



## AFORO CAUDAL LÍQUIDO EN LOS RÍOS DE LA CUENCA DEL EMBALSE SAN ROQUE

ENERO 2024

## INDICE

I. - OBJETIVO.....	3
II. - ZONA DE ESTUDIO.....	3
III. - INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	3
III. a. - OTT ADC .....	4
III. b. - FlowTracker 2 .....	4
IV. - RESULTADOS.....	5
IV. a. - Río Cosquín .....	5
1)    OTT ADC .....	5
2)    FlowTracker2 .....	6
3)    Comparación.....	8
IV. b. - Arroyo Las Mojarras .....	9
1)    OTT ADC .....	9
2)    FlowTracker2 .....	10
3)    Comparación.....	11
IV. c. - Arroyo Los Chorrillos .....	13
1)    OTT ADC .....	13
2)    FlowTracker2 .....	14
3)    Comparación.....	16
IV. d. - Río San Antonio .....	17
1)    OTT ADC .....	18
2)    FlowTracker2 .....	19
3)    Comparación.....	20
V. - SINTESIS.....	22
ANEXO A.....	23
Imágenes .....	23

## 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 30 de enero 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 30 de enero de 2024. En color rojo están indicados los sitios de medición: en el río Cosquín Lat. 31°17'50"S Long. 64°27'35"W, el arroyo Las Mojarras Lat. 31°20'26"S Long. 64°29'15"W, el arroyo Los Chorrillos Lat. 31°24'9"S Long. 64°30'43"W 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 30/01/2024.

## III. - INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En esta oportunidad se aforó por vadeo con dos instrumentos. Las mediciones fueron prácticamente en simultáneo, seleccionando las mismas verticales. Cabe mencionar que con ambos instrumentos se utilizó el método MID Section para calcular el flujo de la sección, y las mediciones fueron realizadas por diferentes operarios (ADC OTT: Ing. Giuliana Elcano, y FlowTracker2: Dr. Ing. José Manuel Díaz Lozada).

### III. a. - OTT ADC

El OTT ADC (Acoustic Digital Current Meter) de OTT Hydromet (Figura 2), es un medidor de corriente acústico y se emplea para medir caudal conforme al procedimiento clásico de verticales con barras convencionales. El OTT ADC mide tanto las velocidades en la vertical de medición como la profundidad del agua y la respectiva profundidad de inmersión del sensor.

- Rango de velocidad de flujo a medir: -0,2 m/s a 2,4 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)



Figura 2. ADC de OTT Hydromet.

### III. b. - FLOWTRACKER 2

El instrumental utilizado para la medición de velocidad del flujo y determinación del caudal líquido superficial es un velocímetro acústico Doppler (ADV). El ADV, por sus siglas en inglés, 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 ADV para determinar el cambio de frecuencia debido al efecto Doppler.

El empleado en esta campaña fue el “FlowTrackerII”, fabricado por la compañía YSI/Sontek® (Figura 3). Sus principales características son:

- 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 0,01 m)
- Frecuencia acústica: 10 MHz



Figura 3.- FlowTracker2 de SonTek.

## IV. - RESULTADOS

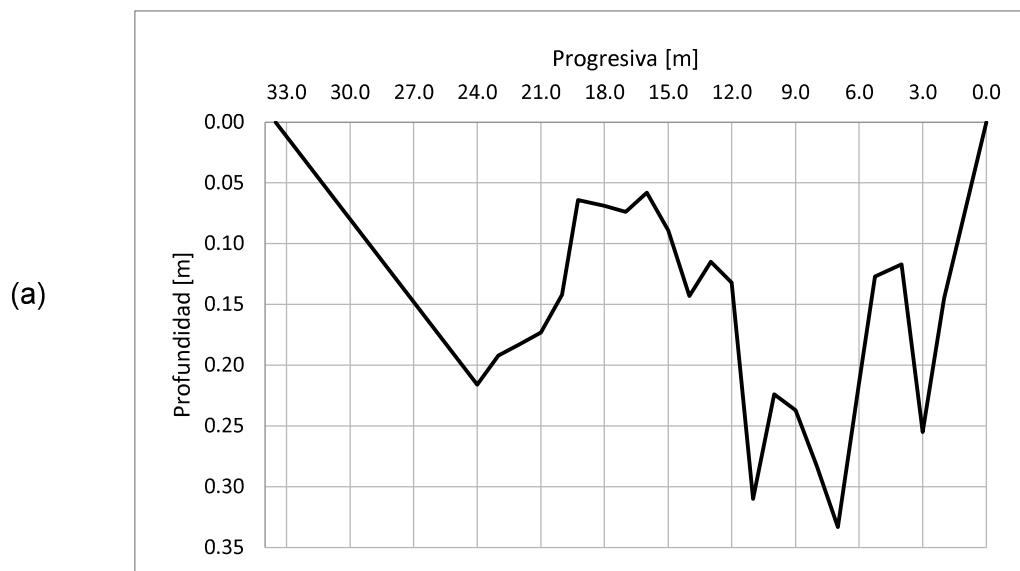
### IV. a. - RÍO COSQUÍN

El aforo en el río Cosquín se realizó entre las 09:15 hs y 10:00 hs. En la Figura 1 del Anexo A se puede ver la sección de aforo y la condición del río Cosquín al momento del aforo.

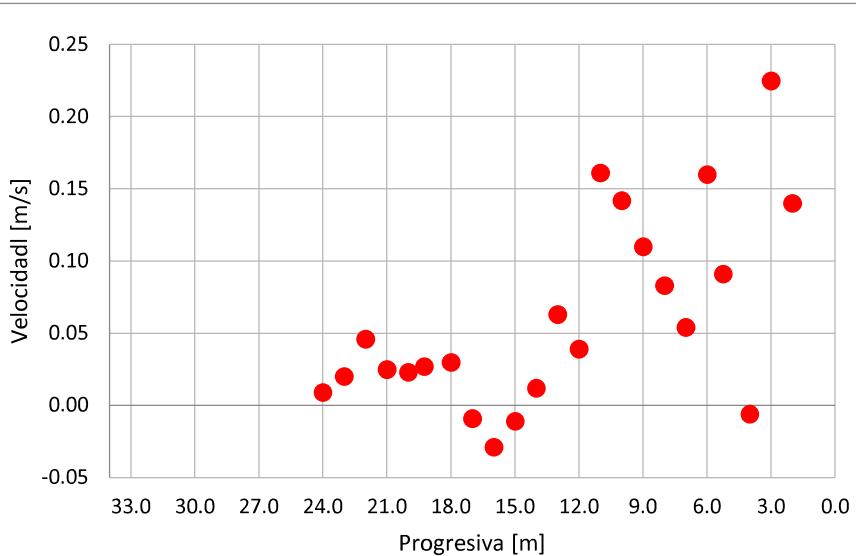
La altura registrada por el sensor del SGA 2903-Villa Caeiro fue  $H_{2903} = 0,11 \text{ m}$ ; mientras que la registrada por el sensor de APRHI – 30348 Rio Cosquín Villa Caeiro fue de  $H_{\text{Caeiro}} = 6,76 \text{ m}$  que corresponde a un nivel del río en la sección del sensor de  $0,94 \text{ m}$ .

#### 1) OTT ADC

El aforo con OTT ADC resultó en un caudal líquido de  $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$  con una incertidumbre de  $\pm 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ . En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos.



(b)



(c)

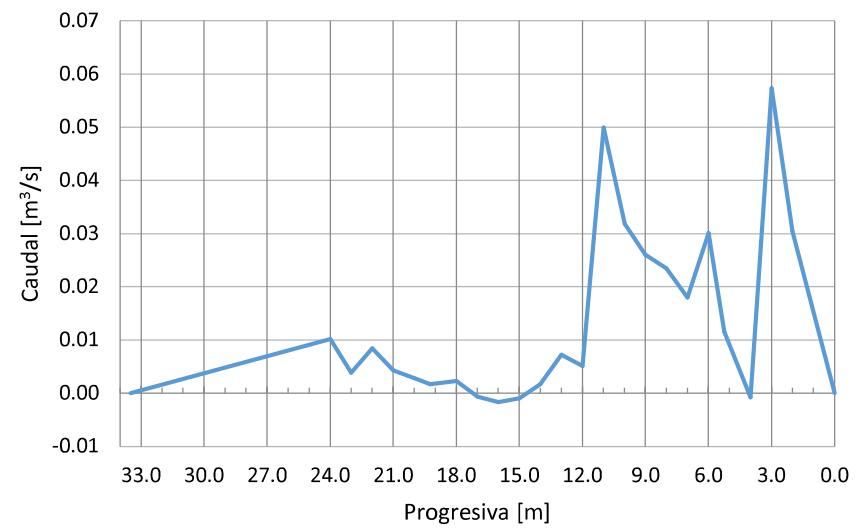


Figura 4. (a) Sección transversal del río Cosquín en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medida y (c) caudal aforado con ADC OTT. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen derecha.

## 2) FlowTracker2

El aforo con FlowTracker2 resultó en un caudal líquido de  $0.41 \text{ m}^3/\text{s}$  con una incertidumbre de 15,60% ( $\pm 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ). En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos.

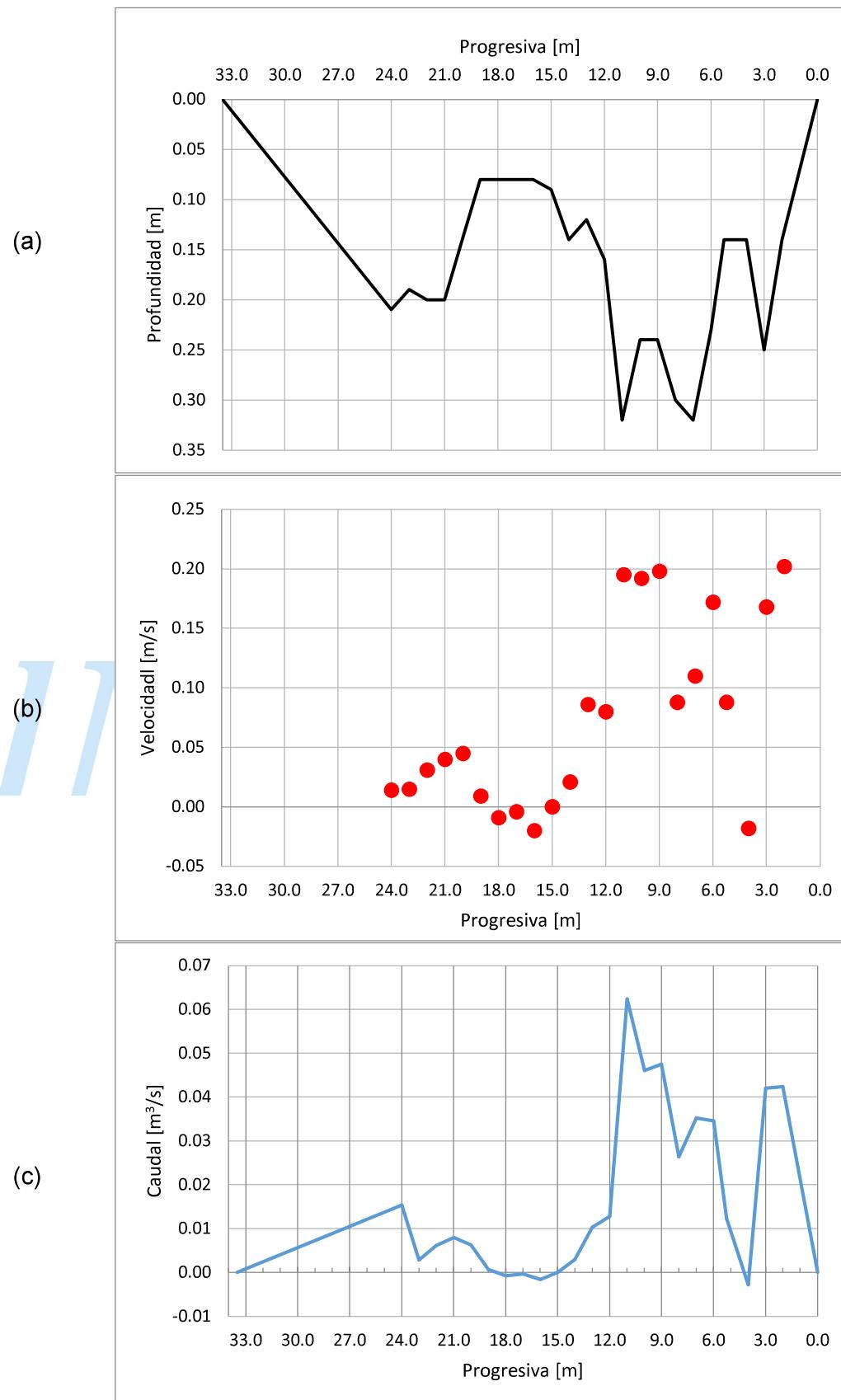


Figura 5. (a) Sección transversal del río Cosquín en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medida y (c) caudal aforado con FlowTracker2. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen derecha.

### 3) Comparación

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos determinados en el aforo con OTT ADV y con FlowTracker2; mientras en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8 se comparan los resultados medios en cada vertical.

La diferencia de caudal medido fue de 90 l/s. En cuanto a la batimetría, prácticamente coinciden las dos, aspecto importante considerando el método de medición y resolución de los instrumentos (ADC OTT utiliza un sensor de presión incorporado, y FlowTracker2 con una varilla metrada). Las mayores diferencias se dieron en las velocidades medidas cerca de la margen derecha, lo cual se puede asociar a la falta de condiciones óptimas de medición de la sección de aforo por la presencia de flujo cruzado debido al bajo caudal del río.

Tabla 1.- Caudal y parámetros hidráulicos del río Cosquín, determinados el 30/01/2024.

Instrumento	OTT ADV	FlowTracker2
Cantidad de Estaciones	<b>25</b>	<b>25</b>
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	<b>0,32</b>	<b>0,41</b>
Velocidad media [m/s]	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>
Ancho [m]	<b>33,50</b>	<b>33,50</b>
Profundidad media [m]	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
Área [m <sup>2</sup> ]	<b>4.87</b>	<b>5,04</b>
Temperatura [°C]	-	<b>25,19</b>
Incertidumbre [m <sup>3</sup> /s]	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>

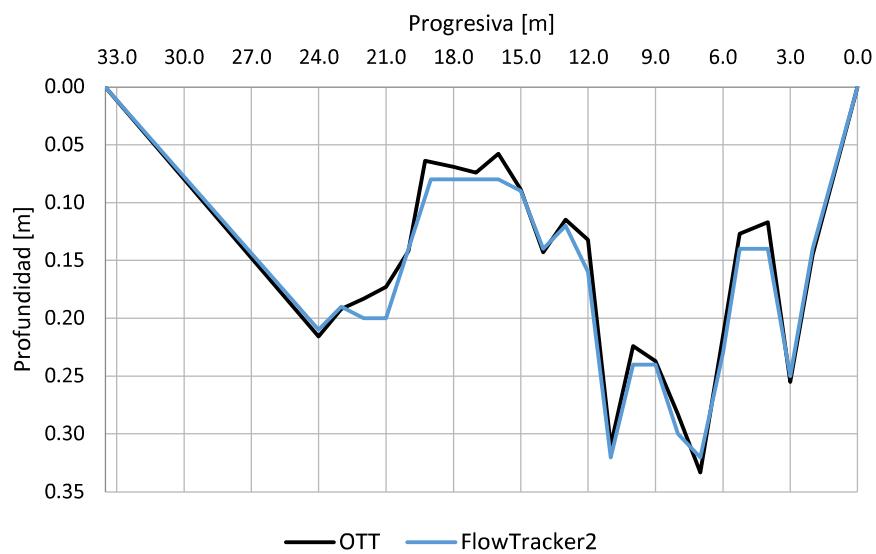


Figura 6.- Comparación de batimetría de la sección de aforo del río Cosquín, medidas con ADC OTT y FlowTracker2.

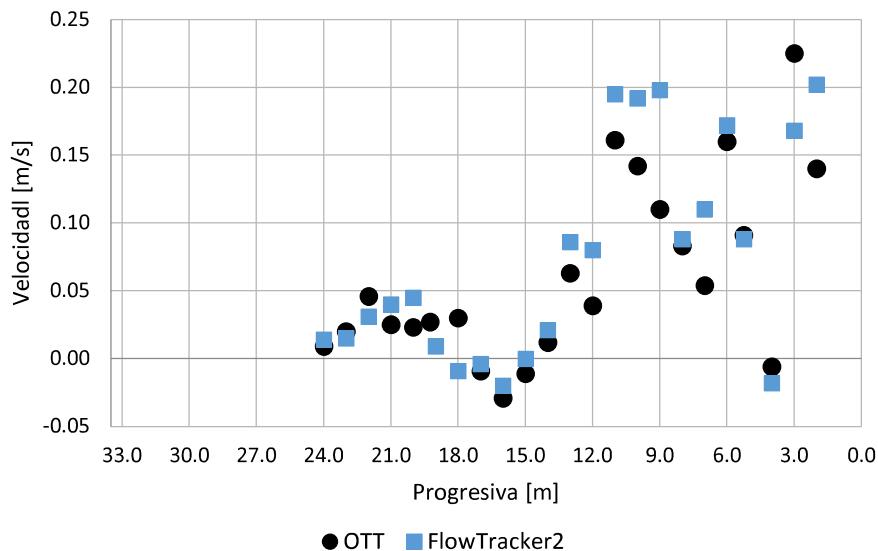


Figura 7.- Comparación de velocidad media de las verticales medidas con ADC OTT y FlowTracker2 en el río Cosquín.

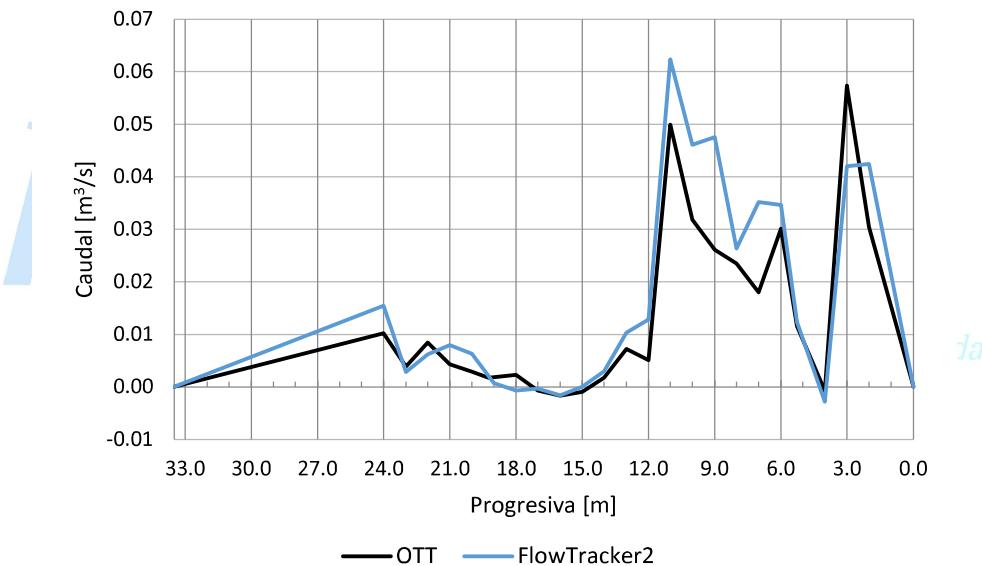


Figura 8.- Comparación de caudal parcial calculado con método MID section, a partir de mediciones con FlowTracker2 y OTT ADC en el río Cosquín.

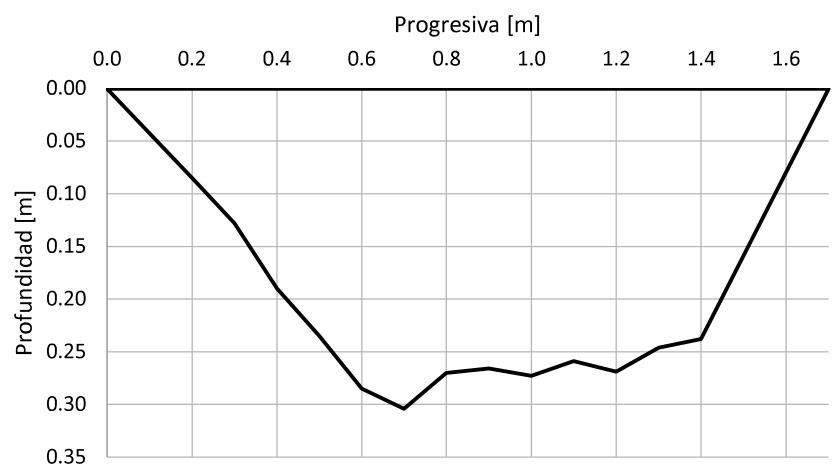
#### IV. b. - ARROYO LAS MOJARRAS

El aforo en el arroyo Las Mojarras se realizó entre las 10:50 hs y 11:15 hs. En la Figura 2 del Anexo A se puede ver la sección de aforo y la condición del arroyo Las Mojarras al momento del aforo.

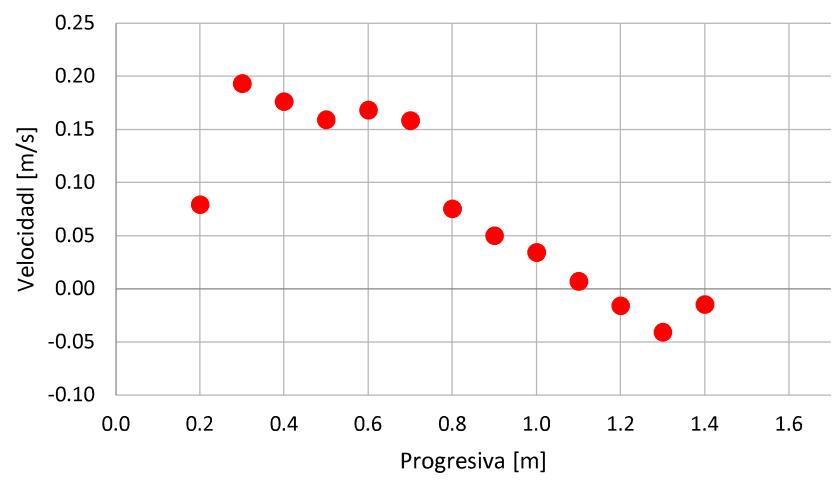
##### 1) OTT ADC

El aforo con OTT ADC resultó en un caudal líquido de 22 l/s con una incertidumbre de +/- 1 l/s. En la Figura 9 se muestran los resultados obtenidos del aforo.

(a)



(b)



(c)

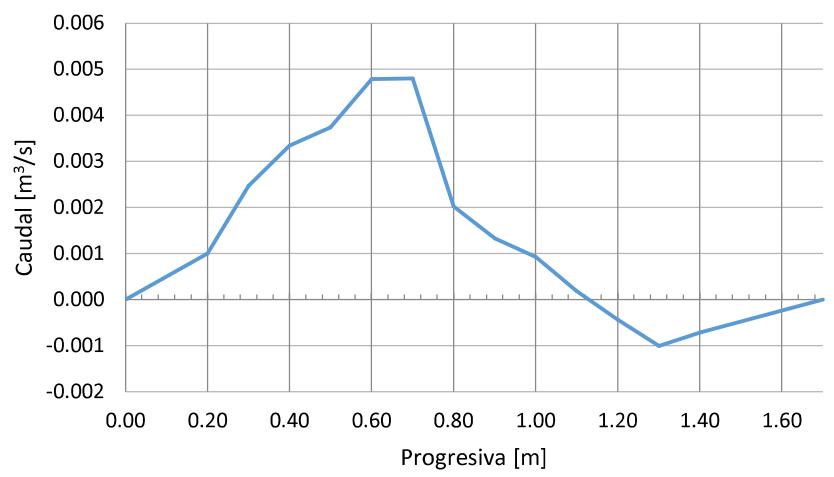


Figura 9. (a) Sección transversal del arroyo Las Mojarras en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medido y (c) caudal aforado con ADC OTT. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda.

## 2) FlowTracker2

El aforo con FlowTracker2 resultó en un caudal líquido de 21 l/s con una incertidumbre de 8,80% (+/- 2 l/s). En la Figura 10 se muestran los resultados obtenidos del aforo.

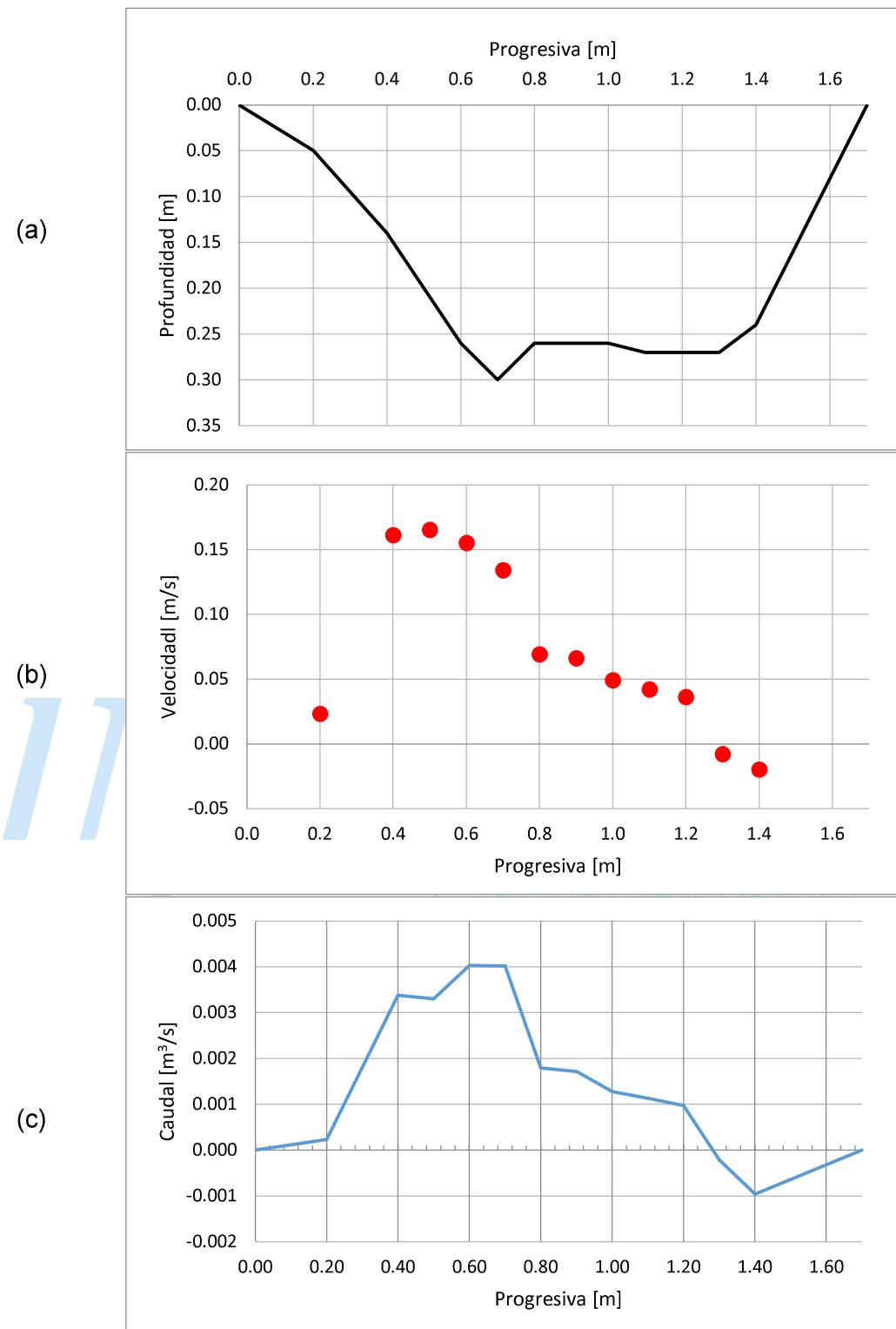


Figura 10. (a) Sección transversal del arroyo Las Mojarras en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medida y (c) caudal aforado con FlowTracker2. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda.

### 3) Comparación

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos determinados en el aforo con OTT ADV y con FlowTracker2; mientras en la Figura 11, Figura 12 y Figura 13 se comparan los resultados medios en cada vertical.

La diferencia de caudal medido fue pequeña, de 1 l/s, que es menor al orden del error de los instrumentos. En cuanto a la batimetría, prácticamente coinciden las dos, aspecto importante considerando el método de medición y resolución de los instrumentos. Las mayores diferencias de velocidades se dieron cerca de las márgenes, lo cual se puede asociar a la ubicación del volumen de medición de cada instrumento y la presencia de obstáculos o irregularidades en la misma (rocas, algas, etc).

Tabla 2.- Caudal y parámetros hidráulicos del arroyo Las Mojarras, determinados el 30/01/2024.

Instrumento	OTT ADV	FlowTracker2
Cantidad de Estaciones	<b>15</b>	<b>14</b>
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	<b>0,022</b>	<b>0,021</b>
Velocidad media [m/s]	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>
Ancho [m]	<b>1,70</b>	<b>1,70</b>
Profundidad media [m]	<b>0,20</b>	<b>0,19</b>
Área [m <sup>2</sup> ]	<b>0,33</b>	<b>0,31</b>
Temperatura [°C]	-	<b>24,48</b>
Incertidumbre [m <sup>3</sup> /s]	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>

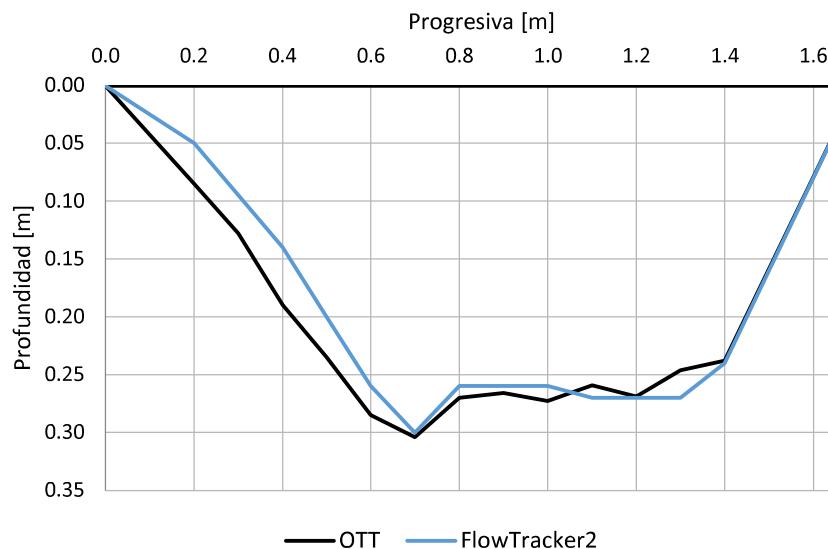


Figura 11.- Comparación de batimetría de la sección de aforo del arroyo Las Mojarras, medidas con ADC OTT y FlowTracker2.

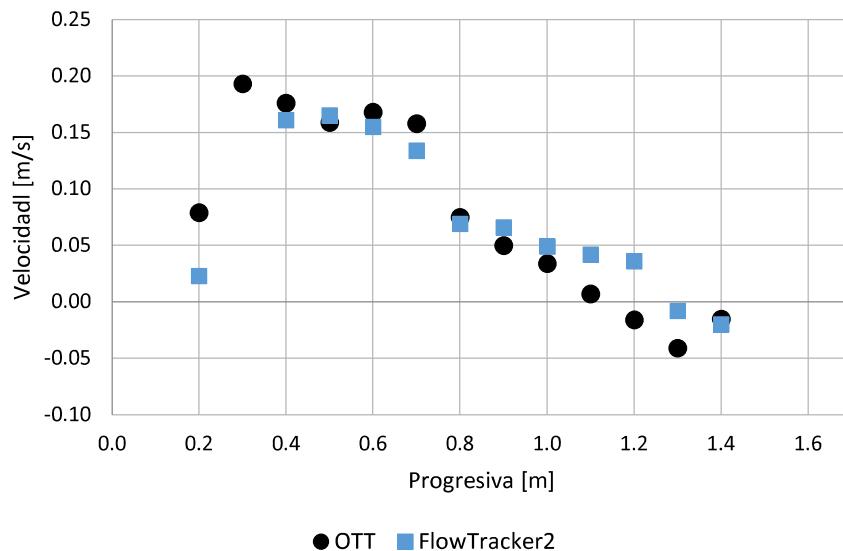


Figura 12.- Comparación de velocidad media de las verticales medidas con ADC OTT y FlowTracker2 en el arroyo Las Mojarras.

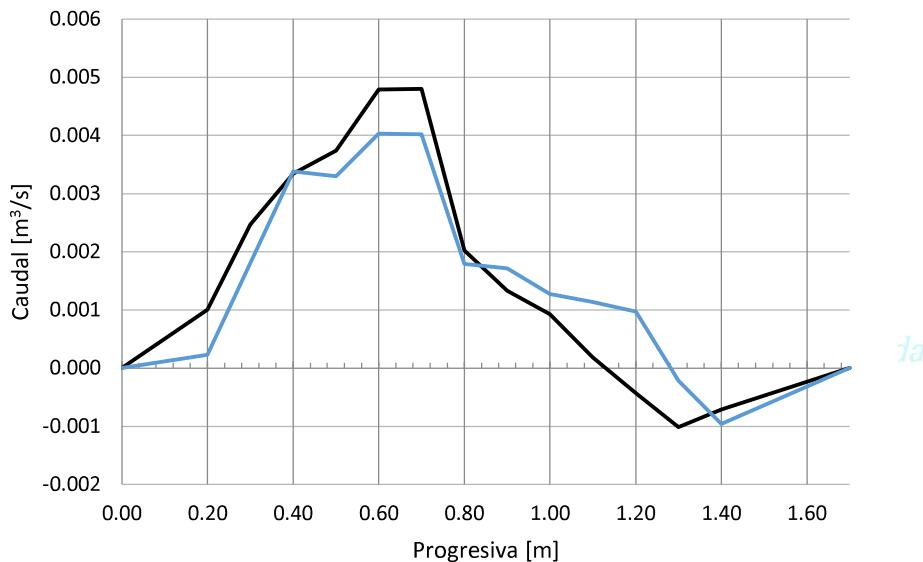


Figura 13.- Comparación de caudal parcial calculado con método MID section, a partir de mediciones con FlowTracker2 y OTT ADC en el arroyo Las Mojarras.

#### IV. c. - ARROYO LOS CHORRILLOS

El aforo en el arroyo Los Chorrillos se realizó entre las 12:15 hs y 13:00 hs. En la Figura 3 del Anexo A se puede ver la sección de aforo y la condición del arroyo Los Chorrillos al momento del aforo.

##### 1) OTT ADC

El aforo con OTT ADC resultó en un caudal líquido de 55 l/s con una incertidumbre de +/- 10 l/s. En la Figura 14 se muestran los resultados obtenidos del aforo.

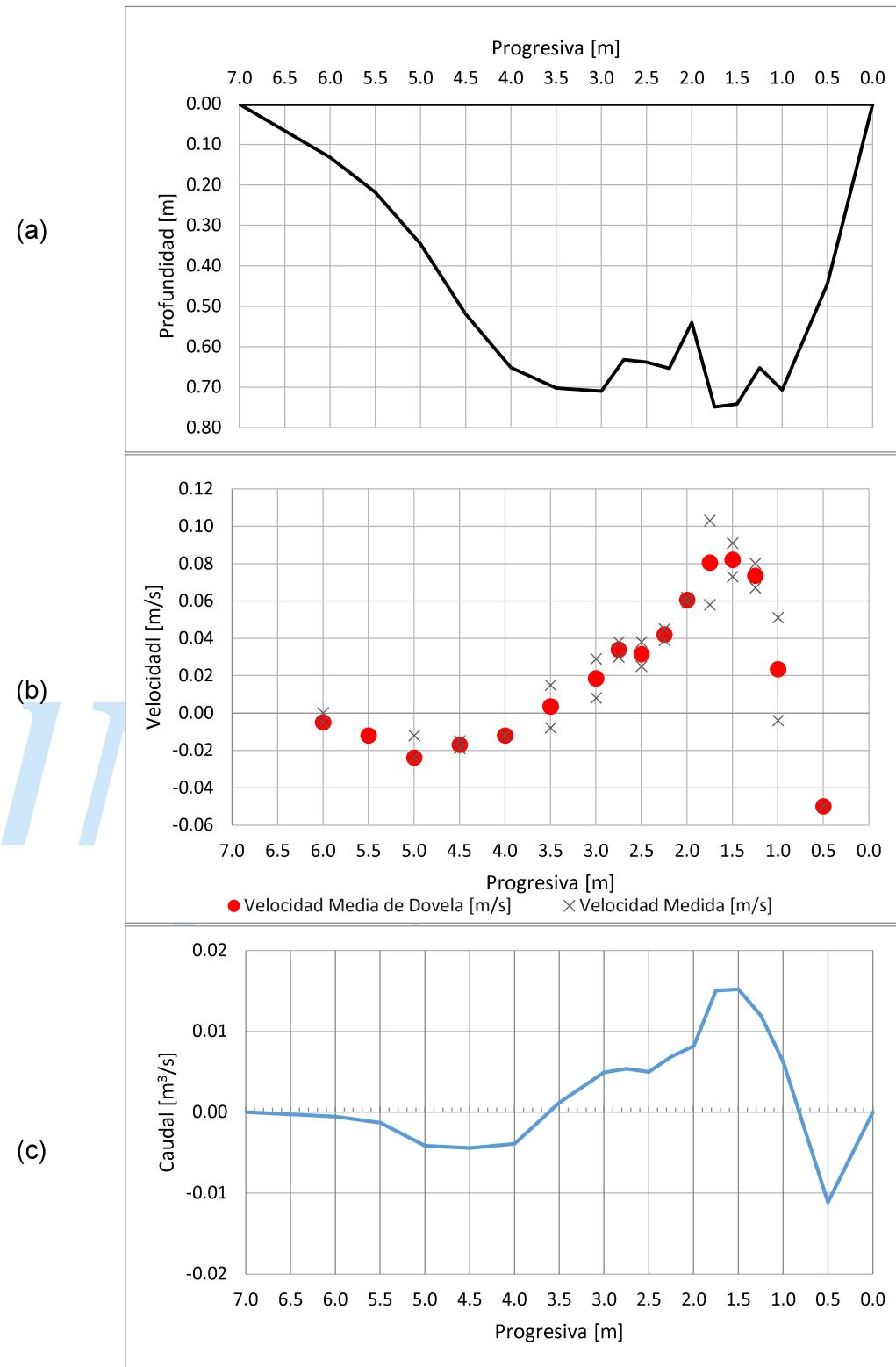


Figura 14. (a) Sección transversal del arroyo Los Chorrillos en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medido y (c) caudal aforado con ADC OTT. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen derecha.

## 2) FlowTracker2

El aforo con FlowTracker2 resultó en un caudal líquido de 73 l/s con una incertidumbre de 7,70% (+/- 6 l/s). En la Figura 15 se muestran los resultados obtenidos del aforo.

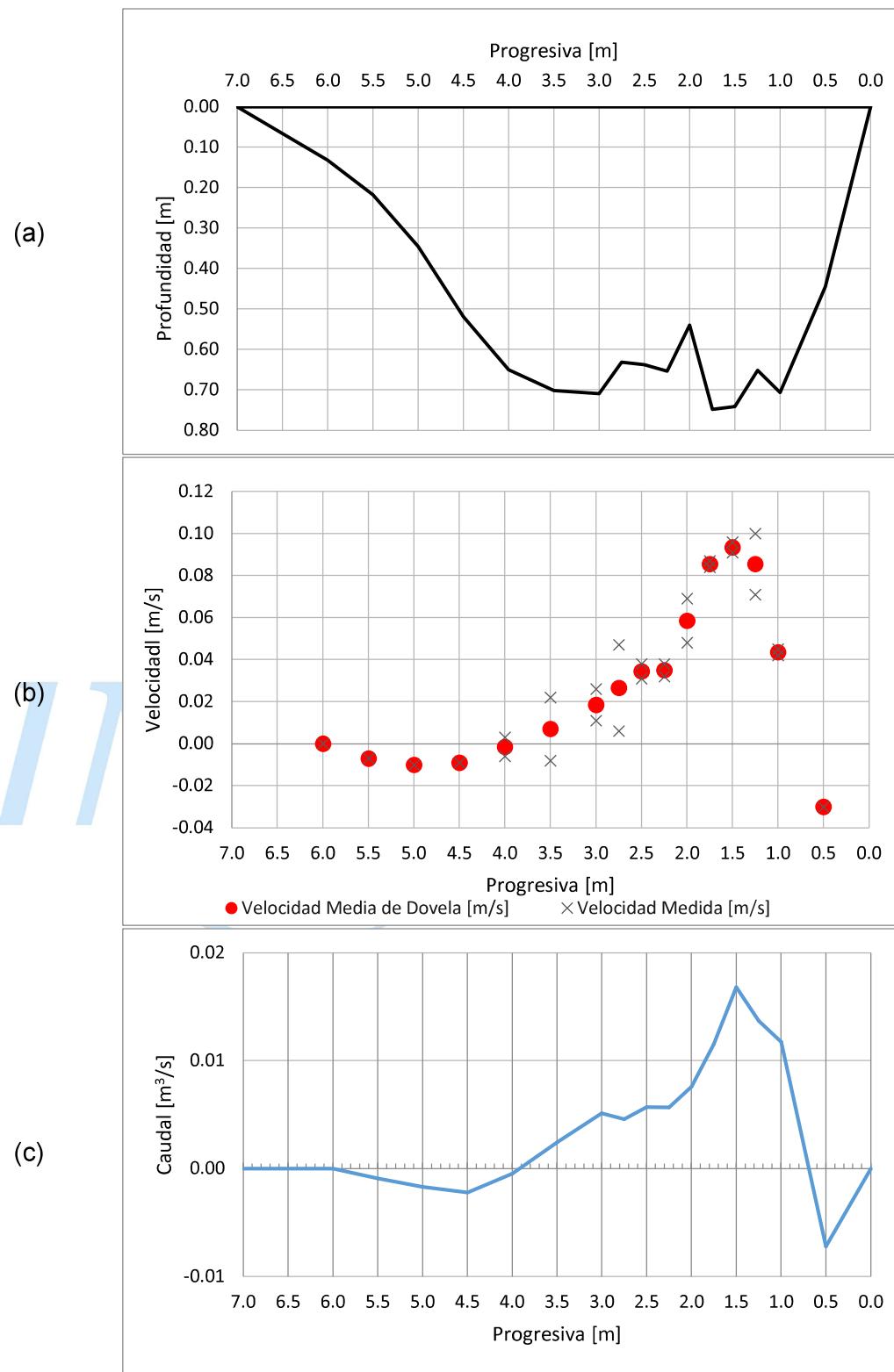


Figura 15. (a) Sección transversal del arroyo Los Chorrillos en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medido y (c) caudal aforado con FlowTracker2. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen derecha.

### 3) Comparación

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos determinados en el aforo con OTT ADV y con FlowTracker2; mientras en la Figura 16, Figura 17 y Figura 18 se comparan los resultados medios en cada vertical.

La diferencia de caudal medido fue de 18 l/s. En cuanto a la batimetría, prácticamente coinciden las dos, aspecto importante considerando el método de medición y resolución de los instrumentos. Las diferencias de velocidades medias se pueden asociar a la falta de condiciones óptimas de medición de la sección de aforo, con zonas de recirculación y flujo estancado debido al bajo caudal del río.

Tabla 3.- Caudal y parámetros hidráulicos del arroyo Los Chorrillos, determinados el 30/01/2024.

Instrumento	OTT ADV	FlowTracker2
Cantidad de Estaciones	18	18
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0,055	0,073
Velocidad media [m/s]	0,02	0,02
Ancho [m]	7,00	7,00
Profundidad media [m]	0,46	0,46
Área [m <sup>2</sup> ]	3,22	3,25
Temperatura [°C]	-	27,29
Incertidumbre [m <sup>3</sup> /s]	0,010	0,006

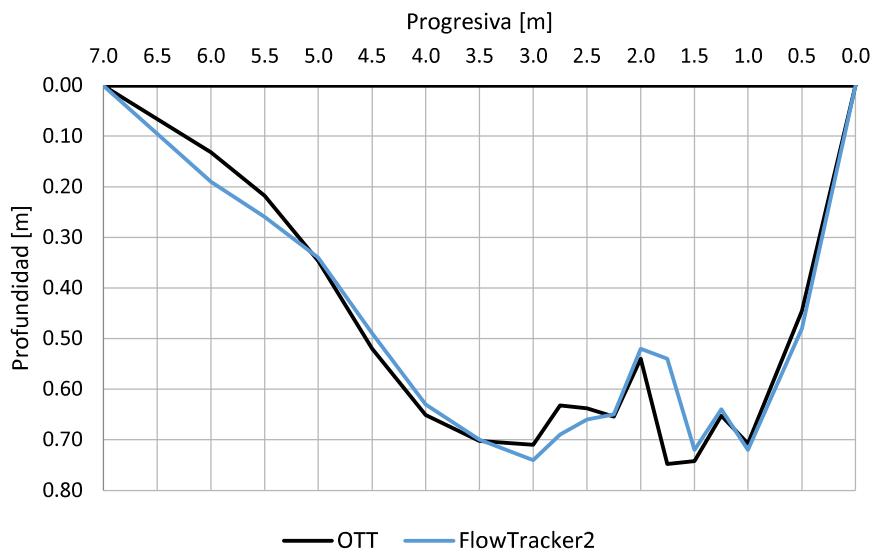


Figura 16.- Comparación de batimetría de la sección de aforo del arroyo Los Chorrillos, medidas con ADC OTT y FlowTracker2.

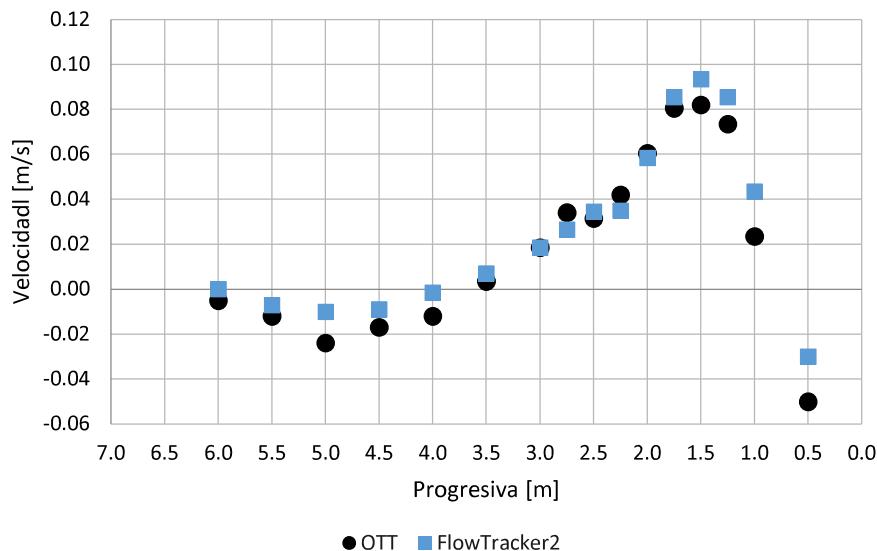


Figura 17.- Comparación de velocidad media de las verticales medidas con ADC OTT y FlowTracker2 en el arroyo Los Chorrillos.

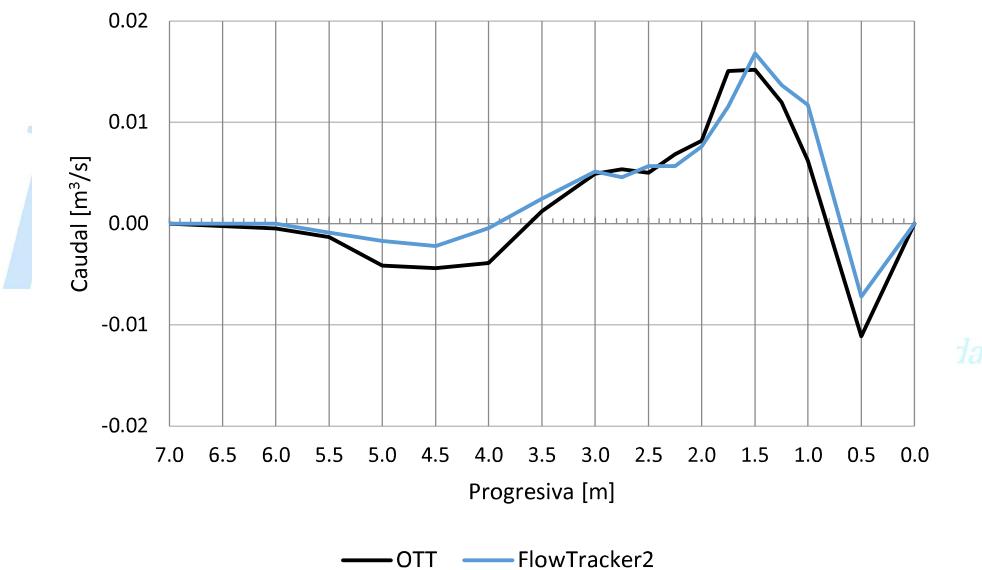


Figura 18.- Comparación de caudal parcial calculado con método MID section, a partir de mediciones con FlowTracker2 y OTT ADC en el arroyo Los Chorrillos.

#### IV. d. - RÍO SAN ANTONIO

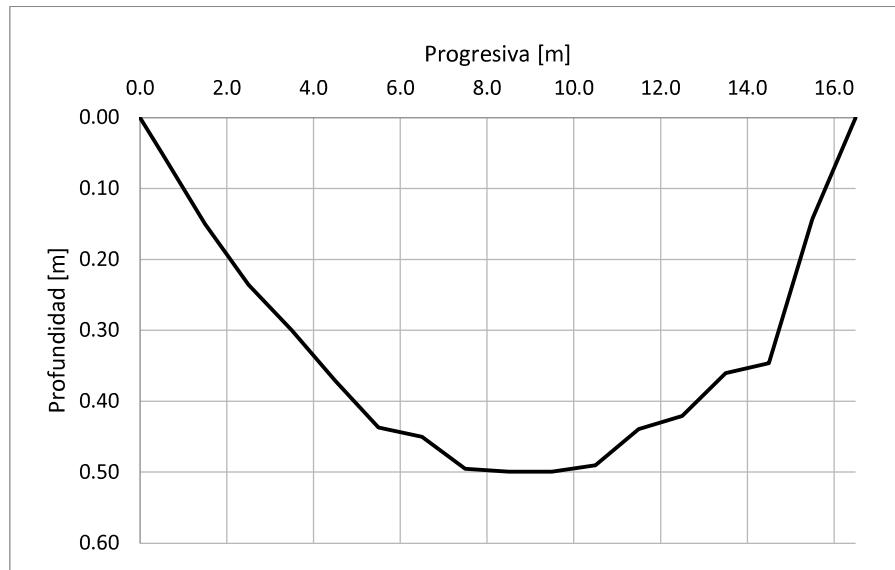
El aforo en el río San Antonio se realizó entre las 13:40 hs y 14:30 hs. En la Figura 4 del Anexo A se puede ver la sección de aforo y la condición del arroyo San Antonio al momento del aforo.

La altura registrada por el sensor de APRHI-30391 Rio San Antonio-Puente Juncal fue de  $H_{Juncal}= 6,08 \text{ m}$  que corresponde a un nivel del río en la sección del sensor de  $0,22 \text{ m}$ . Cabe aclarar que la sección de aforo se ve influenciada por la cola de embalse del azud El Fantasio, ubicado unos 250 m aguas abajo.

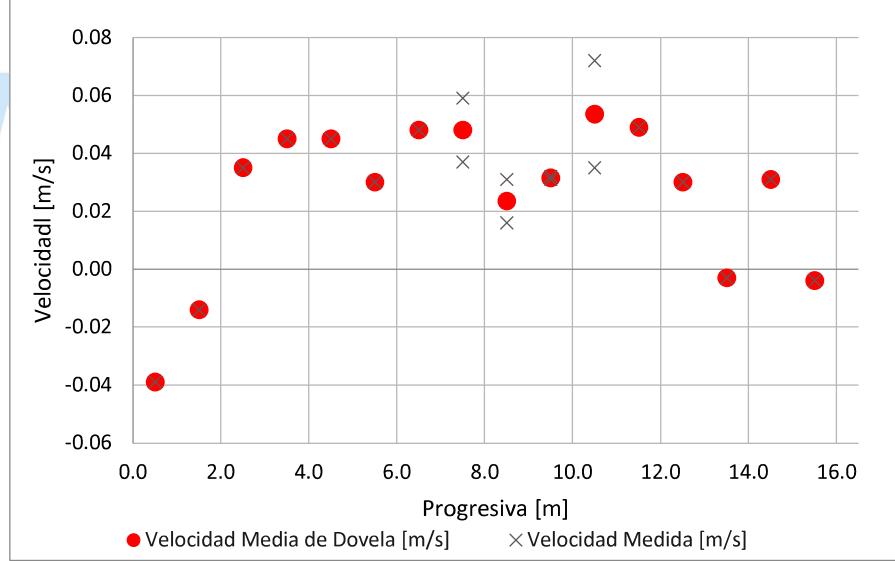
## 1) OTT ADC

El aforo con OTT ADC resultó en un caudal líquido de  $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$  con una incertidumbre de  $\pm 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ . En la Figura 19 se muestran los resultados obtenidos del aforo.

(a)



(b)



(c)

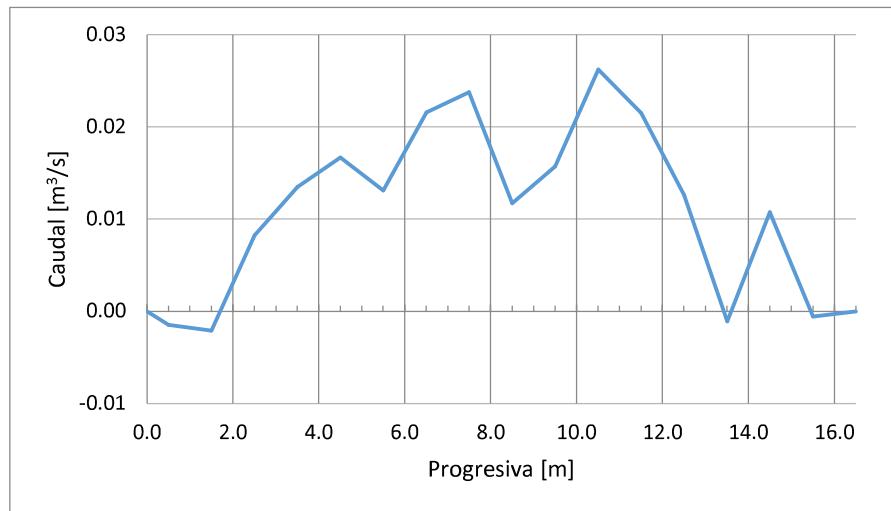
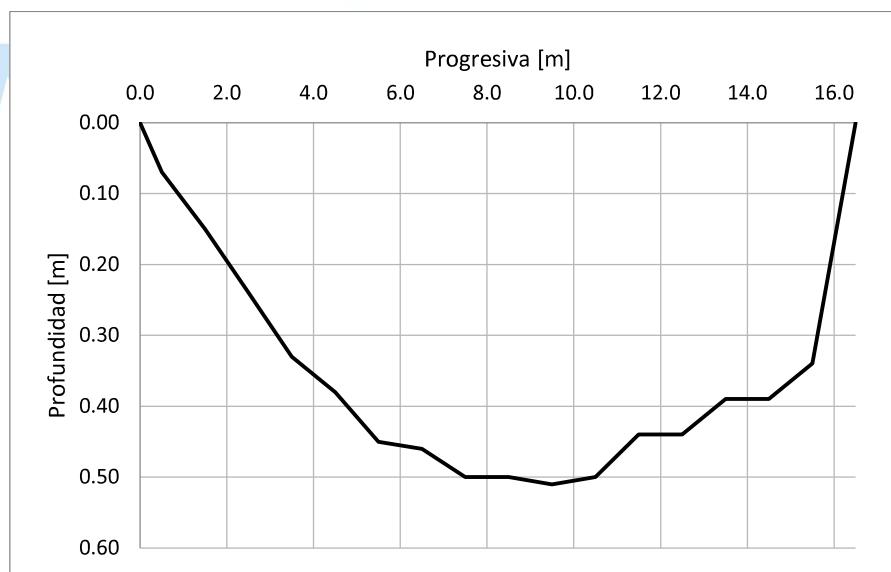


Figura 19. (a) Sección transversal del río San Antonio en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medido y (c) caudal aforado con ADC OTT. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda.

## 2) FlowTracker2

El aforo con FlowTracker2 resultó en un caudal líquido de  $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$  con una incertidumbre de 15,20% ( $\pm 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ ). En la Figura 20 se muestran los resultados obtenidos del aforo.

(a)



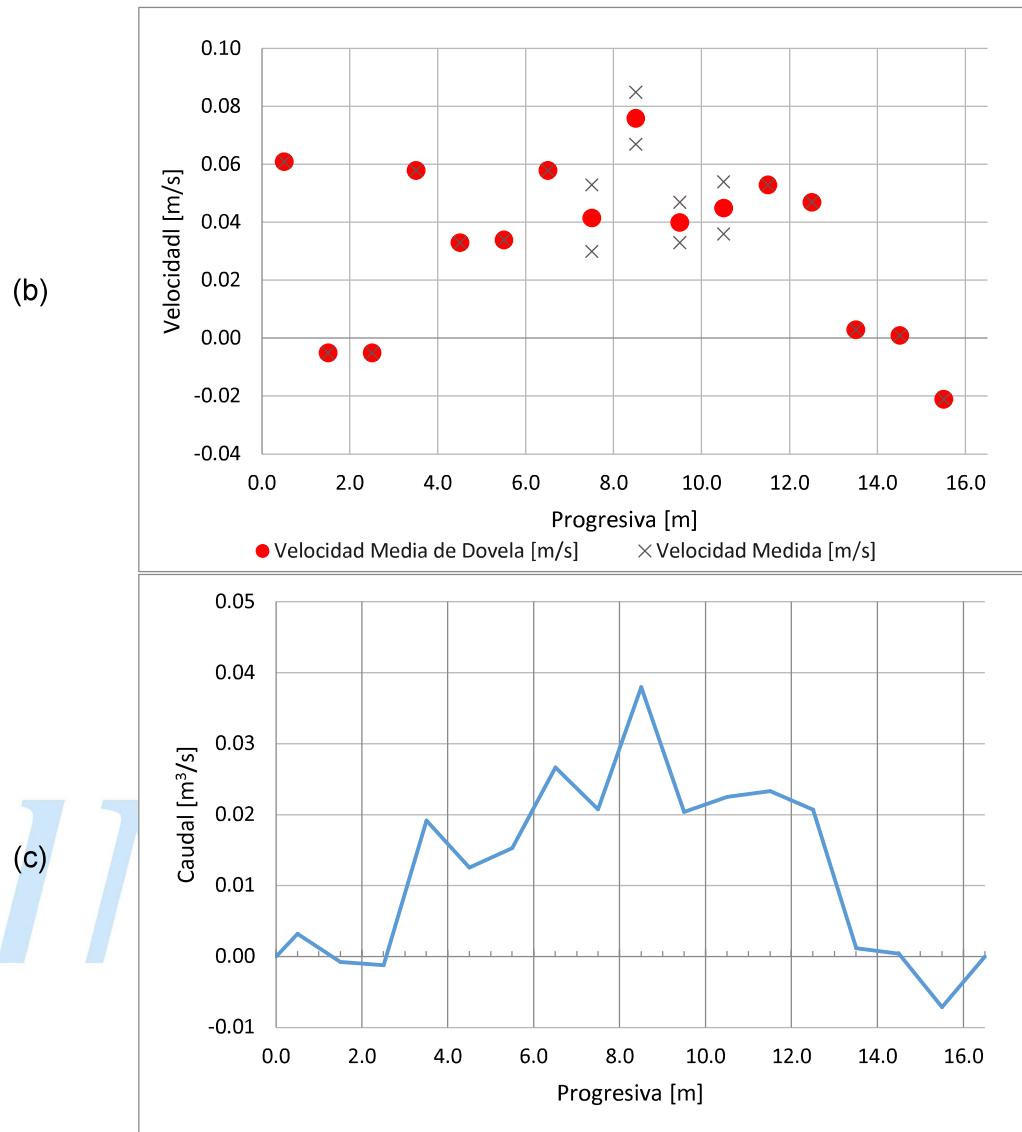


Figura 20. (a) Sección transversal del río San Antonio en el sitio de medición, (b) perfil de velocidades medido y (c) caudal aforado con FlowTracker2. La progresiva 0.00 se corresponde con la margen izquierda.

### 3) Comparación

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos determinados en el aforo con OTT ADV y con FlowTracker2; mientras en la Figura 18Figura 21, Figura 22 y Figura 23 se comparan los resultados medios en cada vertical.

La diferencia de caudal medido fue de 30 l/s. En cuanto a la batimetría, prácticamente coinciden las dos, aspecto importante considerando el método de medición y resolución de los instrumentos. Las diferencias de velocidades medias se pueden asociar a la falta de condiciones óptimas de medición de la sección de aforo, afectada por remanso generado por el azud El Fantasio ubicado aguas debajo de la sección.

Tabla 4. Caudal y parámetros hidráulicos del río San Antonio, determinado el 30/01/2024.

Instrumento	OTT ADV	FlowTracker2
Cantidad de Estaciones	18	18
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0,19	0,22
Velocidad media [m/s]	0,03	0,04
Ancho [m]	16,50	16,50
Profundidad media [m]	0,34	0,37
Área [m <sup>2</sup> ]	5,67	6,07
Temperatura [°C]	-	30,87
Incertidumbre [m <sup>3</sup> /s]	0,01	0,03

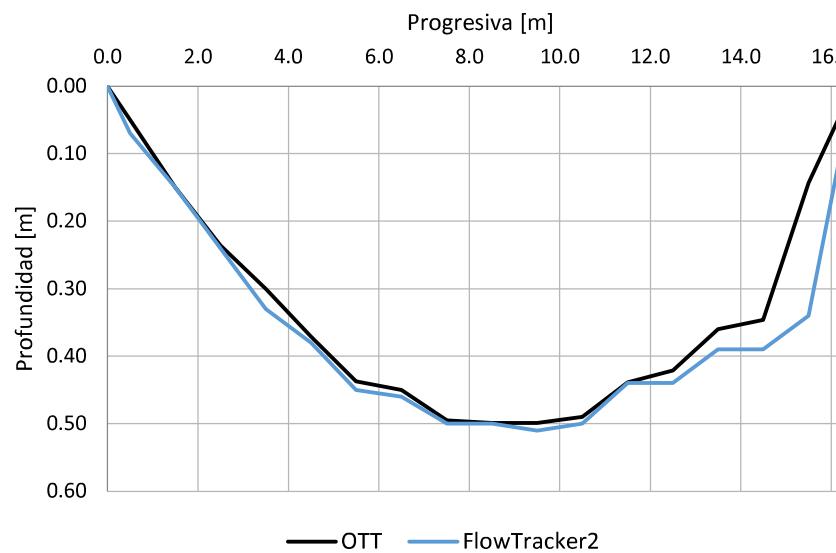


Figura 21.- Comparación de batimetría de la sección de aforo del río San Antonio, medidas con ADC OTT y FlowTracker2.

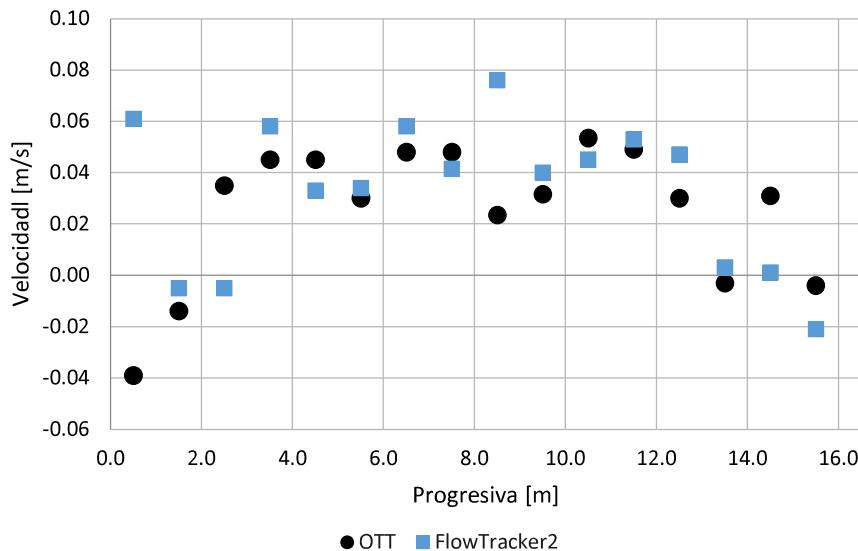


Figura 22.- Comparación de velocidad media de las verticales medidas con ADC OTT y FlowTracker2 en el río San Antonio.

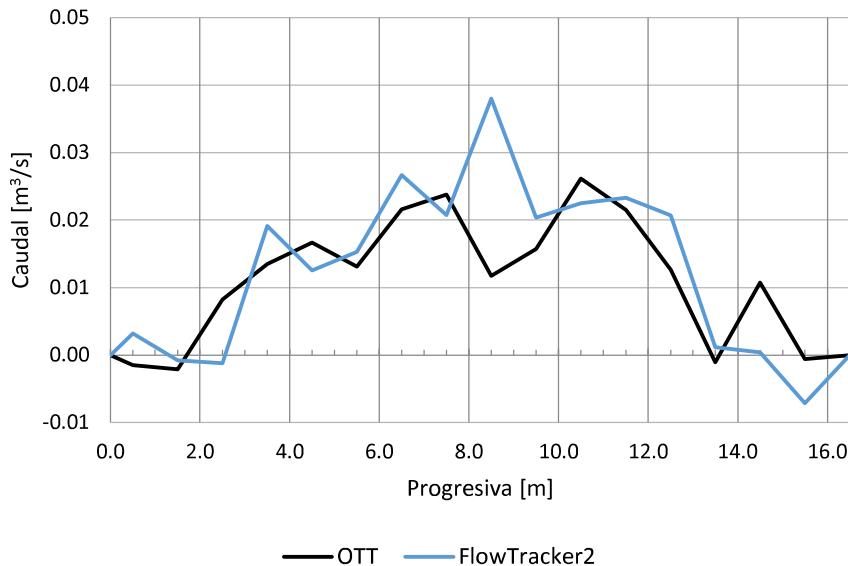


Figura 23.- Comparación de caudal parcial calculado con método MID section, a partir de mediciones con FlowTracker2 y OTT ADC en el río San Antonio.

## V. - SINTESIS

Durante la campaña de monitoreo se constató que la suma de los aportes tributarios al lago San Roque no supera los  $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $700 \text{ l/s}$ ), existiendo un marcado déficit de caudal líquido en los ríos para la época. A modo de síntesis, en la Figura 24 se representan los caudales promedio de los aforos aportados por cada uno de los ríos tributarios al embalse San Roque durante la campaña de monitoreo. *de la Región Semiárida*

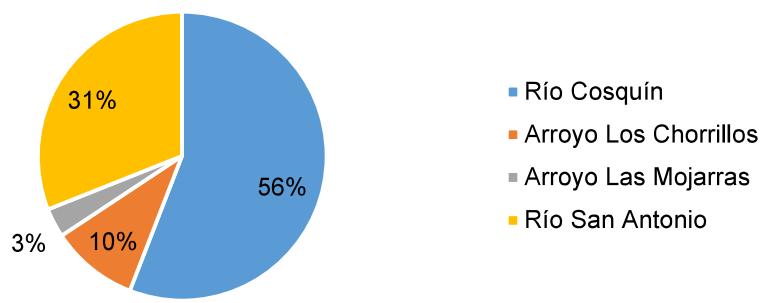


Figura 24. Caudales aportados por ríos tributarios al embalse San Roque, el día 30/01/2024.

## ANEXO A

### IMÁGENES



Figura 1.- Aforo de río Cosquín en Villa Caeiro el día 30/01/2024.

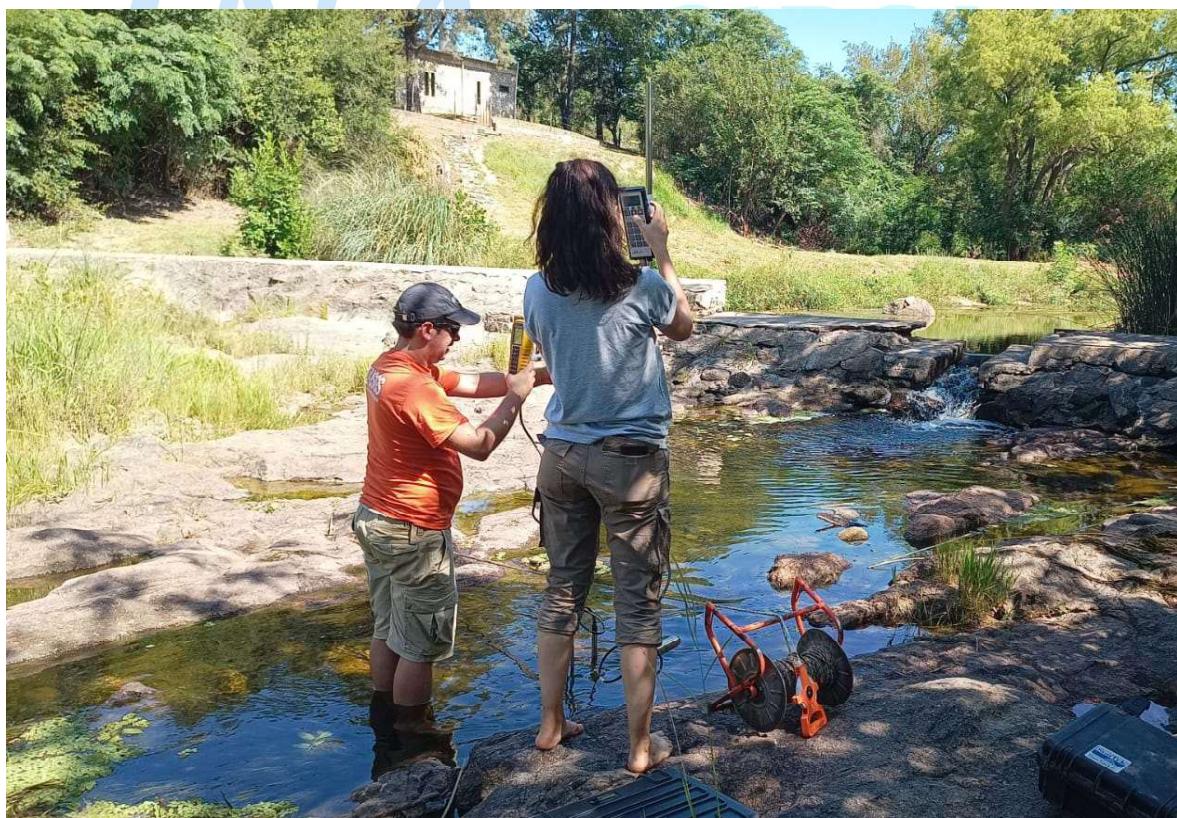


Figura 2.- Aforo de arroyo Las Mojarras aguas abajo del azud el día 30/01/2024.



Figura 3.- Sección de aforo de arroyo Los Chorrillos el día 30/01/2024.



Figura 4.- Sección de aforo de río San Antonio en balneario El Fantasio el día 30/01/2024.