

# Análisis hidrológico e hidráulico y de transporte de sedimentos en cauces efímeros

María Dolores Marín Martín, Luis Gerardo Castillo Elsitdié  
Grupo de investigación Hidr@m - Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental  
Escuela de Ingeniería de Caminos y de Minas  
Paseo Alfonso XIII, Nº 52, 30203 Cartagena (España)  
Teléfono: 968327012  
E-mail: mdolores.marin@upct.es, luis.castillo@upct.es

**Resumen.** Se requiere analizar el comportamiento hidrológico e hidráulico y de transporte de sedimentos de los cauces efímeros propios de zonas semiáridas, con el objetivo de poder diseñar sistemas efectivos de control y captación de flujos en estos lugares. En principio, las zonas semiáridas se caracterizan por contar con una pluviometría irregular y una cobertura vegetal reducida o casi ausente, hecho que se viene agravando por el cambio climático, que está provocando un efecto directo sobre la frecuencia e intensidad de la precipitación, produciéndose lluvias más intensas y menos frecuentes. En el siguiente artículo se presenta el análisis hidrológico e hidráulico y de transporte de sedimentos en la cuenca del Mergajón, cuenca semiárida del Campo de Cartagena.

## 1 Introducción

Los flujos torrenciales que se presentan ocasionalmente en las ramblas de la geografía peninsular, provocan grandes inundaciones que tienen unos efectos muy destructivos sobre el medio y las personas. Estos flujos no pueden captarse con los sistemas habituales presa-embalse, ya que la elevada concentración de sedimentos los inutilizaría en poco tiempo. Por ello es preciso la construcción de sistemas específicos de control y captación de este tipo de flujos.

Para definir los parámetros de diseño de estos sistemas es imprescindible caracterizar las cuencas y ríos efímeros donde se situarán las estructuras. Esto es, conocer su hidrología, su hidráulica y la cuantificación del transporte de sedimentos que presentan. Algunos de los objetivos del trabajo que el grupo Hidr@m está llevando a cabo es profundizar en el conocimiento de la hidrología de las cuencas semiáridas y validar la metodología elaborada por Castillo et al. (2000 y 2009) y Castillo (2007), generalizándola para su aplicación en estas zonas.

Atendiendo a la problemática citada y basándonos en los principales resultados que de estos estudios se ha publicado (Castillo y Marín, 2010), se presentan en este artículo el análisis de los principales resultados obtenidos en el cálculo hidrológico, hidráulico y de transporte de sedimentos en la Rambla del Mergajón (Campo de Cartagena, Murcia).

## 2 Análisis hidrológico de la cuenca

La rambla del Mergajón es una de las subcuencas de cabecera que componen la Rambla del Albuñón, drenaje natural del Campo de Cartagena.

Con un área de 52 km<sup>2</sup> y una pendiente media próxima al 3%, ha sido seleccionada para la aplicación de la metodología elaborada para el Barranco de las Angustias (Isla de la Palma), dado la semejanza que ambas presentan, tanto en sus características geomorfológicas (área y pendiente), como en las precipitaciones máximas diarias ( $P_d$ ) en diferentes períodos de retorno (Ver tabla 1).

Tabla 1. Comparativa características Mergajón y las Angustias.

|           | A<br>(km <sup>2</sup> ) | S<br>(%) | $D_{16}$ $D_{50}$ $D_{84}$ |     |     | $P_d$     |          |           |
|-----------|-------------------------|----------|----------------------------|-----|-----|-----------|----------|-----------|
|           |                         |          | (mm)                       |     |     | $T_{1.4}$ | $T_{50}$ | $T_{500}$ |
| Mergajón  | 52                      | 2.7      | 0.6                        | 3.5 | 14  | 92        | 176      | 257       |
| Angustias | 56                      | 3.9      | 1.3                        | 28  | 870 | 101       | 257      | 344       |

En la caracterización hidrológica de la cuenca se han empleado dos tipos de programas diferentes: (1) el programa HEC-HMS v 3.3 (2008), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos (USACE), que permite la modelización agregada y semidistribuida, y (2) el programa MIKE SHE (DHI), desarrollado por el DHI Water & Environment, que permite la modelización físicamente basada y distribuida del ciclo integral del agua, incluyendo los procesos de evapotranspiración, flujo superficial, flujo en zona no saturada, flujo subterráneo y flujo en lámina libre, así como las interrelaciones entre ellos. (Figura 1).

En la construcción del modelo HEC-HMS se empleó, por una parte, el modelo empírico del Soil Conservation Service (SCS) para el cálculo de pérdidas por infiltración, por ser el más extendido, experimentado, y contar con estudios propios en España. Estos relacionan el número de curva (CN), con el valor del parámetro ( $P_0$ ), umbral de escorrentía definido por Témez (1987). Por otra parte, dada la escasa información existente sobre eventos reales en

la cuenca se utilizó el hidrograma unitario del SCS para la transformación lluvia-escorrentía, calculando el del tiempo de retardo ( $T_{lag}$ ) con la expresión propuesta por Temez (1987). Y por último, el método de Muskingum-Cunge para el tránsito de los caudales por su fácil implementación.

En cuanto a la implementación del modelo de MIKE SHE, como primera aproximación solo se ha tenido en cuenta el módulo de flujo superficial para la simulación de un evento. Este módulo resuelve, mediante el método de las diferencias finitas, la aproximación de la onda difusiva. Los parámetros del modelo han sido equivalentes a los empleados en el HMS, así, el valor del parámetro “detention storage value” ( $DS$ ) ha sido asimilado al valor de  $P_0$ .

Para los dos modelos elaborados se ha empleado la misma topografía, un Modelo Digital del Terreno de 4x4 m del año 2009 elaborado como parte del proyecto Natmur-08 (Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia), y los mismos parámetros de entrada en cuanto a distribución espacial y temporal de precipitaciones. Se ha considerado una tormenta de proyecto de 24 h, cuya distribución espacial sigue un patrón de lluvias que se corresponde con la forma en que se presentan los eventos en la zona de estudio, y cuyo valor acumulado es la precipitación máxima diaria  $P_{ds}$  calculada estadísticamente con datos de 1933 a 2009, para cada periodo de retorno.

Los resultados obtenidos para ambos modelos se muestran en la tabla 2. En ella se pueden comprobar la similitud de los resultados obtenidos en los periodos de retorno ( $T_{1.4}$  y  $T_{50}$ ) y su dispersión ( $T_{500}$ ).

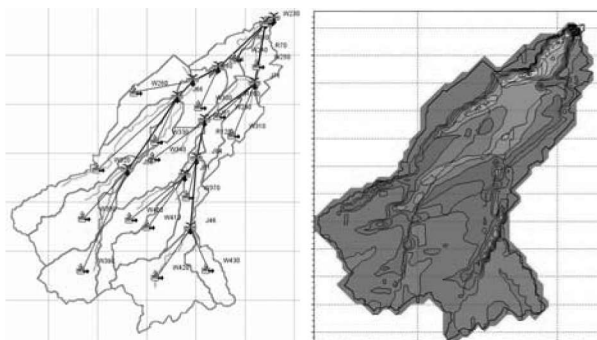


Figura 1. Modelos HEC-HMS y MIKE SHE.

Tabla 2. Comparativa variables y caudales máximos.

|  | $T_{1.4}$ | $T_{50}$ | $T_{500}$ |
|--|-----------|----------|-----------|
| $DS = P_0$ (mm) / CN                   | 14 / 78   | 14 / 78  | 14 / 78   |
| HEC HMS $Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)  | 14        | 422      | 701       |
| Mike SHE $Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s) | 24.2      | 420.8    | 558.9     |

### 3 Análisis hidráulico de la cuenca

Teniendo en cuenta los resultados, y las recomendaciones de autores como Salas (2000) sobre la idoneidad del uso de modelos distribuidos en cuencas semiáridas, se realizó la caracterización

hidráulica del cauce con los datos de caudal máximo obtenidos con HEC-HMS.

El cálculo de las características de flujo para un caudal determinado depende fundamentalmente, a parte de la sección transversal y la pendiente longitudinal, del coeficiente de resistencia. En el caso del Mergajón los principales valores geométricos son: ancho inferior (9.20 m), pendiente de cajeros izquierdo y derecha [1:3.6 (V:H)] y pendiente media longitudinal  $\approx 0.027$ .

En primera instancia, en base a las características del material del fondo, se comprobó que para el caso del Mergajón nos encontrábamos ante un flujo macrorrugoso no hiperconcentrado, sin resistencia de formas por fondo, y en el que se presentaba un fenómeno de acorazamiento.

Posteriormente, aplicando las 9 expresiones de coeficiente de resistencia recogidas en la metodología citada, se calculó el coeficiente de resistencia medio para cada periodo de retorno, y se comparó con el obtenido en Las Angustias. (Figura 2). Se observó cierta tendencia en los valores a disminuir a medida que aumenta el caudal, si bien esta propensión es mucho menos pronunciada que la que presenta el Barranco de las Angustias ( $n_{medio}$  representado por una línea a trazos largos), ya que en el caso de las Angustias se trataba de un flujo hiperconcentrado.

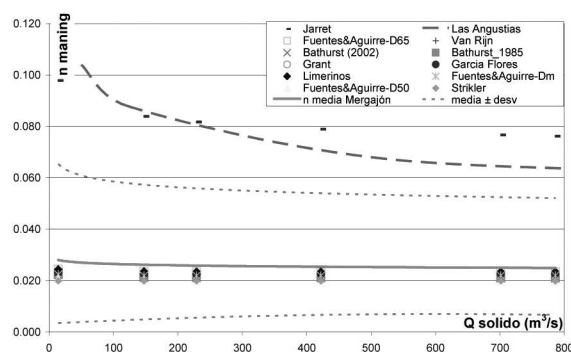


Figura 2. Coeficientes de Manning  $n$  en función del caudal. Rambla del Mergajón y de las Angustias.

### 3 Transporte de sedimentos

Para el cálculo del transporte de sedimentos, la información básica necesaria es de dos tipos, una de tipo granulométrico del material del lecho del cauce (diámetros característicos) y, otra de tipo hidráulico, a través de las características de flujo. Mediante el muestreo de campo y la obtención de curvas granulométricas, se establece las características del material del fondo “bed load”. En el caso de la Rambla del Mergajón y de las Angustias, los diámetros característicos difieren sensiblemente. (Tabla 1).

Mediante un proceso iterativo se llevó a cabo el acoplamiento de las características hidráulicas con las



formulaciones de transporte de sedimentos. Siguiendo la misma metodología citada de Castillo et al. (2009), se evaluaron para el Mergajón un total de 12 expresiones, obteniendo el valor medio del transporte de sedimentos para cada periodo de retorno (Figura 3), y se compararon con los resultados obtenidos en Las Angustias, siendo estos valores mayores que los del Mergajón (Figura 4).

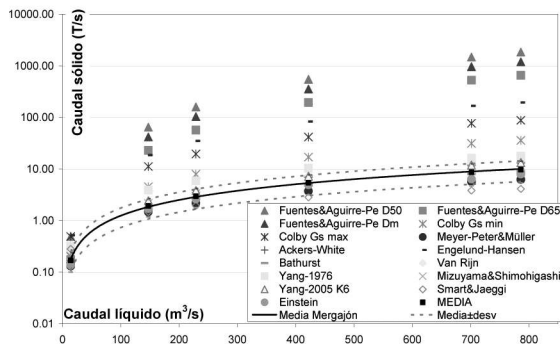


Figura 3. Caudal sólido en función del caudal líquido.

Así, en términos generales se comprueba que el Mergajón presenta un caudal de sedimentos menor que las Angustias, incrementándose la diferencia a medida que aumenta el caudal líquido. Teniendo en cuenta la similitud que presentan ambas cuencas en la mayoría de los parámetros intervinientes en el cálculo del transporte de sedimentos, este hecho podría deberse en gran medida, a la diferente granulometría que presentan:  $D_{84}(\text{Mergajón})=14.71 \text{ mm} \ll D_{84}(\text{Angustias})=870 \text{ mm}$ .

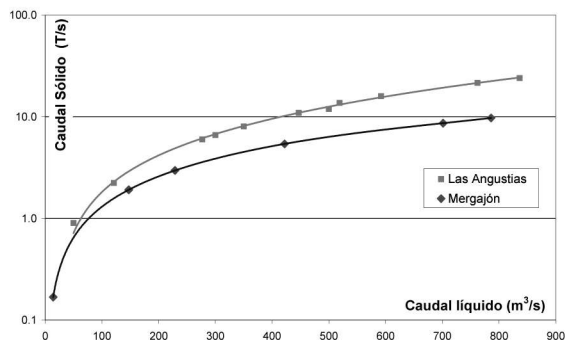


Figura 4. Comparativa Caudal sólido- caudal líquido en el Mergajón y las Angustias.

## Conclusiones

Respecto a la caracterización hidrológica de los cauces efímeros, si bien los resultados obtenidos por modelos agregados y semi-distribuidos (HEC-HMS) para un evento son satisfactorios, se considera una opción muy interesante el empleo de programas distribuidos (MIKE SHE) para mejorar el conocimiento. En los resultados obtenidos en una primera aproximación se comprueba la coherencia de ambos modelos.

También se demuestra en este artículo la validez de la metodología elaborada por Castillo et al. (2000 y 2009) y Castillo (2007) para su aplicación en

regiones semiáridas, comprobando su bondad en la Rambla del Mergajón.

Del análisis de las características hidráulicas y resultados obtenidos en el Mergajón y Las Angustias, se concluye que las diferencias existentes entre los valores del caudal sólido ( $Q_s(\text{Angustias}) > Q_s(\text{Mergajón})$ ) estarían principalmente causadas por la diferencia en las características granulométricas existentes en cada zona, certificando la importancia que tiene el muestreo en el cálculo del transporte de sedimentos. Así, los diámetros característicos que reflejan una curva granulométrica, sobrevalorarán o subvalorarán las estimaciones de su capacidad de transporte.

## Agradecimientos

La investigación forma parte del proyecto PEPLAN: "Modelación Hidrológica en Zonas Semiáridas. Subproyecto 3: Modelación de Captaciones en Cauces Efímeros" (Decreto 420/2008). Los autores agradecen el financiamiento recibido de la Consejería de Universidades, Empresa e Investigación de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

## Referencias

- [1] Castillo, L., Santos, F., Ojeda, J. Calderón, P. Medina., J. M. (2000). "Estimación de coeficientes de resistencia, transporte de sedimentos y caudal dominante en el diseño de un encauzamiento con flujo hiperconcentrado". V Jornadas Encauzamientos Fluviales. Madrid.
- [2] Castillo, L., Martín Vide, J.P., Marín, M.D. (2009). "Coeficientes de resistencia, transporte sedimentos y caudal dominante en regiones semiáridas". I Jornadas Ingeniería del Agua. Madrid.
- [3] Castillo. L. (2007). "Discussion about Prediction of bed material discharge". Journal of Hydraulic Research, Vol.45 (2), pp. 425-428.
- [4] Castillo, L.G., Marín, M.D. (2010) "Caracterización hidrológica e hidráulica en regiones semiáridas". XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Uruguay.
- [5] Hec-HMS v.3.3. (2008). "User's Manual". US Army Corps of Engineers.
- [6] DHI, Danish Hydraulic Institute. (2008). "MIKE SHE. An integrated hydrological modelling framework- User Guide and Technical Ref". Manual Edition 2008.
- [7] Témez, J.R., (1987). "Cálculo hidrometeorológico de caudales de avenida en pequeñas cuencas naturales". MOPU. Madrid.
- [8] Salas, J. D., (2000). "Hidrología de zonas áridas y semiáridas". Ingeniería del Agua. Vol. 7(4). pp. 409-429.