

# DINÁMICA HÍDRICA DE UN TRAMO DEL RÍO SALADO EN CONDICIONES DE AGUAS ALTAS<sup>1</sup>

Villalba Sebastián Nicolás\*, Pez Martín

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Departamento de hidráulica

Área temática: Ingeniería - Sub-área: Recursos Hídricos

\* seba.villalba92@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

El movimiento de sedimentos en el tramo de un río puede ocurrir por dos mecanismos diferentes: aportes de sedimentos provenientes del lavado de la cuenca, y por efectos del poder erosivo del agua sobre los cauces. Para entender la importancia de cada uno de estos fenómenos en el transporte de caudales sólidos, es necesario contar con muestras de sedimentos y una buena caracterización hidráulica del tramo de estudio. En este trabajo se aborda la etapa inicial del estudio hidro-sedimentológico de un tramo del río Salado, para las condiciones de aguas altas, ocurridas el 06/05/2015.

El río Salado transporta un caudal medio anual registrado en la sección de la ruta provincial 70 (RP70) de  $137 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (SSRH, 2009) con importantes variaciones de caudal.

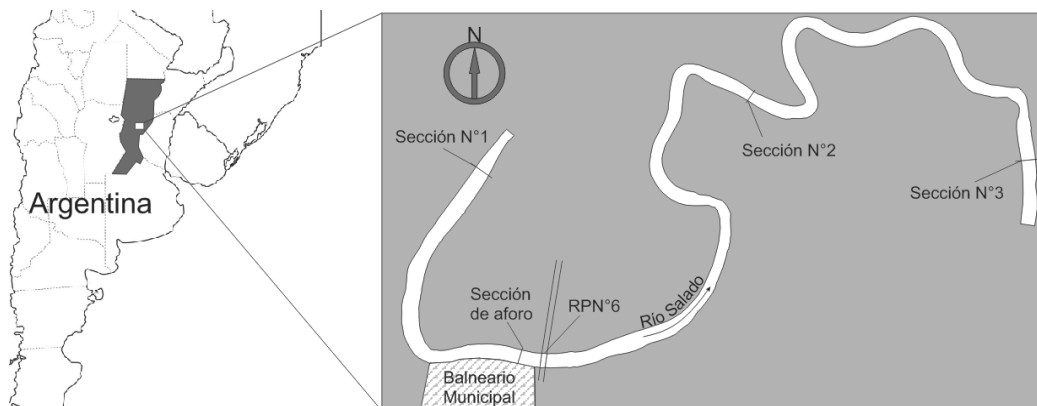


Figura 1. Ubicación del área de estudio y tramo del río Salado (Santa Fe)

La cuenca inferior del río Salado se encuentra en la provincia de Santa Fe, allí se delimita el tramo de estudio (Figura 1) entre la sección transversal 2 km aguas arriba y hasta 6 km aguas abajo de la sección transversal de la Ruta Provincial N°6 (RP6). El tramo en estudio presenta meandros, albardones, surcos de derrame, espiras de meandro, bancos laterales, márgenes erosivas y deposicionales, que dan cuenta de la existencia de procesos de erosión – sedimentación (Nardin *et al*, 2009). Las secciones N° 1 y N° 3 delimitan un tramo de 8 km de longitud de cauce y 3 km de cauce rectificad (sinuosidad media  $\approx 2,5$ ) con un ancho promedio de 80 m aproximadamente.

## OBJETIVOS

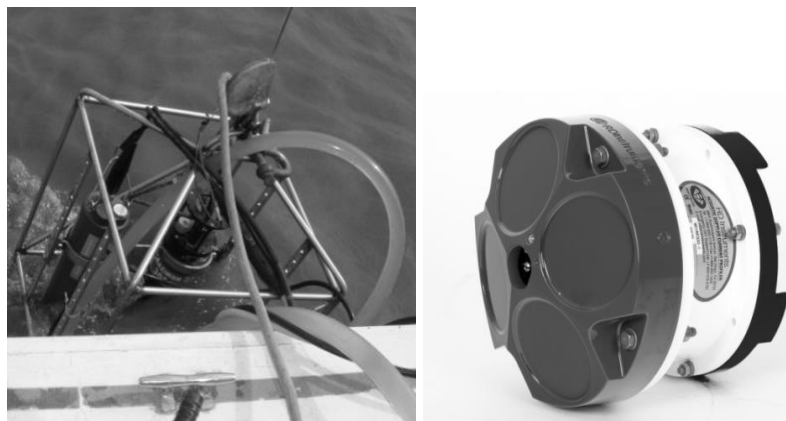
El objetivo de este trabajo fue caracterizar el escenario hidrodinámico en base a mediciones de detalle de velocidades y batimetrías, y el cálculo de caudales en distintas secciones del tramo de estudio.

<sup>1</sup> Este trabajo se enmarca en el proyecto CAI+D 2011 “Transporte de sedimentos finos en ambientes fluviales. Análisis, mediciones, floculación y simulación numérica” Director: Trento, Alfredo Emilio. Dirección del primer autor (Cientibecario): Alvarez, Ana Ma. Teresita, Co-Dirección: Gallo, Marcos Nicolás.

## METODOLOGÍA

Para la obtención de la información necesaria se realizó una salida de campo, que tuvo lugar el 6 de mayo del año 2015. Para ello se dispuso de un perfilador acústico Doppler (ADCP) Teledyne RD Instrument Río Grande de 1200kHz de frecuencia, acoplado a un sistema de posicionamiento global (GPS) a tiempo real y una ecosonda. Para mediciones sedimentológicas se emplearon un difractómetro LISST 25X, una sonda multiparamétrica YSI 6600 y una bomba eléctrica para la obtención de muestras, todos sujetos a un bastidor de acero operado por cable y torno. El equipamiento se puede observar en la Figura 2.

Figura 2.  
Bastidor con Sonda YSI 6600, LISST - 25X y bomba para obtención de muestras (izquierda). Velocímetro ADCP Río Grande (derecha).



Se realizaron mediciones de detalle en tres secciones transversales y se obtuvo la batimetría completa del tramo. Mediante el uso del ADCP, se obtuvieron registros de velocidad estáticos (5 minutos de duración) en 3 verticales de cada sección de estudio, que consistieron de mediciones puntuales de velocidad instantánea a diferentes profundidades a lo largo del tiempo, obteniéndose más de 1600 valores en cada profundidad en las 9 verticales de medición. Con los registros de velocidades instantáneas, se obtuvo un promedio de velocidad en el tiempo para cada profundidad. En función de estos valores, se procedió al ajuste de curvas teóricas de los valores de velocidad medias temporales mediante la siguiente expresión (Chow, 1959):

$$\frac{u_z}{u_*} = 5.75 \log \frac{z}{k_s} + 8.5 \quad (1)$$

Dónde:  $u_z$ , velocidad de la corriente a la una distancia  $z$  del fondo del cauce;  $u_*$ , velocidad de corte ( $= \sqrt{\tau_o / \rho}$ );  $k_s$ , altura de rugosidad del fondo;  $\tau_o$ , tensión de corte en el fondo;  $\rho$ , densidad del agua.

Para realizar el ajuste en cada vertical se usó la fórmula de la ley del déficit de velocidades, la cual propone a partir de la ecuación (1) obtener la velocidad de corte  $u_*$ , con dos valores de velocidades en la vertical. A partir de allí se usó como parámetro de ajuste el valor de  $k_s$  y se obtuvieron ajustes de los valores observados con distribuciones teóricas de velocidad. Una vez obtenida la distribución teórica, se calculó la velocidad media en cada vertical ( $\bar{u}$ ) mediante un método de integración del perfil obtenido, y se aplicaron distintos métodos de cálculo de caudal, usados tradicionalmente en mediciones

de caudal con molinete como el método de la sección media, semisección y de caudales específicos (Maidment, 1993) y se los comparó con lo obtenido con el ADCP.

## RESULTADOS

En el trabajo de campo se obtuvieron 22 muestras de agua y registros continuos con las dos sondas para futuros estudios sedimentológicos. Además una batimetría general del tramo y, en detalle de las tres secciones transversales, que se ubicaron como se muestra en la Figura 1. Con el ADCP se aforó un caudal de  $202 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , el cual se corresponde a una frecuencia de 17% según la curva de distribución de caudales para 50 años de registro (SSRH, 2009). La Figura 3 muestra un corte transversal del cauce, donde se puede observar la distribución de las velocidades.

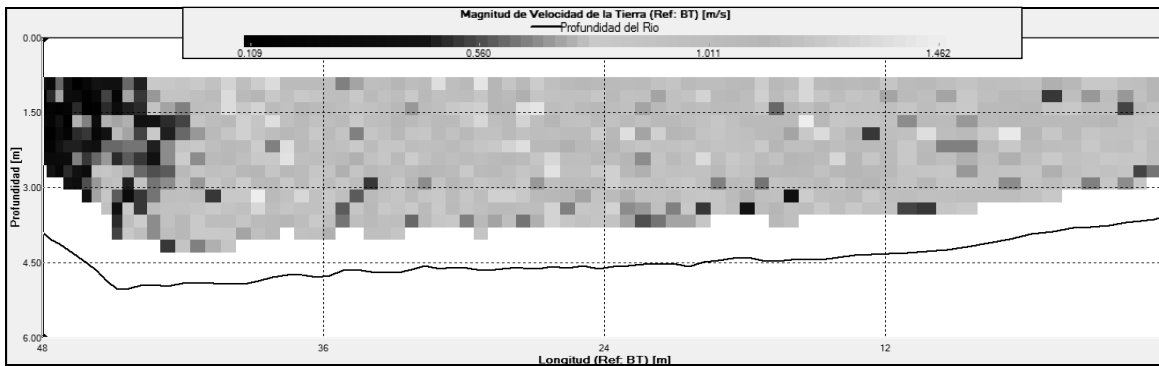


Figura 3. Campo de magnitud de velocidades medido en la Sección N° 2.

Mediante la metodología propuesta se lograron ajustes como los que se observan en la Figura 4.

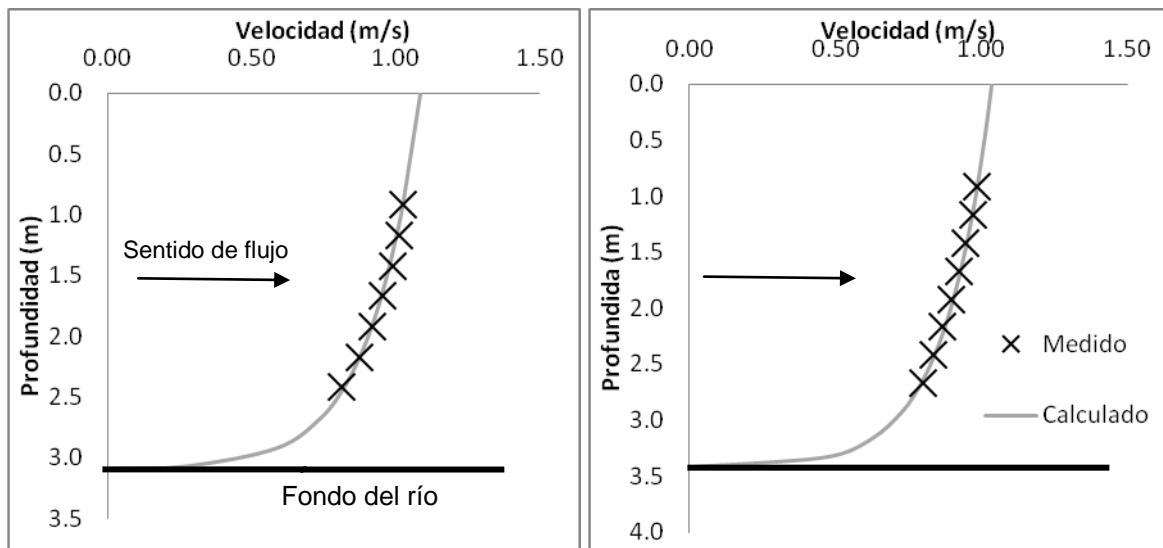


Figura 4. Ajuste de perfiles teóricos en verticales Centro (izquierda) y Margen derecha (derecha), Sección N° 1.

A partir de los perfiles teóricos se obtuvieron los parámetros hidráulicos que se presentan en la Tabla 1, con  $h$  la profundidad en cada vertical.

Tabla 1. Resumen de parámetros hidráulicos.

Sección N°	Vertical	$h(m)$	$u_* (m s^{-1})$	$k_s (m)$	$\tau_o (N m^{-2})$	$\bar{u} (m s^{-1})$
1	MI	2.61	0.064	0.16	4.10	0.88
	C	3.05	0.070	0.19	4.90	0.91
	MD	3.43	0.058	0.06	3.36	0.87
2	MI	4.96	0.074	0.29	5.48	0.84
	C	4.61	0.059	0.08	3.48	0.95
	MD	4.13	0.063	0.18	3.97	0.86
3	MI	3.14	0.068	0.19	4.62	0.88
	C	2.60	0.068	0.13	4.62	0.90
	MD	3.35	0.058	0.10	3.36	0.85

De acuerdo a la metodología de cálculo hidrométrico (Maidment, 1993) se obtuvieron valores de caudal ( $Q$ ) para las diferentes secciones, Tabla 2.

Tabla 2. Caudales obtenidos mediante distintos métodos y errores referidos a la comparación con el aforo utilizando ADCP.

Sección N°	ADCP	Mét. de caudales específicos		Mét. de la sección media		Mét. de la semisección	
	$Q (m^3 s^{-1})$	$Q (m^3 s^{-1})$	Error (%)	$Q (m^3 s^{-1})$	Error (%)	$Q (m^3 s^{-1})$	Error (%)
1	196.1	196.4	0.2	185.7	5.3	203.1	3.6
2	202.3	209.8	3.7	188.5	6.8	203.3	0.5
3	204.1	209.1	2.5	190.3	6.8	202.2	0.9

## CONCLUSIONES

Se observa que tanto el método de la semisección como el método de caudales específicos, hacen una muy buena estimación de los caudales en cada sección, con errores menores al 4 %. El método de la sección media tiende a subestimar los caudales en el orden del 7 %. Por lo que se recomienda usar los métodos de mejor aproximación en el caso de no contar con equipos sofisticados como el perfilador Doppler.

Se logró un ajuste satisfactorio de los perfiles teóricos de velocidad, lo que permitió calcular tensiones de corte en el lecho del orden  $4 N/m^2$ , esto en principio indicaría la existencia de transporte en la condición hidrométrica estudiada. Con los valores de  $k_s$  obtenidos se calculó el coeficiente de rugosidad de Manning según Chow (1959)  $n = \phi (R/k_s) k_s^{1/6}$  obteniéndose  $n=0.028$ , el cual se corresponde satisfactoriamente con los valores de rugosidad propuestos por la bibliografía antecedente (Trento y Alvarez, 2011).

**Agradecimientos:** al Dr. R. Szupiany quien dirigió la campaña del 06/05/2015 y realizó las mediciones con ADCP y GPS.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Chow, V.T.**, 1959. Open-channel Hydraulics. Mc Graw Hill. New York p. 200-203.
- Maidment, David**, 1993. Handbook of Hydrology. Ed. Maidment. McGraw-Hill Inc. p. 8.18-8.19.
- Nardin A., Trento A., Alvarez A.**, 2009. Cálculo de la tasa de sedimentación en el río Salado (Santa fe). Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Resumen extendido p. 49-50.
- SSRH, Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación**, 2009. Estadística hidrológica 2008-2009. 1ª ed. Secretaría de Obras Públicas.
- Trento A. and Alvarez A.**, 2011. A numerical model for the transport of chromium and fine sediments, Environmental Modeling and Assessment, 16, 6, 551-564.