

AVANCES PARA LA ESTIMACIÓN DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR FONDO EN CAUCES DE URUGUAY

Federico Vilaseca, Christian Chreties y Luis Teixeira

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.
E-mail: fvilaseca@fing.edu.uy, chreties@fing.edu.uy, luistei@fing.edu.uy

Introducción

En Uruguay la mayoría de los ríos son aluviales y gran cantidad de los problemas que surgen en torno a los mismos están directamente relacionados al transporte de sedimentos. Como ejemplo de estos problemas se pueden citar: erosión de márgenes y migración de meandros; pérdida de sedimentos en playas fluviales o playas marítimas próximas a desembocaduras de ríos; sedimentación o erosión excesiva en cursos como consecuencia de políticas de extracción de áridos inadecuadas.

Para poder hacer frente a estos problemas resulta necesario efectuar estimaciones de transporte de sedimento, asociándolo a las características del sedimento y a la hidrodinámica de los cursos. Sin embargo actualmente no existen en Uruguay mediciones sistemáticas de caudal sólido en ríos y arroyos. Se cuenta con algunos antecedentes de estudios puntuales en los cuales se utilizaron modelos matemáticos para estimar el transporte anual de sedimentos en cauces del país; pero en casi ningún caso se contó con mediciones de campo.

El objetivo de este trabajo es avanzar en la comprensión de los procesos de transporte de sedimentos en los cursos fluviales de Uruguay mediante el monitoreo en campo del caudal sólido en una cuenca piloto.

Metodologías de monitoreo

Para el monitoreo del caudal sólido en la cuenca se aplicaron diferentes metodologías, complementarias entre sí, con el fin de encontrar la más adecuada para las condiciones de los cauces aluviales del país.

En primer lugar se recurrió a la excavación de trincheras en el lecho del río y posterior monitoreo de su batimetría. De este modo, comparando relevamientos batimétricos sucesivos, se puede estimar el volumen de sedimento que se depositó en el fondo de la trinchera durante el período de tiempo comprendido entre ellos. Este método tiene la ventaja de que logra captar cerca del 100% del material que pasa sobre la sección excavada (García et al. 2011). Su desventaja es que es difícil estimar sus dimensiones adecuadas con antelación.

El segundo método fue la utilización de un muestreador de transporte por fondo US - BL84. El mismo consta de una boquilla metálica de 3 in x 3 in acoplada a una malla de poliéster con apertura de 0.25 mm. Se utiliza colocando el dispositivo en el lecho del río en dirección paralela al flujo para que el material que se mueve sobre el fondo ingrese por la boquilla y quede retenido en la malla. Este método tiene la ventaja de ser barato, pero la desventaja de requerir la recolección de gran cantidad de muestras para obtener una sola medición confiable (más de 40 según Edwards & Glysson, 1998). A su vez es un método que resulta muy difícil de aplicar durante crecidas.

Como tercera alternativa se tuvieron en cuenta diferentes métodos de medición que derivan de la utilización de un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Estos métodos tienen múltiples ventajas, por ser relativamente baratos y de rápida aplicación, además de ser adecuados para un amplio rango de condiciones del río.

Cuenca piloto utilizada para el estudio

Como cuenca piloto se seleccionó la del río Santa Lucía, que tiene en su totalidad una superficie próxima a los 13.000 Km². Es una cuenca de gran importancia ya que abastece de agua potable a casi la mitad de la población del país y sobre las márgenes de sus cauces se encuentran importantes centros poblados. En su desembocadura sobre el Río de la Plata tiene un caudal medio de 145 m³/s, llegando a máximos históricos en el entorno de los 6000 m³/s.

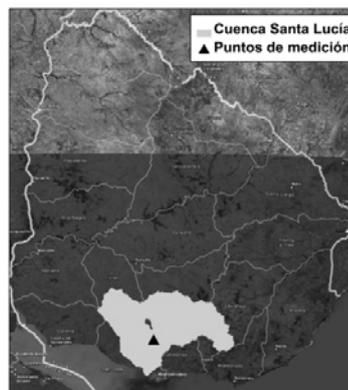


Figura 1.- Cuenca del río Santa Lucía y ubicación de las secciones de medición dentro de la misma.

En la mayoría de sus tramos, el lecho del río es formado por arena media (d_{50} entre 0.5 mm y 2 mm), la cual es transportada por el mismo en volúmenes considerables. Es por esto que la Dirección Nacional de Hidrografía ha concedido autorización a varios permisarios para extraer arena de las márgenes del río con fines comerciales. Debido al tamaño de los sedimentos, la mayor parte del transporte se da en forma de transporte por fondo, es por esto que se intentó monitorear exclusivamente este tipo de transporte, excluyéndose el transporte en suspensión del estudio.

Medición mediante trincheras

En primera instancia se construyeron dos trincheras utilizando una retroexcavadora. Ambas se ubicaron próximas entre sí, en un tramo del río en donde hay extracción de arena habitualmente, pocos kilómetros aguas arriba del cruce de la Ruta N°5 sobre el río, en la zona de Paso de Pache. Las ubicaciones fueron elegidas por su accesibilidad, ya que es una zona con caminos previamente construidos para el ingreso con maquinaria de excavación.

Para decidir las dimensiones que se darían a las trincheras se realizaron, estimaciones previas del tiempo de llenado de las mismas. Se utilizó el modelo presentado por Parker (2004) que permite conocer la evolución temporal de la batimetría de una trinchera excavada longitudinalmente en un cauce. El mismo resuelve numéricamente la hidrodinámica del tramo del río, a caudal constante, mediante la ecuación de flujo gradualmente variado. La evolución temporal de la batimetría se resuelve mediante la ecuación de Exner, utilizando: la fórmula de Ashida & Michiue (1972) para estimar el transporte por fondo en base a

la hidrodinámica; la fórmula para re-suspensión del sedimento de Wright & Parker (2004) y la fórmula de Wright & Parker (2004) para estimar la resistencia que el fondo ejerce sobre el flujo. Los datos de ingreso que el modelo requiere son: caudal (constante); largo y profundidad de la trinchera; ancho y pendiente de fondo del cauce; diámetro y porosidad del sedimento y permanencia del caudal.

Se contó con disponibilidad de datos limnimétricos en una estación ubicada cerca de la sección de medición, que también cuenta con curva de aforo (estación 59.1 de DINAGUA). En base a esto se pudo estimar el caudal de 1.5 años de período de retorno, que fue el seleccionado para realizar la estimación. Su valor es de $890 \text{ m}^3/\text{s}$, y el mismo se ve superado el 1% del tiempo en la serie de datos.

Se ingresó al modelo este caudal con distintas profundidades y largos de la trinchera, evaluando su tiempo de llenado. Se definió que las trincheras fueran de 1.5 m de profundidad, 10 m de largo y 5 m de ancho. De este modo demorarían aproximadamente 6 meses en llenarse. En la Figura 2 se presenta el gráfico resultante del modelo.

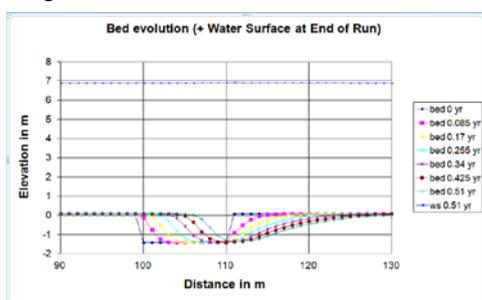


Figura 2.- Resultado del modelo numérico de evolución temporal de la morfología de una trinchera excavada en el fondo de un río.

Las trincheras fueron excavadas según lo indicado anteriormente a principios del mes de julio de 2017 alcanzando un volumen del entorno de los 100 m^3 . La semana siguiente a la excavación de la trinchera ocurrió un evento de crecida importante, que hizo que el caudal del río superara los $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 3). Un relevamiento realizado en el mes de agosto mostró que la crecida provocó el llenado total de las trincheras.

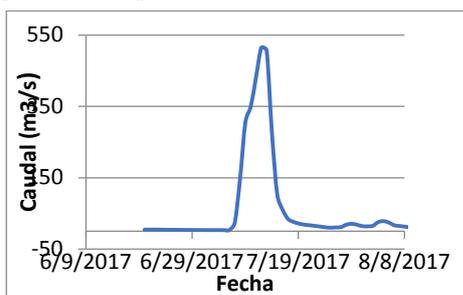


Figura 3.- Hidrograma de la crecida que provocó el llenado de las trincheras en Julio de 2017.

Ante este resultado se corrió nuevamente el modelo, esta vez simulando el evento de crecida de la Figura 3. Para esto debió discretizarse el hidrograma en una serie de caudales constantes. El resultado fue que el llenado tarda 5 días, lo cual resulta coherente con lo sucedido en la realidad. Este resultado sirvió para corroborar la validez de las aproximaciones realizadas previo a la construcción de las primeras trincheras.

Posteriormente se tomó la decisión de reconstruir las trincheras, esta vez con el doble de longitud: 1.5 m de profundidad, 20 m de largo y 5 m de ancho. Las mismas fueron excavadas en el mes de enero de 2018 y relevadas en el mes febrero. Aún no han sido procesados los datos del primer relevamiento, aunque se tiene información de que los eventos ocurridos en ese período no provocaron el llenado de las trincheras.

Mediciones mediante muestreador y ADCP

Previo a la realización de salidas de campo se llevó a cabo una prueba del muestreador US - BL 84 en el canal sedimentológico del IMFIA (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería), para tener un mejor conocimiento de su funcionamiento. El ensayo fue de carácter cualitativo, para evaluar las condiciones de funcionamiento del muestreador. Se ingresó un caudal constante de $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ con tirante de 0.15 m. Esto determinó una velocidad media de 0.53 m/s, la cual fue suficiente para generar transporte por fondo en el canal. Bajo las condiciones mencionadas, el mismo fue capaz de retener un volumen considerable de arena en cuestión de minutos (aproximadamente la mitad del volumen de la malla), pero luego de un tiempo se generó una pérdida de carga en la boquilla, debida a la obstrucción de la malla, que impedía la entrada de arena.

Posteriormente, en marzo de 2018, se realizó una salida de campo para probar el funcionamiento tanto el muestreador como del ADCP. Se concurrió a dos sitios ubicados en la ciudad de Santa Lucía (departamento de Canelones) y en la ciudad de Florida (departamento de Florida). El sitio en Santa Lucía resultó el más adecuado ya que hay una pasarela de baja altura construida sobre pilares que permite acceder cómodamente al cauce con los equipos de medición sin riesgos durante caudales medios y bajos. La metodología consistió en realizar inicialmente una prueba de fondo móvil con el ADCP y así determinar si existe transporte por fondo o no y así evaluar los pasos a seguir posteriormente. En este caso no se constató que hubiera transporte de fondo, ya que la situación del río en el momento de la medición era de estiaje (caudal de $6.8 \text{ m}^3/\text{s}$). A pesar de esto se decidió hacer pruebas también con el muestreador US-BL 84, para adquirir experiencia en su utilización en campo.

Conclusiones preliminares y trabajo pendiente

De lo realizado hasta el momento se ha podido obtener un solo punto de medición mediante la trinchera excavada en el lecho del río Santa Lucía. La excavación de trincheras resultó ser un método altamente costoso, pero puede llegar a ser eficiente si se logra hacer un dimensionamiento adecuado de las mismas y llevar adelante un plan de monitoreo tal que permita hacer varios relevamientos previo al llenado total.

En los próximos meses se espera completar los relevamientos en las trincheras para obtener más datos y realizar mediciones tanto con muestreador como con ADCP en distintas condiciones de crecida de modo de tener los resultados listos para presentarlos en el trabajo final.

Referencias bibliográficas

- Ashida, K. & Michiue M. (1972). "Study on hydraulic resistance and bedload transport rate in alluvial streams". Transactions, Japan Society of Civil Engineering, 206: 59-69.
- Edwards, T. K. & Glysson, G. D. (1999). "Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment". Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Service. Book 3, Applications of Hydraulics.
- García, M. H. (2008). "Sedimentation Engineering. Processes, Measurements, Modeling and Practice". ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N° 110.
- Parker, G. (2004). "1D Sediment transport morphodynamics with application to rivers and turbidity currents". E-book.
- Wright, S. & Parker, G. (2004). "Flow resistance and suspended load in sand-bed rivers: simplified stratification model", Journal of Hydraulic Engineering, 130(8), 796-805.