

## **GEOMORFOLOGÍA Y RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA MICROCUENCA DE DRENAJE DE LA QUEBRADA CURUCUTÍ, ESTADO VARGAS, VENEZUELA**

WILLIAMS MÉNDEZ<sup>1</sup>, JOSÉ CÓRDOVA<sup>2</sup>, SCARLET CARTAYA<sup>1</sup> Y HENRY PACHECO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Investigación «Estudios del Medio Físico Venezolano», Departamento de Ciencias de la Tierra, Instituto Pedagógico de Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas, Venezuela.  
e-mail: wjmendezmata@yahoo.com, scartaya@yahoo.com, henrypacheco@hotmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. e-mail: jcordova@usb.ve

Recibido: noviembre de 2006

Recibido en forma final revisado: abril de 2007

### **RESUMEN**

La microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí se ubica en la vertiente norte del Macizo del Ávila (10°33'08"-10°36'23" LN y 66°57'38"-66°59'14" LO), en el sector centro occidental del estado Vargas (Venezuela). Este sistema fue una de las más de veinte cuencas que se activaron hidromorfológicamente, como respuesta a las excepcionales precipitaciones ocurridas en Diciembre de 1999, en el Litoral Central de Venezuela. Es por ello que el propósito de este trabajo es, analizar e interpretar la dinámica hidrogeomorfológica de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, en términos del control que ejercen sus parámetros morfométricos en las características de la respuesta hidrológica. La metodología comprendió: (a) cálculos y mediciones de parámetros morfométricos; (b) cálculo del tiempo de concentración; y (c) estimación de los hidrogramas unitarios y caudales pico de crecientes. La microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, es un sistema hidrogeomorfológico cuya respuesta hidrológica está determinada por la pequeña área del mismo, fuertes pendientes en las vertientes y cauces del sector montañoso, la densidad de drenaje media, el orden 5 de la microcuenca, una relación de bifurcación media de 3,73, alta torrencialidad, las dimensiones de las tormentas y la intensidad y duración de las lluvias. Los cortos tiempos de concentración, así como las magnitudes estimadas de los caudales pico de crecientes y los picos y tiempos al pico de los hidrogramas unitarios obtenidos, corroboran la influencia que ejercen las características fisiográficas de la microcuenca y la estructura de la red de drenaje, en las respuestas rápidas y violentas del sistema. Ello define escenarios críticos de inundaciones, para eventos de períodos de retorno de 50, 100 y 500 años principalmente, y en el peor de los casos de 1000 años, para lluvias de 1 hora de duración.

*Palabras clave:* hidrología, morfometría, hidrograma unitario, cuenca de drenaje, estado Vargas.

## **GEOMORPHOLOGY AND HYDROLOGIC RESPONSE OF THE CURUCUTÍ CREEK CATCHMENT, VARGAS STATE, VENEZUELA**

### **ABSTRACT**

The Curucutí Creek catchment is located on the north slope of the Ávila Massif (10°33'08"-10°36'23" LN and 66°57'38"-66°59'14" LW), in the central western part of Vargas State (Venezuela). This system was one of the catchments that were hydrologically and morphodynamically activated in response to the extreme rains that occurred in December 1999 on the Venezuela Central Littoral. The purpose of this work is to analyze the control of the morphometric parameters of the catchment and drainage network on the features of the hydrologic response. Methodology consisted of: (a) calculations and measures of the morphometric parameters, (b) calculation of concentration time, and (c) estimate of the unit hydrographs and flood peak discharges. The Curucutí Creek catchment is a hydrogeomorphological system whose hydrologic response is determined by a small catchment area, hillsides and channels on the mountainous area with steep slopes, medium drainage density, a drainage network of the 5<sup>th</sup> order, medium bifurcation relation of 3.73, high torrentiality, storm size and intensity and duration of the rains. The short concentration times, the flood peak discharges and the unit hydrographs corroborate the influence of the catchment's morphometry and the drainage network structure on the fast and violent responses of system. These define flood critical stages for events of return periods of 50, 100 and 500 years mainly, and for 1000 years if the worst comes to the worst, for rains that last 1 hour.

*Keywords:* hydrology, morphometry, unit hydrograph, catchment, Vargas state.

## INTRODUCCIÓN

La microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, fue uno de los más de veinte sistemas que se activaron hidromorfodinámicamente, como respuesta a las excepcionales precipitaciones de Diciembre de 1999, que afectaron principalmente la vertiente norte de la Serranía del Ávila.

El interés en esta microcuenca como área de estudio radica en que en su sector bajo (abanico aluvial) se asienta gran parte de la infraestructura aduanera (almacenes) portuaria y aeroportuaria del país, la cual fue afectada por el evento de 1999; así como una extensión considerable del Aeropuerto Internacional de Maiquetía «Simón Bolívar», y un asentamiento poblacional significativo emplazado en el área del abanico aluvial y vertientes bajas, parcialmente afectado durante el evento de Diciembre de 1999.

El análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico, así como para inferir indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas (respuesta hidrológica) (Alonso *et al.*, 1981; Vélez y Vélez, s. f.a).

La estructura de la respuesta hidrológica de una cuenca representada por el hidrograma unitario instantáneo, y derivada como una función de los parámetros morfométricos de ella, definen al Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico (HUIG) (Rodríguez y Valdés, 1979; Rodríguez *et al.*, 1979; Valdés *et al.*, 1979; Rodríguez y González, 1982; Rodríguez *et al.*, 1982; Córdova y Rodríguez, 1983; Willgoose *et al.*, 1992). Este método es de gran utilidad para la estimación de caudales pico de crecientes en cuencas con información hidrológica escasa o inexistente, ya que a partir de su calibración en una cuenca cercana que posea información de precipitación, puede ser extrapolado y aplicado a cuencas vecinas con características fisiográficas similares.

Por ello, en el presente trabajo se midieron y calcularon los parámetros morfométricos de la microcuenca de la quebrada Curucutí y de su red de drenaje, se calcularon sus tiempos de concentración, y se estimaron los caudales pico de crecientes por medio del modelo HUIG, con el propósito fundamental de analizar e interpretar la respuesta hidrológica de este sistema, como una función directa de sus características morfométricas y de su red de drenaje, a fin de contribuir con la evaluación de la amenaza por inundaciones en esta área.

## ÁREA DE ESTUDIO

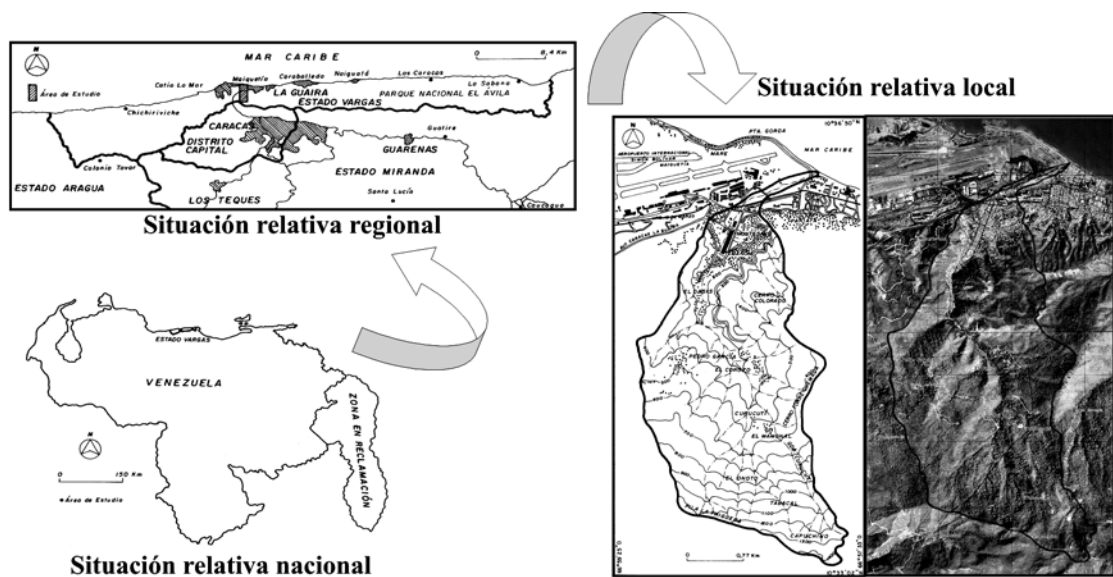
La microcuenca de la quebrada Curucutí está situada geográficamente en la Región Centro Norte del territorio venezolano, específicamente en el sector centro occidental del estado Vargas, y definida geoastronómicamente por las siguientes coordenadas: 10°33'08" – 10°36'23" de latitud norte, y 66°57'38" – 66°59'14" de longitud oeste (figura 1).

La geología está representada fundamentalmente por afloramientos de rocas metamórficas correspondientes a las unidades litodémicas: (a) Complejo San Julián (esquistos y gneises), (b) Esquisto de Tacagua, (c) Mármol de Antímano, y (d) cuerpos de serpentinita; y depósitos aluvionales (abanico coluvio-aluvial) de origen fluvio-torrencial (Urbani, 1999; Urbani, 2000; Urbani, 2002; Urbani *et al.*, 2000). Desde el punto de vista orográfico, el área de estudio se ubica en el sector medio del Sistema Orográfico Central de Venezuela, en el tramo septentrional conocido como Cordillera de la Costa o Serranía del Litoral, y específicamente emplazada en el extremo occidental de la vertiente norte de la Sierra o Macizo del Ávila.

La microcuenca se comparte entre dos grandes unidades de relieve con topografías contrastantes: (a) un sector montañoso de topografía muy abrupta que abarca la mayor extensión del área, con alturas comprendidas entre 125 msnm y más de 1.425 msnm, y pendientes que oscilan entre 3 % y 45 %; y (b) una unidad de abanico coluvio-aluvial de topografía suave y moderadamente inclinada, emplazado en la parte baja o terminal de la microcuenca, con elevaciones desde 0 msnm en la línea de costa y base del abanico, hasta 125 msnm en el ápice del mismo, y pendientes entre 0 % y 18 % (Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar [IGVSB] / Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales [MARN], 2002a, 2002b).

Desde el punto de vista climático está enmarcada en un sector de tipo Bsh (Clima Tropical Estepario), según la clasificación de Köppen. De acuerdo con datos del MARN, Dirección de Hidrología y Meteorología (2000), la precipitación en la parte baja del área (franja costera) presenta montos pluviométricos anuales que oscilan entre 521,4 mm y 647,4 mm, y temperatura media anual de 26,0 °C. En la parte alta (sector montañoso) se observa un monto anual de 551,7 mm, con una temperatura media anual de 17 °C, lo cual refleja un clima mucho más fresco que el de la parte baja del área.

Las formaciones vegetales que conviven en el área desde la línea de costa hasta la parte más alta en el sector montañoso, son: vegetación litoral, cardonales y espinares, bosque deciduo, bosque semi-deciduo, bosque transicional, bosque



**Figura 1.** Localización de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela. Fuente: Dirección de Cartografía Nacional, 1979a, 1979b; Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, 1995a, 1995b.

de galería y vegetación secundaria (Amend, 1991; IGVSB / MARNR, 2002c; Monedero y Gutiérrez, 2001; Steyermark y Huber, 1978).

Con relación al uso actual de la tierra, los asentamientos humanos se concentran básicamente en la parte baja (abanico coluvio-aluvial) de la microcuenca, mientras que la parte alta (sector montañoso) con la mayor extensión superficial, corresponde a un Área Bajo Régimen de Administración Especial bajo la figura jurídica de Parque Nacional El Ávila. Las actividades económicas se concentran mayoritariamente en las ramas construcción, comercio, transporte y comunicaciones y administración pública (Autoridad Única de Área para el Estado Vargas [AUAEV] y Ecology and Environment, 2003a, 2003b; Marcano y Barrios, 2001).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología desarrollada en este trabajo comprendió en primera instancia, las mediciones y cálculos de variables y parámetros morfométricos de la microcuenca y la red de drenaje (tabla 1) de la quebrada Curucutí, para lo cual se utilizó como fuente de información planos topográficos del área de estudio a escala 1:5.000, correspondientes a las hojas B-42, C-42 y D-42 editadas por la Gobernación del Distrito Federal en el año 1984.

Los tiempos de concentración de la microcuenca en su desembocadura y en el ápice del abanico, se estimaron con base en la ecuación de Kirpich (1940):

$$t_c = 0,01947 L^{0,77} S^{-0,385} \quad (1)$$

donde:

$t_c$  = tiempo de concentración (min);  $L$  = longitud del cauce principal (m); y  $S$  = pendiente promedio del cauce principal (m/m).

Para la estimación de los caudales pico de crecientes, se tomó como información de entrada, los hietogramas de diseño para períodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 100, 500 y 1000 años y duraciones de la lluvia a intervalos de 5 minutos durante 24 horas, estimados por Córdova y González (2003) y González y Córdova (2003) con información de precipitaciones de la estación pluviográfica Maiquetía.

En primer lugar se calcularon los hietogramas de exceso de lluvia con base en el método del cálculo de la distribución temporal de las abstracciones o pérdidas por infiltración en una tormenta, desarrollado por el Soil Conservation Service (1972). Se calculó la lluvia acumulada ( $P$ ) en pulg, sumando de manera progresiva y acumulativa desde los primeros 5 minutos de precipitación. Luego se calculó la retención potencial máxima de agua ( $S$ ) (2), de la siguiente forma:

$$S = 1000 / CN - 10 \quad (2)$$

donde:

$S$  es la retención potencial máxima de agua (pulg), y  $CN$  es el número adimensional de curva ( $0 \leq CN \leq 100$ ). El número de curva  $CN$  asignado a la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí fue 55, el cual se tomó de los trabajos de Córdova y González (2003) y González y Córdova (2003).

**Tabla 1.** Parámetros morfométricos medidos y calculados para la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Variable                                   | Parámetro   | Símbolo          | Ecuación   | Dimensión        |
|--|---|------------------|--|------------------|
| Escala de la cuenca                        | Área  | A                | -  | L <sup>2</sup>   |
|  | Perímetro   | P                | -  | L                |
|  | Longitud  | L                | -  | L                |
|  | Ancho   | W                | -  | L                |
|  | Diámetro  | D                | $D = (4A/\pi)^{1/2}$   | L                |
| Gradiente y forma del relieve de la cuenca | Altura máxima   | H                | -  | L                |
|  | Altura mínima   | h                | -  | L                |
|  | Relieve máximo  | H <sub>b</sub>   | $H_b = H - h$  | L                |
|  | Radio del relieve   | R                | $R = H_b/L$  | -                |
|  | Pendiente mediana   | S <sub>md</sub>  | Construcción gráfica   | %                |
|  | Pendiente media del perfil longitudinal de la corriente principal | S <sub>m</sub>   | $S_m = (\sum \sqrt{S_{mi}/m})^2$<br>S <sub>mi</sub> <sup>(1)</sup><br>m <sup>(2)</sup> | %                |
| Forma de la cuenca                         | Elongación  | S <sub>e</sub>   | $S_e = A^{0,5}/L$  | -                |
|  | Factor forma  | F <sub>f</sub>   | $F_f = A/L^2$  | -                |
|  | Coefficiente de compacidad  | K <sub>c</sub>   | $K_c = P/A^{1/2} \cdot 0,28$   | -                |
| Extensión de la red de drenaje             | Longitud de la corriente principal                                | L <sub>cp</sub>  | -  | L                |
|  | Longitud total de las corrientes                                  | C <sub>t</sub>   | C <sub>t</sub> = Σ longitud de las corrientes  | L                |
|  | Densidad de drenaje   | D <sub>d</sub>   | $D_d = C_t/A$  | L/L <sup>2</sup> |
| Orden y magnitud de la red de drenaje      | Orden de la corriente   | u                | -  | -                |
|  | Número de segmentos de la corriente de un orden dado              | N <sub>u</sub>   | -  | -                |
|  | Relación de bifurcación   | R <sub>b</sub>   | $R_b = N_u/N_{u+1}$  | -                |
|  | Longitud de la corriente de un orden dado                         | L <sub>u</sub>   | -  | L                |
|  | Longitud total de las corrientes de un orden dado                 | L <sub>tu</sub>  | $L_{tu} = \sum L_u$  | L                |
|  | Longitud media de las corrientes de un orden dado                 | L <sub>mu</sub>  | $L_{mu} = L_{tu}/N_u$  | L                |
|  | Longitud media acumulada de las corrientes de un orden dado       | L <sub>mau</sub> | $L_{mau} = L_{mu} + L_{mu+1}$  | L                |
|  | Relación de longitud  | R <sub>L</sub>   | $R_L = L_{mu}/L_{mu-1}$  | -                |
|  | Coefficiente de torrencialidad                                    | CT               | $CT = N_1/A$<br>N <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>  | -                |

Fuente: Gardiner, 1981; Gregory y Walling, 1973; Guevara y Cartaya, 1991; Hena, 1998; Horton, 1945; Leopold *et al.*, 1964; Monsalve, 2000; Pastrana, 2003; Pérez, 1977; Senciales, 1998; Smith y Stopp, 1978; Strahler, 1968; Strahler, 1984; Vélez y Vélez, s. f.a; Vélez y Vélez, s. f.b.

<sup>(1)</sup> S<sub>mi</sub> = pendiente media de cada intervalo del perfil longitudinal de la corriente principal; <sup>(2)</sup> m = número de intervalos en que se divide el perfil longitudinal de la corriente principal; <sup>(3)</sup> N<sub>1</sub> = número de corrientes de orden 1.

Posteriormente se calculó la abstracción inicial (I<sub>a</sub>) (3), mediante la siguiente ecuación:

$$I_a = 0,2 S \quad (3)$$

donde:

I<sub>a</sub> es la abstracción inicial (pulg), y después se calcularon las abstracciones continuadas (F<sub>a</sub>) (4) para cada uno de los valores de lluvia acumulada (P) mayores al de la abstracción inicial (I<sub>a</sub>), con la siguiente ecuación:

$$F_a = S (P - I_a) / P - I_a + S \quad (4)$$

donde: F<sub>a</sub> es la abstracción continuada (pulg), y P es la lluvia acumulada (pulg).

A continuación se calcularon los excesos de lluvia acumulados (P<sub>e</sub>) (5), de igual forma para cada uno de los valores de lluvia acumulada (P) mayores al de la abstracción inicial (I<sub>a</sub>), por medio de la siguiente ecuación:

$$P_e = P - I_a - F_a \quad (5)$$

donde  $P_e$  es el exceso de lluvia acumulado (pulg). Luego se calcularon los hietogramas de exceso de lluvia (lluvia efectiva), restando valores sucesivos de los excesos de lluvia acumulados ( $P_e$ ). Posteriormente, se calcularon los hietogramas de excesos de lluvia acumulados, sumando de manera progresiva y acumulativa, cada uno de los valores de los hietogramas de exceso de lluvia. Finalmente, se calcularon las intensidades de la lluvia efectiva, dividiendo cada uno de los valores de los hietogramas de excesos de lluvia acumulados (cm), entre sus correspondientes intervalos de tiempo de duración de la lluvia (h).

La estimación propiamente dicha de los caudales pico de crecientes se llevó a cabo utilizando el método del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico (HUIG), el cual comprendió los siguientes pasos: en primer lugar se calculó el parámetro de onda cinemática ( $\alpha_\Omega$ ) (6) para la corriente de orden más alto (según el criterio de jerarquización y ordenamiento de redes de drenaje de Strahler), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_\Omega = s_\Omega^{1/2} / n_\Omega b_\Omega^{2/3} \quad (6)$$

donde:  $\Omega$  es el orden más alto de la red de drenaje,  $\alpha_\Omega$  es el parámetro de onda cinemática para la corriente de orden más alto,  $s_\Omega$  es la pendiente media de la corriente de orden más alto (adimensional; distancia vertical y distancia horizontal en metros) en toda su longitud,  $n_\Omega$  es el coeficiente de rugosidad (n de Manning) del lecho de la corriente de orden más alto, y  $b_\Omega$  es el ancho máximo del cauce (m) de la corriente de orden más alto, en la sección hidráulica de interés (ápice del abanico en este estudio).

Luego se procedió a calcular la constante  $\Pi_i$  (7) por cada uno de los valores de intensidad de la lluvia efectiva, mediante la ecuación:

$$\Pi_i = L_\Omega^{2.5} / i_e A_\Omega R_L \alpha_\Omega^{1.5} \quad (7)$$

donde:

$\Pi_i$  es una constante,  $L_\Omega$  es la longitud total (Km) de la corriente de orden más alto,  $i_e$  es la intensidad de la lluvia efectiva (cm/h<sup>-1</sup>),  $A_\Omega$  es el área de drenaje (Km<sup>2</sup>) de la corriente de orden más alto, hasta la sección hidráulica de interés (ápice del abanico en este estudio), y  $R_L$  es la relación de longitud media (adimensional) de la red de drenaje, hasta la sección hidráulica de interés (ápice del abanico en este estudio).

Posteriormente se calcularon los picos ( $q_p$ ) y los tiempos al pico ( $t_p$ ), con las siguientes ecuaciones:

$$q_p = 0,871 / \Pi_i^{0.4} \quad (8)$$

$$t_p = 0,585 \Pi_i^{0.4} \quad (9)$$

donde:  $q_p$  es el pico (h<sup>-1</sup>) del hidrograma, y  $t_p$  es el tiempo al pico (h) del hidrograma. Luego se calcularon los caudales pico ( $Q_p$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_p = 2,42 (i_e A_\Omega t_c / \Pi_i^{0.4}) (1 - 0,218 t_c / \Pi_i^{0.4}) \quad (10)$$

donde:  $Q_p$  es el caudal pico (m<sup>3</sup>/seg<sup>-1</sup>), y  $t_c$  es el tiempo de duración de la lluvia (h).

La ecuación anterior (10) es solamente válida para tiempos de duración de la lluvia ( $t_c$ ), menores o iguales al tiempo de concentración de toda la cuenca. Por ello, se calculó el tiempo de concentración ( $t_c$ ) (11) para cada uno de los intervalos de tiempo de duración de la lluvia ( $t_c$ ), según la ecuación (Rodríguez *et al.*, 1982):

$$t_c = t_b = 2 / q_p = 2,30 \Pi_i^{0.4} \quad (11)$$

donde:  $t_c$  es el tiempo de concentración (h), y  $t_b$  es el tiempo base (h). Posteriormente, bajo estas consideraciones, se seleccionaron aquellos caudales pico ( $Q_p$ ) correspondientes a tiempos de duración de la lluvia ( $t_c$ ) menores o iguales a sus respectivos tiempos de concentración ( $t_c$ ). Finalmente, entre estos valores seleccionados, el de mayor magnitud corresponde al caudal pico estimado de la creciente, representativo de la cuenca en la sección hidráulica de interés (ápice del abanico en este estudio), y de un período de retorno ( $T_r$ ) determinado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Morfometría de la Microcuenca y de la Red de Drenaje

La microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de pequeñas dimensiones de carácter exorreico con orientación norte – sur perpendicular a la línea de costa, cuyos parámetros morfométricos relacionados con el tamaño del sistema (área, perímetro, longitud, ancho y diámetro) (tabla 2), determinan condiciones particulares que favorecen la ocurrencia de crecidas con hidrogramas de picos pronunciados y corta duración, y menores tiempos de concentración del sistema, en presencia de tormentas significativas en intensidad, duración y extensión.

**Tabla 2.** Características morfométricas de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Variable                                   | Parámetro   | Valor                   |
|--|---|-------------------------|
| Escala de la cuenca                        | Área (A)  | 7,34 Km <sup>2</sup>    |
|  | Perímetro (P)   | 12,20 Km                |
|  | Longitud (L)  | 4,80 Km                 |
|  | Ancho (W)   | 2,63 Km                 |
|  | Diámetro (D)  | 3,06 Km                 |
| Gradiente y forma del relieve de la cuenca | Altura máxima (H)   | 1425 msnm               |
|  | Altura mínima (h)   | 125 msnm                |
|  | Relieve máximo (H <sub>b</sub> )  | 1300 msnm               |
|  | Radio del relieve (R)   | 0,27                    |
|  | Pendiente mediana (S <sub>md</sub> )  | 21,50 %                 |
|  | Pendiente media del perfil longitudinal de la corriente principal (S <sub>m</sub> ) | 0,18 (18,12 %)          |
| Forma de la cuenca                         | Elongación (S <sub>e</sub> )  | 0,56                    |
|  | Forma (F <sub>f</sub> )   | 0,32                    |
|  | Coefficiente de compacidad (K <sub>c</sub> )  | 1,26                    |
| Extensión de la red de drenaje             | Longitud de la corriente principal (L <sub>cp</sub> )                               | 5,11 Km                 |
|  | Longitud total de las corrientes de la red de drenaje (C <sub>t</sub> )             | 59,66 Km                |
|  | Densidad de drenaje (D <sub>d</sub> )   | 8,13 Km/Km <sup>2</sup> |

Las alturas en el área están comprendidas desde los 125 msnm (altura mínima) que corresponde a la cota en la que se inicia el ápice del abanico, y 1425 msnm (altura máxima). La diferencia entre estas dos alturas extremas definen un relieve máximo de 1300 msnm que sugiere alturas y pendientes significativas favorables a la génesis y activación de procesos erosivos y de transporte de materiales.

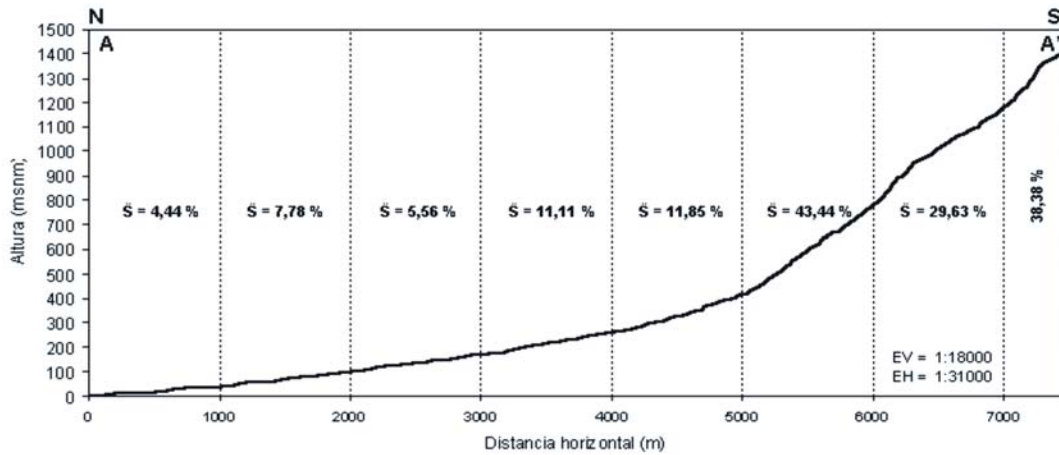
El radio del relieve (tabla 2) indica que por cada kilómetro de longitud de la cuenca, existe un incremento promedio en altura de 270 m, lo cual es un valor significativo y de esperar para una microcuenca cuya mayor extensión se asienta sobre un relieve montañoso, por lo tanto el radio del relieve también es un indicador del incremento de las pendientes, y por ende del potencial erosivo en la microcuenca.

La pendiente mediana (tabla 2) indica que un 50 % del área posee vertientes y cauces con pendientes relativamente más fuertes y mayores alturas (sector montañoso) por encima de su valor, y en el otro 50 % se presentan pendientes relativamente más suaves y menores alturas (sector de abanico aluvial) por debajo de ella. Así mismo, implica la predominancia de procesos erosivos por encima del valor de la pendiente mediana, y de transporte y depositación por debajo de ella, con mayores velocidades del agua de escorrentía en el sector montañoso, que condicionan menores tiempos de concentración, y un alto potencial erosivo y de arrastre de sedimentos.

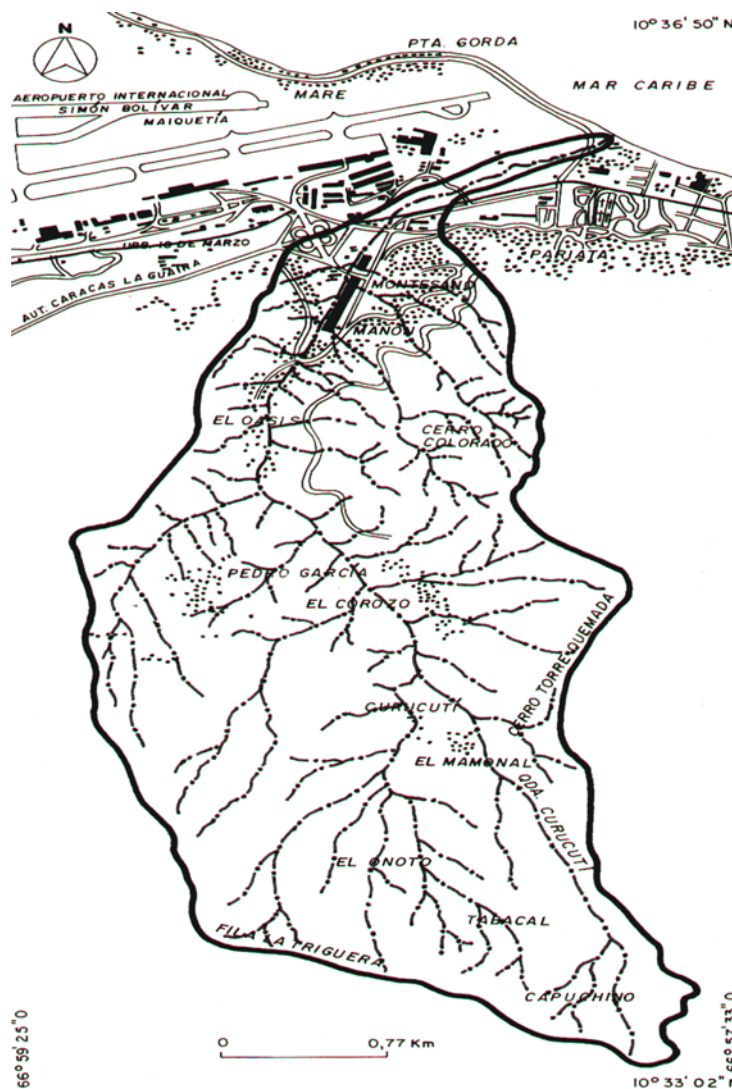
La quebrada Curucutí realiza un recorrido de 5,11 Km desde su nacimiento hasta su salida en el frente de montaña (ápice del abanico), a lo largo del cual describe un perfil longitudinal que exhibe fuertes cambios de pendiente (figura 2) y por

ende de su gradiente hidráulico, arrojando una pendiente media de 18,12 %. El perfil puede dividirse en dos grandes sectores o segmentos, tomando como referencia la cota de 250 msnm, a partir de la cual el cauce de la quebrada Curucutí hacia sus cabeceras muestra pendientes fuertes con valores promedios por tramo que oscilan entre 11,85 % y 43,33 % y una pendiente media para este segmento de 30,80 % (predominancia de procesos erosivos). En el sector o segmento más bajo del cauce de la quebrada las pendientes medias por tramo oscilan entre 4,44 % y 11,11 % con una media para ese segmento de 7,22 % (predominancia de procesos de transporte y depositacionales). La pendiente media de todo el perfil y el fuerte contraste de pendientes entre los segmentos en los que se dividió el perfil longitudinal de la quebrada, son indicadores de la alta probabilidad de este curso de agua a experimentar crecidas con hidrogramas de caudales picos elevados y de corta duración, altas velocidades del flujo, mayor capacidad de transporte de materiales y menores tiempos de concentración. Los valores de elongación, forma y coeficiente de compacidad (tabla 2), en conjunto, indican que la microcuenca presenta una forma alargada con tendencia a una configuración rectangular, lo cual es representativo de cuencas emplazadas en relieves montañosos. Esto implica bajas probabilidades de experimentar frecuentes crecidas, debido a que su forma no permite exponer toda su superficie al radio de acción de una determinada tormenta.

Sin embargo, estas afirmaciones son relativas, ya que depende del tamaño o extensión de la tormenta, de la duración e intensidad de la misma, y de las magnitudes extremas del fenómeno. De cualquier modo la probabilidad de que se presenten crecidas con hidrogramas de picos



**Figura 2.** Perfil longitudinal del cauce de la quebrada Curucutí (vista de oeste a este), estado Vargas, Venezuela.



**Figura 3.** Red de drenaje de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

pronunciados y de corta duración, es alta, aunado a las características del relieve ya discutidas, que contribuyen en gran medida a este comportamiento hidrológico e hidráulico.

La red de drenaje está constituida por cauces o corrientes de agua de cortos recorridos y régimen intermitente, que en conjunto tienen una longitud total de 59,66 Km y muestran un patrón de drenaje de tipo subdendrítico (figura 3). La

densidad de drenaje presenta un valor medio (tabla 2) con una textura media (figura 3), lo cual indica que la mayor parte de la superficie experimenta escorrentía concentrada, por lo que es de suponer una alta tasa de erodabilidad en toda su extensión, inestabilidad morfogenética y por ende gastos sólidos significativos, en presencia de tormentas de lluvias de alta intensidad y duración. Este valor también indica que en el sistema se generan crecidas con hidrogramas de picos elevados y reducidos tiempos de concentración.

Del análisis de ordenamiento y jerarquización de las corrientes de agua que conforman la red de drenaje, se obtuvo que la misma corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de orden 5 (tabla 3), siendo esta magnitud de cierta manera, un indicador importante de la extensión y ramificación de la red de drenaje, considerando la pequeña superficie del sistema, así como de alta probabilidad a experimentar crecidas con hidrogramas de picos significativos.

Los cursos de agua de la red son de cortos recorridos con valores promedios por orden que oscilan entre 0,22 Km (corrientes de orden 1) y 2,30 Km (corriente de orden 5) (tabla 3). El 76,28 % de las corrientes son de orden 1, lo cual influye significativamente en la reducción de los tiempos de concentración de la microcuenca en presencia de tormentas. La corriente principal de la red correspondiente a la quebrada Curucutí, alcanza su orden 5 aproximadamente a 350 msnm y a una distancia de 2,30 Km de su salida en el frente de montaña, lo que significa que en presencia de una crecida, ésta alcanza caudales picos importantes desde su curso medio encajado en un cañón montañoso. El coeficiente de torrencialidad muestra un valor bastante alto (tabla 3), lo cual indica una elevada susceptibilidad a la erosión lineal, así como tiempos de concentración o de respuesta de la microcuenca muy cortos.

La relación de bifurcación entre los distintos órdenes de corrientes de la red de drenaje es bastante uniforme en todo el sistema y se ubica dentro del rango (3-5) de valores característicos de los sistemas fluviales, a excepción de la relación entre los órdenes 4 y 5 cuyo valor es 2 (tabla 3). La relación de bifurcación media del sistema es de 3,73 (figura 4).

### Tiempos de Concentración

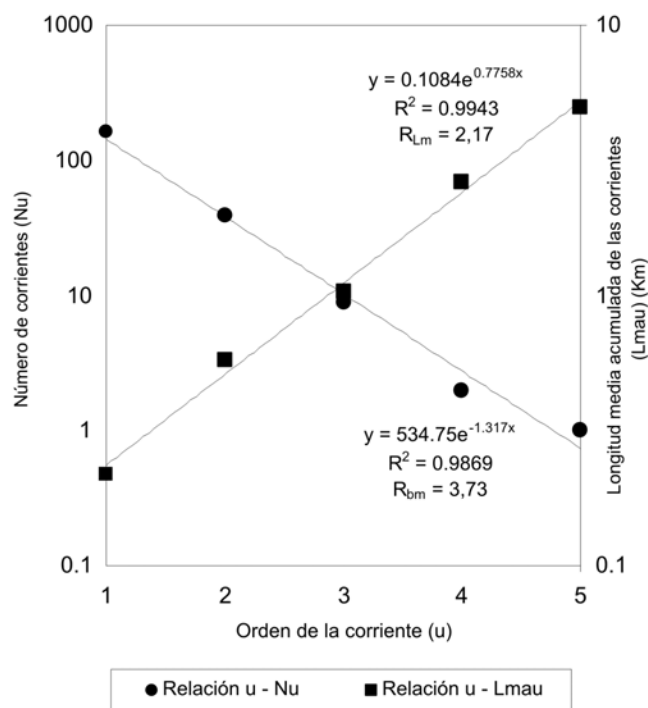
Los tiempos de concentración calculados para la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí se muestran en la tabla 4. Estos valores corroboran las afirmaciones que sobre este parámetro se realizaron, a partir del análisis de las características morfométricas de la microcuenca de drenaje, a la vez que tales magnitudes tienen correspondencia con la morfología y la geometría del sistema hidrológico de interés en este estudio.

Los tiempos de concentración estimados son bastante cortos, correspondiéndose con valores críticos que suponen el tiempo de arribo de una crecida a las secciones de referencia, principalmente en el ápice del abanico (125 msnm), a partir del cual hacia la línea de costa y bordeando el cauce principal de la quebrada Curucutí sobre los depósitos torrenciales del abanico aluvial, se asienta gran parte de la infraestructura y población de las Parroquias Maiquetía y Carlos Soublette del estado Vargas. Estos reducidos tiempos de concentración dificultan el empleo de sistemas de alertas tempranas muy sofisticados, y se requiere más bien de la preparación de la población para dar respuestas instantáneas en lo que se refiere a planes de evacuación efectivos y eficaces, así como del apoyo del Servicio Meteorológico de la Fuerza Aérea Venezolana y del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales para los pronósticos de las posibilidades de tormentas críticas en el área.

**Tabla 3.** Orden y magnitud de las corrientes de la red de drenaje de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Orden de la corriente (u)  | Número de corrientes (N <sub>u</sub> ) | Relación de bifurcación (R <sub>b</sub> ) | Longitud total de las corrientes (L <sub>tu</sub> ) (Km) | Longitud media de las corrientes (L <sub>mu</sub> ) (Km) | Longitud media acumulada de las corrientes (L <sub>mau</sub> ) (Km) | Relación de longitud (R <sub>L</sub> ) |
|--|--|---|--|--|---|--|
| 1  | 164                                    |   | 35,90  | 0,22   | 0,22  |  |
| 2  | 39                                     | 4,21                                      | 13,82  | 0,35   | 0,57  | 1,62                                   |
| 3  | 9                                      | 4,33                                      | 4,17   | 0,46   | 1,04  | 1,31                                   |
| 4  | 2                                      | 4,50                                      | 3,20   | 1,60   | 2,64  | 3,45                                   |
| 5  | 1                                      | 2,00                                      | 2,30   | 2,30   | 4,94  | 1,44                                   |
| Coeficiente de torrencialidad (CT) (N <sub>i</sub> /Km <sup>2</sup> )= | 22,34                                  |   |  |  |   |  |





**Figura 4.** Relación del orden de las corrientes con el número de corrientes, y la longitud media acumulada de las corrientes de la red de drenaje de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

**Tabla 4.** Tiempos de concentración de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Posición geomorfológica                                  | Valores empleados en los cálculos    |  | Tiempo de concentración |       |
|--|--------------------------------------|--|-------------------------|-------|
|  | Longitud del cauce principal (L) (m) | Pendiente promedio del cauce principal (S) (m/m) | h                       | min   |
| Desembocadura de la quebrada Curucutí en el mar (0 msnm) | 7.458                                | 0,1812   | 0,60                    | 36,10 |
| Ápice del abanico aluvial (125 msnm)                     | 5.113                                | 0,2731   | 0,38                    | 23,84 |

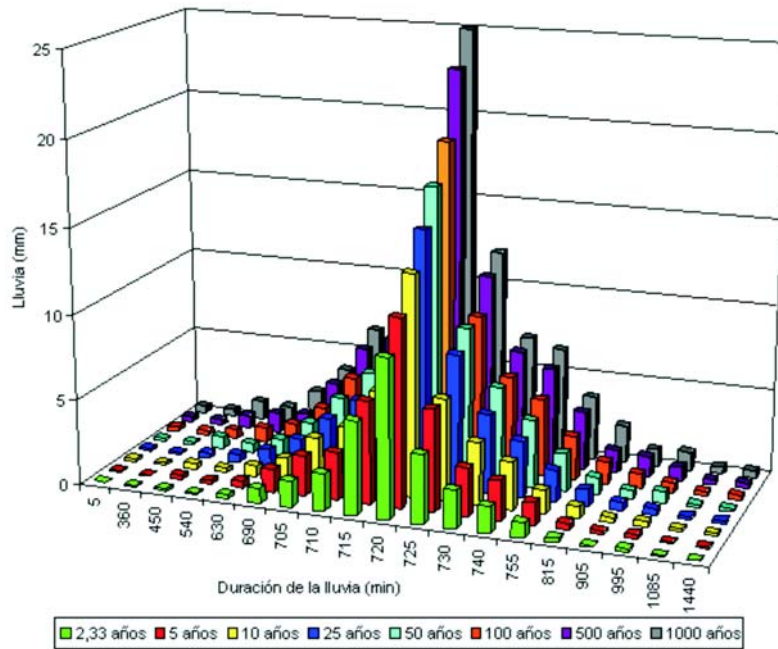
### Caudales Pico de Crecientes

Para la estimación de los caudales pico de crecientes y de los hidrogramas unitarios, tal como ya se explicó, se requirió en primer lugar calcular los hietogramas de exceso de lluvia (2) (3) (4) (5) para los distintos períodos de retorno considerados en el análisis, y duraciones de la lluvia a intervalos de 5 minutos durante 24 horas, a partir de los hietogramas de lluvias de diseño (figura 5). Posteriormente, se calcularon las intensidades de las lluvias máximas anuales efectivas; y finalmente, se estimaron los hidrogramas unitarios y caudales pico de crecientes, por medio del modelo del HUIG.

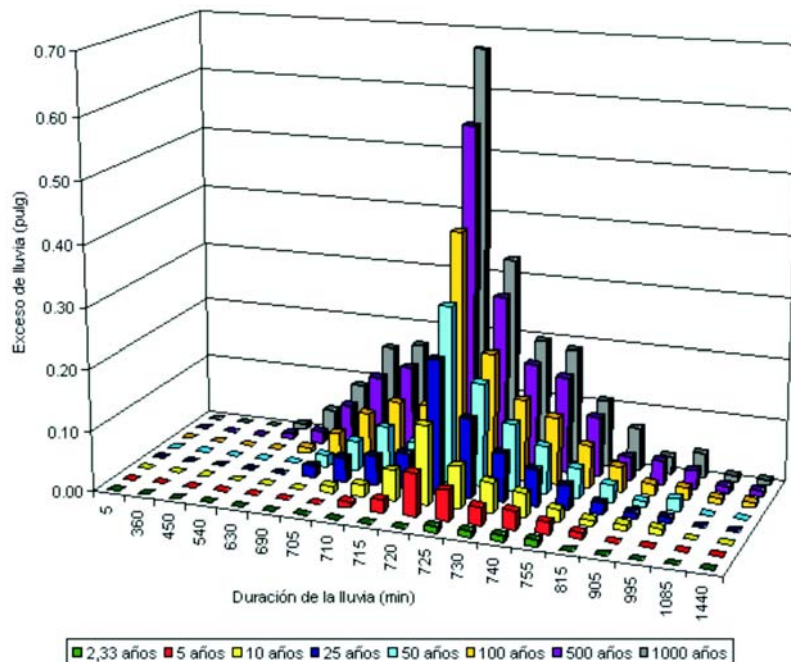
Con relación a los hietogramas de exceso de lluvia se puede apreciar que para lluvias de diseño de 24 horas a intervalos

de 5 minutos, los excesos máximos de lluvia se ubican a las 12 horas (720 min) de duración (figura 6), con valores que abarcan desde 0 pulg (0 mm) para un período de retorno de 2,33 años, hasta 0,67 pulg (17,02 mm) para un período de retorno de 1000 años. Los excesos diferentes de 0 mm para el período de retorno de 2,33 años, se ubican entre duraciones de la lluvia que abarcan desde 12,08 horas (725 min) hasta 12,58 horas (755 min), con un valor uniforme de 0,01 pulg (0,25 mm).

Para escenarios críticos de crecidas e inundaciones, se pueden observar valores de exceso de lluvia (12 horas) de 0,29 pulg (7,37 mm), 0,40 pulg (10,16 mm) y 0,56 pulg (14,22 mm), correspondientes a períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, respectivamente, y en el peor de los casos de 0,67 pulg (17,02 mm) para 1000 años de período de retorno.



**Figura 5.** Hietogramas de lluvias de diseño de la estación pluviográfica Maiquetía, estado Vargas, Venezuela.



**Figura 6.** Hietogramas de exceso de lluvia de la estación pluviográfica Maiquetía, estado Vargas, Venezuela.

Con relación a las intensidades de las lluvias máximas anuales efectivas, se obtuvo que para duraciones de la lluvia de 1 hora, éstas comprenden desde  $0,23 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $2,30 \text{ mm/h}$ ) para un período de retorno de 2,33 años, hasta  $7,08 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $70,80 \text{ mm/h}$ ) para un período de retorno de 1000 años (figura 7).

Para escenarios críticos de crecidas e inundaciones de 50, 100, 500 y 1000 años de período de retorno con esa duración (1 hora), las intensidades efectivas corresponden a valores

de  $3,19 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $31,90 \text{ mm/h}$ ),  $4,18 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $41,80 \text{ mm/h}$ ),  $5,91 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $59,10 \text{ mm/h}$ ) y  $7,08 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $70,80 \text{ mm/h}$ ) respectivamente (figura 7).

Sin embargo, los montos de las intensidades de la lluvia efectiva más críticas se registran en los primeros 5 minutos de duración de la lluvia, cuyos valores oscilan entre  $0,27 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $2,70 \text{ mm/h}$ ) para un período de retorno de 2,33 años y  $20,33 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $203,30 \text{ mm/h}$ ) para un período de retorno de 1000 años, y con valores de  $8,81 \text{ cm/h}^{-1}$  ( $88,10 \text{ mm/h}$ ),  $12,10$

cm/h<sup>-1</sup> (121 mm/h) y 16,98 cm/h<sup>-1</sup> (169,80 mm/h) para escenarios críticos de crecidas e inundaciones de 50, 100 y 500 años de período de retorno respectivamente (figura 7).

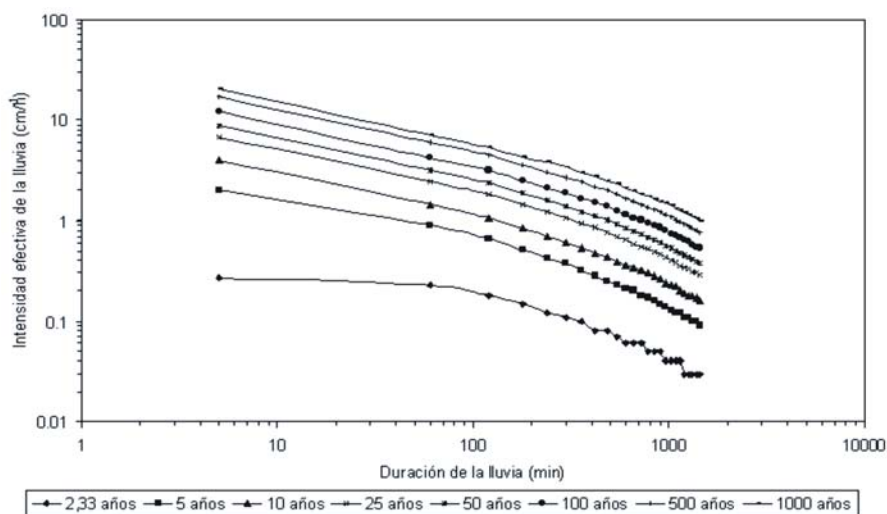
Los parámetros morfométricos e hidráulicos requeridos para la estimación de los caudales pico de crecientes y de los hidrogramas unitarios en la sección hidráulica de interés (ápice del abanico), a través del modelo del HUIG, se presentan en la tabla 5. Cabe destacar, que los valores de estos parámetros, representan las magnitudes con las que el modelo del HUIG se calibró en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí.

En la tabla 6 se presenta una síntesis en la que se relacionan los caudales pico de crecientes, y los picos y tiempos al pico de los hidrogramas unitarios correspondientes a los distintos períodos de retorno de interés, con las respectivas duraciones de la lluvia en la que éstos fueron observados, exceso de lluvia, exceso de lluvia acumulado e intensidad de la lluvia efectiva.

Con ello se confirma, que en la microcuenca de drenaje de la

quebrada Curucutí, las crecientes (respuesta hidrológica) con sus picos máximos son producidas y/o controladas por lluvias máximas, con duraciones menores, iguales y ligeramente superiores a 1 hora, aunado a las características morfométricas del sistema y los cortos tiempos de concentración, que favorecen la generación de hidrogramas con picos pronunciados de magnitudes importantes y corta duración (tiempo base), así como reducidos tiempos de retardo del sistema.

Al respecto, los resultados de las estimaciones de caudales máximos sin deslaves realizadas por González y Córdova (2003), en las cuencas del Litoral Central desde Maya hasta Chuspa, indican que en general esta zona produce importantes magnitudes de caudales instantáneos, con módulos para un período de retorno de 100 años, que varía entre 12 m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup> hasta 20 m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>. Los mismos autores obtuvieron coeficientes de escorrentía para las distintas cuencas (principalmente las del sector central), cerca del 65 % en crecidas de 100 años de período de retorno, cuyos valores tan altos los asocian más a las altas pendientes que a otros factores.



**Figura 7.** Curvas de intensidad efectiva – duración – frecuencia de la lluvia de la estación pluviográfica Maiquetía, estado Vargas, Venezuela.

**Tabla 5.** Parámetros de la sección de interés (ápice del abanico) utilizados en la estimación de los caudales pico de crecientes de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Parámetro     |  | Símbolo        | Magnitud             |
|---------------|--|----------------|----------------------|
| Morfométricos | Área   | A              | 7,34 Km <sup>2</sup> |
|               | Pendiente media de la corriente de orden más alto                                    | S <sub>m</sub> | 0,07 (7,22 %)        |
|               | Longitud total de la corriente de orden más alto                                     | L <sub>4</sub> | 4,68 Km              |
|               | Relación de longitud   | R <sub>L</sub> | 2,17                 |
| Hidráulicos   | Ancho máximo del cauce de la corriente de orden más alto                             | B              | 13 m                 |
|               | Coefficiente de rugosidad (n de Manning) del lecho de la corriente de orden más alto | N              | 0,030                |

**Tabla 6.** Hidrogramas unitarios y caudales pico de crecientes de distintos períodos de retorno de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Período de retorno (Tr) (años) | Duración de la lluvia (T) en la que se observó el caudal pico (min) | Exceso de lluvia (cm) | Exceso de lluvia acumulado (Pe) (cm) | Intensidad de la lluvia efectiva (i <sub>e</sub> ) (cm/h <sup>-1</sup> ) | Pico (q <sub>p</sub> ) (h <sup>-1</sup> ) | Tiempo al pico (t <sub>p</sub> ) (h) | Caudal pico (Q <sub>p</sub> ) (m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------|---|-----------------------|--------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|
| 2,33                           | 85  | 0,01                  | 0,31                                 | 0,22   | 0,40                                      | 1,27                                 | 0,81   |
| 5                              | 80  | 0,05                  | 1,08                                 | 0,81   | 0,68                                      | 0,75                                 | 8,33   |
| 10                             | 40  | 0,10                  | 1,21                                 | 1,82   | 0,94                                      | 0,54                                 | 21,43  |
| 25                             | 45  | 0,14                  | 2,12                                 | 2,83   | 1,12                                      | 0,45                                 | 52,16  |
| 50                             | 40  | 0,21                  | 2,62                                 | 3,93   | 1,28                                      | 0,40                                 | 85,61  |
| 100                            | 45  | 0,27                  | 3,60                                 | 4,80   | 1,38                                      | 0,37                                 | 134,96   |
| 500                            | 60  | 0,30                  | 5,91                                 | 5,91   | 1,50                                      | 0,34                                 | 245,14   |
| 1000                           | 60  | 0,38                  | 7,08                                 | 7,08   | 1,62                                      | 0,31                                 | 339,36   |

Al comparar y correlacionar las magnitudes de los caudales pico de crecientes obtenidas en este estudio, para la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, a través del modelo del HUIG, con las obtenidas por González y Córdova (2003), a través del modelo de la onda cinemática, para la misma microcuenca (tabla 7), se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,98 y un coeficiente de determinación de 0,99 (figura 8), con lo cual se puede afirmar, que la calibración del modelo del HUIG en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, para la estimación de sus caudales pico de crecientes, estuvo bastante ajustada.

## CONCLUSIONES

La microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, es un sistema hidrogeomorfológico cuyas respuestas morfodinámica e hidrológica están determinadas por la pequeña área (7,34 Km<sup>2</sup>) del mismo, fuertes pendientes en las vertientes (3 % - 45 %) y cauces (10 % - 51%) del sector montañoso, la densidad de drenaje media (8,13 Km/Km<sup>2</sup>), el orden 5 de la microcuenca, una relación de bifurcación media de 3,73, alta torrencialidad (22,34 N<sub>1</sub>/Km<sup>2</sup>), las dimensiones de las tormentas y la intensidad y duración de las lluvias. En breves palabras, las respuestas morfodinámica e hidrológica de la microcuenca, son condicionadas y controladas por las características morfométricas del sistema y de su red de drenaje.

Los tiempos de concentración estimados son bastante cortos, con valores de 23,48 min (ápice del abanico) y 38,56 min (desembocadura de la quebrada en el mar), que representan magnitudes críticas como tiempo de respuesta hidrológica (crecidas) de la microcuenca, considerando los asentamientos humanos emplazados sobre el área del abanico aluvial. Estos tiempos de concentración, corroboran el control de la morfometría del sistema y de su red de drenaje, en la magnitud de los mismos. La comprensión de la influencia

y/o control de cada parámetro morfométrico en la respuesta hidrológica de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, permite inferir de manera preliminar las características de dicha respuesta, sobre todo, esto cobra gran valor para aquellas cuencas en las que la información hidrológica (caudales y precipitación) es escasa o inexistente.

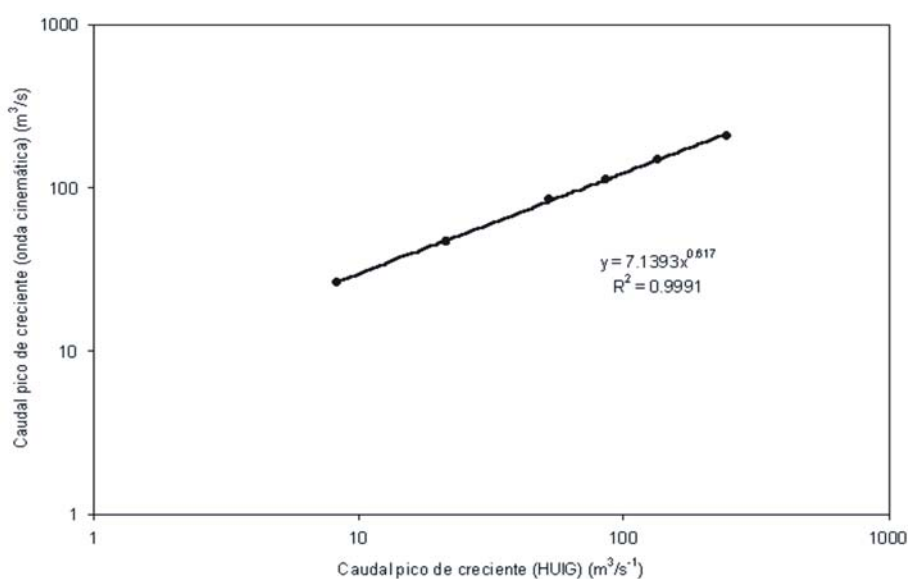
La determinación, así como el conocimiento y análisis de la morfometría de esta microcuenca, ayuda a comprender con más detalle, la alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones en la parte baja del área, así como la génesis de fenómenos de remoción en masa en vertientes y aludes torrenciales.

Los caudales pico de las crecientes en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí para los distintos períodos de retorno considerados en el estudio, son controlados y/o determinados por láminas de lluvias máximas con duraciones menores, iguales y ligeramente superiores a 1 hora (máximo 85 minutos). Ello definen escenarios críticos de inundaciones, para eventos de períodos de retorno de 50, 100 y 500 años principalmente, y en el peor de los casos de 1000 años, cuyas respuestas hidrológicas son rápidas y violentas, con caudales pico de crecientes de 85,61 m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>, 134,96 m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>, 245,14 m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup> y 339,36 m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>, respectivamente.

La calibración del modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico (HUIG) en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, para la estimación de sus caudales pico de crecientes, estuvo bastante ajustada, lo cual pudo ser corroborado por un análisis de correlación (0,98) entre los datos de caudales pico generados en este estudio, y los aportado para la misma microcuenca por González y Córdova (2003), por el método de la onda cinemática.

**Tabla 7.** Comparación de los caudales pico de crecientes obtenidos por el modelo del HUIG con los obtenidos por otros autores por el modelo de onda cinemática, en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

| Período de retorno (tr)<br>(años) | Caudales pico de crecientes                |   |
|-----------------------------------|--|---|
|                                   | HUIG<br>(m <sup>3</sup> /s <sup>-1</sup> ) | Onda cinemática <sup>(1)</sup><br>(m <sup>3</sup> /s) |
| 2,33                              | 0,81                                       | -   |
| 5                                 | 8,33                                       | 26  |
| 10                                | 21,43                                      | 47  |
| 25                                | 52,16                                      | 85  |
| 50                                | 85,61                                      | 112   |
| 100                               | 134,96                                     | 148   |
| 500                               | 245,14                                     | 207   |
| 1000                              | 339,36                                     | -   |
|                                   | Coefficiente de correlación =              | 0,98  |



**Figura 8.** Correlación entre los caudales pico de crecientes obtenidos por el modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico (HUIG) y los obtenidos por el modelo de onda cinemática, en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

Ello permitirá extrapolar el modelo, para la estimación de los caudales pico de crecientes e hidrogramas unitarios en cuencas vecinas, con características fisiográficas similares, y para las cuales la lluvia de la estación pluviográfica Maiquetía, es representativa.

Este análisis hidrogeomorfológico aporta elementos de gran importancia y peso para la concepción y/o reevaluación, de ser el caso, del diseño hidráulico e hidrológico de estructuras para el control de crecientes y de sedimentos, así como para el análisis, evaluación y zonificación de la amenaza por inundaciones, movimientos en masa y aludes torrenciales, y el diseño de sistemas de alertas tempranas.

A manera de recomendación, se sugiere que sería de gran utilidad e importancia, la reactivación de muchas estaciones

pluviográficas de la vertiente norte del Macizo del Ávila, así como la densificación de la red, de tal manera que se pueda dar inicio a la recopilación de datos e información, que permitan llevar a cabo análisis más detallados del comportamiento espacio – temporal de las lluvias en esta región del país, y su distribución en función de la altura para las cuencas de drenaje del sistema montañoso litoral varguense.

De igual forma, sería de gran valor la instalación de estaciones hidrométricas o fluviométricas en cada una de las cuencas de drenaje del Litoral Central, dada la amenaza que las crecientes y aludes torrenciales revisten para la región, a fin de generar registros de extensiones temporales suficientes, que permitan evaluar las variaciones de los caudales desde intervalos cortos de tiempo (diarios) hasta anuales.

Por último, se sugiere continuar con la metodología aplicada en este trabajo, para determinar la morfometría y estimar los caudales pico de crecientes e hidrogramas unitarios en las otras cuencas de drenaje del estado Vargas, con el propósito de llevar a cabo análisis estadísticos, que permitan determinar los parámetros morfométricos con mayor peso en el control de la respuesta hidrológica de las cuencas.

## REFERENCIAS

- ALONSO OTERO, F. *et al.*, (1981): *Prácticas de Geografía Física* (Colección Prácticas de Geografía). Oikos-Tau, Barcelona, España, p. 205.
- AMEND, S., (1991): *Parque Nacional El Ávila* (Parques Nacionales y Conservación Ambiental N° 2). Editora Stephan y Thora Amend, Caracas, Venezuela, p. 176.
- AUTORIDAD ÚNICA DE ÁREA PARA EL ESTADO VARGAS Y ECOLOGY AND ENVIRONMENT, (2003a): *Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife – Los Caracas: Mapa 5.2, Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra, escala 1:25.000*. Autoridad Única de Área para el Estado Vargas, Maiquetía, Venezuela, [On line] <http://www.aaev.gov.ve>
- AUTORIDAD ÚNICA DE ÁREA PARA EL ESTADO VARGAS Y ECOLOGY AND ENVIRONMENT, (2003b): *Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife – Los Caracas: Mapa 9.1, Uso Actual, escala 1:25.000*. Autoridad Única de Área para el Estado Vargas, Maiquetía, Venezuela, [On line] <http://www.aaev.gov.ve>
- CÓRDOVA J. E I. RODRÍGUEZ, (1983): Geomorphoclimatic estimation of extreme flow probabilities. *Journal of Hydrology*, pp. 65; 159-173.
- CÓRDOVA J. Y M. GONZÁLEZ., (2003): Estimación de los volúmenes y caudales máximos que produjeron los aludes torrenciales ocurridos en Diciembre de 1999 en cuencas del Litoral Central del estado Vargas, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*, 54 (1); 33-48, [On line] <http://acta.ivic.ve>
- DIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA NACIONAL, (1979a): *23 de Enero, hoja 6847-IV-SO, mapa a escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- DIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA NACIONAL, (1979b): *Maiquetía, hoja 6847-IV-NO, mapa a escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- GARDINER V., (1981): Drainage basin morphometry. En: A. Goudie (ed.), *Geomorphological Techniques* (p. 47-55). George Allen & Unwin, Londres, Inglaterra.
- GOBERNACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL, (1984<sup>a</sup>): *Hoja B-42, mapa a escala 1:5.000*. Caracas, Venezuela.
- GOBERNACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL, (1984b): *Hoja C-42, mapa a escala 1:5.000*. Caracas, Venezuela.
- GOBERNACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL, (1984c): *Hoja D-42, mapa a escala 1:5.000*. Caracas, Venezuela.
- GONZÁLEZ M. Y J. CÓRDOVA, (2003): Estimación de hidrogramas de crecidas en cuencas del Litoral Central luego de los aludes torrenciales de Diciembre de 1999. *Acta Científica Venezolana*, 54 (1); 63-87, [On line] <http://acta.ivic.ve>
- GREGORY K. Y D. WALLING, (1973): *Drainage basin form and process: A geomorphological approach*. Edward Arnold, Londres, Inglaterra, p. 456.
- GUEVARA E. Y H. CARTAYA, (1991): *Hidrología: Una introducción a la ciencia hidrológica aplicada*. GUECA, Valencia, Venezuela, p. 358.
- HENAO J., (1998): *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad Santo Tomás, Santafé de Bogotá, Colombia, p. 396.
- HORTON R., (1945): Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56; 275-370.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR / MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES. (2002a). *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Hipsometría, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR / MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES, (2002b): *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Pendientes, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR / MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES, (2002c): *Proyecto Ávila, Mapa de Riesgos: Vegetación, escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- KIRPICH Z., (1940): Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10 (06); p. 362.
- LEOPOLD L., GORDON M. Y J. MILLER, (1964). *Fluvial processes in Geomorphology*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA, p. 872.

- MARCANO F. Y S. BARRIOS, (2001). *Estado Vargas: Aspectos socioeconómicos, función urbana y opciones de desarrollo, Litoral Vargas: Corredor urbano y red vial estructurante*. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Centro de Estudios del Desarrollo, Caracas, Venezuela, p. 287.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES, DIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA Y METEOROLOGÍA, (2000): *Datos climatológicos: Estaciones Maiquetía, Maiquetía – Aeropuerto y Los Castillitos*. Datos no publicados, Caracas, Venezuela.
- MONEDERO C. Y M. GUTIÉRREZ, (2001): Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. *Ecotrópicos*, 14 (1); pp. 19-30.
- MONSALVE G., (2000): *Hidrología en la Ingeniería*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia, p. 382.
- PASTRANA S., (2003): *Análisis topológico de cuencas*. [http://club.telepolis.com/geografo/geomorfolo\\_gia/analcuen.htm](http://club.telepolis.com/geografo/geomorfolo_gia/analcuen.htm).
- PÉREZ D., (1977): *Fundamentos de geomorfología dinámica con énfasis en los procesos fluviales*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, Dirección de Hidrología, Caracas, Venezuela, p. 70
- RODRÍGUEZ I., DEVOTO G. Y J. VALDÉS, (1979): Discharge Response Analysis and Hydrologic Similarity: The Interrelation Between the Geomorphologic IUH and Storm Characteristics. *Water Resources Research*, 15 (6); pp. 1435-1444.
- RODRÍGUEZ I. Y M. GONZÁLEZ, (1982): A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. *Water Resources Research*, 18 (4); pp. 877-886.
- RODRÍGUEZ I., GONZÁLEZ M. Y G. CAAMAÑO, (1982): On the climatic dependence of the IUH: A rainfall – runoff analysis of the Nash Model and the geomorphoclimatic theory. *Water Resources Research*, 18 (4); pp. 887-903.
- RODRÍGUEZ I. Y J. VALDÉS, (1979): The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. *Water Resources Research*, 15 (6); pp. 1409-1420.
- SENCIALES J., (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. *Norba*, X; 155-183, [On line] <http://www.fyl-unex.com/foro/publicaciones/norba/files/10/p10.pdf>.
- SERVICIO AUTÓNOMO DE GEOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA NACIONAL, (1995a): *Caracas, hoja 6847-IV-SO, ortofotomapa a escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- SERVICIO AUTÓNOMO DE GEOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA NACIONAL, (1995b). *La Guaira, hoja 6847-IV-NO, ortofotomapa a escala 1:25.000*. Caracas, Venezuela.
- SMITH D. Y P. STOPP, (1978): *The river basin: An introduction to the study of hydrology*. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, p. 273.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, (1972). Hydrology. En *National Engineering Handbook* (Sección 4). Department of Agriculture, Washington, D. C., USA.
- STEYERMARK J. Y O. HUBER, (1978): *Flora del Ávila: Flora y vegetación de las montañas del Ávila, de la Silla y del Naiquatá*. Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Völlmer Foundation, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Caracas, Venezuela, p. 655.
- STRAHLER A., (1968): Quantitative Geomorphology. En: R. Fairbridge (ed.), *The Encyclopedia of Geomorphology* (Encyclopedia of Earth Sciences Series, T. 3) Dowden, Hutchinson & Ross, Pennsylvania, USA. pp. 898-912.
- STRAHLER A., (1984): *Geografía Física* (7a. ed.). Editorial Omega, S. A., Barcelona, España, p. 550.
- URBANI F., (1999): Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos*, 33. Disponible en DC: Geos N° 35/Marzo2002/UCV/FundaciónGeos/ Caracas.
- URBANI F., (2000): Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999. *Memorias del XVI Seminario Venezolano de Geotecnia: Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI, la experiencia para proyectos del futuro*, (Caracas, Venezuela. pp. 179-193.
- URBANI F., (2002): Geología del área de la autopista y carretera vieja Caracas – La Guaira, Distrito Capital y estado Vargas: Guía de excursión. *Geos*, 35. Disponible en DC: Geos N° 35/Marzo 2002/UCV/Fundación Geos/Caracas.
- URBANI F., RODRÍGUEZ J. Y V. VIVAS, (2000): Geología del estado Vargas, Venezuela. *Memorias del Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela*. Disponible en DC. Caracas, Venezuela.

VALDÉS J., FIALLO Y. E I. RODRÍGUEZ, (1979): A Rainfall-Runoff Analysis of the Geomorphologic IUH. *Water Resources Research*, 15 (6); pp. 1421-1434.

VÉLEZ M. Y J. VÉLEZ. s. f.a. Geomorfología de cuencas. En: M. Vélez y J. Vélez (eds.), *Hidrología (I-1060): Notas del curso de Hidrología de la profesora María Victoria Vélez O.* Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Sede Medellín, Unidad de Hidráulica, Medellín, Colombia.

VÉLEZ M. Y J. VÉLEZ. s. f.b. La cuenca hidrográfica. En: M. Vélez y J. Vélez (eds.), *Hidrología (I-1060): Notas del curso de Hidrología de la profesora María Victoria Vélez O.* Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Sede Medellín, Unidad de Hidráulica, Medellín, Colombia. [On line] [http://poseidon.unalmed.edu.co/Materias/jivelez/morfometría\\_cuenca.doc](http://poseidon.unalmed.edu.co/Materias/jivelez/morfometría_cuenca.doc)

WILLGOOSE G., BRAS R. E I. RODRÍGUEZ, (1992): The relationship between catchment and hillslope properties: implications of a catchment evolution model. *Geomorphology*, pp. 5; 21-37.