

ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE MATERIAL DE FONDO EN SUSPENSIÓN CON ADCP - RÍO PARANÁ

Francisco G. Latosinski¹, Ricardo N. Szupiany¹, Carlos M. Garcia², Manuel Gallego¹, Mario L. Amsler³ y Alfonso Pujol⁴

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral

²Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Córdoba

³Instituto Nacional de Limnología, CONICET-UNL

⁴Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Email: franlatos@yahoo.com.ar

Introducción

La cuantificación y el conocimiento de los procesos que gobiernan el transporte de sedimentos en grandes ríos como el Paraná son de gran interés para distintas disciplinas. El sedimento transportado, ya sea proveniente del fondo del cauce (material grueso) o de su cuenca (material fino), impacta de diversas maneras en el comportamiento del río y en las actividades socio-económicas asociadas como ser navegación fluvial, abastecimiento de agua potable, localización de asentamientos de poblaciones, entre otras.

Debido fundamentalmente a la limitación de la tecnología disponible para caracterizar experimentalmente el transporte de sedimentos, los estudios realizados hasta el momento, se concentraron en la estimación del transporte total en suspensión y sus diversos tipos de carga de sedimento con limitada resolución espacio-temporal del fenómeno (Aларcon et al. 2003, entre otros).

Los perfiladores de corriente acústicos Doppler (ADCP), originalmente utilizados para medir campos de velocidades y caudales de flujo en sistemas fluviales, se basan en utilizar el efecto Doppler producido cuando una onda de sonido se propaga a través del agua y rebota en las partículas presentes en suspensión. En los últimos años, la tecnología acústica Doppler ha sido reconocida como una potencial herramienta para cuantificar la concentración de material de fondo suspendido (C_{ss}), a través del análisis de la intensidad de la señal de retorno. Szupiany (2008) presentó los primeros resultados experimentales logrados con perfiladores acústicos Doppler (ADCP) en un gran río como el Paraná que demuestran la importante variabilidad espacial del transporte de sedimento de fondo en suspensión a lo largo de nodos de ese curso y cómo éste puede desfasarse respecto de la zona de máximas velocidades de corriente y otros parámetros hidráulicos que gobiernan el movimiento del sedimento. Los ADCP proveen información con una alta resolución temporal (frecuencia de muestreo de hasta 2 Hz) y una buena resolución espacial y a bajos costos, más aún comparados con el método tradicional de toma de muestras y posterior análisis en laboratorio.

El presente trabajo describe la metodología, calibración y posterior aplicación de la mencionada técnica acústica para estimar el transporte de material de fondo en suspensión (G_{ss}) con un ADCP RDI de 1200 kHz de frecuencia a partir de la señal de retorno y, junto con los datos de velocidad de flujo obtenido con el mismo instrumento, el transporte de este material sobre el cauce principal y secundarios del río Paraná en su tramo medio e inferior.

Zona de estudio, instrumentos y metodología

La metodología de calibración consiste en relacionar las señales de retorno obtenidas con ADCP con muestras de

sedimento tomadas in situ paralelamente. Para ello, se llevaron a cabo trabajos de campo en diferentes zonas del tramo medio e inferior del río Paraná, sobre cauce principal y secundarios, tratando de abarcar distintas características hidráulicas y de transporte de sedimento.

Para la captura de datos se utilizó un ADCP Teledyne RDI de 1200 kHz de frecuencia acoplado a un sistema de posicionamiento global en forma diferencial (DGPS) y un muestreador integrador en la vertical.

Se realizaron mediciones estacionarias en 35 verticales en las que se extrajeron simultáneamente muestras de sedimento de fondo en suspensión y registros de la señal del ADCP, durante un intervalo de tiempo de aproximadamente 7 min. De estas muestras, un total de 16 se obtuvieron en una sección del río Colastiné (cauce secundario ubicado en las cercanías de la ciudad de Santa Fe) y las restantes sobre el cauce principal del río Paraná medio e inferior. Además, se relevó una sección transversal sobre el río Colastiné bajo dos estados hidrométricos (el 26/04/10 y el 07/09/10) utilizando ADCP y posteriormente se realizó un aforo sólido por método tradicional (i.e. toma de muestras para determinación de C_{ss} y medición de velocidades en 8 verticales a lo largo de la sección transversal). Para el cálculo de G_{ss} por este método, se asignan subáreas de igual velocidad y concentración en la sección, asociadas a las verticales medidas y se calcula el transporte de sedimentos en cada subzona, afectando cada subárea por su velocidad y su concentración media (Figura 1a).

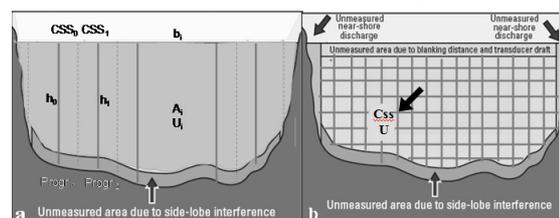


Figura 1.- Representación esquemática de aforo a) método tradicional y b) con ADCP

Calibración del ADCP RDI de 1200 kHz

Para la calibración entre la señal de retorno del ADCP y C_{ss} se adaptó la metodología presentada por Wright et. al. (2010). La misma considera las ecuaciones de transmisión de una onda sonora en agua, llegando a la siguiente expresión:

$$\log_{10}(C_{ss}) = 0.1(RL + 2TL) + K_T \quad [1]$$

donde RL es la señal cruda de retorno, en decibeles (dB); $2TL$ es la corrección por pérdidas de transmisión, en dB; y K_T , una constante que engloba parámetros característicos del instrumento. Al término $RL+2TL$ (señal corregida o backscatter) se lo denominará de aquí en adelante SCS . El término de corrección ($2TL$) contempla la pérdida de señal debido a la absorción y dispersión cuando se propaga a través del agua, esto es, el eco del sonido emitido es

recibido con menor intensidad en el ADCP. La ec. [2] describe la corrección de la señal por dichas pérdidas.

$$2TL = 20 \text{Log}_{10}(\psi r) + 2\alpha_f r + 2\alpha_s r \quad [2]$$

El término $20 \text{Log}_{10}(\psi r)$ corresponde a pérdidas debidas a la dispersión del beam acústico; mientras que $2\alpha_f r + 2\alpha_s r$, a pérdidas debidas a la absorción del sonido por el fluido y a la atenuación por el sedimento en suspensión, respectivamente. El parámetro ψ es la corrección por campo cercano del transductor; r es la distancia oblicua desde la cara del transductor al centro de la celda; α_f es el coeficiente de absorción acústica por el agua y α_s el coeficiente de atenuación por sedimento.

La ecuación [1] indica que a partir de la regresión lineal de los valores de retorno de la señal acústica del equipo corregida y de concentraciones de sedimento se puede obtener la pendiente (para verificar que es igual a 0.1 como lo indica la teoría) y la ordenada al origen (constante K_T). Con ello se logra la calibración que permite estimar posteriormente la concentración de sedimento en una vertical a través de la siguiente expresión:

$$C_{SS} = 10^{(0.1 * SCS + K_T)} \quad [3]$$

Una vez obtenida la calibración, la estimación de G_{SS} a partir de las mediciones del ADCP consistieron en recorrer una sección transversal del cauce a fin de obtener para cada celda de medición los valores de velocidad y señal de retorno. Luego, previa corrección de la señal, se aplicó la calibración lograda en cada celda para obtener C_{SS} . La afectación de este valor por el caudal líquido medido resuelve el transporte de sedimento en la misma (ver esquema en Figura 1b). La sumatoria del caudal sólido en cada celda da el transporte total en la zona medida por el instrumento. Cabe aclarar que las muestras de sedimento, intencionalmente, no cubrieron la zona no medida por el ADCP en las cercanías del fondo, a los fines de obtener resultados comparables entre ambos métodos.

Resultados

El ajuste logrado entre C_{SS} vs. SCS (de acuerdo a ec. [1]) es muy bueno ($R^2 = 0.91$, Figura 2). La pendiente (0.12), se aproxima al valor teórico de 0.1 con un 20% de error.

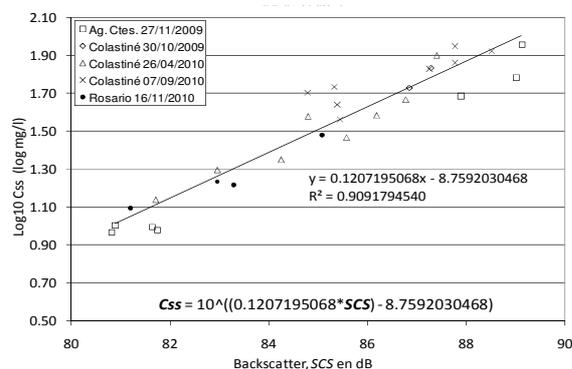


Figura 2.- Regresión lineal entre C_{SS} y SCS

En Tabla 1 se presentan y comparan los valores de G_{SS} obtenidos del aforo sólido tradicional y con ADCP (previo tratamiento de la señal y aplicación de la calibración lograda), para los estados hidrométricos relevados sobre el río Colastiné.

Finalmente, la Figura 3 muestra los campos de velocidades y concentraciones para la sección relevada el 26/04/10. Se aprecia la elevada resolución espacial de esas

variables.

Tabla 1.- Valores de G_{SS} según método de aforo empleado, kg/s.

Fecha	Método Tradicional	Método con ADCP	Diferencia %
26/04/10	80	78	2.5
07/09/10	56	48	14.3

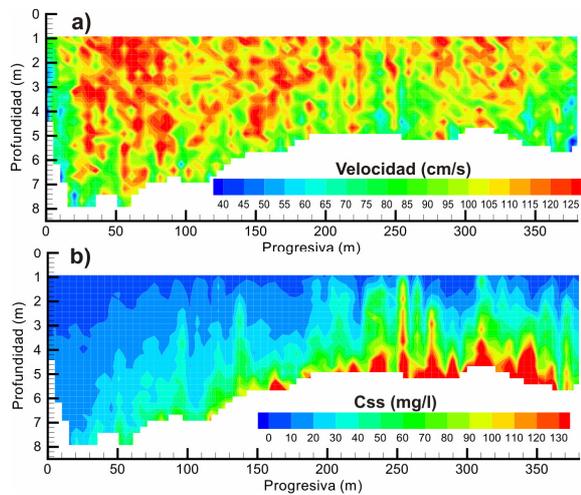


Figura 3.- Sección transversal del río Colastiné (26/04/10), a) campo de velocidad, b) concentración de sedimento de fondo.

Conclusiones

Los datos se agrupan alrededor de la recta de calibración con dispersión aceptable, sin importar el río. Es decir, podría ser utilizada en cualquier punto del sistema del río Paraná medio e inferior, siempre que las condiciones del sedimento del cauce no varíen. Este hecho se ve reflejado, a su vez, en el valor de la pendiente, que solo difiere en un 20% respecto del teórico.

A través de la metodología de aforo propuesta con ADCP, se llegarían a resultados confiables para estimaciones del transporte de sedimento de fondo en suspensión. Es conocido que las fórmulas clásicas de transporte, únicas herramientas de predicción hasta el momento, lo hacen con errores habituales del orden del 100%. Con la tecnología Doppler y calibración alcanzada en el sistema del Paraná, se lograron resultados de estimación del transporte en el río Colastiné con errores menores al 15% respecto de los métodos tradicionales de aforos sólidos.

Por último, cabe destacar la resolución espacial y temporal lograda con los ADCP. Ésto permite comenzar a profundizar el conocimiento de los procesos de transporte y su relación con la estructura del flujo.

Referencias

Alarcón, J. J.; Szupiany, R. N.; Montagnini, M. D.; Gaudin H.; Prendes H. H. y Amsler M. L. (2003). *Evaluación del Transporte de Sedimentos en el Tramo Medio del río Paraná*. Hidráulica de Ríos. Buenos Aires, Argentina.

Szupiany R. N. (2008). *Corrientes Secundarias y Transporte de Sedimentos en Nodos de Ríos Entrelazados*. Tesis de Doctorado. FICH-UNL.

Wright, S. A.; Topping, D. J. y Williams, C. A. (2010). "Evaluation of acoustic profilers for discriminating silt-and-clay from suspended-sand in rivers". 2nd Joint Federal Interagency Conference. June 27 - July 1. Las Vegas. NV. USA.