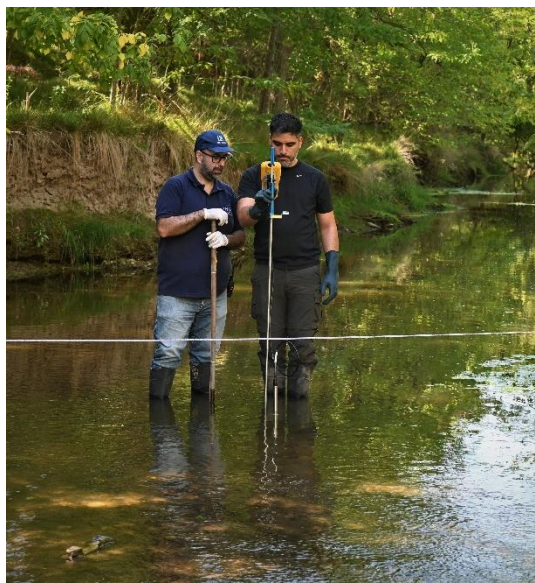


Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo

Informe 04 – Campaña de aforos N° 2



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

Proyecto INA 407
Informe LHA 04-407-22
Ezeiza, mayo de 2023

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 | Marina Sarti

Subgerencia Centro de la Región Semiárida – Instituto Nacional del Agua

Msc. Ing. Ana I. Heredia Ligorria

Informe realizado por:

Pablo E. García

Nicolás Ortiz

Mayra Morale

Tabla de contenido

1.	Introducción	6
1.1.	Informe de la Campaña de aforos N°2.....	7
2.	Campaña de aforos N°2.....	8
2.1.	Técnicas de aforos líquidos	8
2.1.1.	Velocímetro acústico Doppler (ADV)	10
2.1.2.	Perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP).....	12
2.1.3.	Metodología LSPIV	15
2.2.	Resumen de actividades y resultados de la campaña de aforos N°2.....	17
2.3.	Conclusiones y recomendaciones	20
Anexo A.	Detalle de los aforos de la campaña N°2.....	21
A.1.	EM03.....	22
	Aforo con ADCP	22
A.2.	EM04.....	25
	Aforo con ADCP	25
	Comparación con registros históricos.....	27
A.3.	EM08.....	28
	Aforo con ADCP.....	28
	Comparación con registros históricos.....	30
A.4.	EM10.....	31
	Aforo con ADCP.....	31
	Comparación con registros históricos.....	33
A.5.	EM11.....	34
	Aforo con ADCP	35
	Comparación con registros históricos.....	36
A.6.	EM12.....	37
	Aforo con ADCP	37
	Comparación con registros históricos.....	39
A.7.	EM13.....	40

Aforo mediante la técnica LSPIV	40
Comparación con registros históricos	42
A.8. EM14.....	43
Aforo con ADCP	43
Comparación con registros históricos	45
A.9. EM16.....	46
Aforo con ADCP	46
A.10. EM17	49
Aforo mediante la técnica LSPIV	49
Comparación con registros históricos	51
A.11. EM19	52
Aforo con ADCP	52
Comparación con registros históricos	54
A.12. EM22	55
Aforo con ADCP	55
A.13. EM24	58
Aforo con ADCP	58
Comparación con registros históricos	60
A.14. EM30	61
Aforo con ADCP	61
Comparación con registros históricos	63
A.15. EM41	64
Aforo con ADCP	64
Comparación con registros históricos	66
A.16. EM68	67
Aforo con ADV	67
Comparación con registros históricos	70
A.17. EM72	71
Aforo con ADCP	71
A.18. EM73	74
Aforo mediante la técnica LSPIV	74
Comparación con registros históricos	76
A.19. EM76	77

Aforo mediante la técnica LSPIV	77
A.20. EM78	79
Aforo mediante la técnica LSPIV	79

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. Toda la información obtenida a partir de dichos estudios constituye un conjunto de herramientas de gestión fundamental para evaluar las acciones planificadas en materia de reducción de las fuentes de contaminación tienen 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 2007. Para eso se plantean 2 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 realizarán una serie de aforos especiales, que buscarán registrar las ondas de crecida en diferentes cursos de agua, con el objetivo principal de ampliar, mejorar y/u optimizar las curvas de relaciones altura-caudal (HQ) que posee la ACUMAR.

1.1. Informe de la Campaña de aforos N°2

En el presente informe se describen los aforos realizados correspondientes a la Campaña N°2. Los aforos se realizaron en 20 estaciones de la red de monitoreo de calidad y caudal del agua superficial de ACUMAR. Los aforos realizados en la campaña se llevaron a cabo utilizando el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés), el Velocímetro Acústico Doppler (ADV 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 de aforos N°2

Entre los días 10 y 27 de abril de 2023 se llevó a cabo la Campaña de aforos N°2 en simultáneo con la Campaña de muestreo de calidad de agua superficial y sedimentos. Los aforos se realizaron en las 20 estaciones definidas en el Convenio Específico N°13 INA-ACUMAR y se las presentan en la Figura 2.1.

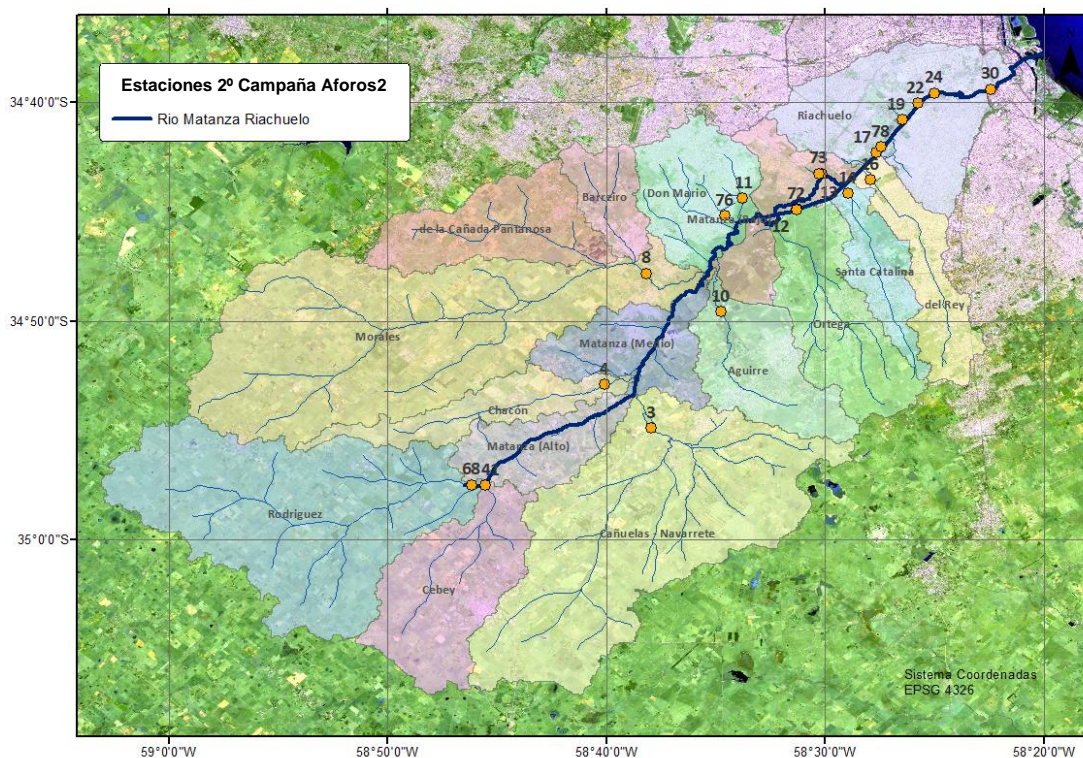


Figura 2.1. Estaciones incluidas en la campaña de aforos N°2.

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) permite 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 Image 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 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.

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.

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

2.1.1.1 Incertidumbres en la medición con ADV *FlowTracker2 Sontek*

El análisis de incertidumbre en la estimación del caudal con el equipo *FlowTracker2* puede realizarse con dos métodos:

- Norma ISO 748-2007, Hidrometría: medición de caudal líquido en canales abiertos utilizando correntómetro o flotadores
- Estimador de Varianza Interpolado (IVE por sus siglas en inglés)⁴.

El método de cálculo de incertidumbre del Estimador de varianza interpolado (IVE) utiliza un método desarrollado por investigadores del Servicio Geológico de EEUU. El cálculo de la incertidumbre del IVE es el método que proporciona el indicador más fiable de la calidad de la medida. Sin embargo, el método ISO se basa en el estándar internacional, que proporciona los resultados de una técnica estándar publicada, razón por la cual es el valor reportado en las mediciones realizadas con el *FlowTracker2*.

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

⁴ Cohn, T., Kiang, J., and Mason, R., Jr. (2013). "Estimating Discharge Measurement Uncertainty Using the Interpolated Variance.

Los cálculos de incertidumbre se basan en el análisis de diferentes parámetros. Además de la incertidumbre general, el *FlowTracker2* también analiza la contribución de cada uno de los siguientes parámetros:

- a) Precisión: La precisión de la calibración *FlowTracker2* (generalmente es insignificante),
- b) Profundidad: en el cálculo ISO, este término incluye únicamente la incertidumbre en las medidas de profundidad.
- c) Velocidad: este término incluye solo la incertidumbre en las mediciones de velocidad.
- d) Ancho: incertidumbre estimada en medidas de ancho.
- e) Método: determinación de la velocidad media de la estación (verticales).
- f) Número de estaciones

La incertidumbre estándar relativa combinada (porcentaje) en la medición se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i)^2 (u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{v,i}^2)}{(\sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i))^2}$$

Donde:

$u(Q)$ es la incertidumbre estándar relativa combinada (en porcentaje) del caudal;

$u_{b,i}, u_{d,i}, u_{v,i}$ son las incertidumbres estándar relativas (en porcentaje) del ancho, la profundidad y la velocidad media medida en la vertical i .

u_s es la incertidumbre asociada a la respuesta variable del instrumento (u_{cm}), el ancho del instrumento (u_{bm}) y el sensor de profundidad del instrumento (u_{ds}).

$$u_s = \sqrt{u_{cm}^2 + u_{bm}^2 + u_{ds}^2}$$

Se puede adoptar un valor estimado de 1% para esta expresión.

u_m es la incertidumbre asociada a la cantidad de verticales

m es la cantidad de verticales

2.1.2. Perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP)⁵

En las presentes campañas se utilizó un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) RS5 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 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.

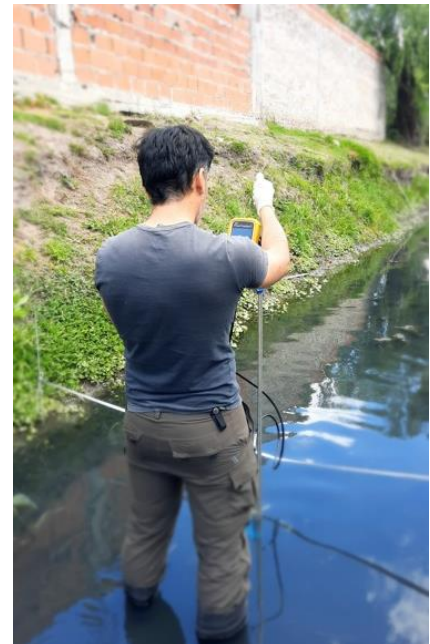


Figura 2.2. ADV FlowTracker2 Sontek con sus diversos componentes (izquierda) y utilización del equipo en los aforos del presente proyecto (derecha).

⁵ Adaptado de Heredia, A. (2017). Caracterización del transporte de sedimentos en un tramo del río Tercero (Ctalamochita) utilizando tecnología acústica doppler. Tesis de Maestría.

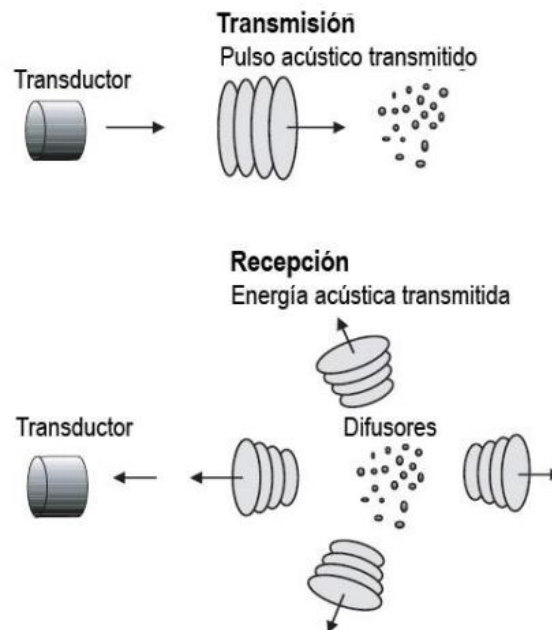


Figura 2.3. Funcionamiento del equipo ADCP⁶.

El ADCP SonTek RS5 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).

Los sensores del ADCP RiverSurveyor RS5 operan con una señal acústica de 3,0 MHz. 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 RSQ. 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 5,0 m/s (precisión: $\pm 1,0\%$ del valor medido, $\pm 0,002$ m/s)
- Rango de profundidad de trabajo: 0,1 a 6,0 m (resolución 0,005 m)
- 5 Transductores de 3,0 MHz (4 inclinados 25° y un rayo vertical)

⁶ 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



Figura 2.4. Configuración de los sensores del ADCP RS5 (izquierda) y utilización del equipo en los aforos del presente proyecto (derecha)

2.1.2.1 Incertidumbres en la medición con ADCP

Durante mediciones experimentales hay errores sistemáticos y aleatorios. Los primeros pueden deberse a sesgos en la medición de la velocidad, la profundidad, factores ambientales (como movimiento del fondo), limitaciones del instrumento (zonas no medibles), problemas con el GPS y errores propios del operador.

Todos los procesos presentes durante el muestreo de flujo de campo, como ser ruido ambiental (ondas superficiales, fluctuaciones del flujo, entre otros), ruido del instrumento y la turbulencia del flujo, contribuyen a los errores aleatorios (incertidumbre) de las mediciones de caudal con ADCP desde plataformas móviles.

Durante las mediciones de caudal con ADCP los errores críticos más comunes que pueden observarse son: a) una selección inapropiada o mala configuración de los modos de operación, b) errores de configuración (tales como número insuficiente de celdas en la vertical), c) errores en la comunicación del instrumento con el GPS, d) pérdida apreciable del sistema de monitoreo de fondo, e) errores debido a una alta velocidad de la embarcación y f) excesivo cabeceo o balanceo de la embarcación.

En este proyecto, para la estimación de las incertidumbres, se utilizó el software “QRev”⁷ desarrollado por el USGS (*United States Geological Survey*). Las incertidumbres analizadas por este software incluyen: datos inválidos, caudales extrapolados en las márgenes, fondo móvil y errores sistemáticos.

⁷ <https://hydroacoustics.usgs.gov/movingboat/QRev.shtml>

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 de 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.

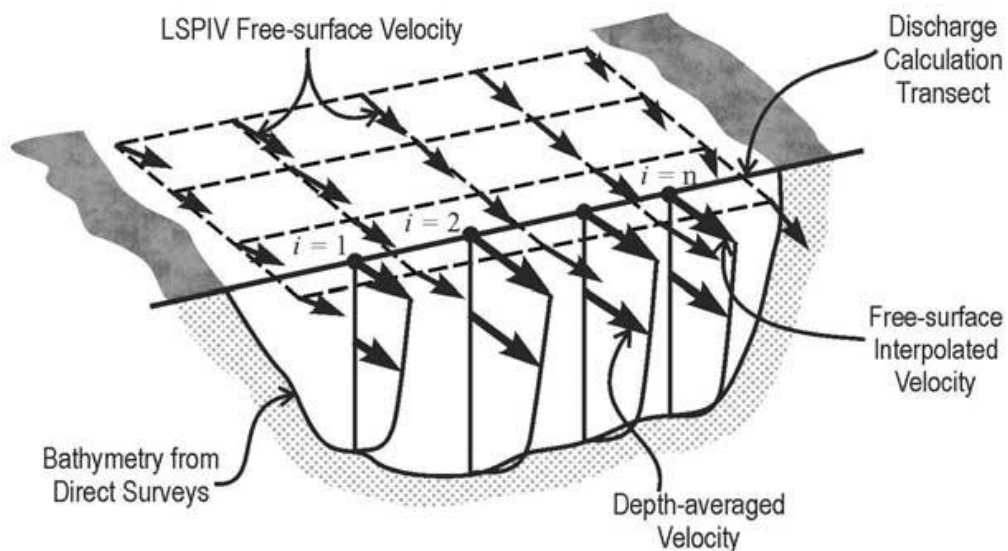


Figura 2.5. LSPIV - Esquema de velocidades superficiales observadas e interpolación en una sección transversal conocida⁸.

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).

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

⁸ Muste, M., I. Fujita y A. Hauet (2008). "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". Water Resources Research 44.4.

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: RIVER⁹ y Fudaa¹⁰

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 fondo¹¹.

Más detalles de esta metodología, junto con varios ejemplos de aplicación, pueden encontrarse en el Informe LHA 01-397-21 “Estado del arte de la medición de caudales utilizando la técnica de velocimetría por imágenes”¹² desarrollado en el marco del Convenio N°9 entre ACUMAR y el INA.

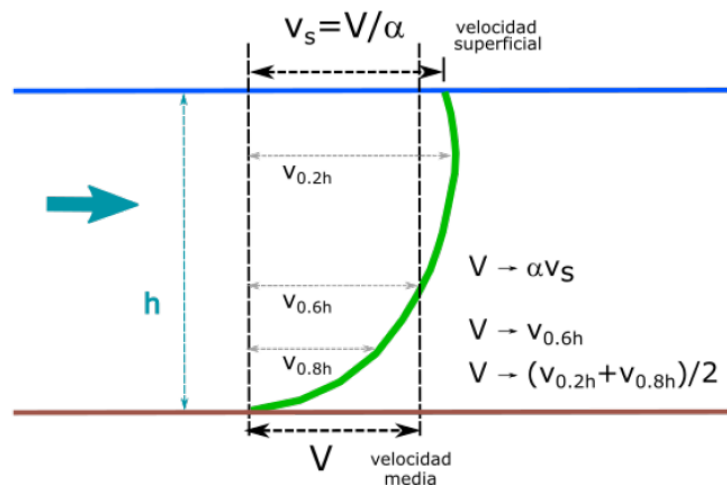


Figura 2.6. Perfil vertical teórico de velocidad.

⁹ 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.

¹⁰ Perks et al. (2020). “Towards harmonisation of image velocimetry techniques for river surface velocity observations”. En: Earth System Science Data 12.3

¹¹ Muste, M., I. Fujita y A. Hauet (2008). “Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments”. Water Resources Research 44.4.

¹² www.bdh.acumar.gov.ar/bdh3/publicacion_master.php?idobject=508477&retorno=publicacion_listado.php.

2.1.3.1 Incertidumbres en la medición con LSPIV

En la actualidad no existe una metodología normalizada para poder estimar las incertidumbres asociadas a la medición de caudales mediante LSPIV. Avanzar en las incertidumbres de esta técnica es parte de los objetivos del presente convenio entre ACUMAR y el INA.

2.2. Resumen de actividades y resultados de la campaña de aforos N°2

El resumen de los resultados de la campaña de aforos N°2 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 de aforos N°2.

Estación		Fecha	Hora	H escala	H superficie agua	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]
03	ArroCanu- 3	18/04/2023	12:00	-	7,33 ± 0,05	ADCP	0,18	5,1	0,95	4,5	0,19	0,21
04	ArroChac- 4	17/04/2023	12:00	0,35 ± 0,01	10,29 ± 0,05	ADCP	0,40	5,4	1,82	7,58	0,22	0,24
08	ArroMora- 8	12/04/2023	12:30	0,27 ± 0,01	4,06 ± 0,05	ADCP	0,32	5,4	1,97	9,62	0,17	0,20
10	ArroAgui- 10	19/04/2023	11:30	0,65 ± 0,01	4,40 ± 0,05	ADCP	0,17	7,1	6,56	13,87	0,03	0,47
11	ArroDMar- 11	20/04/2023	09:30	0,95 ± 0,01	2,86 ± 0,05	ADCP	0,58	13,0	10,82	13,43	0,05	0,81
12	AutoRich- 12	24/04/2023	12:00	0,27 ± 0,01	0,72 ± 0,05	ADCP	2,43	6,7	19,07	27,12	0,13	0,71
13	DepuOest- 13	24/04/2023	10:30	0,72 ± 0,01	0,75 ± 0,05	LSPIV	2,54	-	7,13	18,42	0,36	0,39
14	ArroSCat – 14	25/04/2023	10:00	0,65 ± 0,01	1,27 ± 0,05	ADCP	0,47	5,1	2,33	5,50	0,20	0,42
16	ArrodRey- 16	25/04/2023	11:30	-	-	ADCP	0,60	8,0	5,65	13,03	0,11	0,43
17	PteLaNor- 17	25/04/2023	13:00	2,10 ± 0,01	-	LSPIV	-1,50	-	74,09	60,00	-0,02	1,23
19	ArroCild- 19	26/04/2023	10:15	1,15 ± 0,01	-	ADCP	-1,02	10,0	71,26	47,27	-0,01	1,51
22	DPel1900- 22	26/04/2023	09:40	-	-	ADCP	0,38	8,8	8,92	7,57	0,04	1,18
24	PteUribu- 24	27/04/2023	10:30	1,31 ± 0,01	-	ADCP	-28,11	4,8	159,69	62,22	-0,18	2,57
30	PtePueyr- 30	27/04/2023	09:30	1,03 ± 0,01	-	ADCP	-50,66	6,0	259,46	85,30	-0,20	3,04
41	ArroCeb4- 41	13/04/2023	12:00	0,10 ± 0,01	14,17 ± 0,05	ADCP	0,10	5,6	0,96	3,77	0,11	0,25

68	ArroRod1- 68	10/04/2023	13:30	0,10 ± 0,01	14,38 ± 0,05	ADV	0,038	6,0	0,622	3,8	0,061	0,16
72	DescRocha- 72	21/04/2023	11:30	-	-	ADCP	0,11	6,2	0,39	2,22	0,28	0,18
73	AADepuOest- 73	24/04/2023	10:40	0,69 ± 0,01	-	LSPIV	-0,09	-	6,48	13,55	-0,013	0,48
76	ArroSusana- 76	20/04/2023	11:15	-	-	LSPIV	0,11	-	0,31	6,89	0,35	0,04
78	AlivCild - 78	25/04/2023	13:00	-	-	LSPIV	0,19	-	0,8	16,19	0,24	0,05

2.3. Conclusiones y recomendaciones

Se pudieron realizar los aforos en las 20 estaciones previstas con las diferentes técnicas propuestas en el Convenio. Se pudo trabajar en forma coordinada con el resto de los equipos de trabajo que participaron en la campaña (tanto con el equipo encargado del muestreo de calidad del INA como con el equipo de ACUMAR que acompañó en todas las estaciones de monitoreo).

En esta campaña se volvió a utilizar el perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) RS5. Este equipo presenta características (tamaño, facilidad de transporte y armado) y prestaciones (profundidades mínimas de operación, discretización de los perfiles verticales de medición y tiempos de medición) que lo hacen ideal para el aforo de arroyos urbanos y cursos de agua de tamaño medio. En la presente campaña, de los 20 aforos realizados, 14 se hicieron con este equipo, mostrando la versatilidad del mismo. Esto no va en desmedro de las otras técnicas de medición (ADV y LSPIV), que también demostraron muy buena performance en la presente campaña (como en anteriores campañas realizadas por el INA). Estas tres técnicas de aforo son complementarias y permiten aforar en los diferentes cursos de la cuenca Matanza Riachuelo bajo diversas circunstancias (tirantes de agua mínimos o máximos, dificultad en el acceso a la sección de aforo, presencia de vegetación y/o residuos sólidos flotantes, aguas altamente contaminadas, etc.). Otra particularidad de esta campaña es que se pudo aforar con la técnica LSPIV en cursos de mayor envergadura (Matanza Natural y Riachuelo), obteniéndose muy buenos resultados.

Anexo A. Detalle de los aforos de la campaña N°2.

A.1. EM03

El aforo en esta estación se realizó el día 18/04/2023. La sección de aforo se ubicó debajo del puente vial de la Autopista Ezeiza-Cañuelas en dirección a CABA (Figura A.1). El aforo se realizó con el equipo ADCP RS5. El arroyo Cañuelas presentaba una situación de aguas bajas. Se registraron precipitaciones poco significativas en cuenca Alta y Media durante los días previos al aforo, tal como se muestra en la Figura A.2. El nivel de la superficie de agua a las 12:00 hs fue de $7,33 \pm 0,05$ m IGN y se determinó con el GPS diferencial a no encontrarse el primer tramo de la escala hidrométrica de la sección.



Figura A.1. Sección de aforo en la EM03.

Aforo con ADCP

El aforo con ADCP (Figura A.3 y Figura A.4) se realizó desde las 11:30 hs hasta las 12:15 hs. Se realizaron 16 pasadas con el equipo obteniéndose un caudal de $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 5,1%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.5.

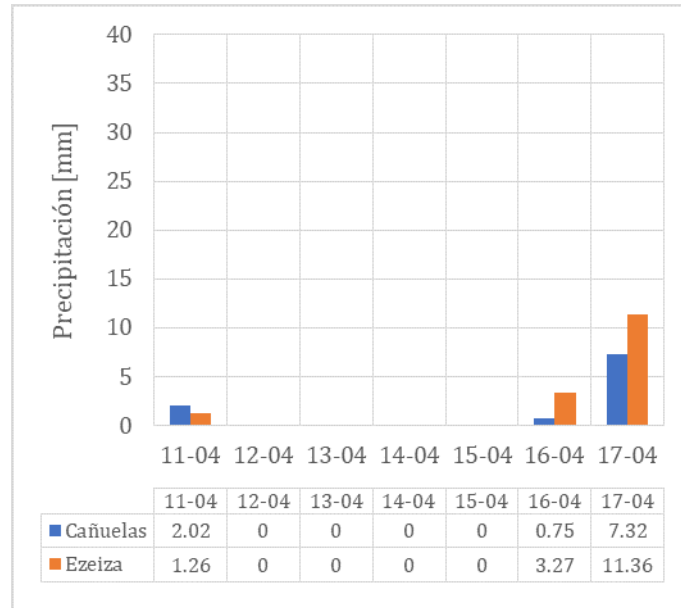


Figura A.2. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo



Figura A.3. Detalle Aforo con ADCP en la EM03.



Figura A.4. Aforo con ADCP en la EM03.

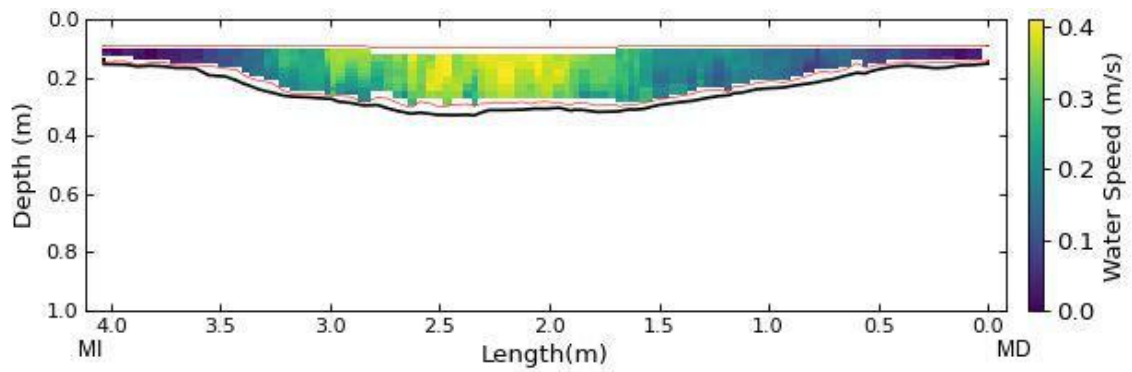


Figura A.5. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM03 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

A.2. EM04

El aforo en esta estación se realizó el día 17/04/2023. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del puente vial de la calle Miguel Planes (Figura A.6). El aforo se realizó con el equipo ADCP RS5. El arroyo Chacón presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.7 se presentan las precipitaciones registradas en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa (se pueden ver precipitaciones poco significativas en cuenca Alta, estación Cañuelas, y en cuenca media, estación Ezeiza). La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,35 \pm 0,01$ m a las 11:15 hs (correspondiente a una cota $10,29 \pm 0,05$ m IGN) (Figura A.8).

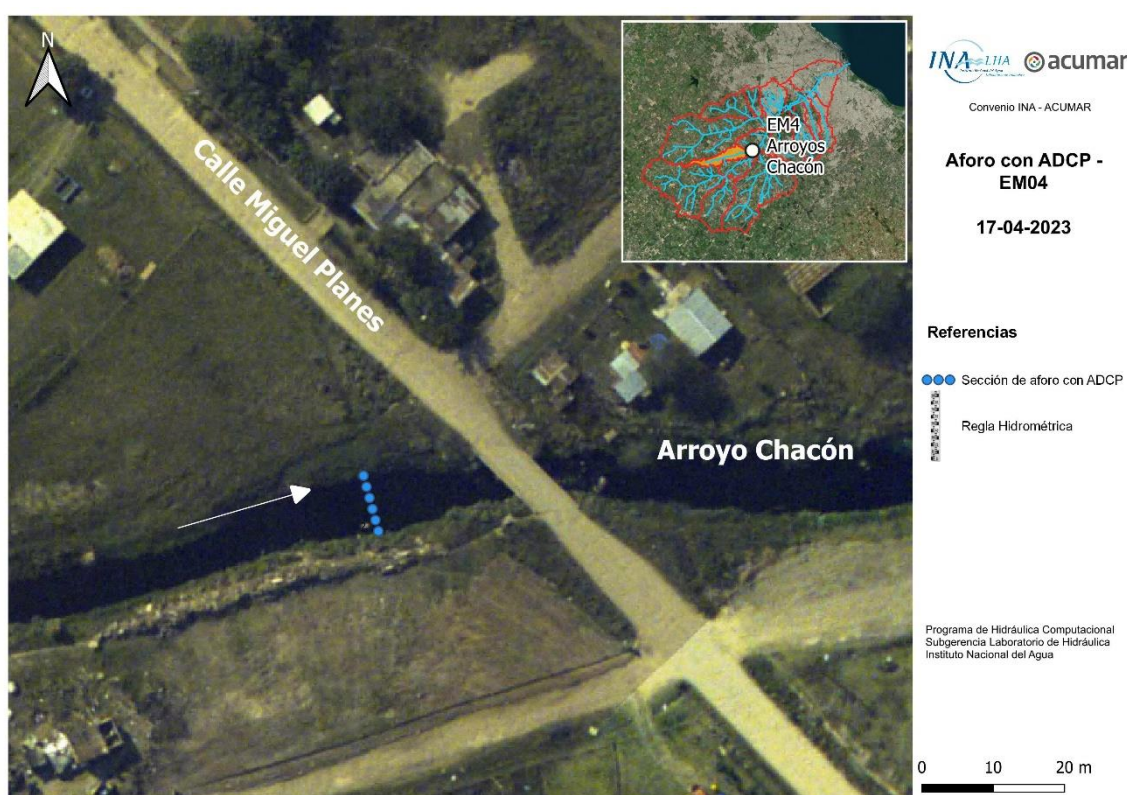


Figura A.6. Sección de aforo en la EM04.

Aforo con ADCP.

El aforo con ADCP (ver Figura A.9) se realizó desde las 11:30 hs hasta las 12:00 hs. Se obtuvo un caudal de $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 5,4% luego de realizar 8 pasadas con el equipo. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.10.

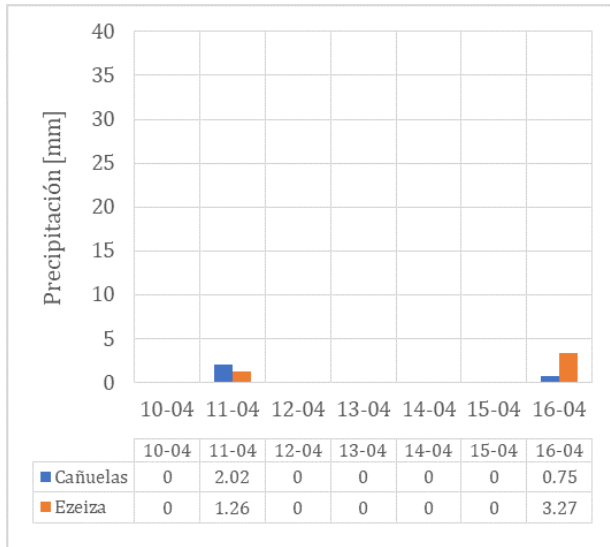


Figura A.7. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo.



Figura A.8. Nivel del curso registrado por la regla hidrométrica de la EM04



Figura A.9. Aforo con ADCP en la EM04.

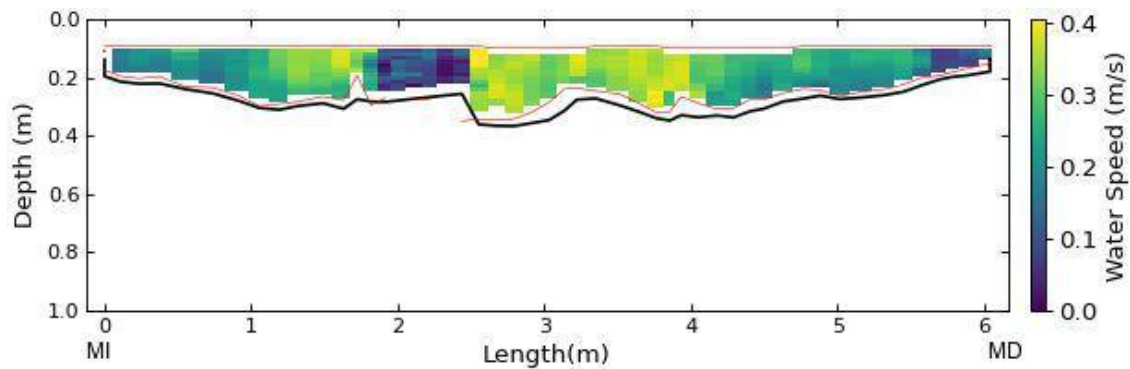


Figura A.10. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM04 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.11 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM04 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 bajas.

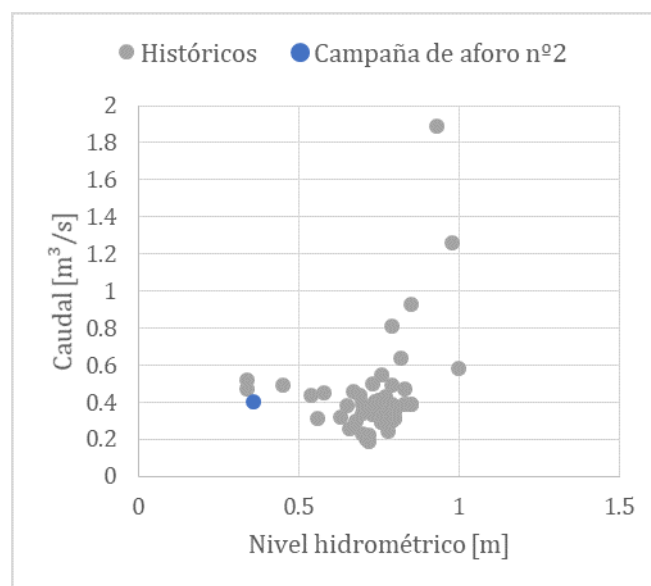


Figura A.11. Registros históricos de niveles y caudales en la EM04.

A.3. EM08

El día 12/04/2023 a las 11:15 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente. El aforo se realizó debajo del puente de la calle Manuel Castilla Hidalgo (Figura A.12) utilizando el equipo ADCP. En la Figura A.13 se presentan las lluvias registradas en la semana previa al aforo; se observan precipitaciones poco significativas en cuenca Alta (estación Cañuelas) y en cuenca media (estación Ezeiza). La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,27 \pm 0,01$ m a las 12:00 hs (correspondiente a una cota $4,06 \pm 0,05$ m IGN) (Figura A.15). La regla hidrométrica fue reinstalada instalada el día 05/04/2023 y el cero de la misma se corresponde a una cota de $3,79 \pm 0,05$ m IGN (según lo relevado en la presente campaña con el GPS Diferencial).



Figura A.12. Sección de aforo en la EM08.

Aforo con ADCP

El aforo con ADCP (Figura A.15) se realizó desde las 12:00 hs hasta las 12:45 hs, realizándose 8 pasadas con el equipo. Se obtuvo un caudal de $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 5,4%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.16.

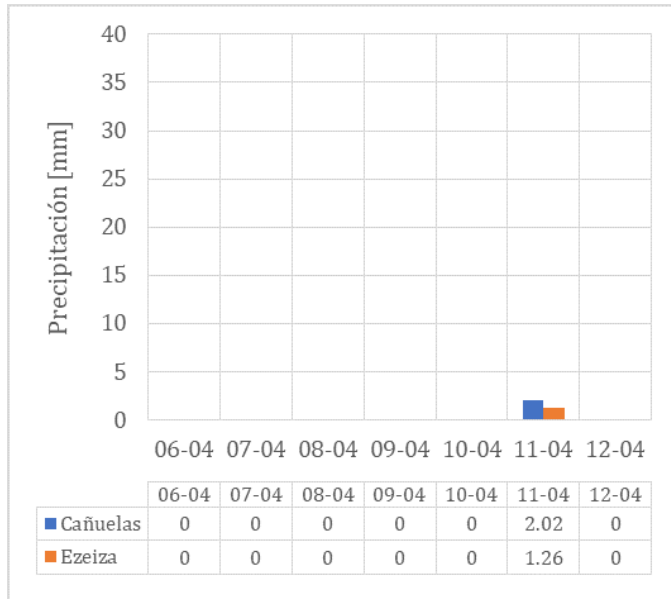


Figura A.13. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo en la EM 08



Figura A.14. Nivel del curso registrado por la regla hidrométrica de la EM08



Figura A.15. Aforo con ADCP en la EM08.

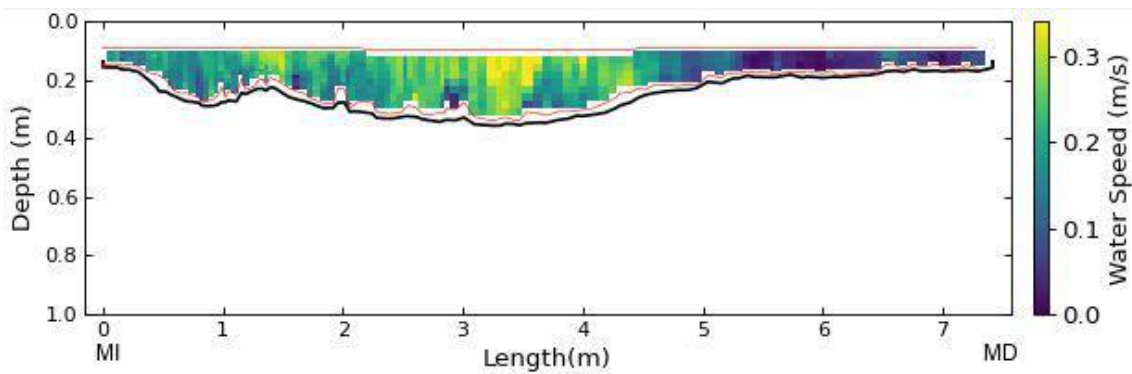


Figura A.16. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM08 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.17 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM08 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 bajas.

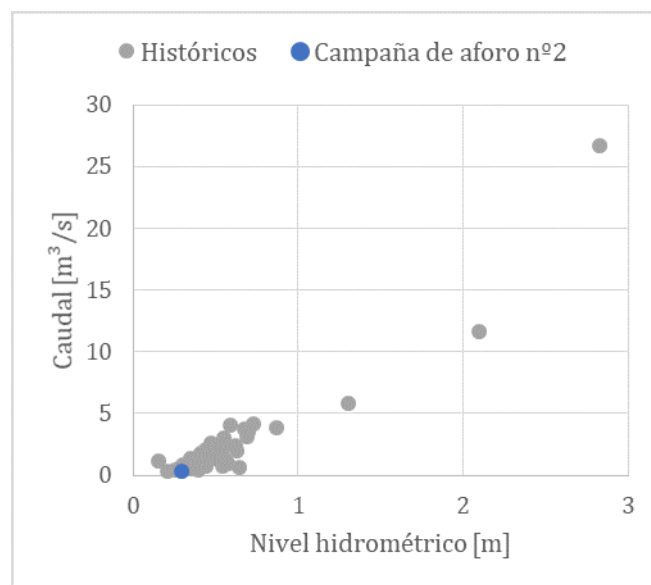


Figura A.17. Registros históricos de niveles y caudales en la EM08.

A.4. EM10

El aforo en esta estación se realizó el día 19/04/2023. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del puente vial del Camino Real Presbítero Juan G. González y Aragón (Figura A.18). El aforo se realizó con el equipo ADCP. El arroyo Aguirre presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.19 se presentan las precipitaciones registradas en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,65 \pm 0,01$ m a las 11:00 hs (correspondiente a una cota $4,40 \pm 0,05$ m IGN) (Figura A.19).



Figura A.18. Sección de aforo en la EM10.

Aforo con ADCP

El aforo con ADCP (ver Figura A.20) se realizó desde las 11:00 hs hasta las 11:30 hs. Se obtuvo un caudal de $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 7,1% luego de realizar 8 pasadas con el equipo. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A 21.

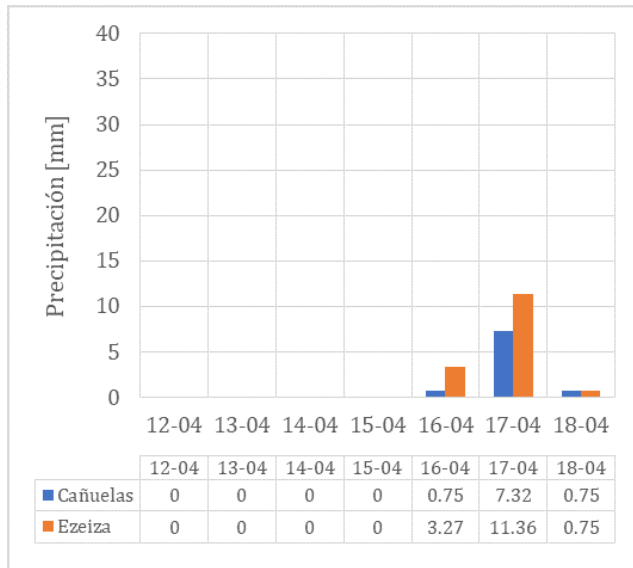


Figura A.19. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).



Figura A.20. Aforo con ADCP en la EM10.

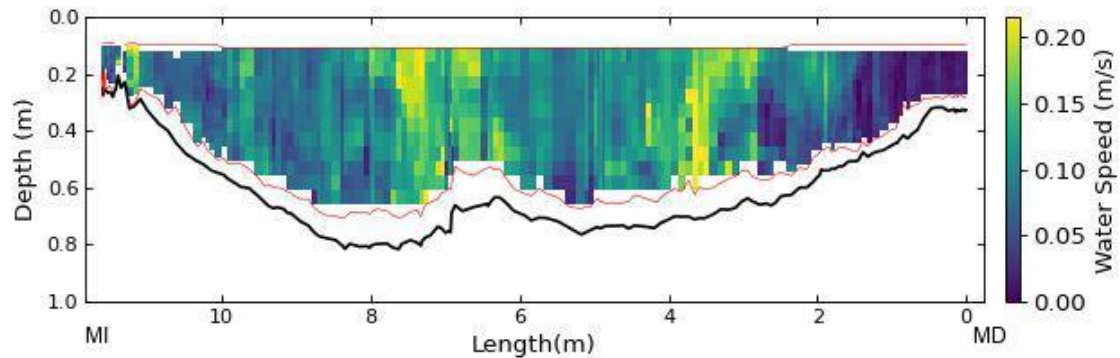


Figura A 21. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM10 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.22 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM10 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.

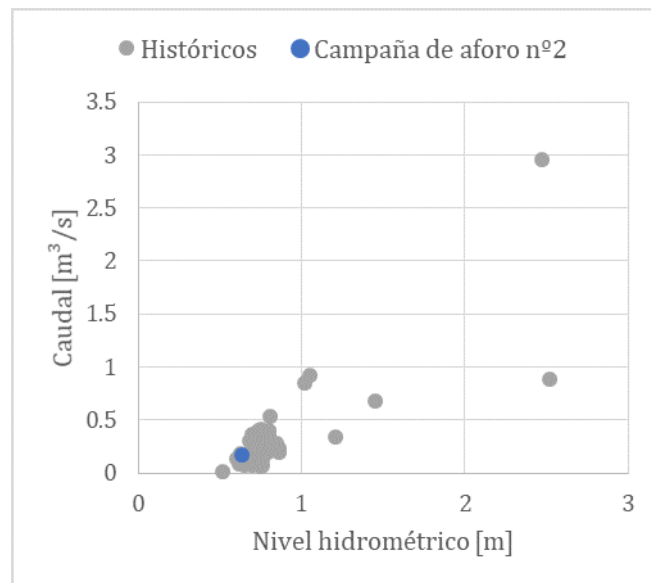


Figura A.22. Registros históricos de niveles y caudales en la EM10.

A.5. EM11

El aforo en esta sección se realizó el día 20/04/2023 a partir de las 09:10 hs. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del puente vial de la calle Guillermo Marconi (Figura A.23).

En la Figura A.24 se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. El nivel observado en la escala a las 09:30 hs fue de $0,95 \pm 0,01$ m (Figura A.24), esto se corresponde a una cota de la superficie del agua del arroyo Don Mario de $2,86 \pm 0,05$ m IGN. La escala utilizada se encuentra sobre el margen derecha y fue instalada en el 31/08/2022.

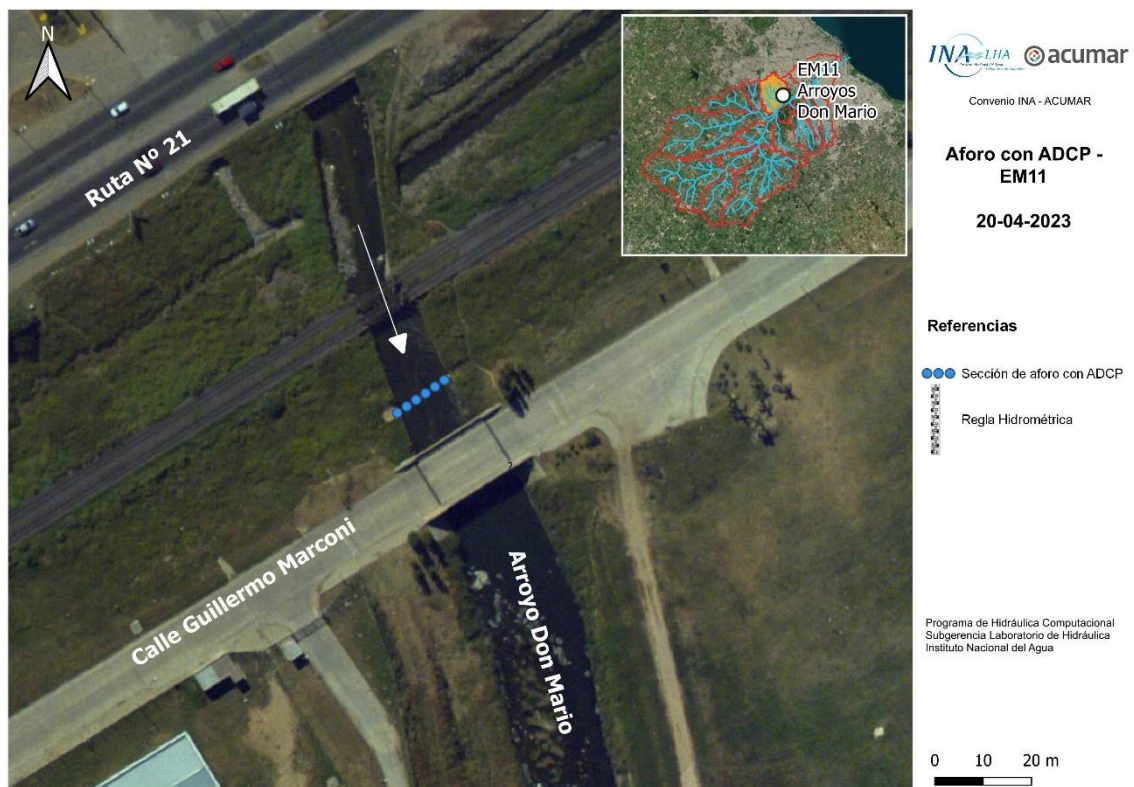


Figura A.23. Sección de aforo en la EM11.

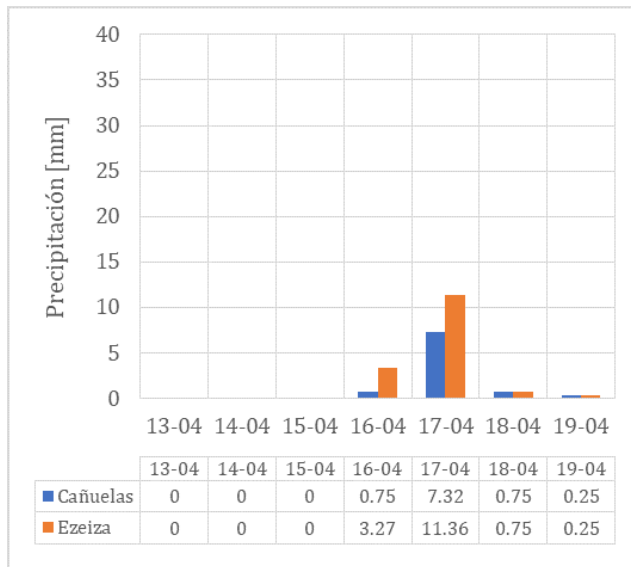


Figura A.24. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).

Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un hydroboard guiado mediante sogas desde ambas márgenes del curso de agua (ver Figura A.25). Se realizaron ocho pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 13%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo presentada en la Figura A.26 muestra claramente sobre la margen izquierda una zona de aguas estancas y con algún grado de recirculación.



Figura A.25. Aforo con ADCP en la EM11 (derecha).

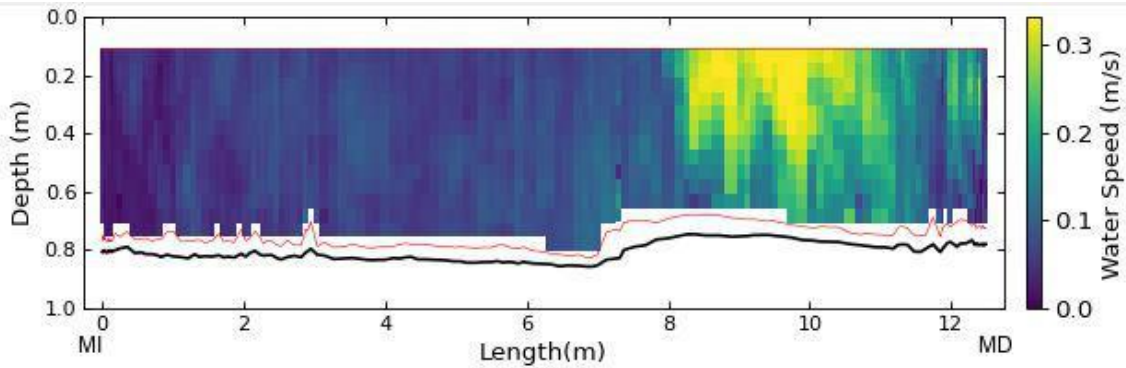


Figura A.26. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM11 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.27 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 bajas.

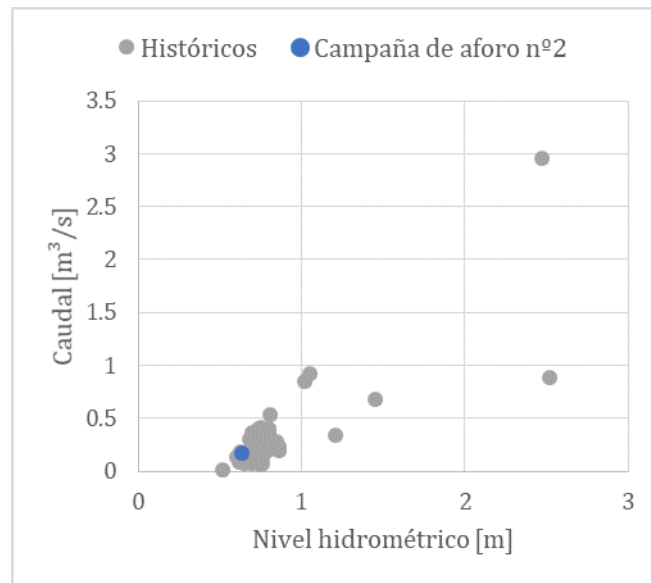


Figura A.27. Registros históricos de niveles y caudales en la EM11.

A.6. EM12

El aforo en esta sección se realizó el día 24/04/2023 a partir de las 11:40 hs. La sección de aforo se ubicó aguas abajo del puente de la Autopista Ricchieri (ver Figura A.28). El aforo se realizó con el equipo ADCP. Dado que la dinámica hídrica en esta sección puede llegar a estar afectada por los niveles del Río de la Plata, se muestran en la Figura A.29 los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

El río Matanza presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.30 (izquierda) se presentan las precipitaciones registradas en tres estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,27 \pm 0,01$ m a las 11:45 hs (correspondiente a una cota $0,72 \pm 0,05$ m IGN) (Figura A.30 derecha).

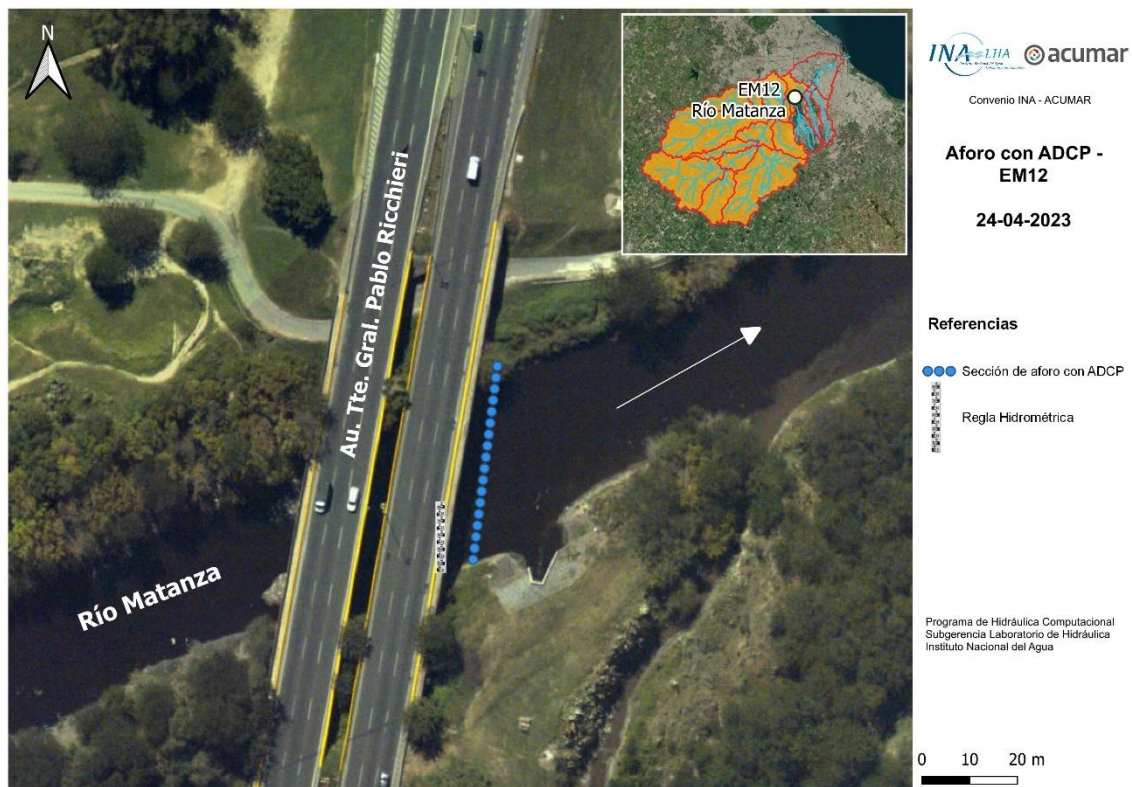


Figura A.28. Sección de aforo en la EM12.

Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante dos sogas desde el puente de la autopista Ricchieri (ver Figura A.31). Se realizaron cuatro pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $2,43 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 6,7 %. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.32.

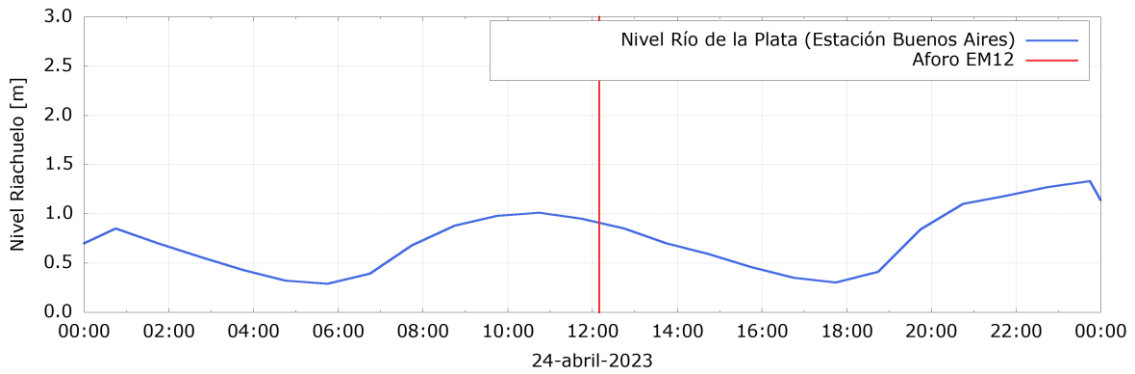


Figura A.29. Niveles registrados en la Estación Regatas de Avellaneda (ACUMAR) al momento de realizarse el aforo en la EM12.

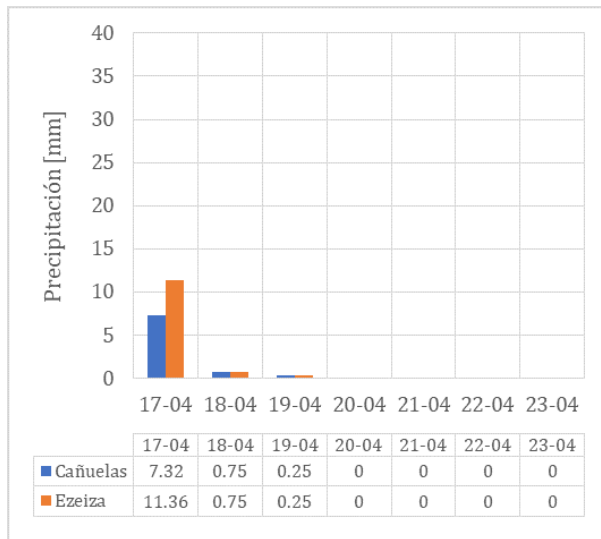


Figura A.30. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).

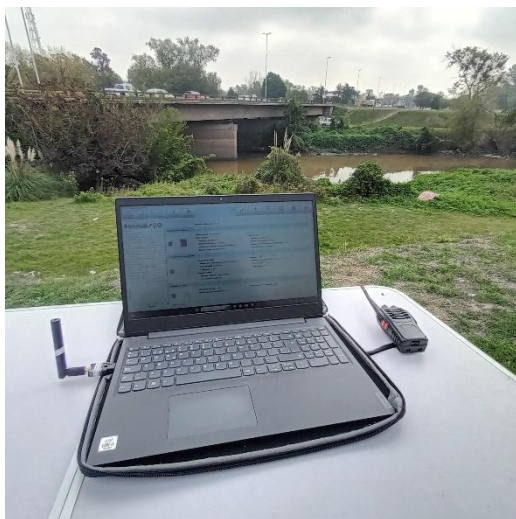


Figura A.31. Aforo con ADCP en la EM12.

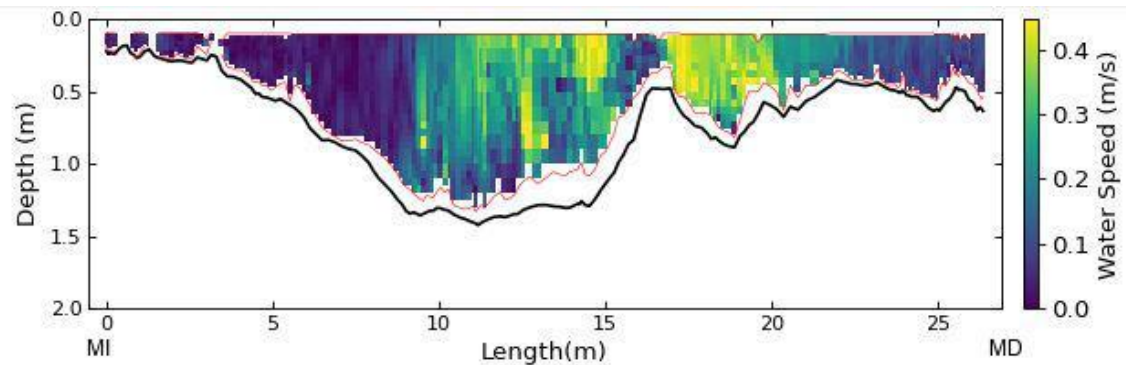


Figura A.32. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM12 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.33 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 bajas.

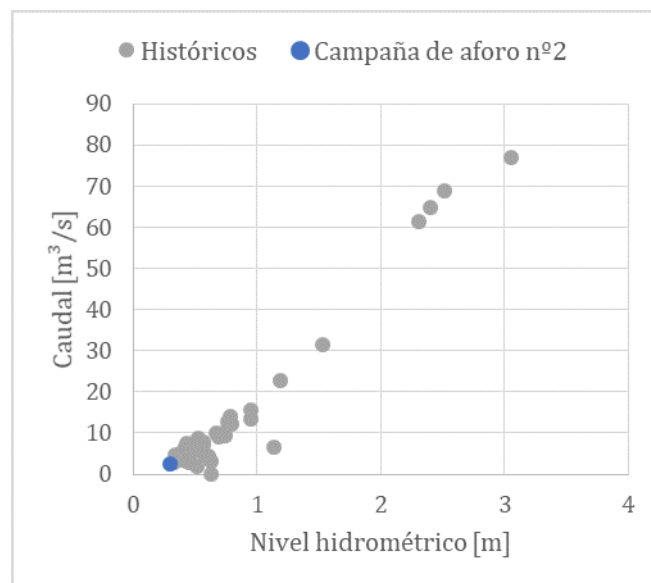


Figura A.33. Registros históricos de niveles y caudales en la EM12.

A.7. EM13

El día 24/04/2023 a las 10:10 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente a la presente campaña. El aforo se realizó aguas debajo de la descarga de la Planta Sudoeste de tratamiento de líquidos cloacales (Figura A.34) utilizando la técnica LSPIV. En la Figura A.35 (izquierda) se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,72 \pm 0,01$ m a las 10:15 hs (correspondiente a una cota $0,75 \pm 0,05$ m IGN) (Figura A.35 derecha).

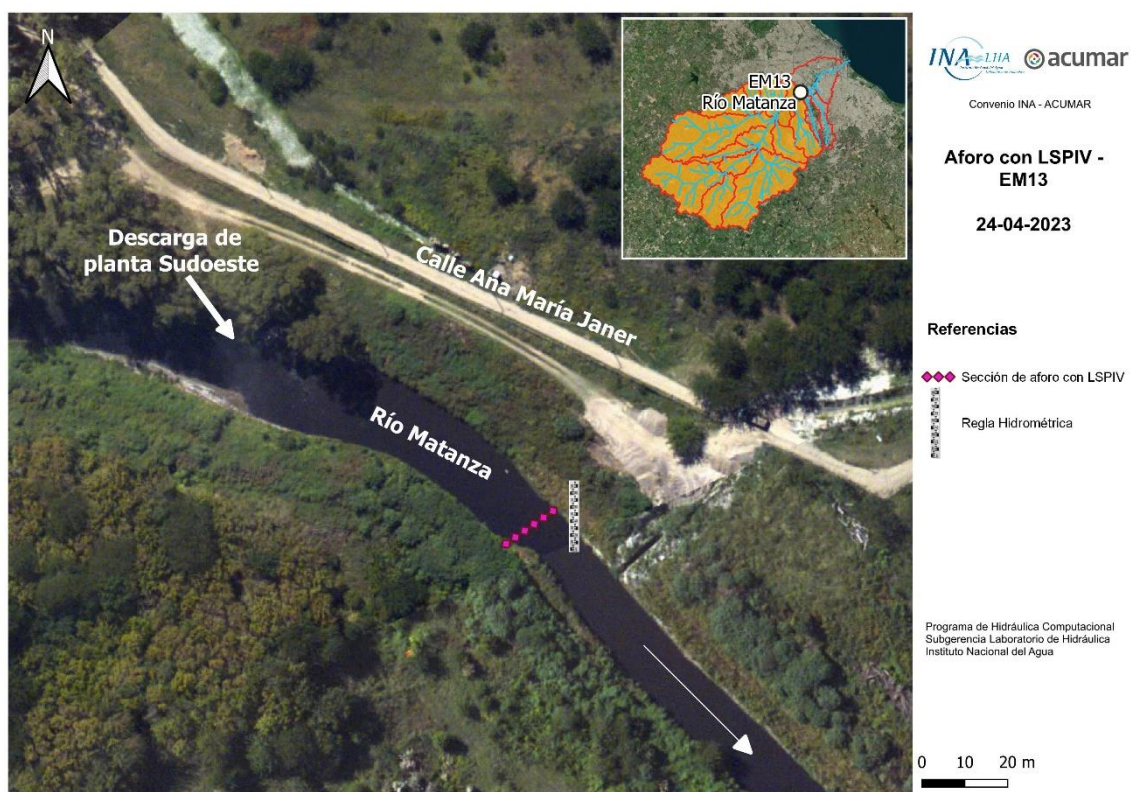


Figura A.34. Sección de aforo en la EM13.

Aforo mediante la técnica LSPIV

La Figura A.37 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa, donde las velocidades máximas alcanzan los $0,68$ m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de $2,54$ m³/s.

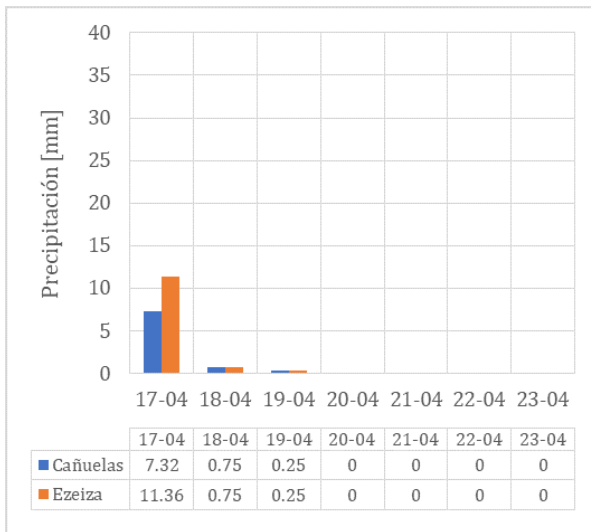


Figura A.35. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica (derecha).



Figura A.36. Espuma generada por la descarga de la Planta Sudoeste utilizada como trazadores para el aforo con LSPIV en la EM13.

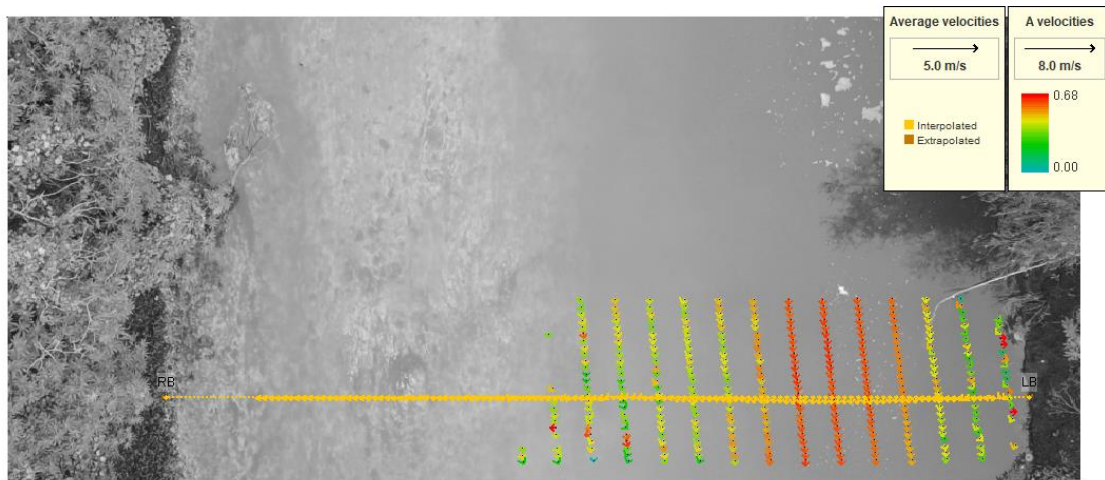


Figura A.37. Campo de velocidades superficiales en la EM13 obtenido con el software Fudaa.

Comparación con registros históricos

La Figura A.38 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM13 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la correlación entre ambas variables está fuertemente influenciada por los niveles del tramo canalizado del río Matanza, donde descarga el cauce original.

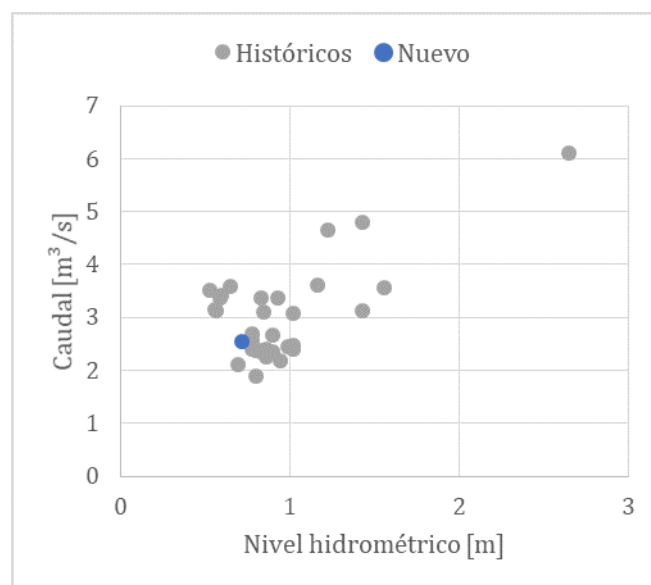


Figura A.38. Registros históricos de niveles y caudales en la EM13.

A.8. EM14

El aforo en esta estación se realizó el día 25/04/2023 a partir de las 09:30 hs. La sección de aforo se ubicó aguas abajo del puente vial de la Avenida Olimpo (O Avenida Brigadier Gral. Juan Manuel de Rosas) (Figura A.39). El aforo se realizó con el equipo ADCP. El arroyo Santa Catalina presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.40 (izquierda) se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,65 \pm 0,01$ m a las 09:45 hs (Figura A.40, derecha).



Figura A.39. Sección de aforo en la EM14.

Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante un palo extensor desde la margen derecha del arroyo Santa Catalina (ver Figura A.41). Se realizaron diez pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $0,47$ m³/s con una incertidumbre del 5,1 %. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.42.

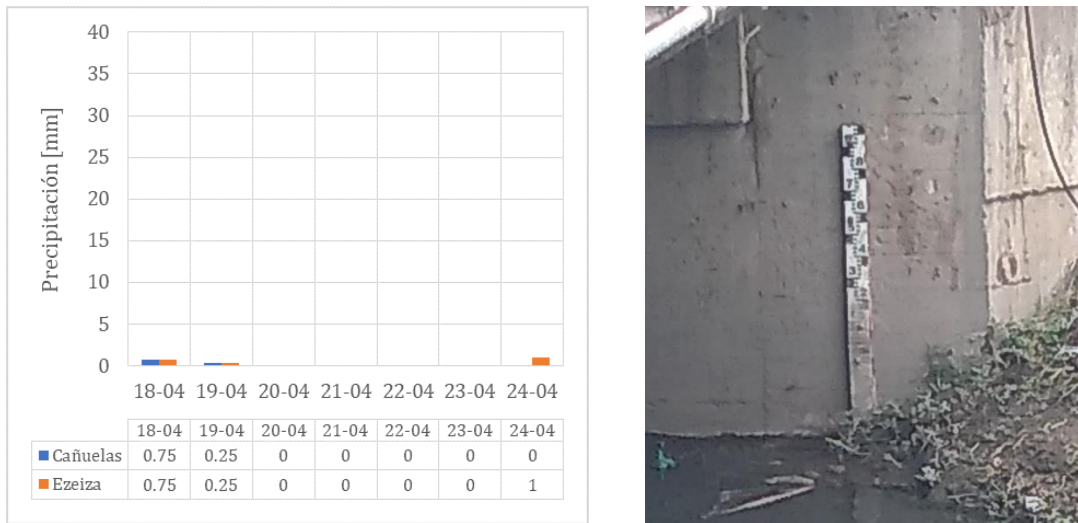


Figura A.40. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso (derecha) más bajo que el cero de la escala hidrométrica.



Figura A.41. Aforo con ADCP en la EM14.

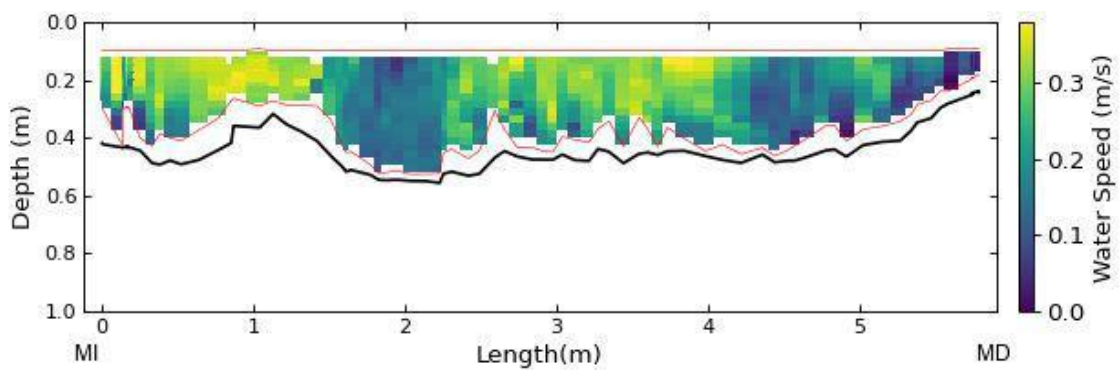


Figura A.42. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM14 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.43 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM14 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la correlación entre ambas variables está fuertemente influenciada por los niveles del tramo canalizado del río Matanza, donde descarga el Aº Santa Catalina.

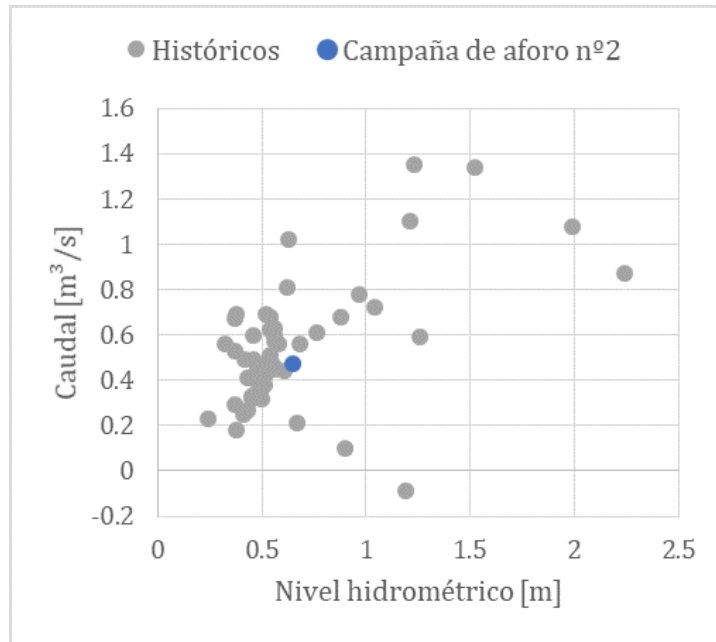


Figura A.43. Registros históricos de niveles y caudales en la EM14.

A.9. EM16

El día 25/04/2023 a las 11:15 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente. El aforo en esta sección se realizó con ADCP en la sección ubicada aguas abajo del puente vial de la calle Quesada (Figura A.44).

Los datos de precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa se presentan en la Figura A.45 (izquierda). El curso del arroyo Del Rey se encontraba en una situación de aguas bajas y con fuerte presencia de residuos sólidos flotantes (ver Figura A.45 derecha). No se pudo determinar el nivel de la superficie de agua debido a la suciedad que presentaba la regla hidrométrica.



Figura A.44. Sección de aforo en la EM16.

Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante dos sogas desde ambos márgenes del arroyo Del Rey (ver Figura A.46). Se realizaron cuatro pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $0,60 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 8,0%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.47.

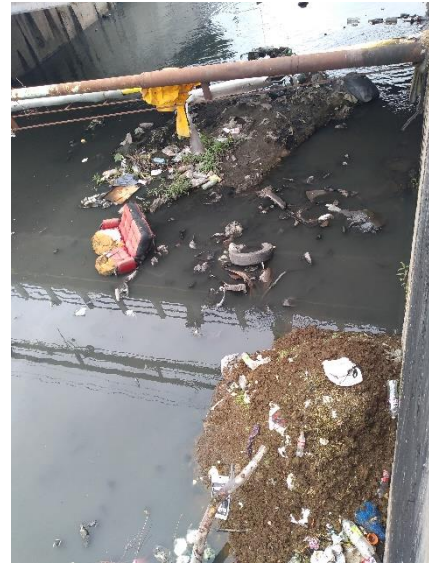
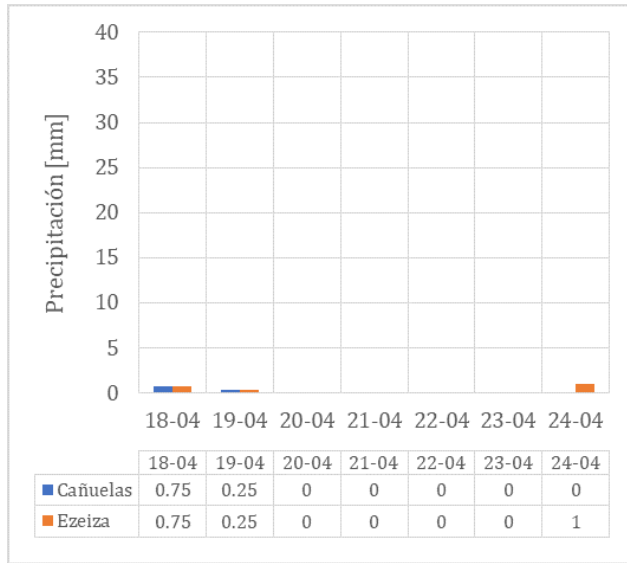


Figura A.45. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y situación del arroyo Del Rey al momento de realizar el aforo (derecha).



Figura A.46. Aforo con ADCP en la EM16

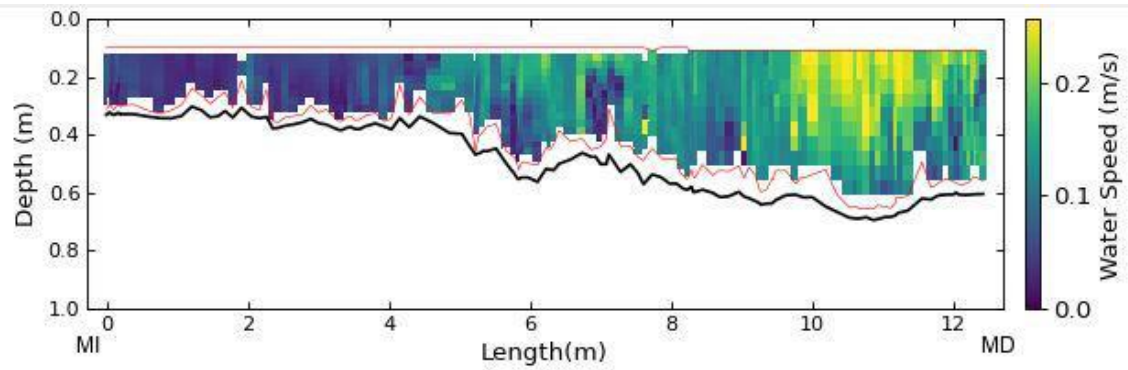


Figura A.47. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM16 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

A.10. EM17

El aforo en la EM17 se realizó el día 25/04/2023 a partir de las 13:00 hs. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del antiguo Puente La Noria (Figura A.48). El aforo se realizó mediante la técnica LSPIV. El río Riachuelo presentaba flujo inverso, producto de la condición de borde impuesta por el Río de la Plata. Como se dijo, la dinámica del flujo en esta sección está fuertemente afectada por los niveles del Río de la Plata, por eso se presentan en la Figura A.49 los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

En la Figura A.50 (izquierda) se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $2,10 \pm 0,01$ m a las 13:00.

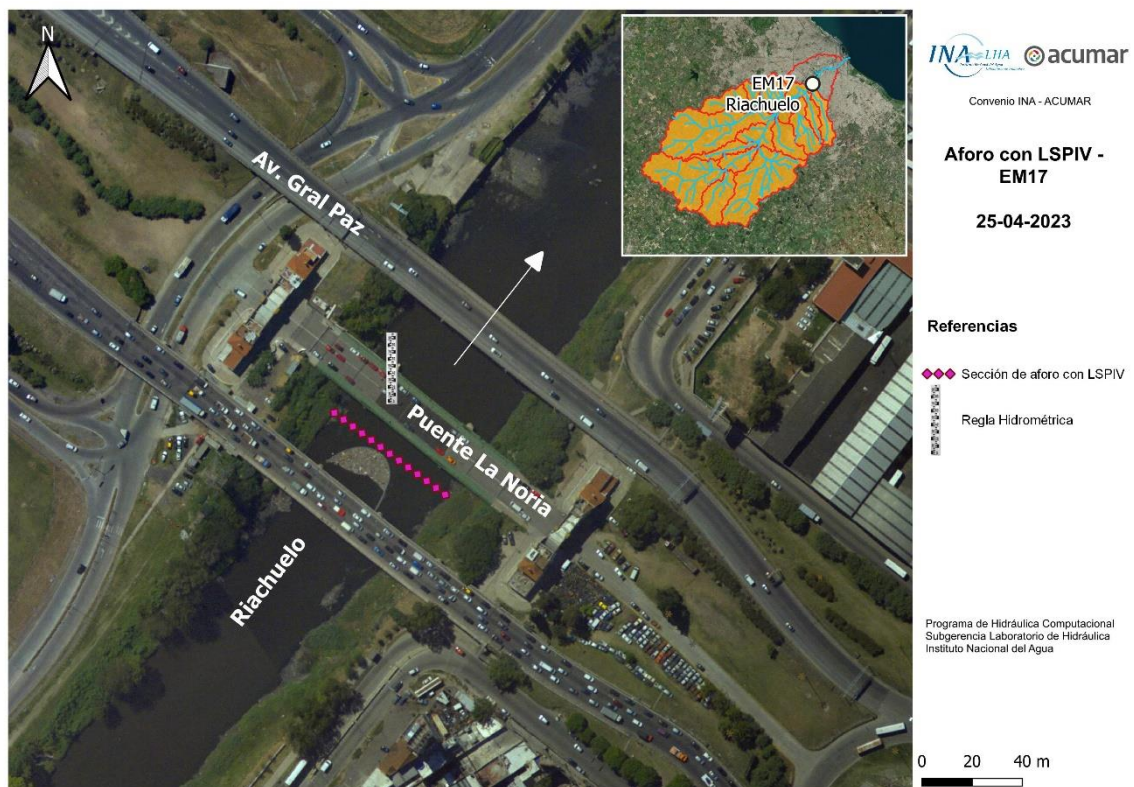


Figura A.48. Sección de aforo en la EM17.

Aforo mediante la técnica LSPIV

La Figura A.51 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa, donde las velocidades máximas alcanzan los $-0,26$ m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de $-1,50$ m³/s.

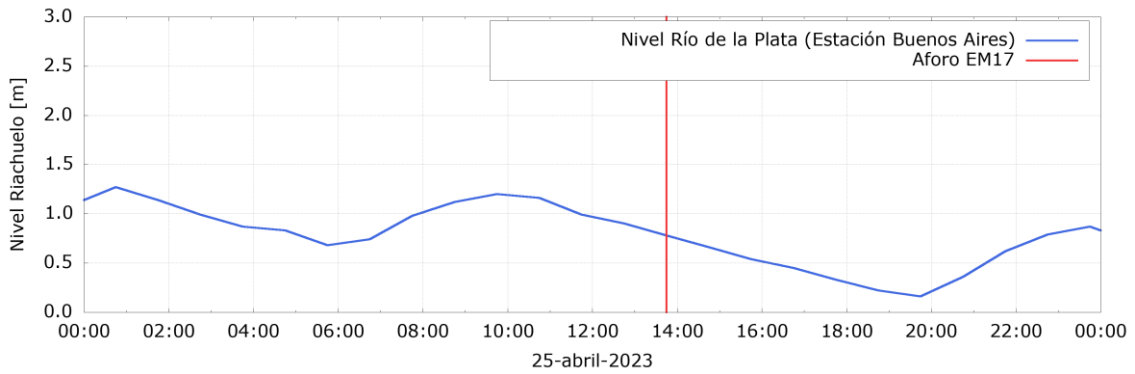


Figura A.49. Niveles registrados en la Estación Regatas de Avellaneda (ACUMAR) al momento de realizarse el aforo en la EM17.

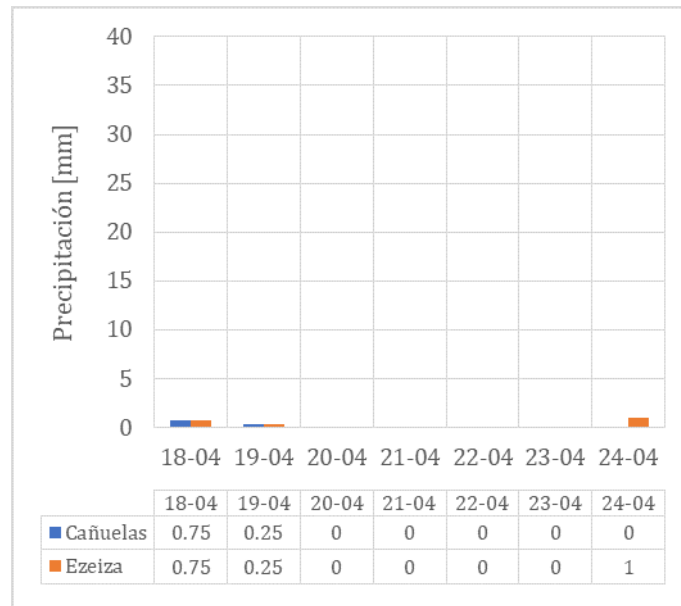


Figura A.50. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo

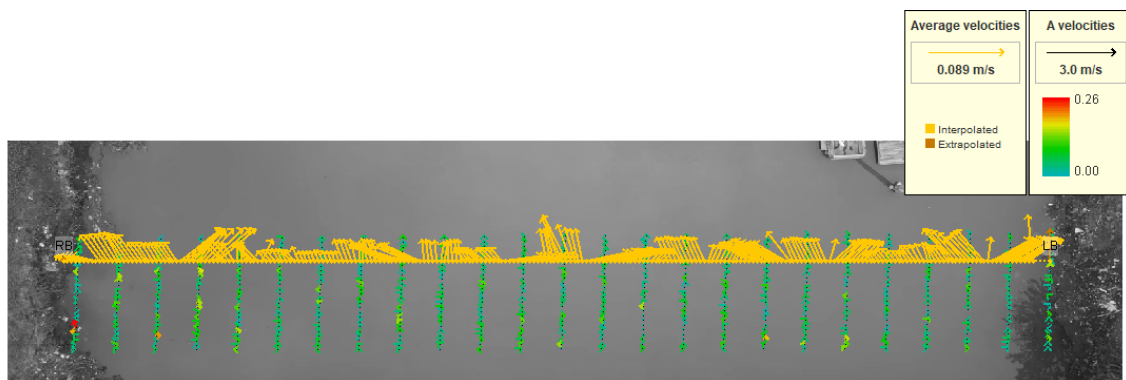


Figura A.51. Campo de velocidades superficiales en la EM17 obtenido con el software Fudaa.

Comparación con registros históricos

La Figura A.52 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM17 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña.

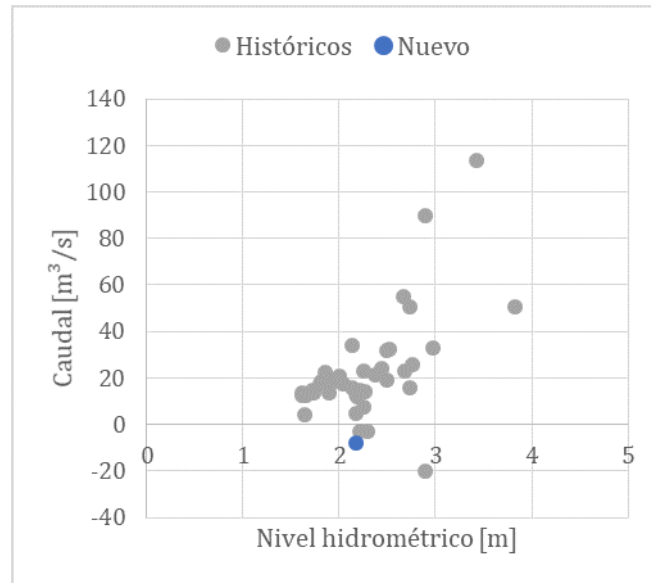


Figura A.52. Registros históricos de niveles y caudales en la EM17.

A.11. EM19

El aforo en la EM19 se realizó el día 26/04/2023 a partir de las 10:00 hs. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del puente vial de la Avenida 27 de Febrero (Figura A.53). El arroyo Cildañez presentaba una situación de aguas medias bajas. En la Figura A.54 (izquierda) se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $1,15 \pm 0,01$ m a las 10:15 hs (Figura A.54 derecha). Como se mencionó anteriormente, la dinámica del flujo en esta sección está fuertemente afectada por los niveles del Río de la Plata. Se muestran en la Figura A.55 los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

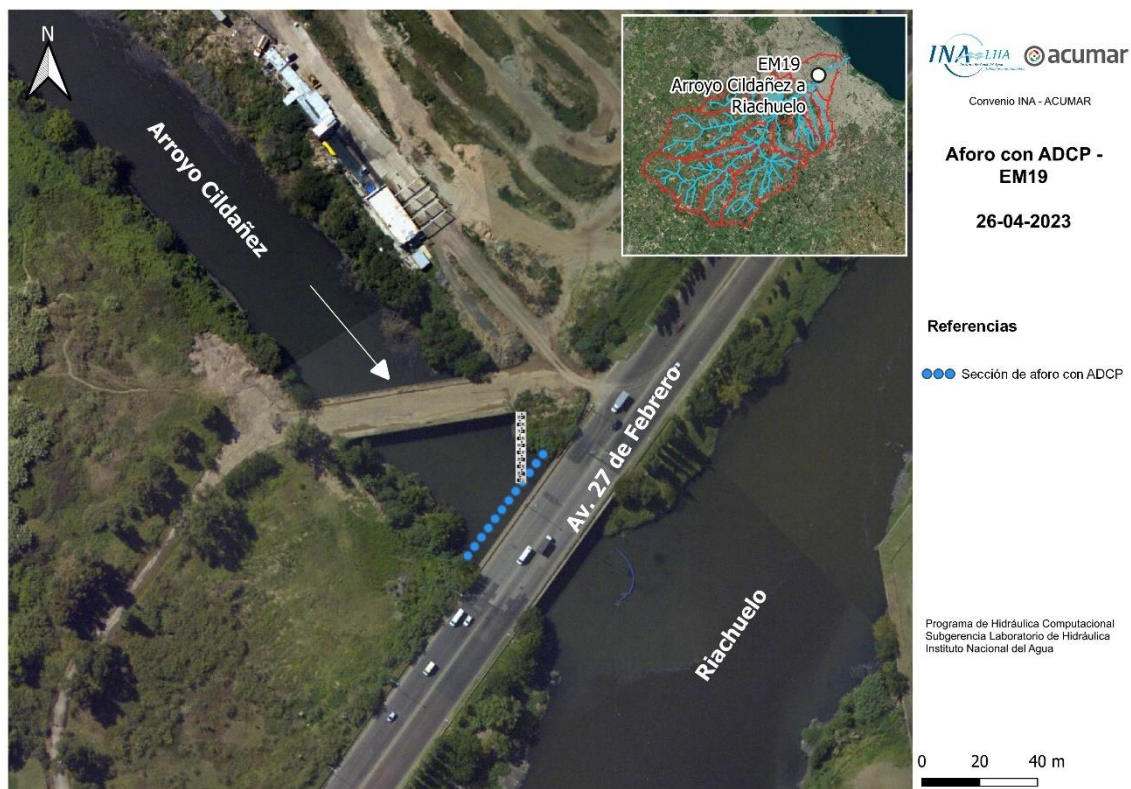


Figura A.53. Sección de aforo en la EM19.

Aforo con ADCP

El equipo ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante dos sogas desde el puente de la Avenida 27 de Febrero (ver Figura A.56). Se realizaron dos pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $-1,02 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 10,0%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.57.

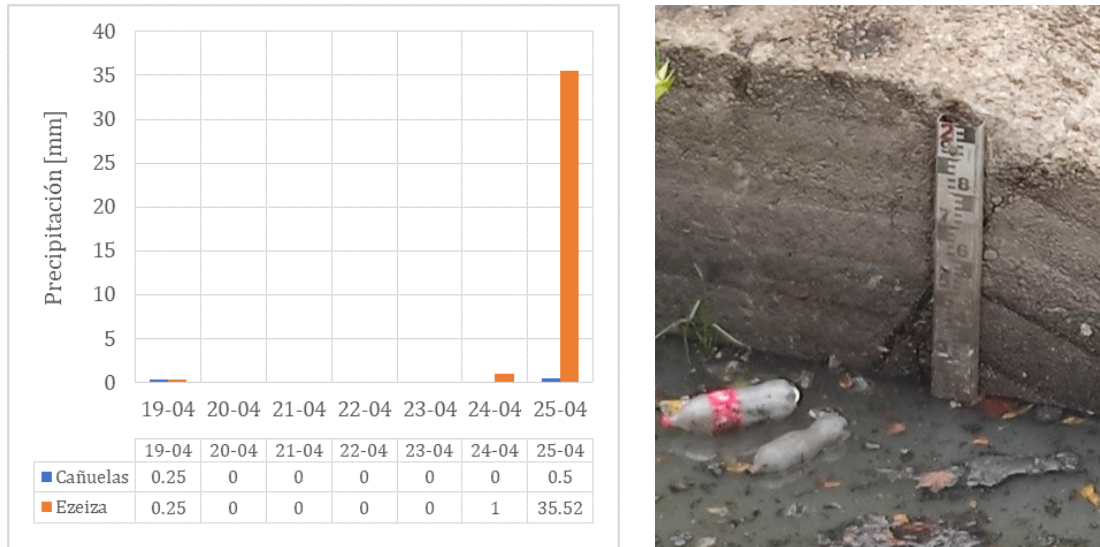


Figura A.54. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y regla hidrométrica (derecha).

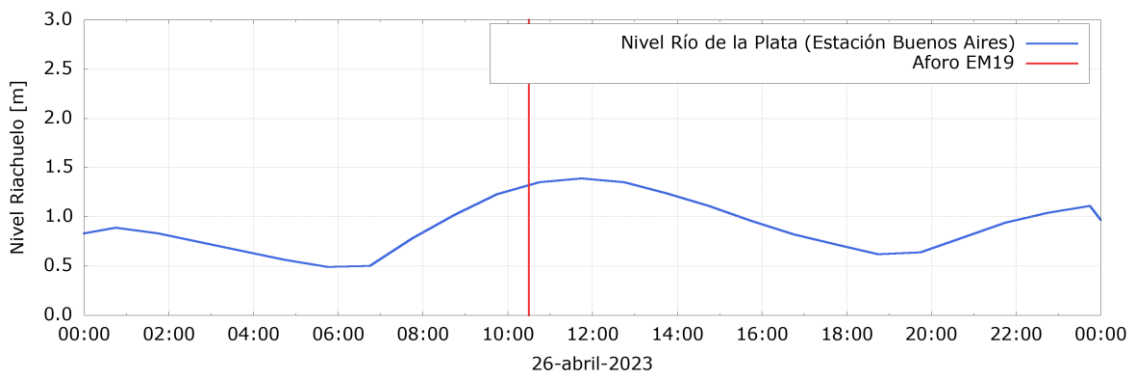


Figura A.55. Niveles registrados en la Estación Regatas de Avellaneda (ACUMAR) al momento de realizarse el aforo en la EM19.



Figura A.56. Aforo con el ADCP mediante sogas desde el puente de la Av. 27 de Febrero en la EM17

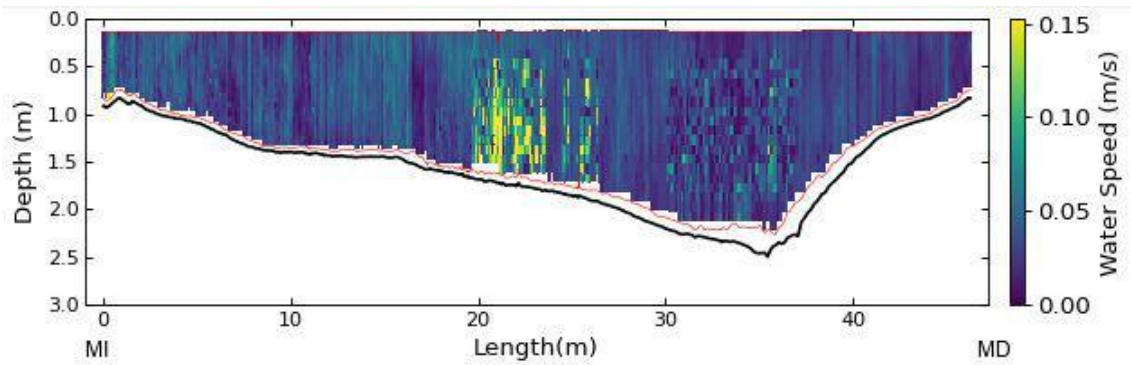


Figura A.57. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM19 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.58 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM19 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la correlación entre ambas variables está fuertemente influenciada por los niveles del Riachuelo, donde descarga el Aº Cildañez.

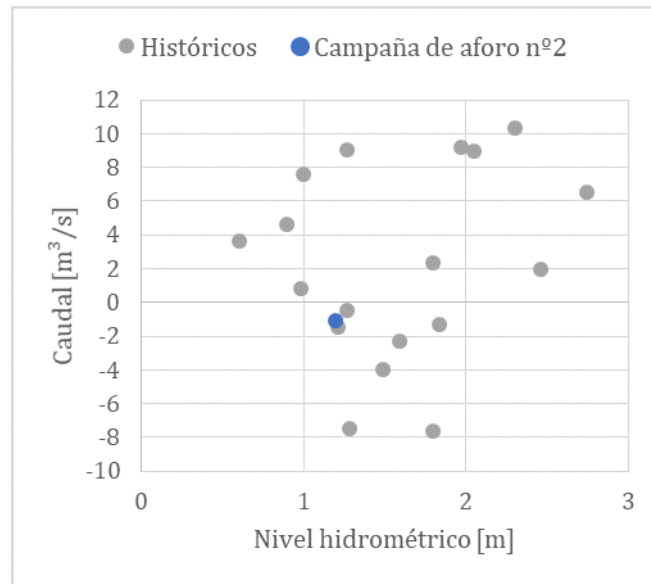


Figura A.58. Registros históricos de niveles y caudales en la EM19.

A.12. EM22

El aforo en esta estación se realizó el día 26/04/2023. La sección de aforo se ubicó aguas debajo de la descarga pluvial ubicada a la altura de la calle Coronel Millán (Figura A.59). La Figura A.60 (izquierda) presenta las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. El aforo se realizó utilizando el equipo ADCP. La altura en la regla hidrométrica no pudo ser registrada por el estado de la escala (ver Figura A.60 derecha). Dado que la dinámica hídrica en esta sección puede llegar a estar afectada por los niveles del Río de la Plata, se muestran en la Figura A.61 los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

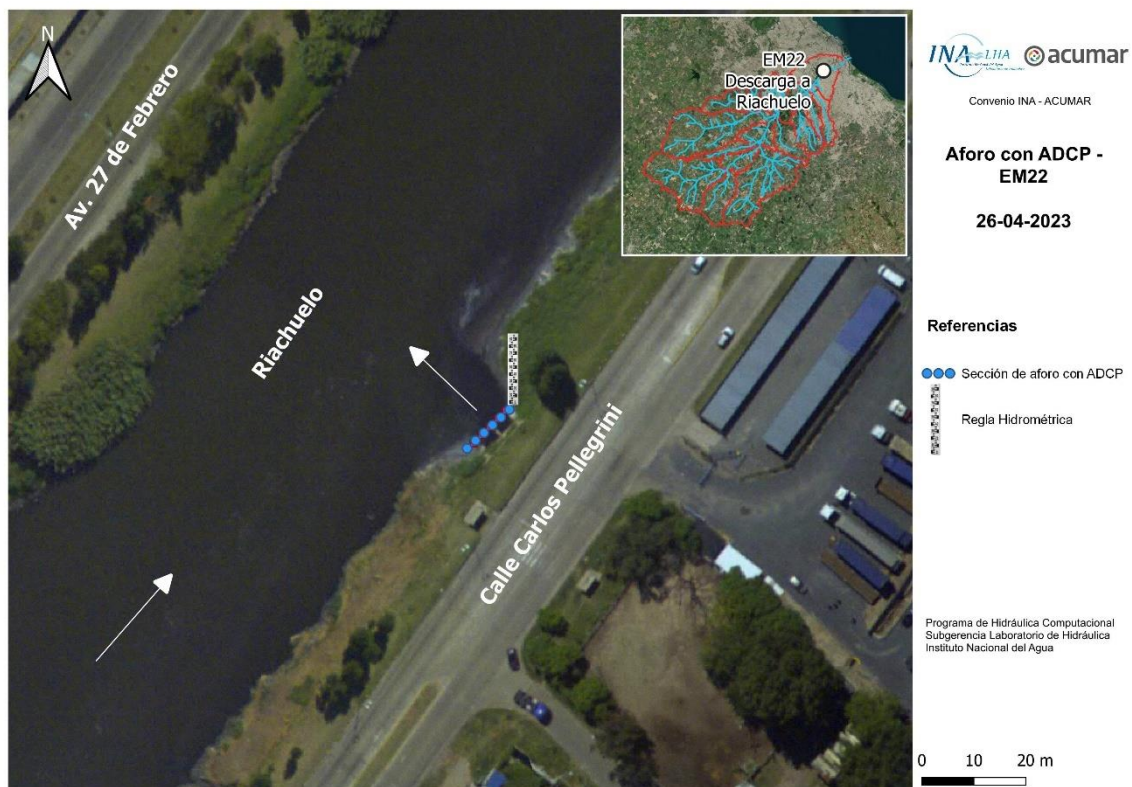


Figura A.59. Sección de aforo en la EM22.

Aforo con ADCP

El equipo ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado mediante dos sogas desde las márgenes del Riachuelo (ver Figura A.62). Se realizaron cuatro pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 8,8%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.63.

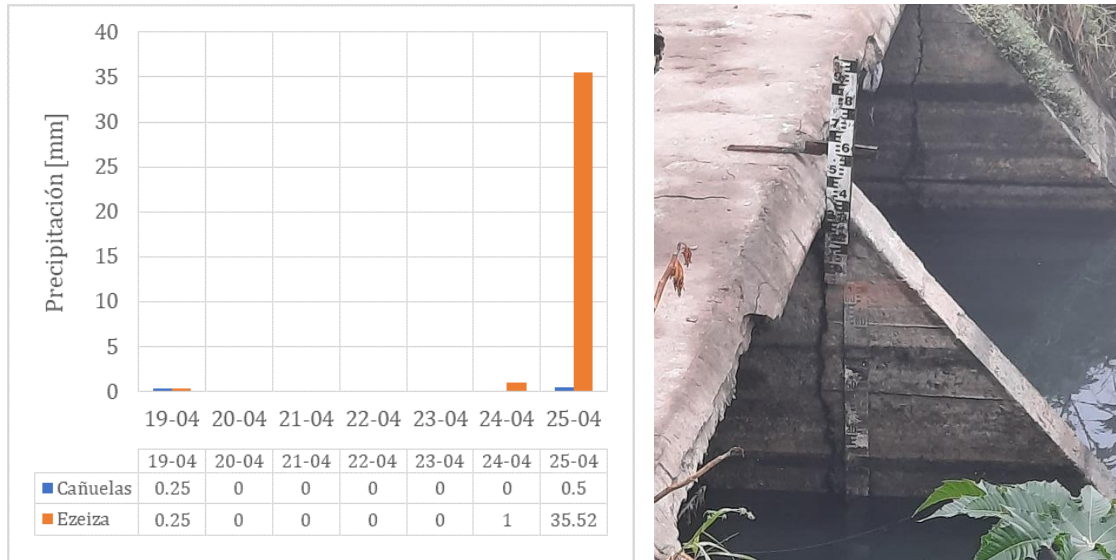


Figura A.60. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y regla hidrométrica cubierta con barro (derecha).

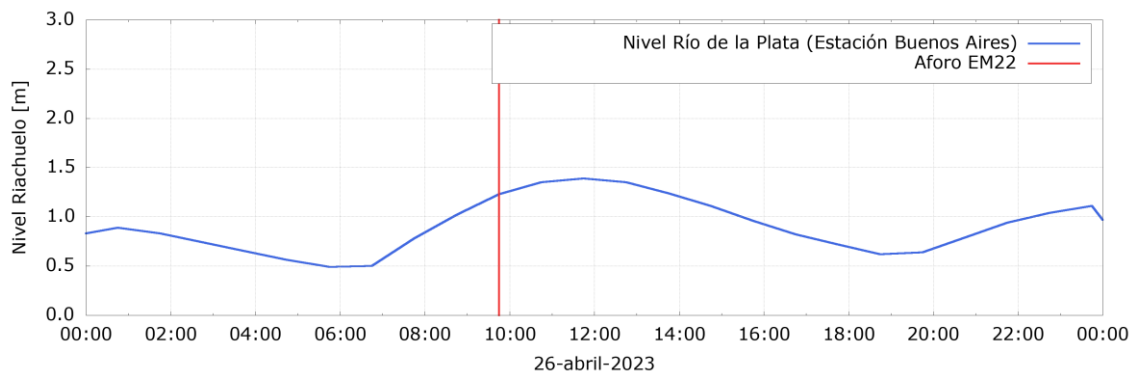


Figura A.61. Niveles registrados en la Estación Regatas de Avellaneda (ACUMAR) al momento de realizarse el aforo en la EM22.



Figura A.62. Aforo con ADCP en la EM22.

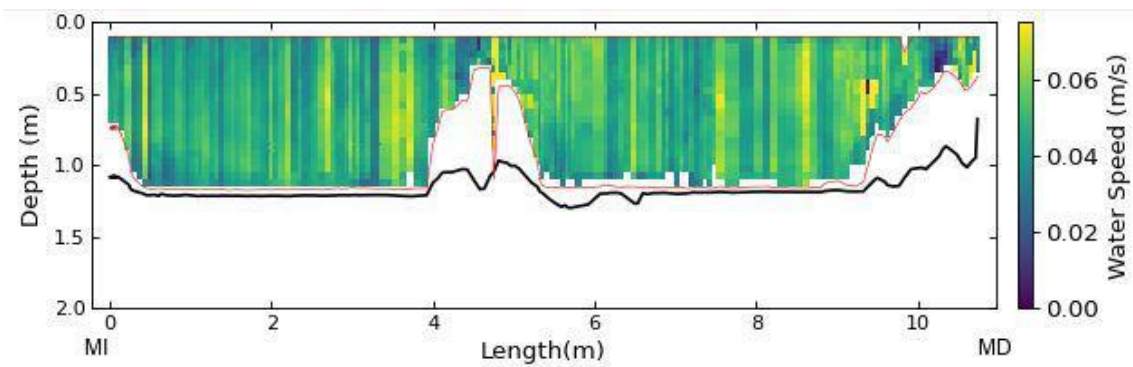


Figura A.63. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM22 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

A.13. EM24

El aforo en la EM24 se realizó el día 27/04/2023 a partir de las 10:20 hs. La sección de aforo se ubicó aguas abajo del Puente Ezequiel Demonty (ex Puente Alsina / Uriburu) (Figura A.64). El aforo se realizó con el equipo ADCP. En la Figura A 65 se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. El río Riachuelo presentaba una situación de aguas bajas. La lectura de la regla hidrométrica fue de $1,31 \pm 0,01$ m a las 10:15 hs (ver Figura A 65). La dinámica del flujo en esta sección está fuertemente afectada por los niveles del Río de la Plata. En la Figura A.66 se muestran los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

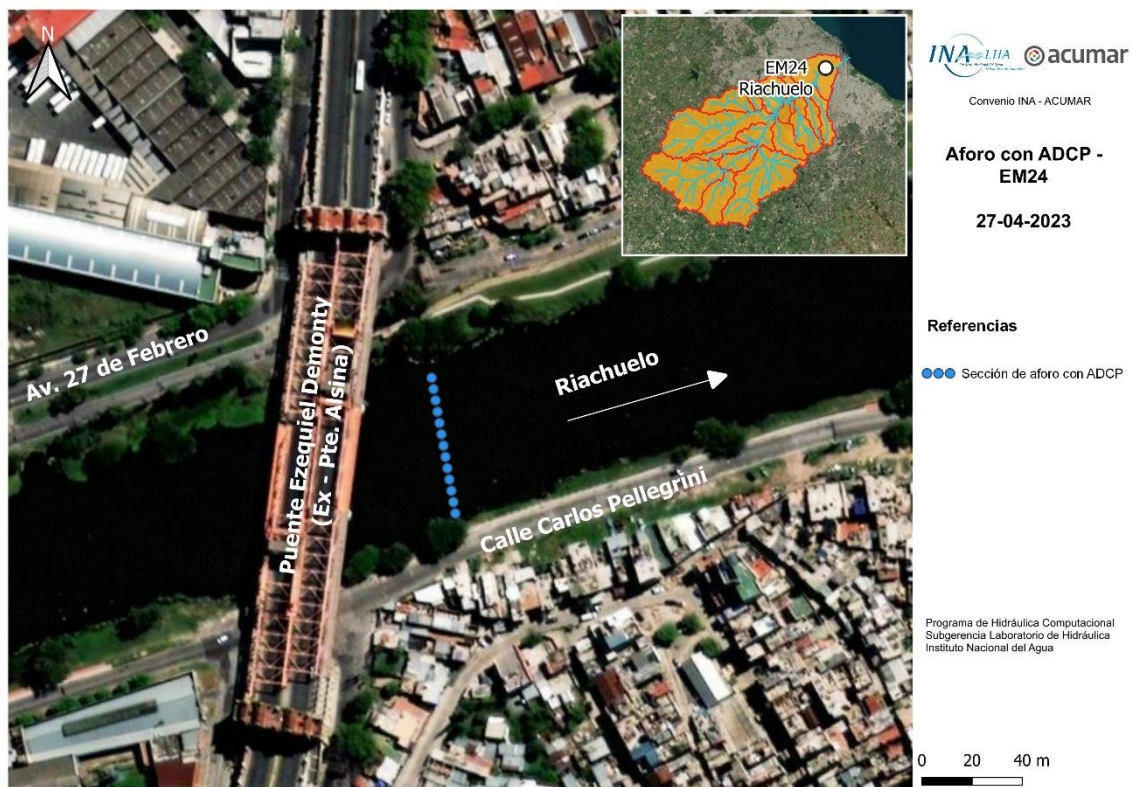


Figura A.64. Sección de aforo en la EM24.

Aforo con ADCP

El equipo ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado desde una embarcación (ver Figura A.67). Se realizaron seis pasadas del equipo sobre la sección de aforo, obteniéndose un caudal medio de $-28,11$ m³/s con una incertidumbre del 4,8%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.68.

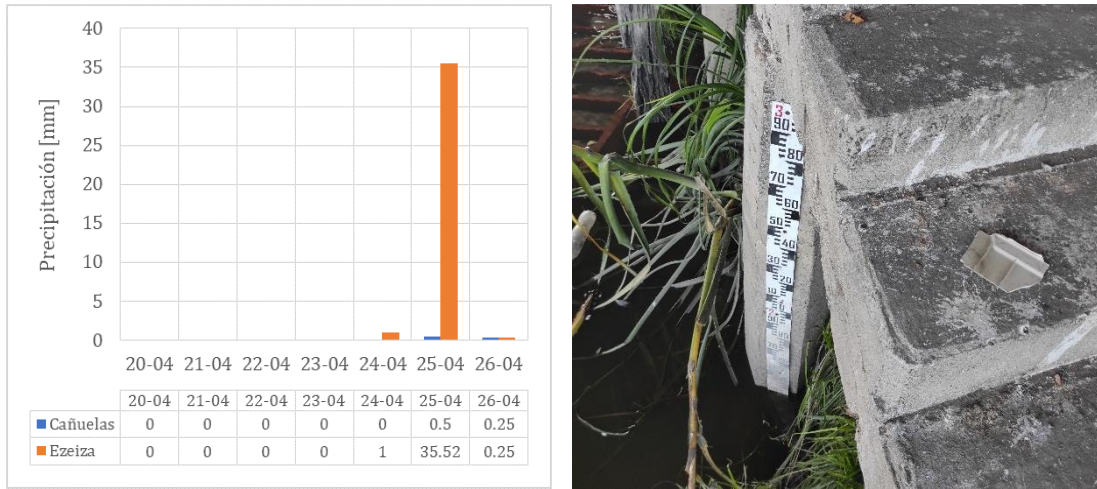


Figura A.65. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo en la EM24 (izquierda) y regla hidrométrica de la EM24 (derecha).

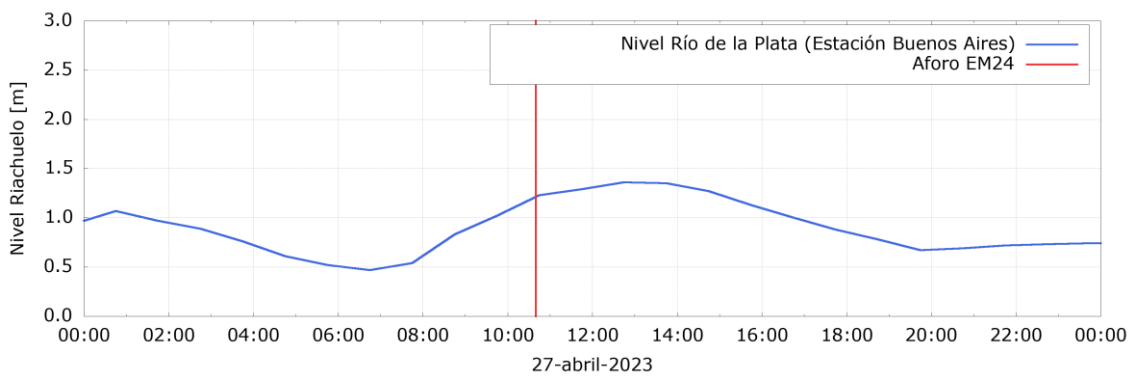


Figura A.66. Niveles registrados en la Estación Regatas de Avellaneda (ACUMAR) al momento de realizarse el aforo en la EM24.



Figura A.67. Aforo embarcado en la EM24.

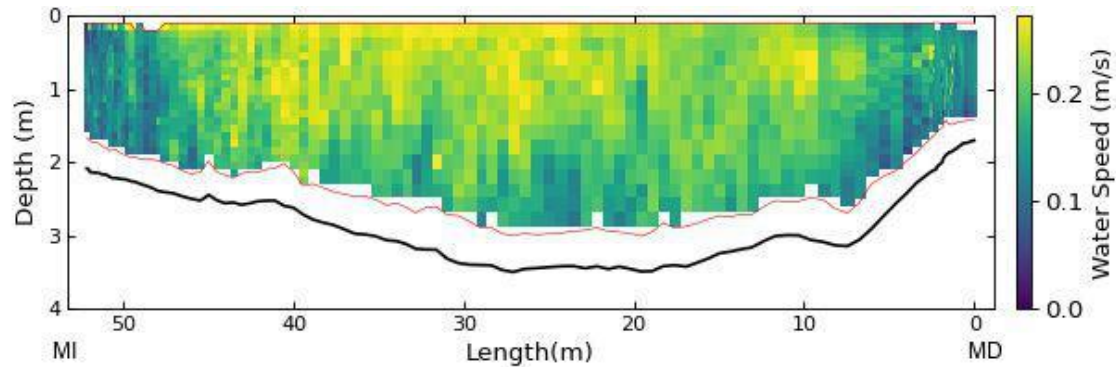


Figura A.68. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM24 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.58 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM24 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la correlación entre ambas variables está fuertemente influenciada por los niveles del Río de la Plata, donde descarga el Riachuelo.

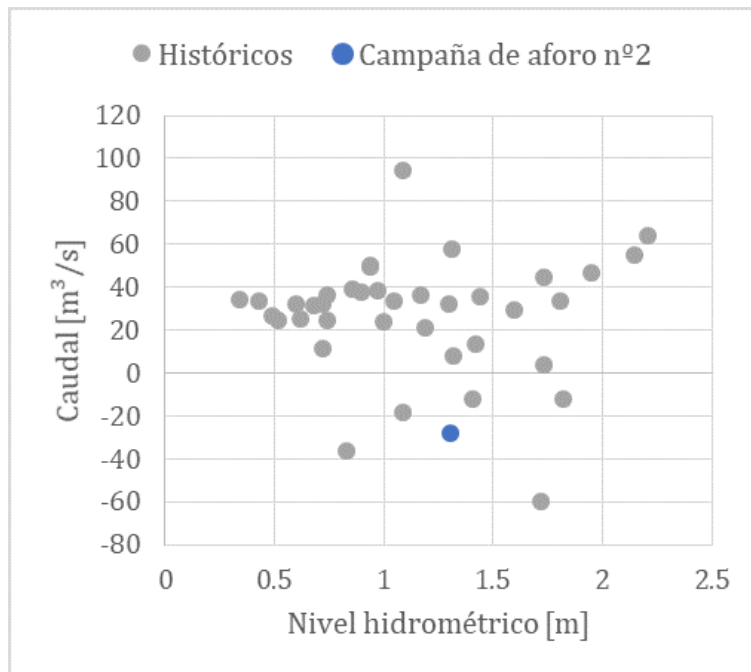


Figura A.69. Registros históricos de niveles y caudales en la EM24.

A.14. EM30

El aforo en la EM30 se realizó el día 27/04/2023 a partir de las 09:00 hs. La sección de aforo se ubicó aguas arriba del Viejo Puente Pueyrredón (Figura A.70). El aforo se realizó con el equipo ADCP. El río Riachuelo presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.71 se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica fue de $1,03 \pm 0,01$ m a las 09:30. La dinámica del flujo en esta sección está fuertemente afectada por los niveles del Río de la Plata. En la Figura A.72 se muestran los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

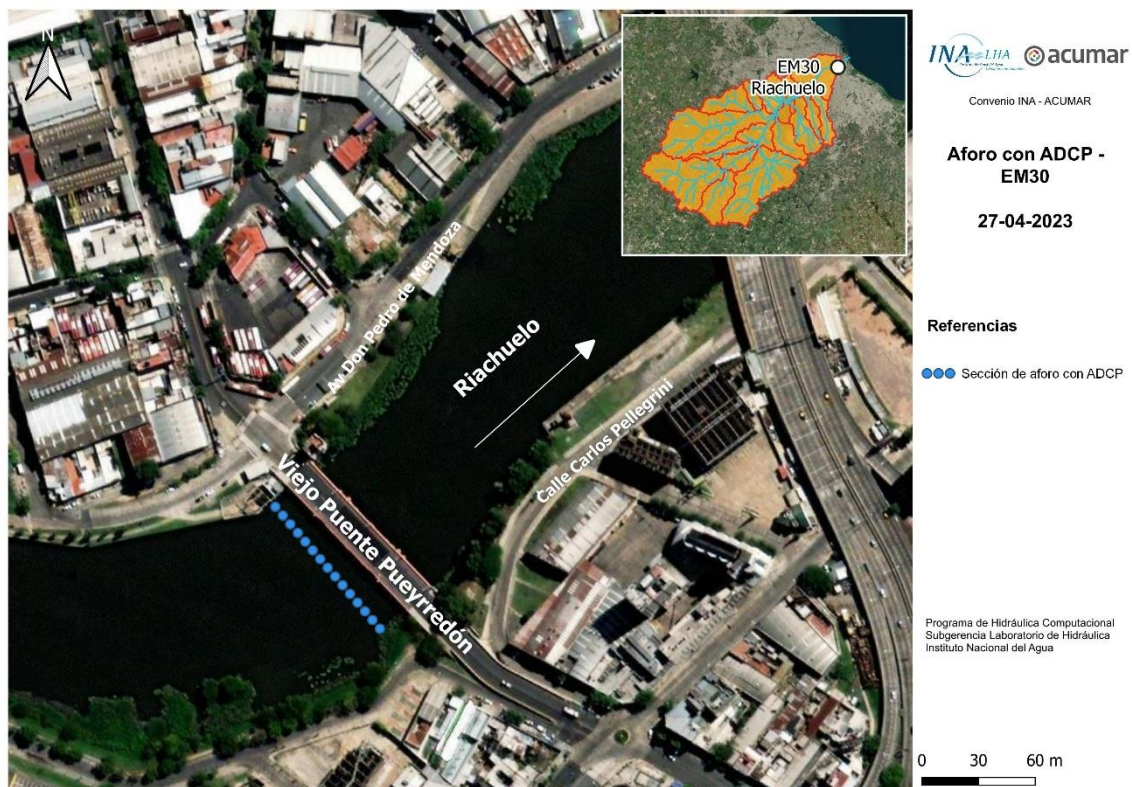


Figura A.70. Sección de aforo en la EM30.

Aforo con ADCP

El equipo ADCP se utilizó montado sobre un Hydroboard guiado desde una embarcación (ver Figura A.73). Se realizaron seis pasadas del equipo sobre la sección de aforo, obteniéndose un caudal medio de $-50,66 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 6,0%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.74.

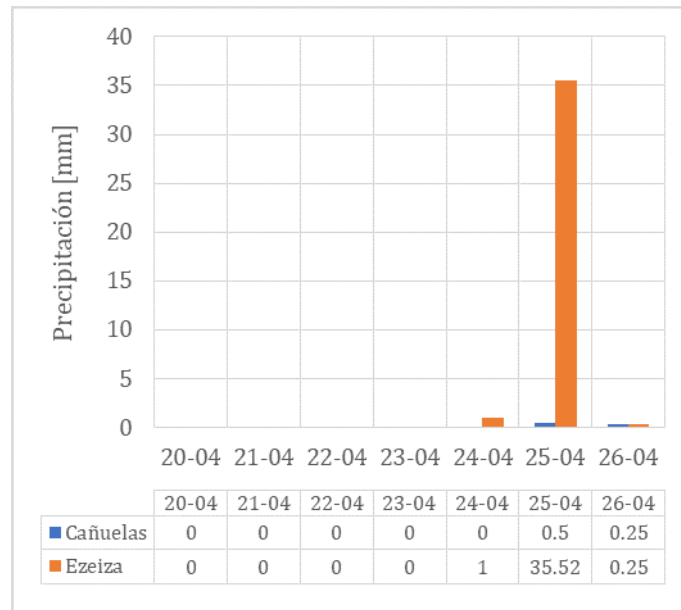


Figura A.71. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo en la EM30.

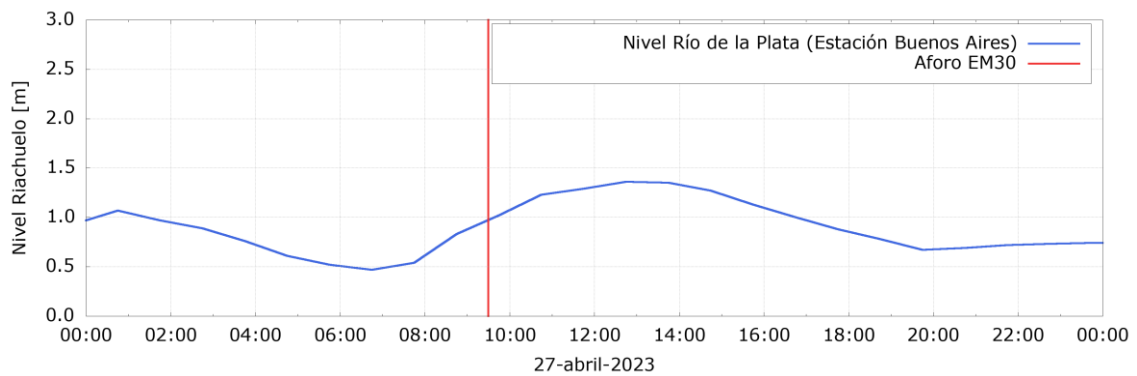


Figura A.72. Niveles registrados en la Estación Regatas de Avellaneda (ACUMAR) al momento de realizarse el aforo en la EM30.

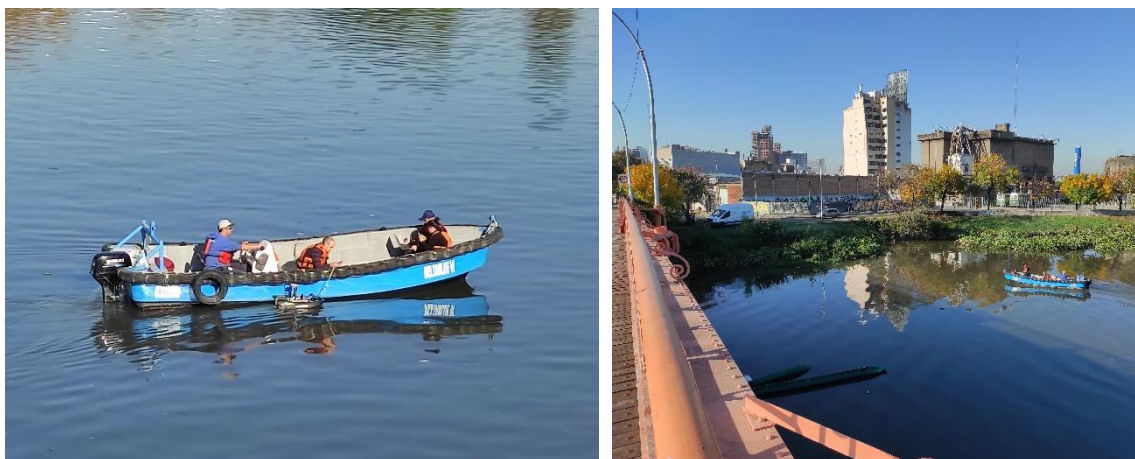


Figura A.73. Aforo embarcado en la EM30.

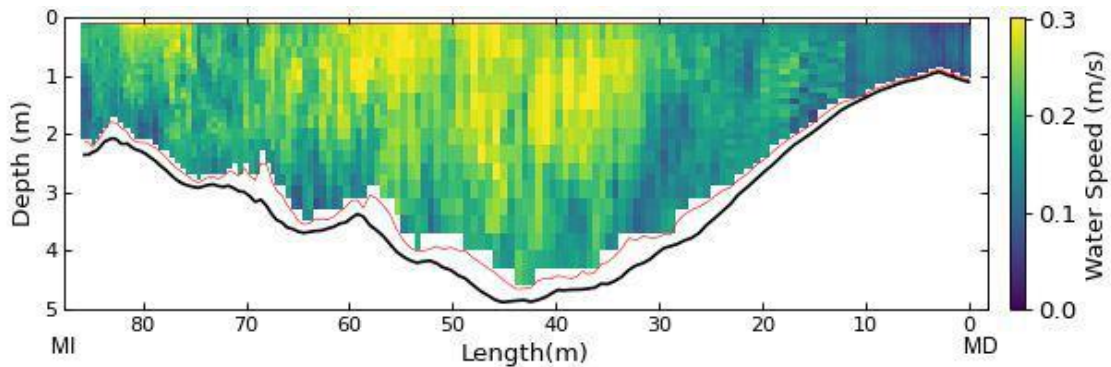


Figura A.74. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM30 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.75 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM24 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña. Se observa que la correlación entre ambas variables está fuertemente influenciada por los niveles del Río de la Plata, donde descarga el Riachuelo.

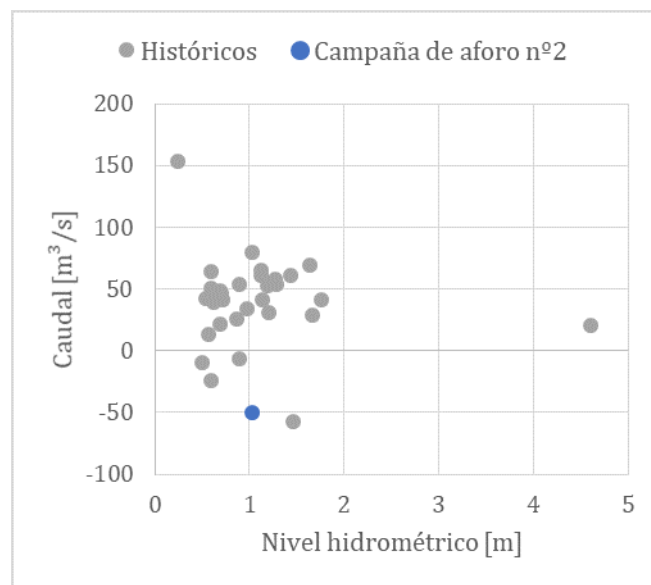


Figura A.75. Registros históricos de niveles y caudales en la EM30.

A.15. EM41

El día 13/04/2023 a las 11:15 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente a la presente campaña de aforos. El aforo en esta sección se realizó con ADCP en la sección del arroyo Cebey ubicada aguas arriba del puente vial de la calle Rubén Darío (Figura A.76).



Figura A.76. Secciones de aforo en la EM41.

El curso del arroyo Cebey se encontraba en una situación de aguas bajas. En la semana previa al aforo se registraron precipitaciones poco significativas, tal como se muestra en la Figura A.77. La altura registrada en la regla hidrométrica fue $0,10 \pm 0,01$ (ver Figura A.78). Adicionalmente la cota de la superficie del agua fue registrada mediante el GPS Diferencial, siendo la misma de $14,17 \pm 0,05$ m IGN.

Aforo con ADCP

El aforo con ADCP (Figura A.79) se realizó desde las 11:50 hasta las 12:20. Se realizaron doce pasadas, obteniéndose un caudal de $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 5,6%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.80.

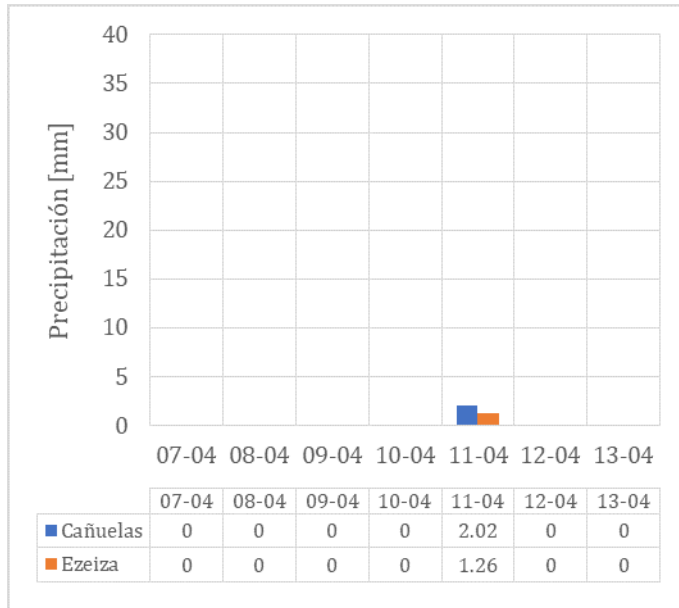


Figura A.77. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo.



Figura A.78. Regla hidrométrica de la EM 41.



Figura A.79. Aforo con ADCP en la EM41.

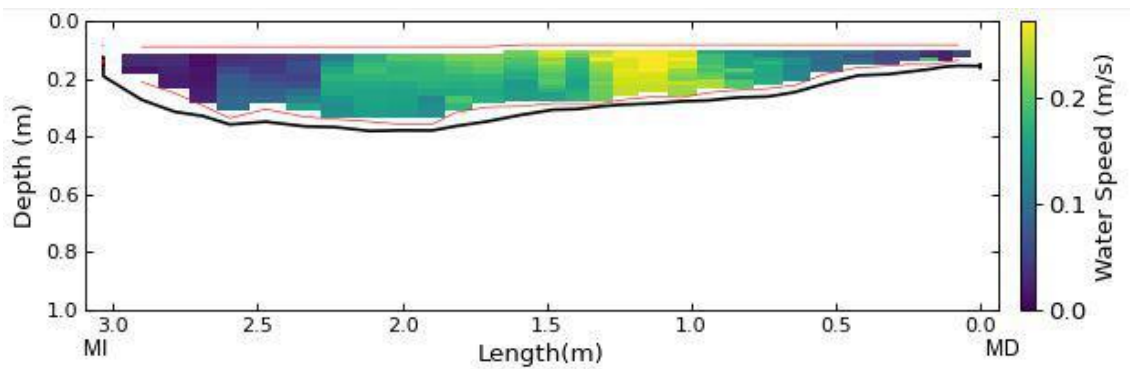


Figura A.80. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM41 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

Comparación con registros históricos

La Figura A.81 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM41 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.

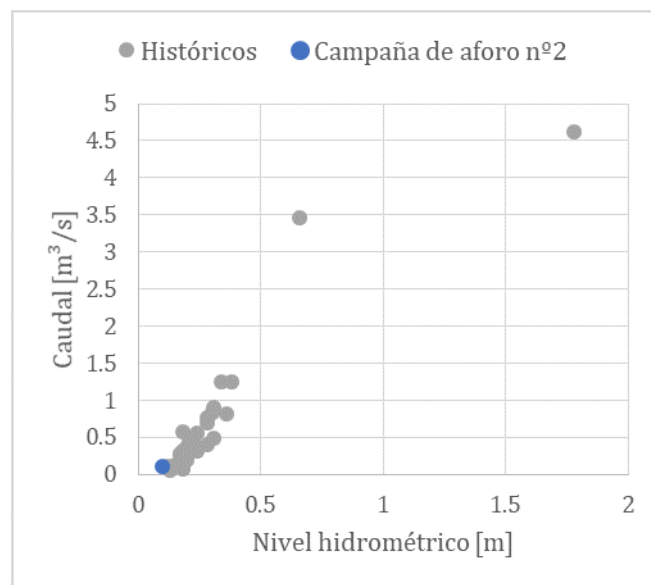


Figura A.81. Registros históricos de niveles y caudales en la EM41.

A.16. EM68

El aforo en esta estación se realizó el día 10/04/2023. La sección de aforo sobre el arroyo Rodríguez se muestra en la Figura A.82. El aforo se realizó con el equipo ADV. El arroyo Rodríguez presentaba una situación de aguas bajas. No se registraron precipitaciones en la semana previa al aforo, tal como se muestra en la Figura A.83 (izquierda). La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,10 \pm 0,01$ m a las 13:30 (Figura A.83 derecha).

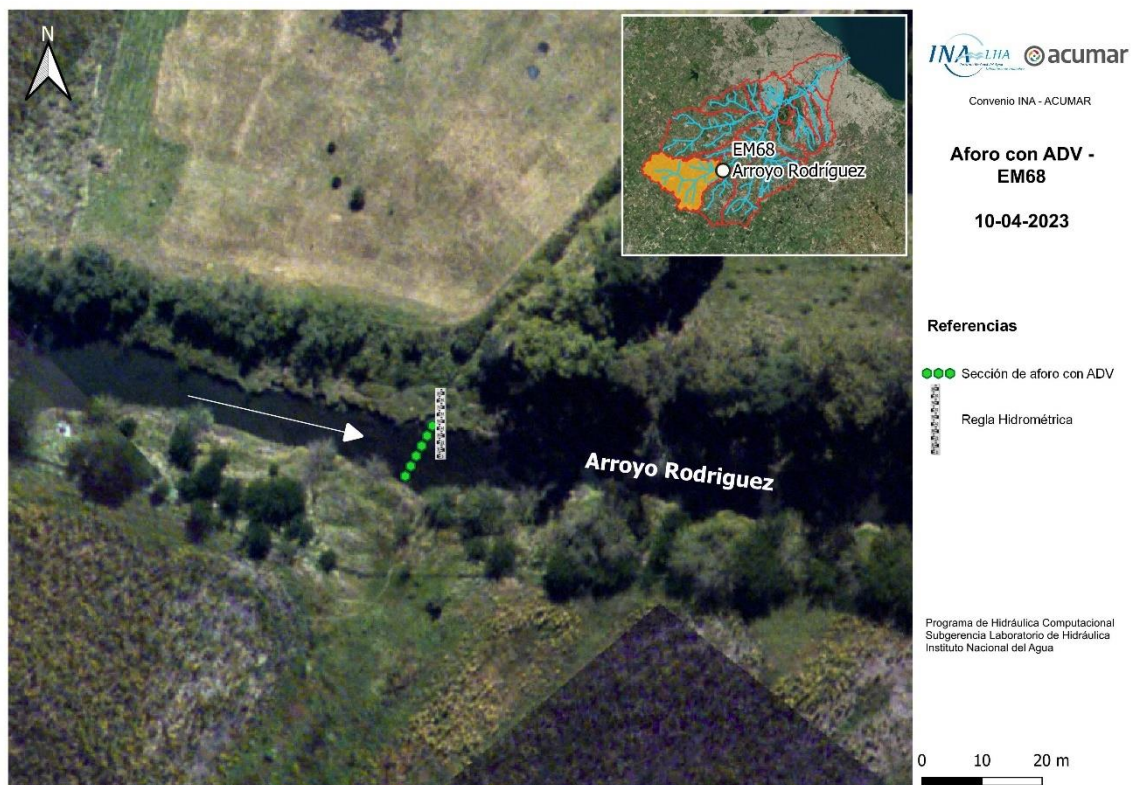


Figura A.82. Sección de aforo en la EM68.

Aforo con ADV

El aforo con ADV (Figura A.84) se realizó desde las 12:00 hasta las 13:00. Se obtuvo un caudal de $0,038$ m³/s con una incertidumbre del 6,0%. Los perfiles de profundidades, velocidades y caudales obtenidos en la sección de aforo se muestran en la Figura A.85.

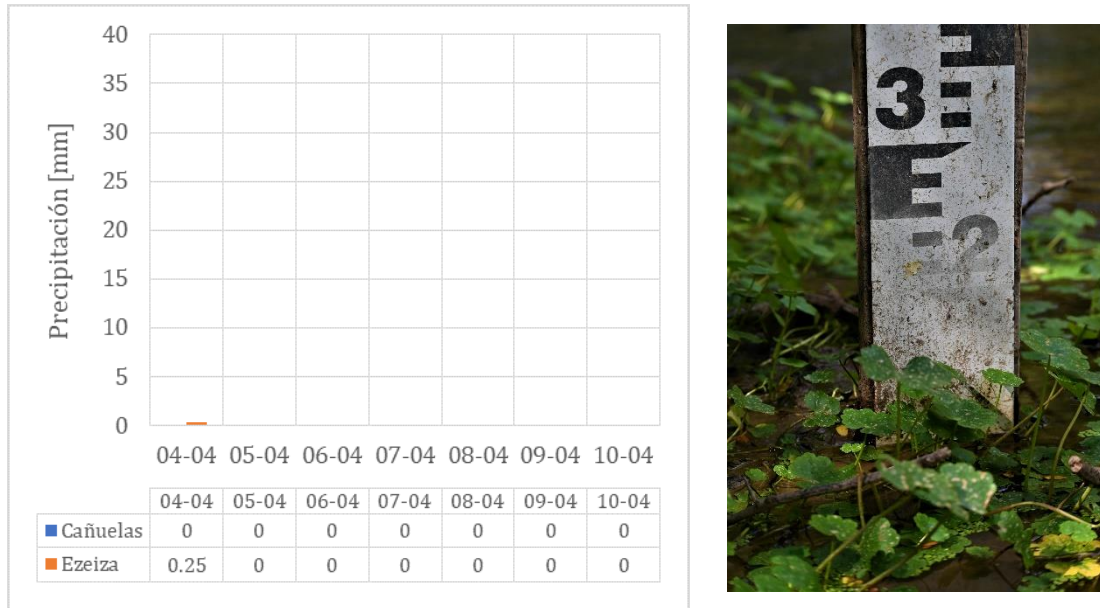
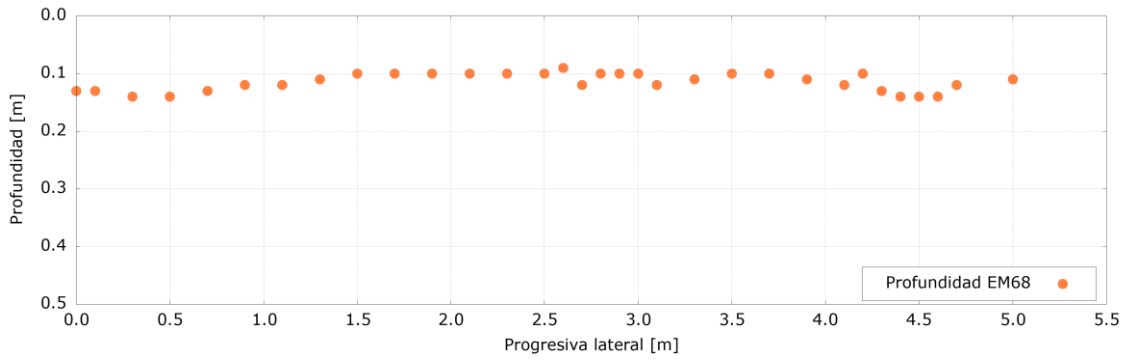


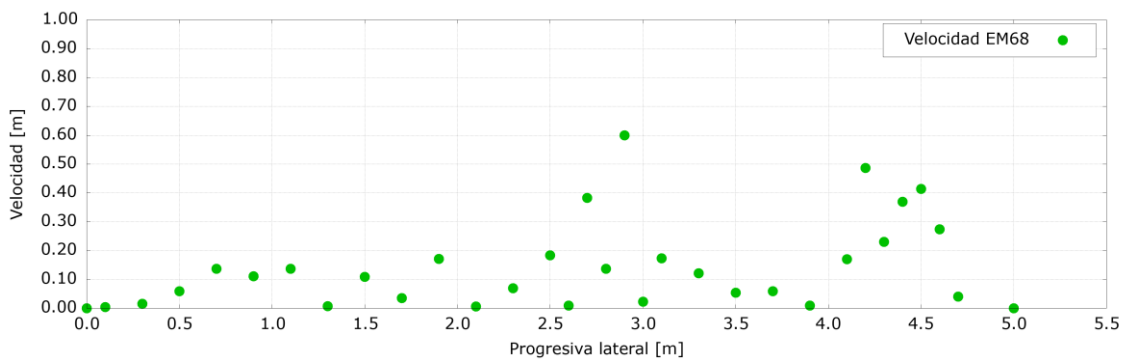
Figura A.83. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y nivel del curso registrado por la regla hidrométrica previa limpieza de la misma (derecha).



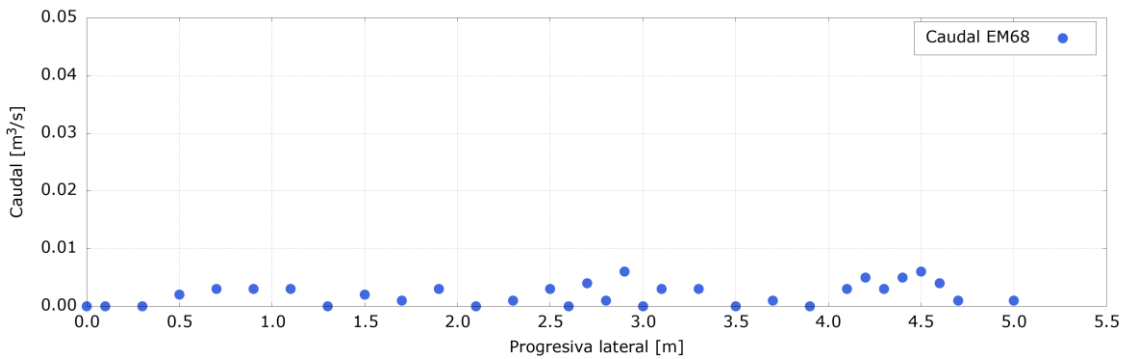
Figura A.84. Aforo con ADV en la EM68.



a) Profundidades



b) Velocidades medidas



c) caudales

Figura A.85. Distribución de profundidades, velocidades medidas y caudales en la sección de aforo de la EM68 obtenida con ADV. La progresiva lateral 0 se corresponde con la margen izquierda.

Comparación con registros históricos

La Figura A.86 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM68 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña.

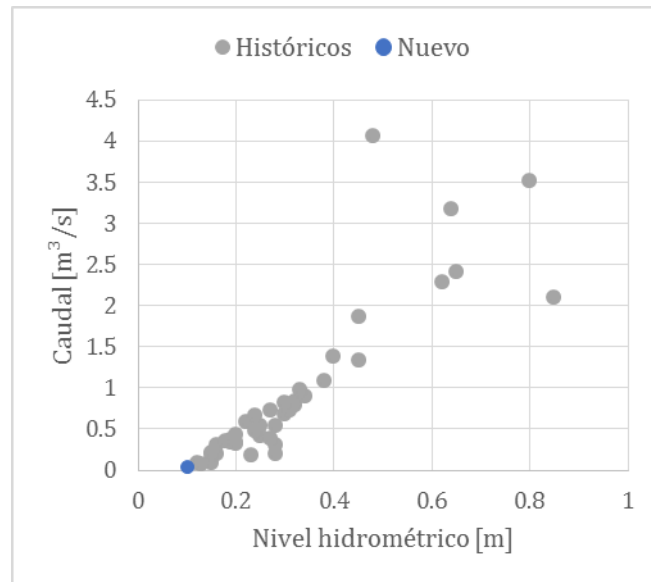


Figura A.86. Registros históricos de niveles y caudales en la EM68.

A.17. EM72

El día 21/04/2023 a las 11:00 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente. La sección de aforo sobre la descarga de la Laguna de Rocha se muestra en la Figura A.87. En la Figura A.88 izquierda se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. La lectura de la regla hidrométrica no se pudo realizar por el estado de la misma (Figura A.88 derecha). Dado que la dinámica hídrica en esta sección puede llegar a estar afectada por los niveles del Río de la Plata, se muestran en la Figura A.89 los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.



Figura A.87. Sección de aforo en la EM72.

Aforo con ADCP

El ADCP se utilizó montado sobre un hydroboard guiado mediante un palo extensor desde la margen izquierda del curso de agua (ver Figura A.90). Se realizaron catorce pasadas del equipo sobre la sección de aforo obteniéndose un caudal medio de $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ con una incertidumbre del 6,2%. La distribución de velocidades obtenidas en la sección de aforo se muestra en la Figura A.91.

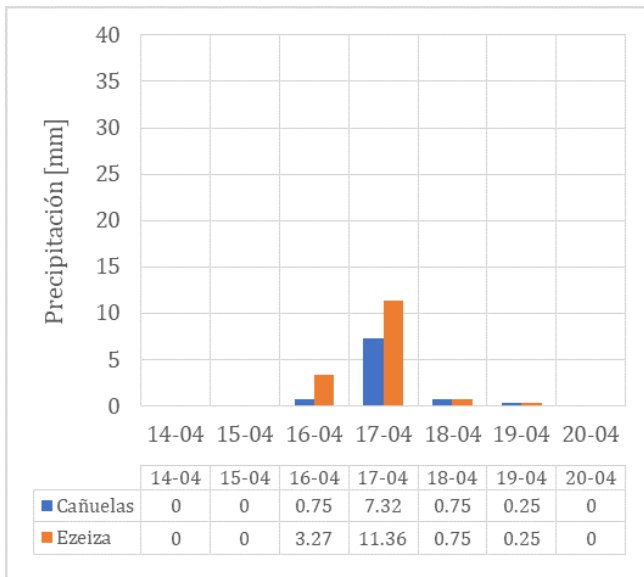


Figura A.88. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y regla hidrométrica (derecha).

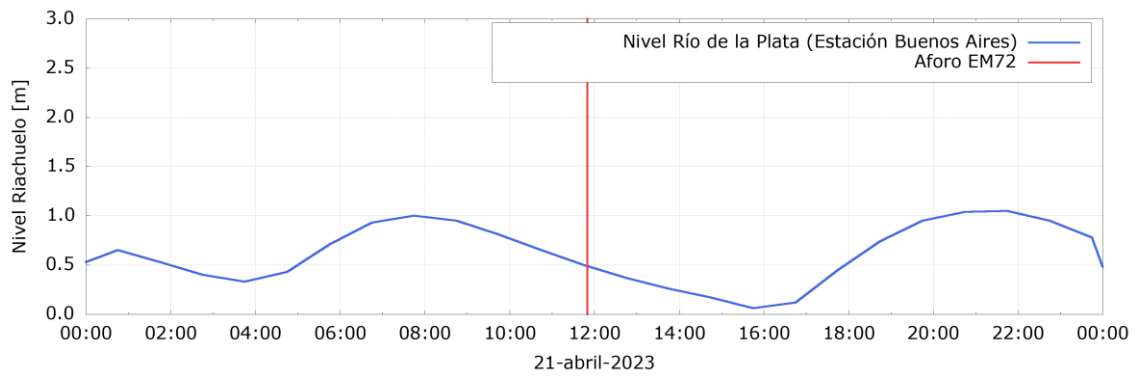


Figura A.89. Niveles del Río de la Plata al momento de realizarse el aforo en la EM72.



Figura A.90. Realización del aforo en la EM72.

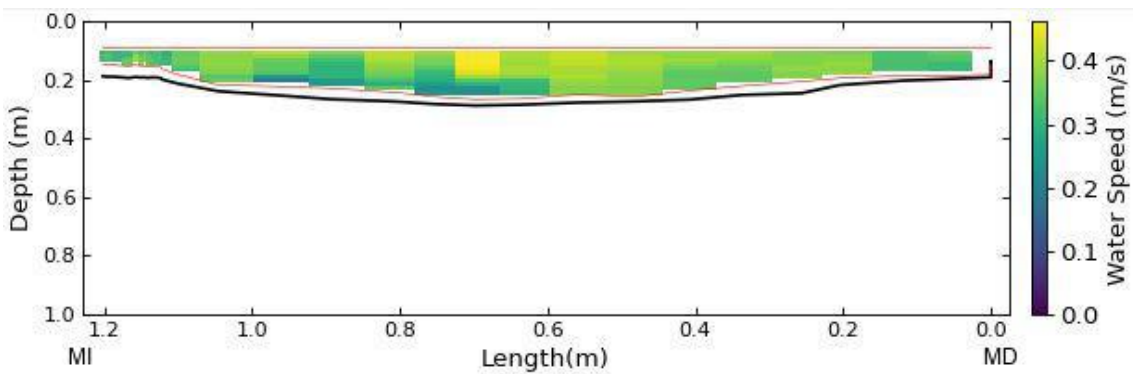


Figura A.91. Distribución de velocidades en la sección de aforo de la EM72 obtenida con ADCP. En el gráfico se señala la ubicación de la margen izquierda (MI) y de la margen derecha (MD).

A.18. EM73

El día 24/04/2023 a las 10:15 hs se arribó a esta estación con el objetivo de realizar el aforo correspondiente. El aforo se realizó aguas arriba de la descarga de la Planta Sudoeste de tratamiento de líquidos cloacales (Figura A.92) utilizando el equipo ADCP. En la Figura A.93 se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa (Figura A.93, izquierda). La lectura de la regla hidrométrica fue de $0,69 \pm 0,01$ m a las 10:30 (Figura A.93, derecha).

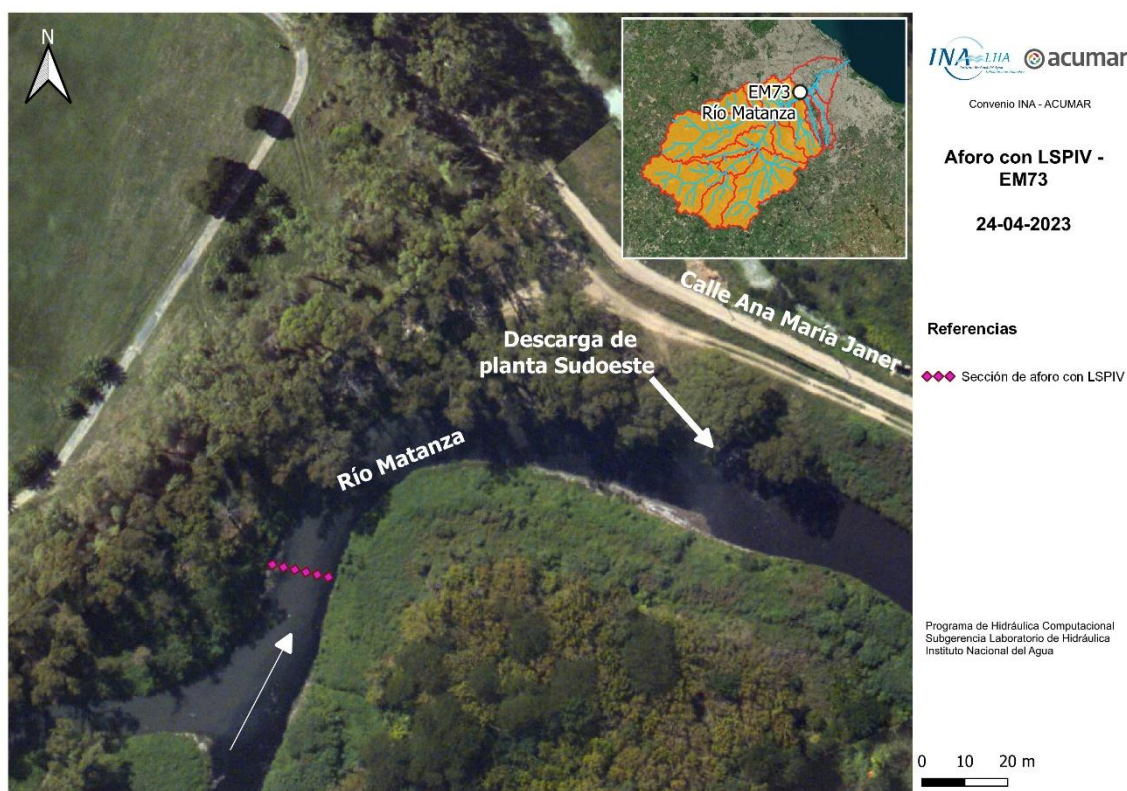


Figura A.92. Sección de aforo en la EM73.

Aforo mediante la técnica LSPIV

En la sección de aforo se observó que el flujo se desplazaba en sentido inverso, producto de la descarga de la Planta Sudoeste (ver Figura A.94). La Figura A.95 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa, donde las velocidades máximas alcanzan los $-0,05$ m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de $-0,09$ m³/s.

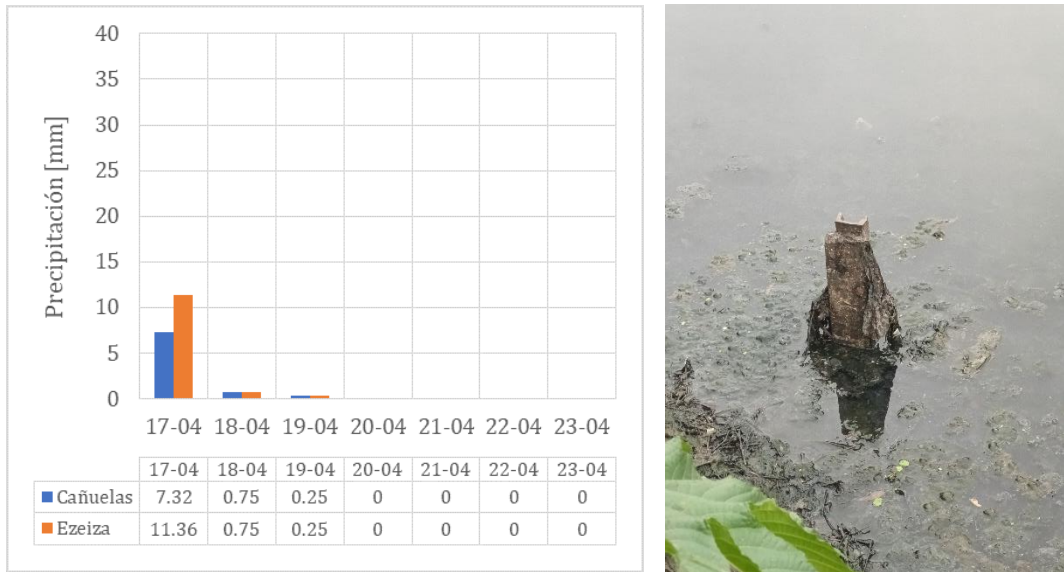


Figura A.93. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo (izquierda) y lectura de la escala hidrométrica (derecha).



Figura A.94. Flujo inverso en la EM73 debido a la descarga de la Planta Sudoeste (izquierda) y sección de aforo (derecha).

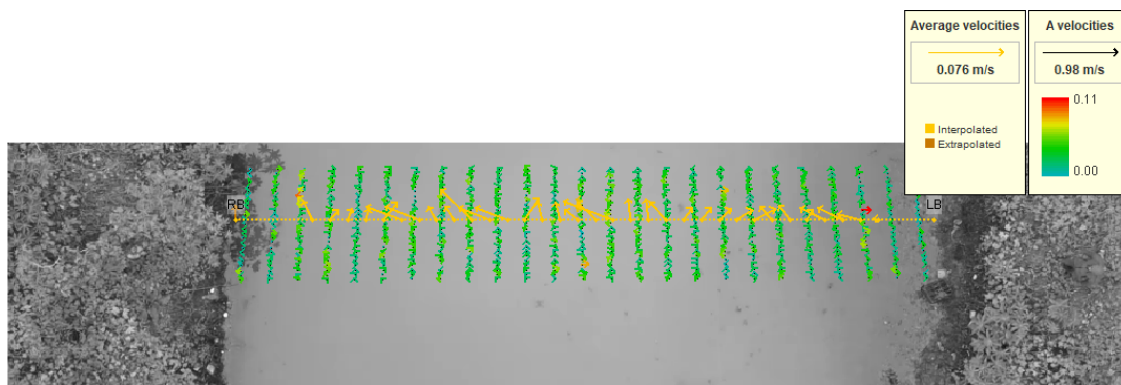


Figura A.95. Campo de velocidades superficiales en la EM73 obtenido con el software Fudaa.

Comparación con registros históricos

La Figura A.96 muestra los registros históricos de niveles y caudales en la EM73 y la comparación con el nuevo registro obtenido en la presente campaña.

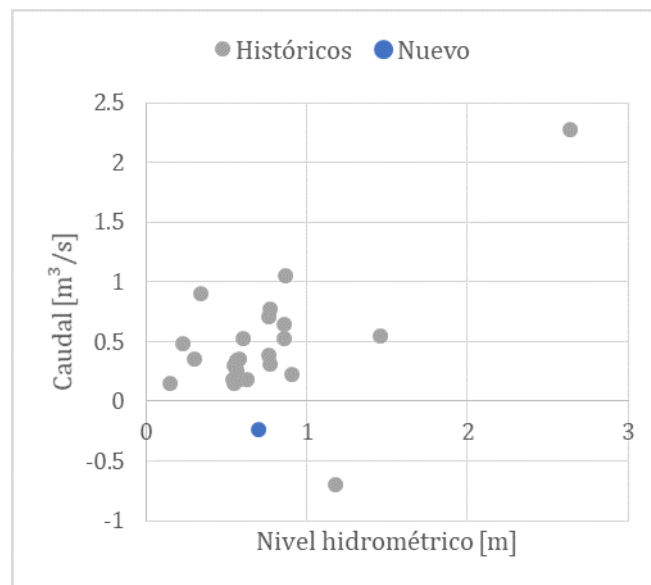


Figura A.96. Registros históricos de niveles y caudales en la EM73.

A.19. EM76

El aforo en esta estación se realizó el día 20/04/2023 a las 11:10 hs. La sección de aforo sobre el arroyo Susana se ubicó aguas abajo del puente vial de la calle Concejal P. Gómez, como se muestra en la Figura A.97. El aforo se realizó utilizando la técnica LSPIV. El arroyo Susana presentaba una situación de aguas bajas. En la Figura A.98 se presentan las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. En julio del 2021 se instaló una nueva regla hidrométrica en la sección, pero en la actualidad a la misma la falta parte del primer tramo, por lo cual no se pudo relevar el nivel de la superficie del agua.



Figura A.97. Sección de aforo en la EM76.

Aforo mediante la técnica LSPIV

Para implementar la técnica se lanzaron trazadores, compuestos por partículas de madera, desde el puente vial de la calle Concejal P. Gómez. Se utilizaron ocho puntos fijos establecidos en la Campaña de Reconocimiento Inicial de este proyecto¹³. Estos puntos fueron marcados con aerosol en la canalización del arroyo Susana y sus coordenadas se relevaron con el GPS

¹³ INA, 20201. Aforos de ríos y arroyos en la Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe 02 – Campaña de reconocimiento inicial. Proyecto INA 397. Informe LHA 02-397-21. Ezeiza, marzo de 2021

Diferencial. La Figura A.99 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa. El caudal medio obtenido fue de 0,11 m³/s.

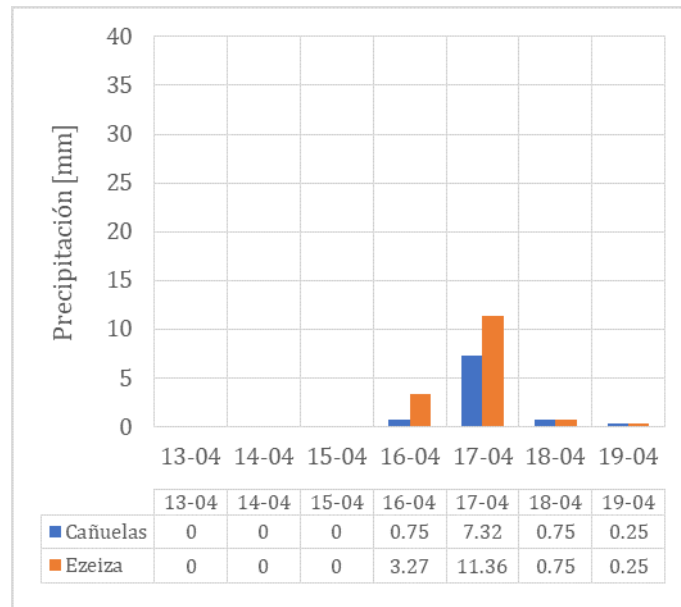


Figura A.98. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo.

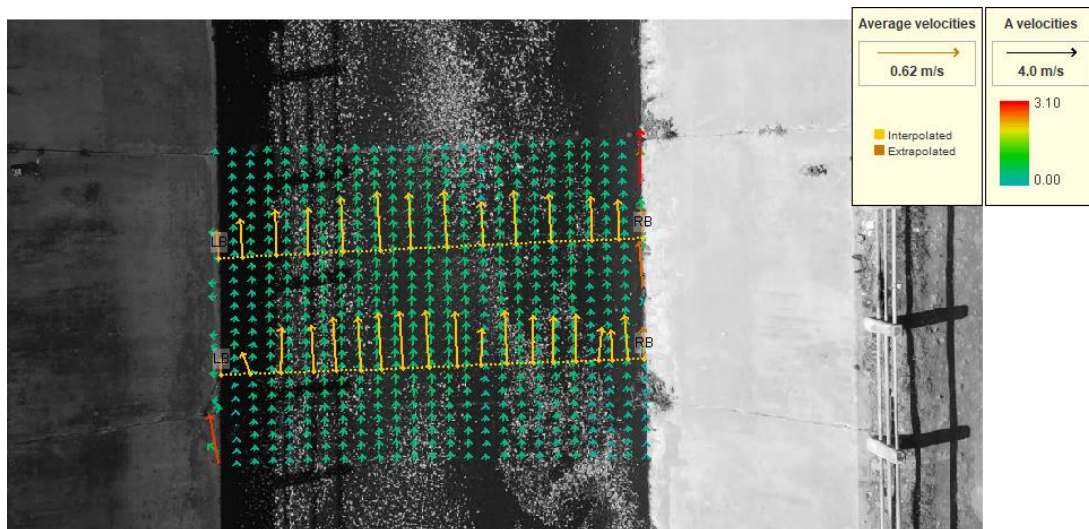


Figura A.99. Campo de velocidades superficiales en la EM76 obtenido con el software Fudaa.

A.20. EM78

El aforo en esta estación se realizó el día 25/04/2023. La sección de aforo se ubicó aguas debajo de la descarga del aliviador del arroyo Cildañez (Figura A.100). La dinámica del flujo en esta sección está fuertemente afectada por los niveles del Río de la Plata. En la Figura A.101 se muestran los niveles registrados el día del aforo en el hidrómetro Buenos Aires Puerto Sur (ubicado en la Isla Demarchi) perteneciente a la Administración General de Puertos.

La Figura A.102 presenta las precipitaciones registradas en dos estaciones meteorológicas representativas de la cuenca durante la semana previa. El aforo se realizó utilizando la técnica LSPIV.

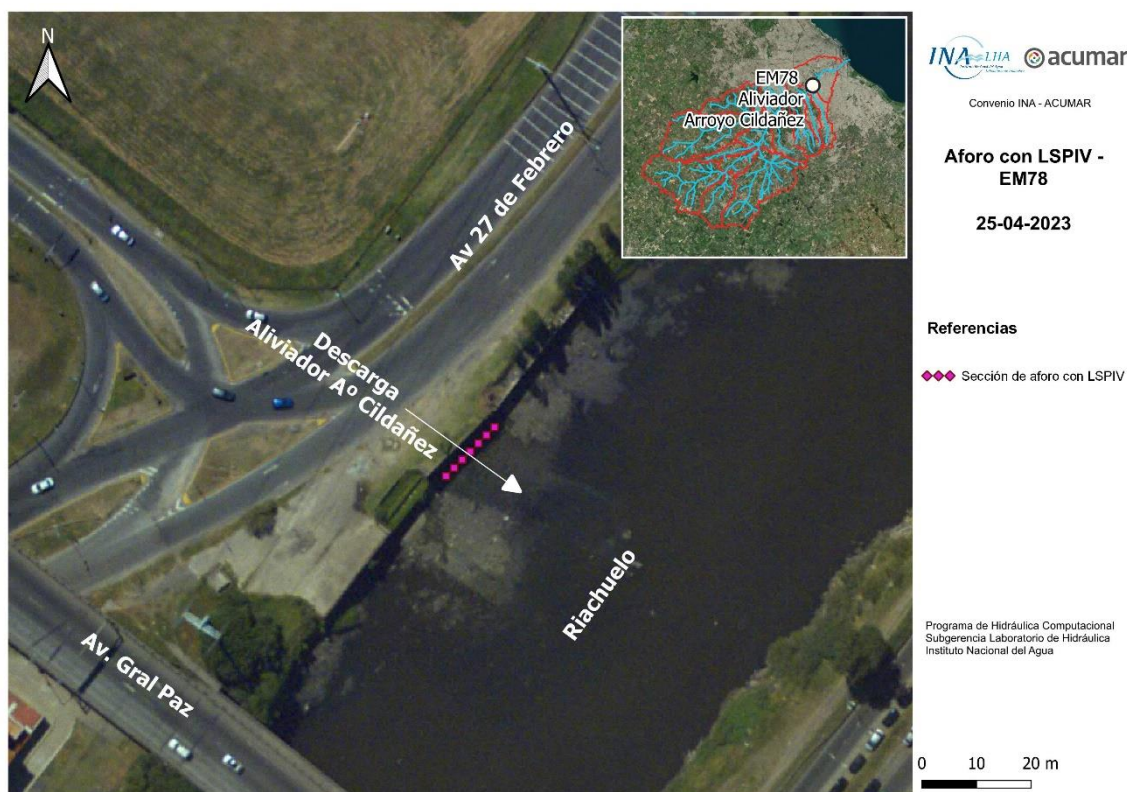


Figura A.100. Sección de aforo en la EM78.

Aforo mediante la técnica LSPIV

La Figura A.103 muestra el campo de velocidades superficiales obtenido con el software Fudaa, donde las velocidades máximas alcanzan los 0,45 m/s en la sección de aforo. El caudal medio obtenido fue de 0,19 m³/s.

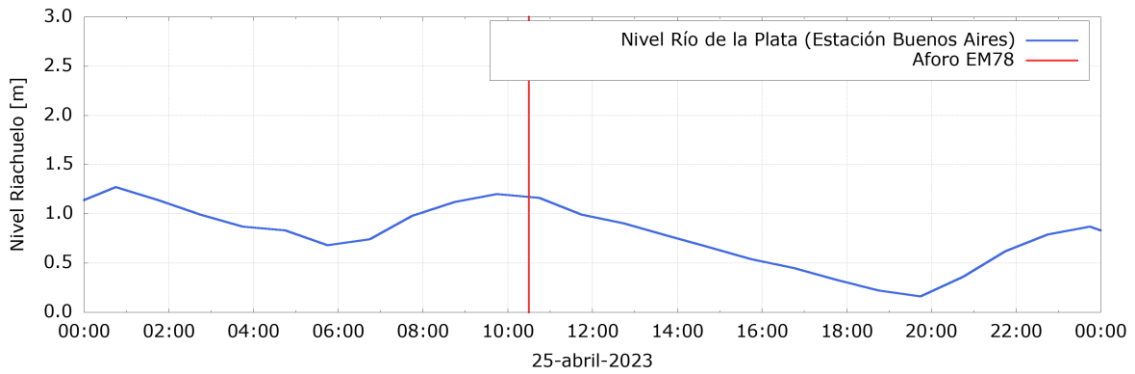


Figura A.101. Niveles del Río de la Plata al momento de realizarse el aforo en la EM78.

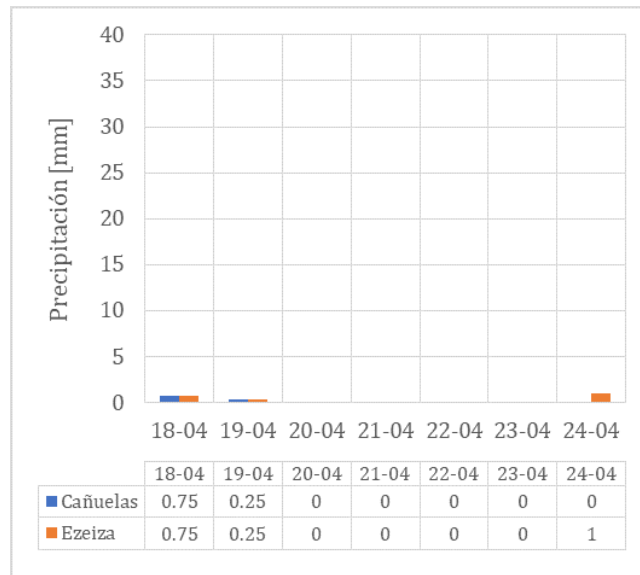


Figura A.102. Precipitaciones en la cuenca en la semana previa al aforo.

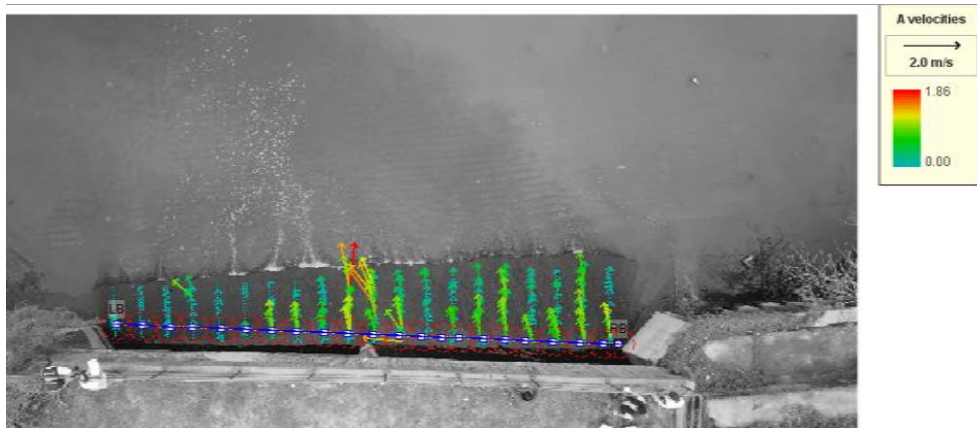


Figura A.103. Campo de velocidades superficiales en la EM78 obtenido con el software Fudaa.