



INESTABILIDADES DE AGUAS SOMERAS EN CONFLUENCIAS FLUVIALES

Herrero H.¹, García C. M.¹, Szupiany R.², Blettler M.³, Espinola L.³ y Amsler M.³

¹ Laboratorio de Hidráulica. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad de Córdoba

² Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral

³ Instituto Nacional de Limnología, CONICET-UNL

E-mail: hsherrero@yahoo.com.ar

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de una caracterización experimental que describe los procesos turbulentos presentes en la zona hidrodinámica más activa de una confluencia fluvial y en la región localizada aguas arriba de la misma, para distintos estados hidrodinámicos. La zona de estudio se encuentra en el Arroyo Catarata en la llanura aluvial del río Paraná al sur de la ciudad de Santa Fe. La caracterización experimental del flujo se basa en valores medios de velocidad del flujo, parámetros turbulentos, y análisis espectral de las señales registradas. Para la medición de la velocidad del flujo, caudales y relevamiento batimétrico del tramo de estudio, se utilizó un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP), que consiste en una moderna técnica de medición que brinda una alta resolución espacial y temporal. Los resultados muestran la presencia de fluctuaciones temporales en las señales de la velocidad del flujo, con valores mínimos cercanos a cero. Mediante el cálculo de la función de autocorrelación normalizada de las señales registradas de velocidad se observa una periodicidad de las fluctuaciones, y mediante el análisis espectral se pudo identificar el período característico. Estos resultados proveen información para la comprensión de la hidrodinámica en confluencias, y de esa forma poder planificar correctamente la estrategia de medición de caudales en sistemas fluviales.

ABSTRACT

This work presents the results of an experimental study that describes the turbulent processes in the hydrodynamic confluence zone and in the zone located upstream of a stream confluence, for different flow conditions. The location of the study area is located on Catarata stream in the floodplain of the Parana River, south of Santa Fe city. Flow characterization is based on average values of flow velocity, turbulence parameters, and spectral analysis of time series. An acoustic Doppler current profiler (ADCP) was used to measure flow velocity, discharge and bathymetric survey of the study reach. ADCP consists on a modern measurement technique that provides high spatial and temporal resolution. The results show the presence of temporal fluctuations of flow velocity, with minimum velocity values close to zero. Normalized autocorrelation function of the recorded signals shows a periodicity of fluctuations, and trough spectral analysis, the characteristic period was identified. These results provide information for understanding the hydrodynamics at stream confluences, and thus able to define optimums flow measurement strategy in this fluvial systems.

INTRODUCCIÓN

Las confluencias en sistemas fluviales han sido estudiadas en analogía a distintos procesos turbulentos muy conocidos en mecánica de los fluidos: la forma más tradicional ha sido con una capa de corte somera y lo menos habitual ha sido con una estela somera detrás de un obstáculo.

El primer caso estudia la interfase de mezcla de la confluencia en forma análoga a capas de mezcla someras que se desarrollan entre dos flujos paralelos aguas abajo de una placa divisora, en la cual la transferencia lateral de momento es despreciable.

Según la segunda analogía, la convergencia de dos flujos en una confluencia provoca una sustancial transferencia lateral de cantidad de movimiento, y la geometría de la confluencia, induce a la analogía de una estela somera. Esta última se origina a partir de un déficit de velocidad provocado por la presencia de un obstáculo de dimensión D en la trayectoria del flujo.

Rhoads y Sukhodolov (2008) analizaron en detalle la evolución espacial de la estructura del flujo en la zona de estancamiento y en la interfase de mezcla en confluencias, haciendo hincapié en la influencia de los términos correspondientes al momento lateral del flujo (no tenidos en cuenta para la analogía de flujos paralelos). Sin embargo, el análisis está basado en parámetros medios del flujo y no se evaluaron las evoluciones temporales de esos parámetros, ya que para este último análisis se requiere mediciones estacionarias de larga duración.

Herrero et. al, (2010) caracterizaron experimentalmente, a partir de mediciones estacionarias de velocidad del flujo, la variación temporal del flujo focalizándose en la presencia de inestabilidades de aguas someras en confluencias de dos corrientes, en una instalación experimental de laboratorio que reproduce la región de la confluencia de dos flujos. Además los autores mencionados exploraron los efectos que tienen estos procesos en la evolución temporal del flujo en la región localizada inmediatamente aguas arriba de la confluencia.

No existe evidencia en publicaciones científicas del estudio experimental en campo de la evolución temporal del flujo en confluencias fluviales, y la posibilidad que afecte la región aguas arriba. Este tipo de estudios requiere mediciones estacionarias de la velocidad del flujo, ya que los tiempos de medición deben ser suficientemente largos como para poder abarcar todas las escalas temporales de las fluctuaciones a analizar.

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es determinar, a partir de mediciones de velocidad del flujo en campo, la existencia de inestabilidades del flujo en una confluencia de cauces naturales, determinando su evolución espacial y temporal, y los efectos que estos procesos producen en la zona aguas arriba de la confluencia.

ZONA DE ESTUDIO

La localización de la zona de estudio se encuentra en el Arroyo Catarata en la llanura aluvial del río Paraná al sur de la ciudad de Santa Fe. Una de las principales características que posee esta zona del Paraná Medio es su estructura anastomosada, debido a la alta carga de sedimentos presentes en el flujo que se depositan a lo largo de las llanuras de inundación formando islas, barras, canales secundarios, lagunas someras y pantanos (Iriondo et. al, 2007). En este trabajo se caracteriza experimentalmente el flujo en una confluencia de este sistema (Figura 1).

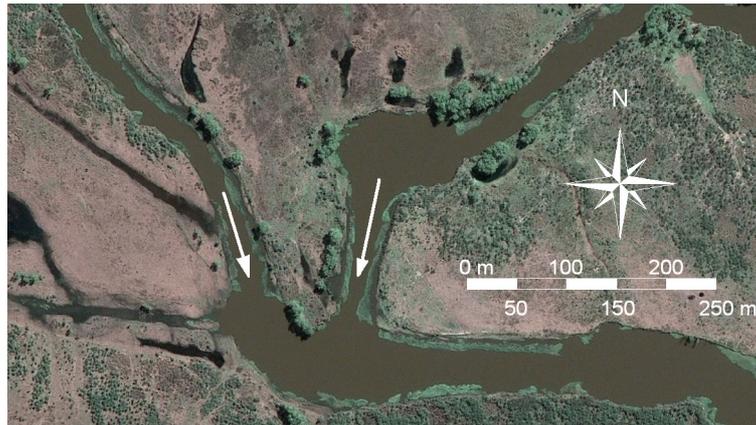


Figura 1.- Zona de estudio

CONDICIONES EXPERIMENTALES Y METODOLOGÍA

Las mediciones de campo se realizaron en 4 campañas de mediciones para 4 estados hidrométricos distintos. Se midieron las tres componentes del vector velocidad del flujo, y se relevó la morfología del fondo con un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) Teledyne RDI® de 1200 kHz acoplado con un sistema de posicionamiento global en forma diferencial (DGPS) con precisiones en la ubicación horizontal de ± 0.2 m a una frecuencia de aproximadamente 1 Hz, instalados sobre una embarcación adaptada para tales fines. El sistema DGPS está referenciado a una estación base (sistema RTK) ubicada en la costa. Este instrumento opera bajo los mismos principios de todos los equipos de su tipo comercialmente disponibles, ya descriptos en detalle en una importante cantidad de publicaciones. Para mayor información consultar Gordon (1989), Mueller y Wagner (2009) y Szupiany et al. (2007).

En la Tabla 1 se resumen los niveles del río correspondientes a cada estado hidrométrico (referenciados a la escala existente en Puerto Paraná), como así también los parámetros de configuración del instrumento en cada medición.

Tabla 1.- Condiciones experimentales

	Condición 1	Condición 2	Condición 3	Condición 4
Fecha	09/08/2010	10/12/2010	24/03/2011	28/04/2011
Altura hidrométrica en Puerto Paraná [m]	2.96	2.14	4.13	4.79
Sistema de referencia del instrumento	GPS-GGA	GPS-GGA	GPS-GGA	GPS-GGA
Modo de medición de velocidad de flujo	Modo 1	Modo 1	Modo 1	Modo 1
Tamaño de la celda [cm]	25	25	25	25
Distancia de monitoreo [cm]	25	25	25	25
Frecuencia de muestreo [Hz]	2.2	2.2	1.4	1.7

Metodología utilizada para el relevamiento Batimétrico

Relevamientos batimétricos fueron realizados en el tramo de estudio para todas las condiciones experimentales utilizando el mismo instrumental en transectas perpendiculares espaciadas cada 30 metros aproximadamente. Los datos x , y , y z obtenidos para cada uno de los beam del ADCP, fueron interpolados utilizando el método estándar kriging sobre una grilla regular, con lo cual se obtuvo el mapa batimétrico de la zona de estudio. En la Figura 2 se observa el recorrido realizado por la embarcación durante el relevamiento de la campaña 2.

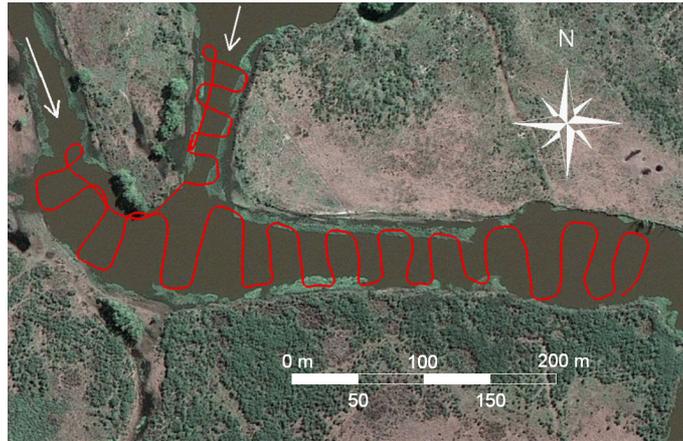


Figura 2: Recorrido de la embarcación para relevamiento batimétrico en la condición 2.

Metodología utilizada para la medición de caudales

En los casos de mediciones de caudales desde plataformas móviles (como por ejemplo botes), la estrategia de muestreo espacial y temporal actualmente recomendada por el USGS para la determinación del caudal medio en ríos y canales consiste en realizar con la embarcación un mínimo de cuatro transectas (cruces) en pares recíprocos, manteniendo la velocidad de la embarcación menor o igual a la velocidad del flujo. El caudal es calculado como el promedio de los caudales medidos en las cuatro transectas.

En las cuatro campañas la estimación de caudales fue realizada mediante mediciones de velocidad del flujo en 5 secciones transversales dispuestas a lo largo de la confluencia: secciones **C1(a)**, **C1(b)** y **C2** aguas arriba, y secciones **C3**, **C4** y **C5** aguas abajo de la confluencia (Figura 3).

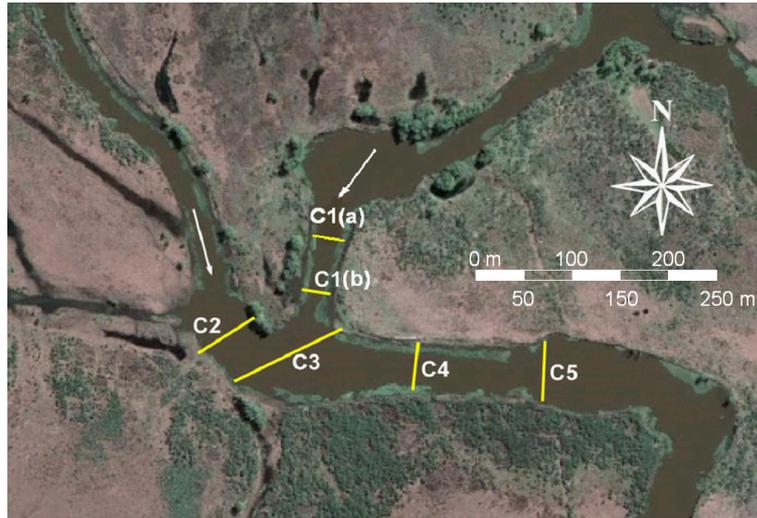


Figura 3.- Tramo de estudio y localización de las secciones transversales para medición de caudales.

Existen tres regiones de la sección transversal del flujo que el instrumento no puede caracterizar cuando se realizan mediciones de caudales con ADCP:

- Región cercana a la superficie libre.
- Región cercana al fondo.
- Región cercana a las márgenes.

Para la región cercana a la superficie libre Simpson y Oltmann (1990) proponen un ajuste a una ley potencial basada en fórmulas de resistencia al flujo de Manning. El ajuste es de la forma

$$\frac{u}{u^*} = 9.5 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/6} \quad [1]$$

Siendo

z = distancia al fondo

u = velocidad a la distancia z desde el fondo

u^* = velocidad de corte

z_0 = altura de rugosidad del fondo

Para la región cercana al fondo se utilizan los datos de velocidad medidos en el 20% inferior de la profundidad para determinar un ajuste potencial forzando a un valor de velocidad del flujo igual a cero en el fondo.

El caudal en la zona de las márgenes se estima a partir del primer (o último) valor medio de la velocidad del flujo medida, que se asume igual al promedio de velocidad del flujo medida durante 10 segundos en forma estacionaria con la embarcación detenida antes de comenzar a moverse. La expresión mediante la cual se estima el caudal en las márgenes es la siguiente:

$$Q_{margin} = 0.3535 \times V_m \times L \times H_m \quad [2]$$

Siendo

V_m = velocidad media del flujo medida en el primer (o último) perfil.
 L = distancia desde la ubicación donde fue medido V_m hasta la margen.
 H_m = profundidad en la ubicación donde fue medido V_m .

El caudal total de la sección será igual a la suma del caudal medido más los caudales estimados en las cuatro regiones donde el instrumento no pudo medir.

Mediciones de velocidad del flujo estacionarias

El objetivo de las mediciones estacionarias fue determinar escalas temporales de las inestabilidades presentes en el flujo. Para realizar estas mediciones fue necesario anclar la embarcación en el sitio elegido para la medición, y registrar una serie temporal de perfiles de velocidad del flujo, pero con la embarcación detenida.

Mediciones de velocidad se realizaron para las condiciones 2, 3 y 4 de manera estática en tres ubicaciones: localizaciones **a** y **b** ubicadas aguas arriba de la confluencia, y localización **c** ubicada en la zona de estancamiento (Figura 4).

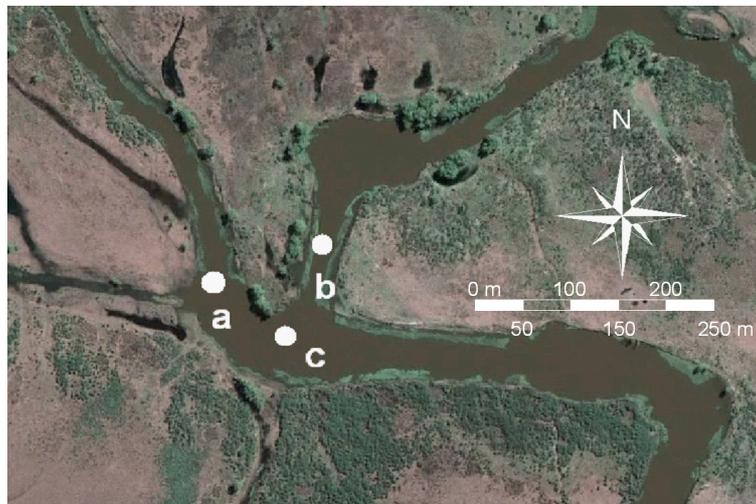


Figura 4.- Localización de mediciones estacionarias.

El tiempo de medición en cada localización fue definido lo suficientemente largo, de forma tal que las estructuras turbulentas puedan ser caracterizadas.

Los tiempos de medición en cada localización para las tres condiciones experimentales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2.- Tiempos de medición en cada localización para las condiciones experimentales 2, 3 y 4.

		Condición 1	Condición 2	Condición 3	Condición 4
Tiempo de muestreo en medición estacionaria [min]	Punto a	-	20	20	20
	Punto b	-	6	22	19
	Punto c	-	23	21	19

A partir del análisis de las mediciones estacionarias realizadas en cada localización, se obtienen series temporales de la velocidad media en la vertical del flujo en la sección, de la cual se obtienen parámetros estadísticos tales como valores medios, máximos, mínimos y

varianza. Además, para determinar escalas temporales de los procesos turbulentos e identificar efectos de periodicidad en las señales de velocidad se calculó la función de autocorrelación normalizada (o coeficiente de autocorrelación). Esta función compara dos valores consecutivos de la fluctuación de la velocidad del flujo, y se normalizó dividiendo el producto de ambas fluctuaciones por la varianza. Por lo tanto el valor de esta función varía en un rango comprendido entre 1 y -1, siendo estos límites los casos de máxima correlación. En caso que no existan fluctuaciones de baja frecuencia (periodos mayores a los tiempos característicos de la turbulencia generada por la fricción del fondo) de la velocidad del flujo, una vez que la función de autocorrelación normalizada cruza el eje de las abscisas (correlación nula), se mantiene constante en ese valor. Si, por el contrario, existen fluctuaciones de baja frecuencia de la velocidad del flujo, la función de autocorrelación normalizada adquiere un comportamiento periódico luego del primer cruce a cero.

Mediante el análisis espectral (que consiste en calcular el espectro de energía de cada señal), es posible identificar el período característico de las fluctuaciones de baja frecuencia de la velocidad del flujo. Dicho período es igual a la inversa de la frecuencia correspondiente al pico del espectro de energía.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados correspondientes al relevamiento batimétrico realizado en el tramo en estudio (ver figura 2), a la medición de caudales en las seis secciones que se muestran en la Figura 3 y a las mediciones estacionarias en los tres puntos que se observan en la Figura 4.

Relevamiento Batimétrico

La morfología del cauce relevada en la campaña 2 se presenta en Figura 4. Se observa la presencia de tres pozos con dimensiones (tanto en profundidad como en planta) similares, siendo el pozo central el correspondiente al producido por la actual confluencia. Los pozos restantes, ubicados aguas arriba sobre brazo derecho y aguas abajo de la confluencia, fueron producidos por confluencias de cauces desactivados al momento de las mediciones. En la Figura 2 se observan los cauces abandonados (o desactivados para los estados hidrométricos relevados) que confluían a los cauces actualmente activos.

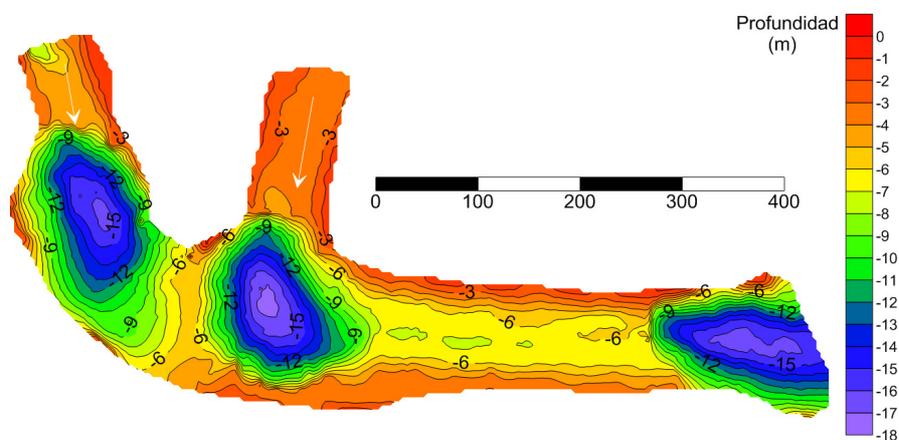


Figura 4.- Características morfológicas del tramo en estudio.

Medición de caudales

En la Tabla 3 se presentan los caudales medidos en las 6 secciones indicadas en la Figura 3 para las cuatro condiciones experimentales.

Tabla 3.- Caudales medidos [en m³/seg] en las 6 secciones para las 4 condiciones experimentales

	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4
Sección 1a		31.0	133.6	153.3
Sección 1b	58.3	30.4	111.2	149.7
Sección 2	77.0	30.1	132.3	161.9
Sección 3	117.8	47.9	298.9	324.5
Sección 4	127.3	66.0	263.5	320.8
Sección 5	113.3	71.4	266.6	323.3

Se puede observar en la Tabla 3 que los caudales medidos en las dos secciones del brazo tributario izquierdo (secciones 1a y 1b) son similares, y a su vez no difieren en gran medida con el caudal medido en la sección 2.

Un parámetro que caracteriza al flujo en una confluencia es la relación de momento de los flujos convergentes, que se obtiene según la siguiente expresión:

$$M_R = \frac{(\rho \times Q \times U)_{MAYOR}}{(\rho \times Q \times U)_{MENOR}} \quad [3]$$

Siendo

ρ = densidad del fluido.

Q = caudal medido en la sección.

U = velocidad media en la sección.

La Tabla 4 se muestran los momentos del flujo en cada sección y las relación de momentos en cada condición..

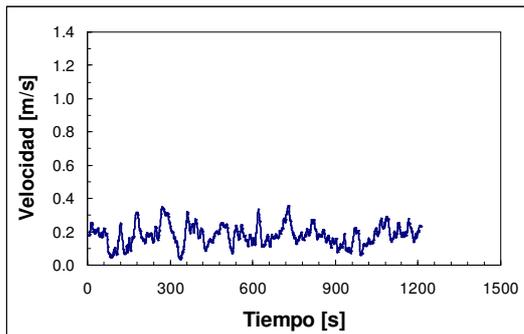
Tabla 4.- Momento en las 6 secciones analizadas, y relación de momento de los tributarios, para las 4 condiciones experimentales.

	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4
Sección 1a		17.2 x10 ³	146.0 x10 ³	151.2 x10 ³
Sección 1b	12.8 x10 ³	3.6 x10 ³	46.1 x10 ³	51.7 x10 ³
Sección 2	18.9 x10 ³	2.4 x10 ³	35.2 x10 ³	48.7 x10 ³
Sección 3	15.7 x10 ³	2.7 x10 ³	80.1 x10 ³	87.3 x10 ³
Sección 4	71.0 x10 ³	23.3 x10 ³	255.3 x10 ³	334.9 x10 ³
Sección 5	17.0 x10 ³	7.3 x10 ³	89.3 x10 ³	127.7 x10 ³
$M_{Ra} = \frac{M_{1a}}{M_2}$	-	7.2	4.1	3.1
$M_{Rb} = \frac{M_{1b}}{M_2}$	1.5	1.5	1.3	1.1

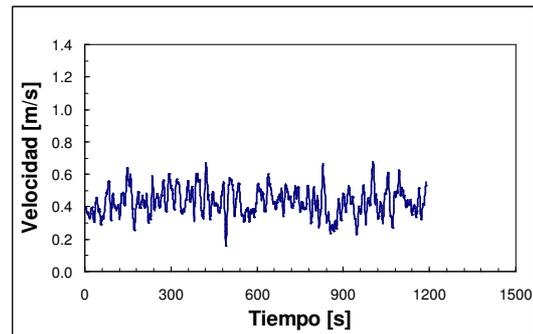
Se puede apreciar en la Tabla 4 que el momento del flujo es mayor en la sección 1(a). Esto se debe a que dicha sección presenta menor sección transversal que la sección 1(b) en la que se observó la presencia de un pozo (ver Figura 4).

Mediciones estacionarias

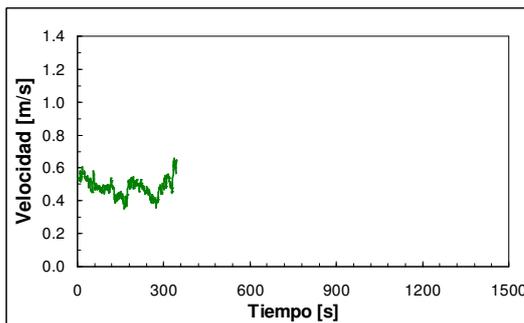
De los resultados obtenidos para las mediciones estacionarias (series temporales de velocidad del flujo, función de autocorrelación normalizada, y espectro de energía de la señal), se muestran a continuación los correspondientes a la campaña 2 (condición de estiaje) y a la campaña 4 (condición de crecida).



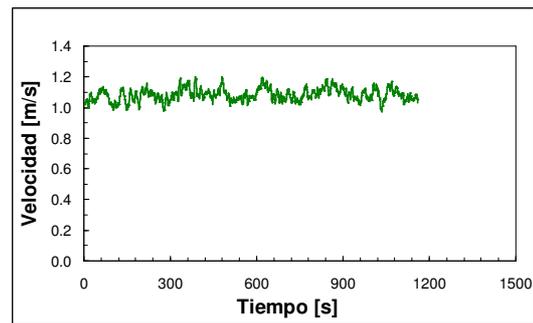
(a)



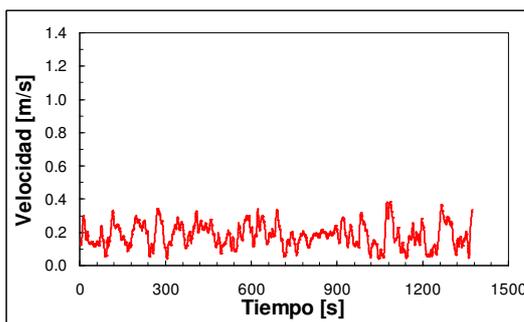
(a)



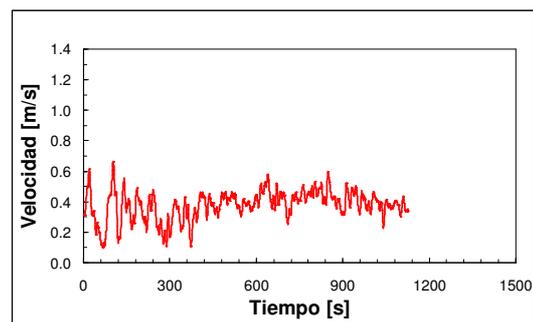
(b)



(b)



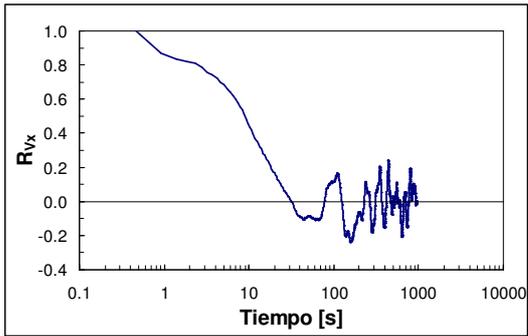
(c)



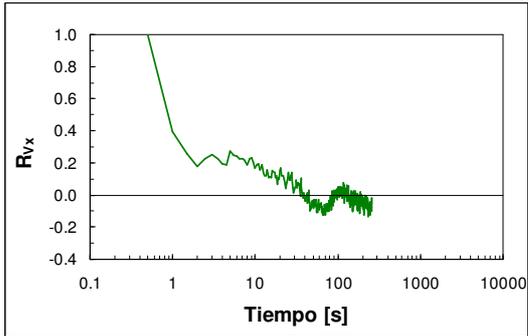
(c)

Figura 5.- Serie temporal de la velocidad del flujo media en la vertical en condición de estiaje. (a) localización “a”; (b) localización “b”; (c) localización “c”.

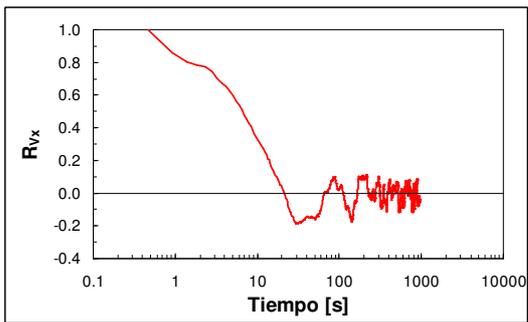
Figura 6.- Serie temporal de la velocidad del flujo media en la vertical en condición de crecida. (a) localización “a”; (b) localización “b”; (c) localización “c”.



(a)

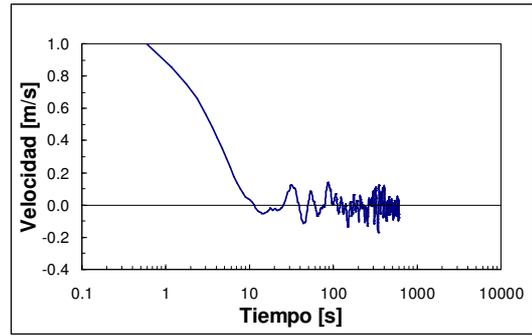


(b)

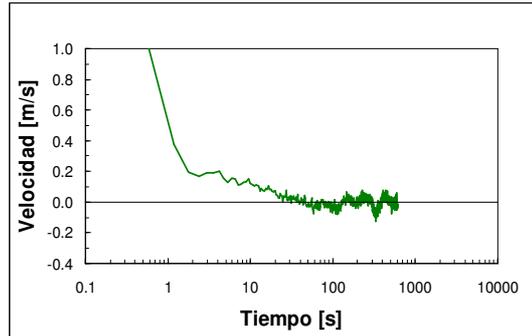


(c)

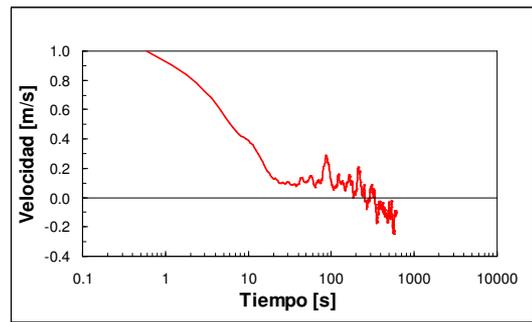
Figura 7.- Función de autocorrelación normalizada de la serie temporal de la velocidad del flujo en condición de estiaje. (a) localización “a”; (b) localización “b”; (c) localización “c”.



(a)

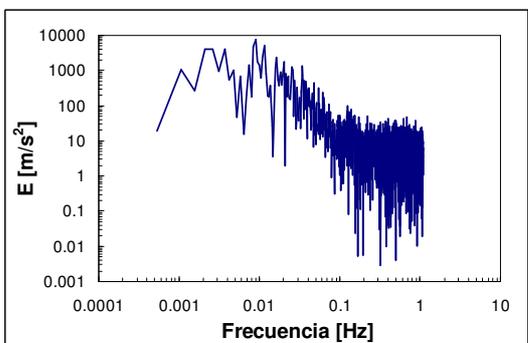


(b)

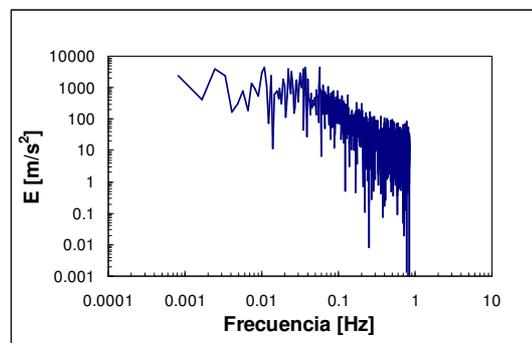


(c)

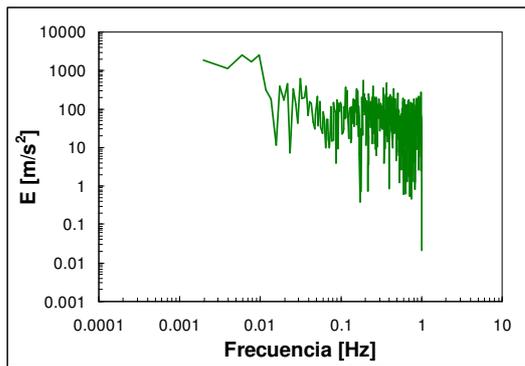
Figura 8.- Función de autocorrelación normalizada de la serie temporal de la velocidad del flujo en condición de crecida. (a) localización “a”; (b) localización “b”; (c) localización “c”.



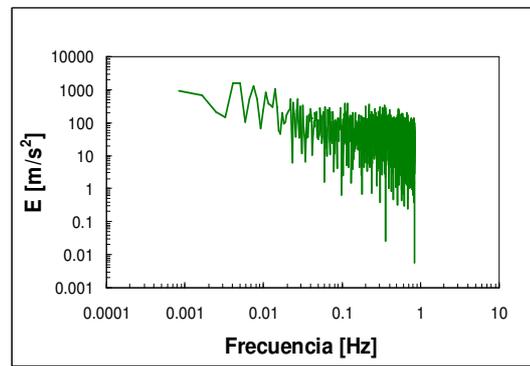
(a)



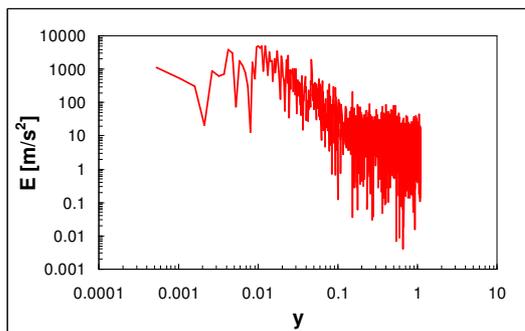
(a)



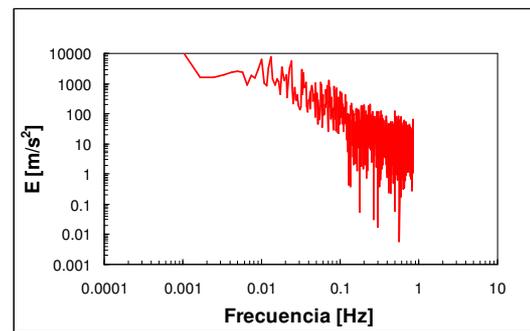
(b)



(b)



(c)



(c)

Figura 9.- Espectro de energía de la serie temporal de la velocidad del flujo en condición de estiaje. (a) localización “a”; (b) localización “b”; (c) localización “c”.

Figura 10.- Espectro de energía de la serie temporal de la velocidad del flujo en condición de crecida. (a) localización “a”; (b) localización “b”; (c) localización “c”.

De las Figuras 5 y 6 se obtuvieron los parámetros estadísticos (media, mínimo, máximo y varianza) de las señales de velocidad del flujo medidas en las tres localizaciones. En la Tabla 5 se muestran dichos resultados.

Tabla 5.- Parámetros estadísticos de las señales de velocidad del flujo medio en la vertical medidas en forma estacionaria.

	Campaña 2 (estiaje)				Campaña 4 (crecida)			
	V mín [m/seg]	V media [m/seg]	V máx [m/seg]	Varianza [m ² /seg ²]	V mín [m/seg]	V media [m/seg]	V máx [m/seg]	Varianza [m ² /seg ²]
Punto a	0.01	0.18	0.41	0.0045	0.05	0.43	0.88	0.0108
Punto b	0.24	0.48	0.96	0.0094	0.84	1.08	1.63	0.0058
Punto c	0.00	0.18	0.46	0.0063	0.00	0.38	0.78	0.0122

Se puede observar que la medición en la localización aguas abajo localización “b” presenta un comportamiento similar a la medición realizada aguas arriba sobre el tributario con menor momento (localización “a” ubicada en el tributario de la derecha). En ambas localizaciones se observa que las velocidades medias y máximas son similares, y la velocidad mínima es cercana o igual a cero. No ocurre lo mismo con el tributario de mayor momento, ya que presenta velocidades del flujo que duplican a las velocidades medidas en las otras dos localizaciones, y se mantiene aproximadamente constante.

Para determinar la periodicidad de las fluctuaciones de velocidad, se analizan las Figuras 7, 8, 9 y 10. Se puede distinguir claramente en las funciones de autocorrelación una periodicidad de

baja frecuencia de los valores de velocidad del flujo para las mediciones que se realizaron en condiciones de estiaje en el tributario de menor momento (Figura 7a) y en la localización aguas abajo (Figura 7c).

El valor de este período se puede obtener de los espectros de energía de dichas señales (Figuras 9a y 9c). El valor del período es igual a la inversa de la frecuencia correspondiente al mayor pico del espectro de energía. En este caso, el período de las fluctuaciones de baja frecuencia fue de 111 seg en el tributario de menor momento aguas arriba, y de 82 seg aguas abajo de la confluencia.

Para la condición de crecida también existen fluctuaciones de velocidad de baja frecuencia en el tributario de menor momento y aguas abajo de la confluencia que se pueden apreciar en las funciones de autocorrelación (Figuras 8a y 8c), aunque no tan evidentes como ocurre en la condición de estiaje. Los períodos de las fluctuaciones de baja frecuencia de la velocidad del flujo para esta condición de crecida que se obtuvieron de los espectros de energía fueron 93 seg para el tributario de menor momento (Figura 10a) y de 76 seg para la localización aguas abajo de la confluencia (Figura 10c).

Para el caso del tributario de mayor momento, tanto en condiciones de estiaje como de crecida, no se distingue periodicidad en las fluctuaciones de velocidad. Las funciones de autocorrelación normalizadas cruzan el valor de cero y se mantienen constante (Figuras 7b y 8b), y en los espectros de energía no se distinguen picos asociados a fluctuaciones de baja frecuencia (Figuras 9b y 10b).

Como consecuencia de las fluctuaciones de baja frecuencia de la velocidad del flujo, se puede observar en la Tabla 6 la diferencia de caudales medidos en cada transecta en la sección 3 ubicada aguas abajo de la confluencia, ya sea en la condición de estiaje (Figura 11a) como en la condición de crecida (Figura 11b).

Tabla 6.- Caudales (en m³/seg) medidos en cada transecta en la sección 3

Transecta	Estiaje	Crecida
1	62.6	242.8
2	24.6	367.8
3	77.2	295.3
4	27.2	392.2

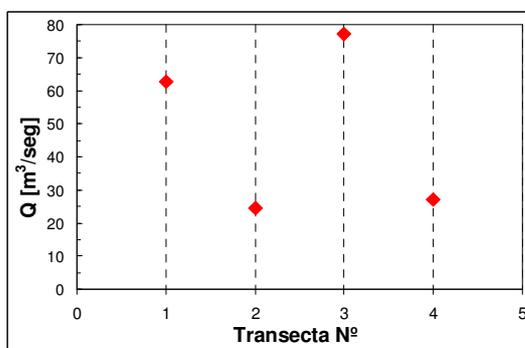


Figura 11a.- Caudales medidos en cada transecta en la sección 3 para la condición de estiaje.

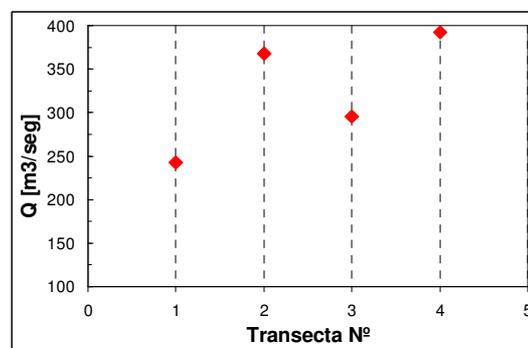


Figura 11b.- Caudales medidos en cada transecta en la sección 3 para la condición de crecida.

Para la condición de estiaje se tiene una diferencia mayor al 150% en la medición de caudales de dos transectas consecutivas. Y para la condición de crecidas los errores entre dos transectas consecutivas superan al 50%.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presentó una caracterización experimental del flujo en una confluencia fluvial, en la que se verificó, a partir de mediciones de velocidad del flujo y posterior análisis de los datos mediante espectros de energía y función de autocorrelación, la existencia de inestabilidades presentes en el flujo en la zona de interfase de mezcla.

La evolución temporal muestra que existe una periodicidad en los valores de velocidad del flujo de aproximadamente 2 minutos.

Además se evaluaron los efectos de remanso aguas arriba de la confluencia, observándose nuevamente una periodicidad similar en la serie temporal de velocidad del flujo sólo en el cauce de menor momento.

En estos ambientes naturales con morfología compleja, es de gran importancia seleccionar correctamente la ubicación de la sección, ya que los errores en el cálculo de los momentos pueden llegar a ser considerables.

***Agradecimientos.** A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba por el financiamiento de una beca para el primer autor para llevar adelante esta investigación, a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, y al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba por facilitar sus instalaciones, instrumentos y recursos humanos.*

LISTA DE SÍMBOLOS

S :	parámetro de estabilidad de la estela.
c_f :	coeficiente que tiene en cuenta el efecto de la fricción del fondo.
D :	dimensión característica del obstáculo de la confluencia.
H :	profundidad del flujo.
M_R :	relación de momento de los flujos convergentes
z :	distancia al fondo
u :	velocidad a la distancia z desde el fondo
u^* :	velocidad de corte
z_0 :	altura de rugosidad del fondo
Q_{margen} :	caudal estimado en la región de las márgenes.
V_m :	velocidad media del flujo medida en el primer (o último) segmento.
L :	distancia desde la ubicación donde fue medido V_m hasta la margen.
H_m :	profundidad en la ubicación donde fue medido V_m .
ρ :	densidad del fluido.
Q :	caudal medido en la sección.
U :	velocidad media en la sección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gordon, R. L. (1989). “Acoustic measurement of river discharge.” *J. Hydr. Engng.*, 115 (7), 925-936.

Herrero H., García C. M., Niño Y. y Gizzi L. (2010). “Inestabilidades de aguas someras en confluencias” *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.

Iriondo, M. H., Paggi, J. C. y Parma, M. J. (2007). *The Middle Paraná River: limnology of a subtropical wetland*, Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

Mueller, D.S., and Wagner, C.R. (2009). *Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 3A–22, 72 p. (available online at <http://pubs.water.usgs.gov/tm3a22>).

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.

Simpson, M.R. y Oltmann, R.N. (1990). “An acoustic Doppler discharge measurement system”. *Proceedings of the 1990 National Conference on Hydraulic Engineering*, vol. 2, pp. 903–908.

Szupiany R.N., Amsler M.L, Best J.L. and Parson D.R. (2007). “A Comparison of Fixed- and Moving-Vessel Measure-ments with an Acoustic Doppler Profiler (ADP) in a Large River”. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133, 12, 1299-1310.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



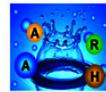
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Invest. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA S.A. INGENIERIA CIVIL E HIDRÁULICA

