

## CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA CONFLUENCIA DE LOS RÍOS TERCERO (CTALAMOCHITA) Y SALADILLO

Horacio Herrero<sup>1</sup>, Carlos M. García<sup>1</sup>, I. Matías Ragessi<sup>1</sup>, Ricardo Szupiany<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina, email: [hsherrero@yahoo.com.ar](mailto:hsherrero@yahoo.com.ar)

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Centro Internacional de Estudios de Grandes

Ríos (CIEGRI). Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria, C.C. 217, Ruta Nacional N° 168

– Km. 472 (3000) Santa Fe, Argentina.

### Introducción

En los últimos tiempos ha crecido el interés científico en relación a estudios de la hidrodinámica de confluencias fluviales, ya que las características del flujo turbulento en este tipo de ambientes juegan un rol fundamental en procesos morfológicos (erosión y sedimentación), como así también en patrones de mezcla y transporte de contaminantes. Debido a la complejidad del flujo turbulento en confluencias, su caracterización requiere que para su estudio simplificado se utilicen analogías con flujos típicos analizados en detalle en la Mecánica de los Fluidos, como por ejemplo la analogía asociada a una capa de corte turbulenta y la analogía asociada a estelas turbulentas someras detrás de un obstáculo (Rhoads y Sukhodolov, 2008). En general, las evaluaciones del tipo de analogía más conveniente se han realizado en estudios involucrando modelación física o numérica. En cuanto a los estudios experimentales in situ en confluencias naturales, el estado del arte alcanza una caracterización basada en patrones del flujo medio, definiendo diferentes zonas tales como zona de estancamiento, de aceleración del flujo, de separación, etc (Best, 1986). En la actualidad, mediante el empleo de modernas técnicas de medición de velocidad del flujo, como por ejemplo los Perfiladores de Corriente Acústicos Doppler (ADCP, Oberg 2007) que muestrean el flujo y la batimetría con una alta resolución espacial y temporal, es posible realizar una caracterización completa de la hidrodinámica del flujo en una confluencia fluvial, no sólo a través de la definición de los patrones medios de flujo sino también de la definición de parámetros turbulentos.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo es caracterizar experimentalmente in situ, para una condición hidrológica, el flujo en una confluencia fluvial utilizando un ADCP, adoptando diferentes metodologías de medición. Los objetivos específicos del estudio experimental son: 1) Cuantificar los caudales de aporte de cada uno de los tributarios como así también los principales parámetros hidráulicos en la aproximación a la confluencia; 2) Determinación experimental de la batimetría en la zona de estudio; 3) Determinación experimental del campo de flujo medio; y 4) Estudio de la evolución temporal del flujo en la zona de estancamiento.

### Localización, Materiales y Métodos

El lugar de trabajo se localiza a 10 km al este de la localidad de Monte Buey, al sur-este de la provincia de Córdoba, Argentina, en la confluencia de los ríos Tercero y Saladillo, que forman el Río Carcarañá. En esta zona ambos ríos son de baja pendiente, presentando características de ríos de llanura.

La campana de medición se realizó el día 17 de diciembre de 2012. El instrumento empleado para la caracterización del flujo es un Perfilador Acústico Doppler (ADCP) modelo River Surveyour S5 fabricado por Sontek/YSI, el cual fue instalado en un barrenador. Para cumplir con el primer objetivo específico, se realizaron con el barrenador cuatro cruces (o transectas) en las dos secciones ubicadas aguas arriba de la confluencia (líneas continuas mostradas en Figura 1). Luego, los parámetros hidráulicos de cada sección (caudal, área, velocidad media en la sección, etc) se calcula como el promedio de los valores obtenidos en las cuatro transectas. Para cumplimentar con los objetivos específicos 2) y 3) se realizó un “cocido” que abarcó gran parte del área de interés, incluyendo las zonas aguas arriba y aguas abajo de la confluencia (línea de trazo mostrada en la Figura 1). Luego, los valores de profundidad y de velocidad media del flujo medidos durante el “cocido”, son interpolados en una grilla que abarca la zona de estudio. Para cumplimentar con el objetivo 4) se realizó una medición estacionaria con el instrumento fijo en el punto mostrado en la Figura 1 durante un tiempo de 10 minutos.

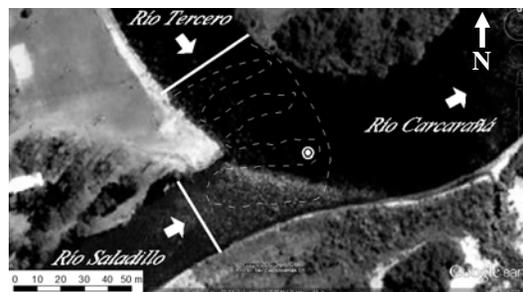


Figura 1.- Secciones y puntos de medición en la zona de estudio.

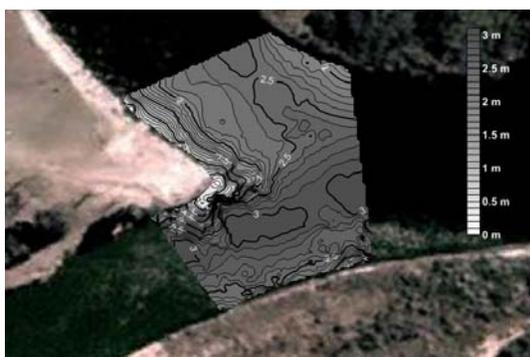
### Resultados

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en relación al primer objetivo específico para la condición hidrológica evaluada. Hay una marcada relación de momentos entre los tributarios, siendo el dominante el Río Saladillo, ya que duplica el caudal y velocidad del Río Tercero, siendo las áreas similares en ambos casos, ya que el río Saladillo es un poco más profundo, pero menos ancho que el río Tercero.

En la Figura 2 se muestra la batimetría de la zona de estudio obtenida a partir de la interpolación de datos de profundidad del flujo medidos en el cocido y en las transectas. La batimetría muestra que para ambos ríos el fondo es prácticamente uniforme, y no presenta irregularidades en su morfología. Aguas arriba de la confluencia las profundidades medias del Río Tercero es de 2.1 m, mientras que la del Río Saladillo es de 2.6 m. Aguas abajo de la confluencia la profundidad media es de 2.5 m.

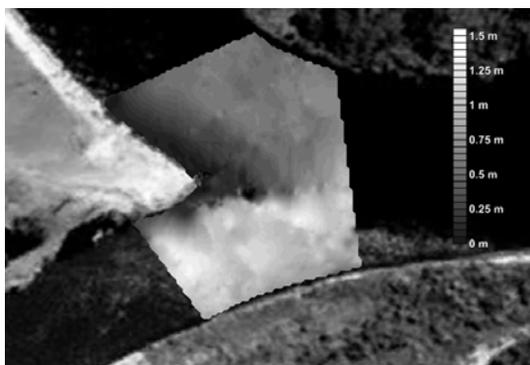
**Tabla 1:** Característica geométricas de la confluencia, caudales de aporte y parámetros hidráulicos de cada tributario

| Parámetro  | Unidad                | Tercero             | Saladillo           |
|--|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Caudal (Q)   | [m <sup>3</sup> /seg] | 43.7                | 90.6                |
| Ancho (B)  | [m]                   | 44.2                | 34.9                |
| Área (A)   | [m <sup>2</sup> ]     | 90.8                | 89.4                |
| Prof. media (H=A/B))                                 | [m]                   | 2.1                 | 2.6                 |
| Velocidad media (U)                                  | [m/s]                 | 0.48                | 1.01                |
| Re = U.H/v   | Adim                  | 1.0x10 <sup>6</sup> | 2.6x10 <sup>6</sup> |
| Fr = U/(g.H) <sup>0.5</sup>                          | Adim                  | 0.11                | 0.20                |
| Ángulo de la confluencia                             | [grados]              |                     | 70                  |
| Velocidad media de los tributarios (U <sub>m</sub> ) | [m/s]                 |                     | 0.75                |
| Dimensión del obstáculo (L)                          | [m]                   |                     | 16                  |
| Relación de momentos                                 | Adim                  |                     | 4.4                 |



**Figura 2:** Batimetría de la zona de estudio.

En la Figura 3 se muestra el campo de velocidades medias en la vertical de la zona en estudio, siendo las mayores velocidades (colores más claros) las del Río Saladillo, con velocidades máximas de 1.5 m/s aproximadamente, mientras que para Río Tercero no alcanzan 1 m/s. Además se observa la zona de estancamiento, (colores oscuros alrededor del vértice de la confluencia) donde las velocidades son cercanas a cero.



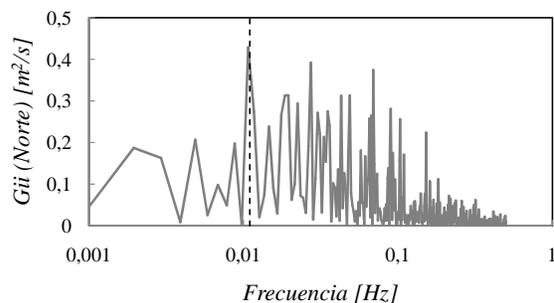
**Figura 3:** Campo de velocidades medias en la vertical de la zona de estudio.

En la Figura 4 se muestra el espectro de energía de la señal de velocidad en la dirección norte medida en forma estacionaria durante 10 minutos en la zona de estancamiento. En el espectro se puede apreciar que existe una periodicidad la cual

es de aproximadamente 90 segundos (0.011 Hz). Utilizando la analogía asociada a estelas turbulentas someras detrás de un obstáculo (Rhoads y Sukhodolov, 2008) se puede estimar un número de Strouhal, definido como:

$$S_t = \frac{L}{U_m T} \quad [1]$$

siendo  $L$  la dimensión característica de la confluencia (u obstáculo en la analogía),  $U_m$  la velocidad media de aproximación, y  $T$  el período de las fluctuaciones de velocidad. Utilizando los valores de los mencionados parámetros que se incluyen en la Tabla 1,  $S_t$  es igual a 0.24.



**Figura 4:** Espectro de energía de la señal de velocidad del flujo en la zona de estancamiento.

## Conclusiones

En este trabajo se realizó una caracterización experimental de la hidrodinámica de una confluencia natural a partir de mediciones in-situ con un Perfilador Acústico Doppler. Se determinaron los parámetros hidráulicos aguas arriba de la confluencia, siendo para la condición hidrológica analizada el Río Saladillo el tributario dominante, con una relación de momentos mayor a 4 con respecto al Río Tercero. La batimetría obtenida muestra que no se presentan irregularidades significativas, ya que el fondo en general es uniforme. Se observó una periodicidad de las señales de velocidad en la zona de estancamiento de aproximadamente 90 segundos que indicaría que es aplicable la analogía asociada a estelas turbulentas someras detrás de un obstáculo.

## Agradecimientos

A la Sociedad de Bomberos Voluntarios de Monte Buey, Córdoba (Regional 8) y al encargado del Balneario La Boca, Monte Buey, Córdoba por su invaluable apoyo logístico.

## Referencias

- Best, J. L. (1986).** The morphology of river channel confluences. *Progress in Physical Geography, Vol. 10, pp. 157-174.*
- Oberg, K., and D. Mueller (2007).** "Validation of Streamflow Measurements Made with Acoustic Doppler Current Profilers". *Journal of Hydraulic Engineering, 133(12):1421 – 1432.*
- Rhoads, B. L. 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.*