

INFORME TÉCNICO

Aforo de Caudal Líquido en los ríos de la cuenca del embalse San Roque

Noviembre | 2024

ÍNDICE

I.	Objetivo	2
II.	Zona de estudio.....	2
III.	Instrumentos y Técnicas utilizadas.....	3
III. A.	Velocimetría Acústica: OTT ADC.....	3
III. B.	Velocimetría por Imágenes: LSPIV	4
III. C.	Seguimiento de Flotadores.....	4
IV.	Resultados	6
IV. A.	Río Cosquín	6
IV. B.	Arroyo Las Mojarras.....	7
IV. C.	Arroyo Los Chorrillos.....	10
IV. D.	Río San Antonio.....	12
ANEXO A.	15
	Fotografías de secciones de medición de caudal el 26/11/2024	15

I. OBJETIVO

El objetivo del presente informe es detallar los resultados de los aforos de caudal líquido superficial escurrido en los ríos afluentes al embalse San Roque: el río Cosquín, el arroyo Las Mojarras, el arroyo Los Chorrillos y el río San Antonio, realizados el día 26 de noviembre de 2024 en el marco de la Actividad Permanente "Monitoreo del Embalse San Roque, gestión de información de calidad de aguas y cianobacterias en la región semiárida" conducida por INA-CIRSA en convenio con la empresa ACSA.

II. ZONA DE ESTUDIO

En la Figura 1 se muestra los tributarios del embalse San Roque recorridos en la campaña del día 27 de noviembre de 2024. En color rojo están indicados los sitios de medición:

- en el río Cosquín Lat. 31°17'50"S Long. 64°27'35"O;
- el arroyo Las Mojarras Lat. 31°20'26"S Long. 64°29'15"O;
- el arroyo Los Chorrillos Lat. 31°24'0"S Long. 64°30'35"O; y
- el río San Antonio Lat. 31°2'54"S Long. 64°30'38"W.

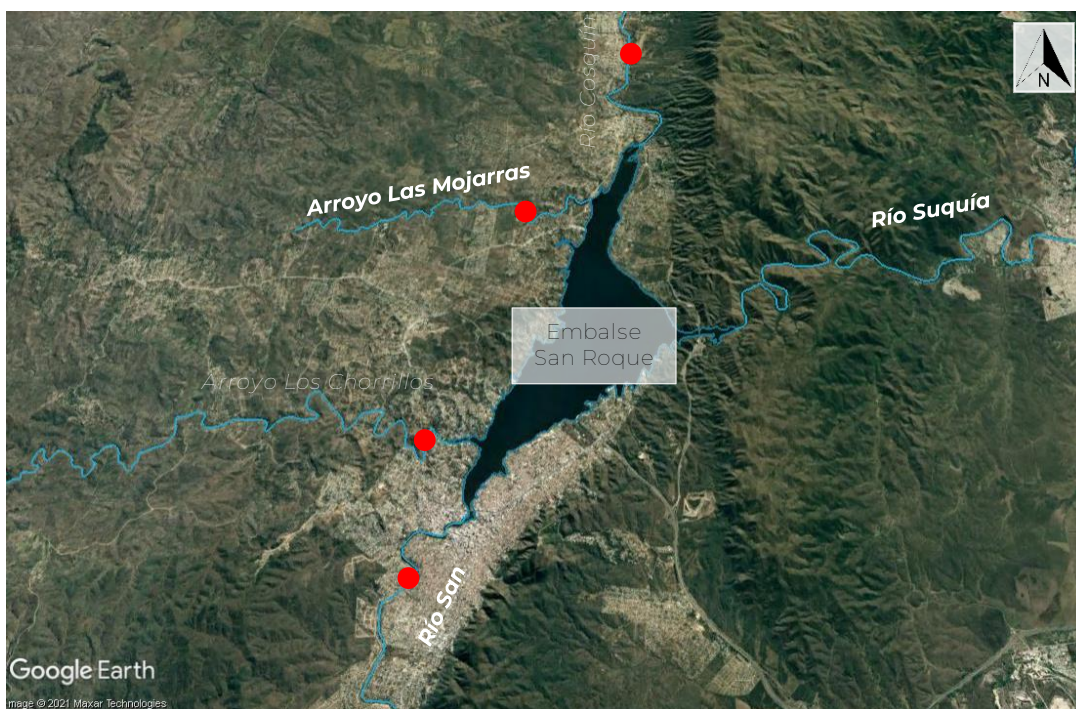


Figura 1. Zona de estudio y sitios de medición de campaña del 26/11/2024.

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 2 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

III. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS

En este monitoreo, debido a las condiciones de caudal y profundidad se utilizaron diferentes instrumentos y técnicas para la medición de velocidad del flujo y determinación del caudal líquido superficial: velocimetría acústica (ADC-OTT), velocimetría por imágenes (LSPIV) y seguimiento de flotadores.

III. A. VELOCIMETRÍA ACÚSTICA: OTT ADC

El OTT ADC (Acoustic Digital Current Meter) de OTT Hydromet (Figura 2) mide localmente velocidades bidimensionales 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 velocímetro acústico para determinar el cambio de frecuencia debido al efecto Doppler. A continuación se presentan las principales características del instrumento utilizado.

- Rango de velocidad de flujo a medir: -0,2 m/s a 2,4 m/s (precisión: ± 1 % del valor medido $\pm 0,25$ cm/s).
- Rango de profundidad de trabajo: 0,02 a 10,0 m



Figura 2. ADC de OTT Hydromet.

Para medir caudal se utiliza el método MID Section (sección media) para calcular el flujo de la sección, conforme al procedimiento clásico de verticales con barras convencionales (vadeo), realizando un mínimo de 10 verticales y un tiempo de medición de velocidad de 40 segundos por punto.

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 3 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

III. B. VELOCIMETRÍA POR IMÁGENES: LSPIV

La técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV, por sus siglas en inglés) permite realizar estimaciones de campos de velocidades superficiales en flujos a superficie libre de manera cuasi instantánea y con alta resolución espacio-temporal.

La metodología de implementación de LSPIV consiste en obtener imágenes, a intervalos conocidos de tiempos, de un flujo a superficie libre con trazadores naturales o artificiales. En base a dos imágenes consecutivas se identifican las posiciones de los trazadores/patrones o grupos de ellos en cada una de las imágenes y mediante un determinado procesamiento se calcula el desplazamiento de estos. Con el desplazamiento y el intervalo de tiempo entre pares de imágenes es posible determinar los vectores velocidad.

Los componentes básicos necesarios para su implementación son (Figura 3):

- Sensor de imágenes que permita capturar una secuencia de imágenes con un intervalo de tiempo conocido. Ej.: cámara digital.
- Flujo a superficie libre con sembrado artificial o con patrones naturales en el flujo (Ej.: espuma, residuos de baja inercia transportados por el flujo, patrones generados por ondulaciones de la superficie libre con transporte de masa, etc.)
- Sistema de iluminación que permita la visualización de los trazadores/patrones superficiales del flujo, que puede ser natural (iluminación solar) o artificial.

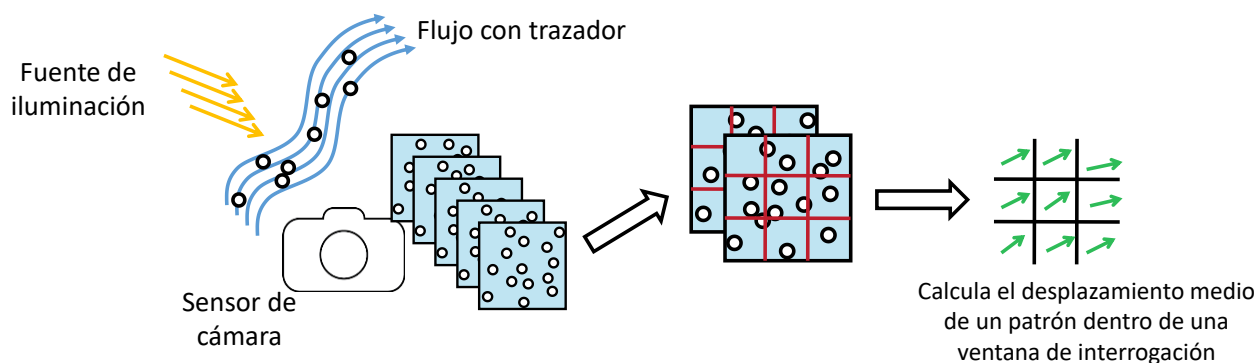


Figura 3. Principio de funcionamiento PIV.

Para la implementación de LSPIV en el presente informe se utiliza el paquete computacional RIVeR (Patalano et al., 2017). RIVeR permite realizar la extracción de imágenes de videos, el proceso de rectificación de los resultados y la estimación de caudales líquidos sobre secciones transversales de interés, entre otras facilidades. Además de ello, incorpora el paquete computacional PIVlab (Thielicke y Stamhuis, 2014), que permite realizar el pre procesamiento y procesamiento de las imágenes.

III. C. SEGUIMIENTO DE FLOTADORES

El método de seguimiento de flotadores consiste en medir con exactitud el tiempo invertido por un elemento flotador en recorrer una distancia conocida (pasar de una

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 4 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

sección transversal seleccionada a la siguiente). Estas secciones transversales deben seleccionarse a lo largo de un tramo de un canal recto, suficientemente separadas (Figura 4).

El flotador se deposita a suficiente distancia por encima de la sección transversal superior para que alcance una velocidad constante antes de llegar a la primera sección transversal. Se registra mediante un cronómetro el instante en que el flotador atraviese cada una de las secciones transversales. Este procedimiento se repite con los flotadores en varios puntos de la corriente (mínimo 3).

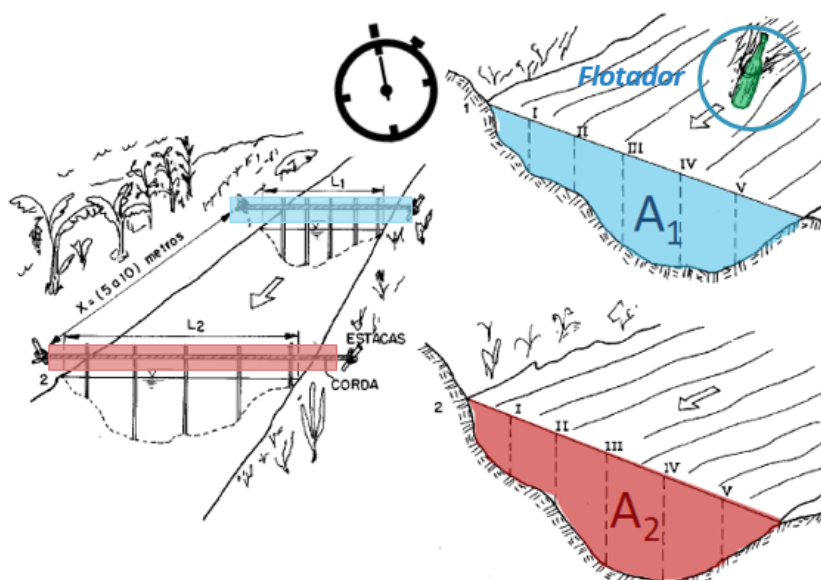


Figura 4. Esquema método del flotador

La velocidad del flotador es igual a la distancia entre secciones transversales dividida por el tiempo de desplazamiento. Esta velocidad, multiplicada por un coeficiente para obtener la velocidad media del agua y la sección transversal dan como resultado el caudal líquido.

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 5 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

IV. RESULTADOS

IV. A. Río Cosquín

El aforo en el río Cosquín se realizó con flotadores, debido a la elevada profundidad y velocidad del flujo, resultando en un caudal líquido de 15,1 m³/s. La medición se realizó entre a las 09:30 hs. En la Figura A 1, Figura A 2 y Figura A 3 del Anexo A se puede ver la condición del río al momento del aforo.

Se utilizaron naranjas como elementos flotadores y se realizaron mediciones en tres ubicaciones (próximo a margen izquierda, centro y próximo a margen derecha). Para el cálculo del caudal se consideró una relación entre velocidad media y velocidad superficial $\alpha = 0,80$ y se utilizó la batimetría relevada durante el monitoreo de enero 2023 (Figura 5). En la Tabla 1 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos medios determinados en el aforo con flotador.

Tabla 1. Caudal y parámetros hidráulicos del río Cosquín, determinados el 26/11/2024.

Método	FLOTADOR
Cantidad de Mediciones	3
Caudal [m ³ /s]	15,1
Velocidad media [m/s]	0,56
α	0,80
Ancho [m]	37,0
Profundidad media [m]	0,73
Área [m ²]	26,8

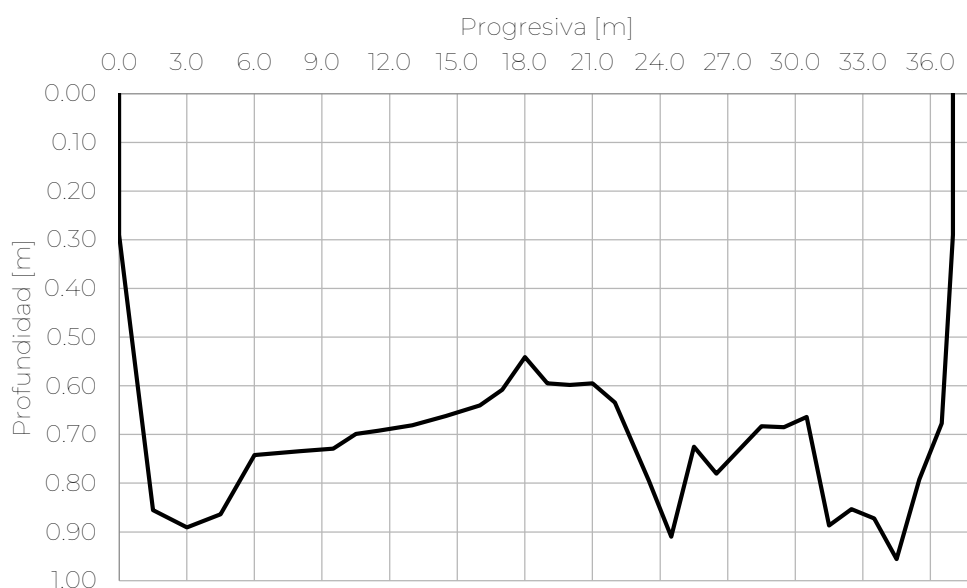


Figura 5. Sección transversal del río Cosquín (batimetría de enero 2023 modificada). La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 6 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gov.ar		

La altura registrada por el sensor del SGA 2903-Villa Caeiro fue $H_{2903} = 0,815$ m; mientras que la distancia al agua registrada por el sensor de APRHI – 30348 Rio Cosquín Villa Caeiro fue de $H_{\text{Caeiro}} = 6,11$ m que corresponde a un nivel del río de 1,59 m en la sección del sensor.

IV. B. ARROYO LAS MOJARRAS

El aforo en el Arroyo Las Mojarras se realizó con LSPIV, y resultó en un caudal líquido de $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos medios. En la Figura A 4, Figura A 5 y



Figura A 6 del Anexo A se puede la condición del arroyo Las Mojarras en el momento del aforo y una profundidad de referencia.

Tabla 2. Caudal y parámetros hidráulicos del arroyo Las Mojarras, determinados el 26/11/2024.

Método	LSPIV
Cantidad de videos procesados	2
Caudal [m^3/s]	0,88
Velocidad media [m/s]	0,35
α	0,85
Ancho [m]	6,20
Profundidad media [m]	0,27
Área [m^2]	1,82

Para determinar la velocidad superficial no fue necesario el sembrado de trazadores ya que la espuma del río fue suficiente (Figura 6). Se procesaron dos videos diferentes, grabados desde la margen izquierda de 30 segundos de duración. Para el cálculo del caudal se consideró una relación entre velocidad media y velocidad superficial $\alpha = 0,85$, y se utilizó la batimetría relevada durante el monitoreo de marzo 2023. En la Figura 7 se muestran la sección transversal, el perfil de velocidades y caudal determinado con LSPIV en el arroyo Las Mojaras.

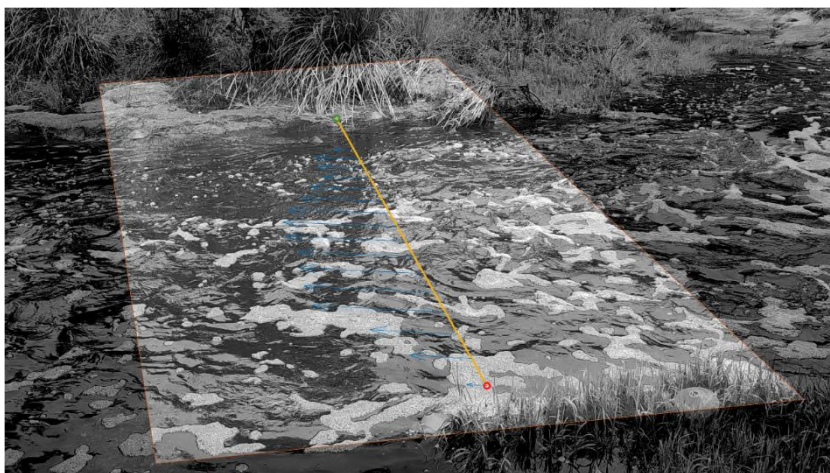
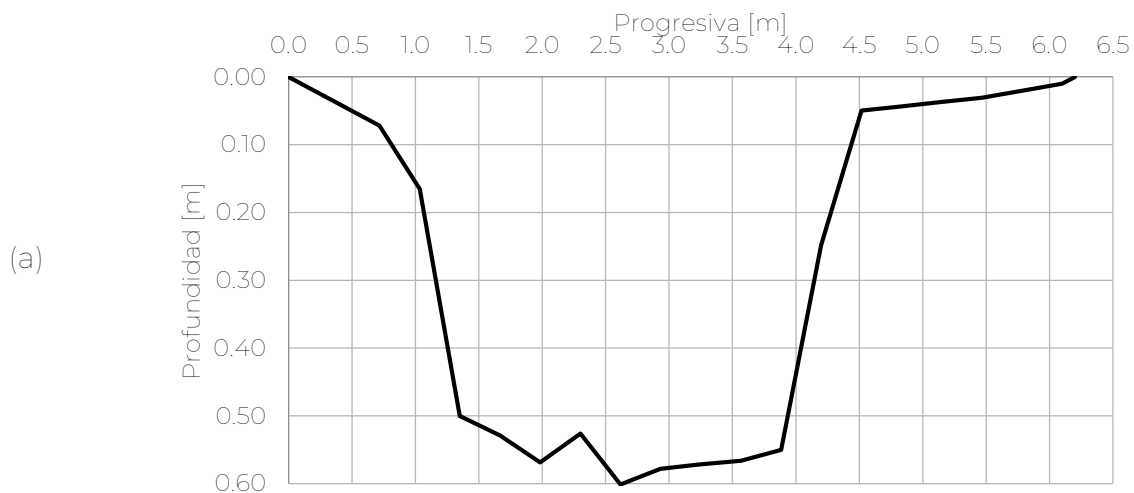


Figura 6. Perfil de velocidades determinado con RIVeR en el arroyo Las Mojaras



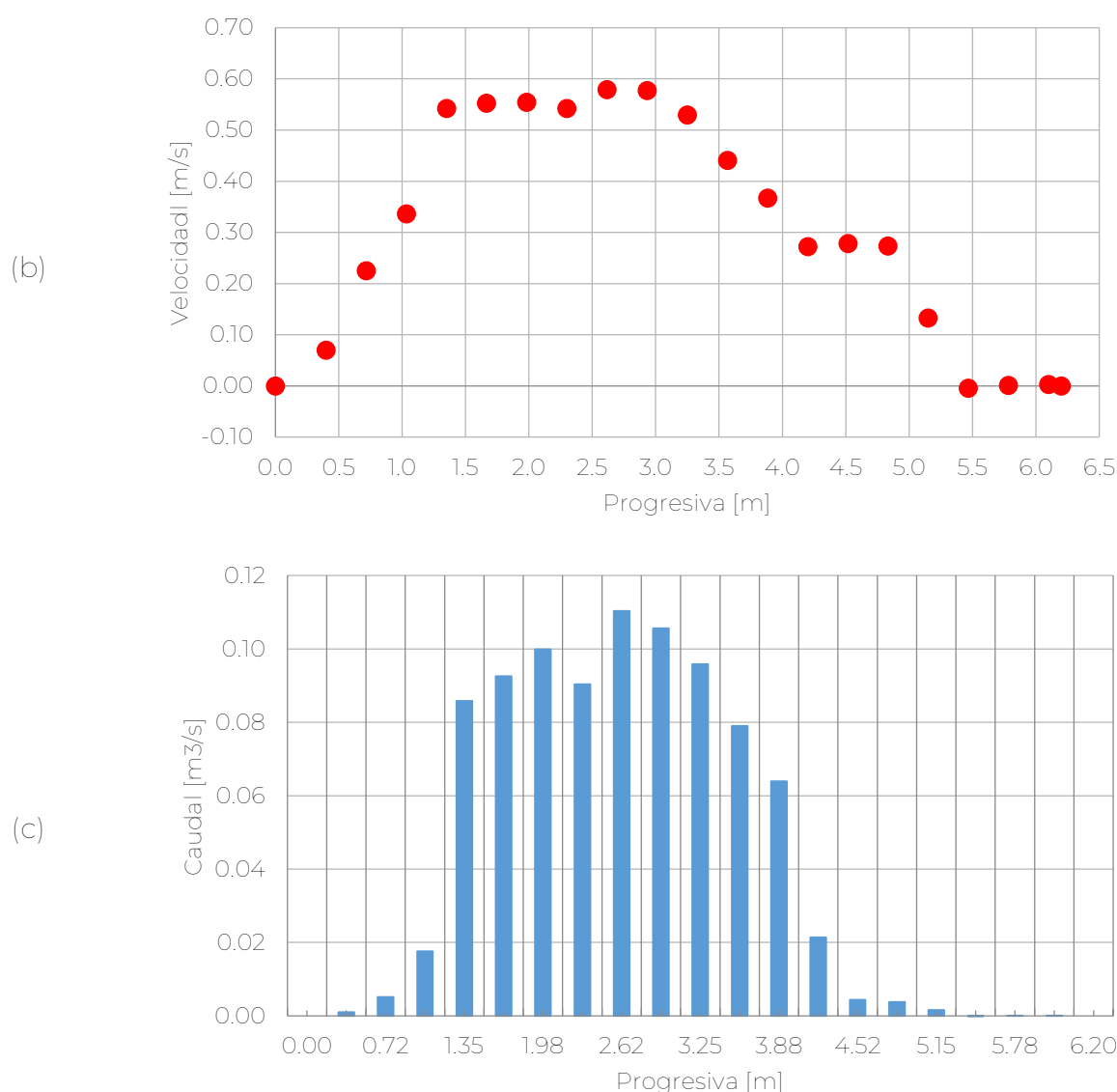


Figura 7. (a) Sección transversal del arroyo Las Mojarras en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades LSPIV y (c) caudal aforado. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda.

Se midió la profundidad del agua en el vertedero ubicado aguas arriba de la sección de medición. Se midieron 62,0 cm respecto al muro izquierdo y 62,0 cm respecto al derecho (considerando la dirección del flujo, desde aguas arriba hacia aguas abajo), como se muestra en la Figura 8, Figura 9 y Figura 10. Resulta importante aclarar que es la profundidad respecto al primer vertedero, ya que se trata de uno compuesto.



Figura 8. Vertedero Las Mojarras



Figura 9. Detalle vertedero Las Mojarras

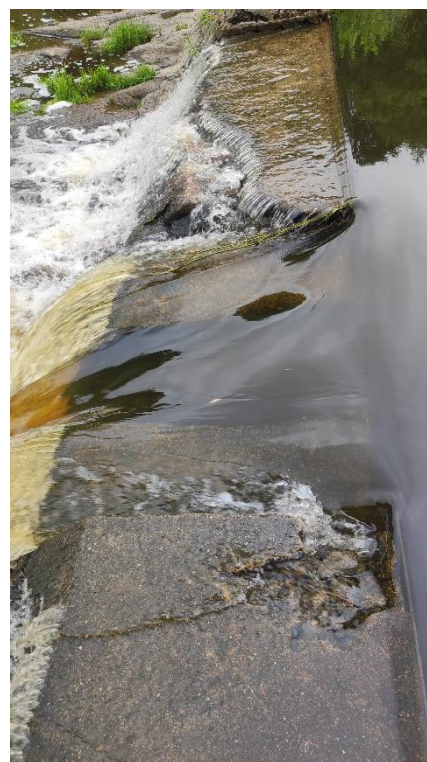


Figura 10. Detalle vertedero Las Mojarras
 Detalle vertedero Las Mojarras

IV. C. ARROYO LOS CHORRILLOS

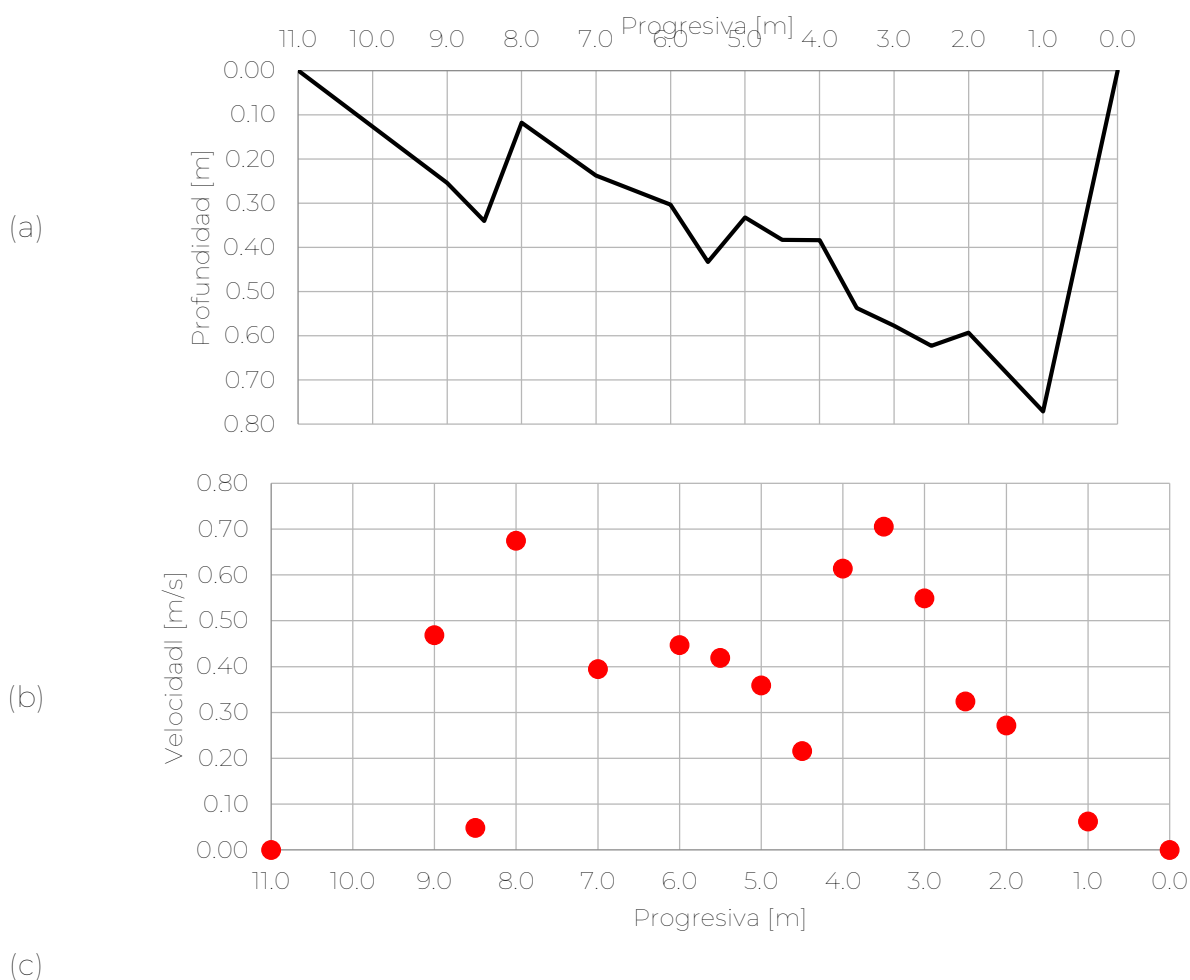
El aforo en el arroyo Los Chorrillos se realizó con el ADC-OTT, comenzando a las 12:20 hs. Resultó un caudal líquido de $1,34 \pm 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Figura A 7 y Figura A 8 del Anexo A se puede ver la condición del arroyo en ese momento.

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 10 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos determinados en el aforo, y en la Figura 11 se muestran la sección transversal, el perfil de velocidades y caudal aforado con el ADC OTT en el arroyo Los Chorrillos.

Tabla 3. Caudal y parámetros hidráulicos del arroyo Los Chorrillos, determinados el 26/11/2024.

Cantidad de Estaciones	16
Caudal [m³/s]	1,34
Velocidad media [m/s]	0,34
Ancho [m]	11,00
Profundidad media [m]	0,35
Área [m²]	3,89
Temperatura [°C]	-
Incertidumbre [m³/s]	0,09



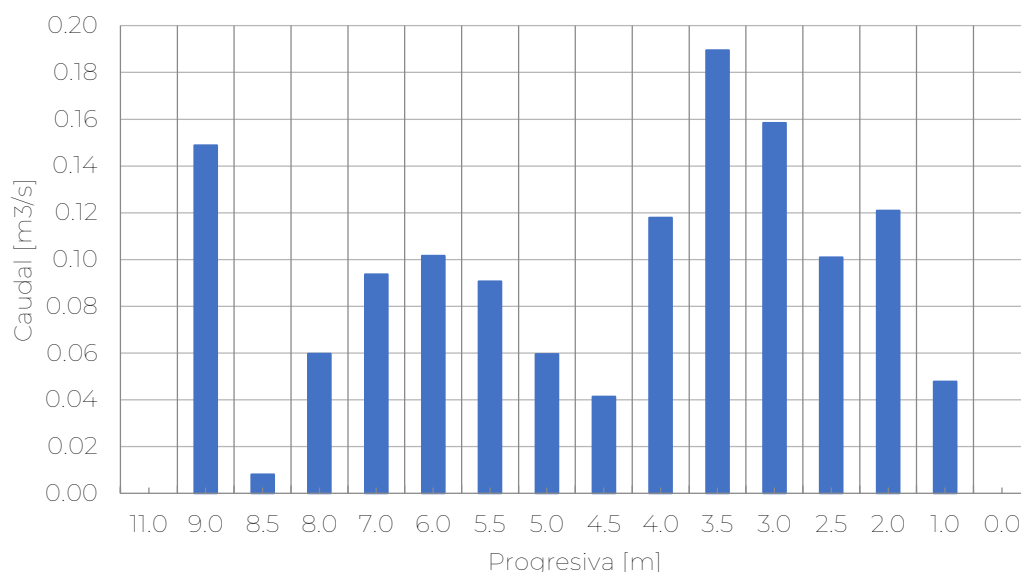


Figura 11. (a) Sección transversal del arroyo Los Chorrillos en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medido y (c) caudal aforado. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen derecha.

IV. D. RÍO SAN ANTONIO

El aforo en el río San Antonio se realizó con flotadores, debido a la elevada profundidad y velocidad del flujo, resultando en un caudal líquido de 10,9 m³/s. La medición se realizó entre a las 12:50 hs. En la



Figura A 9, Figura A 10, Figura A 11 y Figura A 11 del Anexo A se puede ver la condición del río al momento del aforo y la profundidad de referencia.

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 12 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

Se utilizaron naranjas como elementos flotadores y se realizaron mediciones en tres ubicaciones (próximo a margen derecha, centro y próximo a margen izquierda). Para el cálculo del caudal se consideró una relación entre velocidad media y velocidad superficial $\alpha = 0,85$ y se utilizó la batimetría relevada durante el monitoreo de abril 2023 (Figura 12). En la Tabla 4 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos medios determinados en el aforo con flotador.

Tabla 4. Caudal y parámetros hidráulicos del río San Antonio, determinados el 26/11/2024.

Método	FLOTADOR
Cantidad de Mediciones	3
Caudal [m^3/s]	10,9
Velocidad media [m/s]	0,56
α	0,85
Ancho [m]	36,0
Profundidad media [m]	0,55
Área [m^2]	19,6

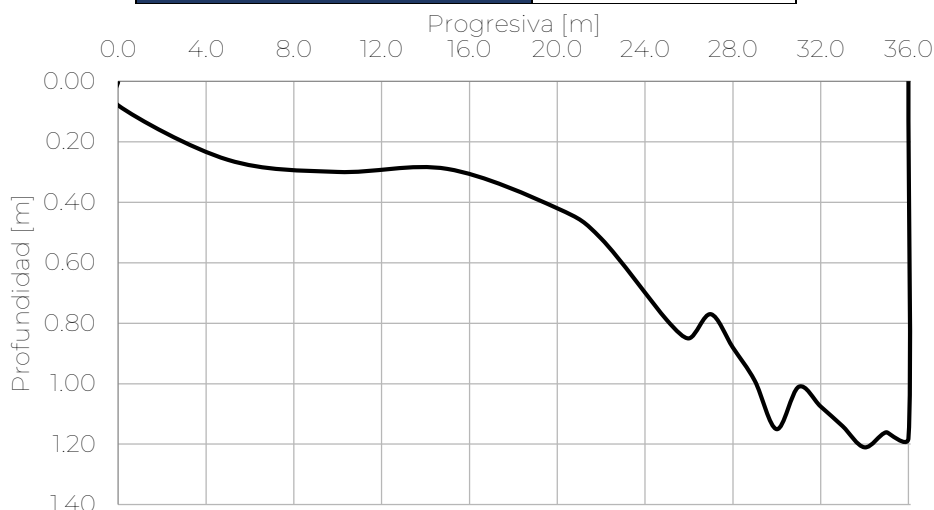


Figura 12. Sección transversal del río San Antonio (batimetría de abril 2023 modificada). La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda

La altura registrada por el sensor de APRHI – 30391 Puente Juncal fue de $H_{\text{Juncal}} = 5,6 \text{ m}$ que corresponde a un nivel del río de 0,7 m en la sección donde está ubicado el sensor.

A modo de síntesis, en la Figura 13 se representan los caudales aportados por cada uno de los ríos tributarios al embalse San Roque durante la campaña de monitoreo.

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 13 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		

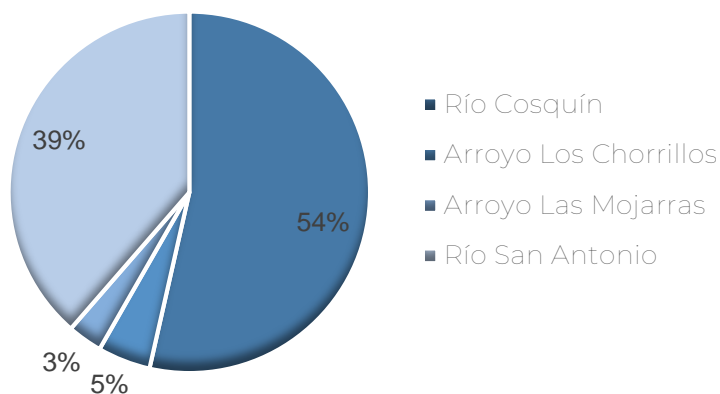


Figura 13. Caudales aportados por ríos tributarios al embalse San Roque, el día 26/11/2024.

ANEXO A

FOTOGRAFÍAS DE SECCIONES DE MEDICIÓN DE CAUDAL EL 26/11/2024



Figura A 1. Río Cosquín, sección Villa Caeiro.



Figura A 2. Río Cosquín desde margen izquierda



Figura A 3. Río Cosquín desde margen izquierda, profundidad de referencia $h = 76$ cm

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 15 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gov.ar		



Figura A 4. Arroyo Las Mojarras, vista desde el azud



Figura A 5. Arroyo Las Mojarras, vista desde margen izquierda

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 16 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		



Figura A 6. Arroyo Las Mojarras, profundidad de referencia $h = 60$ cm



Figura A 7. Arroyo Los Chorrillos, desde margen derecha

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 17 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		



Figura A 8. . Arroyo Los Chorrillos, desde margen izquierda



Figura A 9. Aforo de río San Antonio, desde margen izquierda

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 18 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		



Figura A 10. Aforo de río San Antonio, desde margen izquierda



Figura A 11. Aforo de río San Antonio, profundidad de referencia margen izquierda $h = 25$ cm

Elaboró INA- CIRSA - Área Hidrología	Código: INA-CRS-IT-133-24	
	Emisión: 13 de diciembre de 2024	
	Revisión: 01	Página 19 de 19
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida - cirsa@ina.gob.ar		