

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

RESUMEN

La tasa de sedimentación (m_d) es una variable importante en los procesos de formación del ambiente fluvial y puede ser determinada a partir de diversos métodos, uno de ellos es a través de la aplicación de trampas de sedimentos (*TSed*). Si bien existen estudios de varios autores que aplican *TSed* para determinar m_d , se conoce poco sobre ésta en el río Salado. El propósito de este trabajo es calcular la m_d y el porcentaje de finos depositados a través de una metodología basada en la aplicación de *TSed*. Las trampas usadas respetan una relación de aspecto de 5:1 y fueron distribuidas en la cuenca inferior del Salado. Luego de un evento de crecida se recolectaron las muestras captadas y fueron procesadas para calcular m_d . Los valores obtenidos están en el rango desde 0.8 hasta 227 g cm⁻² año⁻¹, y dependen de las características de la crecida que los generó. Si se analiza m_d en una escala de tiempo absoluta considerando días sin sumersión, los resultados están en el rango 1.0 a 10.2 g cm⁻² año⁻¹ con un promedio de 6.4 g cm⁻² año⁻¹. La metodología empleada ha permitido obtener resultados concretos de un modo operativamente sencillo y económico.

ABSTRACT

Sedimentation rate (m_d) is an important variable in fluvial landform development and can be determined in different ways, one of them is by using sediment traps (*TSed*). Despite the studies of many authors in this field, very little is known about m_d in the Salado river (Santa Fe). The aim of this paper is to calculate m_d and fine grained percentage of the deposited sediment through the development and application of a *TSed*-based methodology in the Salado river. The traps used have an aspect ratio of 5:1, and were placed in different environments in the river basin. After a flooding event, samples were collected from the traps and processed to assess m_d . Calculated values ranged between 0.8 and 227 g cm⁻² yr⁻¹ according to flood characteristics. Considering absolute time since traps were placed, the results varied among 1.0 a 10.2 g cm⁻² yr⁻¹ with a mean value of 6.4 g cm⁻² yr⁻¹. The methodology has yielded concrete results in a simple and inexpensive way.

INTRODUCCIÓN

La tasa de sedimentación (m_d) es una variable que ha sido determinada por diversos métodos según la bibliografía disponible, uno de ellos 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 depositación, de los sólidos suspendidos totales (*SST*). Hardy et al. (2000) señalan a Lambert y Walling (1987) como precursores en esta metodología. Asselman & Middelkoop (1995), Cromey et al. (2002), Kozerski (2002) y Zajączkowski (2002) son otros referentes de la aplicación de *TSed*. Además, 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 & 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 (Dorrik et al., 1980; Nicholas et al., 2006). Siguiendo este razonamiento, m_d es una función de las características del ambiente fluvial analizado.

Terry et al. (2006) realizó una comparación de valores de m_d para diferentes ambientes fluviales de distintos ríos, climas y metodologías de trabajo obteniendo un máximo de 70 g

$\text{cm}^{-2} \text{año}^{-1}$ en las planicies de inundación del río Juruá (Amazonas - Brasil). Otros autores obtuvieron valores menores que son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Valores de m_d para distintos autores.

Autor (año)	Río	Ambiente	m_d ($\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$)
He & Walling (1996)	Culm (Inglaterra)	Planicie de Inundación	0.31-0.95
Walling et al. (1997)	Culm (Inglaterra)	Planicie de Inundación	0.017-0.924
Gomez et al. (1997)	Mississippi (EE.UU.)	Planicie de Inundación	0.11-0.44
Rostan et al. (1997)	Ródano (Francia)	Planicie de Inundación	0.02-1.43
Asselman & van Wijngaarden (2002)	Rin (Holanda)	Planicie de Inundación	0.02-0.4
Kozerski (2002)	Spree (Alemania).	Planicie de Inundación	0.7-2.7
Smith (1986) en Wang et al. (2005)	Magdalena (Colombia)	Cauce y Planicie	4.5
Wang et al. (2005)	Yangtsé (China)	Cauce y Planicie	3-11
Balash et al. (2007)	Ebro (España)	Cauce y Planicie	1.3
Makaske et al. (2009)	Columbia (Canadá)	Cauce y Planicie	0.8-19

El uso de *TSed* tiene la ventaja, respecto a los demás métodos, de recuperar los sedimentos allí depositados. Entonces, puede determinarse su composición granulométrica y mineralógica; y evaluar en ellos, por ejemplo, la presencia de contaminantes en el ambiente fluvial. Las principales desventajas de la aplicación de *TSed* son: la exposición a los factores ambientales (radiación solar, viento, lluvia) que la hacen proclive a deteriorarse, a desarrollar materia orgánica, a incorporar material de origen eólico y a perder y/o incorporar sedimentos por salpicadura; la vulnerabilidad a animales e insectos; la necesidad de descontar los sólidos disueltos totales (*SDT*) si estos se encuentran en concentraciones altas en el curso.

Área de Estudio:

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). El Salado transporta un caudal medio anual, registrado en la sección transversal *RP70*, de $144.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (SSRH, 2004), con un máximo estimado de hasta $4000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (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. El tramo de río comprendido en el área de estudio presenta meandros tortuosos, albardones, surcos de derrame, espiras de meandro, bancos laterales, márgenes erosivas y deposicionales, que da cuenta de la existencia de procesos de erosión – sedimentación. Las dos secciones mencionadas delimitan un tramo de 60 km de longitud de cauce y 30 km de cauce rectificado (sinuosidad media ≈ 2) con un ancho promedio de 80 m aproximadamente.

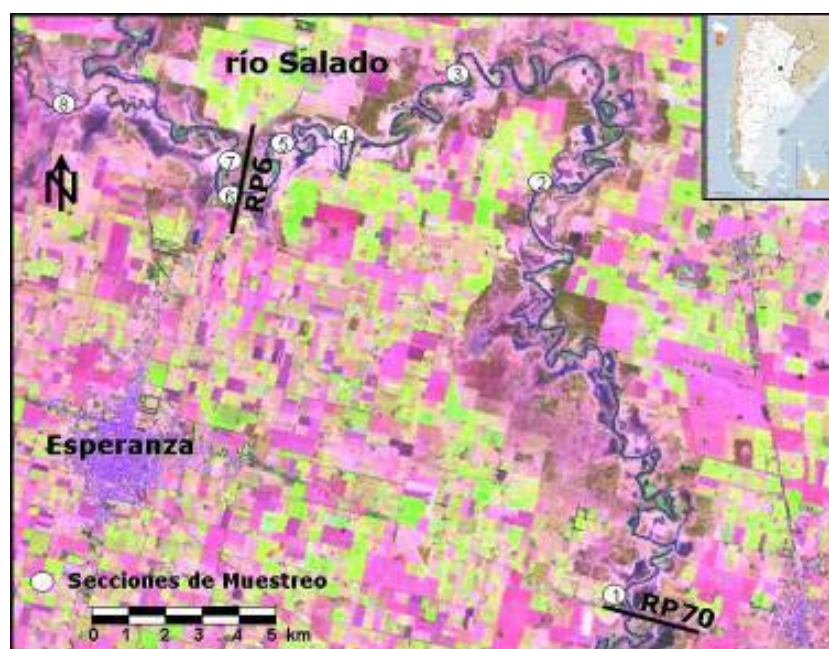


Figura 1.- Ubicación del área de estudio y distribución areal de las secciones de muestreo.

Gallo et al. (2006) determinaron a partir de cinco trabajos de campo que la concentración de *SDT* varió entre 1 y 4 g L⁻¹, lo cual se corrobora con información obtenida durante el desarrollo de este trabajo. Dichos autores, señalan además que las concentraciones de *SST* estuvieron entre 0.1 y 0.2 g L⁻¹, y compuestas mayoritariamente por finos.

Molisani (1999) y Walling et al. (2003) entre otros, 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). Gallo et al (2006) mencionan que los metales pesados transportados por el río se presentaron en su mayoría particulados. 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 hectáreas destinadas a la producción ganadera de carne y 128260 hectáreas asignadas a la producción de leche.

Condiciones hidrológicas:

A lo largo de los últimos dos años en los cuales se ha desarrollado este trabajo, se produjo en la cuenca del Salado un proceso continuo de sequía que ha llevado al río a manifestar sus mínimos limnimétricos históricos en la sección *RP70* (lectura del limnómetro -0.47 m). En este período el caudal máximo estimado fue del orden del módulo del río, es decir, alrededor de 150 m³ s⁻¹, mientras que el caudal medio estimado es de 10 m³ s⁻¹ aproximadamente.

Bajo estas condiciones de escurrimiento se han observado concentraciones de *SST* de hasta 0.5 g L⁻¹, y concentraciones de *SDT* entre 2 y 6.5 g L⁻¹.

OBJETIVOS

Se propone calcular la tasa de sedimentación (m_d) y el porcentaje de finos asociado para el área de estudio, a través de una metodología basada en la aplicación de Trampas de Sedimentos (*TSed*), que integra trabajos 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 Zajączkowski (2002) y Cromey et al. (2002), y un vaso receptor de plástico de diámetro similar y una altura de 15 cm. Cada tubo se hincó en el terreno 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 *TSed* al suelo a través del mismo (Figura 2).



Figura 2.- Ejemplo de *TSed* instalada con soporte de hierro.

Trabajos de Campo:

Se realizaron 16 trabajos de campo en los cuales se colocaron 92 *TSed* en el área de estudio, 27 en la planicie de inundación y 75 en los taludes de las márgenes. Casi el 60% de las mismas fueron perdidas por procesos naturales (arrastre de la corriente) y 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 (Figura 3). Asimismo, se distribuyeron aleatoriamente en las planicies, acorde a criterios de mayor probabilidad de captación de sedimentos y preservación.



Figura 3.- Disposición vertical de $TSed$ en la sección 3.

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 del punto fijo más cercano, ubicado a 8 km de las $TSed$ de la sección (Figura 1).

Determinaciones de Laboratorio:

Para calcular la masa (M) de los sedimentos capturados en las $TSed$, se secaron a 105°C , y 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 con tamaño de poro de $0.45\ \mu\text{m}$, y por evaporación se obtuvo la concentración de SDT según la norma 2540-C, APHA (2005).

Descuento de SDT :

Para esta tarea se calculó el volumen de los sedimentos depositados, y dicho valor se restó al volumen total del vaso receptor (0.3 L). Luego se supuso que el vaso estaba completamente ocupado por agua. Acorde a la crecida, se asignó un contenido de SDT promedio, el cual multiplicado por el volumen de agua en el vaso, dio como resultado la masa de SDT (M_{SDT}).

Simulación hidrodinámica:

Se simuló con el sistema computacional Hec-Ras 4.0 (Bruner, 2008), en condiciones no estacionarias, el escurrimiento para el período en estudio. Dicha simulación se realizó para los intervalos de tiempo correspondientes a los períodos entre salidas a campo.

Los contornos del modelo fueron la sección RP70 aguas abajo y una sección observada a 1500 m aguas arriba de RP6. Se establecieron las siguientes condiciones de borde: - aguas abajo el limnigrama observado en RP70, - aguas arriba el hidrograma de RP70 retrasado un tiempo igual al tiempo de traslado de la onda de crecida, que para estas condiciones hidrodinámicas es del orden de 48 horas.

Los intervalos de tiempo utilizados para el cálculo y la salida del modelo fueron 1 minuto y 2 horas respectivamente. La calibración y los detalles computacionales pueden consultarse en el trabajo de Baratti et al. (2009), presentado a este simposio.

Determinación del tiempo de sumersión de las TSed:

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 para 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, constante e igual a 28.3 cm^2 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), debido a las condiciones de preservación de las *TSed* dadas en zona. Además, la sección 3 presenta con respecto a las demás zonas de muestreo la ventaja de contener en un área de 0.5 km^2 un tramo cuasi-recto, una margen deposicional, una margen erosiva y un albardón definido que diferencia claramente los ambientes fluviales.

En la Figura 4 se muestra la sección 3. Allí se señala con puntos sobre las márgenes los grupos de trampas intercalados en el talud como se describiera anteriormente, y en la planicie las demás *TSed* distribuidas bajo los criterios mencionados.

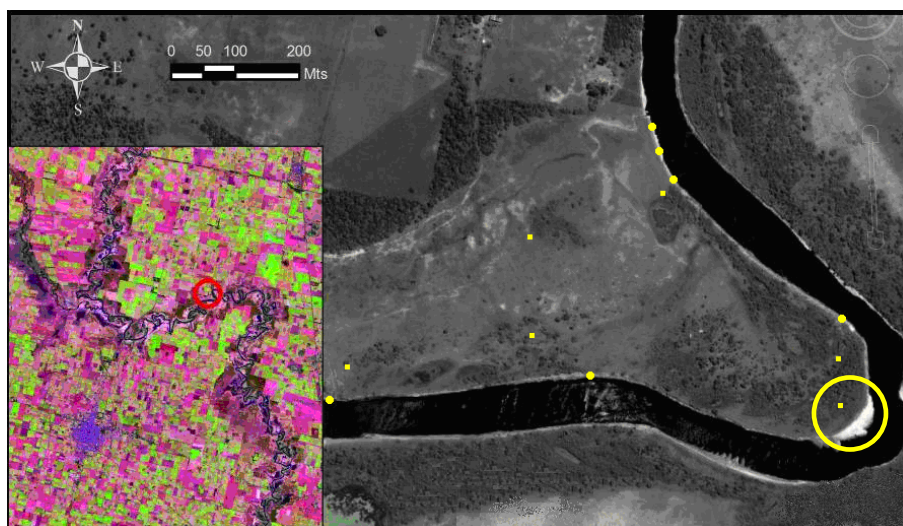


Figura 4.- Disposición en planta de $TSed$ en la sección 3.

Mediante (1) se obtuvo m_d para cada una de las muestras. El rango de valores observados de m_d es 0.8 a $227 \text{ g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$, con un promedio igual a $77 \text{ g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para todas las muestras recolectadas (independientemente de la crecida que las generó). Cabe señalar que dichos valores corresponden a una escala de tiempo de evento. Si se suman las masas de sedimentos depositadas a lo largo del período de estudio, en una $TSed$ determinada, y se divide por el tiempo transcurrido se obtienen resultados un orden de magnitud inferior. Es decir, considerando el tiempo absoluto en el que las trampas estuvieron colocadas, entre 150 y 650 días dependiendo de cada $TSed$, los valores de m_d varían 1.0 y $10.2 \text{ g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$ con un promedio de $6.4 \text{ g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

En la Tabla 2 se pueden observar los valores característicos de m_d para cada período de muestreo. Estos últimos se definieron considerando las fechas de las salidas a campo en las cuales se obtuvieron muestras. Se incluyen además, la velocidad y los caudales simulados para cada período, a partir de los cuales puede observarse la influencia de ellos en m_d .

Tabla 2.- Valores de m_d ($\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) para cada período de muestreo.

Período	nº Muestras	m_d ($\text{g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$)			Desvío estándar	Velocidad media (m s^{-1})	Caudal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)		
		Medio	Máximo	Mínimo			Medio	Máximo	
22/07/07	13/12/07	6	50.1	89.1	16.6	26.7	0.26	16.8	90.9
13/12/07	06/03/08	4	40.5	69.6	18.5	21.3	0.24	9.2	59.2
06/03/08	23/06/08	3	55.3	108.7	3.4	52.7	0.20	6.0	27.9
10/09/08	30/10/08	10	98.4	170.2	18.4	55	0.27	11.0	90.5
30/10/08	13/11/08	2	3.6	6.5	0.8	4.1	0.10	5.6	9.5
13/11/08	16/03/09	7	122.2	227.6	22.3	84.6	0.45	8.9	153.3
Descartadas		12	---	---	---	---	---	---	---

Doce muestras fueron descartadas para este análisis debido a alteraciones observables a simple vista, por ejemplo, presencia de cuerpos extraños, desarrollo excesivo de materia orgánica, etc. En 31 de las 32 restantes se pudo determinar el porcentaje de finos constitutivo, solo en una la cantidad de sedimentos disponible no permitió este análisis por ninguno de los métodos antes descritos. En la Figura 5 se presentan los porcentajes de sedimentos finos de las muestras. Puede observarse allí que el 75% de las mismas están compuestas, en su mayoría, por finos.

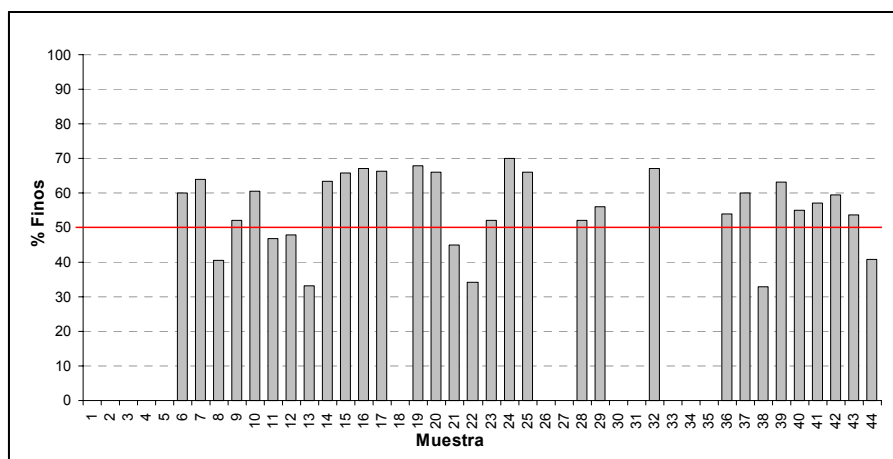


Figura 5.- Porcentaje de finos en cada muestra.

Debido a las condiciones hidrológicas señaladas anteriormente, no se han registrado a la fecha caudales mayores al correspondiente para cauce lleno. Por ello, las muestras analizadas provienen de las *TSed* ubicadas en las márgenes. Se menciona esto a los fines de señalar la validez de la comparación de los m_d obtenidos con los presentados en la Tabla 1. Los diversos autores allí mencionados realizaron sus mediciones para eventos hidrológicos de un período de recurrencia mayor al aquí analizado y, la mayoría de los mismos, para el ambiente de planicie de inundación.

Eficiencia de atrapamiento de las trampas:

Para cuantificar m_d de manera correcta, es necesario conocer si los resultados obtenidos con las *TSed* son compatibles con la tasa real de depositación. Kozerski (2002) afirma que existe un error instrumental, asociado a metodologías que aplican *TSed*, que debe ser determinado. Dicha determinación escapa a los fines de este trabajo, pero como primera aproximación de la validez de los resultados, se comparan dos situaciones observadas: - la primero corresponde a la sedimentación dentro de las *TSed* para la sección 3 en el período 10/9/2008-13/11/2008 donde se obtuvieron espesores depositados del orden de los 3 cm (Figura 6). - El segundo refiera a la sedimentación ocurrida en el ambiente de depositación, señalado con un círculo amarillo en la Figura 4, para el mismo período de tiempo. Allí se observó, a una cota análoga a la de las *TSed*, que el espesor de sedimentos depositados es muy similar con el de las trampas (Ver Figura 7). Si bien no se puede precisar con exactitud el error instrumental, los resultados son comparables, en orden de magnitud, con el proceso real de sedimentación.



Figura 6.- Muestras obtenidas en la sección 3 para el período 10/9/2008-13/11/2008 (muestras 24 y 25).



Figura 7.- Sedimentos depositados en la sección 3 para el período 10/9/2008-13/11/2008.

CONCLUSIONES

Los valores de m_d calculados con (1) son compatibles y aún mayores que los presentados por Terry et al. (2006), y superan en uno y dos órdenes de magnitud a los resultados observados para ríos con similares características hidro-sedimentológicas que el Salado (Tabla 1). Esto puede atribuirse a los bajos caudales y a las altas concentraciones de SST para el período de estudio.

Para escala de evento, m_d se encontró en el rango 0.8 a 227 g cm⁻² año⁻¹ con un promedio igual a 77 g cm⁻² año⁻¹. Si se considera el tiempo absoluto m_d varía entre 1.0 y 10.2 g cm⁻² año⁻¹ con un promedio de 6.4 g cm⁻² año⁻¹.

La metodología aquí empleada ha permitido obtener resultados concretos de un modo operativamente más sencillo y económico que los basados en la detección de trazadores entre otros.

Se destaca 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 alcanza y/o 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*. Por ello, es necesario conocer de manera más ajustada (medir y/o simular) los valores de las concentraciones de *SST* y *SDT*, y recolectar mayor cantidad de información de campo.

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

Agradecimiento. Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos de Investigación PICTO 36138, subsidiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina y UNL, y CAI+D 2009 38-194, subsidiado por la UNL. El primer autor desarrolló su trabajo en el marco de una Beca de Iniciación a la Investigación otorgada por la UNL.

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i> :	área en planta del vaso receptor
<i>M</i> :	masa de sedimentos
m_d :	tasa de sedimentación
M_{SDT} :	masa de sólidos disueltos totales
<i>RP6</i> :	Ruta Provincial N°6
<i>RP70</i> :	Ruta Provincial N°70
<i>SDT</i> :	sólidos disueltos totales
<i>SST</i> :	sólidos suspendidos totales
<i>t</i> :	tiempo de sumersión
<i>TSed</i> :	trampa de sedimento

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

APHA (American Public Health Association); AWWA(American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. In: Eaton, A.; Clesceri, L.; Rice, E. y Greenberg, A. (Eds). Washington DC.

Asselman, N.; Middelkoop, H. (1995). “Floodplain sedimentation: quantities, patterns and processes”. *Earth Surface Processes and Landforms* 20, 481-499.

Asselman, N.; van Wijngaarden, M. (2002). “Development and application of a 1D floodplain sedimentation model for the River Rhine in The Netherlands”. *Journal of Hydrology* 268, 127–142.

Balash, C.; Vericat, D.; Batalla, R. (2007). “Deposición de sedimentos finos durante una crecida en un tramo del Ebro Medio”. *Revista C. & G.* 21 (1-2), 41-55.

Baratti, G.; Trento, A.; Alvarez, A. (2009). “Simulación de la Salinidad Y Temperatura del Agua en el río Salado (Santa Fe)”. *Cuarto Simposio Regional Sobre Hidráulica de Ríos.* Salta. Argentina.

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 Cartográfico y XI Semana Nacional de Cartografía.* Buenos Aires, Argentina.

Bruner G. (2008). “*Hydrologic Engineers Center, River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*”. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA., U.S.A.

Carroll, R.; Warwick, J.; James, A.; Miller, J. (2004). “Modeling erosion and overbank deposition during extreme flood conditions on the Carson River, Nevada”. *Journal of Hydrology* 297, 1–21.

CEPAL (2003). “*Las inundaciones de 2003 en Santa Fe, Argentina. Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental*”. Disponible en Internet:
<http://www.eclac.cl/argentina/noticias/noticias/0/12620/presentacion.pdf>.

Cromey, C.; Nickell, T.; Black, K. (2002). “DEPOMOD—modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms”. *Aquaculture* 214, 211 –239.

Dorrik, A; Stow, V.; Bowen, A. (1980). “A physical model for the transporting and sorting of fine-grained sediment by turbidity currents”. *Sedimentology* 27, 34-46.

Ferreira, C. (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 ^{137}Cs ”. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography* 78 (4), 223-234.
- Gomez, B.; Phillips, J.; Magilligan, F.; James, L.** (1997). “Floodplain sedimentation and sensitivity: summer 1993 flood, Upper Mississippi River Valley”. *Earth Surface Processes And Landforms* 22, 923–936.
- Kozerski, H.** (2002). “Determination of areal sedimentation rates in rivers by using plate sediment trap measurements and flow velocity—settling flux relationship”. *Water Research* 36, 2983–2990.
- Makaske, B.; Smith, D.; Berendsen, H.; de Boer, A.; van Nielen-Kiezebrink, M.; Locking, T.** (2009). “Hydraulic and sedimentary processes causing anastomosing morphology of the upper Columbia River, British Columbia, Canada”. *Geomorphology* 111, 194-205.
- Molisani, M.; Salomao, M.; Ovalle, A.; Rezende, C.; Lacerda, L.; Carvalho C.** (1999). “Heavy Metals in Sediments of the lower Paraíba do Sul river and estuary, R.J., Brazil”. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 63, 682-690.
- Nicholas, A.; Walling, D.; Sweet, R.; Fang, X.** (2006). “New strategies for upscaling high-resolution flow and overbank sedimentation models to quantify floodplain sediment storage at the catchment scale”. *Journal of Hydrology* 329, 577– 594.
- Rostan, J.; Juget, J.; Brun, A.** (1997). “Sedimentation rates measurements in former channels of the upper Rhône river using Chernobyl ^{137}Cs and ^{134}Cs as tracers”. *The Science of the Total Environment* 193, 251-262.
- SSRH** (2004). Subsecretaría de Recursos Hídricos. *Estadística Hidrológica del Siglo XX*, Presidencia de la Nación, Rep. Argentina.
- Terry J.; Kostaschuk, R.; Garimella, S.** (2006). “Sediment deposition rate in the Falefa River basin, Upolu Island, Samoa”. *Journal of Environmental Radioactivity* 86. 45 – 63.
- Walling, D.; Owens, P.; Leeks, G.** (1997). “The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK”. *Geomorphology* 22, 225-242.
- Walling, D.; Owens, P.; Carter, J.; Leeks, G.; Lewis, S.; Meharg, A.; Wright, J.** (2003). “Storage of sediment-associated nutrients and contaminants in river channel and floodplain systems.” *Applied Geochemistry* 18, 195–220.
- Wang, S.; Chen, Z.; Smith, D.** (2005). “Anastomosing river system along the subsiding middle Yangtze River basin, southern China”. *Catena* 60, 147–163
- Zajączkowski, M.** (2002). “On the use of sediment traps in sedimentation measurements in glaciated fjords”. *Polish Polar Research* 23 (2), 161–174.