

INFORME

EVALUACION EXPERIMENTAL IN SITU DE DISTINTAS TECNOLOGIAS DE MEDICIONES PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES EN EL RIO PILCOMAYO.

RESPONSABLES:

RICARDO SZUPIANY (UNL), CARLOS MARCELO GARCÍA(UNC), LUCAS DOMINGUEZ RUBEN (UNL) Y ANTOINE PATALANO (UNC)

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS HÍDRICAS

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

LABORATORIO DE HIDRÁULICA - CENTRO DE ESTUDIOS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA.



Universidad
Nacional
de Córdoba



Laboratorio
de
Hidráulica



CENTRO DE ESTUDIOS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA



FEBRERO 2014

1.- Objetivo

El objetivo de este informe es reportar los resultados preliminares de la evaluación experimental in situ de distintas técnicas de mediciones para la cuantificación de caudales líquidos en el río Pilcomayo.

2.- Localización de la sección de medición

La evaluación experimental se desarrolló los días 19 y 20 de febrero de 2014. En la **Figura 1** se muestra la sección de medición aforada con las distintas técnicas experimentales. Esta sección coincide con la sección de aforo Villamontes (Bolivia) la cual incluye un sistema de vagoneta para desplazarse a lo ancho de la sección del río. Previo a las mediciones realizadas con las nuevas tecnologías se realizaron aforos líquidos y sólidos con técnicas convencionales (molinetes y muestreadores de sedimento).



Figura 1: Sección de medición aforada del río Pilcomayo en Villamontes (Bolivia).

3.- Instrumentos utilizados

3.1 Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) "River Surveyour S5" para agua poco profundas

Uno de los instrumentos utilizados en las mediciones es el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) "River Surveyour S5" (número de serie S501387, ver Figura 2) fabricado por la compañía YSI/Sontek. Las características técnicas de este instrumento se presentan en la Tabla 1. Para su utilización, el instrumento se instaló en una plataforma móvil que se muestra en la Figura 2.

Tabla 1: Características técnicas del Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP)
“River Surveyour S5”

River Surveyour S5	
Medición de Velocidad	
- Rango de profundidad	6 cm a 5 m
- Rango de velocidad	± 20 m/seg
- Precisión	Hasta ± 0.25% de medida, y ± 0.2 cm/seg de velocidad
- Resolución	0.001 m/seg
- Número de celdas	Hasta 128
- Tamaño de celda	2 cm a 50 cm
Configuración del transductor	Cinco (5) transductores en total. 4-haz de 3.0MHz Janus inclinados un ángulo de 25° + 1-haz vertical de 1.0 MHz.
Profundidad de medición	
- Rango	20 cm a 15 m
- Precisión	1 %
- Resolución	0.001
Medición de flujos	
- Rango seguimiento de fondo	30 cm a 5 m
- Rango con RTK-GPS	30 cm a 15 m
- Cálculos	Internos



Figura 2: Plataforma móvil y Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) “River Surveyour S5”.

3.2 Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP) “Workhorse Río Grande”.

Los otros dos ADCP utilizados se denominan ADCP “Workhorse Río Grande” fabricado por la compañía Teledyne RD Instruments (ver Figura 3). Ambos presentan similares características físicas pero trabajan a diferentes frecuencias, i.e. 600 kHz y 1200 kHz, brindándole diferentes capacidades y condiciones a aforar. Las características técnicas de estos instrumentos se presentan en la Tabla 2 para el ADCP de 600 kHz y 1200 kHz, respectivamente. Para su utilización, el instrumento se instaló en una plataforma móvil que se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) “Workhorse Río Grande” y Plataforma móvil.

Tabla 2: Características técnicas de los Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP) “Workhorse Río Grande”.

		WHR600	WHR1200
		600kHz	1200kHz
Perfilado de velocidad del flujo	Rango de perfilado	0.7m to 75m	0.3m to 25m
	Rango de velocidad	±20m/s máximo	
	Precisión	±0.25 % de la velocidad del flujo relativa al ADCP	
	Resolución	1mm/s	1mm/s
	Número de celdas	1-128	1-128
	Tamaño de celdas	0.1m to 4m	0.05m to 2m
	Distancia sin registros	0.25m	0.05m
	Velocidad de salida de datos	1-2Hz	1-2Hz
Bottom Tracking	Rango de velocidad	±9.5m/s	±9.5m/s
	Rango de profundidad	0.8m to 90m	range 0.5m to 30m
	Precisión	±0.25 % de la velocidad del fondo relativa al ADCP	
	Resolución	1mm/s	1mm/s
Medición de profundidad	Rango	0.8m to 90m	0.5m to 30m
	Precisión	±1% ±1cm	±1% ±1cm
	Resolución	1mm/s	1mm/s

3.3 Configuración experimental para la implementación de la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV)

Para la medición del campo de velocidad superficial de la sección de interés se ha utilizado una cámara digital WX300 de marca SONY. La cámara colocada sobre una grúa encima de un trípode permite tener suficiente altura para enfocar sobre la sección de interés. La cámara digital se controla de forma remota con una tablet. Se asumió que los patrones visibles de a la superficie del agua se desplazan a la misma o “quasi” a la misma velocidad que ella. Esta hipótesis nos permite utilizar las imperfecciones visibles a la superficie del agua como trazador. Todo el sistema descrito ubicado sobre la margen izquierda del río (ver Figura 4). La resolución de las imágenes en modo “video” es de 1920 x 1080 pixeles y la frecuencia de grabación de imágenes en el mismo modo es de 30 fps.



Figura 4: Configuración del sistema para la implementación de la técnica de PIV. La cámara digital montada sobre una grúa desde la margen izquierda del río

4.- Metodología experimental

4.1 Metodología experimental utilizada con los Perfiladores de Corriente Acústico Doppler

En los casos de mediciones desde plataformas móviles (como por ejemplo las utilizadas en este trabajo), la estrategia de muestreo espacial y temporal actualmente recomendada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos – (USGS) para la determinación del caudal medio en ríos y canales consiste en realizar múltiples transectas (cruces) del canal en pares recíprocos. En cada transecta se obtienen datos en tiempo real vía bluetooth de la geometría de la sección (área, ancho de boca, profundidad media), de la distribución de la velocidad del flujo en la sección, y por lo tanto del caudal. Los valores de caudales reportados en este informe corresponden al promedio de dos transectas realizadas en cada sección. Con cada uno de los

perfiladores En todos los casos se utilizó al GPS como sistema de referencia para monitorear la posición de la plataforma móvil.

Para la adquisición de datos con el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) "River Surveyour S5" para agua poco profundas se utilizó el software RiverSurveyour Live v.2.00 y firmware RiverSurveyour firmware v1.0, de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por YSI/Sontek. Una de las principales características de esta versión es la incorporación del algoritmo "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, con tamaños de celda tan pequeños como 2 cm. La selección del esquema óptimo se realiza automáticamente.

Para la adquisición de datos con el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) "Workhorse Río Grande" se utilizó el software WinRiver II firmware v2.10, de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por el U.S. Geological Survey de los Estados Unidos.

4.2 Metodología experimental utilizada con la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV)

Se gravó una película de 4 minutos de la sección de interés a 30fps. Las imágenes fueron extraídas de la película a una frecuencia de 2fps. A esta frecuencia los patrones visibles a la superficie del agua se desplazan de una cantidad de pixeles adecuada entre una imagen y la siguiente para el buen funcionamiento de la técnica. Se utilizó el método de Correlación Cruzada Directa (DCC) con ventanas de interrogación de 128, 64 y luego 32 pixeles para obtener el campo de desplazamiento de toda la sección del río. La Figura 5 muestra el resultado medio del procesamiento en [pixel/imagen], lo cual no es representativo todavía de campo de velocidad superficial ya que los desplazamiento entre imágenes son distorsionados debido a la oblicuidad de la cámara (un distancia arbitraria en [m] no representa la misma cantidad de pixeles según su ubicación sobre la imagen.)

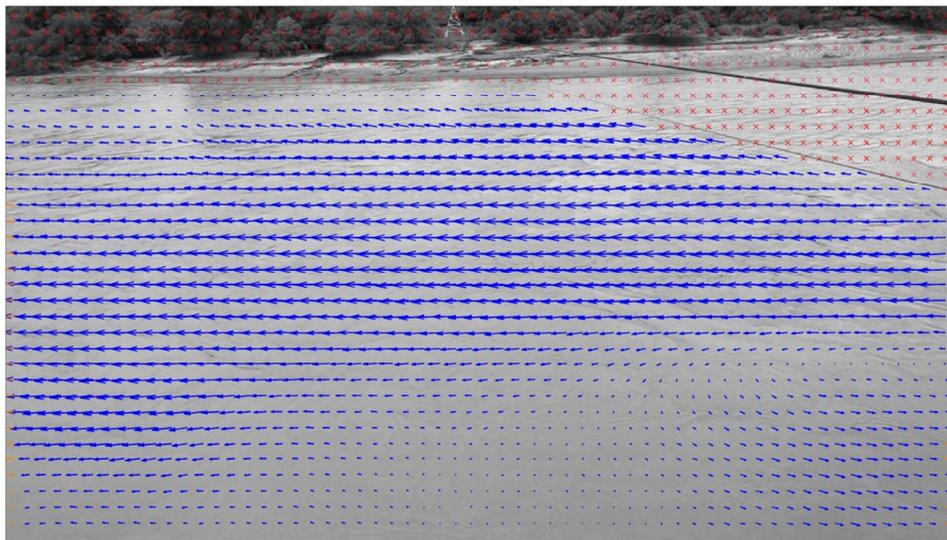


Figura 5: Campo de desplazamiento medio en [pixel/imagen] de la zona de medición

Después del procesamiento es necesario rectificar los resultados al fin de obtener el campo velocidad real en [m/s] de la sección de interés. Para rectificar los resultados de PIV, se utilizó la técnica de homografía para la cual es necesario conocer las coordenadas de 4 Puntos de Control (PC) en ambos sistemas: Imagen en [pixel] y Realidad [m]. Por eso se utilizó se relevó 4 PCs con GPS. La Figura 6 los resultados de desplazamiento rectificados. Los resultados de aforo con PIV son discutidos en la sección siguiente.

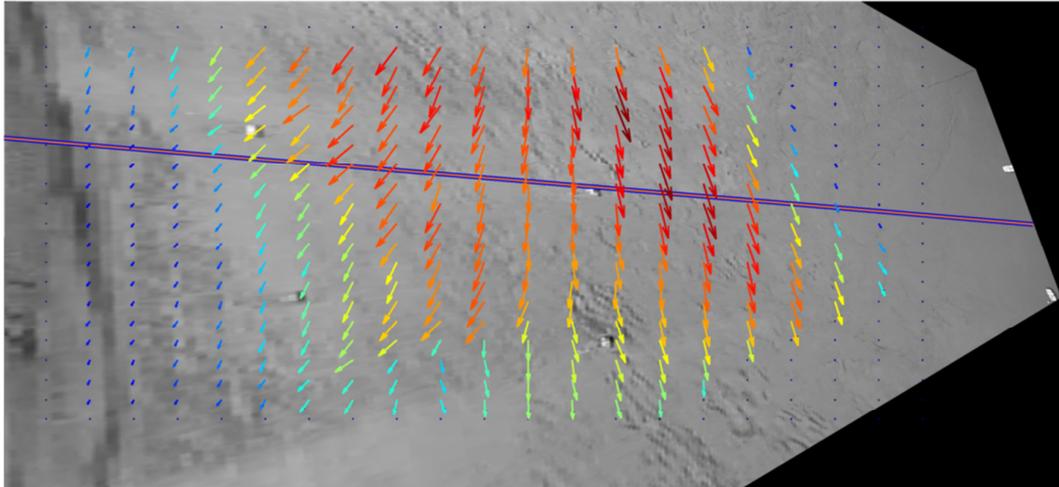


Figura 6: Resultados rectificados con la sección aforada

El caudal se estimó integrando el perfil de velocidad superficial obtenido sobre la batimetría medida con el ADCP “Workhorse Río Grande”. Se multiplica el caudal estimado por un coeficiente α que caracteriza la relación entre la velocidad media y la velocidad superficial de la sección aforada ($\alpha=0.85$ teórico).

5.- Resultados

5.1 Resultados de la implementación del Perfilador de Corriente Acústico Doppler “River Surveyour S5”.

La Figura 7 muestra el campo de Velocidades de Flujo [m/s] registrado con Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) “River Surveyour S5” utilizando una plataforma móvil. Por las características particulares de este instrumento (frecuencias acústicas elevadas para lograr una mayor resolución del campo de flujo), solo se pudo registrar velocidades de flujo en la porción superior de la columna de agua (2.5m desde la superficie libre). La Figura 8 incluye perfiles transversales registrados con este perfilador a cuatro diferentes profundidades, incluyendo la celda mas cercana a la superficie donde el perfilador puede registrar velocidades de flujo (0.14m)

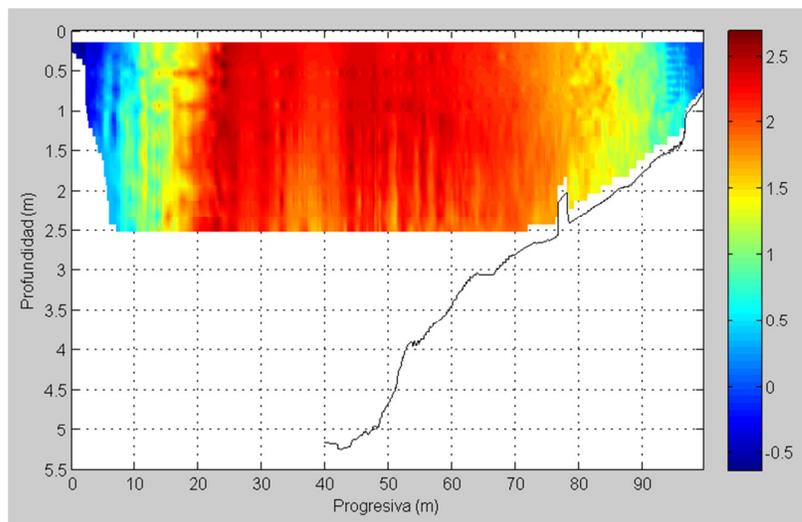


Figura 7: Campo de Velocidades de Flujo [m/s] registrado con Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) "River Surveyour S5" utilizando una plataforma móvil. Las progresivas indican distancia desde margen izquierda.

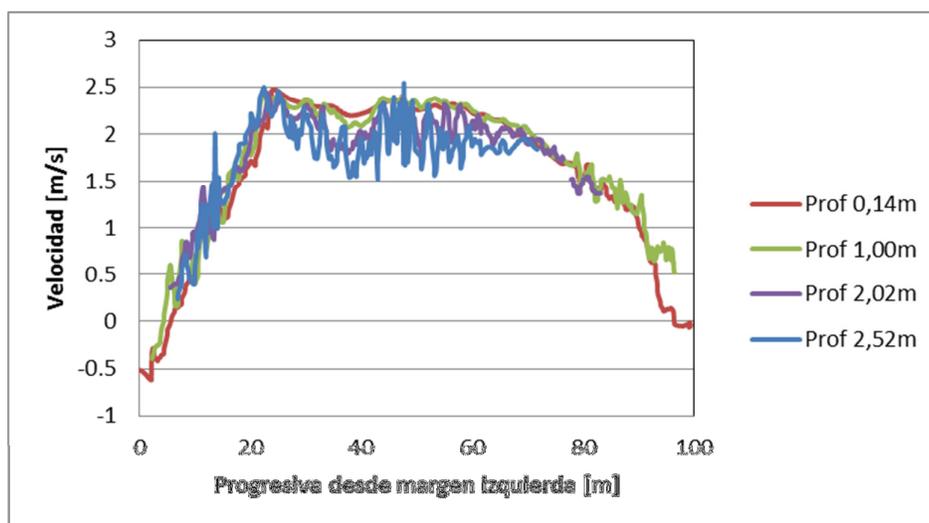


Figura 8: perfiles transversales de Velocidades de Flujo registrados a distintas profundidades desde la superficie libre por el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) "River Surveyour S5".

5.2 Resultados de la implementación de los Perfiladores de Corriente Acústico Doppler "Workhorse Río Grande".

En Tablas 3 y 4 se presenta el caudal medido para cada transecta y el valor promedio de ambas para los ADCP "Workhorse Río Grande" de 600 kHz y 1200 KHz, respectivamente. Además se detallan los caudales estimados como así también variables hidráulicas y morfológicas de la sección en estudio.

Las Figuras 9 y 10 muestran el campo de Velocidades de Flujo [m/s] registrado con los Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP) "Workhorse Río Grande" de 600 kHz y 1200 KHz respectivamente, utilizando una plataforma móvil.

Tabla 3: Caudales medidos y variables hidráulicas y morfológicas. ADCP "Workhorse Río Grande" de 600 kHz.

Transecto	Banco	Hora	Q Total	Delta	Q	Q	Q	Ancho
			[m ³ /s]	[%]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m]
Pilcomayo	Izquierda	11:10:57	630.171	-4.36	138.3	339.068	126.856	128.0
Pilcomayo	Derecha	11:20:18	687.648	4.36	152.056	360.958	142.002	120.0
Promedio			658.90	0	145.178	350.013	134.429	124.0
Desv. Estándar			40.643	6.17	9.727	15.479	10.71	5.71
Std./Avg.			0.06	0	0.07	0.04	0.08	0.05

Transecto	Área Total	Q/Área	Vel. Bote	Vel. Flujo	Hora de fin.	Duración
	[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m/s]		[s]
Pilcomayo1	404.43	1.558	0.336	1.997	11:16:29	332
Pilcomayo2	387.06	1.777	0.272	2.143	11:27:43	445.2
Promedio	395.75	1.667	0.304	2.07		
Desv. Estándar		12.29	0.154	0.046		
Std./Avg.	0.03	0.09	0.15	0.05		

Tabla 4: Caudales medidos y variables hidráulicas y morfológicas. ADCP "Workhorse Río Grande" de 1200 kHz.

Transecto	Banco	Hora	Q Total	Delta	Q	Q	Q	Ancho
			[m ³ /s]	[%]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m]
Pilcomayo	Izquierda	12:32:56	598.262	-6.51	106.96	405.22	84.226	115.6
Pilcomayo	Derecha	12:44:30	681.561	6.51	114.618	458.441	103.604	115.8
Promedio			639.91	0	110.789	431.83	93.915	115.7
Desv. Estándar			58.901	9.2	5.415	37.633	13.703	0.15
Std./Avg.			0.09	0	0.05	0.09	0.15	0

Transecto	Área Total	Q/Área	Vel. Bote	Vel. Flujo	Hora de fin.	Duración
	[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m/s]		[s]
Pilcomayo1	378.57	1.58	0.289	1.929	12:39:56	419.76
Pilcomayo2	383.08	1.779	0.284	2.018	12:51:53	443.05
Promedio	380.82	1.68	0.286	1.973		
Desv. Estándar		3.19	0.141	0.004		
Std./ Avg. 	0.01	0.08	0.01	0.03		

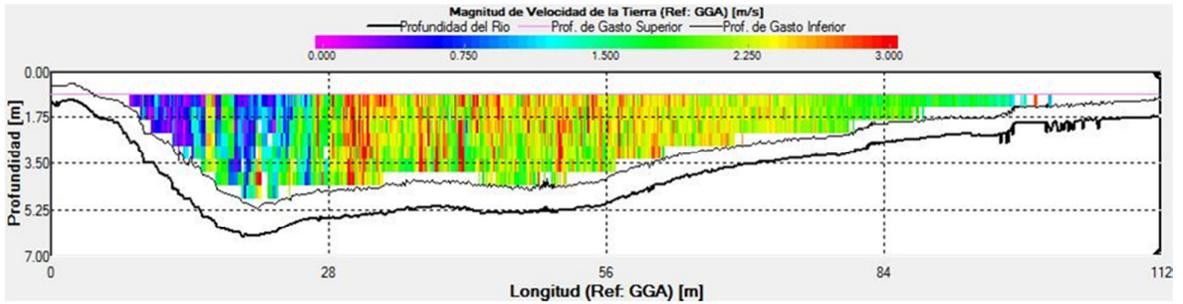


Figura 9: Campo de Velocidades de Flujo [m/s] registrado con ADCP “Workhorse Río Grande” de 600 kHz de frecuencia, utilizando una plataforma móvil. Las progresivas indican distancia desde margen izquierda.

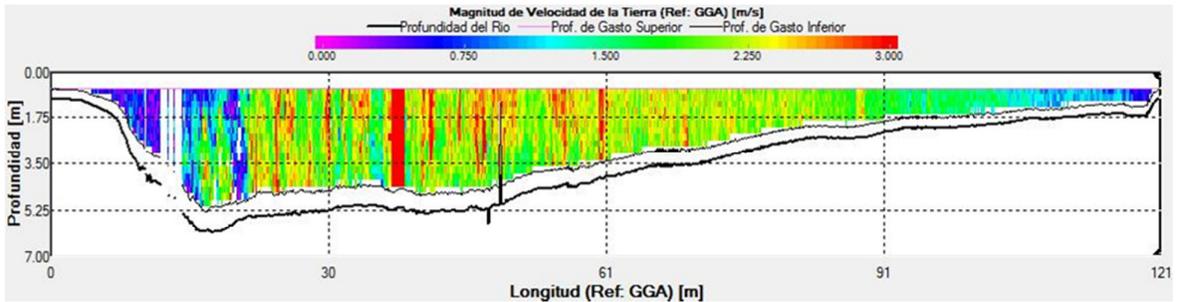


Figura 10: Campo de Velocidades de Flujo [m/s] registrado con ADCP “Workhorse Río Grande” de 1200 kHz de frecuencia, utilizando una plataforma móvil. Las progresivas indican distancia desde margen izquierda.

5.3 Resultados de la implementación de la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV)

La Figura 11 muestra los perfiles de velocidad superficiales de la sección aforada. Los datos de ADCP utilizado son los datos de la primera fila de celdas la más cercana del superficie del agua (0.14 m).

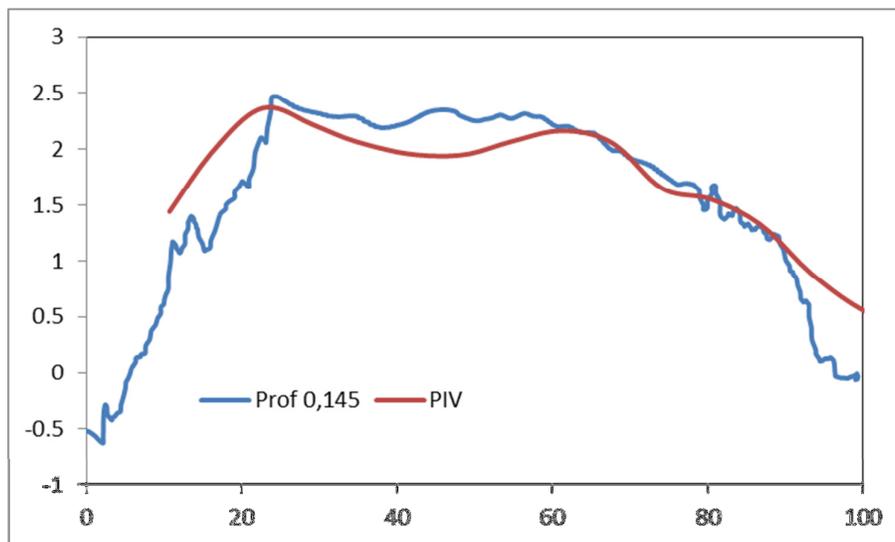


Figura 11: Perfiles de velocidad superficiales de la sección aforada con ADCP y PIV

El caudal estimado a partir del perfil de velocidad superficial de PIV y la batimetría medida con ADCP cae entre $582 \text{ m}^3/\text{s}$ y $643 \text{ m}^3/\text{s}$ con $\alpha=0.85$ y $\alpha=0.94$ respectivamente.

6.- Conclusiones

Los instrumentos y las metodologías experimentales adoptadas permitieron una precisa caracterización y cuantificación de los caudales escurridos. Cada dispositivo experimental presenta aspectos positivos y negativos que deben evaluarse.

- El Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) “River Surveyour S5” registró datos de velocidad de flujo en toda la sección transversal del río en la sección de aforo a pesar de los altos niveles de sedimento en suspensión. La información registrada se extiende a los aproximadamente primeros 2.5m de la columna de agua medidos desde la superficie libre. Sin embargo no fue posible registrar información de profundidades ni velocidades de flujo en la sección mas profunda del cauce donde se presentan altos niveles de turbulencia. La información registrada en la porción superior de la columna de agua podría ser utilizada para estimar caudales adoptando funciones de extrapolación. Este instrumento resulta óptimo para esta sección para condiciones de aguas medias y bajas.
- Los Perfiladores “Workhorse Río Grande” de ambas frecuencias (600 kHz y 1200 kHz) demostraron ser aptos para determinar el caudal, perfil de velocidades y morfología del fondo. El ADCP de 600 kHz presenta mayor robustez (i.e. sin perdidas de datos de velocidad ni registro del fondo) mientras que el de 1200 kHz presenta mayor resolución en los perfiles de velocidades pero con algunos problemas (pérdida de verticales, ver sobre margen izquierda en Figura 10) en zonas con altos niveles de turbulencia. El valor de caudal registrado con ambos difieren solo en un 3% ($659 \text{ m}^3/\text{s}$ y $640 \text{ m}^3/\text{s}$ para 600 kHz y 1200 kHz respectivamente, ver Tablas 3 y 4).
- La técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV), implementada con la configuración experimental y metodología descrita previamente, reprodujo en forma satisfactoria el campo de velocidades superficiales de flujo (al contrastar esta información con la registrada con el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) “River Surveyour S5”). Esta información registrada de velocidades superficiales de flujo podría ser utilizada para estimar caudales adoptando funciones o coeficientes de extrapolación. El desarrollo de esta técnica permite estimar campos medios de velocidades superficiales de flujo en condiciones experimentales adversas como las ensayadas en este trabajo.