geomorphological responses of the system (floods, sediment production and haulage and mass movements). The morphometric characteristics of the basin indicate a high correspondence between these aspects and the collapse of the spillway, since they favoured the high discharges that were estimated at the dam site during the occurrence of this adverse event.

**Keywords:** drainage basin; hydro-geomorphological response; extraordinary rains; hydraulic infrastructure; fluvial geomorphology

## 1 Introducción

El represamiento del río Guapo en el sector conocido como sitio de presa El Guamito (estado Miranda, Venezuela), representa uno de los principales elementos del sistema costanero de almacenamiento y abastecimiento hídrico de la sub-región de Barlovento (Comisión ad-honorem, 1980), construida principalmente para el suministro de agua potable, control de crecientes, y riego para las actividades agrícolas.

Esta estructura hidráulica (presa original construida y puesta en operación en el período 1975-1977) se vio vulnerada en Diciembre de 1999, manifestado en el desplome del aliviadero principal, lo cual trajo como consecuencia la liberación de un volumen de agua por el orden de los 120 hm<sup>3</sup> que produjo una onda de crecida con un pico estimado entre 7 m y 12 m (Suárez, 2002).

El colapso de esta estructura generó en la región cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas en varios centros poblados, así como materiales, especialmente en los sectores vivienda, salud, educación, vialidad, agua potable, líneas de servicios y agrícola. El puente de la carretera nacional que une a la región barloventeña con el oriente del país, fue destruido por la onda de crecida. Los centros poblados principales de la región como Río Chico y San José de Río Chico, quedaron totalmente inundados y sin servicio de agua potable.

Uno de los aspectos principales que contribuyó con el colapso de la estructura fue el dimensionamiento inadecuado del aliviadero, como consecuencia de deficiencias en el diseño y las estimaciones hidrológicas consideradas para la obra, específicamente relacionadas con la subestimación de la magnitud (caudal pico) de la crecida milenaria y la ocurrencia de crecidas complejas (Córdova & González, 2006).

Un caso similar lo representa el colapso de la presa secundaria Sella Zerbino (Italia) el 13 de Agosto 1935, cuyo fallo se atribuyó, además de la ocurrencia de un evento de lluvias extremas de intensidad impredecible, a la presión del agua debajo de la presa y la mala calidad de la roca de

cimentación (Petaccia *et al.*, 2016). Otro caso, es el colapso de un dique en el río Kinu (Japón) el 10 de Septiembre de 2015, atribuido a lluvias extremas, las condiciones del suelo sobre el que se encontraba el dique y desbordamiento y filtración de agua del río hacia el dique (Yasuda *et al.*, 2016). En atención a otro tipo de causa, el gran terremoto de Wenchuan (China) del 12 de Mayo de 2008 con una magnitud de 8.0, afectó a la presa Zipingpu, causando daños estructurales y filtraciones al terraplén (Zhang *et al.*, 2015).

La reconstrucción de la presa El Guamito, además de las mejoras en el diseño estructural, hidrológico e ingenieril de la obra, requirió considerar algunos elementos de los medios físico y biológico que intervienen y determinan en gran medida el comportamiento y la dinámica hidrogeomorfológica de la cuenca del río Guapo, y que también influyeron de manera indirecta en el colapso de la infraestructura.

Estas consideraciones determinan como propósito fundamental de este trabajo, analizar la relación entre la respuesta hidrogeomorfológica de la cuenca del río Guapo generada por las lluvias extraordinarias de diciembre de 1999, las características de los medios físico y biológico, y las condiciones técnicas que condujeron al colapso de la presa El Guamito.

## 2 Área de Estudio

La cuenca del río Guapo está ubicada geográficamente en la región centro norte del territorio venezolano, específicamente en la parte oriental del estado Miranda, en la denominada sub-región de Barlovento. La localización de la cuenca está definida por las coordenadas geoastronómicas: 65°50' – 66°09' de latitud norte y 09°56' – 10°22' de longitud oeste (Figura 1). Forma parte de la jurisdicción del municipio Páez del estado Miranda. Desde el punto de vista fisiográfico, se ubica en la provincia orográfica Cordillera de la Costa (Sistema Montañoso del Caribe) en su tramo central, emplazándose en el sector oriental de la vertiente norte de la serranía del Interior.

La geología está constituida por afloramientos de rocas metavolcánicas del litodemo Las Hermanas

**Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo**

*Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta*

(Grupo Villa de Cura) (Urbani, 1997) y, en mayor proporción, por rocas sedimentarias pertenecientes a las unidades litológicas San Antonio (Furrer & Castro, 1997), Guárico (Yoris & Kiser, 1997) y su Miembro Los Cajones (Yoris, 1997), Naricual (Kiser, 1997), Quebradón (Macstotay, 1997), El Guapo y aluviones (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1976; Hackley *et al.*, 2006). El relieve en la parte alta de la cuenca (sector montañoso) se distingue principalmente por la presencia de unidades geomorfológicas correspondientes a valles fluviales, filas montañosas y vertientes; y en la parte baja por valles mucho más amplios y planicies aluviales o de inundación, entre las que destaca la del río Guapo (Carrero *et al.*, 1983).

Los tipos climáticos predominantes en las partes media y alta de la cuenca son tropical lluvioso

de selva (Am) y tropical lluvioso de selva monzónico (Af), con un promedio pluviométrico anual que supera los 2.000 mm; mientras que en la parte baja del sector, el tipo climático es tropical lluvioso de sabana (Aw), con promedios pluviométricos anuales que no superan los 1.500 mm (Foghin, 2002; Herrera & Prato, 2004); la temperatura media anual es de 26,5 °C (régimen isotérmico) y la evaporación de 1.823,3 mm (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección de Hidrología y Meteorología, 1993). Las formaciones vegetales que coexisten en un gradiente altitudinal, desde la línea de costa hasta la parte más alta del área (fila Maestra), están representadas por manglares, espinares, matorrales y bosques (Carrero *et al.*, 1983).

Las características de los suelos se definen dentro de los órdenes entisoles, inceptisoles, alfiso-

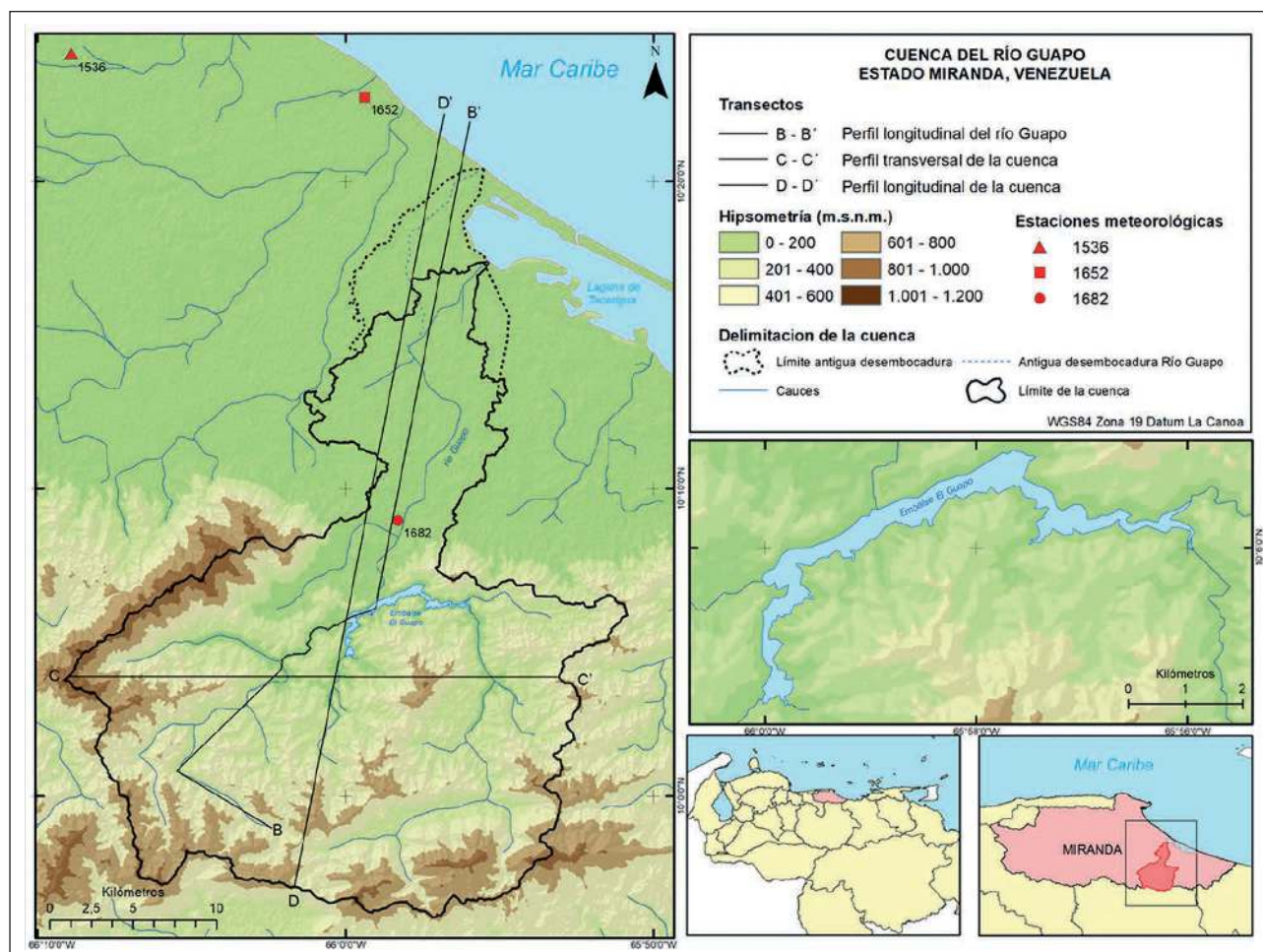


Figura 1 Localización de la cuenca del río Guapo, estado Miranda, Venezuela.



les y ultisoles (Marín *et al.*, 1981). El uso actual de la tierra está determinado por actividades agrícolas, ganaderas, urbanas, recreacionales y vacacionales (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1980; Maraven, 1988).

### 3 Metodología

Se delimitó y sectorizó a la cuenca del río Guapo en alta, media y baja, con base en criterios geomorfológicos, topográficos e hipsométricos, a partir de la compilación, ensamblaje y construcción del mapa base del área de estudio, empleando cartas topográficas a escala 1:100.000 obtenidas en la Dirección de Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas (1970a, 1970b, 1970c, 1970d, 1970e, 1970f).

Los elementos y/o factores de los medios físico y biológico (geología, geomorfología, topografía, suelos, vegetación, drenaje e hidrología) que determinan las condiciones hidrogeomorfológicas de la cuenca del río Guapo, se caracterizaron a partir de la recopilación y análisis de información bibliográfica y técnica sobre el área de interés, así como de la cartografía temática existente.

La caracterización climática se realizó a partir del análisis de datos (promedios y totales mensuales y anuales) de parámetros climatológicos (precipitación, temperatura y evaporación) correspondientes a las estaciones pluviográficas El Guapo y San José de Río Chico y a la climatológica Tacarigua de Mamporal, para el período 1964-1978, suministrados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección de Hidrología y Meteorología (1993).

Se realizaron mediciones y cálculos de los principales parámetros morfométricos de la cuenca (área, perímetro, longitud, diámetro, relieve máximo, tasa de relieve y altitudes) y su red de drenaje (densidad de drenaje, textura de la red, tipo de red, órdenes de los cauces, número de cauces por orden, relación de bifurcación, longitudes de los cauces por orden, relación de longitud, pendiente de los cauces por orden y relación de pendiente), a partir de las cartas topográficas a escala 1:100.000.

Se describieron los rasgos y elementos topográficos de la cuenca, con base al análisis e interpretación del mapa base del área de estudio, y en el levantamiento de perfiles geomorfológico (longitudinal) y topográficos (longitudinal y transversal) de la cuenca, y del cauce principal (perfil topográfico longitudinal) del río Guapo. El ordenamiento y la jerarquización de la red de drenaje, se realizó siguiendo los criterios de Horton (1945) y Strahler (1964).

La caracterización del comportamiento y régimen hidrológico del río Guapo, se realizó a partir del análisis e interpretación de datos de precipitación, caudales y coeficientes de escurrimiento (promedios mensuales) en el sitio de presa El Guamito, para el período 1967-1996 (CGR Ingeniería, 2000).

### 4 Análisis y Discusión de los Resultados

#### 4.1 El Evento Hidrometeorológico de Diciembre de 1999 y el Colapso del Aliviadero de la Presa El Guamito: Causas, Consecuencias y Correctivos

Una situación meteorológica tropical atípica a escala sinóptica, fue el escenario que determinó el evento de lluvias extraordinarias ocurridas en Diciembre de 1999, las cuales afectaron principalmente a la región centro norte de Venezuela, incluyendo el sector donde se localiza la cuenca del río Guapo. Las intensas y prolongadas precipitaciones que se concentraron mayoritariamente durante los días 14, 15 y 16, estuvieron relacionadas con una perturbación atmosférica definida como una vaguada en altura combinada con restos de frente frío, que se estacionó frente a las costas del Litoral Central venezolano, posiblemente bloqueada por la presencia de un cinturón de alta presión hacia el este, persistiendo su presencia durante casi todo el mes, la cual se prolongó con consecuencias menos graves hasta principios del 2000 (Andressen & Pulwarty, 2001; Foghin, 2001).

Este evento de lluvias extraordinarias de Diciembre de 1999, determinó las condiciones hidrológicas que condujeron al colapso del aliviadero de la presa El Guamito en cuarenta minutos aproximadamente, liberando un volumen de agua del orden de los 120 hm<sup>3</sup> (120.000.000 m<sup>3</sup>) que produjo una onda de crecida, cuyo pico fue estimado entre 7 m y 12 m

(Suárez, 2002). Cueche & Pino (2009) afirman que en 1999 ocurrió en esta presa el fenómeno conocido como crecientes superpuestas o de picos múltiples (el nivel del embalse subió rápidamente, descendió y volvió a incrementarse de manera súbita antes de ocurrir la falla de la obra), el cual consiste de la superposición de varias crecientes consecutivas antes que un solo pico. Aproximadamente 150.000.000 m<sup>3</sup> de agua inundaron toda la planicie de desborde del río Guapo, aguas abajo del sitio de presa. La falla del aliviadero se produjo al ser sobrepasada su capacidad de descarga (101,8 m<sup>3</sup>/s) por caudales máximos observados en el sitio del orden de los 310 m<sup>3</sup>/s (Liendo, 2000), formándose una brecha en el contacto de la presa con el estribo izquierdo (“fleysch” de alternancia de lutitas con areniscas de la Formación Guárico, intensamente diaclasada) (Spilimerge, S. A. / Vialpa Camargo & Correa, s. f.). El exceso de agua que circulaba por el aliviadero se desbordó por los laterales del mismo, socavando los materiales de la pantalla de la presa de cara aguas abajo, sobre los cuales se soportaba. El boquete de la ruptura alcanzó 60 m de ancho en su base (Grases *et al.*, 2000) (Figura 2).

Entre los daños y pérdidas causados por el colapso de la presa en la sub-región de Barlovento, Grases *et al.* (2000) reportaron afectaciones en los sectores población (7.375 personas afectadas, 5.236 damnificados y 300 muertos (estimado)), centros poblados (7 desaparecidos y un total de 13 afectados), vivienda (790 destruidas, 1.500 afectadas y pérdidas en general de 4 millardos), salud (1 hospital y 100 ambulatorios inundados), educación (30 centros

educativos con daños menores hasta daños graves), vialidad (destrucción de 2,5 km de la carretera nacional hacia oriente y 3 puentes, y pérdidas generales de 6 millardos en vías de comunicación), agua potable (afectación de 9 km de conducción de agua potable, la presa suministraba el 70% del agua potable para la sub-región de Barlovento), eléctrico (desplome de 9 torres de la línea de 230 kw y caída de postes) y agrícola (60% de las siembras de Barlovento quedaron bajo las aguas, pérdidas por 11 millardos en cultivos).

Hasta el año 2009 se habían construido en Venezuela 97 presas, de las cuales 28 sufrieron algún tipo de incidente, y en seis 6 de los casos la severidad fue de tales dimensiones que originó la falla de la obra (Suárez, 2002). Una de las principales causas que influyeron en el colapso de la presa El Guamito, es atribuida por Córdova & González (2006) a deficiencias en el diseño hidrológico del proyecto original, y en particular con la subestimación del hidrograma de la crecida milenaria seleccionada para el diseño del aliviadero (Figura 3), lo cual estuvo determinado por errores metodológicos como: (a) suponer que los caudales extremos siguen una distribución de Eventos Extremos Tipo I o Gumbel; (b) sobreestimar las pérdidas o abstracciones, con la consiguiente subestimación de los hietogramas efectivos asociados a diferentes periodos de retorno; (c) falta de calibración del modelo de crecidas; y (d) no considerar la ocurrencia de crecidas complejas, donde el volumen de la misma pasa a ser tan importante como el caudal máximo del hidrograma asociado. En Venezuela, las fallas ocurridas en presas según Suá-



Figura 2 Imágenes del (A) colapso y la onda de agua y del (B) boquete final en el estribo izquierdo (aliviadero) de la pantalla de la presa El Guamito.



## Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo

Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta

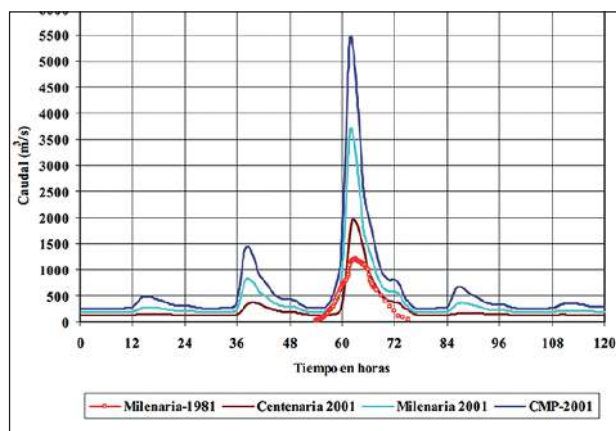


Figura 3 Hidrograma de la crecida milenaria estimada en 1981 para el proyecto de presa original, e hidrogramas de crecidas complejas estimados posteriores al colapso del aliviadero. (tomado de Córdova & González, 2006).

rez (2002), han estado relacionadas porcentualmente con las filtraciones (22%), seguidas de socavaciones – erosiones (17%), y en tercero y cuarto lugar (14% cada una) con las crecientes subestimadas y el deslizamiento de taludes.

En el nuevo diseño hidrológico desarrollado por Córdova & González (2006) para la nueva infraestructura hidráulica (aliviadero), se consideraron los siguientes aspectos metodológicos: (a) se calibraron los modelos hidrológicos en la cuenca vecina del río Cuira, cuyas características morfométricas, de vegetación y uso de la tierra son muy similares; (b) se estimaron los hidrogramas de caudales de las crecidas extremas, utilizando modelos de crecidas similares a los descritos en el programa HEC-HMS desarrollado por el U. S. Army Corps of Engineers [USACE] (2000); (c) los modelos calibrados se aplicaron en la cuenca del río Guapo hasta el sitio de presa El Guamito, lo cual permitió la

estimación de sus hidrogramas de crecidas desde 5 hasta 1000 años de períodos de retorno, además de la precipitación máxima probable y el hidrograma de la crecida máxima probable; y (d) se realizó un análisis probabilístico de la ocurrencia de secuencias de tormentas para varios días de agregación, de gran utilidad en la definición de los volúmenes que tiene el embalse antes de la llegada de la crecida de diseño. La principal limitación en este nuevo diseño fue la ausencia de información hidrométrica de la cuenca del río Guapo.

La nueva obra hidráulica iniciada en el 2003, contempló un tipo de presa de tierras zonificada y concreto compactado con rodillo en la brecha producida por la falla del aliviadero anterior, con un volumen del terraplén de 2.570.000 m<sup>3</sup>. Se diseñó un aliviadero de túnel en el estribo izquierdo y de canal en el lado izquierdo de la presa, el primero con sección de herradura, y el segundo del tipo frontal recto de descarga libre, para una descarga máxima de 2.700 m<sup>3</sup>/s. Se diseñó también una obra de toma en el estribo derecho de la presa del tipo selectiva inclinada para un caudal máximo de 6 m<sup>3</sup>/s (Spilimer, S. A. / Vialpa Camargo & Correa, s. f.) (Figura 4).

### 4.2 Los Medios Físico y Biológico como Condicionantes de las Respuestas Hidrogeomorfológicas de la Cuenca del Río Guapo

La geología aflorante en el área de la cuenca es uno de los elementos con mayor peso en la susceptibilidad del medio físico frente a los procesos de meteorización y erosión, y que por ende define los niveles de erodabilidad del substrato, profundidad de los perfiles o mantos de alteración, y la pro-



Figura 4 Imágenes de las (A) obras de construcción y del (B) diseño final de la nueva presa y del nuevo aliviadero.

**Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de  
Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo**

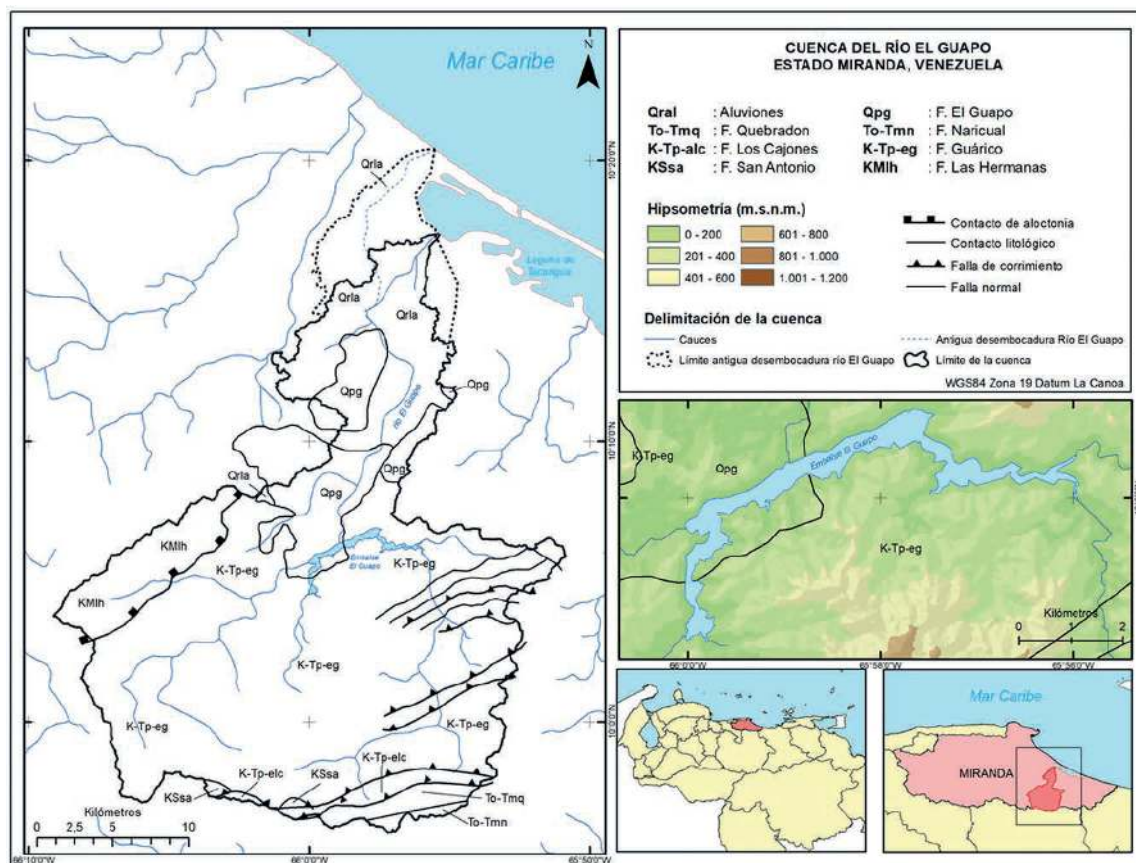
*Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta*

ducción y acarreo de sedimentos. En el caso de la cuenca del río Guapo, afloran una unidad de rocas metavolcánicas (Litodemo Las Hermanas del Grupo Villa de Cura de edad Cretácico Medio) constituida por aglomerados, metatobas y metalavas volcánicas (Urbani, 1997); seis unidades de rocas sedimentarias conformadas por las formaciones San Antonio (calizas, lutitas y areniscas de edad Cretácico Tardío) (Furrer & Castro, 1997), Guárico (“flysch” de alternancias de lutitas con areniscas de edad Cretácico – Paleoceno-Eoceno) (Yoris & Kiser, 1997), Miembro Los Cajones de la Formación Guárico (“flysch salvaje” dentro de una asociación turbidítica análoga a las facies “flysch” de la Formación Guárico de edad Cretácico tardío – Paleoceno-Eoceno Temprano) (Yoris, 1997), Naricual (lutitas, areniscas, limolitas, lignitos y ftanitas de edad Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano) (Kiser, 1997), Quebradón (lutitas, lignitos, areniscas y conglomerados de edad Oligoceno Tardío – Mioceno Medio) (Macsoy, 1997) y El Guapo (conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas de edad Pleistoceno); y finalmente, por depósitos de aluviones (cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas de edad Holoceno) que ocupan

los fondos de valle y llanuras de los ríos principales (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1976; Hackley *et al.*, 2006) (Figura 5).

De todas las unidades litológicas expuestas en la cuenca de recepción del río Guapo, la de mayor importancia por su alto nivel de erodabilidad y aporte en la producción de sedimentos, es la Formación Guárico (alternancia de lutitas y areniscas), cuya superficie de afloramiento representa más del 62% del área total de la cuenca hasta el sitio de presa. Otras de sus características resaltantes que condicionan su alta sensibilidad a los procesos erosivos, es que está intensamente fracturada (patrones de diaclasas) (RGR Ingeniería C. A. & MARN, 2000), cuyos planos estructurales aunados a los planos de estratificación de la unidad, representan superficies de debilidades ante la acción mecánica de agua; y por otro lado, en su composición mineralógica (cuarzo, feldespatos, clorita, muscovita, pirita, epidoto, circón, rutilo, apatito, prehnita, microclino, biotita, turmalina, magnetita y leucoxeno) (Yoris & Kiser, 1997) dominan algunas especies mineralógicas con altos grados de alteración química por acción de las aguas meteóricas, entre los que destacan los feldespatos y las micas.

Figura 5  
Geología de  
superficie de  
la cuenca del  
río Guapo  
(Fuente:  
Ministerio de  
Minas e  
Hidrocarburos  
(1976);  
e Hackley *et al.*,  
2006).





**Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo**

*Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta*

La geomorfología en las cuencas media y alta de la cuenca de recepción (hasta el sitio de presa), se distingue por la presencia de unidades de filas montañosas, vertientes y valles fluviales (Carrero *et al.*, 1983; Herrera & Prato, 2004), típicos de un paisaje montañoso de alta energía y avanzado estadio denudacional, en el que el entalle o disección vertical de la red de drenaje ha jugado un papel importante en su evolución. En este sector montañoso, la morfodinámica está determinada por la presencia de pendientes fuertes y muy fuertes ( $> 45^\circ$ ), alta susceptibilidad a los procesos erosivos y de remoción en masa, suelos muy superficiales, poco profundos y excesivamente húmedos y frecuentes crecidas e inundaciones (Strebin, 1989) (Figura 6).

En atención a los parámetros morfométricos del sistema, y en específico a los referidos a su

geometría, la cuenca del río Guapo ocupa una superficie importante hasta la desembocadura del río en el mar Caribe, al oeste de la laguna de Tacarigua y del centro poblado Tacarigua de la Laguna, sin embargo, el 80% del total de su superficie hasta el sitio El Guamito en el sector montañoso, es controlada por la presa. Además, tiene un perímetro, una longitud y un diámetro significativos (Tabla1), dimensiones que la clasifican como una cuenca de tamaño intermedio con un área de recepción importante, en lo que a captación de precipitaciones se refiere, y a los consecuentes caudales de crecidas que se generan. Las altitudes presentan un rango que abarca desde la línea de costa hasta la fila Maestra, lo que determina un relieve o desnivel máximo hasta la desembocadura del río de 1000 m, y hasta el sitio de presa de 930 m, y tasas de relieve de 25,38 m/km y 48,95 m/km respectivamente. Las pendientes

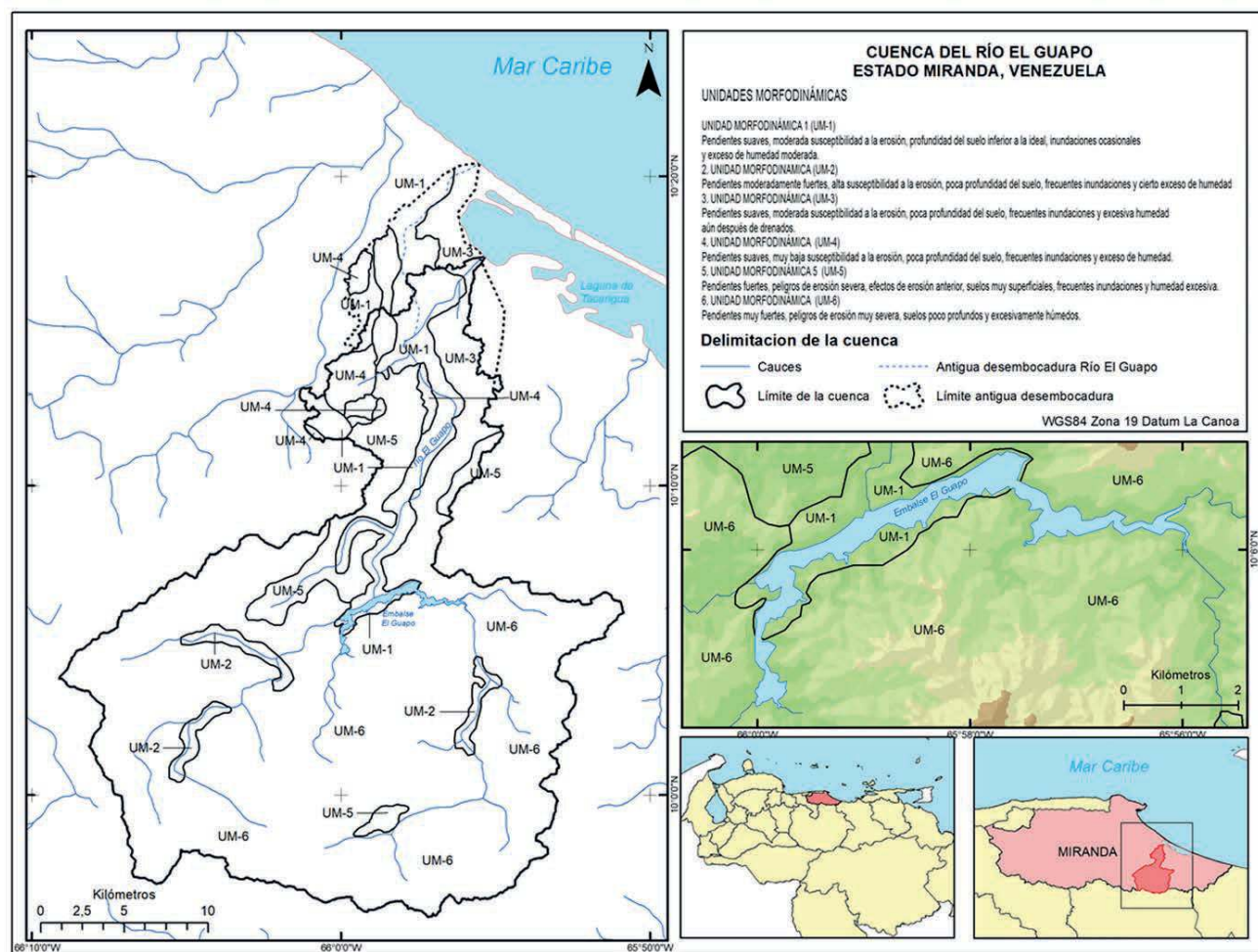


Figura 6 Unidades morfodinámicas de la cuenca del río Guapo (modificado de Strebin, 1989).



topográficas en el sector montañoso de la cuenca presentan valores entre 10% y 100%, determinando importantes gradientes sobre el terreno; y en el caso del cauce principal del río Guapo, los valores están en un rango de 5% desde la naciente hasta 0,52% en su tramo final (desembocadura) (Figura 7). Estas características definen para el área montañosa de la cuenca un relieve accidentado con vertientes de considerables inclinaciones, rasgos que propician con gran peso, procesos de escurrimiento, erosión, de remoción en masa y arrastre de sedimentos.

La cuenca del río Guapo está conformada por cinco subcuencas principales correspondientes a los ríos Guapo, Guayas, Chiquito, Batatal y Aragua, tributarias todas con sus caudales al sitio de presa El Guamito. El río principal del sistema es El Guapo, cuya naciente se encuentra cercana a la fila Maestra. La red de drenaje es de tipo dendrítica, lo cual es un reflejo del control litológico predominante en

la cuenca de recepción, con un espaciamiento o distribución que determinan una textura y densidad de drenaje alta, aunque el valor estimado sobre cartas topográficas a escala 1:100.000, no permite apreciarlo como mejor aproximación. El río Guapo exhibe un trazado sinuoso a lo largo de la mayor parte de su

Variable	Parámetros	Magnitud
Escala de la cuenca	Área (A)	594,4 km <sup>2</sup>
	Perímetro (P)	142 km
	Longitud (L)	39,4 km
	Diámetro (D)	33,7 km
Gradiente y forma del relieve	Relieve máximo (H)	1000 msnm
	Tasa de relieve (R)	0,025
	Altitudes (H)	0 – 1000 msnm
Extensión de la red de drenaje	Densidad de drenaje (Dd)	0,95 km/km <sup>2</sup>
	Textura de la red de drenaje (Td)	Grosera
	Tipo de red de drenaje	Dendrítica

Tabla 1 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Guapo.

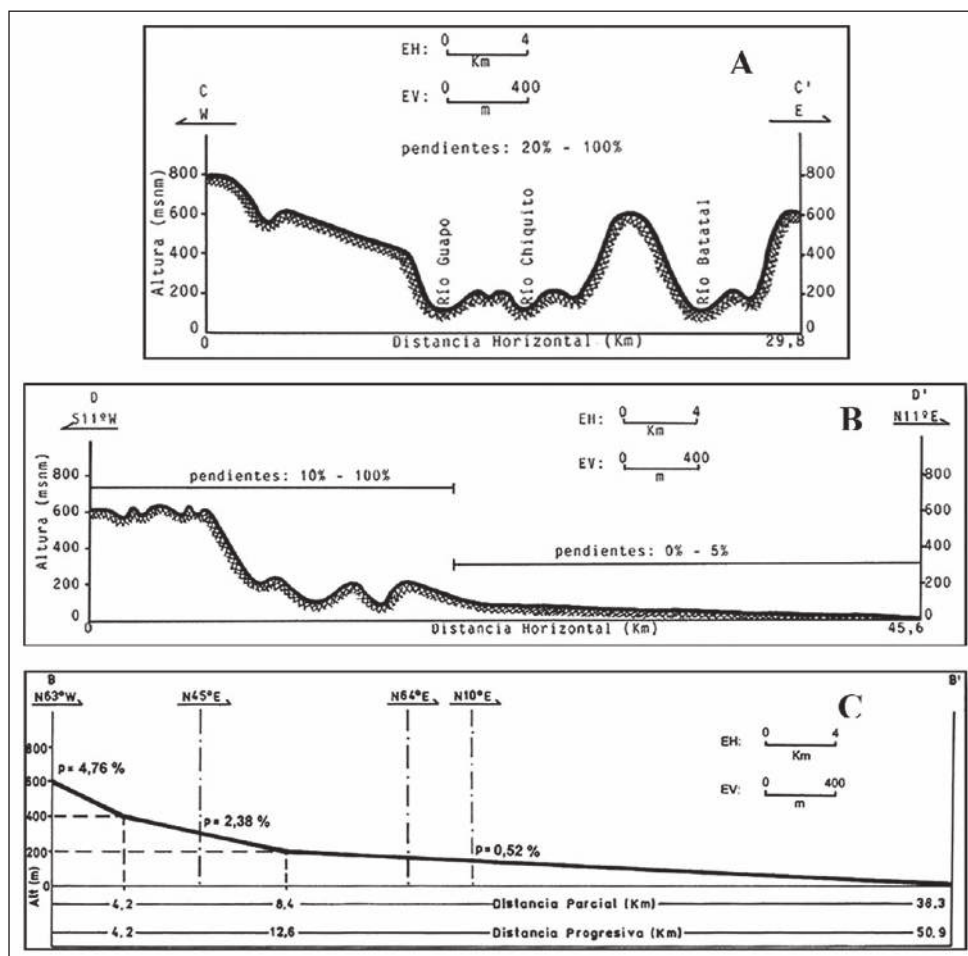


Figura 7 Perfiles topográficos (A) transversal y (B) longitudinal de la cuenca del río Guapo, y (C) perfil topográfico longitudinal del cauce principal del río Guapo.

recorrido, encajado en su propio valle que ha modelado, y aunque no es un patrón de canal típico de ambientes montañosos, probablemente sea una respuesta frente a su represamiento y a la erodabilidad de la litología sobre la que discurre, que lo han forzado a definir un nuevo perfil de equilibrio aguas arriba del sitio de presa (nivel de base local). La red de drenaje presenta un orden máximo de 5 con una magnitud de 152 (cauces de orden 1) que la definen como un sistema de importante torrencialidad y considerable extensión, una longitud total de cauces importante que definen un sistema considerablemente extenso, relaciones de bifurcación entre 2 y 4,5, relaciones de longitud entre 1,3 y 3,5 y relaciones de pendientes entre 0,13 y 0,48 (Tabla 2). Estas características son indicadoras de un drenaje bastante efectivo, tanto de caudales líquidos como de caudales sólidos, tributario al área de embalse del río Guapo.

El régimen pluviométrico anual en el área se caracteriza por ser de tipo bimodal, tanto en el sector de la planicie fluvio-marina de Barlovento, como en el sector montañoso (cuenca de recepción), con montos promedios mensuales que superan los 35 mm en todos los meses (Figura 8). En el caso del sector bajo del área (estaciones San José de Río Chico y Tacarigua de Mamporal), se presentan dos picos de máximas precipitaciones, uno mayor en el mes de Noviembre con promedios mensuales entre 242,2 mm y 255,1 mm, y otro con menores montos en el mes de Julio con valores entre 148,2 mm y 158,1 mm; y dos picos de mínimas, el primero en el mes de Marzo con montos entre 37,3 mm y 53,9 mm, y el segundo entre los meses de Agosto y Septiembre con

montos de 142,5 mm y 129,6 mm respectivamente. La distribución temporal de los picos de máximas y mínimas precipitaciones en el sector montañoso del área de estudio (estación El Guapo), sigue el mismo patrón que en el sector bajo, pero con montos de lluvias significativamente superiores en todos los meses, dos picos de máximas de 296,9 mm (Julio) y 280,6 mm (Noviembre) y dos picos de mínimas de 69,9 mm (Marzo) y 196,6 mm (Septiembre).

Los montos de máximas precipitaciones que se observan en el mes de Julio en toda la región, están asociados al emplazamiento e influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sobre el territorio venezolano para esa época del año (verano en el hemisferio norte); mientras que los que se observan en el mes de Noviembre, están determinados por el paso de perturbaciones e inestabilidades atmosféricas, o por la influencia de situaciones meteorológicas extratropicales que se desplazan hacia el margen costero venezolano a finales de año (se aproxima el solsticio de invierno para el hemisferio norte). Los promedios anuales en el sector bajo están entre 1.474,7 mm y 1.551,5 mm, y de 2.286,2 mm para el sector montañoso, lo que denota un gradiente pluviométrico ascendente marcado por la interposición de la orografía (serranía del Interior), que obliga a ascender de manera forzada a las masas de aire cargadas de humedad (vientos Alisios del NE), y que se quedan represadas en la cuña montañosa (bordes orográficos occidental y meridional de la planicie fluvio-marina de Barlovento) que forman las estribaciones orientales de las serranías del Litoral y del Interior en su tramo central. El 80% de

Orden de la corriente (u)	Número de corrientes de un orden dado ( $N_u$ )	Relación de bifurcación ( $R_b$ )	Longitud total de las corrientes de un orden dado ( $L_u$ ) (km)	Longitud media de las corrientes de un orden dado ( $L_{mu}$ ) (km)	Relación de longitud ( $R_L$ )	Longitud media acumulada de las corrientes de un orden dado ( $L_{mau}$ ) (km)	Pendiente media de las corrientes de un orden dado ( $P_{mu}$ ) (%)	Relación de pendiente ( $R_s$ )
1	152		317,8	2,1		2,1	12,32	
2	34	4,5	93,4	2,7	1,3	4,8	3,79	0,31
3	9	3,8	85,9	9,5	3,5	14,3	1,82	0,48
4	2	4,5	36	18	1,9	32,3	0,83	0,46
5	1	2	34	34	1,9	66,3	0,11	0,13
Longitud total de las corrientes de la red de drenaje ( $L_r$ ) (km)			567,1					

Tabla 2 Orden y magnitud de la red de drenaje de la cuenca del río Guapo.

Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo

Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta

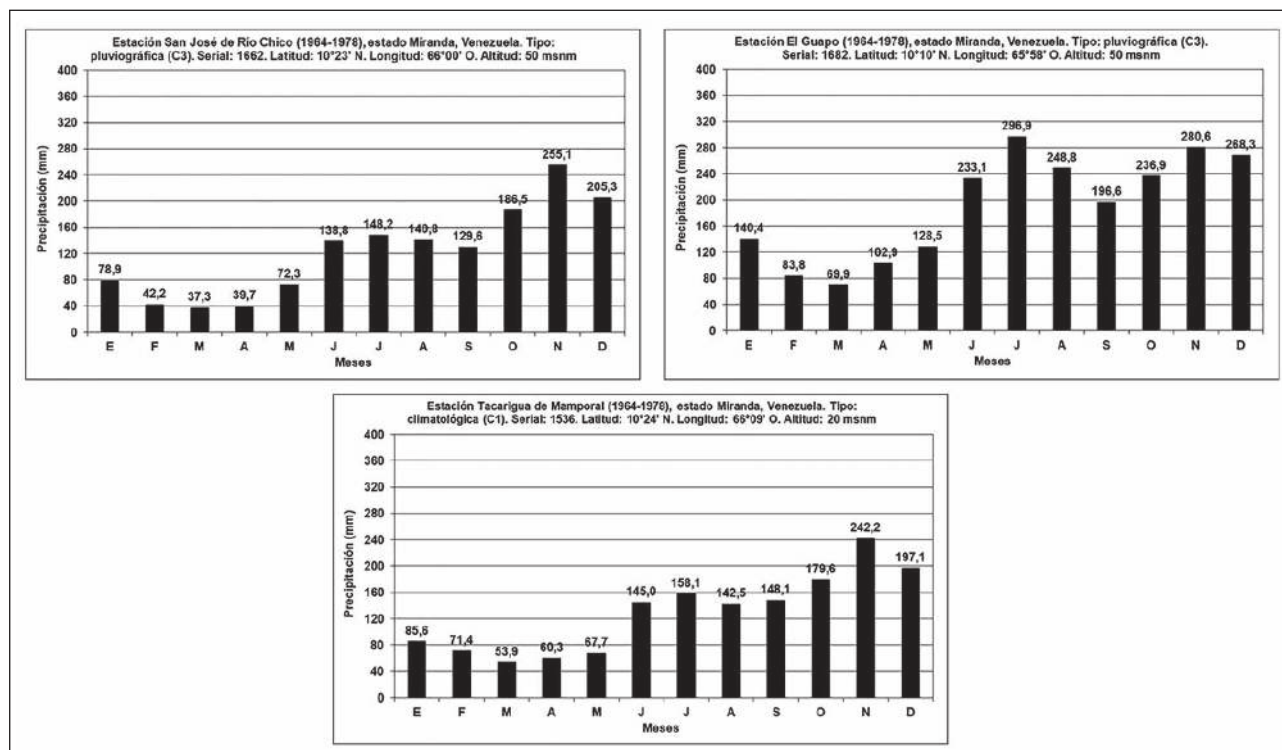


Figura 8 Distribución temporal de las precipitaciones (pluviogramas para el período 1964-1978) en la cuenca del río Guapo; estaciones (A) pluviográfica San José de Río Chico, (B) pluviográfica El Guapo y (C) climatológica Tacarigua de Mamporal.

las precipitaciones que caen en el área a lo largo del año, se concentran mayoritariamente en el segundo semestre del año (Junio-Diciembre), por lo que es en este lapso de tiempo donde existen las mayores probabilidades de ocurrencia de eventos de precipitaciones extraordinarios, que pueden originar crecidas e inundaciones.

El río Guapo tiene un régimen hidrológico o fluviométrico anual de comportamiento bimodal, muy similar en sus variaciones y distribución temporal al del régimen pluviométrico, lo cual es un resultado de las relaciones directas entre los procesos hidrológicos de lluvia y escorrentía. Los caudales promedios mensuales simulados para el período 1967-1996 hasta el sitio de presa El Guamito, en general son todos de bajas magnitudes, ubicados en un rango comprendido entre 3,41 m<sup>3</sup>/s y 12,17 m<sup>3</sup>/s, y los coeficientes mensuales de gastos medios entre 0,46 y 1,64. Los dos picos de máximos caudales promedios mensuales se observan para los meses de Agosto (11,22 m<sup>3</sup>/s) y Diciembre (12,17 m<sup>3</sup>/s) con coeficientes mensuales de gastos medios de 1,52 y

1,64 respectivamente; y los dos picos de mínimos se presentan en los meses de Marzo (3,41 m<sup>3</sup>/s) y Octubre (8,56 m<sup>3</sup>/s) con correspondientes coeficientes mensuales de gastos medios de 0,46 y 1,16 (Figura 9). El caudal promedio anual es de 7,40 m<sup>3</sup>/s. Los valores de otros parámetros hidrológicos de interés del río Guapo en el sitio de presa El Guamito, consideran un volumen escurrido medio anual de 195.600.000 m<sup>3</sup>, un caudal medio aguas abajo del sitio de presa de 2,2 m<sup>3</sup>/s, y un volumen de sedimentos retenidos en la presa de 24.000 m<sup>3</sup>/año (Isava, 1975). Prusza *et al.* (2003) sostienen que la sedimentación en el embalse se incrementó unos 8 m, lo cual afectó la parte inferior de la estructura de toma.

La vegetación predominante en el área montañosa de la cuenca corresponden todas al bioma bosque, en específico existen las formaciones vegetales bosque tropical siempreverde de cobertura densa, bosque tropical semidecídulo de cobertura media, bosque transicional premontano – montano bajo siempreverde de cobertura densa (Carrero *et al.*, 1983), siendo la primera formación la que ocupa



Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo  
Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta

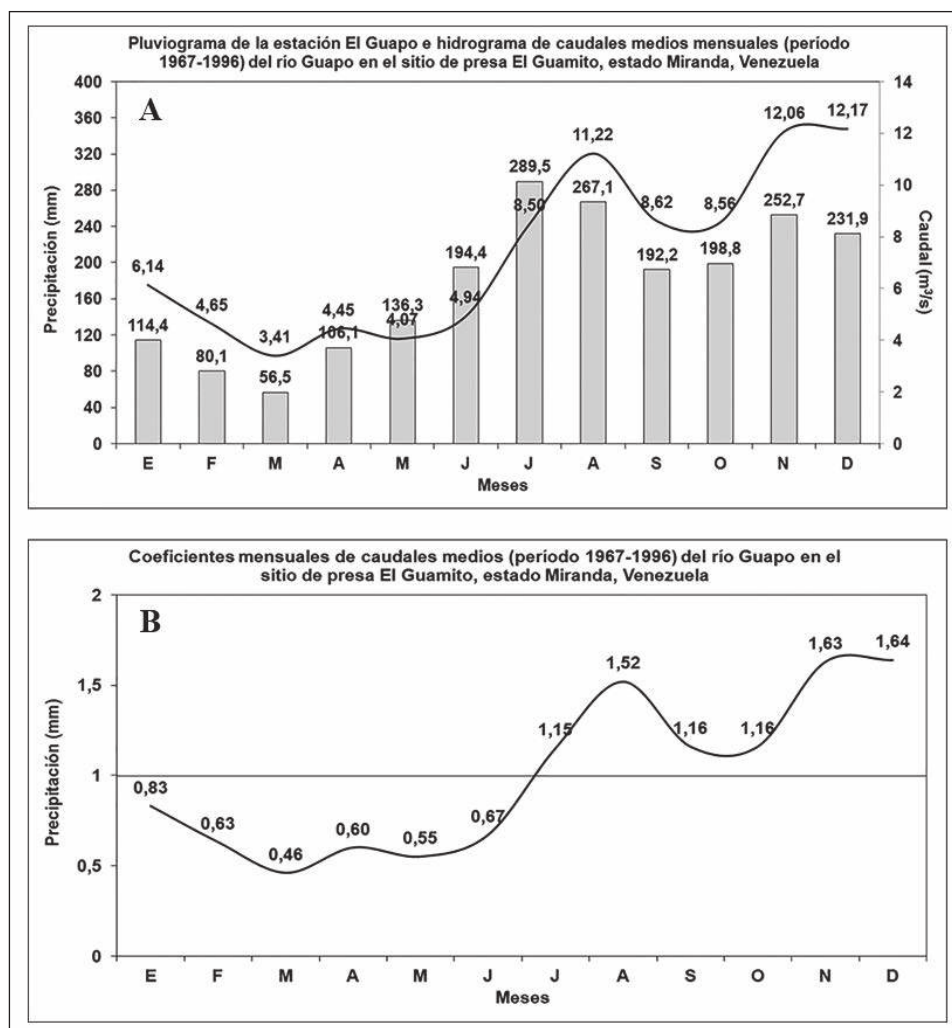


Figura 9 Régimen hidrológico (período 1967-1996) del río Guapo en el sitio de presa El Guamito; (A) pluviograma de la estación pluviográfica El Guapo e hidrograma de caudales medios mensuales y (B) coeficientes mensuales de caudales medios.

mayor superficie. Al tratarse de suelos superficiales o de poca profundidad, el bosque presenta severas limitaciones en la zona radicular, es decir, la profundidad de penetración de las raíces arbóreas en el substrato es poca, que aunado a las altas pendientes del terreno, dificultan su función fijadora o de estabilizadora relativa del suelo frente a los excesos de humedad. Ello determina una alta probabilidad de ocurrencia de procesos erosivos o de remoción en masa en presencia de eventos extremos de precipitación, y en consecuencia de arrastre de sedimentos y de la misma cobertura vegetal. La deforestación en la cuenca del río Guapo se ha incrementado de manera sostenida en tiempos recientes. De acuerdo al análisis multitemporal realizado por Herrera & Prato (2004) para el período de doce años comprendido entre 1991 y 2003, la deforestación mostró un creci-

miento absoluto de 64,12 km<sup>2</sup>, lo cual representa un 12% del total del área de las cuencas alta y media.

### 5 Conclusiones

La cuenca del río Guapo posee un área total de 594,4 km<sup>2</sup>, de los cuales 477,9 km<sup>2</sup> (80%) son controlados por la presa (cuencas alta y media), para unas características hidrológicas de diseño con un gasto de 6,2 m<sup>3</sup>/s y precipitación total anual de 2.174 mm.

Los elementos de los medios físico y biológico (geología, relieve, geomorfología, topografía, suelos, vegetación, clima, drenaje e hidrología) que coexisten en el área de la cuenca de recepción, tienen un peso importante como condicionantes de las res-

puestas hidrogeomorfológicas del sistema (crecidas, producción y arrastre de sedimentos y procesos de remoción en masa).

Las pendientes del cauce del río Guapo hasta el sitio de presa disminuyen progresivamente desde 4,76% hasta 0,52%, pero las pendientes de las vertientes de los promontorios y filas topográficas están en el rango de 10% a 100%, sugiriendo un volumen importante en la escorrentía de las aguas que precipitan sobre el área de la cuenca de recepción.

Aunado a ello, el río Guapo en el sitio de presa ya posee un orden 5, con una longitud total de cauces hasta ese punto de 400 km aproximadamente, con pendientes promedios de los cauces entre 0,83% y 50%.

Las características morfométricas de la cuenca indican una alta correspondencia entre estos aspectos y el colapso del aliviadero de la presa en Diciembre de 1999, ya que las mismas favorecieron los elevados montos de caudales (respuesta hidrológica) que se estimaron para el sitio de presa, durante la ocurrencia de este evento adverso.

La crecida del río Guapo en el sitio de presa El Guamito, observada en diciembre de 1999, denotó una subestimación del comportamiento hidrológico de este río (eventos extremos), expresada en los cálculos de los caudales de diseño, utilizados en la construcción del aliviadero que colapsó.

El colapso de la presa El Guapo fue el resultado de la conjunción de una serie de factores desfavorables, tanto naturales como ingenieriles, que ya se habían manifestado en el tiempo previo a diciembre de 1999.

Se recomienda el monitoreo hidrológico y de ocurrencia de procesos de remoción en masa mediante el empleo de herramientas de sensores remotos, así como la instrumentación de la cuenca, a fin de disponer de información hidrométrica sistemática y en tiempo real. Es vital, como garantía del tiempo de vida útil para el que fue construida la nueva infraestructura hidráulica, así como de su capacidad y volumen de diseño, el desazolve del embalse en el sitio de presa.

## 6 Referencias

Andressen, R. & Pulwarty, R. 2001. Análisis de las lluvias excepcionales causantes de la tragedia del estado Vargas, Venezuela, en Diciembre de 1999. In: TALLER SOBRE CAMBIOS CLIMÁTICOS, RECURSOS HÍDRICO,

- GEO-RIESGOS Y DESASTRES NATURALES: IV SIMPOSIO INTERNACIONAL DE DESARROLLO SUSTENTABLE, Mérida, 2001. *Resúmenes expandidos*, Mérida, Universidad de Los Andes, p. 148-167.
- Carrero, O.; Barrios, D.; Bonduki, Y.; Marín, E. & Márquez, J. 1983. *Mapa de la vegetación actual de Venezuela, mapa a escala 1:500 000*. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 30p. (Proyecto VEN / 79 / 001 / Sistemas Ambientales Venezolanos).
- CGR Ingeniería. 2000. *Estudio hidrológico de la cuenca del río Guapo, edo. Miranda*. Caracas, Dirección de Estudios y Proyectos, Dirección General de Estudios Ambientales, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 45p.
- Comisión ad-honorem. 1980. *Alternativas de utilización de las aguas de la cuenca del Orinoco para el abastecimiento del norte del país, Decreto Presidencial N° 268 de fecha 06-09-1979*. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Instituto Nacional de Obras Sanitarias, 23p. (Serie de Informes Técnicos DGM/IT/87).
- Córdova, J. & González, M. 2006. Estimación de hidrogramas de crecidas extremas. In: GRASES, J. (ed.). *Ingeniería forense y estudios de sitio: Guía para la prevención de gestión de riesgos*. Corporación Andina de Fomento, p. 80-98.
- Cueche, S., & Pino, C. 2009. *Incidentes en las presas de Venezuela*. Programa de Postgrado en Ingeniería Civil, Universidad de Oriente, Trabajo de Grado de Maestría, 104p.
- Foghin, S. 2001. Algunas consideraciones meteorológicas acerca de la catástrofe del estado Vargas en Diciembre de 1999. *Aula y Ambiente*, 1: 93-98.
- Foghin, S. 2002. *Tiempo y clima en Venezuela: Aproximación a una geografía climática del territorio venezolano*. Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador. 159p.
- Furrer, M. & Castro, M. 1997. San Antonio, Formación. En: SCHERER, W. (ed.) *Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela*. Caracas, Petróleos de Venezuela, S. A. p. 135-137.
- Grases, J.; Amundaray, J.; Malaver, A.; Feliziani, P.; Franceschi, L. & Rodríguez, J. 2000. *Emergencia 99: Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999*. Caracas, Corporación Andina de Fomento. 224p.
- Hackley, P.; Urbani, F.; Karlsen, A. & Garrity, Ch. 2006. *Mapa Geológico de Venezuela, mapa a escala 1:750.000*. Virginia, United States Geological Survey / Universidad Central de Venezuela – Escuela de Geología, Minas y Geofísica / Fundación de Investigaciones Sismológicas.
- Herrera, A., & Prato, G. 2004. *Análisis multitemporal de áreas deforestadas en la cuenca alta y media del río Guapo, estado Miranda, utilizando imágenes de satélite y SIG*. Programa de Licenciatura en Geografía, Universidad Central de Venezuela, Trabajo Especial de Grado, 178p.
- Horton, R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56: 275-370.
- Isava, M. 1975. *Proyecto embalse El Guapo (estado Miranda)*. Caracas, Instituto Nacional de Obras Sanitarias, 170p.
- Kiser, G. 1997. Naricual, Formación. In: SCHERER, W. (ed.)

**Colapso de la Presa El Guamito (Venezuela) ante las Lluvias Extraordinarias de Diciembre de 1999: Condicionantes Hidrogeomorfológicos en la Cuenca del Río Guapo**

Williams Méndez; José Córdova; Carlos Suárez; Henry Pacheco & Loan Landaeta

- Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela*. Caracas, Petróleos de Venezuela, S. A., p. 93-95.
- Liendo, L. 2000. El Guapo: ¿Por qué falló?. *Vertientes: La Revista de Hidrocapital*, 3: 13-16.
- Macosotay, O. (1997). Quebradón, Formación. In: SCHERER, W. (ed.) *Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela*. Caracas, Petróleos de Venezuela, S. A., p. 121-123.
- Maraven. 1988. *Región capital y central: Distrito Federal, estados Miranda, Aragua y Carabobo*. Caracas, Maraven. 56 p.
- Marín, F.; Durán, H.; Fernández, O.; González, A. & Zerpa, O. 1981. *Estudio semidetallado de suelos en los valles de los ríos Guapo, Río Chico y San José – edo. Miranda*. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 62p. (Serie de Informes Técnicos, Zona 13/IT/01).
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos. 1976. *Mapa geológico estructural de Venezuela, mapa a escala 1:500.000*. Caracas, Foninves, 20p.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. 1970a. *Hoja 6945 Altagracia de Oriuico, carta topográfica a escala 1:100.000*. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1p.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. 1970b. *Hoja 6946 Caucagua, carta topográfica a escala 1:100.000*. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1p.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. 1970c. *Hoja 6947 Higueroite, carta topográfica a escala 1:100.000*. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1p.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. 1970d. *Hoja 7045 San José de Guaribe, carta topográfica a escala 1:100.000*. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1p.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. 1970e. *Hoja 7046 Río Chico, carta topográfica a escala 1:100.000*. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1p.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía Nacional. 1970f. *Hoja 7047 Paparo, carta topográfica a escala 1:100.000*. Caracas, Ministerio de Obras Públicas. 1p.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección de Hidrología y Meteorología. 1993. *Datos climatológicos: Estaciones El Guapo, San José de Río Chico y Tacarigua de Mamporal, período 1964-1978*. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Dirección de Hidrología y Meteorología, 10p.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 1980. *Esquema de ordenamiento del litoral Barlovento: Diagnóstico*. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 120p. (Serie de Informes Técnicos, DGSPPOA, IT, 73).
- Petaccia, G.; Lai, C.; Milazzo, C. & Natale, L. 2016. The collapse of the Sella Zerbino gravity dam. *Engineering Geology*, 211: 39-49.
- Prusza, Z.; Perazzo, P. & Maradey, G. 2003. Rehabilitación de la presa El Guapo. In: LLANOS, J., YAGUE, J., SANZ DE ORMIJANA, F., CABRERA, M. & PENAS, J. (Comps.) *Dam Maintenance and Rehabilitation: Proceedings of the International Congress on Conservation and Rehabilitation of Dams*. A.A. Balkema Publishers, p. 349-353.
- RGR Ingeniería C. A. & Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. 2000. *Estudio geológico – geotécnico para la reconstrucción de la presa El Guapo, edo. Miranda: 1ra. etapa, análisis información existente, geología de superficie*. Caracas, RGR Ingeniería C. A. / Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, 135p.
- Spilimerg, S. A. / Vialpa y Camargo Correa. s. f. *Ficha técnica de la nueva presa del río Guapo*. Caracas, Spilimerg, S. A. / Vialpa y Camargo Correa, 20p.
- Strahler, A. 1964. Quantitative geology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. (ed.) *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill Book Co, p. 39-76.
- Strebin, S. 1989. *Atlas de capacidad de uso de las tierras de los estados centrales y centro-occidentales, mapa a escala 1:250.000*. Caracas, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 76p.
- Suárez, L. 2002. *Incidentes en las presas de Venezuela: Problemas, soluciones y lecciones*. Caracas, Arte. 376p.
- U. S. Army Corps of Engineers. 2000. *HEC-HMS: Hydrologic Modeling System. Hydraulic Reference Manual*. California, Hydrologic Engineering Center. 82p.
- Urbani, F. 1997. Las Hermanas, Formación. In: SCHERER, W. (ed.) *Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela*. Caracas, Petróleos de Venezuela, S. A., p. 72-74.
- Yasuda, S.; Shimizu, Y. & Deguchi, K. 2016. Investigation of the mechanism of the 2015 failure of a dike on Kinu River. *Soils and Foundations*, 56(4): 581-592.
- Yoris, F. 1997. Los Cajones, Miembro. En: SCHERER, W. (Ed.) *Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela*. Caracas, Petróleos de Venezuela, S. A., p. 80-82.
- Yoris, F., & Kiser, G. 1997. Guárico, Formación. En: SCHERER, W. (Ed.) *Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela*. Caracas, Petróleos de Venezuela, S. A., p. 56-58.
- Zhang, J.; Yang, Z.; Gao, X. & Zhang, J. 2015. Geotechnical aspects and seismic damage of the 156-m-high Zipingpu concrete-faced rockfill dam following the Ms 8.0 Wenchuan earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 76: 145-156.