

CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE FONDO CON ADCP EN EL RÍO CTALAMOCHITA, CÓRDOBA-ARGENTINA

Ana I. Heredia Ligorria^{1,2}, José Manuel Díaz Lozada^{1,2}, C. Marcelo García^{1,2},
Ricardo N. Szupiany³, Francisco G. Latosinski³

¹ Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

² Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC).
Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

³ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
E-mail: aheredil@hotmail.com

Introducción

El estudio del movimiento de los sedimentos en los cursos fluviales es importante porque permite entender cómo se llevan a cabo los procesos de erosión, deposición, etc., que afectan a la capacidad del cauce, lo que puede provocar consecuencias negativas a la población de las ciudades aledañas (Heredia, 2017). Aun así, en Argentina el estudio del transporte de sedimentos está limitado a grandes ríos, como por ejemplo el Río Paraná o bien a casos puntuales por la construcción de alguna obra civil (por ejemplo, los puentes). Considerando que en las últimas décadas se ha producido un importante desarrollo en la tecnología hidro-acústica Doppler para obtener información cuantitativa del transporte de sedimentos y del movimiento de las partículas en los cursos fluviales (Latosinski, 2014), y las dificultades en el uso de muestreadores convencionales para cuantificar el transporte de sedimentos, se propone en este trabajo estimar el transporte de fondo con un Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés) en el Río Ctalamochita, Córdoba-Argentina, un río generado en la zona montañoso de la provincia de Córdoba, Argentina.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es la cuantificación del transporte de sedimento de fondo en un curso fluvial poco profundo (< 2 m) como es el río Ctalamochita, también conocido como río Tercero, a través de diferentes mediciones con un Perfilador de Corriente Acústico Doppler para aguas poco profundas.

Lugar de estudio

El estudio experimental se realiza en el río Tercero (Ctalamochita), en la sección ubicada en el puente Alberdi de la ciudad de Villa María, como se puede ver en la Figura 1.

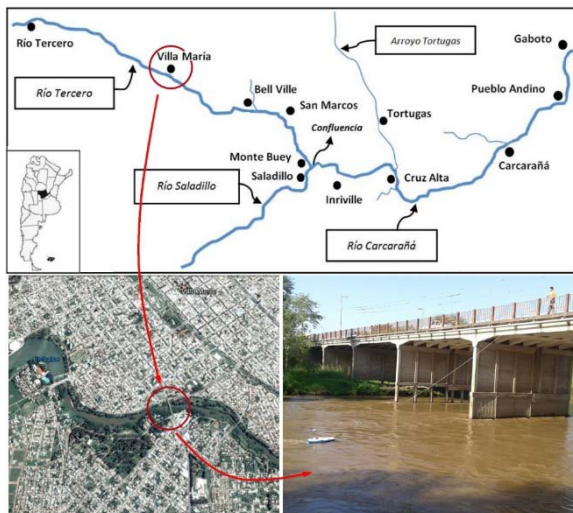


Figura 1.- Sección de estudio seleccionada en este estudio. Río Tercero (Ctalamochita): Puente Alberdi, Villa María, Córdoba, Argentina.

El río Tercero (Ctalamochita) posee un módulo de 27 m³/s y su cuenca es la más regulada de la Provincia de Córdoba con un total de seis embalses con una capacidad de almacenamiento total de 1000 Hm³ (Herrero et al, 2018). El caudal escurrido por este río depende fuertemente de los caudales erogados por el sistema de embalses.

Materiales y métodos

Para cuantificar el caudal, así como también los principales parámetros hidráulicos del flujo se utilizó un ADCP YSI/SonTek RiverSurveyor S5 diseñado para para aguas poco profundas, el cual tiene un haz vertical de 1Mhz para la batimetría y cuatro haces inclinados de 3Mhz de frecuencia acústica para medir la velocidad del agua.

Para caracterizar el transporte de fondo se realizaron tres tipos diferentes de medición con el ADCP: método del lazo (Loop Method), mediciones estacionarias y mediciones dinámicas.

Método del lazo (Loop Method)

La aplicación de este método consiste en recorrer la sección midiendo con el ADCP desde una margen a la otra del río y retornar nuevamente al punto de inicio. Al existir movimiento del fondo, el punto inicial y final utilizando de referencia el seguimiento de fondo (Bottom Track) serán diferentes, y a partir de esta diferencia se calcula la velocidad de fondo móvil V_{mb} (ecuación 1).

$$V_{mb} = \frac{D_{up}}{t} \quad [1]$$

Para obtener el transporte de fondo se calculó el espesor de la capa activa, utilizando dos expresiones presentes en la literatura: Dietrich y Whiting (1989), y Van Rijn (1984a), aplicando la ecuación 2 (Van Rijn, 1984). Donde se asume $u_b = V_{mb}$.

$$q_b = u_b \delta_b c_b \quad [2]$$

Mediciones Estacionarias - Estimación de Transporte de Fondo por Desplazamiento de una duna

Las mediciones estacionarias consisten en dejar el instrumento en una posición fija midiendo durante el tiempo necesario para registrar el desplazamiento de una duna completa, registrando el campo de velocidades y la batimetría de manera simultánea. El transporte de fondo se obtiene con la ecuación 3, donde q_b es la tasa de transporte de fondo por unidad de ancho en Kg/m s, ρ densidad del sedimento, P la porosidad del sedimento (considerada igual a 0,4, valor típico para las arenas), Vol_d volumen de la duna y t : tiempo de paso de la duna.

$$q_b = \rho \frac{(1-P) \times Vol_d}{t} \quad [3]$$

Mediciones Dinámicas - Estimación de Transporte de Fondo por Seguimiento de dunas

Las mediciones dinámicas realizadas con el ADCP se utilizaron

para aplicar la técnica de seguimiento de duna, que consiste en comparar el desplazamiento de un conjunto de formas de fondo a través del relevamiento de dos perfiles longitudinales del lecho relevados durante sucesivos períodos de tiempo (ecuación 4), donde α : factor de forma (0,5 para dunas regulares y 0,6 para dunas irregulares), H_d : altura de la duna y u_d : velocidad de desplazamiento de la duna

$$q_b = \rho \alpha (1 - P) H_d u_d \quad [4]$$

Resultados

Resultados de la Estimación del Transporte de Fondo con el Método del lazo (Loop Method).

En la tabla 1 se pueden ver los resultados del transporte de fondo calculados con el método del lazo para las siete campañas realizadas.

Tabla 1.- Transporte de fondo Estimado con el método del lazo (Loop Method).

Campaña	Q [m ³ /s]	V _{mb} [m/s]	Espesor de capa activa Según Van Rijn 1984		Espesor de capa activa Según Dietrich et al. 1989	
			δb [m]	$q_b^{(a)}$ [Kg/ms]	δb [m]	$q_b^{(b)}$ [Kg/m s]
16/03/2016	113,9	0,16	0,012	2,00	0,01	1,68
08/04/2016	65,8	0,06	0,011	0,71	0,01	0,63
05/09/2016	24,9	0,05	0,006	0,33	0,01	0,52
07/11/2016	18,9	0,06	0,005	0,30	0,01	0,63
30/06/2017	12,9	0,05	0,005	0,27	0,01	0,52
26/07/2017	12,9	0,06	0,005	0,31	0,01	0,60
27/11/2017	12,0	0,04	0,004	0,21	0,01	0,47

Resultados de la Estimación de Transporte de Fondo por Desplazamiento de una duna

Con los datos de las mediciones estacionarias se calcularon las características geométricas de las dunas (H_d , L_d , α), junto con el transporte de fondo por unidad de ancho (q_b) para cada condición, que se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2.- Características de las dunas medidas con el método estacionario en el río Tercero, (Ctalamochita).

Fecha	Q [m ³ /s]	H _d [m]	L _d [m]	u _d [m/h]	α	q _b ^(c) [Kg/m.s]
16/03/2016	13,2	0,40	4,5	4,3	0,64	0,49
08/04/2016	113,9	0,48	5,6	3,4	0,47	0,33
05/09/2016	65,8	0,16	1,9	1,2	0,54	0,05
07/11/2016	18,9	0,24	2,1	1,5	0,75	0,12
30/06/2017	12,9	0,18	2,9	3,6	0,78	0,25
26/07/2017	12,9	0,18	3,35	4,1	0,68	0,22
27/11/2017	12,0	0,18	2,72	1,8	0,50	0,07

Resultados de la Estimación de Transporte de Fondo por Seguimiento de dunas

Por la escala del río fue posible realizar varias mediciones dinámicas un mismo día, pudiendo comparar el desplazamiento de numerosas dunas. Los dinámicos fueron repetidos entre 14 y 35 minutos, dependiendo del caudal líquido. En la tabla 3 se muestran los resultados de la aplicación del método de seguimiento de duna para calcular el transporte de fondo. En las últimas campañas, por razones logísticas, no fue posible realizar este tipo de mediciones.

Tabla 3.- Resultado de las mediciones dinámicas en el río Tercero, Ctalamochita).

Fecha	Q [m ³ /s]	q _b ^(d) [Kg/ms]
16/03/2016	13,2	0,44

05/09/2016	65,8	0,06
07/11/2016	18,9	0,11

Comparación de las estimaciones de transporte de sedimentos con diferentes metodologías

Finalmente se compararon los resultados del transporte de fondo estimados con diferentes tipos mediciones de ADCP. En la tabla 4 se pueden ver las diferencias porcentuales considerando como referencia el calculado con las mediciones estacionarias (por desplazamiento de una duna).

Tabla 4.- Comparación del transporte de fondo estimado con diferentes metodologías.

Campaña	q _b (c)/(a)	q _b (c)/(b)	q _b (c)/(d)
16/03/2016	307%	242%	-10%
08/04/2016	116%	91%	-
05/09/2016	556%	948%	20%
07/11/2016	147%	424%	-8%
30/06/2017	9%	108%	-
26/07/2017	41%	174%	-
27/11/2017	203%	-100%	-

Conclusiones

El uso perfilador de Corriente Acústico Doppler para estimar el transporte de sedimentos resulta ser más sencillo, rápido y seguro (para el operario sobre todo en condiciones de crecida donde se da el mayor transporte) en comparación a los muestreadores convencionales, mientras que la precisión dependió de la metodología empleada y el tipo de medición utilizada.

El método del lazo demostró ser efectivo para reconocer el transporte de fondo, y obtener una velocidad promedio del sedimento en la sección. Sin embargo, para el cálculo de transporte aumenta la incertidumbre al considerar el espesor de la capa activa, resultando en grandes diferencias, del orden del 200% respecto al valor de referencia.

Las mediciones estacionarias sobre formas de fondo permitieron estimar el transporte de sedimentos de fondo en forma precisa, fácil y segura, con la ventaja de medir en forma simultánea las velocidades del flujo sobre la forma de fondo. sobre esta perturbación del fondo y cómo afecta al flujo medio.

Respecto a las mediciones dinámicas, se obtuvieron buenos resultados, con diferencias menores al 35%, que lo convierte en una metodología alternativa cuando no se puedan realizar mediciones estacionarias.

Referencias

- Dietrich, W. E.; Whiting, P. J. (1989). "Boundary shear stress and sediment transport in river meanders of sand and gravel". Ed. Ikeda S. y Parker G. *American Geophysical Union*.
- Heredia L., A. I. (2017) "Caracterización del Transporte de Sedimentos en un Tramo del Río Tercero (Ctalamochita) utilizando Tecnología Acústica Doppler". Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba.
- Herrero, H., Díaz Lozada, J. M., García, C. M., Szupiany, R., Best, J., & Pagot, M. (2017). "The influence of tributary flow density differences on the hydrodynamic behavior of a confluent meander bend and implications for flow mixing". *Geomorphology*.
- Latosinski, F. G., Szupiany, R. N., García, C. M., Guerrero, M., & Amsler, M. L. (2014). Estimation of concentration and load of sediment in a large river by means of acoustic Doppler technology. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(7), 04014023.
- Van Rijn, L. C. (1984a). "Sediment transport, part I: bedload transport". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 110, Issue 12 (December 1984).
- Van Rijn, L. C. (1984). "Sediment transport, part III: bed forms and alluvial roughness". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 110.