Global Gateway

Cofinanciado por la Unión Europea

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

PROGRAMA EUROCLIMA

Informe de entrega de productos

Actividad 3: Relevamiento de variables hidrométricas del área de influencia de la Toma Hernández

Nombre de la consultoría: Modelación hidrológica e hidrodinámica del río Paraná y modelo de detalle de calidad de agua en la Toma Hernández para distintos escenarios de clima futuro

Fecha: 11 de noviembre de 2025

País: Argentina

Producido: Instituto Nacional del Agua

Este informe se ha elaborado para el Programa EUROCLIMA de la Unión Europea,

Se enmarca en la acción Apoyo a la *Territorialización de la Acción Ambiental con foco en Adaptación al Cambio Climático*, que se desarrolla dentro del proyecto "Estudios para mejorar la gestión del agua en un contexto de cambio climático"

AUTORIDADES del INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

PRESIDENTE (A/C del despacho)
Lic. Bernardo Bartolomé HEREDIA

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS
Ing. Fernando José ZÁRATE

SUBGERENTE LABORATORIO DE HIDRÁULICA
Dr. Ing. Pablo Ezequiel GARCÍA

SUBGERENTE LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS
Bioq. Yanina EL KASSISSE

SUBGERENTE LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS
Ing. Jorge COLLINS

PERSONAL PARTICIPANTE EN LA REALIZACIÓN DEL SIGUIENTE TRABAJO

SUBGERENCIA LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Programa de Hidráulica Computacional

Mag. Lic. Nicolás E. ORTIZ
Dr. Ing. Pablo E. GARCIA
Ing. Martín SABAROTS GERBEC
Ing. Santiago GUIZZARDI
Mag. Ing. Martiano RE

SUBGERENCIA LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS

Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables

Lic. Bárbara GOMEZ
Lic. Marisol REALE
Téc. Qca. Lorena MARQUINA
Sra. Silvia MOYANO
Lic. Valeria RODRIGUEZ SALEMI
Doc. Virginia ZAPLARA
Téc. Qco. Nelson DIAZ
Lic. Carolina MUJICA
Sr. Germán LOZA

SUBGERENCIA CENTRO REGIONAL LITORAL

Lic. Esteban COLLINS
Ing. Rosana MAZZON
Sr. Guido STORANI
Ing. Jorge COLLINS
Dra. Silvia RAFAELLI
Sr. Santiago Luis DOPAZO

INFORME ELABORADO POR:

Lic. Esteban COLLINS
Ing. Martín SABAROTS GERBEC
Sr. Santiago Luis DOPAZO
Mag. Lic. Nicolás E. ORTIZ
Sr. Guido STORANI

1. INTRODUCCIÓN 6

2. OBJETIVOS GENERALES 6

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

4. UBICACIÓN 7

5. CONDICIÓN HIDROLÓGICA 8

6. RELEVAMIENTO 12

6.1. Relevamiento fotográfico mediante VANT 13

6.2. Aforos líquidos 16

6.3. Batimetría 28

6.4. Topografía 29

6.5. Sonar de barrido lateral 31

7. CONCLUSIONES 33

8. REFERENCIAS 35

9. ANEXO I: Equipamiento de medición 36

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Producto 3 de la consultoría “Modelización Hidrológica e Hidrodinámica del Río Paraná y Modelo de Detalle de Calidad de Agua en la Toma Hernández para distintos Escenarios del Clima Futuro”, financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y coordinada por la Universidad Nacional de Quilmes.

Frente a los desafíos que plantea la creciente variabilidad hidrológica y climática sobre los sistemas de abastecimiento, resulta clave contar con información detallada sobre las condiciones actuales y proyectadas de la calidad del agua. En ese sentido, este componente integra tareas de relevamiento hidrométrico, muestreo intensivo, modelación ambiental y relevamiento de empresas prestatarias a fin de anticipar escenarios de riesgo para la operación de tomas de agua potable y aportar evidencia para la planificación de medidas de adaptación.

2. OBJETIVOS GENERALES

- Se busca desarrollar de un modelo de detalle de calidad de agua que permita evaluar escenarios de Cambio Climático en Toma Hernández, Ciudad de Santa Fe.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para poder implementar un modelo numérico de calidad de agua se debe contar con datos de base que permitan la construcción de tal herramienta de análisis y posterior

calibración/validación. En este sentido, las tareas documentadas en el presente informe tuvieron los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un relevamiento hidrométrico en los principales cuerpos de agua en simultáneo al muestreo de calidad de agua.
- Caracterizar las condiciones fisicoquímicas del agua en la zona de captación y cuerpos de agua asociados mediante una campaña de muestreo con tomas diarias.

Este informe presenta los datos relevados que son de interés para la posterior implementación del modelo numérico, entre ellos caudales líquidos, perfiles de velocidad, batimetría y topografía. Además, se relevó información que permite la descripción del entorno de la toma, mediante vuelos de drone y ecosonda para escaneo de barrido lateral de la toma. Los muestreos y resultados de calidad de agua corresponden al Producto 4 del estudio y quedan fuera del alcance de este informe.

4. UBICACIÓN

Inicialmente, las actividades planteadas se desarrollaron en las ubicaciones presentadas en la **Figura 1**, que incluyen la Laguna Setúbal, el riacho Santa Fe, el Canal de Acceso y el río Colastiné, extendiéndose hacia aguas arriba sobre los aportes a la Laguna Setúbal desde los ríos Saladillo y Leyes.



Figura 1. Ubicación del relevamiento hidrométrico y puntos de muestreo de calidad de agua relativos a la Toma Hernández en la ciudad de Santa Fe.

5. CONDICIÓN HIDROLÓGICA

Las tareas de relevamiento se llevaron a cabo entre los días 16 y 18 de septiembre de 2025. Para caracterizar las condiciones hidrológicas y meteorológicas de la ventana temporal de medición se presenta la serie de niveles hidrométricos en el Puerto de Santa Fe (ver **Figura 2**), con percentiles computados a partir de la serie de 1990-2025, que permiten visualizar una condición hidrológica de bajante. Durante los días en que se ejecutó la campaña de mediciones, se registró un valor de altura del río en el Puerto de Santa Fe de 1,6m, quedando por debajo del percentil 10%.

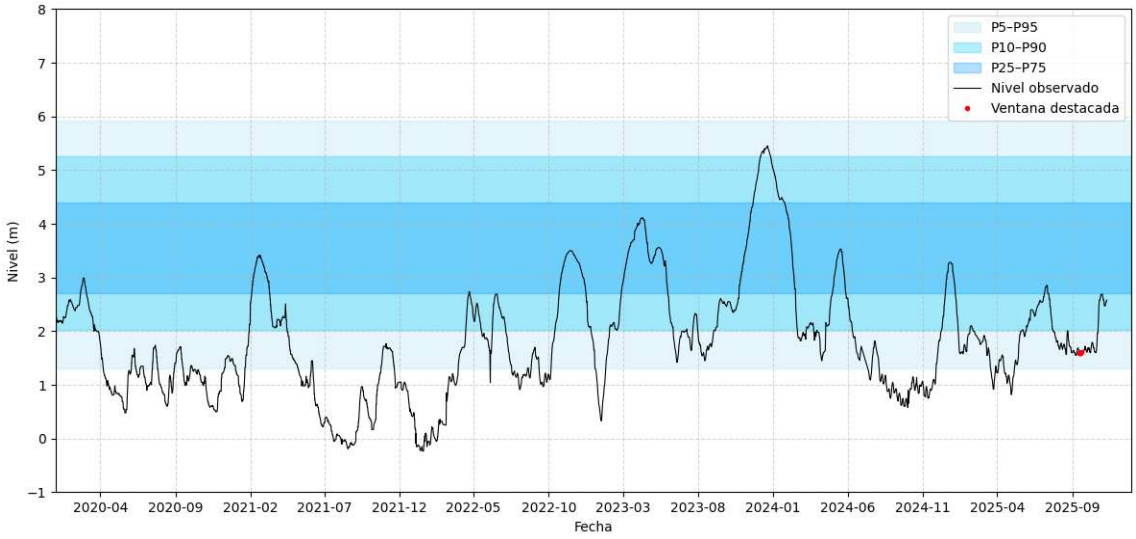


Figura 2. Altura de agua en el hidrómetro del Puerto de Santa Fe

El caudal del río Paraná presenta un comportamiento similar, siendo el principal forzante de los niveles en la zona. A partir de la serie de caudales históricos con la que se cuenta en el Sistema de Información y Alerta Hidrológico del INA, se cuenta con la serie de caudales correspondiente el eje Santa Fe – Paraná (ver **Figura 3**), que integra el flujo de la Laguna Setúbal, río Colastiné y río Paraná. Se observa una característica similar a la presentada anteriormente, donde el caudal total de la sección sobre el eje Santa Fe - Paraná es de unos 12100 m^3/s. Dicho valor comparado con la estadística de caudales entre 1990 y 2025, se encuentra dentro de los caudales mínimos, entre los percentiles 5 y 10%.

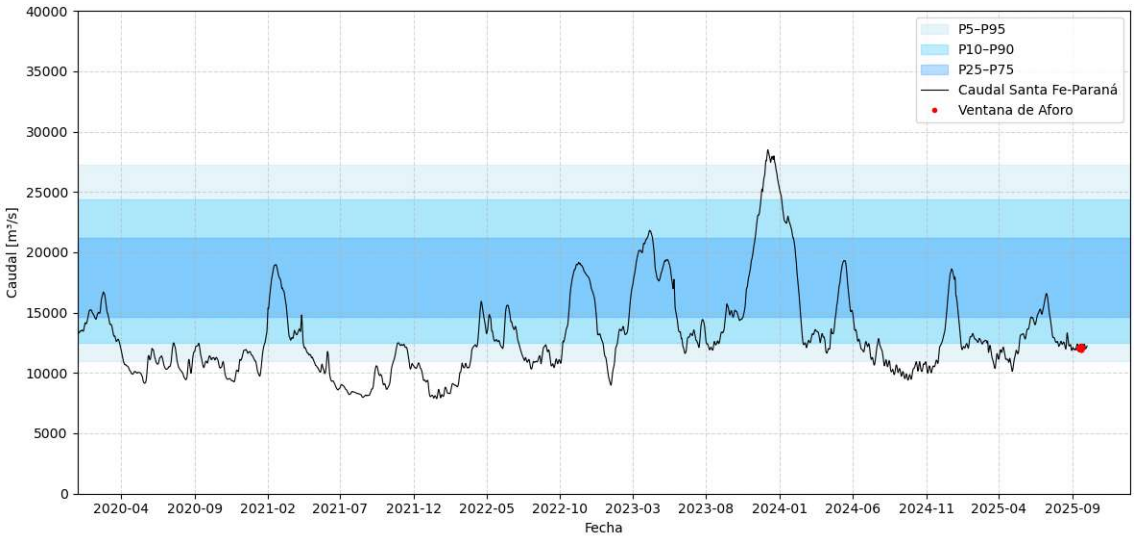


Figura 3. Caudales en el eje Santa Fe – Paraná (2020-2025)

Esta condición de aguas bajas resulta particularmente relevante, ya que los escenarios más adversos en relación a la calidad de agua están asociada a caudales y niveles bajos. En este sentido, contar con mediciones en esta condición hidrológica, provee de datos de velocidad y caudal acordes a los escenarios con los que se calibrará y validará el modelo numérico en una etapa posterior.

En lo que refiere a las condiciones meteorológicas de la campaña, se tomaron los datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) correspondientes a la Estación Sauce Viejo, que se ubica a 18km al suroeste de la toma. La **Tabla 1** presenta los datos, mientras que en la **Figura 4** se presenta el gráfico de temperatura y dirección del viento. Se destaca que el único registro de precipitación ocurrió en el tercer día de actividades, con un acumulado de 0,1mm que no afectó el normal desarrollo de las tareas planificadas.

Tabla 1. Registros de variables meteorológicas provistas por el SMN

Fecha	Temperatura láx.	lín. (°C)	led.	Presión nPa)	Precip. (mm)	Hum. Relat. %)	Viento máx. Dir. (º)	Int. m/s)	to med. Int. m/s)
/15/2025	4.5	5.1	.9.6	014.4	0	79	9	12.9	4.1
/16/2025	7.2	4.4	10.3	014.8	0	74	5	6.7	3
/17/2025	9.5	5.2	12.1	012.7	0.1	70	9	7.7	3.5
/18/2025	6.5	9.3	11.6	010.7	0	74	9	7.7	4.5

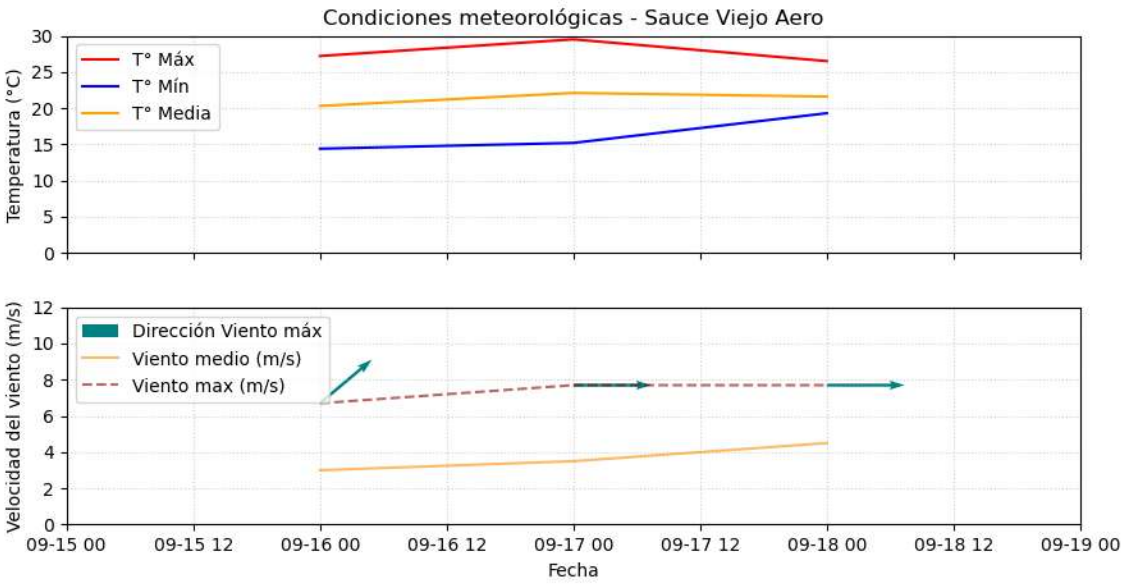


Figura 4. Condiciones meteorológicas – Sauce Viejo (SMN)

6. RELEVAMIENTO

En esta sección se presentan las tareas de relevamiento llevadas a cabo, con distintos alcances y resultados obtenidos. En primer lugar, los vuelos no tripulados *(drone)*, permiten tener un contexto general de las márgenes y la toma. Además, las imágenes de barrido lateral de ecosonda y relevamiento topográfico de la toma buscan contar con elementos que identifican posibles problemas operativos. Finalmente, las mediciones de caudales y batimetría resultan un insumo fundamental para el desarrollo del modelo hidrodinámico y la caracterización de cargas másicas. La **Figura 5** presenta esquemáticamente cada una de dichas tareas.

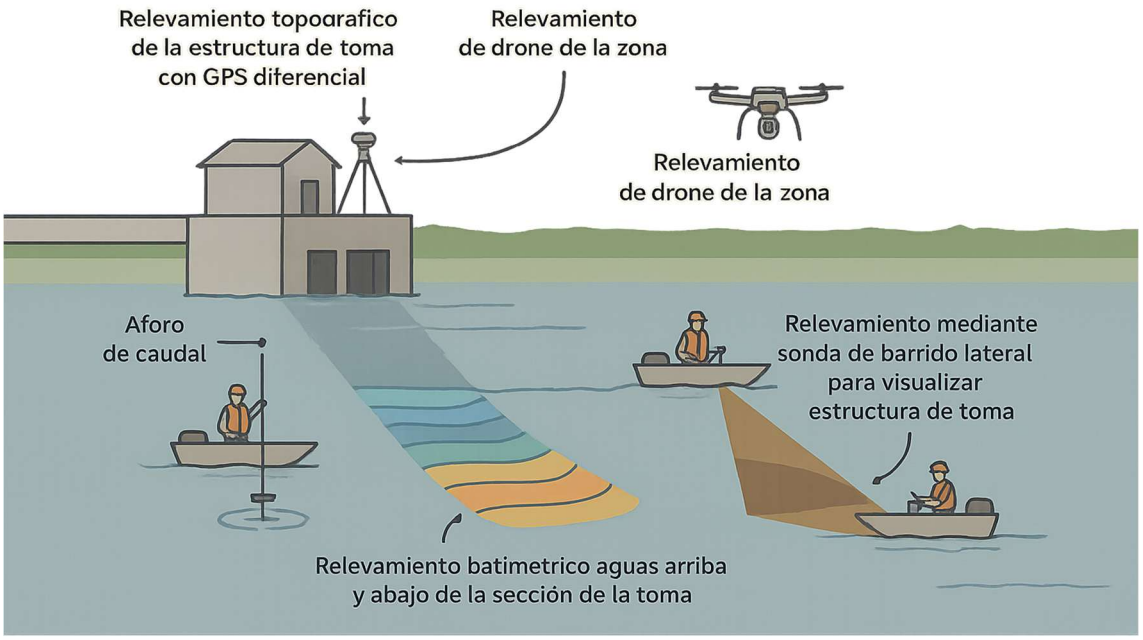


Figura 5. Esquema de tareas de relevamiento hidrométrico

6.1. Relevamiento fotográfico mediante VANT

6.1.1. Relevamiento general

Se realizó un vuelo mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT), coloquialmente llamado *drone*, permitiendo una cobertura espacial extensa. Se relevaron ambas márgenes del río Santa Fe (ver **Figura 6**), donde uno de los objetivos es la detección visual de cualquier cambio en la coloración del agua superficial que pudiera indicar una descarga puntual que modifique la calidad del agua. Se observó una coloración uniforme del cuerpo de agua en ambas márgenes, lo que indica que para el tramo relevado no se distinguieron descargas puntuales al momento del relevamiento.

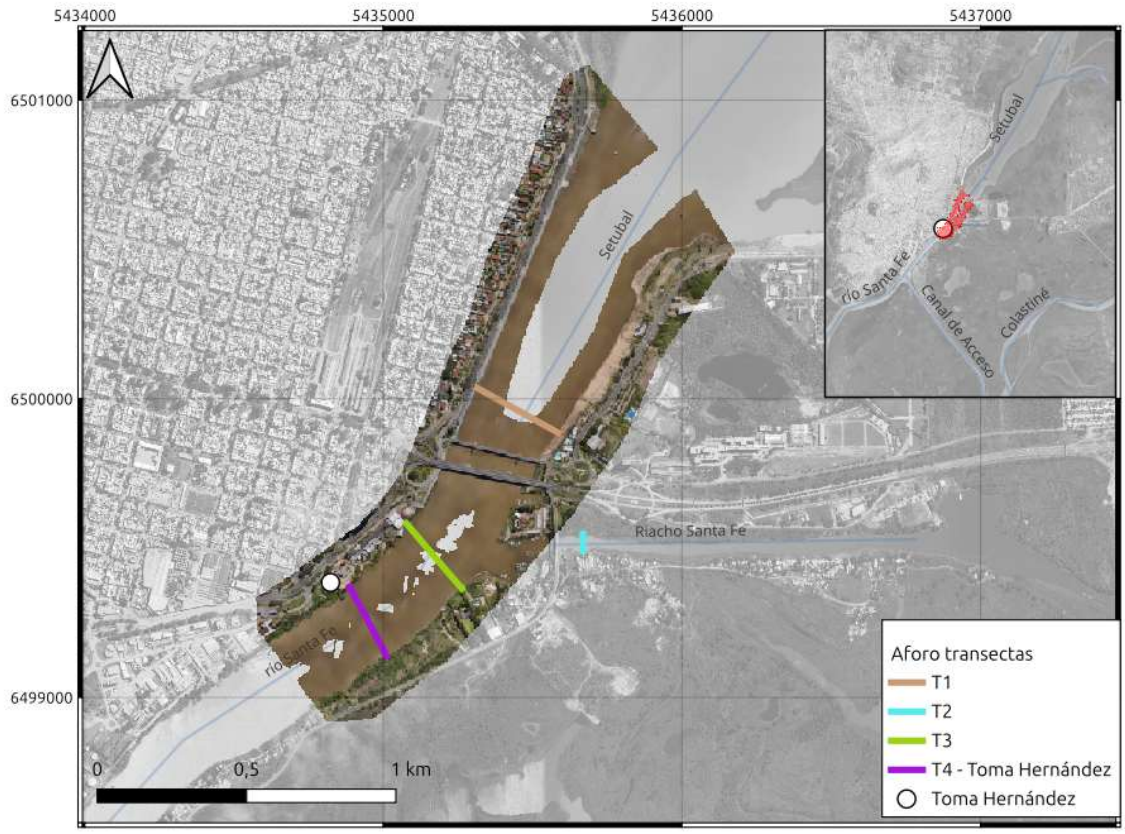


Figura 6. Cobertura del vuelo general

6.1.2. Vuelo puntual

Específicamente en la Toma Hernández se realizó un vuelo centrado en la obra de captación con el objetivo de obtener un mayor detalle local, como se aprecia en la **Figura 7**.



Figura 7. Imagen del vuelo sobre la toma



Figura 8. Vista de detalle de la toma

Además, el *drone* utilizado se encuentra equipado con cámara térmica, la cual se emplea para detectar posibles variaciones en la temperatura superficial del agua, que a simple vista pudieran no detectarse y que afectarían la calidad del agua.

En la **Figura 9** se presenta el resultado de la visualización con cámara térmica no observándose un cambio significativo en la temperatura superficial del agua que indique diferencias de calidad. Solo se presenta una leve variación hacia la línea de costa (próxima a la toma de la cervecería), propia del gradiente de temperaturas próximo a la margen del río.

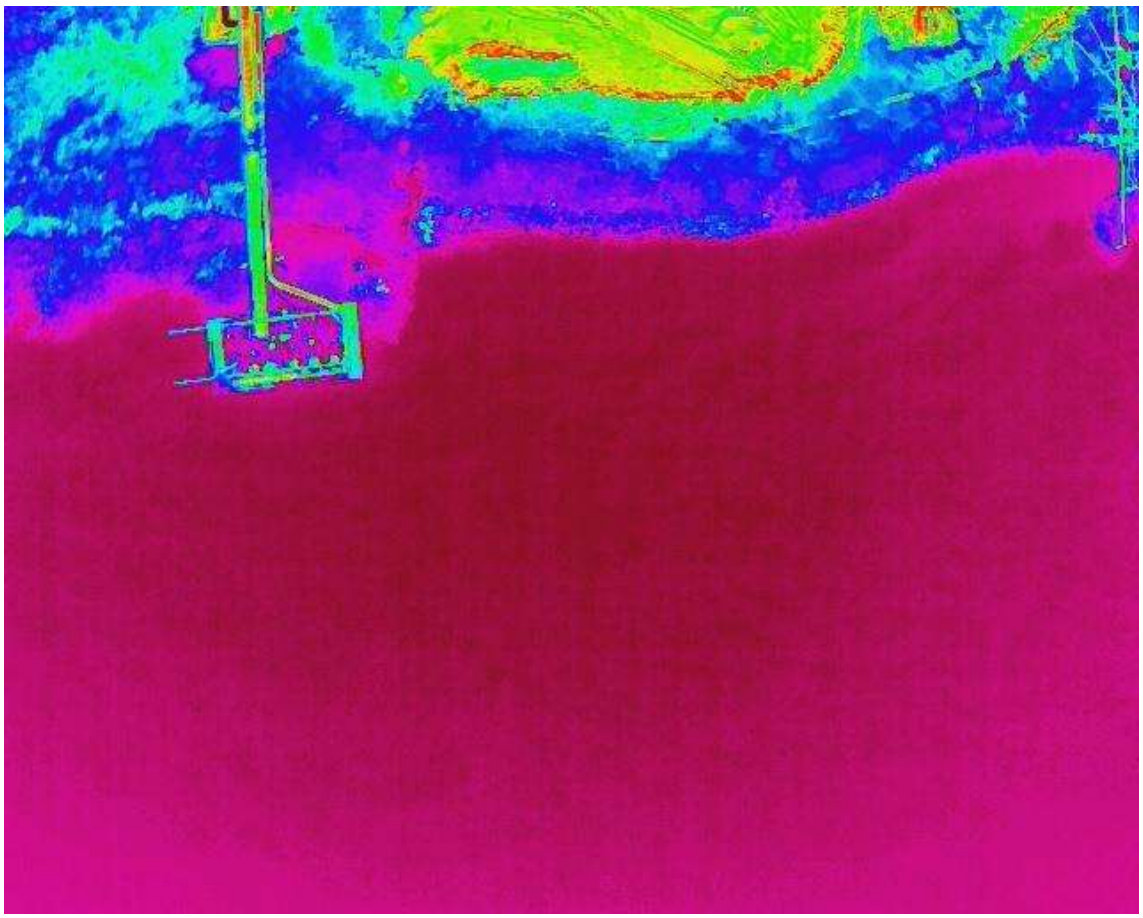


Figura 9. Imagen térmica del entorno a la toma (hacia aguas arriba)

6.2. Aforos líquidos

Con el fin de cuantificar las cargas másicas de distintos parámetros, los muestreos de calidad de agua fueron acompañados de aforos líquidos los cuales se presentan en esta sección. Además, para disponer de datos que permitan una posterior validación del modelo hidrodinámico de detalle, se realizaron aforos adicionales en secciones aguas abajo de la toma, puntualmente en el Canal de Acceso, el río Santa Fe y el río Colastiné. Todas las transectas aforadas se presentan en la **Figura 10**.

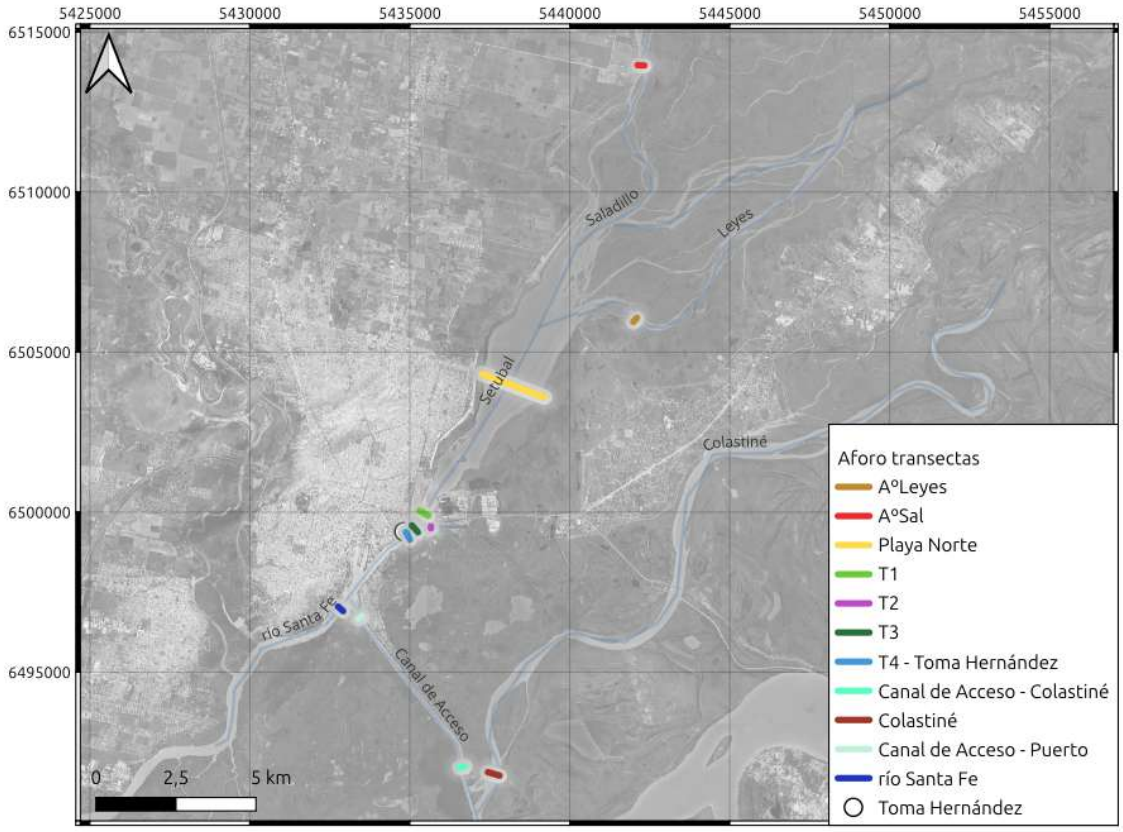


Figura 10. Ubicación de las transectas aforadas

En lo que respecta a los aportes de aguas arriba, que luego escurren por la Laguna Setúbal antes de llegar a la Toma Hernández, se destacan los aportes provenientes del río Saladillo y de la red de canales conformado por el río Leyes, que no descarga a la laguna con un único aporte, sino como un delta. Ambos presentan características de calidad de agua distintas, y fueron muestreados simultáneamente a la medición de caudal.

Los aforos en los aportes a la Laguna Setúbal se realizaron utilizando un ADCP modelo RS5 de la marca *Sontek*, cuyas especificaciones se detallan en el Anexo I. En la **Figura 11** se observa la disposición del mismo a un lado de la embarcación.



Figura 11. Disposición del ADCP RS5 a un costado de la embarcación

La **Figura 12** presenta un detalle de los aportes de los ríos Saladillo y Leyes a la Laguna Setúbal y la ubicación de los aforos. La **Tabla 2** presenta el resumen de las principales variables hidrométricas registradas en los aforos de aguas arriba. Tomando las medias de las mediciones realizadas a lo largo de los 3 días, se observa que el caudal en la sección correspondiente al río Saladillo a la altura de Monte Vera (165 m^3/s) representa un 33% del aporte a la laguna, que en la sección coincidente con Playa Norte presenta un caudal de 499 m^3/s. Cabe destacar que esto no es netamente el aporte de la cuenca propia del Saladillo, ya que cuenta con un aporte parcial del río Leyes, que ingresa aguas arriba a la sección aforada.
En el Leyes, si bien el brazo medido presenta un caudal de 58 m^3/s, por diferencia con lo aforado en la laguna, el aporte total del Leyes (sumando todos sus brazos) se estima en 334 m^3/s.

Se observa también, en los datos de la **Tabla 2**, que en las tres secciones aforadas el caudal presenta un leve pero consistente incremento a lo largo de los 3 días, que en el Saladillo y Leyes es de 5 y 9% respectivamente, mientras que en la sección coincidente

con Playa Norte es de 2%.

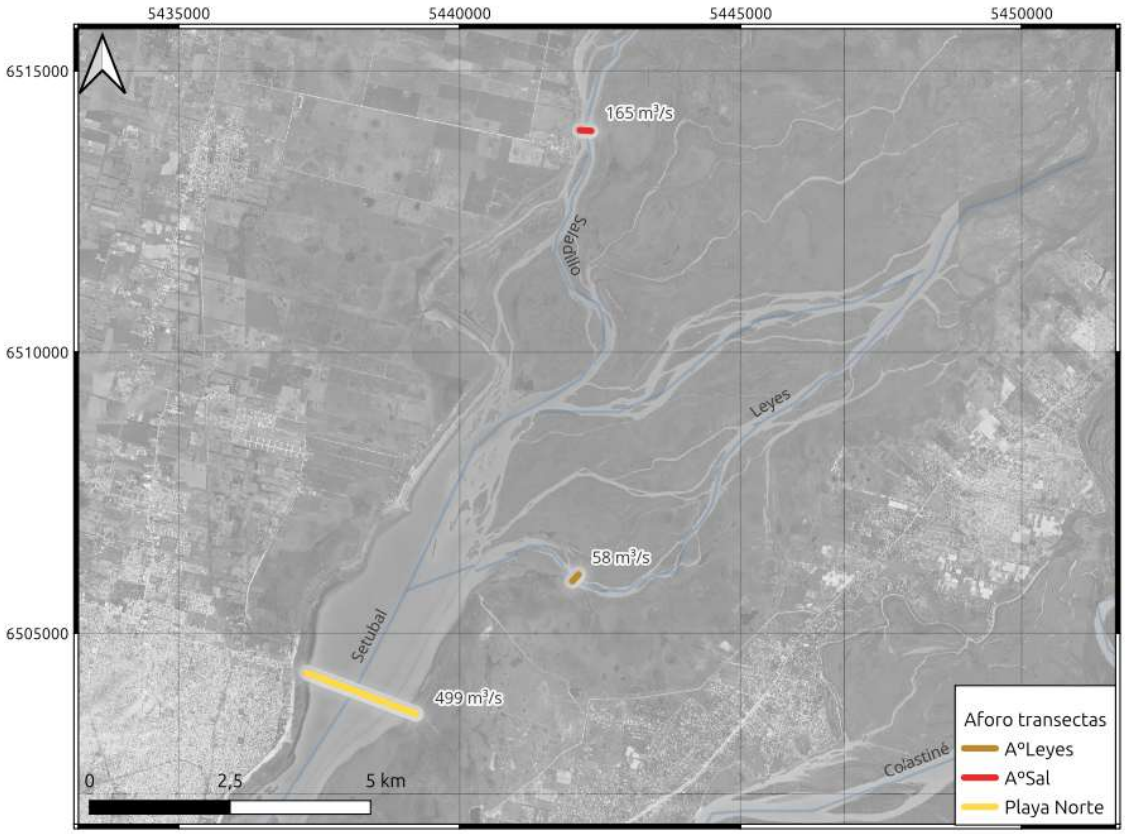


Figura 12. Caudales aforados aguas arriba – media de los 3 días

Las variables medidas próximas a la toma de agua se presentan en la **Tabla 3**. En este caso, todos los aforos fueron realizados con un ADCP *Sontek* M9, emplazado en el lateral de la embarcación (**Figura 13**), similar a la forma en la que se aforó aguas arriba.



Figura 13. Disposición del ADCP M9 a un costado de la embarcación

En las secciones próximas a la toma, no se observó una variación temporal, pero sí caudales inferiores a los aforados aguas arriba. En primer lugar, en la laguna se observa consistencia entre la medición de Playa Norte (499 m^3/s) y la sección T1 aguas arriba del puente (486 m^3/s), aunque con un caudal menor, como se mencionó previamente. Esta tendencia se repite aguas abajo, donde el caudal de T3 (coincidente con el Club Regatas) y T4 (sección de la Toma Hernández) son casi idénticos (449 m^3/s y 451 m^3/s respectivamente), pero inferiores al de la sección inmediata aguas arriba T1. La disminución de caudal no se explica con una derivación del mismo hace el riacho Santa Fe, ya que el caudal aforado en la sección T2 es prácticamente nulo, debido a la obstrucción de ese curso. La **Figura 14** presenta los valores promediados de los 3 días.

Si bien estas variaciones (-10% entre Playa Norte y T4) son próximas a la propia incertidumbre de la medición (5%), se destaca el hecho de que hay una cierta consistencia en la tendencia de disminución hacia aguas abajo y leve incremento a lo

largo del tiempo. Esto hace suponer un efecto de variación de los caudales, los cuales pueden estar condicionados por los niveles del río aguas abajo.

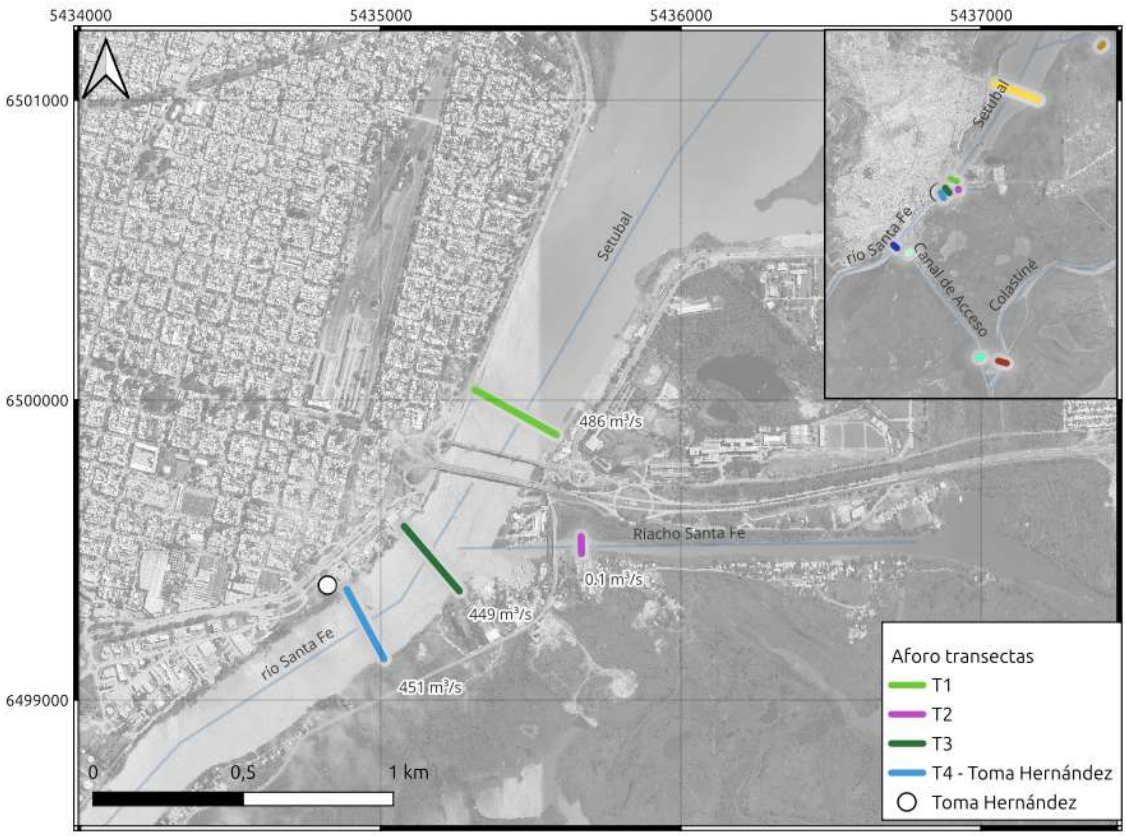


Figura 14. Caudales aforados cerca de Toma Hernández – media de los 3 días

La sección coincidente con la toma de agua (T4), que reviste mayor interés, presenta velocidades bajas, del orden de los 0,15m/s, como se observa en la **Figura 15**.

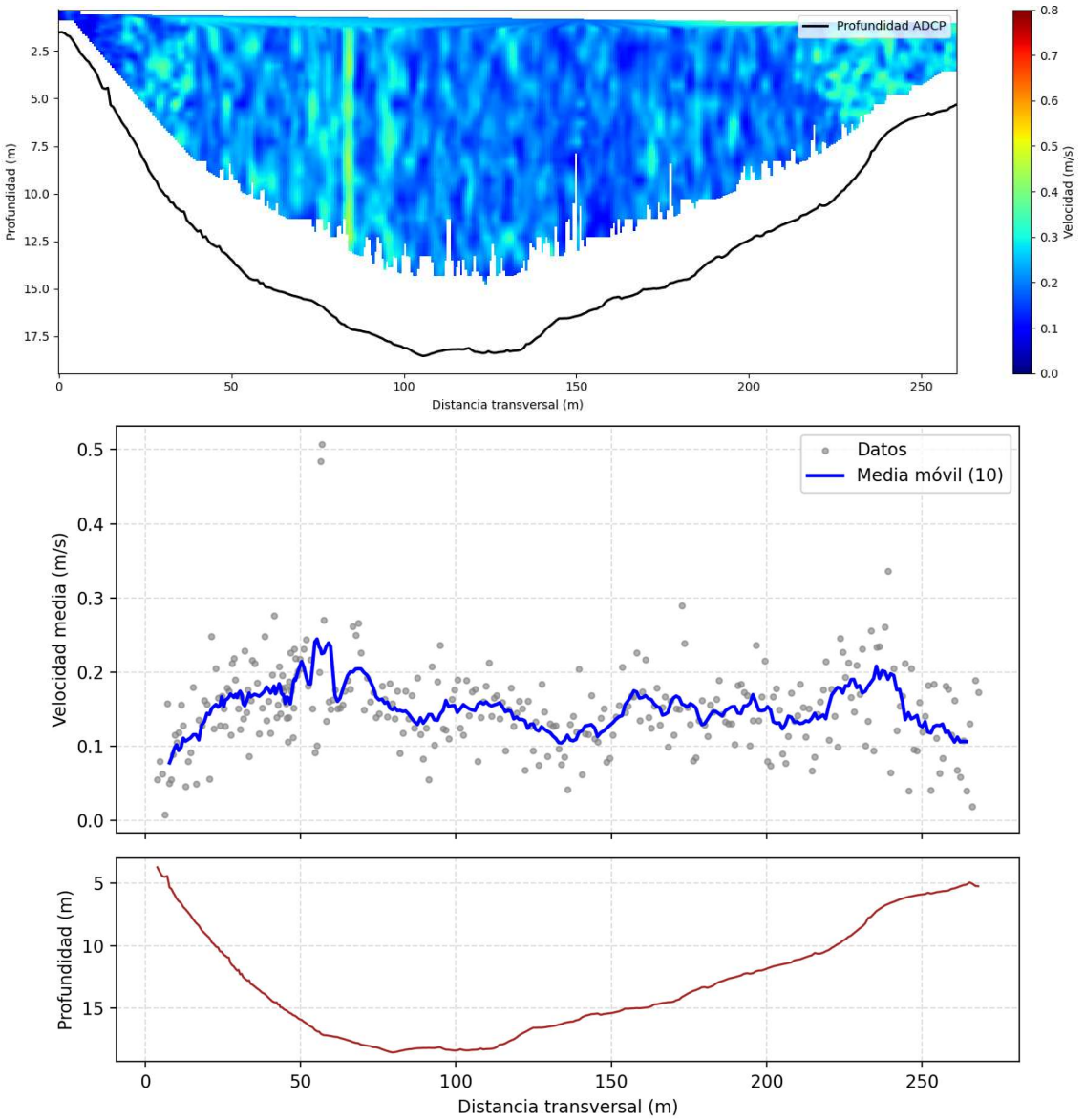


Figura 15. Velocidades en la sección de la toma

Finalmente, en lo que respecta a los aforos aguas abajo, los mismos se realizaron un sólo día (el 16 de septiembre de 2025), ya que no se acompañaban de tomas de muestras para calidad de agua. En este caso, las mediciones se realizaron con dos equipos de trabajo en simultáneo, por un lado, en la proximidad del Canal de Acceso y el río Santa Fe, donde se midió con el equipo RS5, mientras que próximo al Canal de

Acceso y río Colastiné se utilizó el equipo M9. Las secciones aforadas se presentan en la **Figura 16**. Se observa que parte del caudal del río Colastiné se deriva por el Canal de Acceso, específicamente unos 419 m^3/s tomando el promedio las mediciones en cada extremo del canal. Ese flujo se suma a lo que proviene del río Santa Fe, totalizando 849 m^3/s a la altura del Puerto.

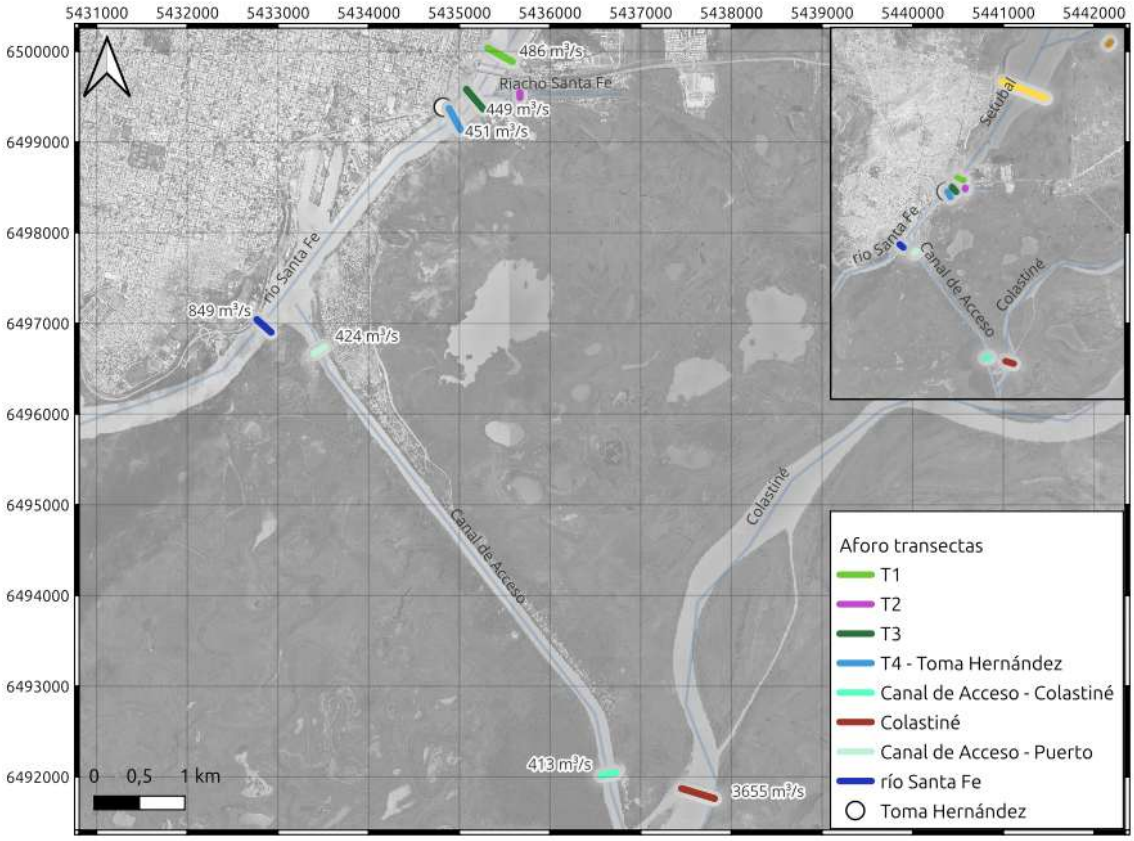


Figura 16. Caudales aforados aguas abajo – media de los 3 días

Tabla 2. Aforos Aguas Arriba

Estación	Fecha	Hora	Equipo	Caudal (m^3/s)	Vel. med. (m/s)	Vel. max. (m/s)	Prof. med. (m)	Prof. max. (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
Saladillo	16-sep	13:26	RS5	160.27	0.33	0.503	2.573	4.406	189.494	486.456
Saladillo	17-sep	15:25	RS5	166.99	0.347	0.524	2.499	4.019	192.86	481.799
Saladillo	18-sep	14:05	RS5	167.65	0.346	0.527	2.458	4.048	196.967	484.05
Leyes	16-sep	15:15	RS5	55.06	0.706	0.951	0.676	0.908	115.479	78.075
Leyes	17-sep	13:40	RS5	58.74	0.723	1.076	0.687	0.935	118.307	81.249
Leyes	18-sep	12:58	RS5	60.06	0.74	1.02	0.677	0.909	119.922	81.132
Setúbal	16-sep	17:46	RS5	492.54	0.332	0.551	0.802	1.308	1849.73	1483.832
Setúbal	17-sep	17.13	RS5	504.62	0.353	0.566	0.844	1.352	1696.219	1430.83

Tabla 3. Aforos en las proximidades de la Toma Hernández

Estación	Fecha	Hora	Equipo	Caudal (m^3/s)	Vel. med. (m/s)	Vel. max. (m/s)	Prof. med. (m)	Prof. max. (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
T4: Toma Hernández	16-sep	10:32	M9	441.01	0.137	0.509	12.693	18.475	254.328	3228.219
T4: Toma Hernández	16-sep	10:37	M9	423.72	0.129	0.509	12.448	18.273	263.831	3298.095
T4: Toma Hernández	16-sep	10:42	M9	434.03	0.133	0.503	12.436	18.56	262.459	3264.019
T4: Toma Hernández	17-sep	10:02	M9	421.75	0.131	0.525	12.267	18.366	261.596	3209.044
T4: Toma Hernández	17-sep	10:07	M9	457.86	0.144	0.533	11.955	18.175	266.016	3180.251
T4: Toma Hernández	17-sep	10:11	M9	456.25	0.14	0.559	12.337	18.437	263.387	3249.421
T4: Toma Hernández	17-sep	10:15	M9	473.01	0.149	0.492	11.986	18.331	264.969	3176.042
T4: Toma Hernández	18-sep	9:49	M9	468.53	0.145	0.58	12.372	18.948	261.903	3240.32
T4: Toma Hernández	18-sep	9:53	M9	483.61	0.152	0.519	12.035	18.51	263.923	3176.364
T4: Toma Hernández	18-sep	9:43	M9	471.14	0.151	0.531	12.018	18.572	259.362	3117.003
T4: Toma Hernández	18-sep	9:37	M9	446.95	0.137	0.505	12.556	19.142	259.048	3252.628
T3: Regatas	16-sep	11:26	M9	416.54	0.144	0.504	13.597	21.559	269.313	3661.962
T3: Regatas	16-sep	11:31	M9	457.11	0.128	0.491	13.072	22.021	272.657	3564.295
T3: Regatas	16-sep	11:48	M9	481.81	0.128	0.518	13.071	22.075	288.868	3775.743
T3: Regatas	17-sep	10:50	M9	401.35	0.109	0.456	13.85	21.962	264.823	3667.776
T3: Regatas	17-sep	10:55	M9	437.52	0.122	0.481	13.318	21.588	270.361	3600.72
T3: Regatas	17-sep	11:00	M9	445.79	0.122	0.496	13.956	21.487	260.979	3652.265

Estación	Fecha	Hora	Equipo	Caudal (m^3/s)	Vel. med. (m/s)	Vel. max. (m/s)	Prof. med. (m)	Prof. max. (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
T3: Regatas	17-sep	11:05	M9	472.2	0.13	0.485	13.566	21.789	267.624	3630.592
T3: Regatas	18-sep	10:22	M9	439.62	0.116	0.551	13.941	21.58	271.993	3791.728
T3: Regatas	18-sep	10:29	M9	474.36	0.131	0.514	13.19	21.793	274.627	3622.325
T2: Vta paraguayo	17-sep		M9	-0.12	-0.001	0.398	3.542	5.974	57.985	205.391
T1: Setúbal	16-sep		M9	508.84	0.183	0.697	9.449	13.395	294.261	2780.367
T1: Setúbal	16-sep		M9	477.41	0.178	0.754	9.323	13.432	287.599	2681.324
T1: Setúbal	16-sep		M9	485.63	0.174	0.679	9.592	13.345	291.324	2794.343
T1: Setúbal	16-sep		M9	488.09	0.185	0.659	9.245	13.5	284.744	2632.531
T1: Setúbal	17-sep		M9	491.22	0.187	0.647	8.81	13.364	298.207	2626.207
T1: Setúbal	17-sep		M9	469.11	0.18	0.656	8.766	13.186	298.057	2612.824
T1: Setúbal	17-sep		M9	469.03	0.175	0.661	8.833	13.293	303.147	2677.681
T1: Setúbal	17-sep		M9	476.5	0.182	0.632	8.675	13.126	301.098	2611.937
T1: Setúbal	18-sep	12:06	M9	462.64	0.172	0.716	9.46	13.431	283.976	2686.315
T1: Setúbal	18-sep	12:20	M9	532.85	0.198	0.689	8.898	13.604	302.217	2689.039
T1: Setúbal	18-sep	12:14	M9	476.26	0.173	0.718	9.177	13.515	300.792	2760.49

Tabla 4. Aforos Aguas Abajo

Estación	Fecha	Hora	Equipo	Caudal (m^3/s)	Vel. med. (m/s)	Vel. max. (m/s)	Prof. med. (m)	Prof. max. (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
Colastiné	16-sep	16:01	M9	1216.87	0.641	1.101	5.014	11.273	378.686	1898.57
Colastiné	16-sep	16:06	M9	1199.67	0.652	1.154	5.032	11.322	365.921	1841.39
Colastiné	16-sep	16:12	M9	1238.86	0.674	1.19	4.886	11.183	378.513	1849.586
erivación Sur	16-sep	16:37	M9	859.4	0.29	0.6	11.03	12.9	270.36	2978
anal de acceso	16-sep	16:20	M9	413.58	0.48	1.11	6.46	9.95	132.45	856.33
anal de acceso	16-sep		M9	424.34	0.518	0.927	4.923	7.672	166.279	818.667

6.3. Batimetría

Entre los días 27 y 31 de octubre, se llevó a cabo el relevamiento batimétrico del área coincidente con el dominio de modelación. La **Figura 17** presenta los valores medidos referidos al IGN. Durante las mediciones, la altura del río en el Puerto de Santa Fe fue de 2.68m, que resulta aproximadamente 1m más que en las campañas de aforo. Las mediciones se referenciaron al cero del IGN, teniendo en cuenta el cero de la regla hidrométrica del Puerto de Santa Fe: 8.38mIGN

.

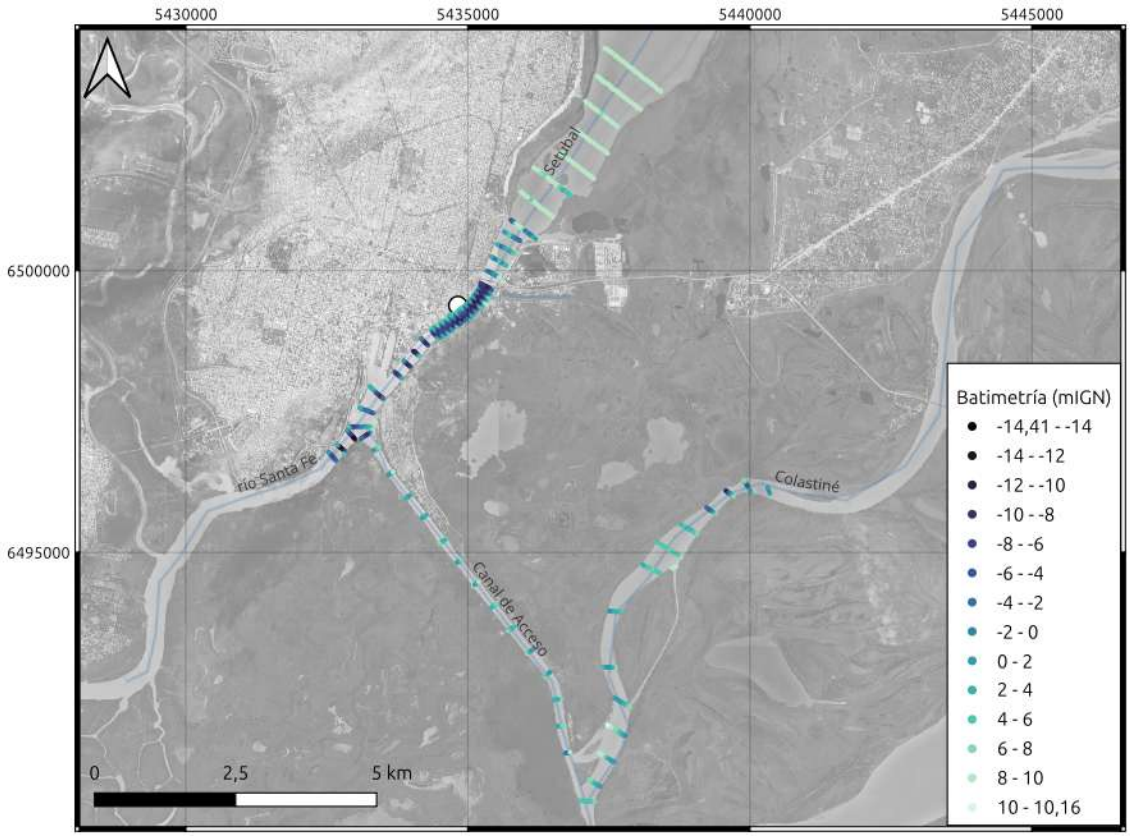


Figura 17. Batimetría relevada

6.4. Topografía

A diferencia del resto de las actividades presentadas previamente, el relevamiento topográfico no consiste en un elemento que se requiera para el desarrollo del modelo de calidad de agua, pero sí resulta de utilidad en lo referido a la operación.

Siendo que uno de los objetivos del proyecto es cotejar los niveles de agua para distintos escenarios con la infraestructura de la toma, es necesario que las cotas de elevación de la toma estén referida a un mismo sistema altimétrico. En este sentido, se realizó un relevamiento topográfico para determinar cotas específicas del muelle sobre el que se ubican las captaciones y que posteriormente se compararon con los datos existentes conforme a obra. En el caso de la Toma Hernández, se relevó el acceso, pasarela y muelle como se observa en la **Figura 18**.



Figura 18. Vista panorámica del acceso a la toma

La **Figura 19** presenta todos los puntos relevados, los cuales son consistentes con planos antecedentes de la obra (**Figura 20**). En primer lugar, la cota de la losa del muelle se midió utilizando GPS Diferencial y el valor obtenido es de 15,78mIGN, mientras que en los antecedentes es de 15,74mIGN, lo cual resulta una diferencia aceptable, en el orden de la precisión vertical de la medición (+/-3cm).



Figura 19. Puntos topográficos relevados

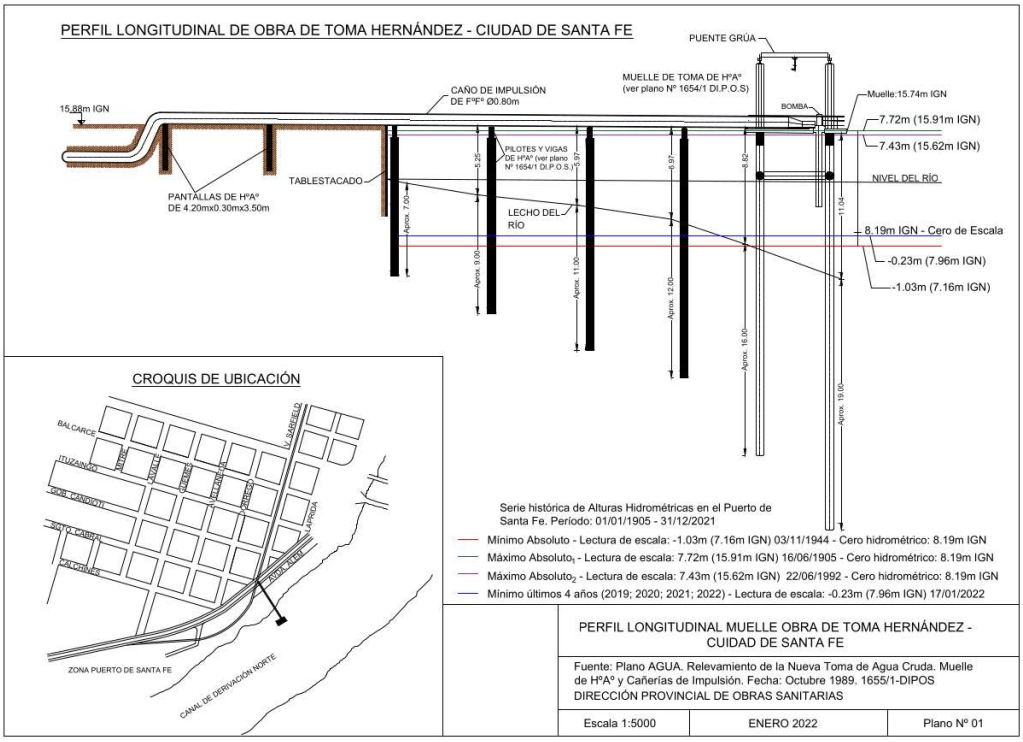


Figura 20. Plano de la obra (Fuente: ASSA)

Adicionalmente, sobre la losa del muelle hay una chapa identificatoria del nivel máximo registrado durante la crecida de 1998 (ver **Figura 21**), que a partir del relevamiento topográfico sería de 15,73mIGN. En los registros históricos de niveles, la altura máxima en el Puerto de Santa Fe fue de 7,26m (3 de mayo de 1998). Teniendo en cuenta el cero de escala del hidrómetro del Puerto (8,38mIGN), la cota máxima es de 7,26m + 8,38mIGN = 15,62mIGN, lo cual presenta una diferencia de 11cm respecto de la medición directa de la chapa. Nuevamente, si se tiene en cuenta la precisión del equipo, las mediciones validan los datos existentes.



Figura 21. Marca de la crecida de 1998

6.5. Sonar de barrido lateral

La ecosonda de barrido lateral permite realizar un escaneo cualitativo sobre el fondo del cauce o estructuras sumergidas con el fin de identificar singularidades que pudieran afectar el normal funcionamiento de la toma. Al igual que el relevamiento topográfico, las mediciones no son insumo directo del modelo de calidad de agua, pero sí resultan de utilidad en lo referido a la operación. La **Figura 22** muestra una imagen

de la controladora de la ecosonda, en una navegación desde aguas abajo hacia aguas arriba, ubicándose la toma sobre el sector izquierdo del visor.

Se observa una zona de mayor profundidad en coincidencia con la obra, de aproximadamente 1m, respecto a las profundidades inmediatamente aguas arriba.

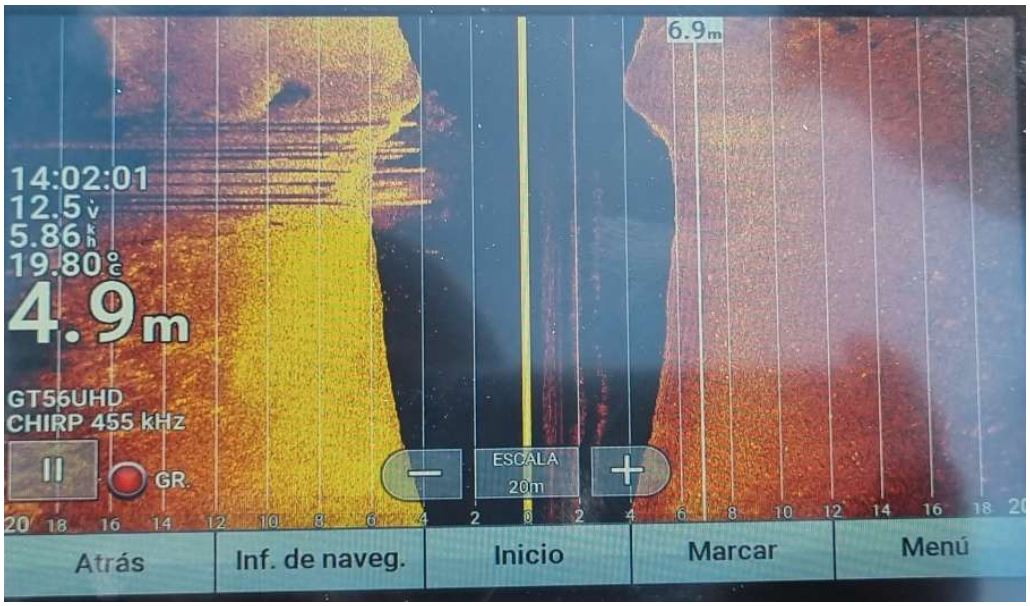


Figura 22. Imagen tomada de la controladora de la ecosonda de barrido lateral

El procesamiento de la señal directa de la ecosonda (**Figura 23**) presenta una imagen más clara de la primera línea de pilotes del muelle y los 6 conductos de succión. En ningún caso se observan cuerpos o elementos que pudieran afectar el funcionamiento de la toma.

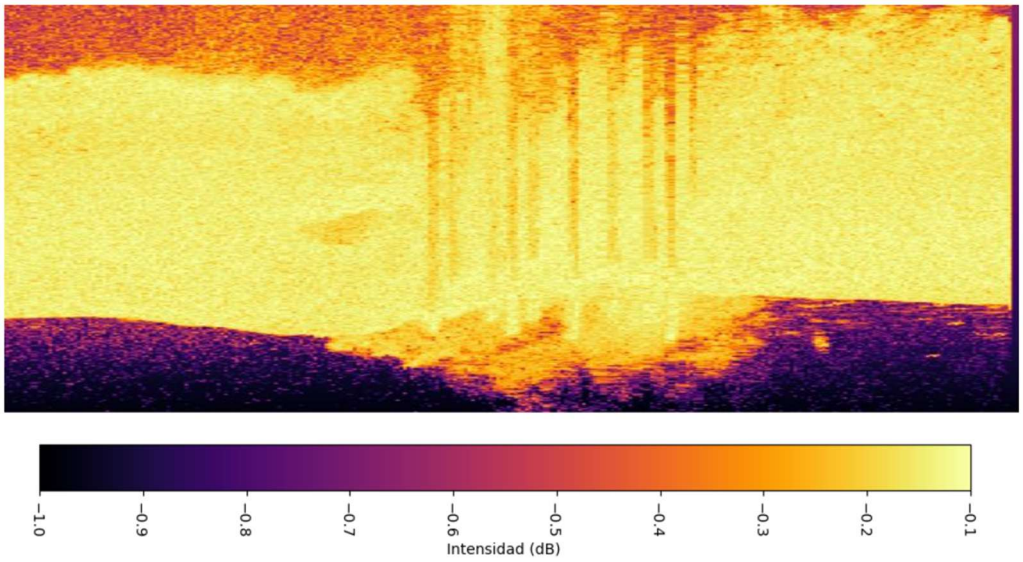


Figura 23. Detalle del escaneo lateral de la obra

7. CONCLUSIONES

- Se ejecutaron todas las actividades de relevamiento que permiten la caracterización hidrométrica del entorno a la Toma Hernández.
- Las condiciones hidrológicas al momento de la campaña se corresponden con una situación de bajante, lo cual resulta de interés y favorable en la posterior validación del modelo hidrodinámico para tales condiciones excepcionales.
- El relevamiento de imágenes aéreas no presentó cambios en la coloración de la superficie de agua que indicaran descargas sobre la margen con características en la calidad de agua distintas de la del cuerpo receptor.
- Las imágenes térmicas de la zona cercana a la toma tampoco revelaron gradientes que pudieran responder a descargas puntuales sobre las márgenes.

- La medición de caudales permitió:
    - Caracterizar los aportes a la Laguna Setúbal, diferenciando los aportes de los ríos Saladillo a la altura de Campo Vera (1/3) y Leyes en el ingreso directo a la laguna (2/3).
    - Se observó un incremento del caudal entre el primer y tercer día de mediciones.
    - Se observó una variación del caudal decreciente hacia aguas abajo, que puede estar asociada a un condicionamiento de los niveles desde aguas abajo.
    - Se constató que el riacho Santa Fe se encuentra obstruido y el flujo es nulo.
    - Se obtuvieron distribuciones de velocidades en todas las secciones que permitirán la posterior calibración y validación del modelo hidrodinámico de detalle.
- La batimetría relevada resulta consistente con observaciones antecedentes (INA, 2023).
- Mediante el relevamiento topográfico de la infraestructura de toma se pudo validar la información antecedente.
- El escaneo lateral de la infraestructura sumergida no presenta ningún tipo de anomalía que pudiera ser un impedimento para el normal funcionamiento.

8. REFERENCIAS

INA (2023). SDP Nº 23/2022 - “Estudio sobre variables de diseño para la provisión de agua potable en las principales localidades sobre el Río Paraná para distintos escenarios de clima futuro (etapa 1) - Proyecto ARG 19003: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático”.

9. ANEXO I: Equipamiento de medición

9.1. Relevamiento fotográfico mediante VANT

El modelo MAVIC 2 ENTERPRISE ADVANCED (**Figura 24**) tiene un peso máximo con accesorios de 1.1 kg y una distancia diagonal en torno a 35.4 cm. En cuanto a la velocidad máxima en vuelo, el *drone* puede alcanzar hasta 72 km/h en modo S sin viento y 50 km/h en modo P sin viento y puede operar a una altitud máxima de 6000 metros sobre el nivel del mar.

El tiempo máximo de vuelo varía según las condiciones y los accesorios: hasta 31 minutos a 25 km/h en condiciones sin viento, pudiendo resistir vientos de hasta 10 km/h.

El *drone* está equipado con GNSS que incluye GPS y GLONASS, ofreciendo una precisión de flotación vertical de ± 0.1 m con RTK o *Vision Positioning*, y ± 0.5 m con *GPS Positioning*. Horizontalmente, la precisión es ± 0.1 m con RTK, ± 0.3 m con Vision *Positioning* y ± 1.5 m con *GPS Positioning*.



Figura 24. Equipo Mavic 2 Enterprise Advanced

Las propiedades específicas de la cámara térmica son las siguientes:

M2EA Thermal Camera

Sensor	Uncooled VOx Microbolometer
Focal Length	Approx. 9mm 35 mm format equivalent: Approx. 38mm
Sensor Resolution	640×512 @30Hz
Accuracy of Thermal Temperature	Measurement: ±2℃ or ±2%, whichever is greater.
Scene Range	-20 °C to 150 °C (High Gain) -20 °C to 450 °C (Low Gain)
Digital Zoom	16 ×
Pixel Pitch	12 μm
Spectral Band	8-14 μm
Photo Format	R-JPEG
Video Format	MP4
Metering Method	Spot Meter, Area Measurement
FFC	Auto/Manual

9.2. Aforos líquidos

Los aforos líquidos se realizan con un ADCP Sontek RiverSurveyor M9 y un Sontek RS5 para pequeños ríos (Figura 25), siguiendo los protocolos establecidos por el USGS (*US Geological Survey*).



Figura 25. ADCP M9 (izquierda) y RS5 (derecha).

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 ultrasónico a una frecuencia conocida que se propaga a través del agua.

Este pulso de sonido se refleja en todas las direcciones por las partículas que se encuentran en suspensión (sedimento, materia orgánica, burbujas, etc.). Una parte 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. Este cambio de frecuencia, medido por cada transductor, se traduce en la velocidad del agua en la dirección radial del mismo. También posee un transductor que mide la profundidad sobre el punto de medición.

Para su utilización en campo se requiere una calibración del compás y la selección de determinados atributos como declinación magnética y sumergencia del equipo. Posteriormente el equipo es descendido desde los puentes hasta hacerlo flotar en el agua, y mediante 2 cuerdas se lo hace pasar de forma controlada por todo el ancho del curso de agua en una cantidad par de pasadas. Estas pasadas se repiten hasta conseguir un tiempo de medición indicado como mínimo por el fabricante.

A medida que el equipo se desplaza entre ambas márgenes, mide la profundidad y la velocidad en distintos volúmenes de control en toda la altura de la columna de agua. Esto permite ir integrando el caudal por fajas de un ancho fijo. Luego de terminada la pasada, se integran los distintos caudales obteniendo el caudal total de la sección que pasó mientras se realiza la medición. Este proceso lo realiza internamente el software del equipo y luego es procesado en gabinete para definir el caudal definitivo y se estima la incertidumbre de las mediciones.

9.3. Batimetría

La tercera actividad es el relevamiento batimétrico con una discretización espacial de aproximadamente 50 m en el tramo inferior de la Laguna Setúbal y de 200 m en el resto del dominio. La batimetría correspondiente a la toma Hernández y zonas aledañas ya fue realizada en la campaña piloto.

Las mediciones se realizarán con una ecosonda monohaz doble frecuencia 33/200 kHz CEELINE con conexión con equipo de posicionamiento satelital GNSS (Figura 26).



Figura 26. Ecosonda CEELINE con GNSS acoplado.

9.4. Embarcaciones

Las actividades se realizan a bordo de una lancha cabinada del astillero Benavidez, de 6.40 metros de eslora equipada con motor Suzuki 4t 70 HP con capacidad para 6 personas, la cual cuenta con conversores de energía para disponer de 220V y 12V para los requerimientos de los equipos y presenta modificaciones en su casco para una correcta adaptación de los instrumentos de medición (Figura 27).



Figura 27. Tracker a utilizar durante los días de campaña.

9.5. Sonar de barrido lateral

Para la detección y caracterización de la estructura del muelle se utilizó una ecosonda de barrido *lateral Garmin ECHOMAP UHD 72sv*, equipada con transductor GT56UHD-TM. Este equipo combina funciones de plotter y ecosonda con pantalla táctil de 7 pulgadas y tecnología de visualización *SideVü* UHD, que permite obtener imágenes de alta resolución de los flancos laterales del lecho, complementadas con la función *ClearVü* UHD para el registro vertical bajo la embarcación.

El sistema opera con tecnología CHIRP de amplio espectro, generando imágenes detalladas que facilitan la identificación de objetos sumergidos, estructuras y cambios morfológicos en el entorno del muelle. Durante la campaña, las imágenes laterales obtenidas mediante el modo *SideVü* fueron empleadas para delimitar y caracterizar la estructura sumergida del muelle y su entorno inmediato.



Figura 28. Ecosonda Garmin ECHOMAP UHD 72sv.

9.6. Topografía

Un receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS), emplea la señal de satélites para localizar su posición. El sistema de referencia respecto al cual se expresa dicha

posición es el elipsoide (forma geométrica perfectamente regular) *World Geodesic System* 1984 (WGS84) y el geoide -modelo de superficie del campo de gravedad- desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), GEOIDE-AR16, que contempla la aproximación más precisa de geoide para Argentina.

El sistema GNSS diferencial se basa en emplear simultáneamente dos receptores GNSS, próximos entre sí y por tanto, afectados por los mismos errores. El primero de ellos, o receptor base, estará fijo en un punto de coordenadas perfectamente conocidas para trabajar de forma autónoma tomando datos de posicionamiento segundo a segundo, y el segundo, o receptor móvil, es el que se desplaza a lo largo de la trayectoria del levantamiento o serie de puntos de los cuales se busca conocer su posición. Combinando la información obtenida por ambos receptores, mediante el método diferencial, se obtiene la posición relativa entre ellos y finalmente, las coordenadas reales de las trayectorias realizadas con el GNSS móvil.

Por otra parte, la posición de cada punto puede obtenerse, empleando el sistema *Real Time Kinematic (*RTK), o bien en modo postproceso mediante el tratamiento posterior con un software de los archivos registrados.

El equipo utilizado es un GNSS Diferencial *Topcon Hiper V.* Este equipo cuenta con dos receptores satelitales HIPER V con antena incorporada y una controladora con el software *Magnet* Field que permite el manejo de los receptores (Figura 0-4). La conexión entre ambos equipos por radio permite la corrección en tiempo real de los puntos obtenidos, utilizando el sistema RTK con un error menor a 3 cm (vertical y horizontal).



Figura 29. GNSS diferencial Topcon Hiper V.

Su funcionamiento consiste en generar posicionamientos de puntos obteniendo datos satelitales de las redes del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) utilizando los satélites del "*Global Positioning System*" (GPS) de Estados Unidos y su equivalente de Rusia el "Sistema Mundial de Navegación por Satélites" (GLONASS).

El receptor base deberá permanecer en su posición un tiempo determinado en relación con la distancia aproximada en línea recta desde la posición del punto elegido y la estación de la "Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo" (RAMSAC) más cercana. Además, el equipo deberá permanecer midiendo durante todo el tiempo en que se realiza el levantamiento con el receptor móvil.

De acuerdo a la localización del área se trabajó con el modelo GEOIDE-AR16 y en Faja 5 del sistema POSGAR 07 (Posiciones Geocéntricas Argentinas), como el Marco de

Referencia Geodésico Nacional.

El postproceso de los datos de la estación base del GNSS Diferencial se lleva a cabo en gabinete con el software *Magnet Tools* asociando los datos de posicionamiento obtenidos, en la modalidad autónoma del dispositivo, con datos de las estaciones RAMSAC disponibles en el sitio web del IGN (www.ign.gob.ar). En todos los casos la estación elegida será la que se encuentre ubicada de forma más cercana a la zona de trabajo.

Mediante este proceso se obtienen las coordenadas del punto seleccionado con el receptor base, posteriormente con el mismo software se lleva adelante la corrección de los puntos levantados con el receptor móvil.