

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

Horacio Herrero¹, Carlos M. García¹, I. Matías Ragessi¹, Ricardo Szupiany²

¹ 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

² 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

Las confluencias están presentes en toda red de escurrimiento superficial de cuencas hidrográficas, y son puntos en los cuales se producen cambios significantes en la hidrodinámica aguas abajo del punto de encuentro, tanto en aspectos morfológicos como en los patrones de mezcla del flujo. El estudio de las confluencias incluye gran cantidad de simulaciones numéricas (Kirkil y Constantinescu, 2009; Miyawaki et. al, 2009) y estudio a escala de laboratorio (Biron et. al, 1996; Herrero et.al, 2010). Con respeto a estudios en campo, el estado del arte ha llegado a caracterizar la hidrodinámica en confluencias fluviales a través de valores medios, pero no se ha alcanzado a realizar un análisis de la evolución temporal y espacial de estructuras turbulentas presentes en la zona de mezcla. En la actualidad, la disponibilidad de modernas técnicas de medición con una elevada resolución espacial y temporal, permiten lograr una adecuada caracterización de la hidrodinámica en confluencias fluviales, no sólo de las variables medias sino también poder caracterizar escalas espaciales y temporales de estructuras turbulentas. La confluencia de los ríos Ctalamochita y Saladillo que da origen al río Carcarañá, es un punto de interés ya que las cuencas de los tributarios poseen características muy diferentes. El río Ctalamochita se encuentra regulado por reservorios en su cuenca alta donde el principal uso es el aprovechamiento hidroeléctrico, y luego en su cuenca media las principales actividades son la industrial y la agropecuaria. El río Saladillo recibe las aguas del río Chocancharava, luego de que éste último atravesase una serie de bañados. En la cuenca no existen obras de control, y la principal actividad es la agrícola-ganadera. Además 40 km aguas abajo de la confluencia el río Carcarañá ingresa a la provincia de Santa Fe, cuyo tramo dentro de esta provincia fue declarado área natural protegida, razón por la cual también se justifica su estudio. En el presente trabajo se presenta una caracterización experimental en in-situ de la hidrodinámica del flujo en la confluencia de los ríos Ctalamochita y Saladillo, mediante el uso de modernas técnicas de visualización y medición de velocidad del flujo para distintas condiciones hidrológicas.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es caracterizar experimentalmente in situ, para dos condiciones hidrológicas, el flujo en la confluencia de los ríos Ctalamochita y Saladillo, utilizando técnicas de visualización y de medición de velocidades. Los objetivos específicos del estudio experimental son: 1) Visualización del flujo en la zona de estancamiento; 2) Cuantificar los caudales de aporte de cada uno de los tributarios como así también los principales parámetros hidráulicos en la aproximación a la confluencia; 3) Determinación experimental de la batimetría en la zona de

estudio; 5) Determinación experimental del campo de flujo medio; y 5) 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 Ctalamochita y Saladillo, que forman el Río Carcarañá. En esta zona ambos ríos son de baja pendiente, presentando características de ríos de llanura. Las campañas de medición se realizaron los días el día 17 de diciembre de 2012 y 14 de mayo de 2013. Para la visualización del flujo se empleó como trazador fluoresceína, y para la medición del El instrumento empleado para la caracterización del flujo es un Perfilador Acústico Doppler (ADCP) modelo River Surveyour S5 fabricado por Sontek/YSI. Para cumplir con el primer objetivo específico, se utilizó fluoresceína como trazador, en primer lugar se visualizó un tributario, y luego se visualizó el otro tributario. Se grabaron videos con una cámara digital convencional. Para cumplimentar con el objetivo 2) se realizaron con el ADCP 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 3) y 4) se realizó una medición continua de profundidades y velocidades con ADCP a lo largo de una trayectoria zigzagueante 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 medidos de profundidad y de velocidad media del flujo, fueron interpolados en una grilla que abarcó la zona de estudio. Además se implementó la técnica de velocimetría por seguimiento de partículas (PTV) para obtener campos de velocidad en la zona de estancamiento. Finalmente, para cumplimentar con el objetivo 5) 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 Figura 2 se observa, mediante la ayuda del trazador, la dimensión de la zona de estancamiento.

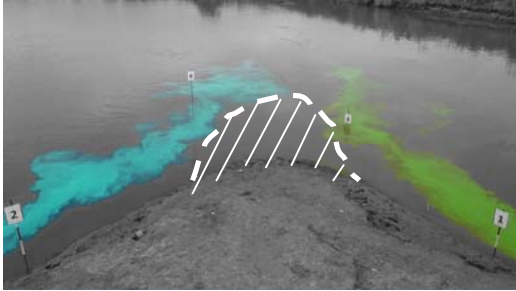


Figura 2: Visualización de la zona de estancamiento (Campaña 2).

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en relación al primer objetivo específico para las condiciones hidrológicas evaluadas. Se observa la marcada diferencia entre las dos condiciones, ya que no solo cambian las relaciones de momentos, sino que cambia el tributario dominante entre una condición y la otra.

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

Parámetro	Unidad	Campaña 1	Campaña 2
Caudal Ctalamochita (Q_C)	[m ³ /seg]	43.7	26.9
Caudal Saladillo (Q_S)	[m ³ /seg]	90.6	17.7
Prof. media Ctalamochita (H_C)	[m]	2.1	1.2
Prof. media Saladillo (H_S)	[m]	2.6	1.6
V media Ctalamochita (U_C)	[m/s]	0.48	0.57
V media Saladillo (U_S)	[m/s]	1.01	0.34
Relación de momentos	Adim	4.4	2.5
Ángulo de la confluencia	[grados]	70	

En la Figura 3 se muestra la batimetría de la zona de estudio obtenida en la primera campaña, a partir de la interpolación de datos de profundidad del flujo medidos. La batimetría muestra que para ambos ríos el fondo es prácticamente uniforme, y no presenta irregularidades en su morfología.

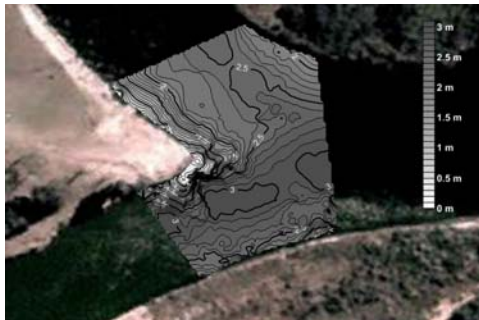


Figura 3: Batimetría de la zona de estudio medida con ADCP.

En la Figura 4 se muestra las trayectorias de partículas sembradas en el flujo aguas arriba de la confluencia, y se aprecia no sólo la presencia de la capa de corte, sino también una intrusión del flujo proveniente del río Ctalamochita (izquierda) en el río Saladillo (derecha).

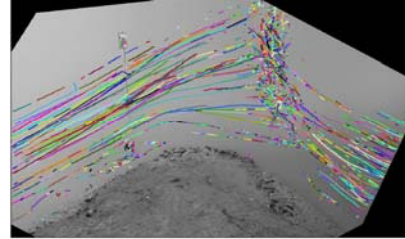


Figura 4: Trayectoria de las partículas detectadas con la técnica PTV (Campaña 2).

En 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 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.

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.

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.