

## CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA Y MORFOLÓGICA EN CONFLUENCIA DE CAUCES DE LA LLANURA ALUVIAL DEL RÍO PARANÁ

Szupiany R.<sup>1</sup>, Herrero H.<sup>2</sup>, García C. M.<sup>2</sup>, Blettler M.<sup>3</sup>, Espinola L.<sup>3</sup>, Amsler M.<sup>3</sup> y Paira A.R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.

<sup>2</sup>Laboratorio de Hidráulica. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad de Córdoba.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Limnología, CONICET-UNL.

E-mail: [rszupiany@yahoo.com.ar](mailto:rszupiany@yahoo.com.ar)

### Introducción

El sistema del río Paraná posee una extensa planicie aluvial drenada por un gran número de cauces menores que se bifurcan y convergen. Estas últimas unidades (confluencias) pueden jugar un importante rol en los cambios geomorfológicos de los cauces a través de erosiones y deposiciones producto de su particular comportamiento hidro-sedimentológico. Este incluye una diversidad de estructuras coherentes del flujo interactuando entre ellas, el cauce del río y el sedimento transportado (Best, 1998 y Szupiany et al., 2009).

Además, la colonización de estos ambientes por parte de la fauna de invertebrados y peces (Drago et al., 2003), los convierte en hábitats ecológicamente relevantes. De hecho, diversos estudios (Amsler et al., 2009 entre otros) han vinculado variaciones hidráulicas y morfológicas del cauce con la distribución de los organismos del fondo.

En cuanto al comportamiento hidráulico, los estudios existentes se han concentrado en la estructura del flujo y la morfología en confluencias de canales de laboratorio, pequeños y grandes cauces naturales y en simulaciones numéricas, todos ellos en material no cohesivo.

Diferentes trabajos (Best, 1998 entre otros) reconocen la existencia de zonas particulares del flujo tales como: a) sitios de estancamiento inmediatamente aguas abajo de la punta de la confluencia, b) una capa de corte y una interfase de mezcla entre la combinación de los dos flujos, c) áreas de separación aguas abajo de la confluencia, y d) corrientes secundarias en la zona de convergencia del flujo. Las mismas están relacionadas con: i) erosión central, ii) escalones en la boca de cada tributario que caen abruptamente en la zona de erosión, iii) depositación de sedimento en la punta de la confluencia, y iv) formación de bancos en la zona de separación del flujo aguas abajo.

Recientemente, Rhoads y Sukhodolov (2008) y Herrero et al. (2010) proponen que para determinadas condiciones de flujo y geométricas, las confluencias pueden ser estudiadas utilizando analogía con una estela somera detrás de un obstáculo produciendo pulsaciones periódicas y afectando aguas arriba a los flujos convergentes.

Dentro de este marco conceptual, el trabajo brinda la caracterización hidrodinámica y morfológica de una confluencia de cauces en la planicie del río Paraná que presenta características complejas en cuanto a su forma en planta (curva y confluencia) y composición del material del lecho. Las mediciones se realizaron como parte de un proyecto que enfoca el problema desde una aproximación eco-hidráulica.

### Sitios de Estudio y Mediciones en Campo

El área estudiada se localiza aguas abajo de la embocadura del río Coronda en la ciudad de Santa Fe. Aquí la llanura presenta un diseño anastomosado, con una densa red de drenaje y alta conectividad. La desactivación de cauces por colmatación y/o avulsión, cambios de forma y profundidad de las lagunas aluviales constituyen procesos

comunes en este tipo de ambientes (Paira y Drago, 2006).

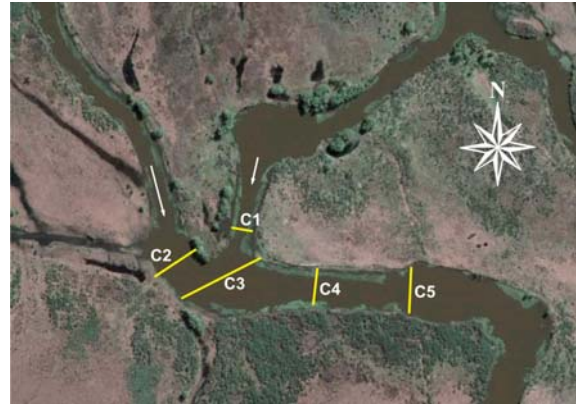


Figura 1.- Localización de la zona de estudio

Las mediciones de campo se realizaron bajo 4 estados hidrométricos distintos: E1, presente el día 09/08/10 (nivel en Puerto Paraná ( $H_{hid}$ ) de 2.96 m); E2, el 10/12/10 ( $H_{hid}$  = 2.14 m); E3, el 24/03/11 ( $H_{hid}$  = 4.13 m) y E4, el 28/04/11 ( $H_{hid}$  = 4.79 m). Consistieron en relevamientos batimétricos y estructura del flujo en 5 secciones a lo largo de la confluencia y en sus cauces (Figura 1) según metodología propuesta por Szupiany et al. (2009). Se utilizó un perfilador acústico Doppler (Teledyne RDI de 1200 kHz) acoplado a un sistema de posicionamiento global en forma diferencial (DGPS).

### Resultados

Dado el volumen de información, solo se presentan aquí resultados preliminares de las campañas de extremos hidrológicos medidos (i.e. E2 y E4). En Tabla 1 se presentan las principales características hidráulicas y la relación de momento entre los cauces convergentes.

Tabla 1.- Características hidráulicas

Sección	Caudal [ $m^3 s^{-1}$ ]	Velocidad media [ $m s^{-1}$ ]	Momento $M = Q \cdot V$
<b>Campaña 1 - <math>H_{hid} = 2.14</math> m</b>			
1	24	0.13	3.1
2	38	0.10	3.8
<b>Campaña 2 - <math>H_{hid} = 4.79</math> m</b>			
1	188	0.43	81
2	166	0.30	50

La morfología del cauce (Figura 2), revela la presencia de 3 pozos con dimensiones en profundidad y en planta similares, siendo el pozo central el de la actual confluencia. Los otros dos, que se ubican aguas arriba en brazo derecho y aguas abajo de la confluencia, fueron producidos por confluencias de cauces desactivados al momento de las mediciones (Figura 1).

La Figura 3 muestra el comportamiento de la estructura del flujo (velocidades primarias,  $v_p$ , y secundarias,  $v_s$ ) para ambos estados hidrométricos (E2 y E4) sobre la sección transversal C3 ubicada inmediatamente aguas abajo de la confluencia (Ver Figura 1). Las mismas fueron calculadas por el método de Rozovskii (ver metodología y

justificación en Szupiany et al. 2009).

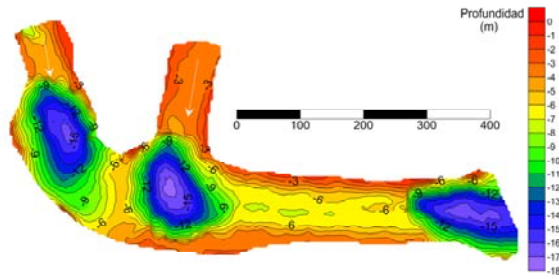


Figura 2.- Características morfológicas del tramo en estudio.

Se aprecia la variación en las intensidades máximas de  $v_p$ , en el orden de  $0.4 \text{ m s}^{-1}$  (E2) y  $1.0 \text{ m s}^{-1}$  (E4) y de  $v_s$  de  $0.43 \text{ m s}^{-1}$  (E2) y  $0.86 \text{ m s}^{-1}$  (E4). Notar que las magnitudes, o bien las relaciones  $v_p/v_s$ , son mucho mayores que para confluencias producidas sobre el cauce principal del río Paraná (Szupiany et al., 2009).

Nótese además que existe una sola celda de circulación secundaria en lugar de las dos típicas de las confluencias. Ello podría deberse a la presencia de la curva en el área misma de la confluencia lo cual originaría una interacción entre los flujos propios de ambas morfologías.

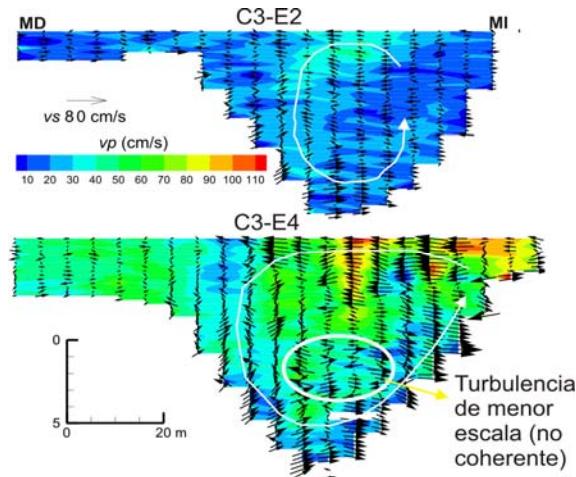


Figura 3.- Estructura del flujo en sección C3 para E2 y E4.

Las Figuras 4a y 4b muestran el efecto de la presencia de pozos sobre el escurrimiento medio para la situación hidrológica E4. Aceleraciones del flujo se producen aguas arriba y entre los pozos, coincidentes a zonas de menor profundidad y con material cohesivo en el cauce (obtenido de muestras in situ), mientras que sobre los pozos se genera una desaceleración del flujo.

Se advierte además que la presencia de los pozos generan zonas de mayor inestabilidad del flujo, tal es así que los vectores de velocidad, los cuales se aproximan con direcciones dominantes hacia los pozos, presentan un movimiento más aleatorio sobre los mismos (Figura 4b).

## Conclusiones

El presente trabajo brinda una primera caracterización morfológica e hidrodinámica para diferentes estados hidrométricos de una confluencia de cauces en la llanura aluvial del río Paraná. La misma posee una morfología compleja (confluencia con presencia de curva y pozos de pasadas confluencias producto de sucesivas aperturas y cierres de sus cauces) y una alternancia en la composición del material del lecho (cohesivo y no cohesivo).

Esta compleja morfología, genera configuraciones del flujo atípicas en estas unidades (e.g. desaceleración e inestabilidad del flujo en pozos, ausencia de zona de separación y solo una celda de circulación secundaria) diferenciándose de las típicas confluencias estudiadas hasta el momento.

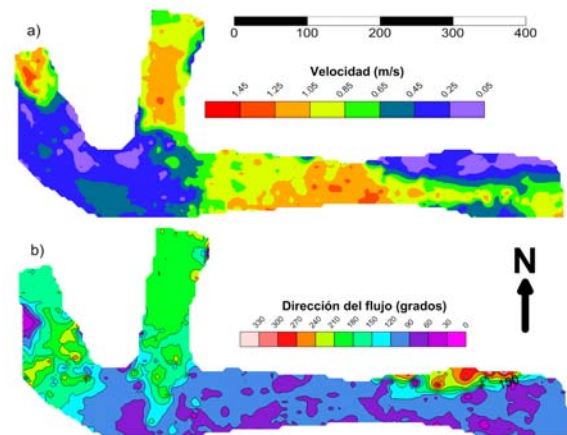


Figura 4.- a) velocidad del flujo, b) dirección del flujo medio en la vertical (en grados respecto al norte geográfico).

Cabe mencionar que las características del material del fondo (i.e. ausencia de transporte de sedimento por fondo) y un alto nivel de turbulencia presente en los pozos, impiden depositaciones de material en el mismo, por lo que, una vez generados, permanecen en el tiempo aún cuando uno de los cauces formadores quede desactivado.

## Referencias

- Amsler, M., Blettler, M., Ezcurra de Drago, I., (2009). "Influence of hydraulic conditions over dunes on the distribution of the benthic macroinvertebrates in a large sand bed river". *Water Resources Research*, doi: 10.1029/2008WR007537.
- Best, J.L. (1988). "Sediment transport and bed morphology at river channel confluences". *Sedimentology*, 35, pp. 481-498.
- Drago, E.C.; Ezcurra de Drago, I.; Oliveros, O.; y Paira, A.R. (2003). "Aquatic habitats, fish and invertebrate assemblages of the middle Paraná river". *Amazoniana*, 17, pp. 291-341.
- Herrero H., García C. M., Niño Y. y Gizzi L. (2010). "Inestabilidades de aguas someras en confluencias" XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay.
- Paira A.R., Drago E.C. (2007). "Origin, Evolution and Types of Floodplain Water Bodies". In: Iriondo MH, Paggi JC, Parma MJ (eds) *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer Verlag Berlin Heidelberg. 382pp.
- Rhoads B. y Sukhodolov A. (2008). "Lateral momentum flux and the spatial evolution of flow within a confluence mixing interface", *Water Resources Research*, vol.44, w08440, doi:10.1029/2007wr006634.
- Szupiany R. N., Amsler M. L., Parsons D. R. y Best J. L. (2009). "Morphology, flow structure, and suspended bed sediment transport at two large braid-bar confluences". *Water Resources Research*, VOL. 45, W05415, doi:10.1029/2008WR007428, 2009.