

Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo

Informe 03 – Campaña piloto de aforos



Programa Hidráulica Computacional – Subgerencia Laboratorio de Hidráulica Instituto
Nacional del Agua

Proyecto INA 397
Informe LHA 03-397-21
Ezeiza, marzo de 2021

Equipo de trabajo (por orden alfabético)

Programa Hidráulica Computacional – Subgerencia Laboratorio de Hidráulica – Instituto Nacional del Agua

Dr. Ing. Pablo E. García | Ing. Santiago Guizzardi | Ing. Leandro Kazimierski | Ing. Marina Lagos | Mayra Morale | Lic. Nicolás Ortiz | Msc. Ing. Mariano Re | Ing. Martín Sabarots Gerbec

Subgerencia Centro de la Región Semiárida – Instituto Nacional del Agua

Dr. Ing. Carlos G. Catalini | Ing. Giuliana Elcano | Msc. Ing. Ana I. Heredia Ligorria | Geol. Nadia Mortarino

Informe realizado por:

Pablo E. García

Mayra Morale

Nicolás Ortiz

Tabla de contenido

1	Introducción.....	5
1.1	Informe de campaña piloto de aforos	6
2	Campaña piloto de aforos.....	7
2.1	Técnicas de aforos líquidos.....	8
2.1.1	Velocímetro acústico Doppler (ADV)	9
2.1.2	Perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP).....	9
2.1.3	Metodología LSPIV.....	12
2.2	Resumen de actividades y resultados de la campaña piloto de aforos.....	14
2.3	Conclusiones y recomendaciones.....	16
	Anexo A. Detalle de los aforos de la campaña piloto.....	17
A.1.	EM01.....	18
2.3.1	Aforo con ADCP	19
2.3.2	Aforo mediante la técnica LSPIV	20
2.3.3	Comparación con registros históricos.....	21
A.2.	EM06.....	22
2.3.4	Aforo con ADCP	22
2.3.5	Comparación con registros históricos.....	24
A.3.	EM08.....	25
2.3.6	Aforo mediante la técnica LSPIV	25
A.4.	EM11.....	28
2.3.7	Aforo mediante la técnica LSPIV	29
2.3.8	Comparación con registros históricos.....	30
A.5.	EM12.....	31
2.3.9	Aforo con ADCP	31
2.3.10	Comparación con registros históricos.....	33
A.6.	EM17.....	34
2.3.11	Aforo con ADCP	34
A.7.	EM63.....	36

2.3.12	Aforo mediante la técnica LSPIV	36
2.3.13	Comparación con registros históricos.....	37

1 Introducción

El monitoreo de parámetros ambientales dentro de la Cuenca Matanza Riachuelo (CMR) es de suma importancia para la definición de acciones a realizar por la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) en búsqueda de cumplir los objetivos propuestos en el Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISA).

Los estudios de la calidad de agua superficial y subterránea, sedimentos y aire, se llevan a cabo en la red de estaciones de monitoreo puntual y continuo extendidas a lo largo de toda la CMR. La información obtenida a partir de dichos estudios constituye un conjunto de herramientas de gestión fundamental para evaluar los impactos que generan las acciones planificadas en materia de reducción de las fuentes de contaminación sobre la calidad ambiental de la Cuenca.

Para monitorear la calidad del agua superficial, ACUMAR estableció una red que incluye puntos sobre el río principal Matanza Riachuelo, sus afluentes, distintos arroyos a lo largo de la extensión aguas arriba y hasta sus nacientes, involucrando a las 14 subcuencas que conforman la Cuenca Hídrica del Matanza Riachuelo.

El presente proyecto tiene por objetivo principal darle continuidad al monitoreo integrado y simultáneo de calidad de agua superficial y caudales que viene realizando la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) en forma sistemática desde el año 2013 y discontinuado a partir de 2018. Para eso se plantean 3 Campañas de aforos en diferentes estaciones de la red.

Los aforos previstos para cada una de las Campañas se efectuarán utilizando diferentes técnicas, entre las que se destacan aquellas que utilizan tecnología Doppler como es el caso de ADV (*Acoustic Doppler Velocity*) y ADCP (*Acoustic Doppler Current Profilers*) y una nueva tecnología de medición indirecta de velocidades superficiales del agua, a partir de la utilización de cámaras terrestres, aéreas e incluso radares, que permiten estimar caudales líquidos mediante el postprocesamiento de los videos registrados. Para esta última tecnología, denominada velocimetría por imágenes, se usará como algoritmo de análisis el denominado '*Large Scale Particle Image Velocimetry*' (LSPIV).

Adicionalmente a las campañas mencionadas previamente, durante el Proyecto se realizará un análisis de datos y curvas H-Q en una serie de estaciones, con vistas a un diagnóstico de dichas curvas y optimización de las mismas cuando sea posible.

1.1 Informe de campaña piloto de aforos

En el presente informe se describen los aforos realizados en 7 estaciones de la red de monitoreo de calidad y caudal del agua superficial de ACUMAR. Estos aforos se corresponden a la campaña piloto, cuya finalidad fue ajustar las técnicas de aforo y los tiempos de medición. Los aforos realizados en la campaña piloto se llevaron a cabo utilizando el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés) y la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPiV por sus siglas en inglés).

2 Campaña piloto de aforos

Previo a las campañas de aforo en simultáneo con muestreo de calidad, se realizó una campaña piloto de aforos en una serie de estaciones con el objetivo de ajustar las técnicas y tiempos de medición, en particular de la metodología LSPIV, y evaluar su performance.

La campaña piloto de aforos se realizó entre los días 04 y 22 de diciembre de 2020, en conjunto con la campaña de recorrida inicial. Los aforos se realizaron en las 5 estaciones definidas en el Convenio INA- ACUMAR: MatyRut3-1, AgMolina-6, ArroMora -8, AutoRich-12 y PteLaNor-17. Adicionalmente se realizaron aforos en las estaciones ArroDMar-11 y ArroOrt2-63. Las estaciones aforadas se presentan en la Figura 2.1.

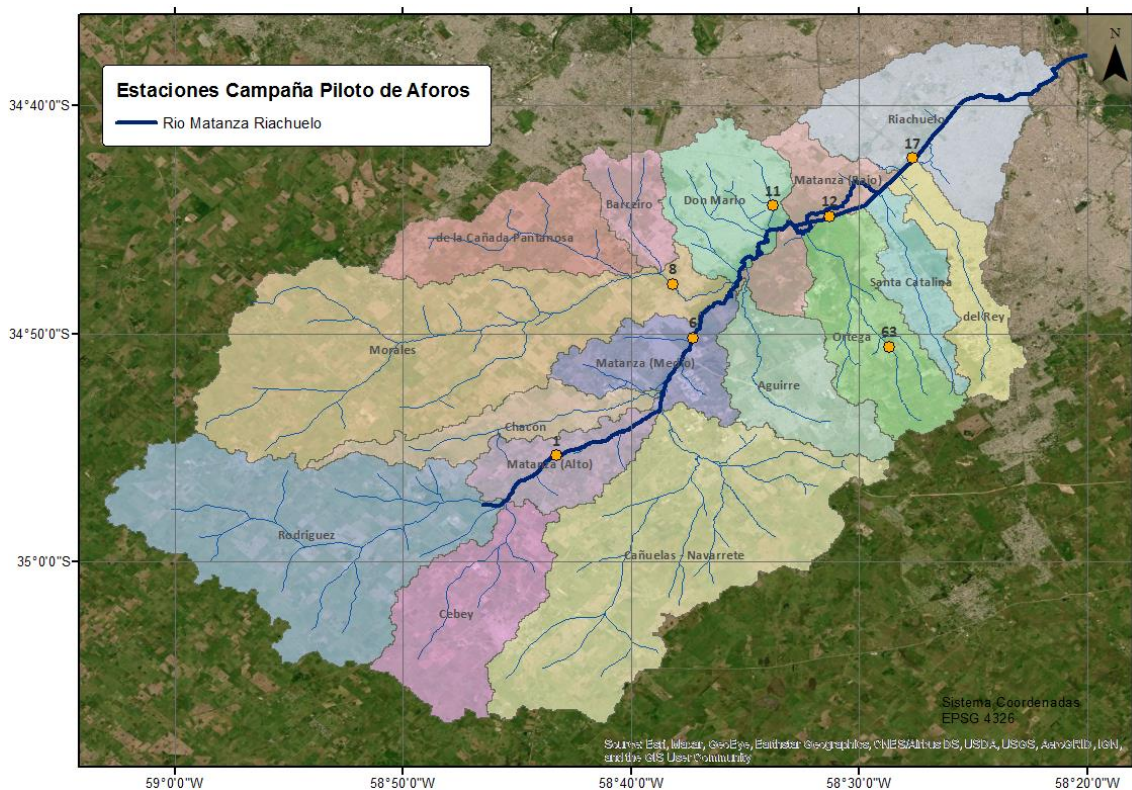


Figura 2.1. Estaciones incluidas en la campaña piloto de aforos.

2.1 Técnicas de aforos líquidos

Las técnicas de aforos líquidos en ríos y arroyos históricamente se han basado en métodos mecánicos, electromagnéticos o acústicos que requieren contacto con el flujo para la medición. Diversos problemas (seguridad, logística, interferencias en la medición, etc.) limitan la aplicabilidad de estos métodos convencionales, por lo que en las últimas décadas se han desarrollado métodos no intrusivos basados en la detección remota de la velocidad de la superficie del agua utilizando análisis de secuencias de imágenes y radares Doppler, entre otros¹.

En el marco de las actividades de aforos líquidos realizadas en el ámbito de la cuenca Matanza-Riachuelo las metodologías utilizadas principalmente han sido las hidroacústicas. Específicamente, según el requerimiento de las secciones relevadas en la cuenca, como instrumentos de medición han sido utilizadas técnicas de medición con ADV (velocímetro acústico Doppler; Acoustic Doppler Velocity) y ADCP (perfilador de corriente acústico Doppler; Acoustic Doppler Current Profiler). La implementación de estas tecnologías basadas en el efecto Doppler (respecto de otras tradicionales como el uso de molinetes) permiten obtener velocidades del flujo con mayor precisión, y han significado una mejora sustantiva en las observaciones a partir de una mejor caracterización del flujo, disminuyendo los tiempos operativos y favoreciendo las mediciones en cursos particulares. El ADV registra puntualmente series temporales de las tres componentes del vector velocidad del flujo y generalmente se aplica en cauces pequeños (estimación de caudal, caracterización de turbulencia, estudios en capa límite; entre otros usos). El ADCP también permite medir las tres componentes de la velocidad del flujo a través de un perfil, pero se lo utiliza en cauces naturales o artificiales con valores de profundidad mayores.

Las principales técnicas de velocimetría por imágenes, los métodos no intrusivos más desarrollados, son las denominadas velocimetría por imágenes de partículas (PIV, Particle Tracking Velocimetry), velocimetría por seguimiento de partículas (PTV, Particle Tracking Velocimetry), y su implementación a gran escala (LSPTV y LSPIV, siendo LS en el acrónimo Large Scale). Estas técnicas de medición permiten caracterizar el campo de velocidades de flujos con alta resolución temporal y espacial mediante un análisis en el que se cuantifica el desplazamiento en el flujo de partículas sembradas (trazadores) o de patrones superficiales². El abordaje que realiza PIV es de tipo euleriano (comparando desplazamientos de patrones superficiales o grupos de partículas) y el de PTV es de tipo lagrangiano (donde se sigue a cada partícula/trazador individualmente).

A pesar de que las técnicas de velocimetría por imágenes resultan adecuadas para gran variedad de condiciones de flujo, presentan algunas limitaciones que tienen que ver con las condiciones de luminosidad sobre el curso de agua o las características de los trazadores o las estructuras superficiales, entre otras. En el marco del presente proyecto se realizará una

¹ Tauro et al. (2016). "A novel permanent gauge-cam station for Surface flow observations on the Tiber River". *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems* 5.1, págs. 241-251.

² Patalano, A., C. M. García y A. Rodríguez (2017). "Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV)". *Computers & Geosciences* 109, págs. 323-330.

pormenorizada evaluación de su aplicabilidad en distintas secciones de la red de estaciones de monitoreo.

A continuación se presenta el detalle de los equipos y técnicas utilizadas en las campañas de aforos como así también un resumen de sus funcionamientos.

2.1.1 Velocímetro acústico Doppler (ADV)³

El velocímetro acústico Doppler, ADV por sus siglas en inglés, mide localmente velocidades tridimensionales del flujo, utilizando el principio de corrimiento de fase Doppler. El emisor de sonido genera una señal acústica en una frecuencia conocida que se propaga a través del agua a lo largo de su eje, y es reflejada por partículas presentes en el agua (sedimento, organismos pequeños, burbujas), que se asume se desplazan a la velocidad del agua y deben tener inercia muy pequeña. Una cierta porción de la energía reflejada vuelve a lo largo de los ejes de los receptores, la señal es registrada y procesada por los distintos componentes del ADV para determinar el cambio de frecuencia debido al efecto Doppler. El ADV mide localmente las velocidades del flujo en un pequeño volumen de medición localizado entre 5 y 10 cm del instrumento, dependiendo del modelo de ADV. El rango de velocidad que el instrumento es capaz de monitorear es programable por el usuario, y los valores máximos de ese rango pueden alcanzar el valor de ± 400 cm/s.

En este proyecto se utilizó el ADV *FlowTracker2 Sontek* (ver Figura 2.2) cuyas principales características se presentan a continuación:

- Rango de velocidad de flujo a medir: 0,001 a 4,0 m/s (precisión: $\pm 1\%$ del valor medido, $\pm 0,25$ cm/s)
- Rango de profundidad de trabajo: 0,02 a 10,0 m (resolución 0,001 m)
- Frecuencia: 10 MHz

2.1.2 Perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP)⁴

En las presentes campañas se utilizó un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) *RiverSurveyor M9*, fabricado por SonTek. El ADCP provee información batimétrica (profundidad) de la sección y de las velocidades del flujo en tres direcciones ortogonales. Este instrumento mide la velocidad del agua utilizando el principio físico llamado cambio de frecuencia Doppler. Un transductor genera un pulso de sonido a una frecuencia conocida que se propaga a través del agua. Este se refleja en todas las direcciones por las partículas que se encuentran en suspensión (sedimento, materia orgánica, etc.). Una porción de la energía reflejada vuelve hacia el transductor donde es recibida por éste y el ADCP mide el cambio de frecuencia de la señal de

³ Adaptado de Heredia, A. (2017). Caracterización del transporte de sedimentos en un tramo del río Tercero (Ctalamochita) utilizando tecnología acústica doppler. Tesis de Maetría.

⁴ Adaptado de Heredia, A. (2017). Caracterización del transporte de sedimentos en un tramo del río Tercero (Ctalamochita) utilizando tecnología acústica doppler. Tesis de Maetría.

retorno (Figura 2.3). Este cambio de frecuencia, medido por cada transductor, se traduce en la velocidad del agua en la dirección radial del mismo.



Figura 2.2. ADV FlowTracker2 Sontek con sus diversos componentes (izquierda) y utilización del equipo en los aforos del presente proyecto (derecha).

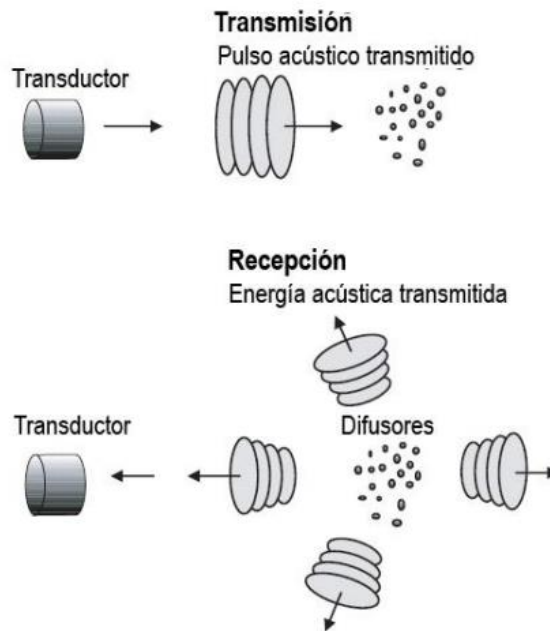


Figura 2.3. Funcionamiento del equipo ADCP⁵.

⁵ Simpson, M. R. (2001). "Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler". Open File Report 01-1, United States Geological Survey, Sacramento, California

El ADCP SonTek RiverSurveyor M9 tiene un conjunto dual de cuatro sensores inclinados 25° con respecto a la vertical (Figura 2.4) en una configuración denominada “Janus” (mirando en direcciones opuestas) que emiten pulsos acústicos mediante los cuales puede medirse la velocidad en tres direcciones (el sistema de cuatro rayos provee información redundante en una dirección, generalmente la vertical, que permite determinar la calidad de la medición

Un conjunto de sensores del ADCP RiverSurveyor M9 opera con una señal acústica de 3,0 MHz mientras que el otro conjunto de cuatro sensores lo hace con 1,0 MHz. Además, este equipo posee un rayo acústico vertical que envía señales a una frecuencia menor (0,5 MHz) lo que le permite tener un mayor alcance en profundidad (Figura 2.4). Su función es medir las profundidades y obtener la batimetría y topografía del fondo de la sección. Este instrumento puede ser comandado desde una computadora personal o bien con un teléfono celular, ambos dispositivos capaces de registrar los datos medidos. Para realizar la medición y visualizar los resultados obtenidos con el ADCP se utiliza el programa computacional llamado RiverSurveyor Live. Este programa permite configurar el instrumento y registra toda la información enviada por el equipo, generando resultados en forma de tablas, gráficos e imágenes, permitiendo además exportar los resultados a otros programas para un análisis más detallado.

Las especificaciones técnicas del ADCP se presentan a continuación:

- Rango de velocidad de flujo a medir: hasta 20,0 m/s (precisión: $\pm 0,25\%$ del valor medido, $\pm 0,2$ cm/s)
- Rango de profundidad de trabajo: 0,3 a 40,0 m con Bottom Track y 0,3 a 80,0 m con RTK GPS (resolución 0,001 m)
- Frecuencia: 10 MHz
- 9 Transductores: 4 rayos de 3,0 MHz inclinados 25°, 4 rayos de 1,0 MHz inclinados 25° y un rayo vertical de 0,5 MHz



Figura 2.4. Configuración de los sensores del ADCP RiverSurveyor M9 (izquierda) y utilización del equipo en los aforos del presente proyecto (derecha)

2.1.3 Metodología LSPIV

La metodología LSPIV de medición de caudales se implementa a partir de la obtención de una videofilmación estática de la superficie de un curso de agua, con una duración de registro suficiente como para obtener parámetros estadísticos representativos que permitan la evaluación del desplazamiento de estructuras de flujo y/o trazadores superficiales. Luego, la selección de fotogramas (o frames por su nombre en inglés) del video con una discretización temporal constante, permite realizar distintos tipos de procesamientos y/o análisis para obtener la velocidad superficial del flujo.

Conocida la batimetría se una sección transversal y con el campo de velocidades en superficie, asumiendo que la distribución de velocidades en la columna de agua presenta una distribución logarítmica estándar, se puede obtener interpolando el perfil en cada punto de la misma. Finalmente, con esta información se puede calcular el caudal total en la sección. En la Figura 2.5 se presenta un esquema simplificado del campo de velocidades superficiales obtenido con LSPIV y los perfiles verticales de velocidad estimados en una sección transversal conocida.

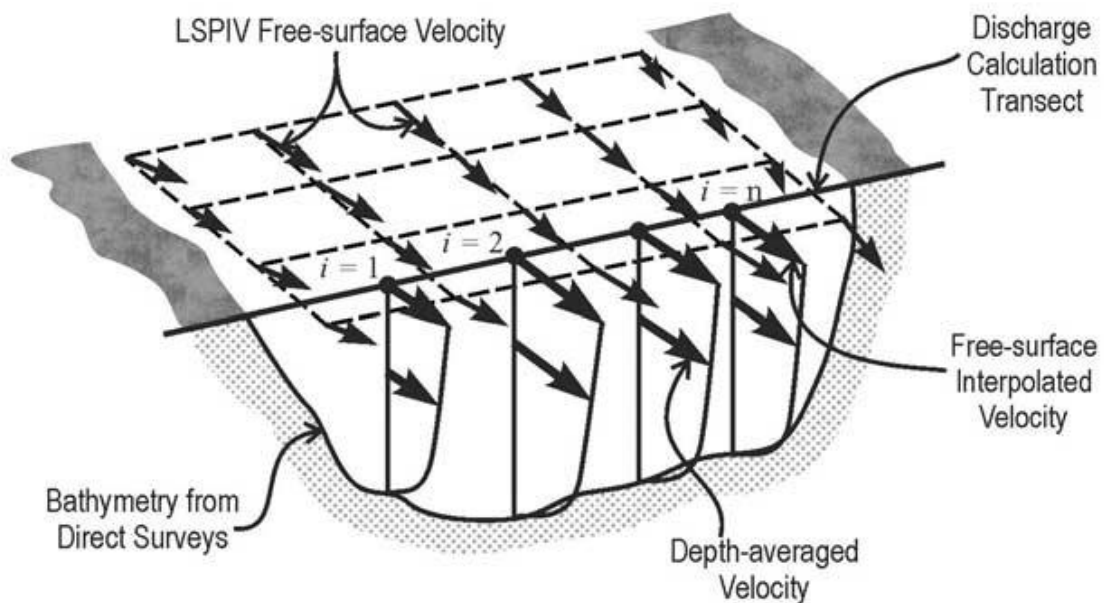


Figura 2.5. LSPIV - Esquema de velocidades superficiales observadas e interpolación en una sección transversal conocida⁶.

La toma de los videos consiste en una etapa fundamental de la aplicación de esta técnica. Las filmaciones pueden ser ocasionales (generalmente de baja calidad) y/o planificadas. Para estas últimas se considera la posibilidad de realizarlas mediante la utilización de cámaras de video fijas (en trípodes o estructuras ad-hoc) o cámaras en VANTs (drones).

⁶ Muste, M., I. Fujita y A. Hauet (2008). "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". Water Resources Research 44.4.

Para una correcta aplicación de la técnica LSPIV, en caso de no poder registrar un flujo con patrones de escurrimiento superficiales dinámicos, es necesario contar con trazadores identificables en la superficie, de lo contrario el cálculo de velocidades no resulta con una adecuada precisión. La selección de trazadores debe realizarse considerando una densidad similar a la del líquido y preferentemente de forma esférica. El movimiento de trazadores muy livianos puede verse afectado por la acción del viento, mientras que trazadores de densidad excesiva pueden hundirse dificultando su detección. Las partículas elegidas deben ser capaces de seguir el movimiento superficial del fluido y de no interrumpirlo.

La estimación de las velocidades superficiales del flujo, en el marco de la etapa de procesamiento de imágenes, resulta posible utilizar una variedad de algoritmos de acuerdo al software que se utilice. En el proyecto se utilizarán dos softwares: RIVER⁷ y Fudaa⁸

En el proceso de cálculo de caudal, dado que la velocidad superficial en un curso de agua resulta representativa de la velocidad promediada en la vertical, resulta necesario determinar el coeficiente α que relaciona a ambos valores (Figura 2.6). Este coeficiente α depende de la forma del perfil vertical de velocidades y de la geometría de la sección (relación de aspecto: ancho sobre radio hidráulico) y además puede verse afectado por los números de Froude y Reynolds y la micro y macro rugosidad de fondo⁹.

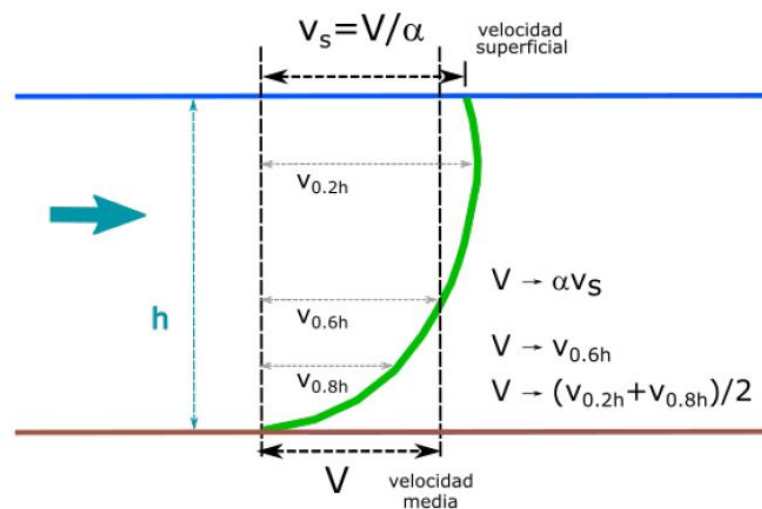


Figura 2.6. Perfil vertical teórico de velocidad.

⁷ Patalano, A., C. M. García y A. Rodríguez (2017). "Rectification of Image Velocity Results (RIVER): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV)". Computers & Geosciences 109, págs. 323-330.

⁸ Perks et al. (2020). "Towards harmonisation of image velocimetry techniques for river surface velocity observations". En: Earth System Science Data 12.3

⁹ Muste, M., I. Fujita y A. Hauet (2008). "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". Water Resources Research 44.4.

2.2 Resumen de actividades y resultados de la campaña piloto de aforos

Los aforos de la campaña piloto se realizaron utilizando el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés) y la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV por sus siglas en inglés).

La implementación de la técnica LSPIV implica materializar en la sección de aforo de 2 a 6 puntos de referencia de los cuales se deben conocer las coordenadas o las distancias entre sí. Esto se logró colocando conos en las márgenes o marcando puntos en estructuras aledañas al curso de agua y midiendo sus coordenadas con el GPS Diferencial o sus distancias con una cinta métrica.

El resumen de los resultados de la campaña piloto de aforos se presenta en la Tabla 2.1. Los datos informados son: Fecha y hora del aforo, técnica utilizada, nivel de la escala (en los casos donde las mismas se encontraban en correctas condiciones), cota IGN de la superficie del curso de agua, caudal aforado, incertidumbre asociada al caudal aforado, área total de la sección, ancho total de la sección, profundidad media y velocidad media.

El detalle del aforo en cada una de las estaciones junto con el registro fotográfico del mismo se puede encontrar en el Anexo A que acompaña este informe.

Tabla 2.1. Resultados de los aforos realizados en la campaña piloto

Estación		Fecha	Hora	H escala	Nivel IGN	Método de aforo	Q	Incertidumbre aforo	Área total	Ancho Total	Vel. media	Prof. media
N°	Código			[m]	[m IGN]		[m ³ /s]	[%]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m]
01	MatyRut3- 1	11/12/2020	14:05	0,80 ± 0,01	10,68 ± 0,03	ADCP	0,45	5,2	3,25	8,80	0,14	0,37
						LSPIV	0,44	-				
06	AgMolina- 6	04/12/2020	10:42	1,40 ± 0,01	4,30 ± 0,03	ADCP	1,77	4,9	16,38	19,20	0,11	0,85
08	ArroMora- 8	11/12/2020	11:42	-	4,39 ± 0,03	LSPIV	0,35	-	2,73	11,79	0,13	0,23
11	ArroDMar- 11	09/12/2020	11:50	1,15 ± 0,01	2,96 ± 0,03	LSPIV	1,79	-	11,80	12,82	0,15	0,92
12	AutoRich- 12	04/12/2020	11:45	0,61 ± 0,01	1,06 ± 0,03	ADCP	4,42	6,1	36,34	41,86	0,12	0,87
17	PteLaNor- 17	18/12/2020	12:53	-	-	ADCP	10,17	5,9	47,82	56,77	0,21	0,84
63	ArroOrt2- 63	22/12/2020	13:30	0,08 ± 0,01	11,95 ± 0,03	LSPIV	0,083	-	1,27	6,03	0,07	0,21

2.3 Conclusiones y recomendaciones

La campaña de aforos piloto permitió ajustar los tiempos y técnicas de aforo optimizando la performance esperada en las campañas de aforo en simultáneo con muestreo de calidad.

Se pudieron realizar los aforos en las cinco estaciones previstas. Adicionalmente a lo establecido en el Convenio INA-ACUMAR, se midieron los caudales en las estaciones EM11 ArroDMar y EM63 ArroOrt2.

La performance de los aforos utilizando LSPIV fue satisfactoria. En la estación EM01 MatyRut3 se aforó con LSPIV y ADCP para comparar ambas técnicas. Los resultados obtenidos con las dos técnicas fueron consistentes entre sí, mostrando diferencias entre ambos del orden del 3%.

Los resultados obtenidos con la técnica LSPIV pueden verse sensiblemente afectados por la presencia de algas o de residuos sólidos flotantes (al modificar el transporte de los trazadores). En estos casos se recomienda para las futuras campañas cambiar la sección de aforo (como se hizo en la EM11 ArroDMar) o la utilización de otra técnica de aforo (ADV o ADCP).

Anexo A. Detalle de los aforos de la campaña piloto

A.1. EM01

El día 11/12/2020 a las 12:05 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente a la campaña piloto. La sección se encontraba con un correcto mantenimiento de la vegetación en la margen derecha siendo fácil el acceso al curso del río Matanza desde dicha margen. Por el contrario, la margen izquierda presentaba una abundante vegetación que imposibilitaba el acceso al río. Se encontraron todos los tramos de las escalas. El tramo 1, ubicado en el curso de agua sobre un perfil hincado, presentaba una importante cantidad de ramas y vegetación que obstaculizaba su lectura¹⁰.

Las principales tareas realizadas consistieron en aforar el curso utilizando el equipo ADCP y filmar con dron el transporte de trazadores (viruta de madera) para la posterior aplicación de la técnica LSPIV. La campaña se desarrolló entre las 12:15 hs y las 14:30 hs. El aforo con ADCP se realizó en la sección ubicada entre los puentes viales de la RN3. La sección de aforo con LSPIV se ubicó aguas abajo de ambos puentes. (Figura A.1).

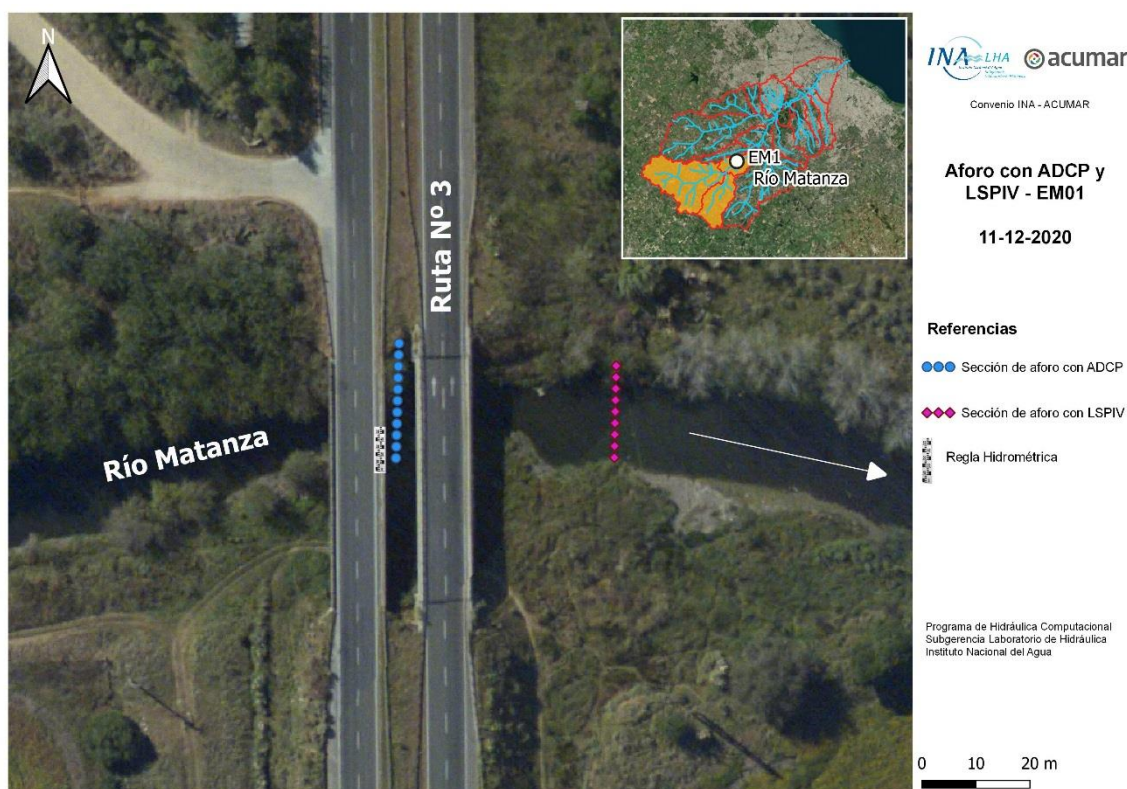


Figura A.1. Secciones de aforo en la EM01.

¹⁰ INA, 2021. Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 02 – Campaña de reconocimiento inicial. Informe SLHA 02-397-21. Ezeiza, marzo de 2021

El curso del río Matanza se encontraba en una situación de aguas bajas. En la Figura A.2.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,80 \pm 0,01$ m a las 14:05 (correspondiente a una cota $10,68 \pm 0,03$ m IGN) (Figura A.2.b).

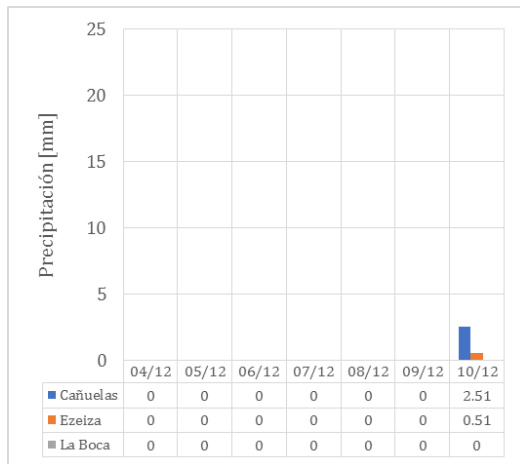


Figura A.2. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica de la EM01 (derecha).

2.3.1 Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un hydroboard guiado mediante sogas desde ambos márgenes del curso de agua (ver Figura A.3). Se realizaron ocho pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 5,2%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.4.



Figura A.3. Aforo con ADCP en la EM01.

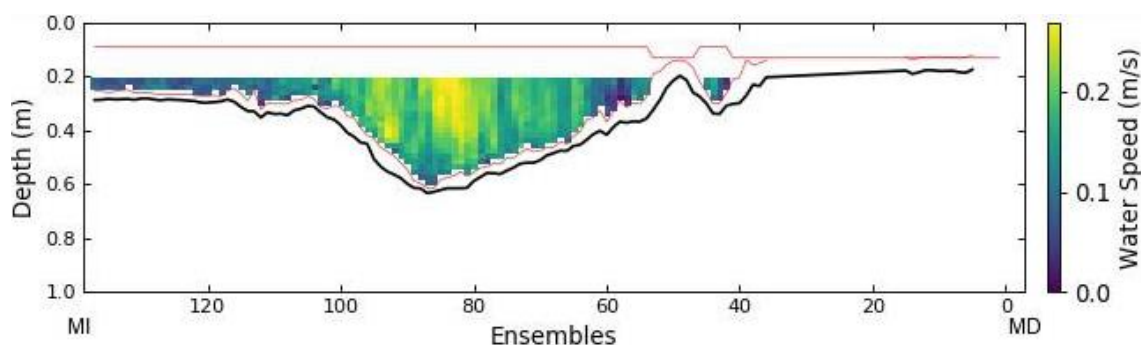


Figura A.4. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM01 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

2.3.2 Aforo mediante la técnica LSPIV

Para llevar adelante la técnica se midieron con una cinta métrica las distancias entre los 4 puntos fijos dispuestos a nivel de agua. Los puntos fijos fueron materializados con conos plásticos. Los trazadores, compuestos por partículas de madera, fueron lanzados desde el puente vial de la RN3 (Figura A.5). La Figura A.6 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa, donde las velocidades máximas alcanzan los 0,20 m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de 0,44 m³/s.



Figura A.5. Vista aérea de los puntos fijos (conos violetas) y de los trazadores (viruta de madera) para la aplicación de la técnica LSPIV en la EM01.



Figura A.6. Campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa.

2.3.3 Comparación con registros históricos

La Figura A.7 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM01 y la comparación con los valores obtenidos en la presente campaña. Se observa que la situación hidrológica aforada se corresponde a una situación de aguas bajas.

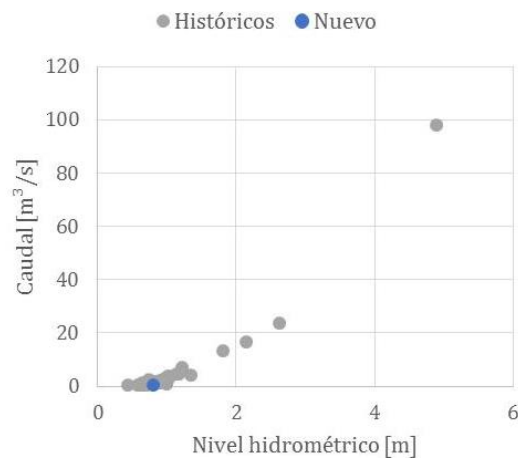


Figura A.7. Registros históricos de niveles y caudales en la EM01.

A.2. EM06

El aforo correspondiente a la campaña piloto en esta estación se realizó el día 04/12/2020. La sección de aforo se ubicó aguas abajo del puente vial de la calle Blas Parera (Figura A.8). El aforo se realizó con el equipo ADCP. El río Matanza presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.9.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $1,40 \pm 0,01$ m a las 10:42 (correspondiente a una cota $4,30 \pm 0,03$ m IGN) (Figura A.9.b).



Figura A.8. Sección de aforo en la EM06.

2.3.4 Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un hydroboard guiado mediante sogas desde ambos márgenes del curso de agua (Figura A.10). Se realizaron seis pasadas del equipo sobre la sección de aforo, seleccionándose cuatro homogéneas para el postproceso y la disminución de la incertidumbre asociada, obteniéndose un caudal medio de $1,77 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 4,9%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.11.

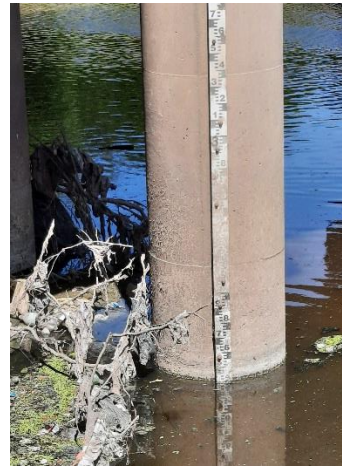
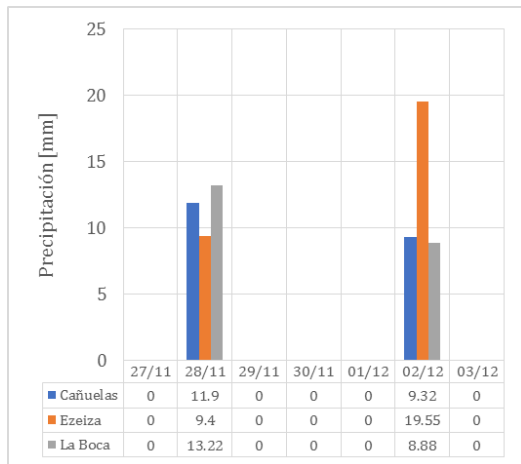


Figura A.9. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).



Figura A.10. Aforo con ADCP en la EM06.

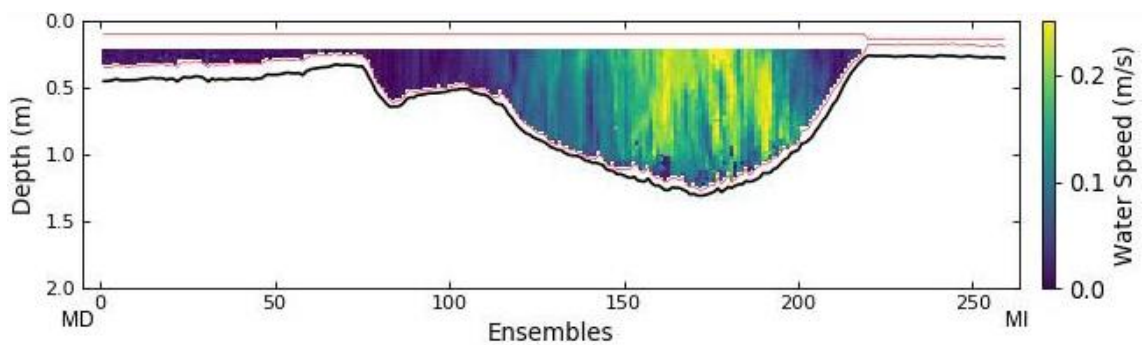


Figura A.11. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM06 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecho (MD).

2.3.5 Comparación con registros históricos

La Figura A.12 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM06 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la situación hidrológica aforada se corresponde efectivamente a una situación de aguas bajas.

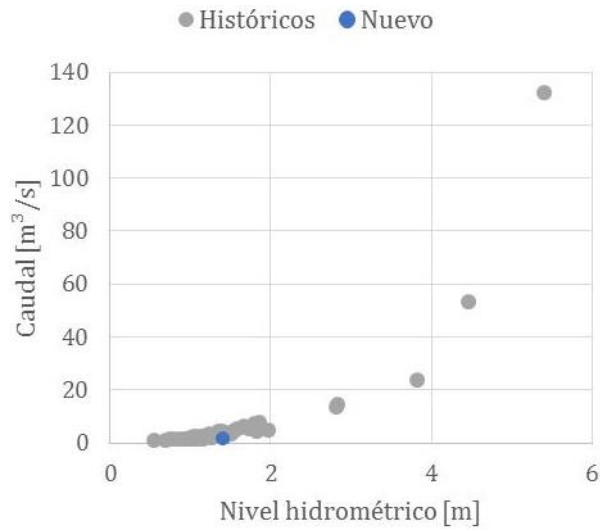


Figura A.12. Registros históricos de niveles y caudales en la EM06.

A.3. EM08

El día 11/12/2020 a las 09:40 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar la visita de campo inicial y realizar el aforo correspondiente a la campaña piloto. El aforo se realizó aguas abajo del puente de la calle Manuel Castilla Hidalgo utilizando la técnica LSPIV (Figura A.13). El arroyo Morales presentaba una situación de aguas bajas y una gran cantidad de algas en el cuerpo de agua que dificultaron el aforo, tal como se muestra en la Figura A.14. Presencia de algas y vegetación en la superficie del curso del A° Morales. En la Figura A.15.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. Se midió la cota del arroyo Morales a las 11:42 hs, siendo la misma de $4,39 \pm 0,03$ m IGN. Dado el nivel del arroyo Morales, no se pudo realizar lectura en la escala hidrométrica (nivel que se correspondía al tramo 1 de la regla que no se encuentra actualmente) (Figura A.15.b).



Figura A.13. Sección de aforo en la EM08.

2.3.6 Aforo mediante la técnica LSPIV

Para llevar adelante la técnica se midieron con una cinta métrica las distancias entre 4 puntos fijos dispuestos a nivel de agua. Los puntos fijos fueron materializados con conos plásticos. Los trazadores, compuestos por partículas de madera, fueron lanzados desde el puente vial de la calle Manuel Castilla Hidalgo. La Figura A.16 muestra el campo de velocidades superficiales

obtenido con el software RIVER, donde las velocidades máximas alcanzan los 0,30 m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de 0,35 m³/s. La presencia de algas y vegetación en la superficie del agua modificó sensiblemente el transporte de los trazadores (incluso reteniéndolos), afectando la estimación de velocidades superficiales mediante la técnica LSPiV. Se recomienda para futuras campañas de medición el uso del ADV o del ADCP en caso de que el curso de agua presente una importante cantidad de algas.

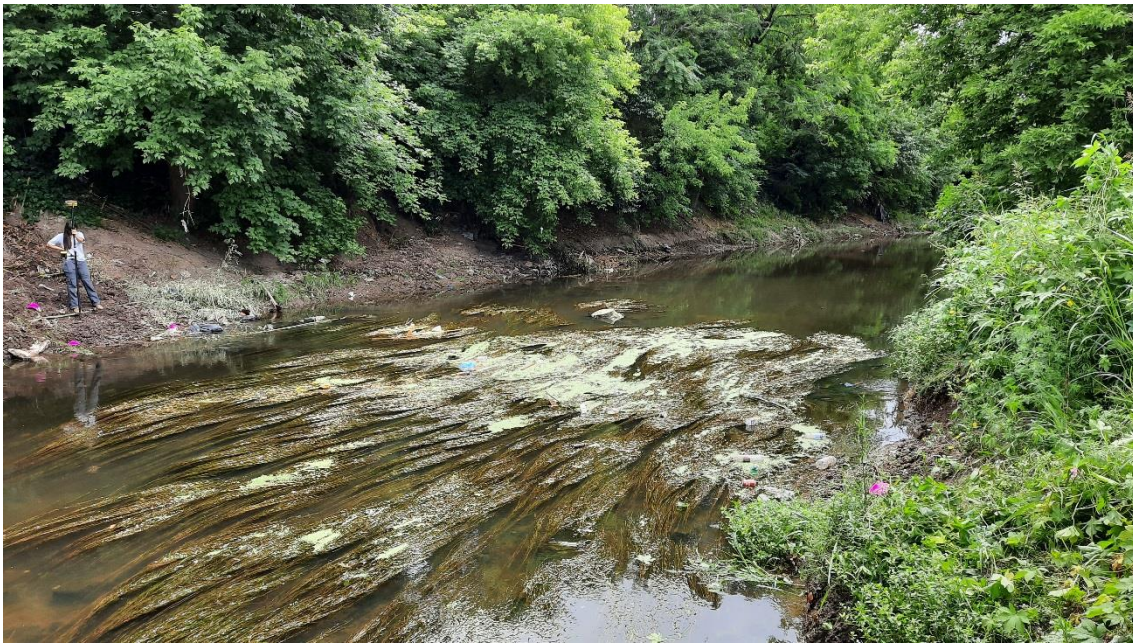


Figura A.14. Presencia de algas y vegetación en la superficie del curso del A° Morales

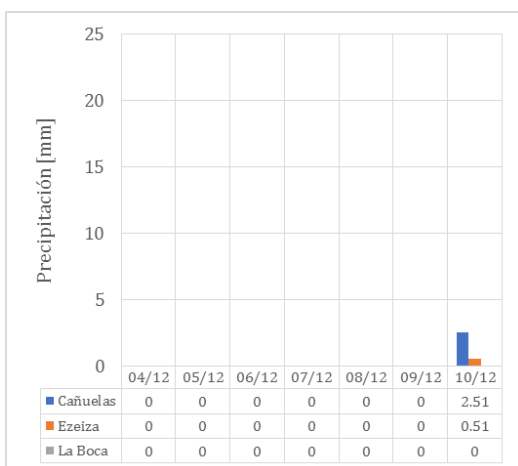


Figura A.15. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).



a) Vista aérea de los puntos fijos (conos violetas) y de los trazadores (viruta de madera)

b) Campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa

Figura A.16. Aplicación de la técnica LSPIV en la EM08

A.4. EM11

Se arribó a esta sección el día 09/12/2020 a las 11:00 hs para realizar un aforo de prueba de la técnica LSPIV sin trazadores. Este aforo no estaba incluido inicialmente en la campaña piloto establecida en el Convenio INA-ACUMAR, pero se lo presenta igualmente a modo complementario de las tareas realizadas. Se decidió que la mejor sección de aforo se encontraba aguas arriba del puente de la calle Guillermo Marconi (Figura A.17) debido a que el curso del A° Don Mario presentaba una significativa cantidad de residuos sólidos flotantes estancados aguas abajo del mismo, imposibilitando la aplicación de la técnica LSPIV (ver Figura A.18).

El nivel observado en la escala a las 11:50 hs fue de $1,15 \pm 0,01$ m, esto se corresponde a una cota de la superficie del agua del arroyo Don Mario de $2,96 \pm 0,03$ m IGN. En la Figura A.19.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa.

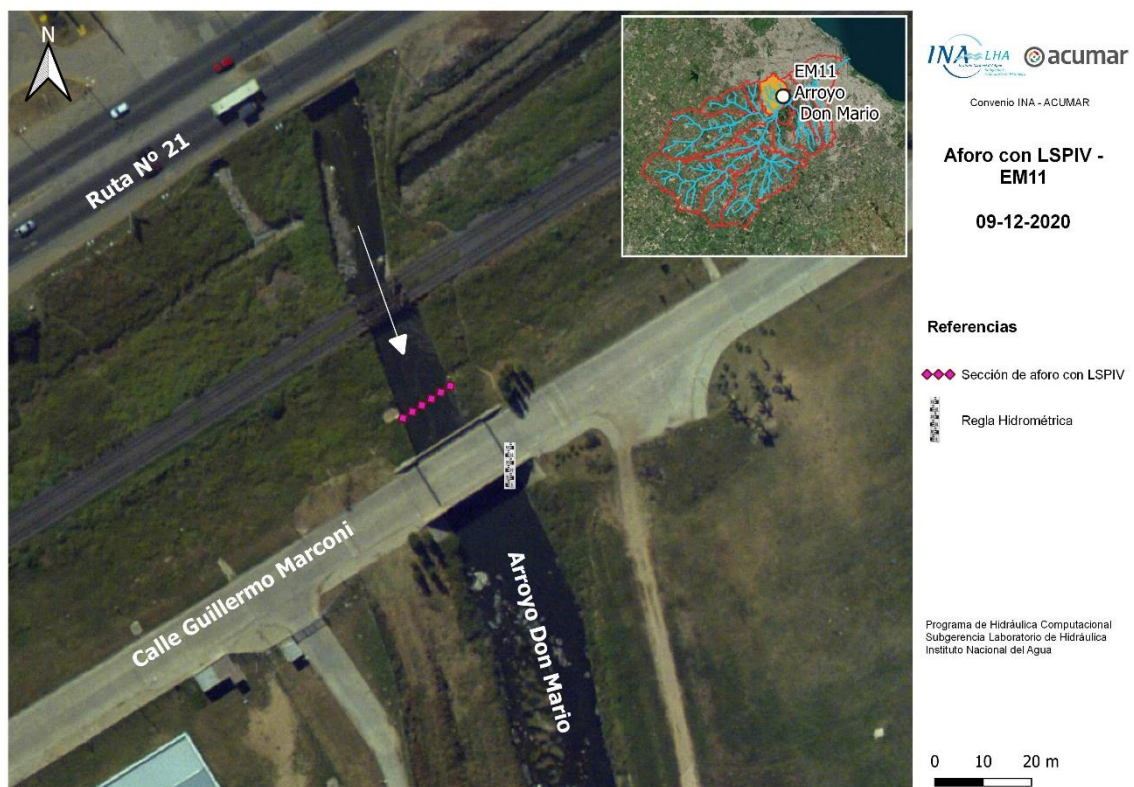


Figura A.17. Sección de aforo en la EM11.



Figura A.18. Vista de la sección de aforo de la EM11 desde aguas arriba hacia aguas abajo. Se observa fuerte presencia de residuos sólidos flotantes que pueden dificultar las campañas de aforo.

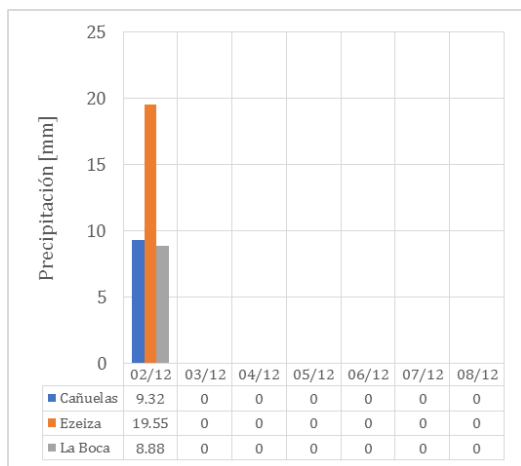


Figura A.19. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).

2.3.7 Aforo mediante la técnica LSPIV

Para llevar adelante la técnica se marcaron 10 puntos en el canal del arroyo Don Mario (ver informe 2). Las coordenadas y cotas de los mismos fueron relevadas con el GPS Diferencial. En esta oportunidad no se utilizaron trazadores adicionales. La Figura A.20 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software RIVeR, donde las velocidades máximas alcanzan los 0,35 m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de 1,79 m³/s.

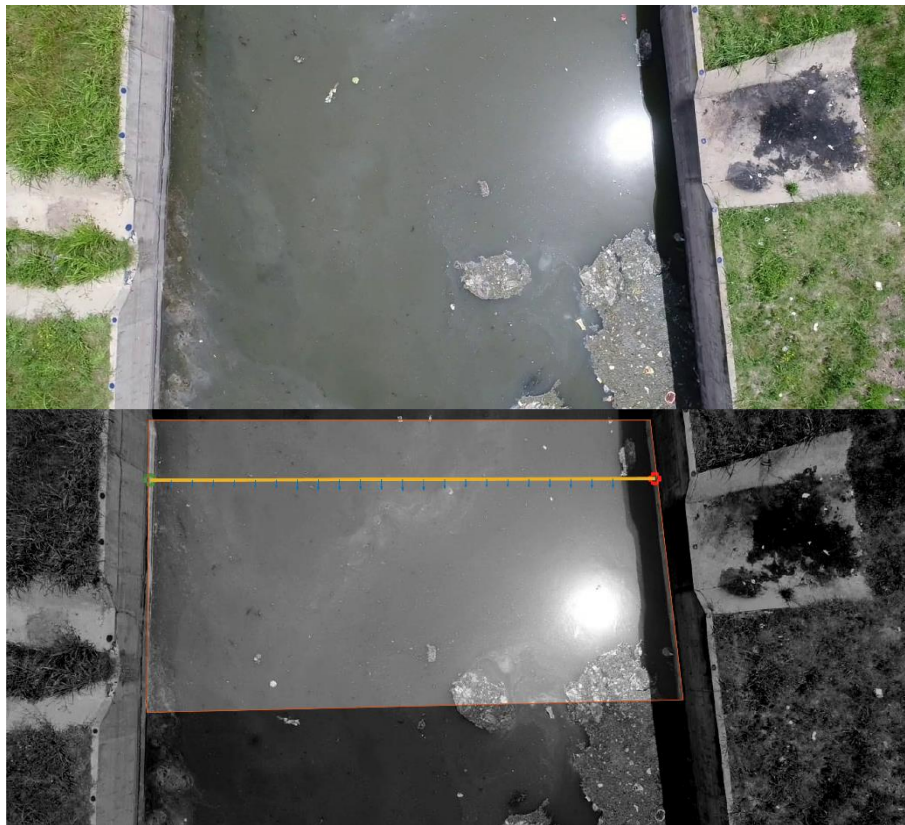


Figura A.20. Campo de velocidades superficiales en la EM11 obtenido con el software RIVER.

2.3.8 Comparación con registros históricos

La Figura A.21 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM11 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la situación hidrológica aforada se corresponde a una situación de aguas medias bajas.

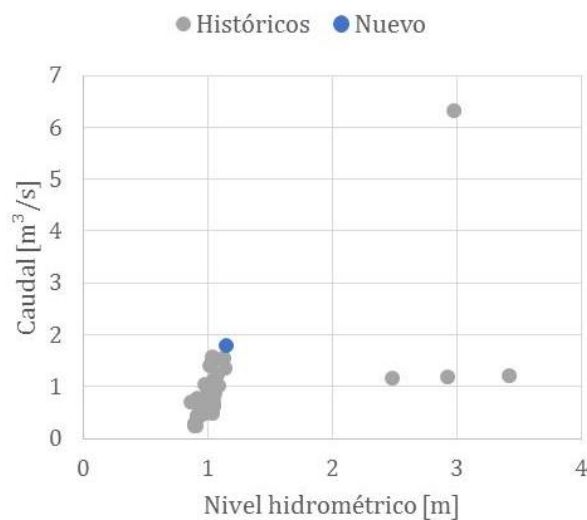


Figura A.21. Registros históricos de niveles y caudales en la EM11.

A.5. EM12

El aforo correspondiente a la campaña piloto en esta estación se realizó el día 04/12/2020 a partir de las 11:20 hs. La sección de aforo se ubicó aguas abajo del puente de la Autopista Ricchieri (ver Figura A.22). El aforo se realizó con el equipo ADCP. El río Matanza presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.23.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,61 \pm 0,01$ m a las 11:45 (correspondiente a una cota $1,06 \pm 0,03$ m IGN) (Figura A.23.b). Dado que la dinámica hídrica en esta sección puede llegar a estar afectada por los niveles del Río de la Plata, se informa el nivel registrado por el mareógrafo del Servicio de Hidrografía Naval (SHN) ubicado en el muelle del Club de Pescadores (Palermo) frente a Aeroparque. El mismo fue de 1,65 m a las 11:45.



Figura A.22. Sección de aforo en la EM12.

2.3.9 Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante una soga desde el puente de la autopista Ricchieri (ver Figura A.24). Se realizaron seis pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $4,42 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 6,1%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.25.

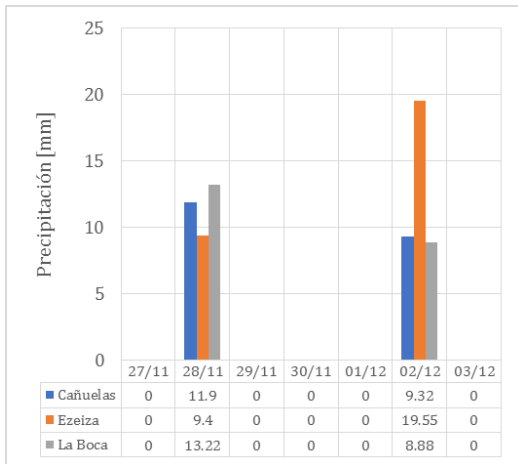


Figura A.23. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).



Figura A.24. Aforo con ADCP en la EM12.

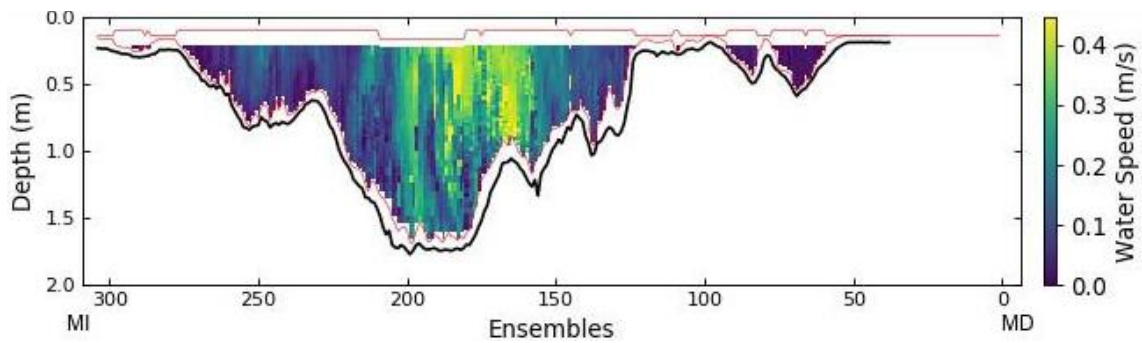


Figura A.25. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM12 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecho (MD).

2.3.10 Comparación con registros históricos

La Figura A.21 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM12 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la situación hidrológica aforada se corresponde a una situación de aguas medias bajas.

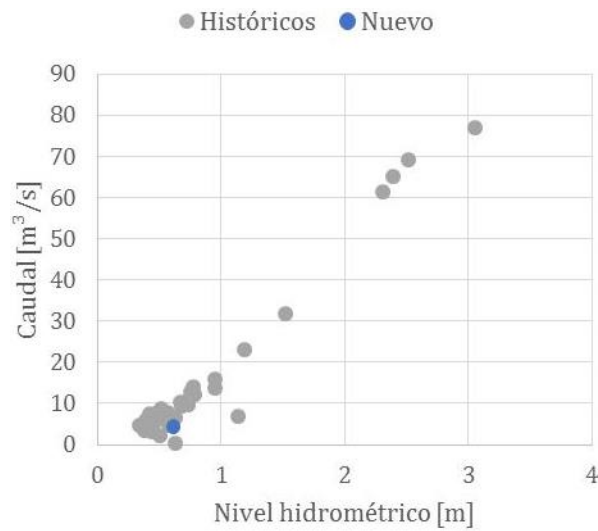


Figura A.26. Registros históricos de niveles y caudales en la EM12.

A.6. EM17

El aforo en la EM17 se realizó el día 18/12/2020 a partir de las 12:50 hs. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del antiguo Puente La Noria (Figura A.27). El aforo se realizó con el equipo ADCP. El río Riachuelo presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.28.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. No se pudo relevar la lectura de la regla hidrométrica por la vegetación trabada en la misma (Figura A.28.b).

Dado que la dinámica hídrica en esta sección está fuertemente afectada por los niveles del Río de la Plata, se informa el nivel registrado por el mareógrafo del Servicio de Hidrografía Naval (SHN) ubicado en el muelle del Club de Pescadores (Palermo) frente a Aeroparque. El mismo fue de 0,64 m a las 11:45.



Figura A.27. Sección de aforo en la EM17.

2.3.11 Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante sogas desde ambos márgenes del curso de agua (Figura A.29). Se realizaron seis pasadas del equipo sobre la sección de aforo, obteniéndose un caudal medio de 10,17 m³/s con una incertidumbre del 5,9%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.30.

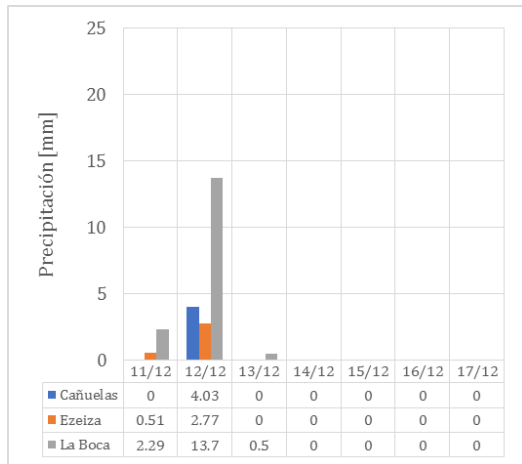


Figura A.28. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).

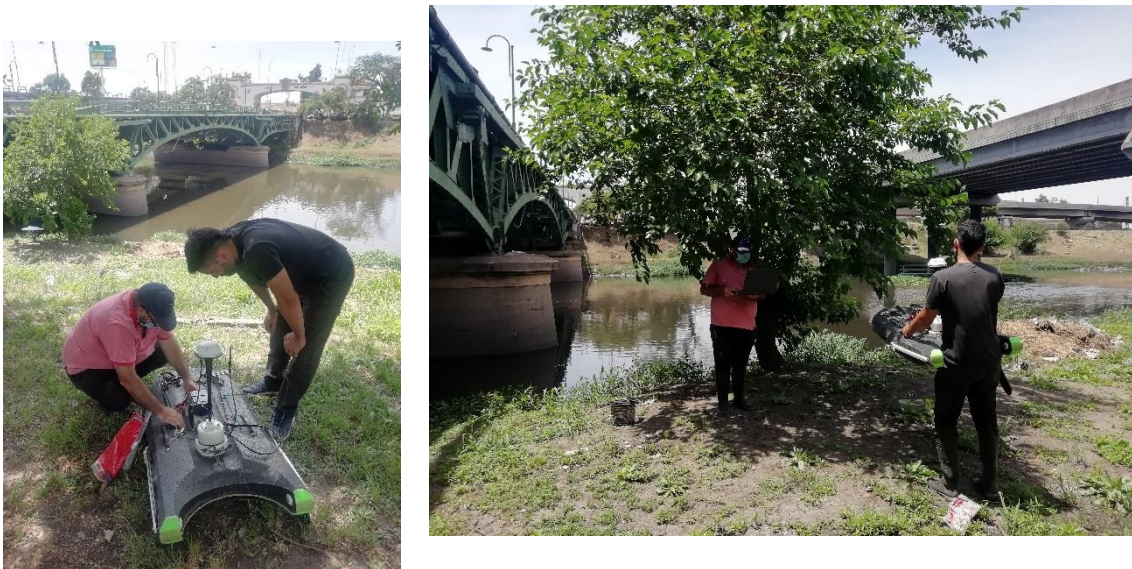


Figura A.29. Preparación del equipo ADCP previo al aforo en la EM17.

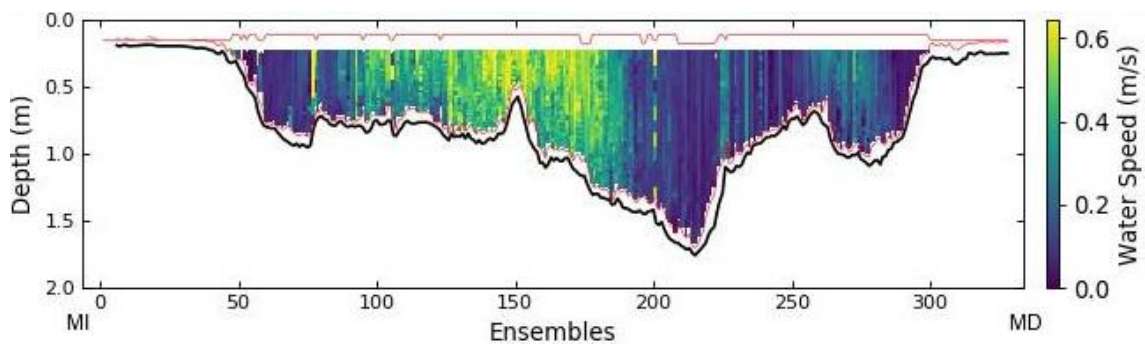


Figura A.30. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM17 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecho (MD).

A.7. EM63

Previo a la realización de la campaña piloto de aforos, el día 16/10/2020, se realizó un ensayo de la técnica LSPIV en la EM63. La sección de aforo se ubicó aguas abajo del puente vial de la calle Uruguay (Figura A.31). El arroyo Ortega presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.32.a se presentan los datos de precipitación registrados en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,08 \pm 0,01$ m a las 10:42 (correspondiente a una cota $11,95 \pm 0,03$ m IGN) (Figura A.32.b).

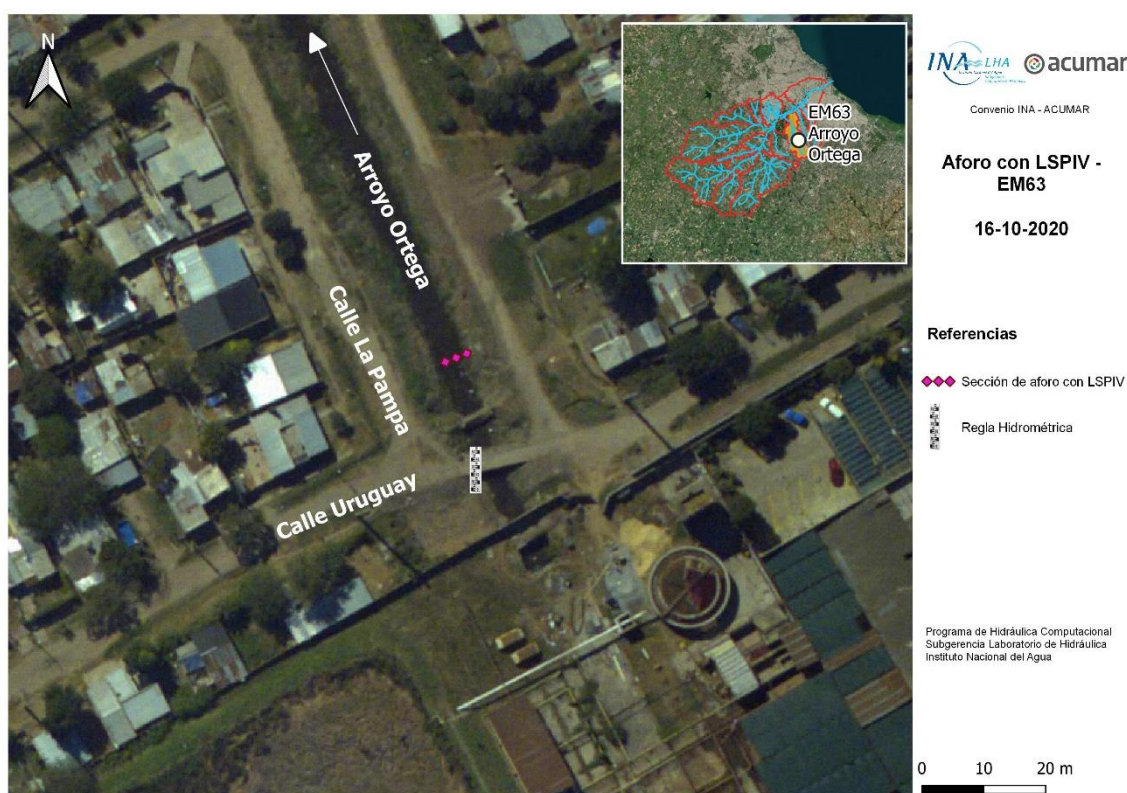


Figura A.31. Sección de aforo en la EM63.

2.3.12 Aforo mediante la técnica LSPIV

Para llevar adelante la técnica se dispusieron seis puntos fijos en la sección de aforo. Los mismos fueron materializados con conos plásticos y sus coordenadas fueron relevadas con un GPS Diferencial (Figura A.33). Los trazadores, compuestos por partículas de madera, fueron lanzados desde el puente vial, ubicado en el cruce de calles Uruguay y La Pampa, de la localidad de Monte Grande- Esteban Echeverría. La Figura A.34 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa, donde las velocidades máximas alcanzan los 0,13 m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de $0,083$ m³/s.

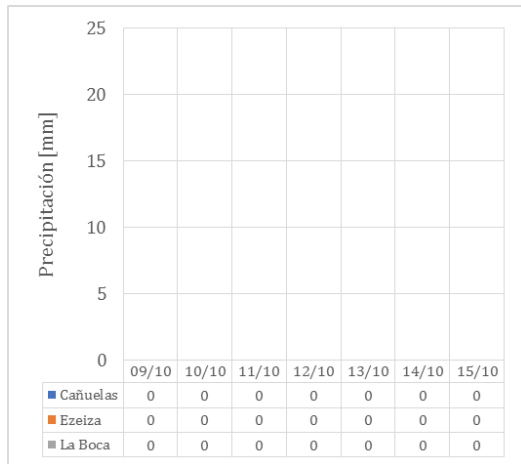


Figura A.32. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).



Figura A.33. Disposición y relevamiento de coordenadas de los puntos fijos para implementar la técnica LSPIV.

2.3.13 Comparación con registros históricos

La Figura A.35 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM63 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se corrobora que la situación hidrológica aforada se corresponde a una situación de aguas bajas.



Figura A.34. Campo de velocidades superficiales en la EM63 obtenido con el software Fudaa.

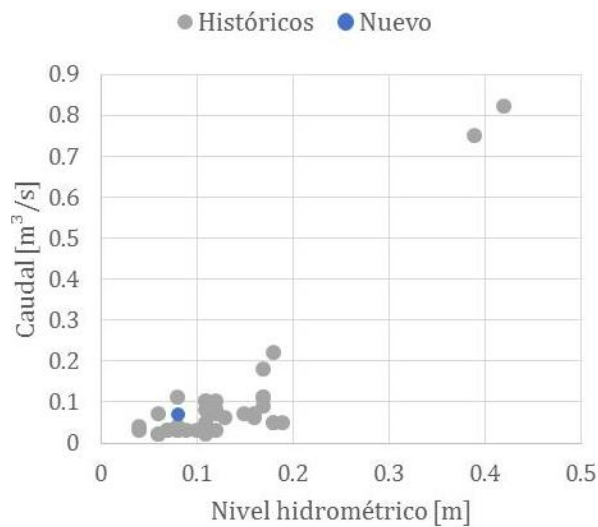


Figura A.35. Registros históricos de niveles y caudales en la EM63.