

## EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA TÉCNICA DE VELOCIMETRÍA POR SEGUIMIENTO DE PARTÍCULAS A GRAN ESCALA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN RÍOS SERRANOS

### EXPERIMENTAL EVALUATION OF LARGE SCALE PARTICLE TRACKING VELOCIMETRY TECHNIQUE FOR FLOW DISCHARGE MEASUREMENTS IN MOUNTAINS RIVERS

Antoine Patalano<sup>1</sup>, C. Marcelo García<sup>1-3</sup>, Nicolás Guillén<sup>1</sup>, Cesar García<sup>2-3</sup>,  
Érica Díaz<sup>1-3</sup>, Andrés Rodríguez<sup>1-3</sup> y Andrés Ravelo<sup>3-4</sup>

#### RESUMEN

Este trabajo presenta una evaluación experimental de una técnica de cuantificación de caudales de aguas superficiales en ríos serranos de la provincia de Córdoba. Los ríos serranos de la provincia de Córdoba se caracterizan por su alta variabilidad temporal definida por la ocurrencia de crecientes repentinas o torrenciales de corta duración y gran velocidad de la corriente (en épocas de lluvias) y por la presencia de periodos extensos de estiaje (período de aguas bajas) con caudales del orden de unos cientos de litros por segundo lo que dificulta la selección de una técnica experimental óptima para todas las condiciones de flujo presentes durante un año. En este trabajo se presenta como alternativa una técnica remota para estimar el caudal escurrido en un curso fluvial en el ámbito serrano implementando a gran escala la técnica de velocimetría por seguimiento de partículas (de sus siglas en inglés LS PTV) la cual puede ser aplicada eficientemente en periodos de aguas bajas y medias con un bajo costo relativo. El campo de velocidad superficial determinado experimentalmente con LS PTV en un curso fluvial sembrado con partículas o trazadores y la batimetría de la sección transversal conocida permiten realizar estimaciones del caudal escurrido. La metodología experimental propuesta es validada con resultados obtenidos utilizando simultáneamente otras técnicas en el río San Antonio en la región serrana de la provincia de Córdoba, en dos secciones diferentes, Cuesta Blanca y Villa Carlos Paz, en condiciones de aguas bajas y medias, respectivamente. Finalmente, se discuten las posibles fuentes de errores involucradas en la implementación de la metodología experimental presentada.

**Palabras claves:** Métodos experimentales, Medición de caudales, LS PTV.

#### ABSTRACT

This paper presents a validation of an experimental technique for surface water flows discharge measurements in mountain rivers of the of Córdoba province. The mountain rivers of the Córdoba province are characterized by high temporal variability defined by the occurrence of flash floods with very high volumes of fast flows (during the rainy season) and the presence of extended periods of low water conditions with flow rates of the order of a few hundred liters per second which makes difficult the selection of an optimal experimental technique for flow discharge measurement for the different flow conditions present during the year. This paper presents an alternative remote experimental technique, estimating flow discharges in rivers of mountain areas, based on large scale particle tracking velocimetry technique (LS PTV) which can be applied efficiently in periods of low and medium flow conditions with relatively low cost. The surface flow velocity field sampled using LS PTV in a fluvial reach seeded with tracer particles and the cross section bathymetry allow flow discharge estimation. The proposed experimental technique is validated with results obtained using other experimental techniques simultaneously in the San Antonio river in the mountainous region of the of Córdoba province, Argentina, at two different locations (Cuesta Blanca and Villa Carlos Paz). Finally, a discussion is performed on sources of error involved in the implementation of the LS PTV.

**Keywords:** Experimental Method, Flow discharge measurements, LS PTV.

<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: antoine.patalano@gmail.com

<sup>2</sup> Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobremente Aforadas (EHCPA), Universidad Católica de Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>4</sup> Centro de Relevamiento y Evaluación Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

El manejo sustentable del recurso hídrico superficial requiere una cuantificación precisa de la disponibilidad del mismo para que los planes de gestión de ese recurso sean eficientes. La magnitud que cuantifica la disponibilidad del agua superficial en cursos fluviales para su uso como provisión de agua potable, riego o generación de energía hidroeléctrica es el caudal. Los modelos numéricos continuos de simulación hidrológica son herramientas muy útiles para la predicción y pronóstico de caudales escurridos, pero su calibración y validación requiere determinaciones experimentales precisas de caudales escurridos superficialmente tanto en épocas de aguas altas (crecidas) como de aguas bajas (estiaje).

En este trabajo se evalúa experimentalmente una técnica específica de cuantificación de aguas superficiales en ríos serranos de la provincia de Córdoba, que escurren en una región perteneciente a las zonas áridas y semiáridas de la República de Argentina. La técnica evaluada se basa en la implementación a gran escala (LS) de una técnica no intrusiva de Velocimetría por Seguimiento de Partículas (PTV) que permitiría a priori obtener descripciones de los campos superficiales de flujo en cursos fluviales durante periodos de aguas bajas y altas. La técnica de PTV (también conocida como Velocimetría lagrangiana por imágenes de partículas) consiste en obtener (desde una de las márgenes o desde un puente) imágenes digitales de la posición de trazadores previamente “sembrados” en el agua a intervalos constantes de tiempo. En base a dos imágenes capturadas en un intervalo de tiempo conocido, se identifican (mediante el uso de programas computacionales específicos) las posiciones de los trazadores en cada imagen. En los casos en que se cuenta con una ubicación oblicua de la cámara digital en relación al plano superficial de movimiento de las partículas (situación habitual en la implementación a gran escala)

es necesario rectificar las coordenadas de los trazadores. Finalmente, se calcula el desplazamiento de los trazadores en dos imágenes sucesivas, el cual dividido el tiempo de exposición entre las imágenes permite obtener el vector de velocidad superficial del flujo para cada trazador. Para validar esta técnica, en este trabajo, los resultados obtenidos con LS PTV se los compara con resultados de aforos realizados con instrumental convencional (molinete) y con Perfiladores de corriente acústicos Doppler –ADCP, disponible desde hace pocos años para su implementación en aguas poco profundas.

## SITIOS DE MEDICIÓN, INSTRUMENTAL Y METODOLOGÍA

Los sitios de medición evaluados en este trabajo constituyen dos tramos de un curso fluvial emplazado en la cuenca alta del Río Suquía (Primero) en la zona serrana de provincia de Córdoba en Argentina. El primer sitio de medición (Figura 1) está emplazado en un tramo del río San Antonio en proximidades de la localidad de Cuesta Blanca (aguas arriba y al sur de la ciudad de Villa Carlos Paz) lo que permite cuantificar el flujo superficial aguas abajo de la toma de agua de la ciudad de Villa Carlos Paz y localidades vecinas. Al momento de realizar el trabajo experimental, la sección de este tramo donde se realizaron las mediciones tenía un ancho aproximado de 6 m y una profundidad máxima aproximada de 0.6m. El segundo tramo (Figura 2) se encuentra en el ejido urbano de la ciudad de Villa Carlos Paz. La sección del tramo donde se realizaron las mediciones tenía al momento de la medición un ancho aproximado de 12 m y una profundidad máxima aproximada de 1.0m. Las condiciones analizadas en ambas secciones corresponden a periodos de aguas bajas y medias, respectivamente. Trabajos experimentales en desarrollo prevén la realización de trabajos de campo en periodos de crecidas.



**Figura 1.** Sitio de medición emplazado en un tramo del río San Antonio en proximidades de la localidad de Cuesta Blanca.



**Figura 2.** Sitio de medición emplazado en un tramo del río San Antonio en el ejido urbano de la localidad de Villa Carlos Paz.

Para ambos casos, se realizó primero una cuantificación del caudal superficial (aforo) por método de vadeo (sección media) con un molinete a eje vertical (Modelo 6215 USGS Tipo AA-MH Tipo AA). Además se utilizó un perfilador de corriente acústico Doppler ADCP RiverSurveyor S5 YSI/Sontek. Este último está equipado con un GPS que permite obtener en forma alternativa la posición del perfilador en cada instante del recorrido con una resolución del orden del 0.01m. Además, este perfilador cuenta con un dispositivo denominado “SmartPulse”, el cual en base a la profundidad, velocidad y niveles de turbulencia del flujo, adapta el esquema de pulso acústico para esas condiciones con el fin de proveer la máxima resolución de datos de velocidad (en las tres dimensiones), lo que permite capturar perfiles de velocidad de flujo con una frecuencia de 1 Hz y tamaños de celda pequeños de hasta 0.02m. Con el ADCP instalado sobre una plataforma móvil (Figura 3), se realizaron

números pares de transectas o cruces (de ida y vuelta para evitar efectos direccionales) muestreando el campo de flujo y la batimetría de la sección evaluada de manera de completar un tiempo total de medición superior a los 12 minutos (Tarrab et al. 2012) con el fin de minimizar la incertidumbre asociada a la determinación experimental de caudales de flujo. Para estimar la velocidad en las regiones no medidas del flujo, en la parte superior (debido a la sumergencia del instrumento) e inferior (para evitar interferencias del fondo en el pulso acústico) se ajustó una ley potencial de velocidades sobre todo el perfil de velocidades (exponente = 1/6). Las velocidades no medidas en la margen derecha e izquierda (zonas de menor profundidad) se estimaron utilizando el método recomendado para cursos con márgenes con pendiente. El valor del caudal determinado con esta tecnología consiste en el promedio de los caudales cuantificados en todas las transectas realizadas en cada sección.

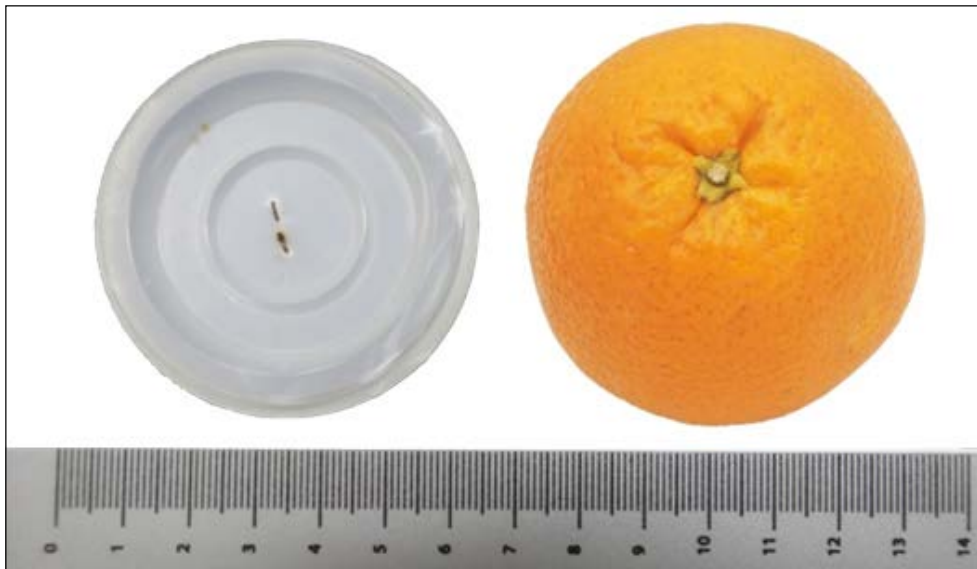


**Figura 3.** Medición con ADCP en la sección de estudio en el río San Antonio en proximidades de la localidad de Cuesta Blanca.

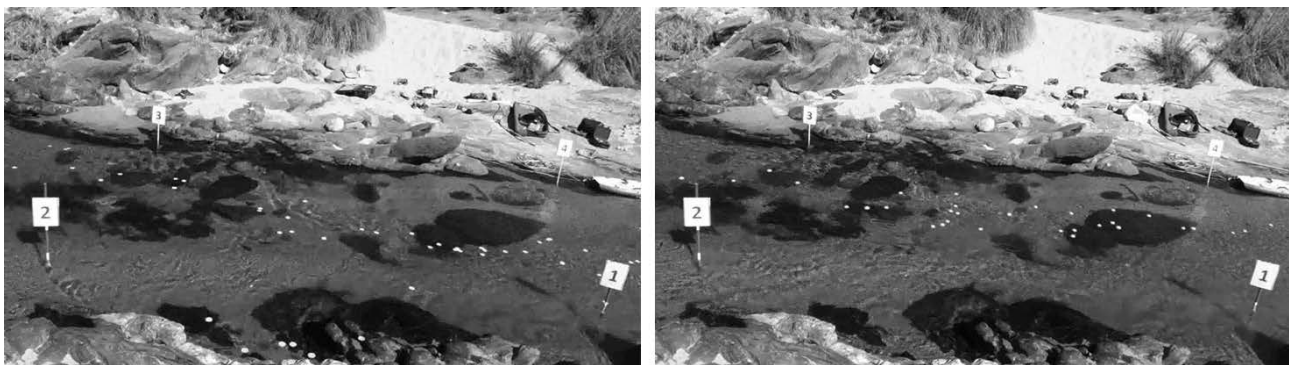


En relación a las mediciones con la técnica LS PTV se utilizaron dos trazadores diferentes para caracterizar el campo de velocidad superficial en el primer tramo seleccionado del río San Antonio en proximidades de la localidad de Cuesta Blanca (Figura 1) con el fin de evaluar la sensibilidad de los resultados a la selección del trazador óptimo. Uno de los trazadores seleccionados son elementos formados por dos tapas plásticas abrochadas entre sí cuyo diámetro comercial es 63 mm logrando cierto peso de forma tal que la acción del viento no modifique su velocidad,

manteniendo la flotabilidad y constituyendo partículas simétricas respecto de sus dos caras (Figura 4). Los motivos de la elección son fundamentalmente su visibilidad y bajo costo. Se ensayó además una alternativa que consiste en el uso de naranjas (de diámetro medio similar a las tapas plásticas) como trazadores naturales. En la sección de medición en el segundo tramo del río en el ejido urbano de la localidad de Villa Carlos Paz, se utilizaron solamente naranjas a partir de los buenos resultados obtenidos en el primer tramo de Cuesta Blanca.



**Figura 4.** Trazadores utilizados para caracterizar el campo de velocidad superficial en el tramo seleccionado del primer sitio en la sección de estudio en el río San Antonio en proximidades de la localidad de Cuesta Blanca.



**Figura 5.** Flujo sembrado con dos trazadores diferentes en el tramo seleccionado del río San Antonio en proximidades de la localidad de Cuesta Blanca. Izquierda: tapas plásticas abrochadas entre sí cuyo diámetro comercial es 63 mm. Derecha: naranjas (de diámetro medio similar a las tapas plásticas).

La cámara de fotografía digital utilizada en la primera sección de medición fue una Sony RX-100, que registra videos con una resolución de 1444x1080 pixeles a 30 cuadros por segundo con un sensor CMOS. En la implementación de LS PTV en la sección del río emplazada en el ejido urbano de Villa Carlos Paz se utilizó una cámara digital (Sony WX300) montada sobre un trípode que permite enfocar todo el ancho del río. La cámara

digital registra un video de alta definición con una resolución de 1920 x 1080 pixeles a una frecuencia de 30 cuadros por segundo con un sensor CMOS. En ambos tramos, la cámara digital fue ubicada sobre una de las márgenes de manera tal que la zona capturada incluya la región donde se realizaron las mediciones con ADCP y molinete. En las imágenes capturadas la zona de interés se muestra en perspectiva por lo que se ve distorsionada

debido a que la cámara se colocó oblicuamente al plano de la superficie libre (ver por ejemplo Figura 5 para la primera sección de medición). Por ello, los resultados obtenidos con PTV se corrigieron para rectificar las coordenadas de la imagen a una proyección ortogonal (Patalano et al. 2013b). Para cada medición se registró un video de 60s de duración a 30 imágenes por segundos. La secuencia metodológica desarrollada en la implementación de PTV se detalla a continuación:

a) Pre-procesamiento de imagen que consiste a transformar las imágenes en escala de gris, sustraer de las imágenes el “fondo” (todo lo que no sea partículas) y detectar cada una de las partículas: el “fondo” de las imágenes se obtiene calculando el promedio de toda la serie de imágenes. Según las partículas usadas, diferentes filtros son utilizados sobre las imágenes de tal manera que las partículas sean blancas con una distribución gaussiana a partir del centroide de ellas hacia fuera. Cuando se resta el fondo de cada imagen individualmente se quedan las partículas blancas sobre un fondo negro.

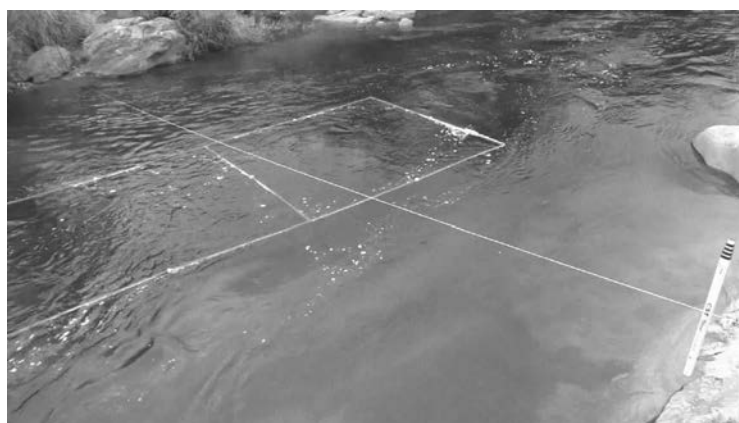
b) Procesamiento de las coordenadas de las partículas detectadas y extracción de la velocidad del flujo en tiempo y espacio con por Correlación Cruzada (Brevis et al. 2011);

c) Post-Procesamiento que consiste a rectificar los resultados a una vista ortogonal y calibrarlos para transformar las velocidades en [pixel/intervalo de imagen] a [m/s]. Todo el proceso de LS PTV ha sido realizado con el programa libre *PTVlab* y su interface gráfica de usuario desarrollada por el grupo de trabajo (Patalano et al. 2013a). En la Figura 6 se presenta un ejemplo de rectificación digital realizada a partir de 4 puntos de control que vinculan las coordenadas del Mundo Real y las de la fotografía.

Los puntos de control seleccionados para rectificar las imágenes digitales en la implementación de la técnica PTV sobre el río San Antonio en el ejido urbano de la localidad de Villa Carlos Paz fueron materializados a través de un marco de 3m x 6m construido con tuberías de polipropileno bicapa de 0.0127m de diámetro (Figura 7). El marco se retira de la imagen unos segundos después de iniciar el registro del video.



**Figura 6.** Ejemplo de rectificación digital de la zona de interés del río San Antonio al primer tramo: A la izquierda imagen original de la zona de interés con los 4 puntos de control, a la derecha la misma imagen rectificada en un plan ortogonal. Para disminuir el costo computacional, en el post-procesamiento, una imagen única es rectificada para poder graficar encima los resultados rectificados.

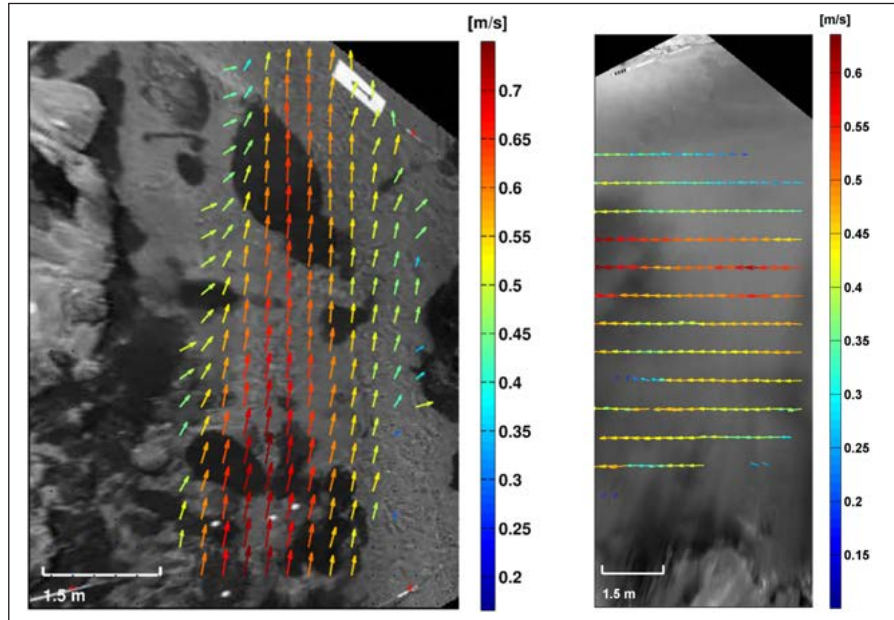


**Figura 7.** Marco de tamaño de 3m x 6m construido con tuberías de polipropileno bicapa de 0.0127m de diámetro, utilizado para la rectificación digital de imágenes registradas en la sección de medición emplazada en el Río San Antonio, en el ejido urbano de la ciudad de Villa Carlos Paz.

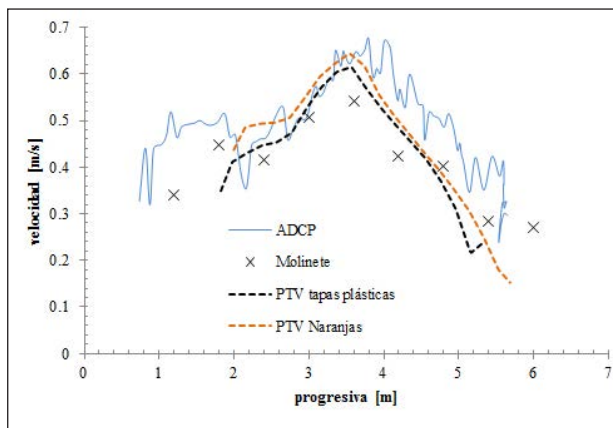
## RESULTADOS

La técnica de velocimetría LS PTV presenta una ventaja sobre el resto de las técnicas experimentales utilizadas en este trabajo ya que la implementación de la técnica PTV a gran escala (LS PTV) provee el campo de velocidad superficial media en la región cubierta por el sensor de la cámara. Para obtener

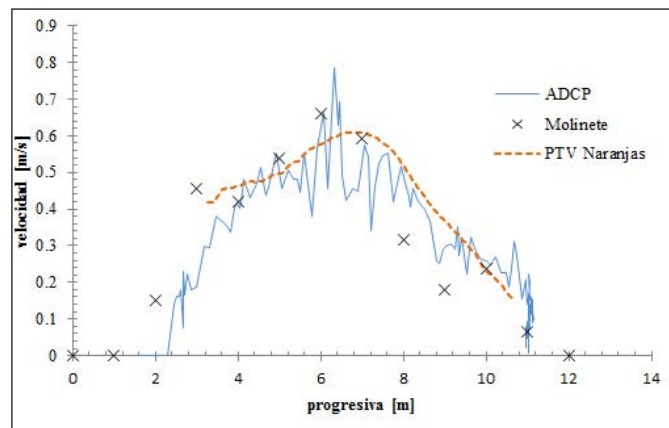
ese campo de velocidad media, los campos instantáneos de velocidades de las partículas son interpolados sobre una grilla común y promediados en el tiempo. La Figura 8 muestra los campos de medios de velocidades de flujo rectificados en los dos tramos estudiados del río San Antonio.



**Figura 8.** Campos de velocidades medias de flujo interpolados [m/s] y rectificados del río San Antonio en Cuesta Blanca (izquierda) y en el ejido urbano de la ciudad de Villa Carlos Paz (derecha).



**Figura 9.** Perfiles transversales de velocidades medias de flujo medidos con molinete y PTV en el sección relevada en el río San Antonio en Cuesta Blanca.



**Figura 10.** Perfiles transversales de velocidades medias de flujo medidos con molinete y PTV en el sección relevada en el río San Antonio en el ejido urbano de la ciudad de Villa Carlos Paz.

A partir de la información de los campos medios de velocidades de flujo obtenidos con PTV, se extrajeron los valores correspondientes a los perfiles trasversales de velocidades superficiales donde se implementaron las otras técnicas de medición (molinete y ADCP). Las Figuras 9 y 10 muestran los perfiles transversales de velocidad superficial de flujo registrados en las dos secciones del río San Anto-

nio con las distintas técnicas. Los valores de ADCP incluidos en estas Figuras corresponden a valores registrados en las celdas más cercanas a la superficie libre (0.15m desde esta superficie) mientras que las mediciones con molinete corresponden a valores de velocidad superficial (con molinete sumergido) específicamente registrados para este trabajo. Los perfiles relevados muestran una buena correspon-



dencia entre los valores observados. En la Figura 9, se observa un buen acuerdo entre los perfiles de velocidad superficial determinados con LS PTV utilizando diferentes partículas trazadoras (para la sección del río San Antonio en Cuesta Blanca) y las pequeñas diferencias observadas podrían explicarse por los efectos sobre las partículas plásticas de la fricción superficial del viento presente el día de las mediciones en sentido contrario a la dirección del flujo medio.

Finalmente se realiza el contraste de los caudales medios de flujo estimados por las distintas técnicas de medición (Tabla 1). Para ambas secciones relevadas del río San Antonio, se adopta como valor de referencia al caudal medido con ADCP. La incertidumbre asociada a la determinación de caudal con ADCP depende de configuración de registro adoptado, del ruido electrónico y el ruido ambiental presente durante las mediciones (Tarrab et al, 2012). Durante la medición reportada en este resumen, el caudal medido por el ADCP en el primer tramo fue  $0.94 \pm 0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ . El caudal estimado a partir de las mediciones con molinete ( $0.97 \text{ m}^3/\text{s}$ ) presenta una diferencia de (-3%) relativa al ADCP siendo estadísticamente similares. De la misma forma, en el segundo tramo el caudal medido con ADCP fue  $3.03 \pm 0.38 \text{ m}^3/\text{s}$  para la sección relevada en el segundo tramo y presenta una diferencia de (-7%) con el valor estimado a partir de las mediciones con molinete.

La estimación de caudales a partir de los campos superficiales de velocidad del flujo determinados con LS PTV a gran escala de manera no intrusiva requiere definir la relación  $\alpha$  entre los valores medios de velocidad media de flujo en la columna de agua y los valores de velocidades superficiales. Esta relación depende de la geometría del fondo, de la rugosidad, de las corrientes secundarias y del efecto del viento. (Cheng et al. 2004) realizaron una estimación de este coeficiente utilizando ADCP para las mediciones de velocidad de flujo en la columna de agua y velocimetría por radar para evaluar las velocidades de flujo superficiales. Estos autores sugieren que es factible usar las velocidades superficiales como índice para determinar caudales de flujo ya que el valor de  $\alpha$  cae siempre en el mismo rango del valor teórico ( $\alpha \approx 0.85$ ) calculado empíricamente (Plant et al. 2005).

En la Tabla 1 se muestran los valores de los caudales medidos con las diferentes técnicas presentadas en este trabajo y para cada uno de los casos visto. Los caudales evaluados con LS PTV han sido calculados integrando el producto de las velocidades superficiales ajustadas con el factor  $\alpha$  y por el área de escurrimiento obtenida durante las mediciones con el molinete. Con el factor teórico, el error relativo entre los caudales medidos con ADCP y con LS PTV es de 12% y 13% respectivamente para las secciones relevadas y 14% y 20% respectivamente con el molinete. Usando el factor los errores

relativos entre los caudales medidos con los dos instrumentos (ADCP y molinete) y con LS PTV son significativamente menores: 3% y 2% (relativo a ADCP) respectivamente y 0% y 6% (relativo a molinete) respectivamente.

**Tabla 1:** Resumen de los caudales medidos para los casos diferentes.

Sección de estudio	$Q_{\text{ADCP}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\text{molinete}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\text{PTV(naranjas)}}$ [m <sup>3</sup> /s]		$Q_{\text{PTV(tapas)}}$ [m <sup>3</sup> /s]	
San Antonio (Cuesta Blanca)	0.94	0.97	$\alpha=0.85$	0.83	$\alpha=0.85$	0.80
			$\alpha=1$	0.97	$\alpha=1$	0.93
San Antonio (Carlos Paz)	3.03	3.27	$\alpha=0.85$	2.63	-	-
			$\alpha=1$	3.09	-	-

A continuación se sintetizan algunas de las principales fuentes de errores detectadas en la implementación de la técnica de LS PTV en gran escala para estimar caudales de aguas superficiales en cursos fluviales:

- Factores ambientales: En la implementación de LS PTV a gran escala estas fuentes de errores son relevantes. El tipo de iluminación (la reflexión de la luz del Sol sobre la superficie del agua puede perturbar los algoritmos de detección de partículas) y el viento (influye directamente la velocidad de las partículas) son dos de los fenómenos físicos del medio ambiente que influyen en forma más notoria en las mediciones.
- La siembra de las partículas: como se muestra en la Figura 8, no se pudo caracterizar las velocidades a las orillas de los ríos ya que las partículas sembradas agua arriba del tramo de medición tienden a entrar en las zonas de mayores velocidades y salir de las zonas de estancamiento o menores velocidades.
- Técnica de procesamiento de las coordenadas de las partículas detectadas y extracción de la velocidad del flujo en tiempo y espacio.
- El post-procesamiento que consiste a rectificar los resultados a una vista ortogonal y calibrarlos para transformar las velocidades en [pixel/intervalo de imagen] a [m/s]: La calidad de la rectificación depende esencialmente del método (marco flotante o puntos fijos) y del usuario que determina las distancias entre los puntos de control en la realidad y luego sobre las imágenes.
- El valor del factor  $\alpha$  que depende de cada sección medida. El valor del coeficiente que relaciona la velocidad superficial y la velocidad media es función de la geometría de la sección, de la pendiente del tramo, de la rugosidad del fondo, de la configuración aguas arriba y aguas abajo del tramo. El valor adoptado por defecto es 0.85 pero según los resultados, el valor real del factor para ambos tramos es mayor (entre 0.96 y 0.98 respectivamente).

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una evaluación experimental de una técnica de cuantificación de caudales de aguas superficiales en dos tramos de un río serrano de la provincia de Córdoba. La técnica evaluada consiste en la implementación a gran escala de la técnica de velocimetría por seguimiento de partículas (LS PTV por sus siglas en inglés). Si bien las condiciones analizadas en este trabajo corresponden a periodos de aguas bajas y medias, esta técnica puede ser aplicada eficientemente en periodos de crecidas con un bajo costo. La técnica no intrusiva LS PTV constituye una alternativa satisfactoria (con costos relativos significativamente menores) para la determinación experimental de caudales escurridos superficialmente en los ríos con características físicas y geométricas similares, a condición de conocer la batimetría de la sección aforada. En este trabajo se sintetizaron algunas de las principales fuentes de errores detectadas en la implementación de la técnica de LS PTV en gran escala para estimar caudales de aguas superficiales en cursos fluviales en ríos serranos. Estudios relacionados específicamente a cada uno de estos errores representan un área de vacancia. Estudios posteriores además incluyen relevamientos experimentales en cursos fluviales con similares características para realizar una estimación más precisa de la relación  $\alpha$  entre los valores medios de velocidad media de flujo en la columna de agua y los valores de velocidades superficiales para ríos serranos de la provincia de Córdoba.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brevis, W., Niño, Y. & Jirka, G.H., 2011. Integrating cross-correlation and relaxation algorithms for particle tracking velocimetry. *Experiments in Fluids*, pp.135–147.
- Cheng, R. T., Gartner, J. W., Mason, R. R., Costa, J. E., Plant, W. J., Spicer, K. R., Haeni, F. P., Melcher, N. B., Keller, W. C., and Hayes, K. (2004). Evaluating a Radar-Based , Non Contact Streamflow Measurement System in the San Joaquin River at Vernalis , California. Menlo Park, California, 24.
- Patalano, A., Brevis, W., García, C.M., et al., 2013. PTVlab, una herramienta grafica para el procesamiento digital en Velocimetría por Seguimiento de Partículas. Tercer Simposio de Metodos Experimentales en Hidraulica. Santa Fe, Argentina.
- Patalano, A., Brevis, W., Guillén, N.F., et al., 2013. Rectificación digital para mediciones de velocidad de flujo a gran escala utilizando Velocimetría por imágenes de partículas. Tercer Simposio de Metodos Experimentales en Hidraulica. Santa Fe, Argentina.
- Plant, W.J. et al., 2005. Streamflow Properties from Time Series of Surface Velocity and Stage. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(8), pp.657–664.
- Tarrab, L. et al., 2012. Role of turbulence fluctuations on uncertainties of acoustic Doppler current profiler discharge measurements. *Water Resources Research*, 48(6), p.W06507