

# Estudio del transporte de sedimentos en la Rambla del Albuñón

(Recibido: 28/04/2016; Aceptado: 21/06/2016)

Marco F.; Marín M.D.; Castillo L.G.

Grupo de investigación Hidr@m - Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas  
Paseo Alfonso XIII, Nº 52, 30203 Cartagena (España)  
Teléfono: 626760789  
Email: fmcutillas@gmail.com

**Resumen.** El sureste español se caracteriza por ser una región semiárida. Uno de los efectos más directos del cambio climático es el hecho de que llueve con menor frecuencia y con mayor intensidad, lo que provoca la aparición de un mayor número de episodios de flujos torrenciales. En este artículo se realiza en primer lugar una validación de transporte de sedimentos de las seis formulaciones presentes en HEC-RAS y en segundo lugar un análisis de transporte de sedimentos de toda la cuenca del Albuñón obteniendo la concentración de sedimentos y sedimento total que pasa por la sección de la desembocadura.

**Palabras clave.** HEC-RAS; Rambla del Albuñón; transporte de sedimentos.

**Abstract.** The Spanish Southeast is characterized as a semiarid region. One of the most direct effects of climate change is the fact that it rains less often and with greater intensity, causing the appearance of a greater number of episodes of torrential flows. In this paper, a validation of the sediment transport formulas present in HEC-RAS is made first. Secondly, an analysis of the Albuñón basin sediment transport is conducted, obtaining sediment concentration and total sediment passing through the section of the mouth.

**Keywords.** Albuñón basin; HEC-RAS; sediment transport.

## 1. Introducción

Los flujos torrenciales hiperconcentrados que se presentan en las ramblas de la geografía peninsular provocan grandes inundaciones con efectos muy destructivos sobre el medio y las personas. Recientes observaciones muestran que en estas zonas se producen lluvias más intensas y menos frecuentes. Estas características se traducen en la concentración de los recursos en un número escaso de avenidas con elevados caudales y velocidades, y una gran proporción de transporte de materiales sólidos.

Para llegar al análisis de los parámetros de diseño de puentes, captaciones, etc, previamente se han de conocer las características hidrológicas e hidráulicas de los cauces donde se situarán dichas obras. Dentro de la caracterización de los cauces efímeros, propios de zonas semiáridas, la cuantificación de la capacidad de transporte de sedimentos es imprescindible.

Atendiendo a la problemática basándonos en experiencias similares y los principales resultados publicados por Castillo *et al.* (2000) y Castillo y Marín (2010), en este artículo se presentan los principales resultados del estudio de transporte de sedimentos de la Rambla del Albuñón, situada en el Campo de Cartagena (Región de Murcia).

## 2. Material y métodos

En este estudio se han utilizado diversos programas:

- HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) es un modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers). Permite el intercambio de datos con los Sistemas de Información Geográfica mediante HEC-GeoRAS. El programa HEC-RAS se utiliza para el cálculo unidimensional gradualmente variado de la elevación de la superficie de la lámina de agua (flujo permanente o estacionario), el estudio de flujos transitorios (no permanente) unidimensionales, y el análisis del transporte de sedimentos.
- HEC-GeoRAS es un paquete de herramientas de libre distribución especialmente diseñado para ArcGIS. Permite crear un archivo de importación para HEC-RAS con la información de geometría que se ha extraído del Modelo Digital del Terreno (MDT).
- ArcGIS es una completa plataforma que permite crear, analizar, almacenar y difundir mapas topográficos. Este programa de uso comercial es uno de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) más extendidos.

## 3. Análisis de datos y resultados

La Rambla del Albuñón (Fig. 1), situada en la Región de Murcia (España), forma parte de la Cuenca Hidrográfica del río Segura, y constituye la principal

red de drenaje de la comarca del Campo de Cartagena. Nace en las sierras circundantes, Sierra de Carrascoy, Sierra del Algarrobo, Sierra de las Victorias y Sierra de Los Gómez y desemboca en el Mar Menor. La superficie vertiente de la cuenca es de algo más de 694 km<sup>2</sup>. La cuenca del Albuñón está compuesta por 17 subcuencas de entre 28 y 55 km<sup>2</sup>.



Fig. 1. Cuenca hidrográfica de la Rambla del Albuñón.

Geomorfológicamente, la cuenca del Albuñón se caracteriza por presentar elevaciones moderadas. Las pendientes del terreno oscilan entre el 0.4 % próximo a la desembocadura, y el 5.8% en las zonas de cabecera. Siguiendo la morfología propia del Campo de Cartagena, predominan las grandes llanuras de cultivos agrícolas, eminentemente de regadío en la zona baja de la misma (frutales y herbáceos en la parte media-alta). También existen zonas dispersas de arbolado en las sierras, donde destacan las formaciones de coníferas, matorral y monte bajo.

Este artículo se centra en el análisis de los procesos de erosión, transporte y sedimentación que se producen en el entorno de la Rambla del Albuñón en función de su granulometría (Fig. 2), geometría del lecho e hidrogramas.

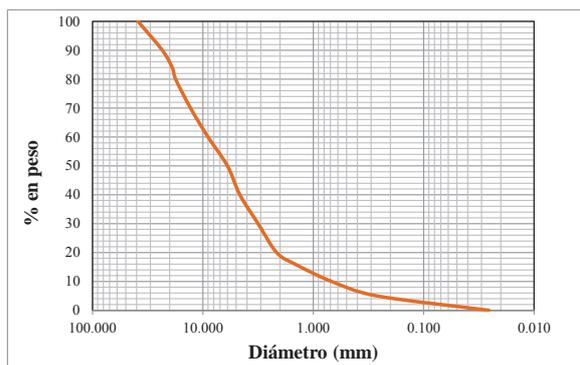


Fig. 2. Curva granulométrica característica de la Rambla del Albuñón.

Los caudales elegidos para la realización del transporte de sedimentos se obtienen de la simulación hidráulica del puente de San Francisco (Marco *et al.*, 2015), considerando el evento producido el 28 de septiembre del 2012. Dicho puente es el de menor capacidad hidráulica y se escoge además, porque existen archivos fotográficos del nivel del agua obtenidos en distintos eventos.

### 3.1. Validación del modelo de transporte de sedimentos

El área de estudio del transporte de sedimentos abarca desde el municipio de Fuente Álamo hasta la desembocadura de la rambla.

Antes de llevar a cabo el análisis general del transporte de sedimentos en toda la rambla, se ha realizado la validación del modelo numérico de transporte de sedimentos disponible en HEC-RAS cruzando la información del diámetro característico ( $D_{50}$ ) con la distribución granulométrica completa. Para ello, se ha escogido una sección tipo en la zona del encauzamiento a su paso por el municipio de Fuente Álamo.

Se trata de una sección trapezoidal con un talud de 0.083, ancho de 41 metros, pendiente media del tramo de estudio de 0.00372, y número de Manning de 0.03 (Castillo y Marín, 2010).

Inicialmente se han comparado los resultados simulados de calados y velocidades con los obtenidos utilizando la formulación de flujo permanente. Una vez que se han comprobado que son muy similares, se ha pasado al cálculo del transporte de sedimentos empleando el programa HEC-RAS.

Las formulaciones del transporte de sedimentos existentes en la bibliografía provienen de estudios en campo y en laboratorio con ríos de caudal regular. Sin embargo, la Rambla del Albuñón es un cauce efímero o de caudal intermitente y, además, no existen datos de transporte de sedimentos medidos en campo para el caso del estudio analizado. En el análisis se han empleado 7 formulaciones de transporte: Meyer-Peter & Müller (1948), Yang (1973, 1984), Ackers-White (1973), Engelund-Hansen (1967), Laursen (1968), Wilcock (2001) y Toffaleti (1968). Los detalles de las distintas formulaciones pueden consultarse en el manual de HEC-RAS (2010).

Al realizar el análisis de transporte de sedimentos y establecer la relación entre caudal sólido y caudal líquido para los diferentes tamaños de partículas y en condiciones hidráulicas iguales, se observa que en todas las formulaciones analizadas se produce un mayor transporte de sólidos de finos, que con respecto a los tamaños gruesos.

A modo de ejemplo, en la Fig. 3 se muestran los resultados obtenidos con la formulación de Meyer-Peter & Müller (1948).

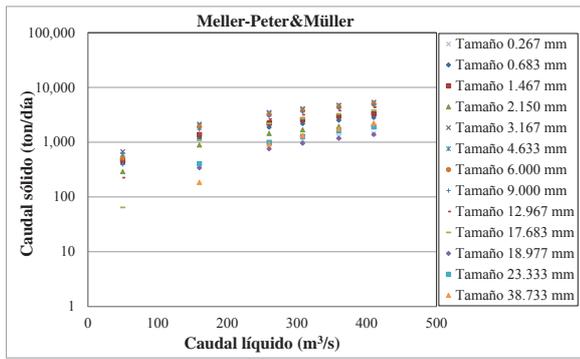


Fig. 3. Caudal sólido en función del caudal líquido para la sección tipo, formulación de Meyer-Peter&Müller (1948).

La Fig. 4 compara la capacidad de transporte de todas las formulaciones citadas anteriormente considerando la curva granulométrica completa. Se observa una gran disparidad en los resultados de las fórmulas, con capacidades de transporte de hasta 4 órdenes de magnitud de diferencia. Se incluye además el valor medio y el valor medio +/- 0.5 desviación estándar. El proceso se ha repetido dos veces, quedándonos con las fórmulas que caen en el interior de dicha banda.

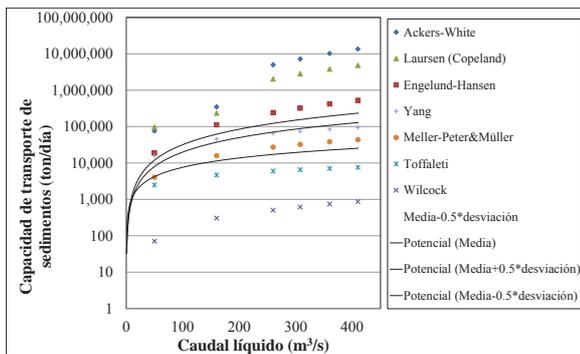


Fig. 4. Capacidad de transporte de sedimentos en función del caudal líquido para la sección tipo, con las 7 formulaciones presentes en el programa.

En la banda seleccionada se encuentran únicamente las formulaciones de Meyer-Peter & Müller (1948) y de Yang (1973,1984).

Con estas formulaciones, se realiza un estudio del cálculo del transporte de sedimentos programadas en hoja de cálculo y con el programa HEC-RAS.

Para validar el modelo numérico con HEC-RAS se han calculado considerando, por un lado, el valor  $D_{50}$  (tamaño de grano por el que pasa el 50% de la curva granulométrica) y, por otro, la curva granulométrica completa existente en la zona de estudio. La comparativa de los resultados se muestra en las Fig. 5 y 6.

Para la formulación de Meyer-Peter & Müller los resultados obtenidos con los distintos caudales son muy similares. Por tanto, el valor  $D_{50}$  de la curva granulométrica parece un buen estimador del transporte de sedimentos de la curva granulométrica completa.

Para la formulación de Yang, las diferencias entre la capacidad de transporte obtenida con la hoja de

cálculo y con HEC-RAS para  $D_{50}$  son inferiores en todos los casos a los resultados simulados con la curva granulométrica completa, con diferencias en la capacidad de transporte de un orden de magnitud.

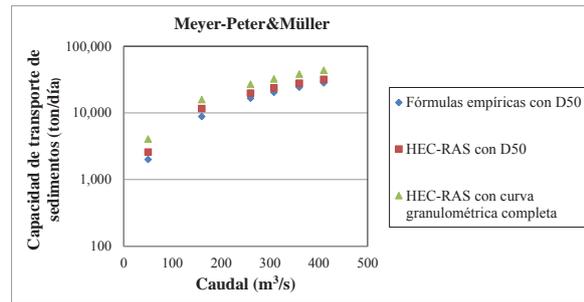


Fig. 5. Capacidad de transporte de sedimentos frente a caudal líquido para la sección tipo, formulación de Meyer-Peter&Müller (1948).

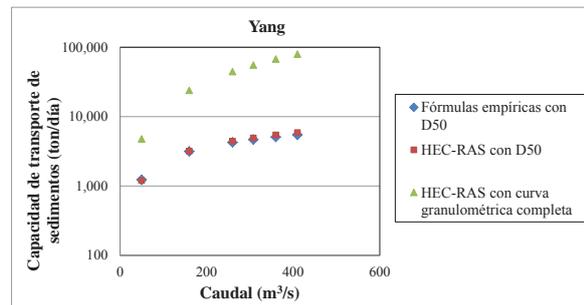


Fig. 6. Capacidad de transporte de sedimentos frente a caudal líquido para la sección tipo, formulación de Yang (1973, 1984).

Esto es debido a que la formulación de Meyer-Peter & Müller es una formulación de transporte de fondo y por tanto, subestima el transporte de sedimento fino. Sin embargo, la formulación de Yang es una formulación de transporte de fondo total que se compone de la suma del transporte de fondo y del transporte de fondo en suspensión, teniendo en cuenta tanto los finos como los gruesos.

De este modo cuando el transporte de finos tiene mucha más importancia que el de gruesos, la formulación de Yang refleja la importancia de los finos en el transporte total de sedimentos.

Puesto que en este estudio el porcentaje de finos es menor del 5% del total de la curva granulométrica, a falta de datos de campo para estimar el transporte real de sedimentos, se utiliza la fórmula de Meyer-Peter & Müller para el análisis del transporte de sedimentos de la parte intermedia y final de la Rambla del Albuñón.

### 3.2. Análisis de toda la cuenca

A partir del hidrograma unitario de la Cuenca del Albuñón obtenido por Castillo y Marín (2011), se han construido los distintos hidrogramas de avenida de 35 horas de duración (Fig. 7) a partir de los resultados obtenidos en la caracterización hidráulica del puente de San Francisco. Para resolver el transporte de sedimentos se ha escogido la formulación de Meyer-Peter & Müller (1948), utilizando la curva granulométrica completa.

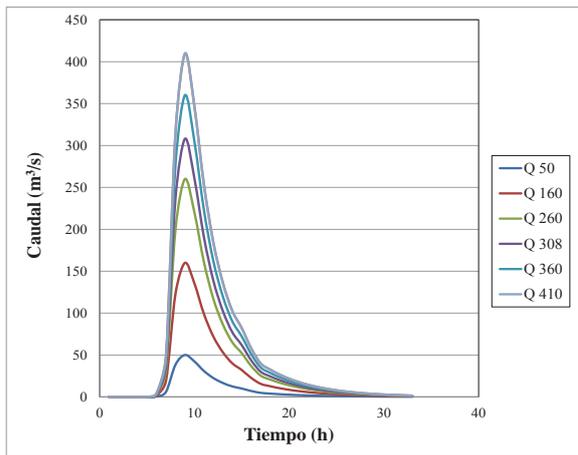


Fig. 7. Hidrogramas para el análisis de transporte de sedimentos a lo largo de la Rambla del Albuñón.

Las siguientes figuras analizan los resultados de la zona de la desembocadura una vez finalizado el evento de 35 horas de duración.

En la Fig. 8 se ha obtenido la concentración de sedimentos en el instante del caudal máximo del hidrograma, mientras que en la Fig. 9 se ha obtenido el sedimento total que pasa por la sección de la desembocadura.

La concentración de sedimentos en la sección de la desembocadura (Fig. 8) para el caudal pico varía entre 600 mg/l para un caudal de 50 m³/s y 870 mg/l para un caudal de 400 m³/s. A partir del caudal 260 m³/s, la concentración tiende a un valor constante en torno a unos 870 mg/l.

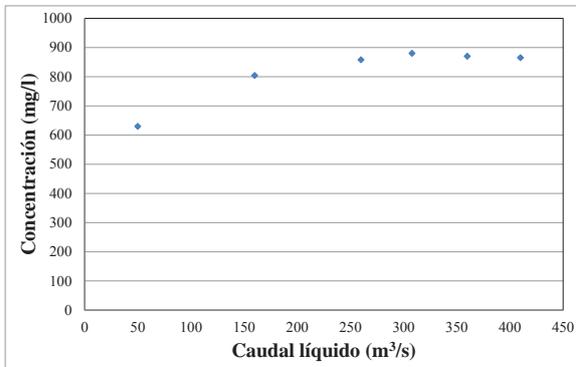


Fig. 8. Concentración de sedimentos en función del caudal líquido pico del hidrograma, formulación de Meyer-Peter&Müller.

Considerando las erosiones y sedimentaciones que se producen en los 31.5 km analizados, la cantidad de sedimentos totales que pasan por la sección de la desembocadura tras cada hidrograma considerado aumenta conforme nos acercamos a la desembocadura, con un máximo de 3500 toneladas para el hidrograma de mayor caudal (Fig. 9).

#### 4. Conclusiones

La metodología empleada es válida para zonas semiáridas del sureste español por presentar las mismas características de episodios de flujos torrenciales.

Se requieren datos de campo para la realización de estudios pero la cuenca del Albuñón está escasamente instrumentalizada, por lo que los datos de campo son reducidos. En este sentido desde el grupo Hidr@m de la UPCT se plantean una serie de estudios para desarrollar estas acciones en un futuro.

Se requiere la instalación de una trampa de sedimentos para validar las fórmulas de transporte de sedimentos con los datos de campo en la Cuenca del Albuñón.

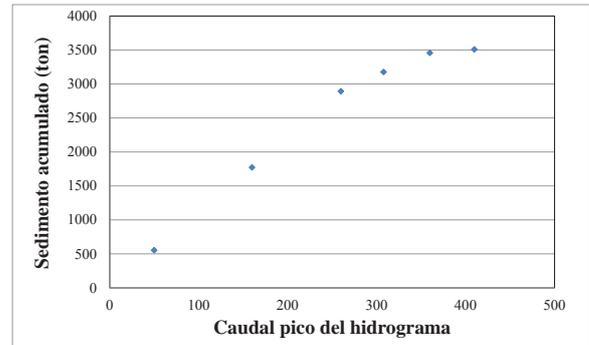


Fig. 9. Sedimento total que pasa por la sección de la desembocadura al final del evento en función del caudal pico del hidrograma, formulación de Meyer-Peter & Müller.

#### Referencias

- [1] Castillo, L. G., Marín, M. D. (2010). Evaluación de transporte de sedimento en regiones semiáridas. Jornadas de la Red de Laboratorios de Hidráulica de España, Valencia 2010.
- [2] Castillo, L. G., Marín, M. D. (2011). Caracterización hidrológica e hidráulica y evaluación de transporte de sedimento en regiones semiáridas. Jornadas sobre Modelización Hidrológicas en Zonas Semiáridas, Murcia.
- [3] Castillo, L. G., Santos, F., Ojeda, J., Calderón, P., Medina, J. M. (2000). Importancia del muestreo y limitaciones de las formulaciones existentes en el cálculo del transporte de sedimentos. XIX IAHR, Córdoba, Argentina.
- [4] Marco, F., Marín M.D., Castillo L.G. (2015). Estimación numérica de la capacidad hidráulica de puentes como elementos de control en la Rambla del Albuñón. Anuario de Jóvenes Investigadores.
- [5] Meyer-Peter, E., Müller R. (1948). Formulas for bed-load transport. Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research, pp. 39-64, Int. Assoc. Hydraul. Res., Delft, Netherlands.
- [6] US Army Corps of Engineers (2010). HEC-RAS River Analysis User's Manual, Version 4.1.