

# CÁLCULO DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN EN EL RÍO SALADO (SANTA FE)

Alejandro R. S. Nardin, Alfredo E. Trento, Ana M. T. Alvarez

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (UNL)

C.C. 217 – (3000) Santa Fe, Argentina. Tel. (54) (342) 4575233/44/46 – Interno 169. E-mail: alejandronardin@gmail.com

## Introducción

La tasa de sedimentación ( $m_d$ ) es una variable que ha sido determinada de diversas formas según la bibliografía disponible, una de ellas es a través de trampas de sedimentos (*TSed*). Éstas, son dispositivos por medio de los cuales puede determinarse  $m_d$  a partir de la captura, por deposición, de los sólidos suspendidos totales (*SST*). Hardy et al. (2002) señalan a Lambert y Walling (1987) como precursores en esta metodología. Asselman y Middelkoop (1995), Cromei et al. (2002) y Zajaczkowski (2002) son referentes posteriores de la aplicación de *TSed*. Asimismo,  $m_d$  puede ser determinada por relevamientos post-inundación (Carroll et al., 2004), por pérdidas de transporte de *SST* a lo largo del curso (Balasch et al., 2007), y por detección de trazadores radioactivos y/o metales en el perfil de suelo (He y Walling, 1996).

En términos matemáticos, se acepta que la sedimentación es una función de la concentración de *SST* en el curso, de la velocidad de caída de las partículas y/o agregados, y del nivel de turbulencia del flujo (Nicholas et al., 2006).

El uso de *TSed* tiene la ventaja, respecto a los demás métodos, de recuperar los sedimentos depositados en las mismas. Entonces puede determinarse su composición granulométrica y mineralógica; y evaluar en ellos, por ejemplo, la presencia de contaminantes en el ambiente fluvial. Se debe señalar que una de las principales desventajas de la aplicación de *TSed*, es la elevada presencia de sólidos disueltos (*SDT*).

La cuenca inferior del río Salado se encuentra en la provincia de Santa Fe, allí se delimita el área de estudio entre la sección transversal de la Ruta Provincial N°70 (*RP70*) al sur, y hasta 5 km aguas arriba de la sección transversal de la Ruta Provincial N°6 (*RP6*), al norte (Figura 1).

Gallo et al. (2006) determinaron a partir de trabajos de campo que la concentración de *SDT* varió entre 1 a 4 g L<sup>-1</sup>, lo cual se corrobora con información obtenida durante el desarrollo de este trabajo. Dichos autores, señalan además que la concentración de *SST* estuvo entre 0.1 y 0.2 g L<sup>-1</sup> y que esta se componía principalmente por finos. En este trabajo mencionan que los metales pesados transportados por el río se presentaron en su mayoría particulados. De allí la importancia de la determinación de  $m_d$ .

Diversos autores destacan el grado de asociación de contaminantes presentes en los cursos naturales con los sedimentos depositados en la cuenca, principalmente con la fracción fina (<63µm).

El cálculo de  $m_d$  en el área de estudio permitirá iniciar el camino para asociar los contaminantes presentes en el curso de agua con los sedimentos que podrían depositarse ante eventos ordinarios y/o extremos, como el ocurrido en abril 2003, con sus consecuentes implicancias sobre la biota y la cadena trófica humana. Para esta última situación, la CEPAL (2003) estimó una superficie de afectación en los departamentos que integran la cuenca inferior del Salado de 281540 has. destinadas a la producción ganadera de carne y 128260 has. asignadas a la producción de leche.

El tramo de río comprendido en el área de estudio es meandriforme, y transporta un caudal medio anual,

registrado en la sección transversal de la *RP70*, de 144.7 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, con un máximo estimado de hasta 4000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (Ferreira, 2005); para situaciones de aguas altas Bodoira et al. (2008) pudieron estimar anchos de inundación de hasta 5 km dependiendo de la magnitud del caudal.

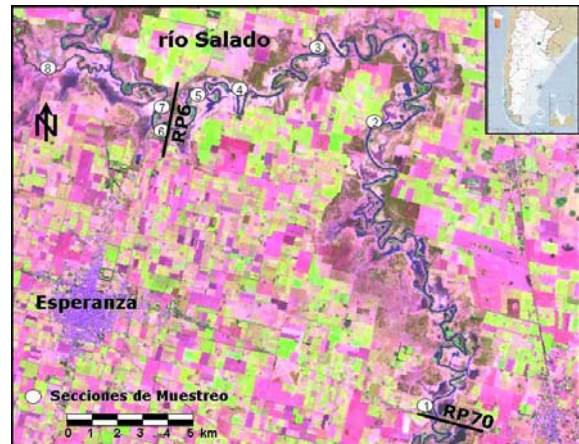


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y distribución areal de las secciones de muestreo.

## Objetivo

Se propone calcular la tasa de sedimentación ( $m_d$ ) y el porcentaje de finos de la misma, a través de una metodología basada en la aplicación de Trampas de sedimentos (*TSed*), que integra trabajo de campo, gabinete y laboratorio.

## Materiales y Métodos

### Dispositivos utilizados:

Se desarrollaron trampas que consistieron en un tubo de PVC de 30 cm de largo por 6 cm de diámetro (relación 5:1) acorde a las experiencias de Zajaczkowski (2002), y un vaso receptor de plástico de diámetro similar y una altura de 15 cm. Cada tubo se hincó en el lecho mientras que el vaso se colocó a presión dentro del anterior. La forma de hincado se modificó en el transcurso de los trabajos de campo, optándose por construir un soporte de hierro y fijar la trampa al suelo a través del mismo.

### Trabajos de Campo:

Se realizaron 16 trabajos de campo en los cuales se colocaron más de 90 *TSed* en el área de estudio. Aproximadamente el 60% de las mismas fueron perdidas por procesos naturales (arrastré de la corriente) y principalmente por intervención antrópica (vandalismo). Por ello, las *TSed* fueron reubicándose de manera de asegurar su permanencia y la confiabilidad de las muestras obtenidas.

Las trampas se dispusieron siguiendo trazas transversales al curso del río sobre las márgenes (Figura 1). Para lograr una representatividad vertical, se intercalaron entre 3 y 4 *TSed* desde el nivel más bajo esperado del río hasta el coronamiento del albardón. Asimismo, se distribuyeron aleatoriamente en las planicies, acorde a criterios de mayor probabilidad de captación de sedimentos y preservación.

Con la finalidad de conocer el nivel de agua por sobre las trampas, fue necesario acotar las bocas de las mismas con respecto a un nivel de referencia. Para ello se trasladó la

cota IGM desde el punto fijo más cercano ubicado a 8 km de las *TSed* ubicadas en la sección 3 (Figura 1).

#### Determinaciones de Laboratorio:

Se secaron los sedimentos obtenidos en las trampas a 105°C para obtener su masa (*M*). Con una fracción del total de cada muestra, se determinó por tamizado el porcentaje de finos de cada una. Asimismo, las muestras más representativas de cada crecida y de cada sección, fueron analizadas por difracción láser, con un equipo Malvern Mastersizer, para obtener su granulometría y verificar el porcentaje de finos.

En los casos en que se recuperó el agua contenida en los vasos, se determinó el contenido de *SDT*. Para ello se filtró la muestra de agua con un filtro Millipore de nylon de 0.47 µm, y por evaporación se obtuvo *SDT*.

#### Determinación del tiempo de sumersión de las *TSed*:

Se simuló con el sistema computacional Hec-Ras 4.0 (Bruner, 2008), en condiciones no estacionarias, el escurrimiento para el período en estudio. Se obtuvo la cota del pelo de agua por sobre las *TSed* en cada paso de tiempo, la velocidad media y el tirante medio de la corriente en la sección de muestreo. Luego, se comparó la cota del pelo de agua con la cota de cada trampa y así se obtuvo el limnigrama y particularmente el tiempo de sumersión de cada una.

#### Cálculo de la tasa de sedimentación:

Para cada muestra se estimó la masa de *SDT* ( $M_{SDT}$ ) y se calculó  $m_d$  con la siguiente expresión:

$$m_d = \frac{(M - M_{SDT})}{A t} \quad [1]$$

Donde *A* es el área del vaso receptor la cual es constante e igual a 28.3 cm<sup>2</sup> y *t* es el tiempo de sumersión de la *TSed*.

### Evaluación de Resultados:

A lo largo de los trabajos de campo se recolectaron 44 muestras provenientes de diversos sitios del área de estudio. La mayor continuidad de registros se obtuvo en la Sección 3 (Figura 1).

Mediante [1] se obtuvo  $m_d$  para cada una de las muestras. Los resultados de  $m_d$  tienen un promedio igual a 77 g cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> para todas las muestras recolectadas (independientemente de la crecida que las generó). El rango de valores observados va desde 0.8 g cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> hasta 227 g cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>.

En la Tabla 1 se pueden observar los valores característicos de  $m_d$  para cada período de muestreo.

En la Figura 2 se presentan los porcentajes de sedimentos finos de las muestras. Puede observarse allí que más del 75% de las mismas están compuestas, en su mayoría, por finos.

Se señala que desde la instalación de las trampas no se han registrado a la fecha avenidas en las cuales el caudal sea mayor al correspondiente a cauce lleno. Por ello, las muestras analizadas corresponden a las *TSed* ubicadas en las márgenes.

De las 44 muestras analizadas, 12 se declararon no procesables.

### Conclusiones:

La metodología empleada ha permitido obtener resultados concretos de un modo operativamente sencillo y económico. Cabe destacar que es estrictamente necesario respetar la relación de al menos 5:1 de las *TSed*, lo cual

toma relevancia cuando la masa de sedimentos captada supera la mitad del vaso contenedor.

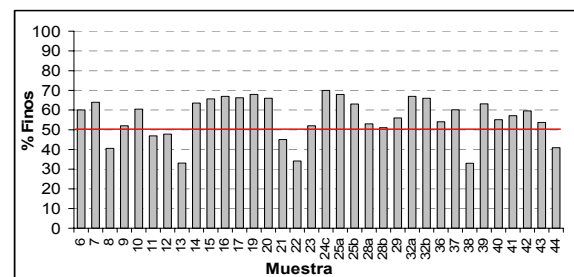
Los resultados corroboran la fuerte dependencia de  $m_d$  respecto de las características hidro-sedimentológicas locales sobre las *TSed*.

La presencia mayoritaria de finos en las muestras indicaría mayor probabilidad de encontrar metales pesados en el ambiente de margen y planicie.

Los resultados de este trabajo son el primer paso para conocer el comportamiento de  $m_d$  asociado a las características hidro-sedimentológicas del río. Para ello, es necesario conocer de manera más ajustada (medir y/o simular) los valores de las concentraciones de *SST* y *SDT*, y recolectar un mayor número de datos de calibración para los limnigramas en las secciones de muestreo.

**Tabla 1.-** Valores de  $m_d$  para cada período de muestreo dados en g cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>.

Período	n° Muestras	$m_d$ medio	Desvío estándar	Máx.	Mín.
Oct/07-Dic/07	6	50.1	26.7	89.1	16.6
Dic/07-Mar/08	4	40.5	21.3	69.6	18.5
Mar/08-Jun/08	3	55.3	52.7	108.7	3.4
Sep/08-Oct/08	10	98.4	55.0	170.2	18.4
Oct/08-Nov/08	2	3.6	4.1	6.5	0.8
Nov/08-Mar/09	7	122.2	84.6	227.6	22.3
Descartadas	12	---	---	---	---



**Figura 2.-** Porcentaje de finos en cada muestra.

### Referencias:

- Asselman, N.; Middelkoop, H. (1995): "Floodplain sedimentation: quantities, patterns and processes". *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, 481-499.
- Bodoira, F.; Graciani, S.; Trento, A. (2008): "Elaboración de cartas temáticas de la rugosidad superficial en planicies de inundación. Cuenca inferior del río Salado (Santa Fe)". Cuarto Congreso de la Ciencia Cartográfica y XI Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires, Argentina.
- Ferreira, C. G. (2005): "La crecida extraordinaria del río salado en abril-mayo de 2003 (provincia de santa fe - argentina) - aspectos hidrológicos". XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.
- Gallo, M.; Trento, A.; Alvarez, A.; Beldoménico H.; Campagnoli D. (2006): "Dissolved and particulate heavy metals in the Salado River (Santa Fe, Argentina)". *Water, Air, & Soil Pollution*, 174, 367-384.
- Hardy, R.; Bates, P.; Anderson, M. (2000): "Modelling suspended sediment deposition on a fluvial floodplain using a two-dimensional dynamic finite element model". *Journal of Hydrology*, 229, 202-218.
- He, Q.; Walling, D. (1996): "Rates of Overbank Sedimentation on the Floodplains of British Lowland Rivers Documented Using Fallout <sup>137</sup>Cs". *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, Vol. 78, No. 4, 223-234.