

Relevamiento batimétrico, aforos y caracterización de los procesos hidráulicos en el río Paraná de las Palmas en correspondencia con la ciudad de Zárate

Informe de relevamiento



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

Proyecto INA 406
Informe SLH 01-406-22
Ezeiza, octubre de 2022

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE

Dr. Ing. Juan Carlos BERTONI

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

Lic. Máximo LANZETTA

SUBGERENTE LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Ing. Pablo D. SPALLETTI

Equipo de trabajo (por orden alfabético)

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

Ing. Julián Cortese | Ing. Santiago Guizzardi | Mayra Morale | Lic. Nicolás Ortiz | Ing. Martín Sabarots Gerbec | Marina Sarti

Informe realizado por:

Martín Sabarots Gerbec

Mayra Morale

Nicolás Ortiz

Santiago Guizzardi

Marina Sarti

Relevamiento batimétrico, aforos y caracterización de los procesos hidráulicos en el río Paraná de las Palmas en correspondencia con la ciudad de Zárate

Informe de relevamiento

RESUMEN

Los aspectos hidráulicos y morfológicos que se desarrollan en la margen derecha del río Paraná de las Palmas en correspondencia con la ciudad de Zárate, y la necesidad de conocer el estado de estructuras localizadas en la margen y en el lecho del río, como ser el tablestacado del paseo costanero de Zárate, las pilas del puente de la Ruta Nacional N°12 (componente de la conexión vial Zárate – Brazo Largo), o la zona de desmoronamientos recientes aguas abajo del citado puente sobre margen derecha, motivan el requerimiento de una caracterización del lecho fluvial y de las principales variables hidrodinámicas en este tramo del río. Estos estudios son necesarios, a su vez, para la posterior definición y proyecto de eventuales intervenciones en el costa del río Paraná de las Palmas.

Descriptorios temáticos: modelo numérico, erosión, sedimentación.

Descriptorios geográficos: río Paraná, Bajo Delta, Zárate.

Índice

1	Contexto	5
1.1	Evolución de costa	5
1.1.1	Zona de erosión	5
1.1.2	Zona de sedimentación	7
2	Condiciones hidrológicas - relevamiento	9
3	Relevamiento batimétrico	11
3.1	Detalle en Zárate	12
3.2	Cero de escala y referencia altimétrica	13
3.3	Modelo Digital de Elevación	15
4	Aforos y velocidades	18
5	Imágenes de barrido lateral	23
6	Resumen y consideraciones	24
Anexo1.	Caudales esperados a partir de 1D	25
Anexo2.	Aforos	26

1 Contexto

El presente estudio se enmarca en un contexto de bajante hidrológica del río Paraná, lo cual ha derivado en distintos procesos morfológicos a lo largo del sistema fluvial, tanto de erosión/deslizamientos, como de sedimentación.

En el caso de la zona próxima a la localidad de Zárate, ambos procesos han sido registrados. Por un lado, aguas arriba del Puente Zárate se observa un proceso de sedimentación gradual frente al Paseo de la Ribera. Las condiciones de bajante del Paraná agravan este proceso ya que es esperable menores velocidades y por ende mayor deposición.

Por otra parte, aguas abajo del puente, se registró en el año 2020 un deslizamiento de la margen que puede estar asociado a un doble efecto: niveles bajos que favorecen la inestabilidad del talud y la acción de velocidades erosivas por estar el flujo recostado sobre esa margen.

1.1 Evolución de costa

Para tener una dimensión del problema se recurrió a imágenes de sensores remotos, en particular Sentinel 2, dada la resolución y frecuencia con la que se obtienen. A partir de las mismas se procedió a digitalizar la costa en los sectores con cambios registrados recientemente.

1.1.1 Zona de erosión

En primer lugar, se puede ver como aguas abajo del puente (Figuras 1.1), sobre margen derecha, se desarrolla una retracción en la costa de aproximadamente 25 m en una longitud de 105 m. Debido a la cercanía con viviendas ubicadas cerca de la margen resulta fundamental el seguimiento de estos cambios en el tiempo.

En este sentido se recurrió a una serie de imágenes Sentinel 2 procesadas mediante un indicador (NDWI) que permite identificar el cuerpo de agua. En la Figura 1.2 se observa cómo entre 2018 y principios de 2020, la margen derecha aguas abajo del puente se muestra relativamente estable. Entre marzo y mayo del 2020 ocurre el deslizamiento que se observa en la imagen correspondiente a 2021 (recuadro rojo, Figura 1.3).

Se destaca que luego del deslizamiento de 2020, la zona permaneció relativamente estable (al menos en la escala de análisis en relación a la resolución de estas imágenes).

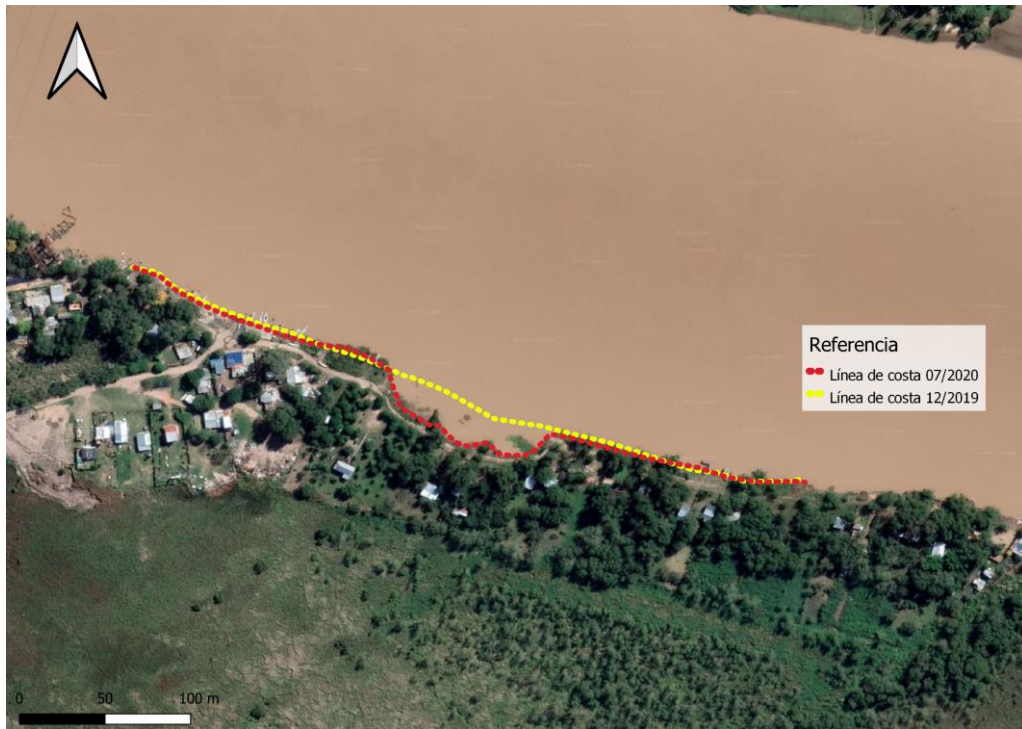


Figura 1.1. Línea de costa en la zona de erosión, años 2019 y 2020.



Figura 1.2. Máscara de agua en la zona de erosión, años 2018 (izquierda) y 2020 (derecha).



Figura 1.3. Máscara de agua en la zona de erosión, años 2021 (izquierda) y 2022 (derecha).

1.1.2 Zona de sedimentación

En segundo lugar, se puede ver como aguas arriba del puente (Figuras 1.4 y 1.5), sobre margen derecha, se desarrolla una deposición en la costa de aproximadamente 11 m, de forma casi paralela a la línea de costa intervenida (2011).

Este sector fue intervenido cuando se desarrolló el Paseo de la Ribera, pero la margen estaría volviendo a una posición similar a la de 2007 (situación sin obra, previa a la intervención).

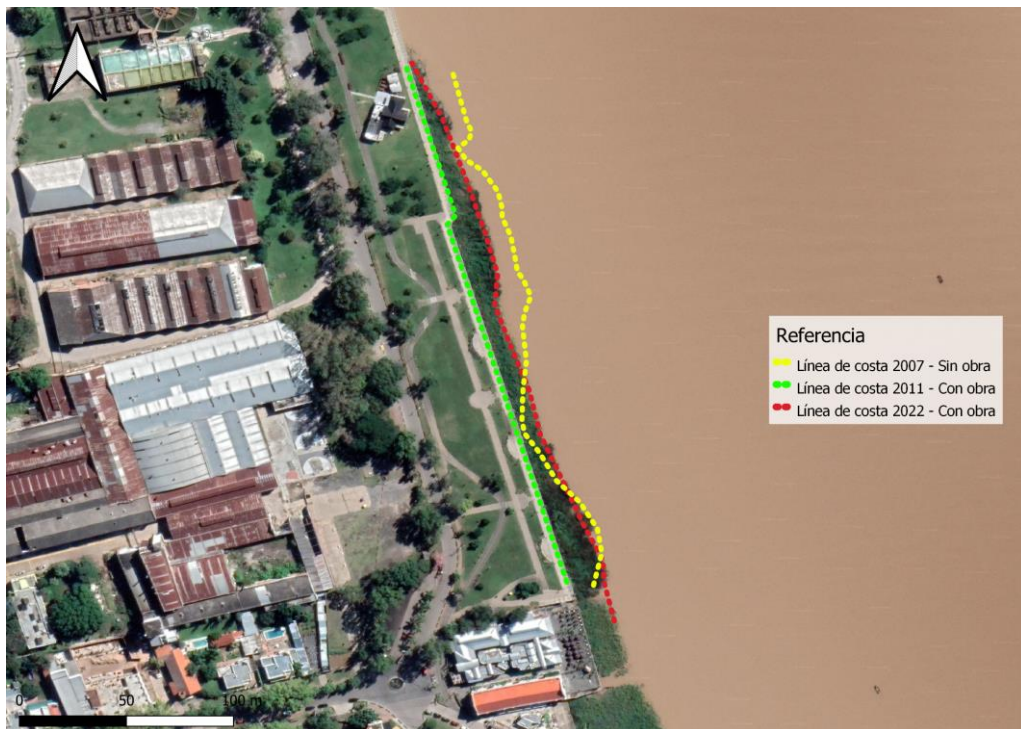


Figura 1.4. Línea de costa en la zona de sedimentación, años 2007, 2011 y 2022.



Figura 1.5. Máscara de agua en la zona de sedimentación, años 2017 (izquierda) y 2022 (derecha).

El presente estudio se enmarca en un contexto de bajante hidrológica del río Paraná, lo cual ha derivado en distintos procesos morfológicos a lo largo del sistema fluvial, tanto de erosión/deslizamientos, como de sedimentación.

En el caso de la zona próxima a la localidad de Zárate, ambos procesos han sido registrados. Por un lado, aguas arriba del Puente Zárate se observa un proceso de sedimentación gradual frente al Paseo de la Ribera. Las condiciones de bajante del Paraná agravan este proceso ya que es esperable menores velocidades y por ende mayor deposición.

Por otra parte, aguas abajo del puente, se registró en el año 2020 un deslizamiento de la margen que puede estar asociado a un doble efecto: niveles bajos que favorecen la inestabilidad del talud y la acción de velocidades erosivas por estar el flujo recostado sobre esa margen.

2 Condiciones hidrológicas - relevamiento

Con relación a las condiciones hidrológicas de los días en los que se realizó la campaña de relevamiento, se pueden distinguir dos situaciones. Condiciones normales-bajas y de bajante del Río de la Plata, esto se ve reflejado en los caudales aforados, como se verá más adelante.

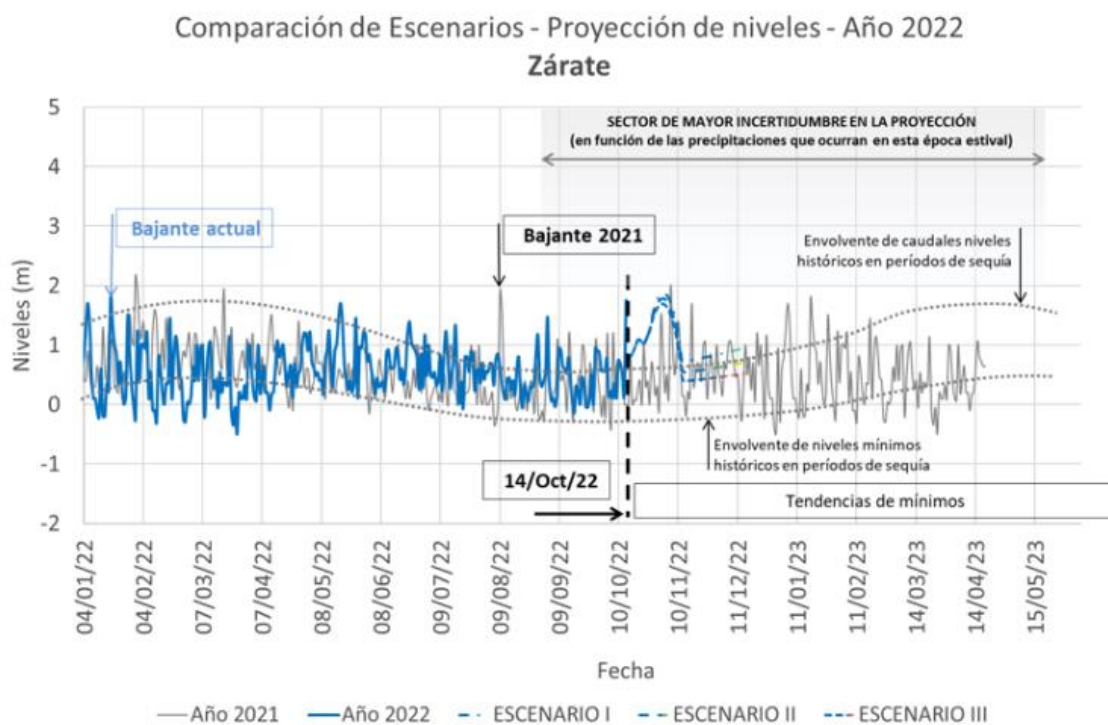


Figura 2.1. Escenario Hidrológico Octubre 2022. Fuente: sSlyAH (INA).

Para analizar las condiciones hidrométricas del río en el momento que se llevaron a cabo los relevamientos se tuvo como referencia el sensor perteneciente a la Red Hidrológica Nacional.

En la Figura 2.2 se observa que el día 5 de septiembre los niveles oscilan en valores normales-bajos, habiéndose aforado en situación de aumento de niveles del río (debido a la onda de marea del Río de la Plata). En ese caso los caudales medidos se encuentran entre los 1700 y 2000 m³/s.

El día 6 de septiembre los aforos tuvieron lugar mientras los niveles del Río de la Plata presentaban un importante descenso debido a vientos del sector noroeste sobre el estuario. Eso dio lugar a una bajante que implica una mayor descarga de caudal, lo cual se refleja en caudales

medidos en el rango de los 3500 a 4000m³/s. Cabe destacar que el punto correspondiente a un caudal menor (300m³/s) se realizó sobre el Canal Irigoyen.

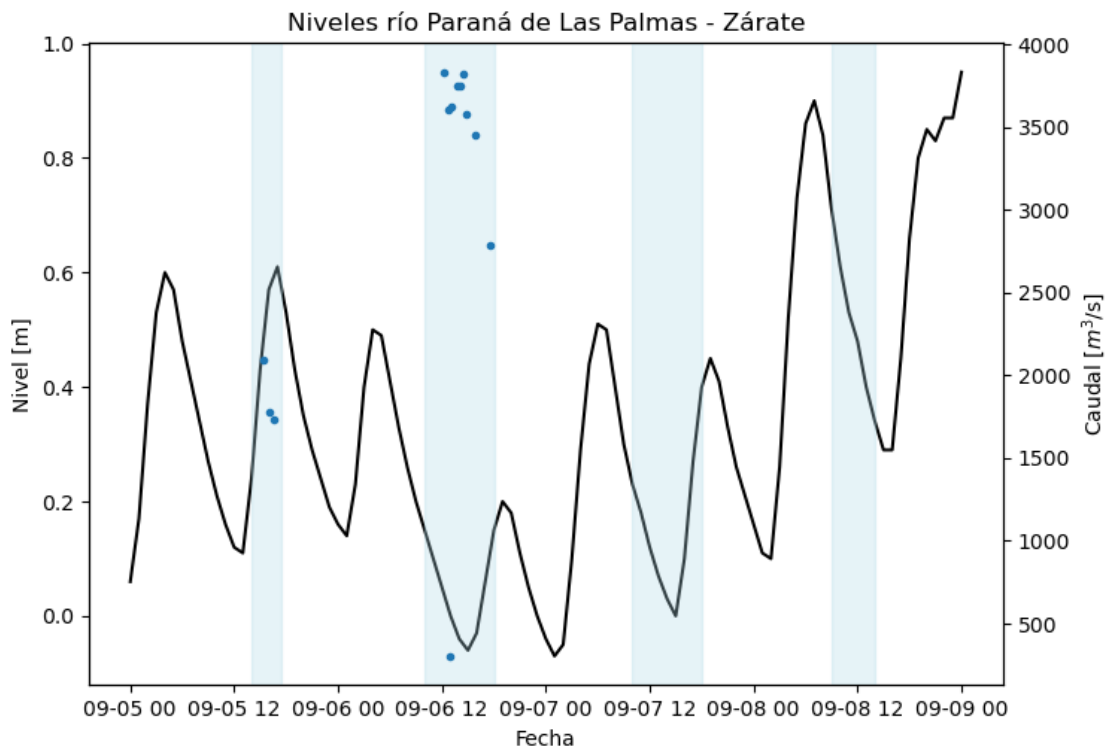


Figura 2.2. Condición hidrológica en franjas horarias de mediciones.

3 Relevamiento batimétrico

Se realizó un relevamiento batimétrico de detalle en los sectores donde se observa erosión de margen (aguas abajo del puente) y sedimentación (aguas arriba del puente). Además, se realizó una batimetría en una extensión mayor con perfiles transversales cada 500 m en una extensión 7500 m aguas arriba del puente y 5000 m aguas abajo.

La Figura 3.1 muestra el alcance completo del relevamiento batimétrico realizado. Se destaca que, dada la traza sinuosa del río en este tramo, el talweg se acerca hacia una de las márgenes luego de las curvas alternadamente. En el tramo donde se registran sedimentaciones sobre margen derecha, el curso es más profundo sobre la margen izquierda, mientras que aguas abajo del puente donde se registran procesos erosivos, el cauce tiende a profundizarse hacia la margen derecha.

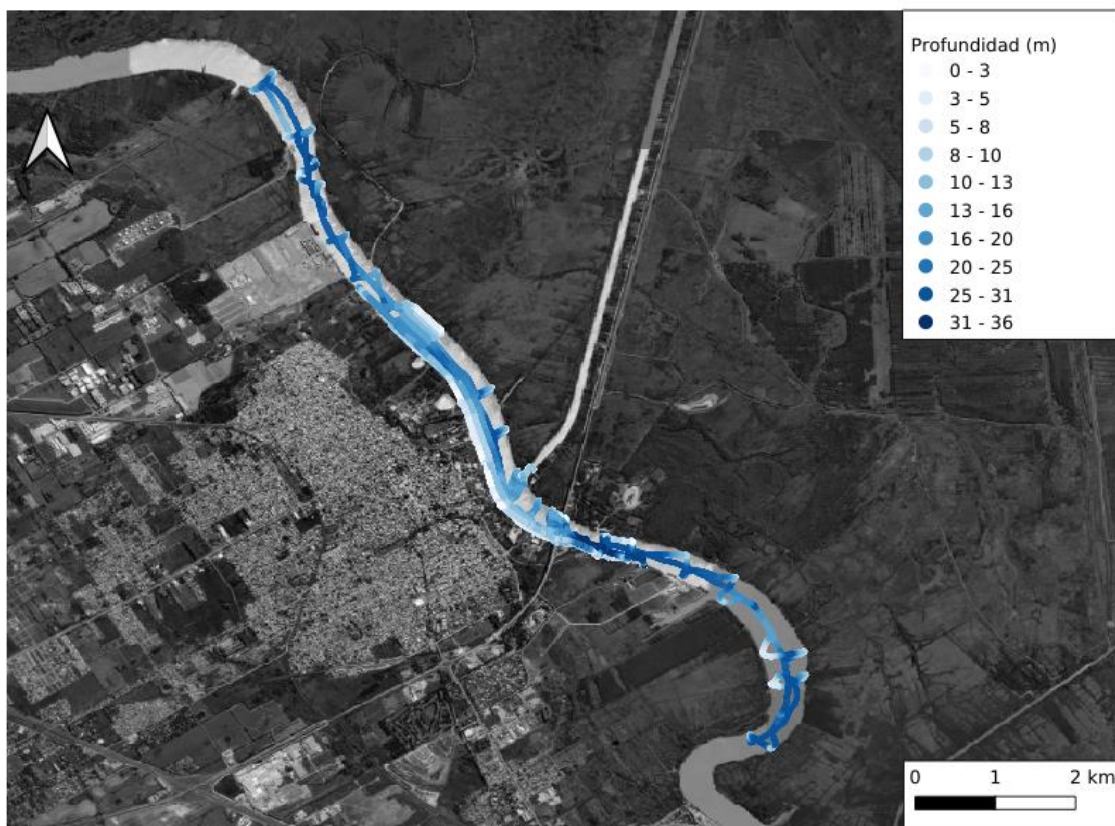


Figura 3.1. Batimetría relevada - Septiembre 2022.

3.1 Detalle en Zárate

Sobre la margen derecha del Paraná de las Palmas se realizaron levantamientos batimétricos realizando numerosos perfiles transversales y también longitudinales paralelos a la margen.

La Figura 3.2 muestra en tonos claros la baja profundidad aguas arriba del puente, y con tonos azules profundidades de hasta 40m aguas abajo del puente. En el sector del puente, el curso se observó centrado.

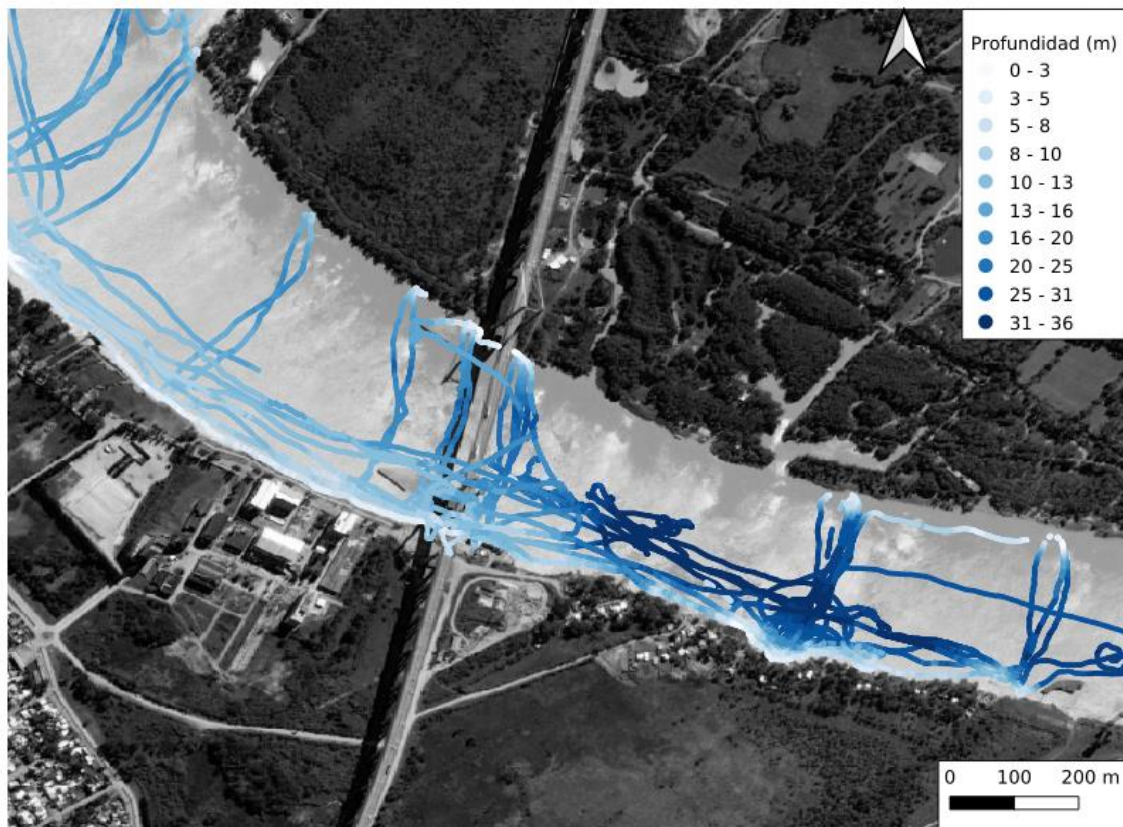


Figura 3.2. Relevamiento batimétrico sobre margen derecha.

Los relevamientos obtenidos fueron medidos en profundidad respecto del nivel de agua, para lo cual se debió referir a un único sistema de referencia altimétrico, en este caso el cero del IGN, como se explica a continuación.

3.2 Cero de escala y referencia altimétrica

Para la referenciación altimétrica de las profundidades y posterior conversión a cotas del lecho (m IGN), se debió analizar primero la información de la regla de PNA y el sensor de nivel de la Red Hidrológica Nacional.

Se realizaron dos métodos para la obtención del cero del sensor y verificación de consistencia. Por un lado se obtuvo la lectura de forma visual de la escala el día 05/09/22 a las 13.13hs que arrojó una lectura de 0.0 m local sobre la regla de PNA (Figura 3.3). La cota informada de esta escala es 0.243 m IGN, la medición del sensor de Zárate a las 13:13 del día 05/09/22 es de 0.14 m local del sensor, esta relación devuelve entonces que la cota del cero del sensor es 0.103 m IGN (ver Figura 3.4).



Figura 3.3. Escala 05/09/22 a las 13.13hs.

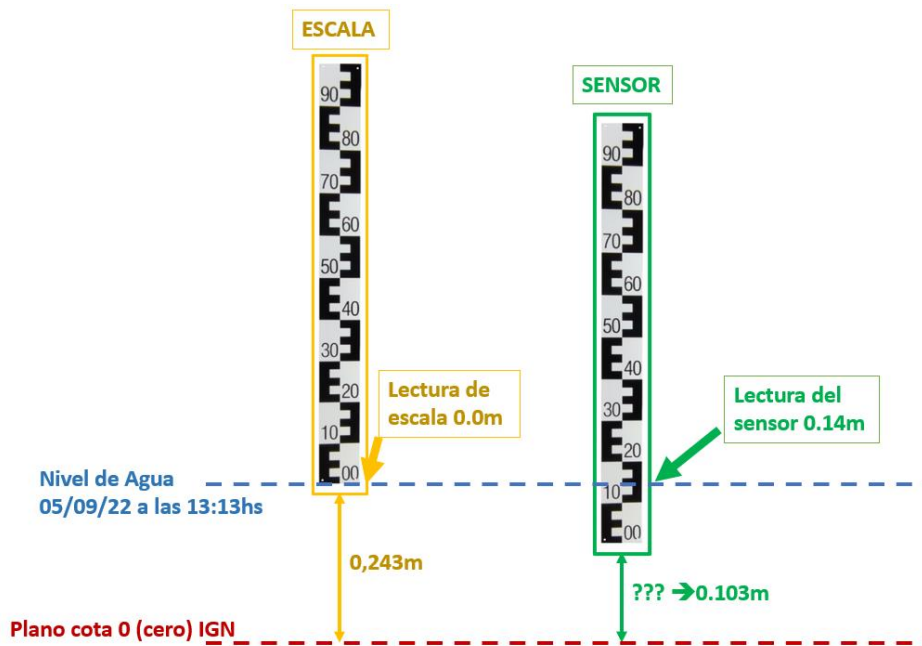


Figura 3.4. Detalle escala y sensor.

Por otro lado, se midió la cota del nivel de agua con la antena del sistema GNSS el 07/09/22 13:17 con el cual se obtuvo una cota de 0,197 m IGN en ese mismo momento el sensor indicaba una lectura de 0.06m local, esta relación implica que el cero del sensor es de 0.137 m IGN (Figura 3.5).

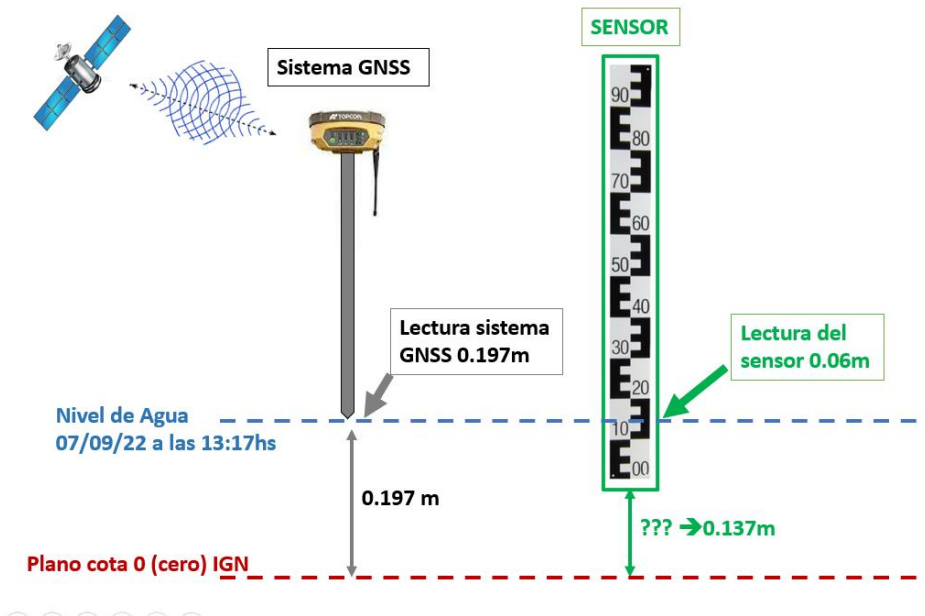


Figura 3.5. Detalle sensor y sistema GNSS.

Teniendo en cuenta que el sistema GNSS obtiene datos de cota con un error menor o igual a 3 cm, y que la lectura de escala puede generar también un error a la observación de al menos 1

cm, se puede decir que el valor es consistente y por lo que se consideró **0.137 m IGN el cero del sensor y en consecuencia el cero de la escala se asume en 0.258 m IGN**

Sobre estas referencias se procede a convertir los datos de profundidades a cotas.

3.3 Modelo Digital de Elevación

A partir de la información procesada, se objetivo un Modelo Digital de Elevación (MDE) batimétrico, el cual resulta un insumo fundamental en la siguiente etapa del estudio (modelación numérica hidrosedimentológica), como así también para poder analizar distintos perfiles transversales del río en las secciones de interés (Figura 3.6).

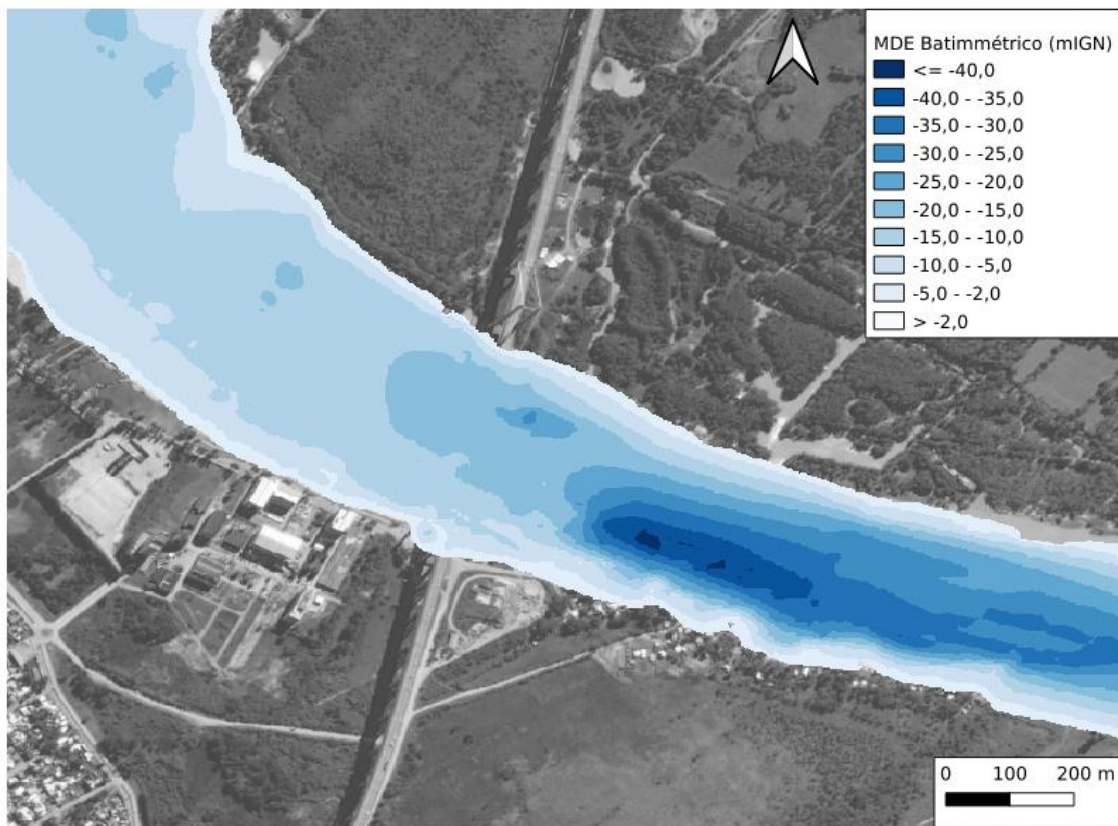


Figura 3.6. MDE en la zona de interés.

A partir del MDE se extrajeron perfiles en las transectas mostradas en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Transectas en zona erosionada.

Si se compara las secciones 1, 2 y 3 con la 4 (coincidente con la zona de deslizamiento), la Figura 3.8 muestra que la pendiente de la sección deslizada en dirección al eje del curso es similar, con excepción del último tramo. Esto indicaría una cierta estabilidad del perfil actual. En cambio, en la comparación con la sección inmediatamente aguas abajo (Figura 3.9), se observa una pendiente mayor del talud lo que podría sugerir una posible inestabilidad del mismo en el futuro.

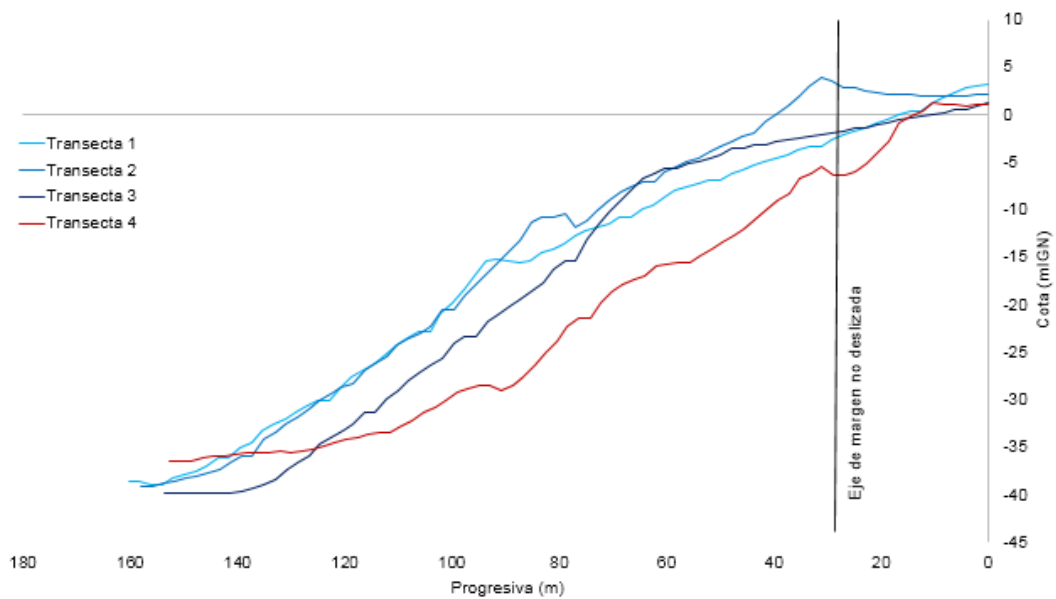


Figura 3.8. Transectas aguas arriba del deslizamiento.

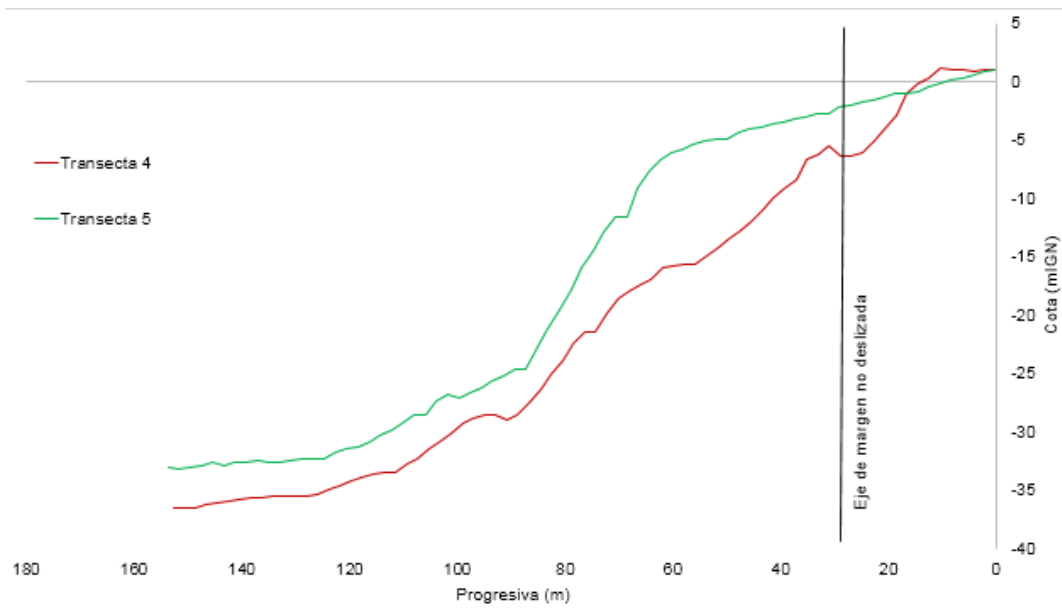


Figura 3.9. Transectas aguas abajo del deslizamiento.

4 Aforos y velocidades

Para los aforos se contó con una embarcación cuyo casco (fibra de vidrio) no genera interferencia sobre las mediciones y en el que se montaron equipos para aforar (ADCP Sontek M9) y medir profundidades (ecosonda CEE Line + GPS RTK). En la Figura 4.1 se presenta el montaje de los equipos en la embarcación utilizada.



Figura 4.1. Montaje de ADCP y Ecosonda a ambos lados de la embarcación.

Se realizaron cruces transversales, los cuales fueron procesados mediante el software *Qrev* provisto por el USGS (U.S. Geological Survey), que permite comprobaciones automatizadas de la calidad de los datos con comentarios al usuario, filtrado de datos automatizado, automatización de algoritmos de extrapolación, LC y SMBA, algoritmos de procesamiento coherentes independientes del ADCP utilizado para recopilar los datos, manejo mejorado de datos no válidos y estimar una incertidumbre para ayudar a guiar al usuario a calificar la medición.

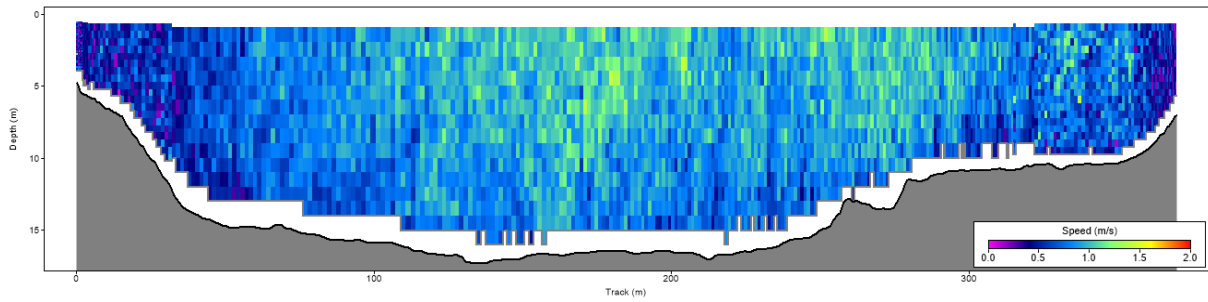


Figura 4.2. Perfil de velocidades de una pasada con ADCP.

Durante los días lunes 5 de septiembre y martes 6 de septiembre se realizaron un total de 13 aforos de caudales sobre el río Paraná (12) y el Canal Irigoyen (1) (Figura 4.3). Los valores de caudales medios medidos se presentan en la Tabla 4.1 con su incertidumbre asociada. Con excepción de dos aforos, en todos los casos la incertidumbre se encuentra acotada en menos de 5%, lo cual es un valor recomendable.



Figura 4.3. Localización de aforos.

Se pudo verificar una aceptable consistencia de los datos medidos en el balance de caudales (con una diferencia de 25%) en la descarga del Canal Irigoyen, que al momento de la medición aportaba el 8.5% del caudal del Palmas aguas abajo de la descarga.

Tabla 4.1. Caudales medios en secciones de interés.

Punto de aforo	Curso de agua	Fecha y hora	Caudal medio (m ³ /s)	Incertidumbre (%)
1	río Paraná	06/09/2022 15:52	3454	4.30
2	río Paraná	06/09/2022 14:46	3580	4.60
3	río Paraná	06/09/2022 17:32	2786	4.30
4	río Paraná	06/09/2022 12:44	3602	4.30
5	río Paraná	06/09/2022 12:09	3833	4.30
6	Canal Irigoyen	06/09/2022 12:58	304	4.60
7	río Paraná	06/09/2022 14:27	3826	4.90
8	río Paraná	06/09/2022 13:48	3750	5.70
9	río Paraná	06/09/2022 14:04	3751	4.90
10	río Paraná	05/09/2022 16:38	1736	4.40
11	río Paraná	05/09/2022 16:04	1781	11.20
11	río Paraná	06/09/2022 13:03	3621	7.00
12	río Paraná	05/09/2022 15:22	2093	12.80

La Figura 4.4 presenta los perfiles de velocidades bajo condiciones normales. Se observa que las mayores velocidades se registran en la sección próxima al puente, con valores del orden de los 0.5 m/s. En esa misma sección se aprecia el efecto de sombra que generan los pilotes sobre el que se apoya la pila de margen derecha del puente.

Hacia aguas abajo las mayores velocidades se concentran principalmente en el eje del cauce, no apreciándose un efecto de altas velocidades próximo a la costa erosionada.

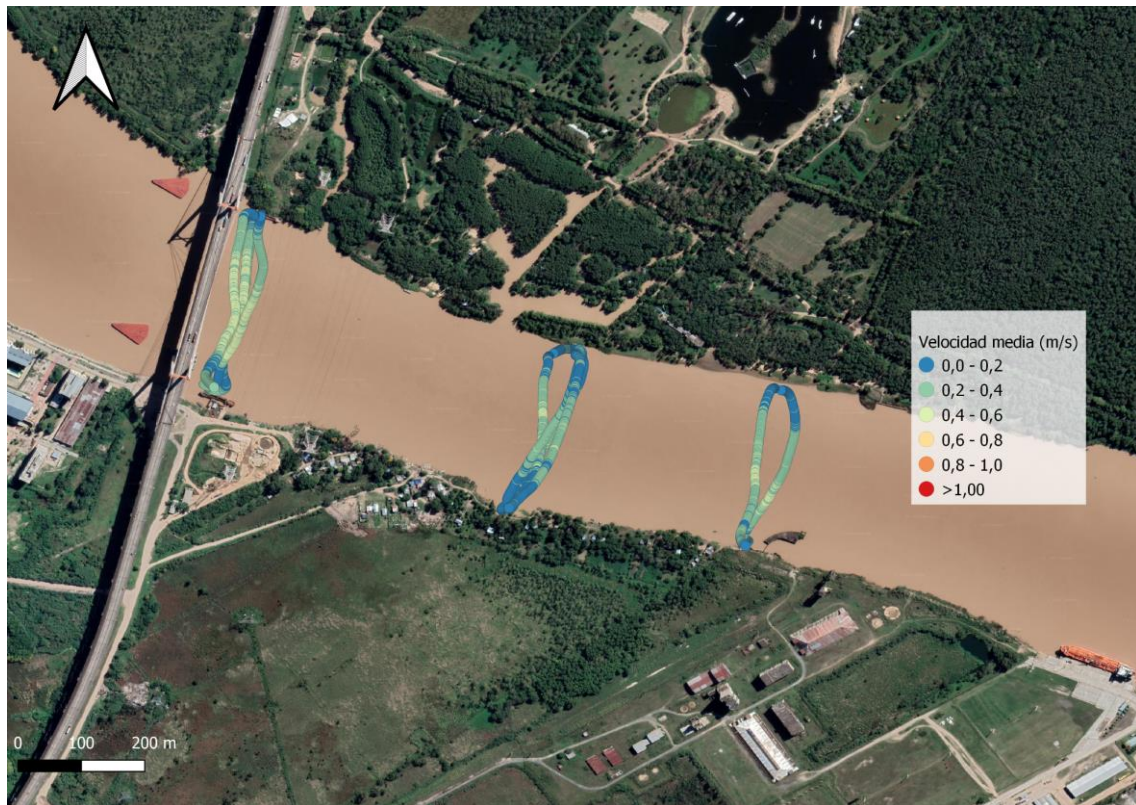


Figura 4.4. Velocidades medias. Día 05/09/2022.

En la Figura 4.5 se observan las velocidades medias en el perfil de agua en cada punto de aforo. Como se observa, se presentan velocidades medias más elevadas durante el segundo día de medición, lo cual está asociado a los efectos hidráulicos producidos por los niveles en el Río de La Plata.

Allí se vuelve a destacar que aún con velocidades medias más altas que en el primer día, no se observa una concentración de velocidades altas sobre la margen erosionada.

Aguas arriba del puente por otra parte se puede apreciar que el flujo se concentra sobre la margen izquierda, con menores velocidades sobre la derecha, lo cual es consistente con el proceso de sedimentación registrado.



Figura 4.5. Velocidades medias. Día 06/09/2022.

5 Imágenes de barrido lateral

Mediante el empleo de una ecosonda de barrido lateral se buscó observar de forma cualitativa el lecho en el entorno de los pilotes de margen derecha del puente y las márgenes. No obstante, para estos últimos sectores no se obtuvieron resultados con calidad suficiente. Luego se presentan a continuación las imágenes obtenidas de los pilotes del puente (Figura 5.1).

De la interpretación de las imágenes recopiladas no se observan indicios de formas de fondo correspondientes con erosiones locales significativas. Esto se corresponde con las condiciones hidrológicas (de bajante), donde es esperable que la erosión no solo sea baja, sino que pudieran darse fenómenos de sedimentación/relleno de las erosiones locales asociadas a crecidas recientes (como 2016).

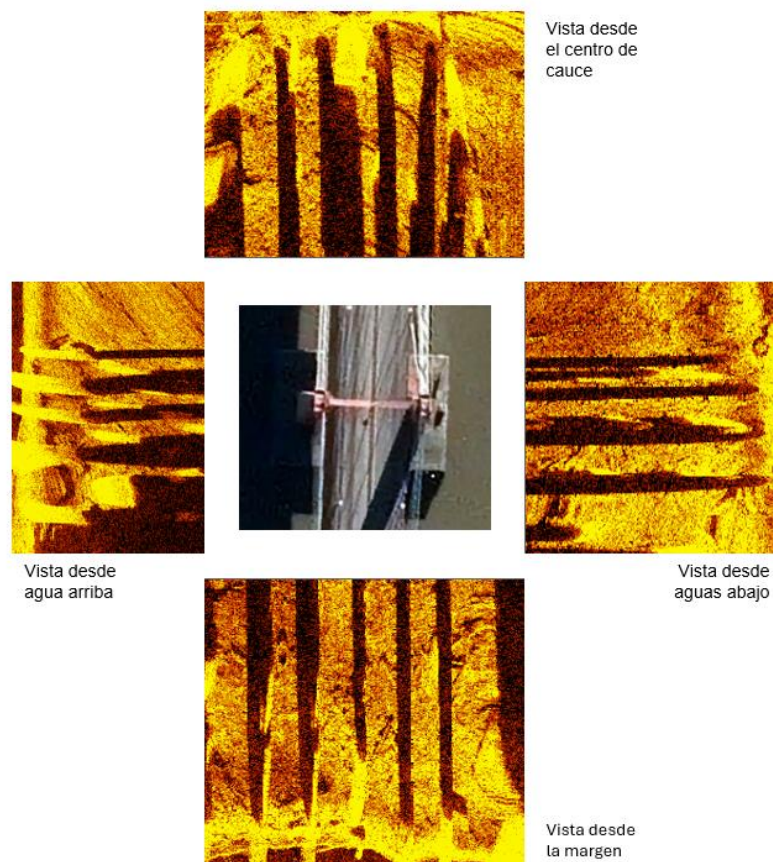


Figura 5.1. Imágenes de barrido lateral sobre las pilas del puente.

6 Resumen y consideraciones

Relevamientos batimétricos

- De los relevamientos e imágenes satelitales se observa en primer lugar que la zona que tuvo un deslizamiento de la margen presenta el talweg cerca de esa margen sin embargo no parece el único motivo para registrar un fenómeno de este tipo, sino que se combina con una inestabilidad propia del talud debido a bajos niveles del río
- Por otra parte, los perfiles obtenidos muestran que hacia aguas abajo (del deslizamiento) la pendiente del perfil es más alta que las de aguas arriba lo que podría ser susceptible de futuras inestabilidades del talud (deslizamiento).
- En la zona en la que se observa sedimentación, el talweg se encuentra alejado de dicha margen, y la tendencia podría ser de progresiva acreción frente al Paseo de la Rivera.
- Las imágenes de barrido lateral de los pilotes del puente no muestran formas de fondo compatibles con erosiones locales significativas.

Aforos y velocidades

- Se realizaron aforos en condiciones hidrodinámicas diferentes y en ambos casos las mediciones muestran conclusiones que acompañan los relevamientos batimétricos, con concentración de velocidades en el centro de cauce aguas abajo del puente. Esto descarta la incidencia directa de velocidades erosivas sobre la zona donde se produjo el deslizamiento de la costa.
- Aguas arriba del puente, las bajas velocidades en la zona de sedimentación (margen derecha), indica que acreción podría continuar.
- Resulta interesante destacar el aumento significativo de caudales bajo condiciones de bajantes del Río de la Plata, que en este caso alcanzaron casi el 1.5 veces el caudal medido en condiciones normales.

Anexo1. Caudales esperados a partir de 1D

A partir del modelo hidrodinámico unidimensional en red de canales con el que se cuenta actualmente, se obtuvieron las series de caudales y niveles en la sección asociada a la localidad de Zárate.

Se observa que, si bien existe un acuerdo razonable en los niveles, los caudales se apartan de las condiciones medidas, lo que implica la importancia de estas mediciones para la futura calibración del módulo hidrodinámico.

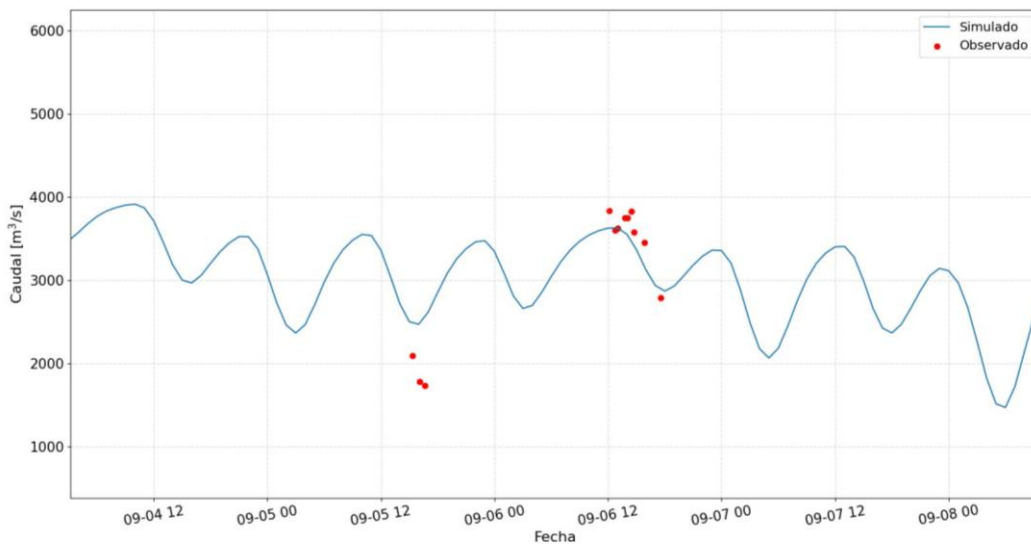


Figura A1.1. Caudales medidos vs Modelo 1D

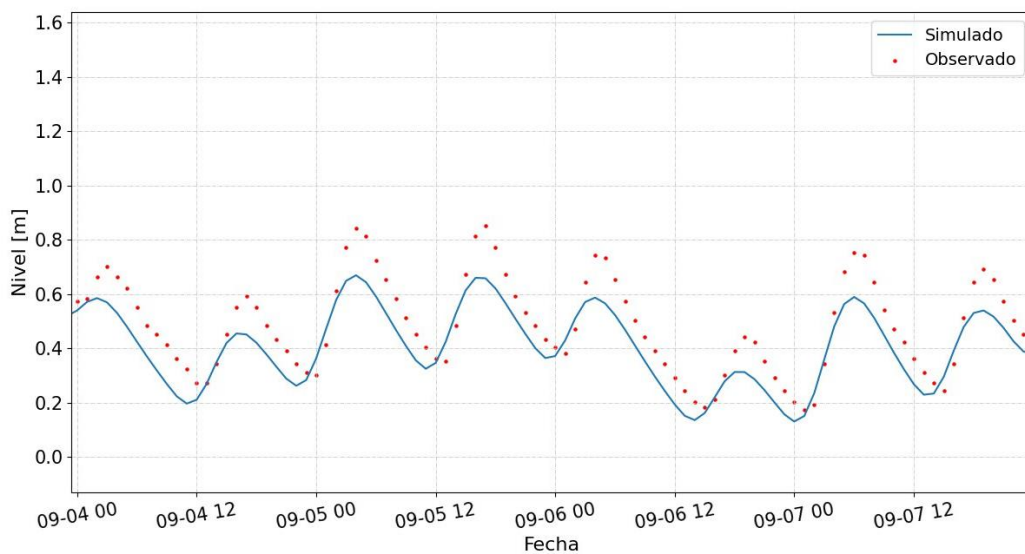


Figura A1.2. Niveles medidos vs Modelo 1D

Anexo2. Aforos

Sección n°1

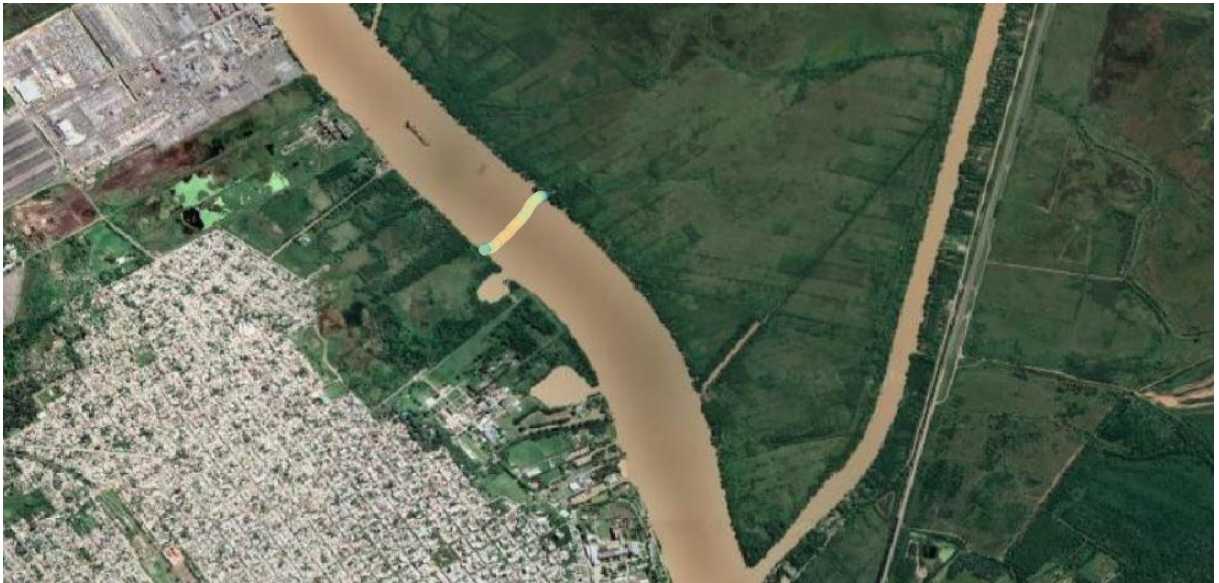


Figura A2.1. Ubicación aforo n°1.

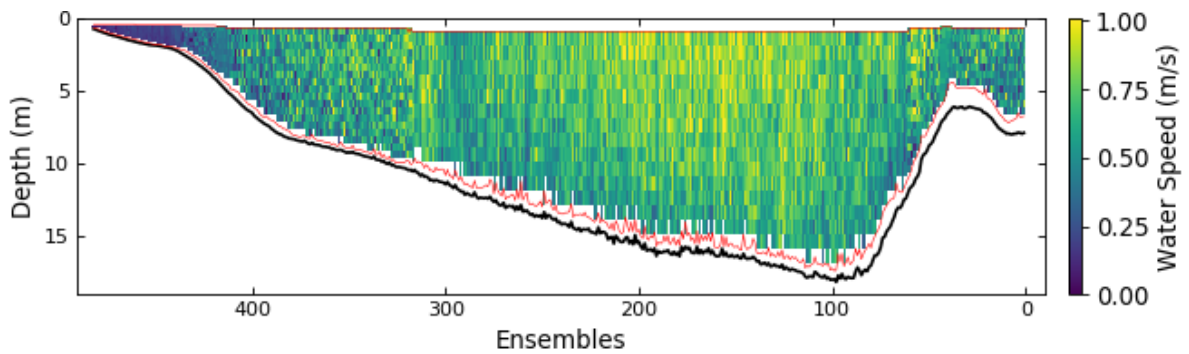


Figura A2.2. Perfil de velocidades Aforo n°1. Caudal medio aforada: 3454 m³/s.

Sección n°2

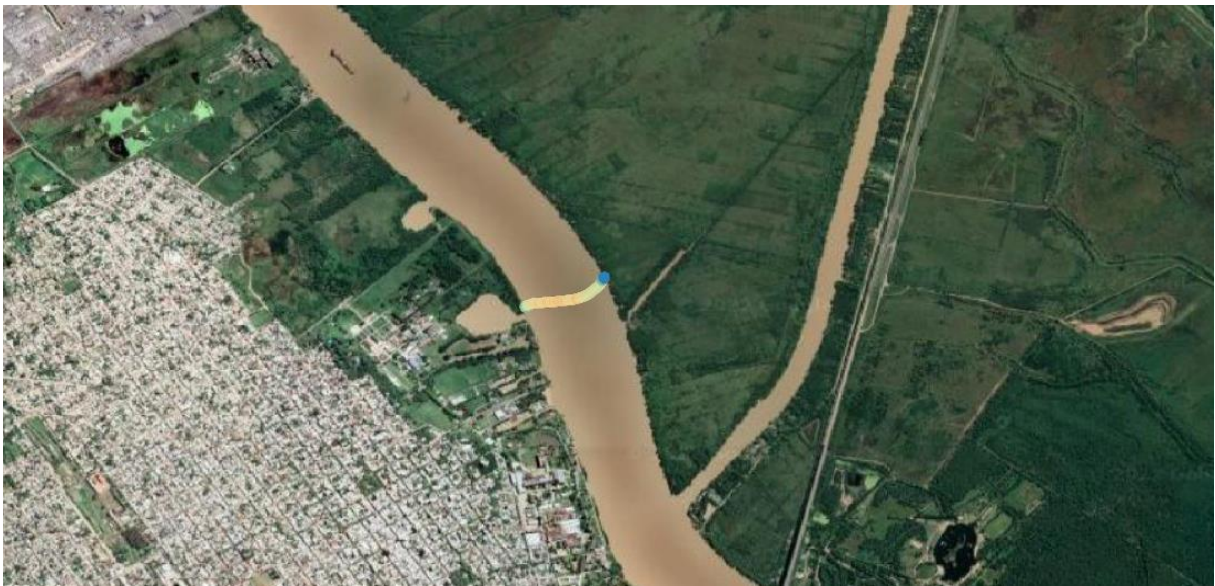


Figura A2.3. Ubicación aforo n°2.

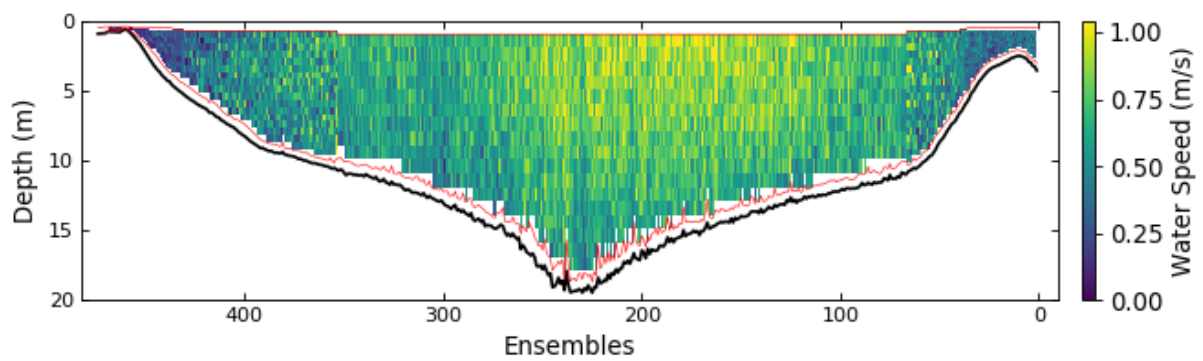


Figura A2.4. Perfil de velocidades Aforo n°2. Caudal medio aforado: 3580 m³/s.

Sección n°3



Figura A2.5. Ubicación aforo n°3.

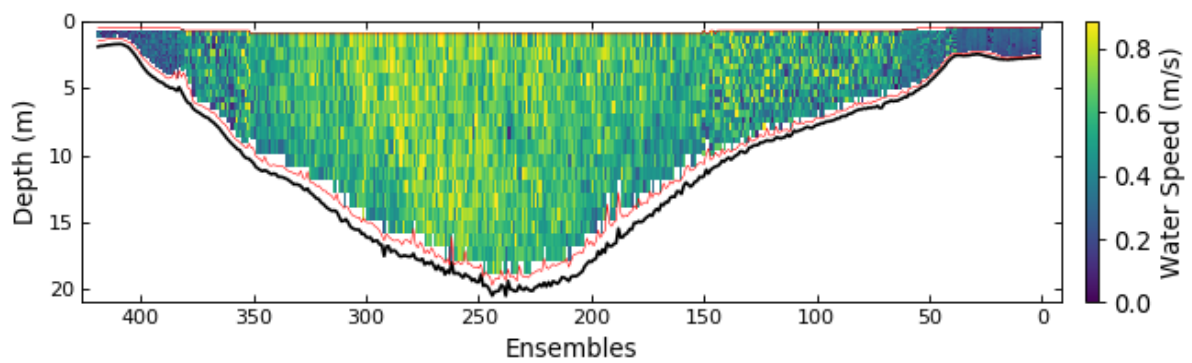


Figura A2.6. Perfil de velocidades Aforo n°3. Caudal medio aforado: 2786 m³/s.

Sección n°4

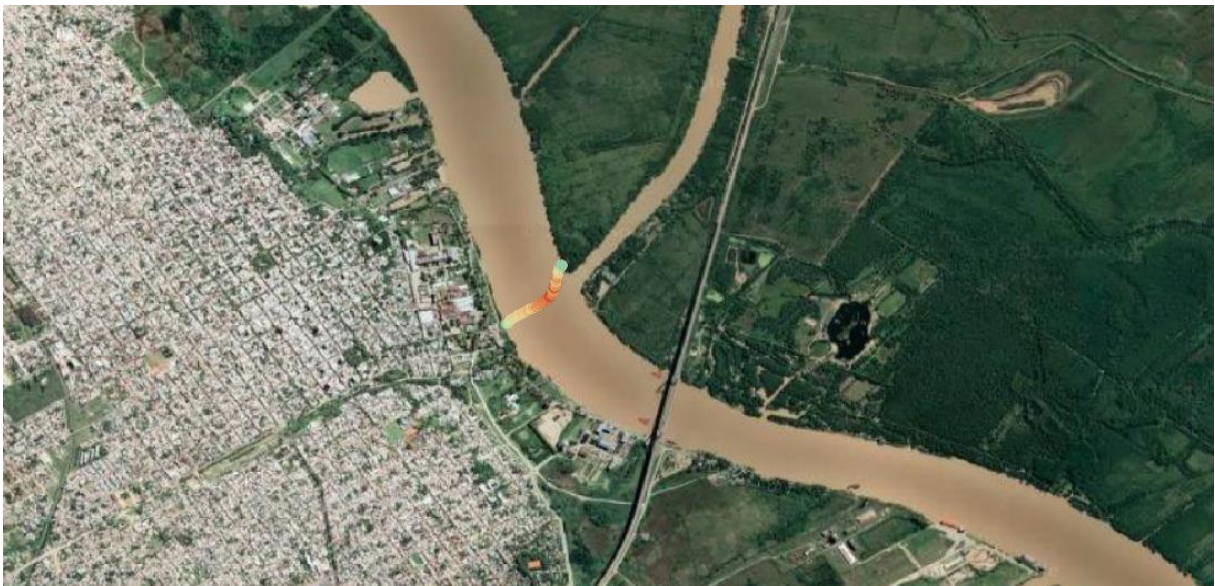


Figura A2.7. Ubicación aforo n°4.

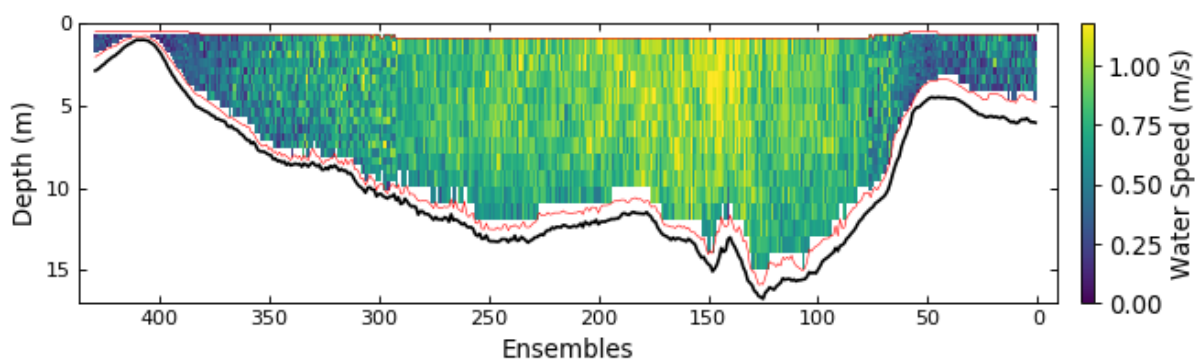


Figura A2.8. Perfil de velocidades Aforo n°4. Caudal medio aforado: 3602 m³/s.

Sección n°5

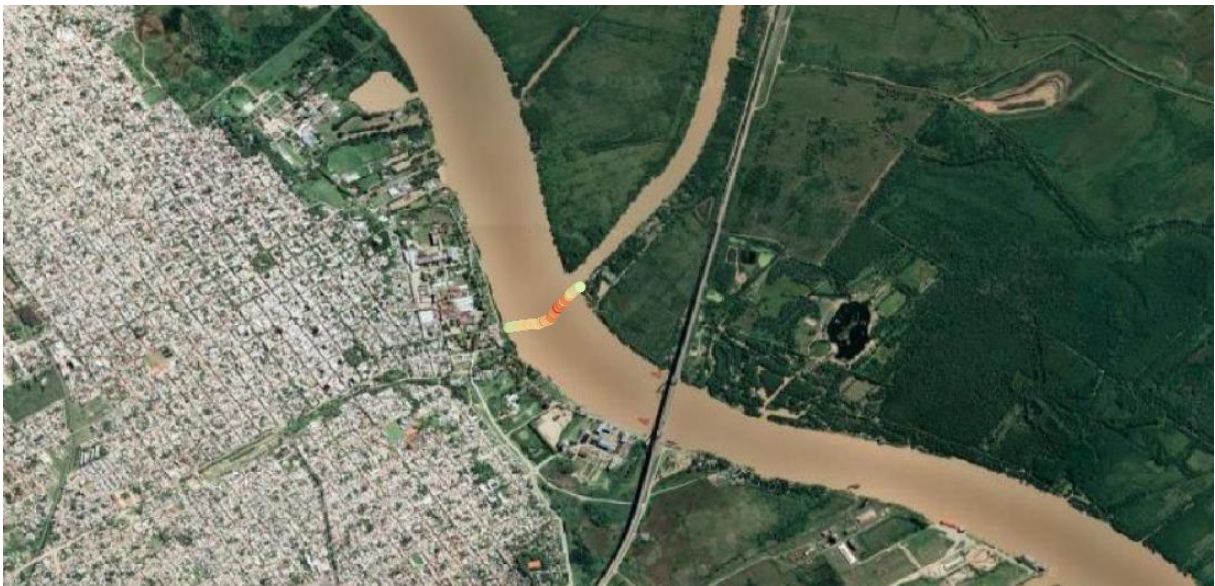


Figura A2.9. Ubicación aforo n°5.

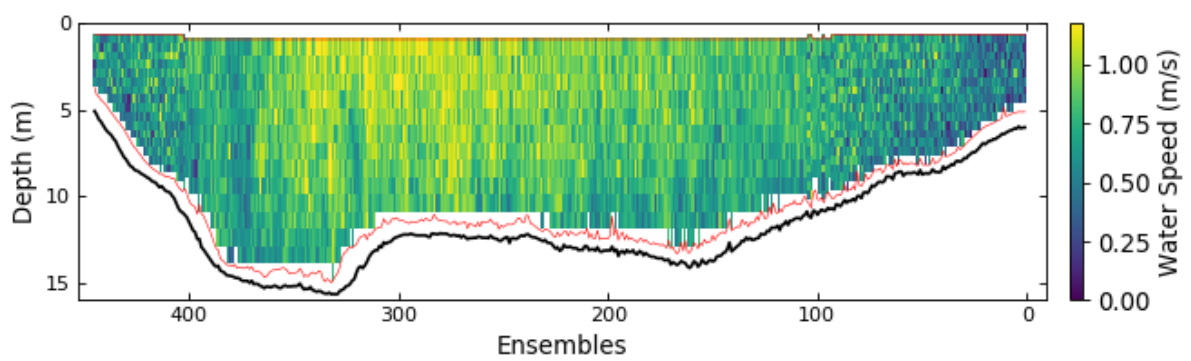


Figura A2.10. Perfil de velocidades Aforo n°5. Caudal medio aforado: 3833 m³/s.

Sección n°6



Figura A2.11. Ubicación aforo n°6.

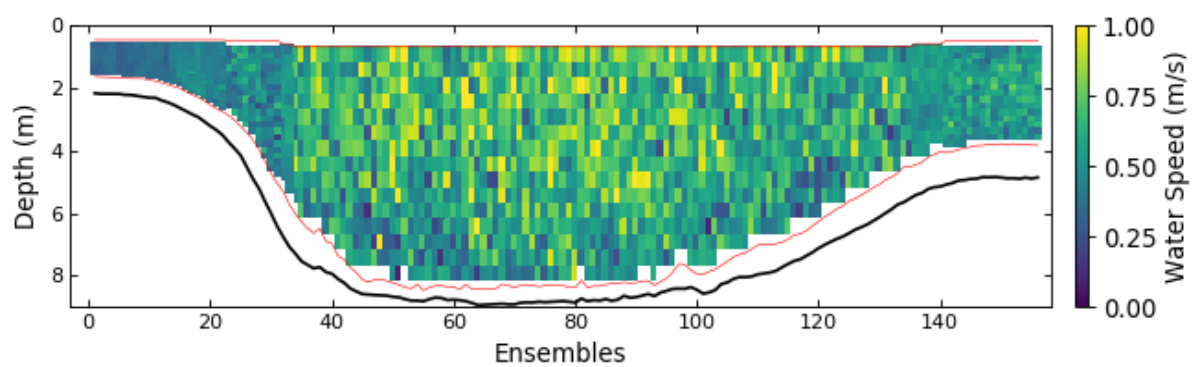


Figura A2.12. Perfil de velocidades Aforo n°6. Caudal medio aforado: 304 m³/s.

Sección n°7

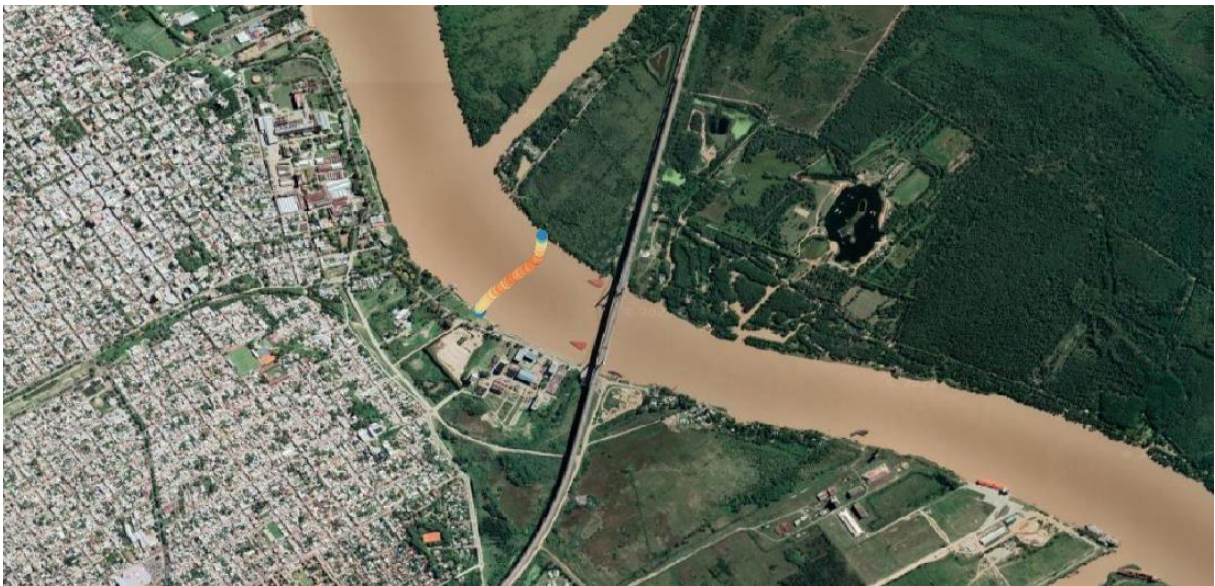


Figura A2.13. Ubicación aforo n°7.

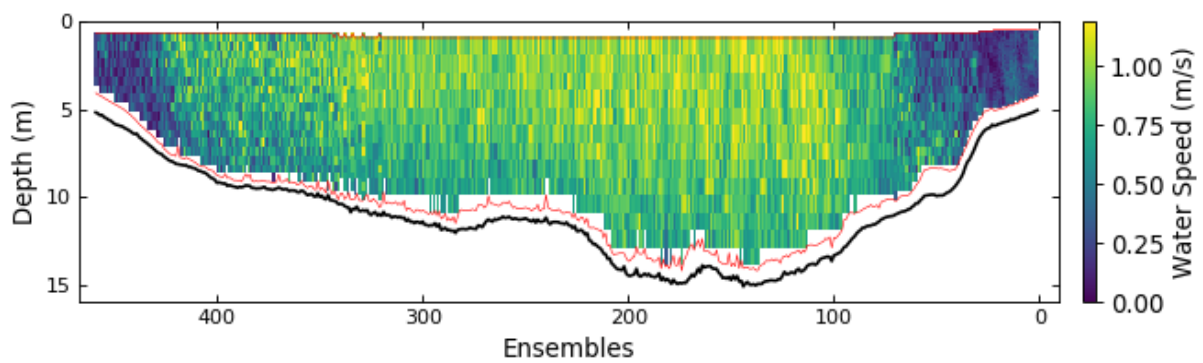


Figura A2.14. Perfil de velocidades Aforo n°7. Caudal medio aforado: 3826 m³/s.

Sección n°8

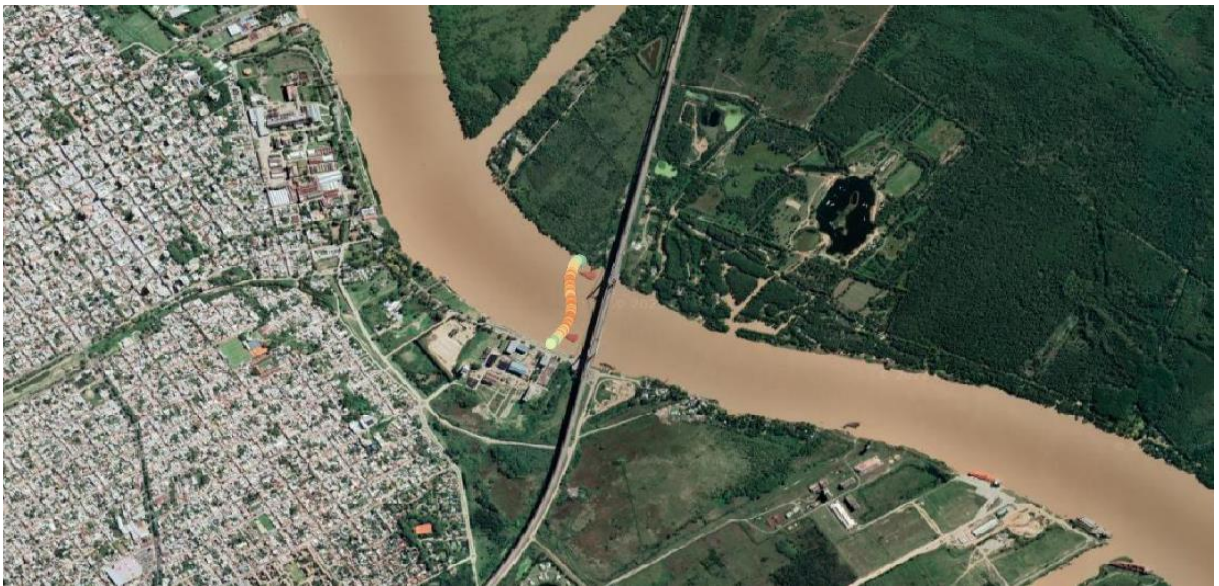


Figura A2.15. Ubicación aforo n°8.

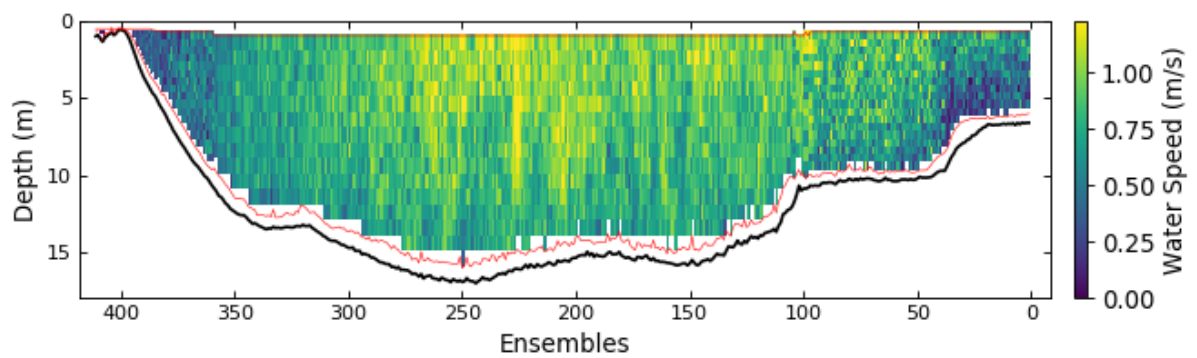


Figura A2.16. Perfil de velocidades Aforo n°8. Caudal medio aforado: 3750 m³/s.

Sección n°9

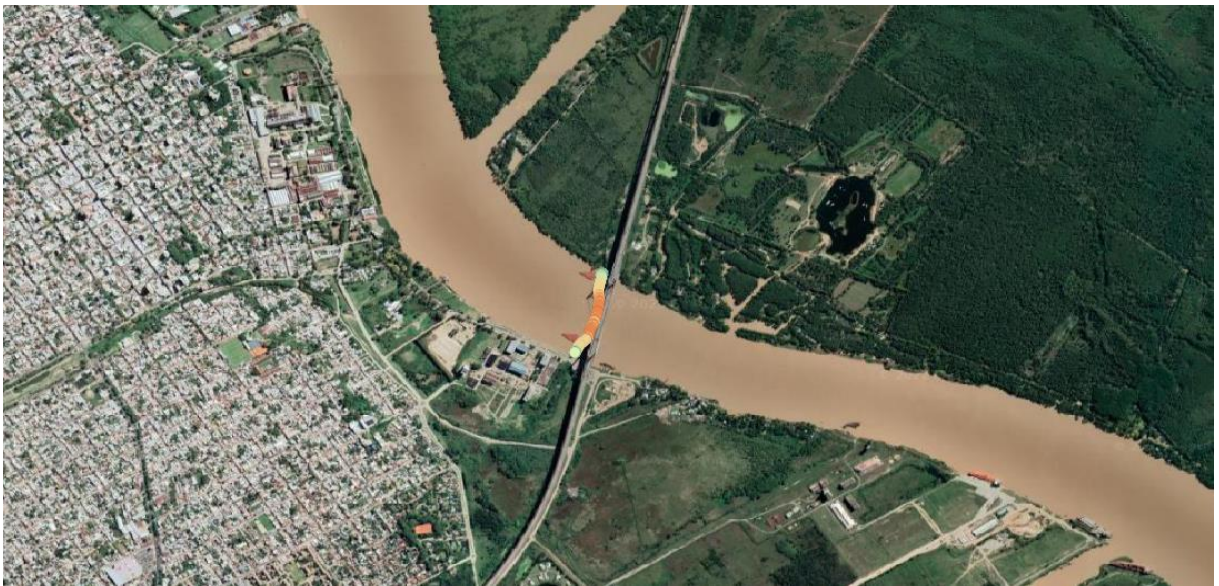


Figura A2.17. Ubicación aforo n°9.

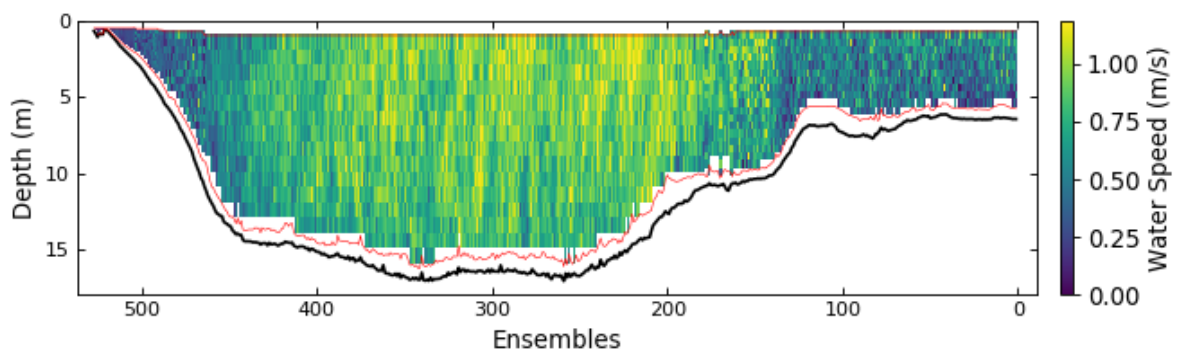


Figura A2.18. Perfil de velocidades Aforo n°9. Caudal medio aforado: 3751 m³/s.

Sección n°10



Figura A2.19. Ubicación aforo n°10.

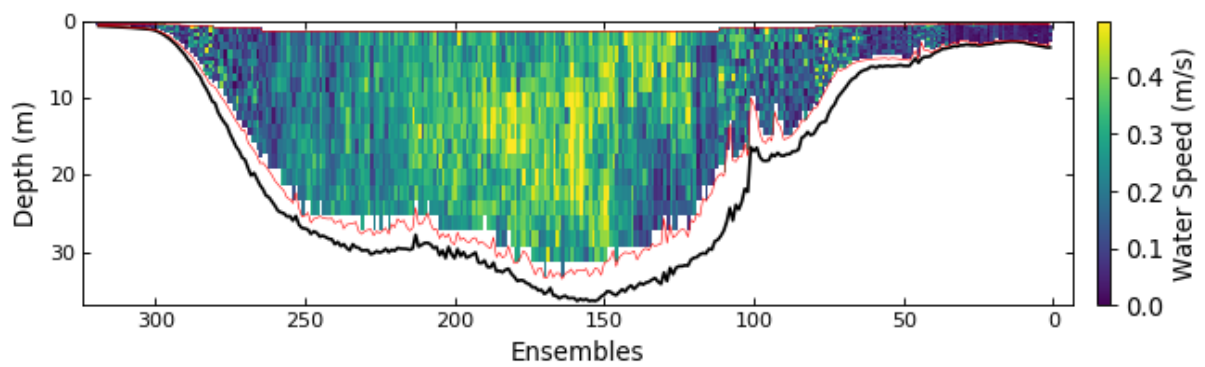


Figura A2.20. Perfil de velocidades Aforo n°10. Caudal medio aforado: 1736 m³/s.

Sección n°11 - Día 1



Figura A2.21. Ubicación aforo n°11.

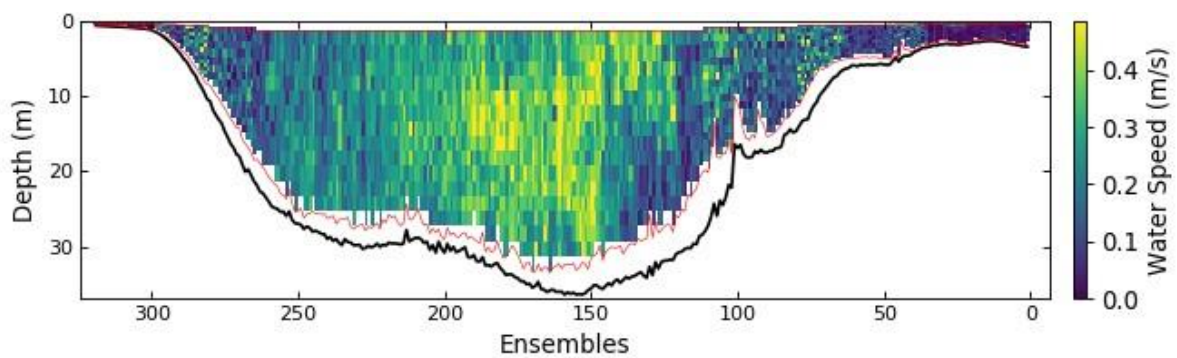


Figura A2.22. Perfil de velocidades Aforo n°11 - Día 05/09/2022. Caudal medio aforado: 1781 m³/s.

Sección n°11 - Día 2

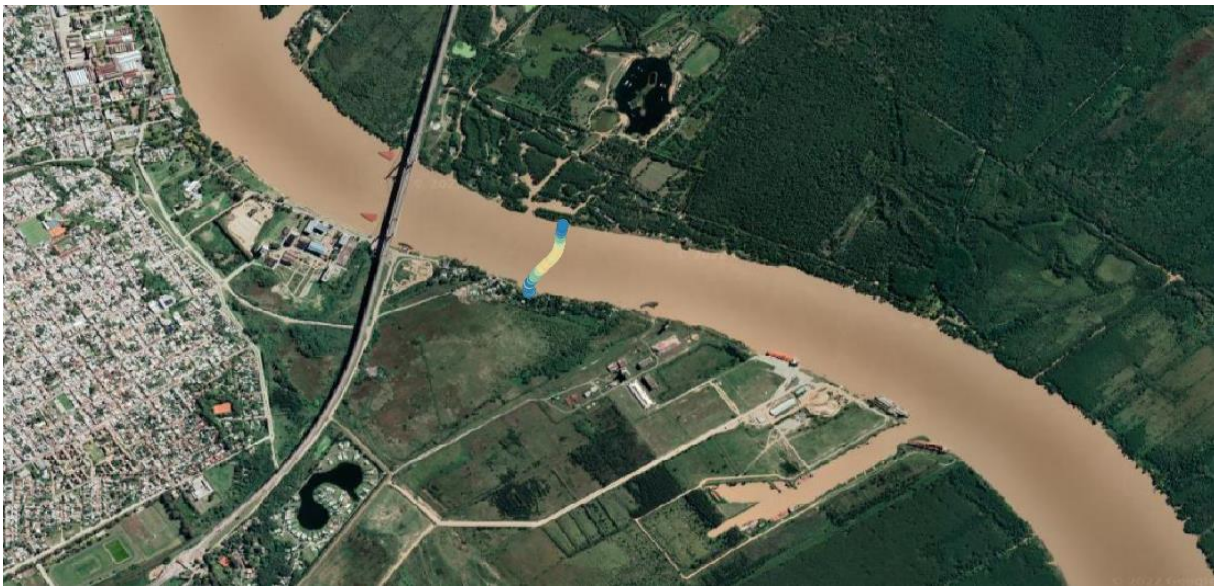


Figura A2.23. Ubicación aforo n°11.

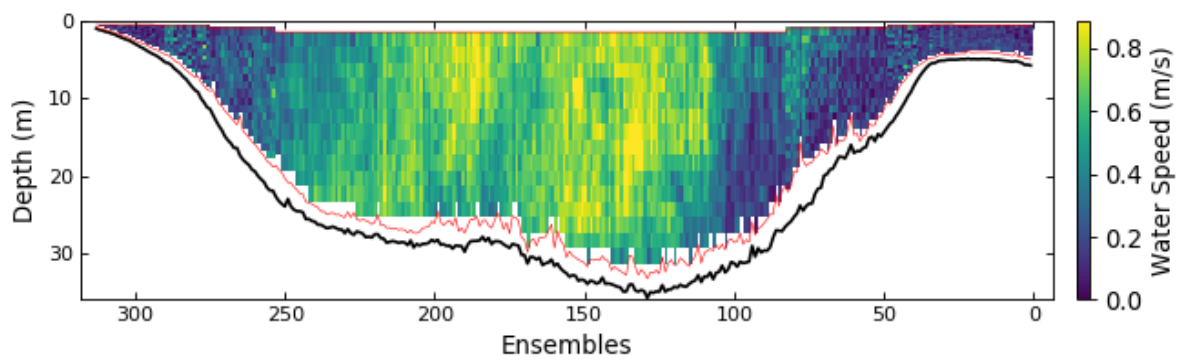


Figura A2.24. Perfil de velocidades Aforo n°11 - Día 06/09/2022. Caudal medio aforado: 3621 m³/s.

Sección n°12

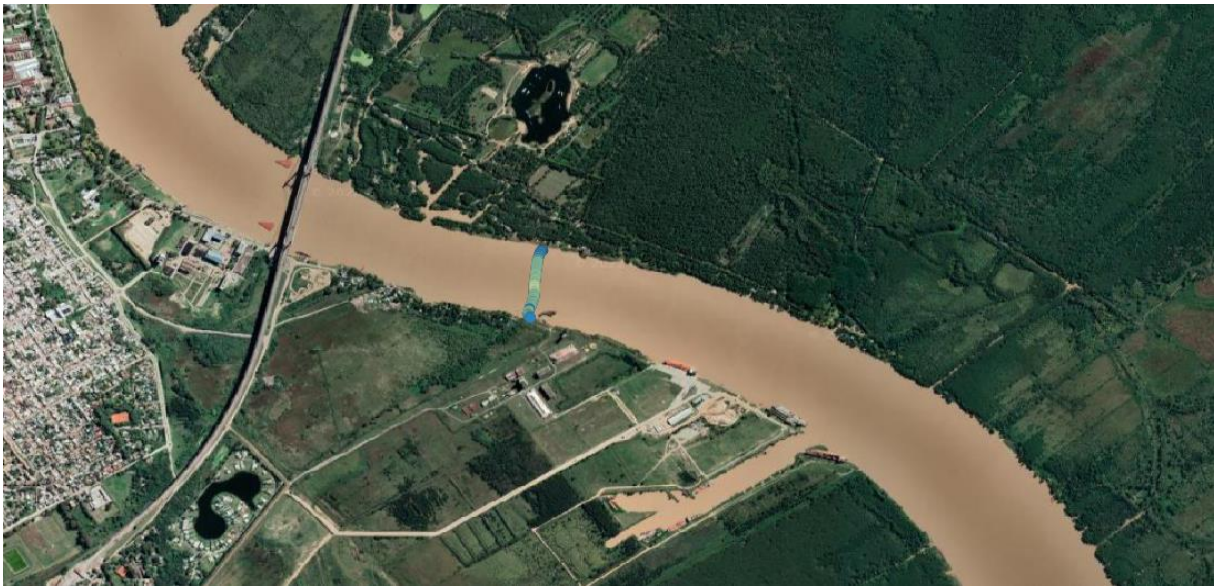


Figura A2.25. Ubicación aforo n°12.

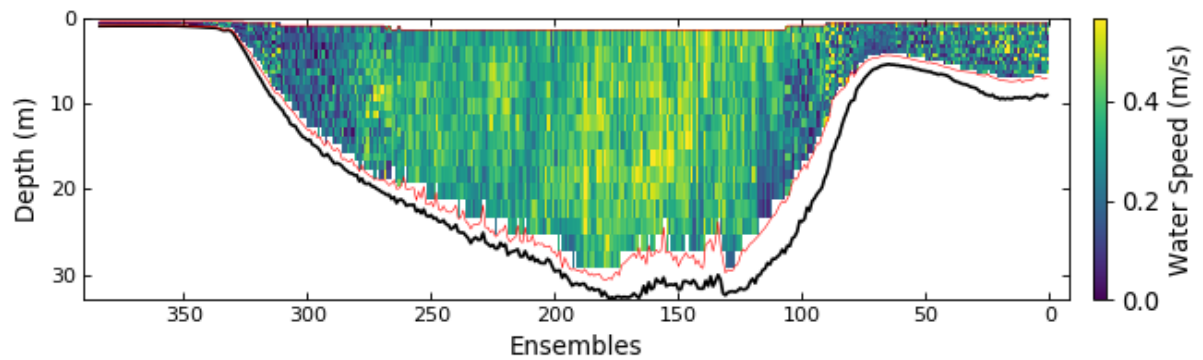


Figura A2.26. Perfil de velocidades Aforo n°12. Caudal medio aforado: 2093 m³/s.