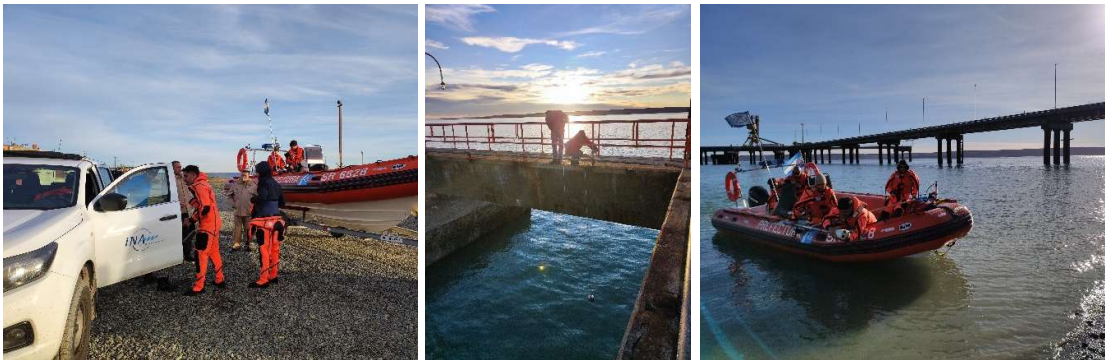


Campaña de mediciones en los estuarios de los ríos Gallegos y Santa Cruz

Informe final

**Evaluación de energías marinas en la costa argentina y cuantificación en
sitios puntuales para su aprovechamiento**



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

**Proyecto INA-SIPH 27
Informe SLH 02-404-22
Ezeiza, marzo de 2023**

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

Ing. Lucas Bindelli | Ing. Santiago Guizzardi | Mayra Morale | Msc. Lic. Nicolás Ortíz | Msc. Ing. Mariano Re

Programa Hidráulica Fluvial – Subgerencia Laboratorio de Hidráulica

Lic. Francisco Brea

Informe realizado por:

Lucas Bindelli

Mariano Re

Campaña de mediciones en los estuarios de los ríos Gallegos y Santa Cruz

Informe final

RESUMEN

Se presentan en este informe los resultados de la campaña de mediciones batimétricas, de niveles y corrientes de marea realizada en los estuarios de los ríos Gallegos y Santa Cruz durante mayo de 2022. Se realizaron relevamientos batimétricos de las zonas de mayor potencial energético disponible con una ecosonda, de la variación nivel de marea con un sensor ultrasónico, mediciones de perfiles de velocidades en puntos de interés y de secciones transversales en las bocas de cada estuario con un perfilador acústico. En general, se observó un buen ajuste entre la onda de marea relevada y la predicción del Servicio de Hidrografía Naval. Además, se detectaron velocidades consistentes con las simuladas previamente, superando en algunos casos puntuales los valores máximos esperados. En el estuario del río Gallegos se midieron velocidades que superaron los 2 m/s y en el estuario del río Santa Cruz, que alcanzaron los 3 m/s.

Descriptor temático: corrientes de marea, velocimetría Doppler, potencial energético.

Descriptor geográfico: estuarios patagónicos, Provincia de Santa Cruz, río Gallegos, río Santa Cruz, Mar Argentino.

Índice

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introducción | 6 |
| 1.1 | Problema..... | 6 |
| 1.2 | Descripción del proyecto | 8 |
| 1.3 | Descripción del Informe..... | 8 |
| 1.4 | Agradecimientos | 9 |
| 2 | Actividades realizadas..... | 10 |
| 2.1 | Justificación de la campaña y objetivos | 10 |
| 2.2 | Descripción general de las tareas..... | 10 |
| 2.3 | Localización | 11 |
| 2.4 | Equipo de trabajo..... | 11 |
| 3 | Equipamiento | 12 |
| 3.1 | Sensor de nivel..... | 12 |
| 3.2 | Estación GPS..... | 13 |
| 3.3 | Ecosonda..... | 13 |
| 3.4 | Perfilador acústico de corrientes | 14 |
| 4 | Mediciones | 15 |
| 4.1 | Nivel de marea | 15 |
| 4.2 | Posicionamiento satelital | 16 |
| 4.3 | Batimetrías..... | 16 |
| 4.4 | Velocidades de corriente | 17 |
| 5 | Resultados | 19 |
| 5.1 | Niveles de marea..... | 19 |
| 5.2 | Batimetrías..... | 21 |
| 5.3 | Velocidades de corriente | 24 |
| 5.3.1 | Transectas | 26 |
| 5.3.2 | Puntos fijos..... | 28 |
| 6 | Conclusiones..... | 44 |
| | Referencias..... | 46 |
| | Anexo I – Fotografías de la campaña..... | 47 |
| 6.1 | Estuario del río Gallegos..... | 47 |

| | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|----|
| 6.2 | Estuario del río Santa Cruz | 51 |
| Anexo II – Fichas técnicas | | 55 |
| 6.3 | P02-RG-D1-S..... | 56 |
| 6.4 | P01-RG-D1-S..... | 57 |
| 6.5 | P02-RG-D2-B | 58 |
| 6.6 | P01-RG-D2-S..... | 59 |
| 6.7 | P02-RG-D2-S..... | 60 |
| 6.8 | P02-RSC-D1-B..... | 61 |
| 6.9 | P01-RSC-D1-B..... | 62 |
| 6.10 | P03-RSC-D1-B..... | 63 |
| 6.11 | P01-RSC-D2-S | 64 |
| 6.12 | P02-RSC-D2-S | 65 |
| 6.13 | P03-RSC-D2-S | 66 |
| 6.14 | P01-RSC-D2-B..... | 67 |
| 6.15 | P02-RSC-D2-B..... | 68 |
| 6.16 | P03-RSC-D2-B..... | 69 |

1 Introducción

1.1 Problema

El aprovechamiento de la energía proveniente de las mareas puede ser de dos tipos: utilización de la energía potencial provocada por la diferencia de nivel de agua en centrales ubicadas en presas que cierran sitios con buena amplitud de marea, o captación de la energía cinética de las corrientes de marea con turbinas localizadas en zonas de alta velocidad.

La generación de energía mareomotriz en presas se realiza mediante los mismos principios de la generación hidroeléctrica con la diferencia de que puede construirse una central de ciclo doble (dos direcciones del flujo). Esta tecnología está suficientemente probada, pero las instalaciones que la contienen implican un alto costo ambiental e inversiones iniciales significativas.

Por su parte, la energía cinética de las corrientes de marea está relacionada con el constante movimiento de los flujos de marea. El aprovechamiento de esta energía es reciente, encontrándose en una etapa de desarrollo y existiendo una gama variada de soluciones. La producción de energía se efectúa a través de un sistema de turbinas que se instalan subacuáticamente. El concepto de generación es similar al de la explotación de la energía eólica; sin embargo, debido a la alta densidad del agua respecto de la del aire, un sistema de turbinas hidrocínicas puede producir la misma cantidad de energía a una menor velocidad de rotación y en un área más pequeña. Esta ventaja relativa resulta importante, además de la previsibilidad de las mareas respecto de la del viento.

Estos sistemas presentan algunas ventajas sobre el uso de la energía mareomotriz: no se requieren obras de retención, se reducen impactos visuales, existe la posibilidad de no interferencia con la navegación y se reduce el impacto sobre los ecosistemas. Sin embargo, el sistema de producción de energía a través de las corrientes de marea cuenta con algunas desventajas como el sometimiento a grandes fuerzas de arrastre de las estructuras, el desarrollo de procesos de corrosión y *fouling* sobre turbinas, la reducción de las posibilidades de prácticas recreativas en el cuerpo de agua, la necesidad de velocidades superiores a 1 m/s y la necesidad de grandes profundidades.

Las desembocaduras de los ríos en los mares son zonas ideales para aprovechamiento de las mareas, debido a la confluencia de las mareas con el río y a la morfología propia de la desembocadura. Esta situación, más una buena amplitud de mareas, abre la oportunidad a que esta energía sea aprovechada en zonas próximas al territorio y cercanas a puntos de consumo como ciudades o puertos. En la Argentina, estas posibilidades se combinan en los estuarios de la

Patagonia Austral. Es por ello que en la Argentina existen condiciones favorables para avanzar con el estudio de la energía generada por las corrientes de marea.

Los estuarios patagónicos donde se realizaron las observaciones fueron analizados en el marco del proyecto antecedente “Evolución del potencial energético de las corrientes de marea en estuarios patagónicos mediante modelación numérica” (Proyecto de Investigación Orientado – Fundación YPF / CONICET – 2016-2018): estuario del río Santa Cruz y estuario del río Gallegos, ambos situados en la provincia de Santa Cruz (Figura 1.1). En estos estuarios se tienen amplitudes máximas de marea que van de los 6 m a los 13 m y amplitudes medias en el rango de 4 a 8 m. Ambos sitios son destacados a escala global por sus condiciones hipermareales (Archer, 2013).

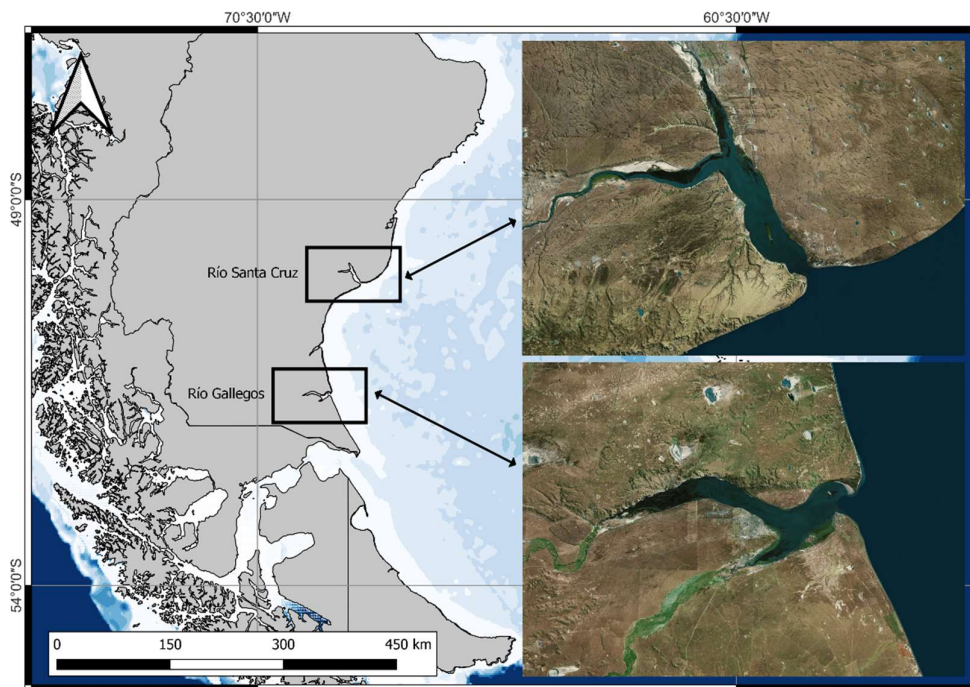


Figura 1.1. Localización de los estuarios Río Gallegos y Río Santa Cruz.

En la Argentina, la historia de la energía mareomotriz se concentra en torno a los estudios realizados para los golfos Nuevo y San José en la Península de Valdés, con propuestas que ya cuentan con casi un siglo de antigüedad. Ideas más recientes tienen que ver con las posibilidades de los estuarios del Río Deseado, Río Gallegos y Río Grande. Los pocos estudios actuales sobre esta temática ponen un mayor énfasis en la tecnología de los dispositivos que en la caracterización del recurso. En cuanto al análisis del potencial energético de alguno de los estuarios aquí analizados, se destacan los recientes antecedentes presentados por Buono et al. (2016) y Bindelli et al. (2022).

En la Tabla 1.1 se presentan las características geométricas de cada estuario y las predicciones de amplitud de marea realizadas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN, 2023).

Tabla 1.1. Características generales de los estuarios Río Gallegos y Río Santa Cruz.

| Estuario | Río Gallegos | Río Santa Cruz |
|---------------------------------------|--------------|----------------|
| <i>Dimensiones aproximadas</i> | 35 x 3 km | 40 x 5 km |
| <i>Ancho de boca</i> | 4000 m | 2100 m |
| <i>Descarga fluvial significativa</i> | NO | SI |
| <i>Infraestructura cercana</i> | SI | SI |
| <i>Amplitud media (SHN, 2017)</i> | 7.83 m | 7.63 m |
| <i>Amplitud máxima (SHN, 2017)</i> | 12.44 m | 12.18 m |

1.2 Descripción del proyecto

Este proyecto se presenta como continuidad de proyectos anteriores y como la profundización del nivel de conocimiento actual respecto de las posibilidades ciertas de llevar adelante emprendimientos energéticos marinos en la Argentina. Entre los objetivos generales se destacan los siguientes:

- Continuar los esfuerzos de modelación hidrodinámica realizados en sitios relevantes para caracterizar el recurso con el objetivo de aprovechar la energía marina en el entorno de la costa atlántica argentina
- Mejorar los resultados iniciales obtenidos sobre caracterización del recurso en base a nueva información de campo y modelaciones numéricas de detalle.
- Vincular la cuantificación del recurso energético con herramientas tecnológicas para su conversión (desarrolladas en la Argentina o en proceso).

Los proyectos antecedentes considerados en los que estuvo vinculado el Laboratorio de Hidráulica son los que se listan a continuación:

- Proyecto PIO / Evaluación del potencial energético de las corrientes de marea en estuarios patagónicos mediante modelación numérica (Proyecto de Investigación Orientada - PIO / Fundación YPF – CONICET) / 2016–2018.
- Proyecto UNIDO/CTCN / Tecnologías para el diseño y adaptación al cambio climático de un Plan Estratégico Regional de Manejo Costero en la Provincia de Buenos Aires (*Climate Technology Centre and Network, CTCN, y United Nations Industrial Development Organization, UNIDO*) / 2018-2020.
- Proyecto PNA (Plan Nacional del Agua) / Estudios para la evaluación de la energía mareomotriz en Península Valdés / Plan Nacional del Agua, PI 18/01 / 2019-2021.

1.3 Descripción del Informe

La estructuración de este informe se basa en la presentación de capítulos en donde se desarrollan los siguientes aspectos: *i)* descripción de las actividades realizadas durante la campaña de observación en los estuarios de los ríos Gallegos y Santa Cruz entre el 11 y el 16 de mayo de 2022;

ii) detalle del instrumental utilizado; *iii)* descripción de las mediciones efectuadas; y *iv)* presentación de los resultados obtenidos.

1.4 Agradecimientos

Las actividades realizadas durante esta campaña de observaciones requirieron del incondicional apoyo de la Prefectura Naval Argentina (PNA) desde los destacamentos de Río Gallegos e Islas Malvinas, y Santa Cruz, de la zona Mar Argentino Sur. A través de los Jefes de destacamento Arnaldo Ramírez (Río Gallegos) y Carlos Bernárdez (Santa Cruz), los autores agradecen a todo el personal involucrado durante el relevamiento.

2 Actividades realizadas

2.1 Justificación de la campaña y objetivos

Esta campaña de observaciones se llevó a cabo atendiendo al segundo objetivo de este proyecto, enunciado en el apartado 1.2 de este informe: *“Mejorar los resultados iniciales obtenidos sobre caracterización del recurso en base a nueva información de campo y modelaciones numéricas de detalle”*.

Hasta el momento, los proyectos anteriores de esta línea de investigación permitieron obtener una primera aproximación al problema. Sin embargo, para profundizar los conocimientos sobre este recurso y dar un paso adelante hacia la concreción de este tipo de aprovechamientos es necesario aumentar el nivel de detalle de los modelos numéricos a emplear. Para esto se requiere fortalecer el proceso de calibración y validación de estos con información más precisa.

El objetivo principal de esta campaña fue generar nueva información batimétrica, de velocidades de corriente y niveles de marea en cada uno de los dos estuarios patagónicos seleccionados (río Gallegos y río Santa Cruz). En particular, se buscó:

1. Obtener al menos un perfil de velocidades de corriente en creciente y un perfil en bajante por cada estuario.
2. Obtener datos batimétricos de las zonas de mayor potencial energético de cada estuario.
3. Obtener datos de niveles de marea durante las mediciones de batimetría y de velocidad de corriente.

2.2 Descripción general de las tareas

El equipo de trabajo arribó a la ciudad de Río Gallegos el 10 de mayo y realizó las tareas de medición previstas en este estuario los días 11 y 12. Luego, el día 13 de mayo, se trasladó hacia la localidad de Puerto Santa Cruz para realizar las tareas de medición previstas los días 14 y 16 de mayo. El día 15 de mayo no se realizaron actividades de medición por ser domingo, lo que dificultaba algunas de las tareas previstas.

Las condiciones meteorológicas permitieron el buen desarrollo de la campaña, no ocurriendo demoras ni cancelaciones de las actividades previstas.

2.3 Localización

Las zonas delimitadas para cada cuerpo de agua pueden verse en la Figura 2.1. Se determinaron las zonas de interés en función de los resultados obtenidos en Bindelli *et al.* (2020), siendo estas zonas aquellas que presentan el mayor potencial energético disponible. A su vez, se trazaron previamente los recorridos a seguir con la embarcación para el relevamiento batimétrico y las transectas para el relevamiento de velocidades, y los puntos fijos en los cuales se buscó obtener perfiles de velocidades de detalle.

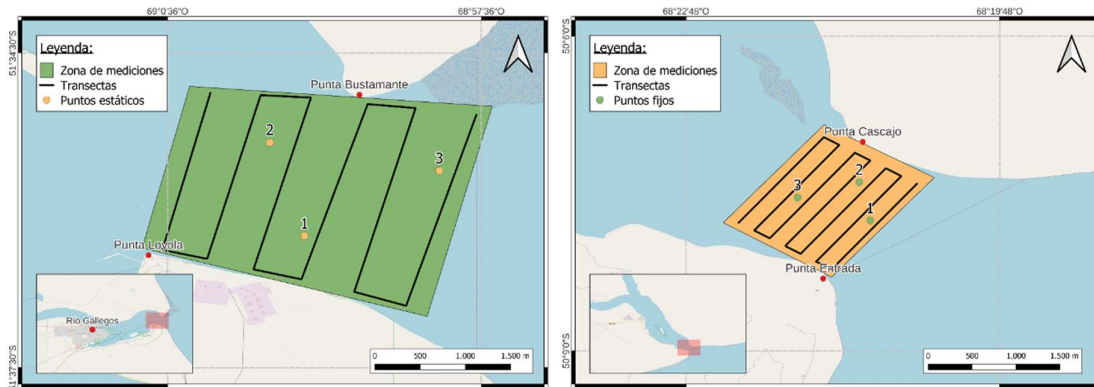


Figura 2.1. Delimitación de la zona de estudio y ubicación de transectas y puntos fijos seleccionados en los estuarios de los ríos Gallegos (izquierda) y Santa Cruz (derecha).

2.4 Equipo de trabajo

El equipo del INA estuvo formado por los siguientes profesionales del Programa de Hidráulica Computacional (PHC) y del Programa de Hidráulica Fluvial (PHF) de la Subgerencia Laboratorio de Hidráulica:

- Ing. Lucas Bindelli (Coordinador)
- Lic. Francisco Brea
- Ing. Santiago Guizzardi
- Mayra Morale
- Msc. Lic. Nicolás Ortiz

La campaña contó con la colaboración de los destacamentos Río Gallegos e Islas Malvinas y Santa Cruz de la Prefectura Naval Argentina (PNA), quienes brindaron apoyo general a la campaña y las embarcaciones utilizadas para la navegación (SR 6828 y SR 6831) y el personal para su manejo.

3 Equipamiento

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos para esta campaña de mediciones se utilizaron los siguientes equipos de medición:

- Un sensor de nivel para medir la evolución de la superficie libre a lo largo del tiempo, registrando la onda de marea presente en cada estuario.
- Una ecosonda, para medir datos batimétricos.
- Una estación GPS, para georreferenciar los datos batimétricos relevados.
- Un perfilador acústico de corrientes, para medir velocidades del flujo de agua en zonas de interés.

A continuación, se describen las características principales de cada uno de ellos.

3.1 Sensor de nivel

Se trata de un sensor ultrasónico desarrollado por la empresa FdX¹ (Figura 3.1) que mide la distancia entre la sonda y la superficie libre del cuerpo de agua, relevando un dato cada 15 minutos, transmitiendo los datos mediante red celular (GPRS) a un servidor de tipo nube.

Medición de nivel y parámetros de configuración FDX-RA1-3G

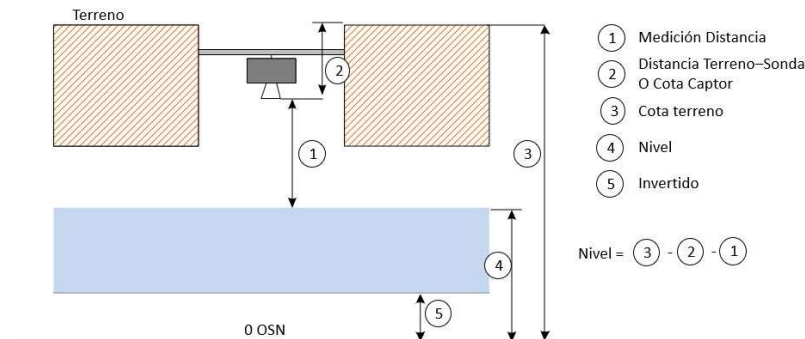


Figura 3.1. Esquema de toma de mediciones (izquierda) y sensor de nivel instalado (derecha).

¹ <https://fdx-ingenieria.com/telemetry-iot/>

3.2 Estación GPS

El equipo utilizado es un sistema de posicionamiento GNSS de la marca Topcon (Figura 3.2). 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. El sistema NTRIP permite trabajar con RTK (*Real Time Kinematic*) en tiempo real usando una estación de referencia conocida para la realización de las correcciones.

La estación de referencia debe estar a una distancia inferior a los 50 kilómetros para receptores doble frecuencia, obteniendo resultados de precisión centimétrica. El sistema NTRIP permite utilizar una estación fija corrigiendo los puntos en tiempo real sin necesidad de contar con una segunda estación fija en la zona de trabajo.



Figura 3.2. GPS Diferencial Topcon Hiper V.

3.3 Ecosonda

La ecosonda utilizada es de doble frecuencia 200/33 kHz modelo CEE LINE 200 (Figura 3.3). Se emplea para relevamientos batimétricos de precisión trabajando en conjunto con sistemas GNSS-RTK. Posee un alcance de medición de 100 m. El equipo es capaz de emitir pulsos a frecuencias conocidas hasta alcanzar un obstáculo o el fondo del lecho, entregando como dato la latitud, longitud y elevación de ese punto.



Figura 3.3. Ecosonda CEE LINE 200.

3.4 Perfilador acústico de corrientes

Consiste en un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) RiverSurveyor M9 sin *Hydroboard* de la marca SonTek (Figura 3.4). El ADCP provee información batimétrica (profundidad) de la sección y de las velocidades del flujo en tres direcciones ortogonales. Este instrumento mide la velocidad del agua utilizando el principio físico llamado cambio de frecuencia Doppler. Un transductor genera un pulso de sonido a una frecuencia conocida que se propaga a través del agua. Este se refleja en todas las direcciones por las partículas que se encuentran en suspensión (sedimento, materia orgánica, etc.). Una porción de la energía reflejada vuelve hacia el transductor donde es recibida por éste y el equipo 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 cuenta con un transductor que mide la profundidad sobre el punto de medición.



Figura 3.4. Perfilador de corriente acústico Doppler (RiverSurveyor M9).

4 Mediciones

4.1 Nivel de marea

Se colocó el sensor de nivel en una ubicación tal que permitiera relevar el nivel de la marea con una frecuencia de 15 minutos durante toda la estadía en cada sitio. Para el caso del estuario del río Gallegos, se ubicó en el muelle de Punta Loyola (Figura 4.1) desde las 17 horas del 10/05/2022 hasta las 12 horas del 13/05/2022. Por su parte, en el estuario del río Santa Cruz el sensor se ubicó en el muelle de Punta Quilla (Figura 4.2) desde las 11 horas del 14/05/2022 hasta las 15 horas del 16/05/2022.



Figura 4.1. Instalación del sensor de nivel en el muelle de Punta Loyola (río Gallegos).

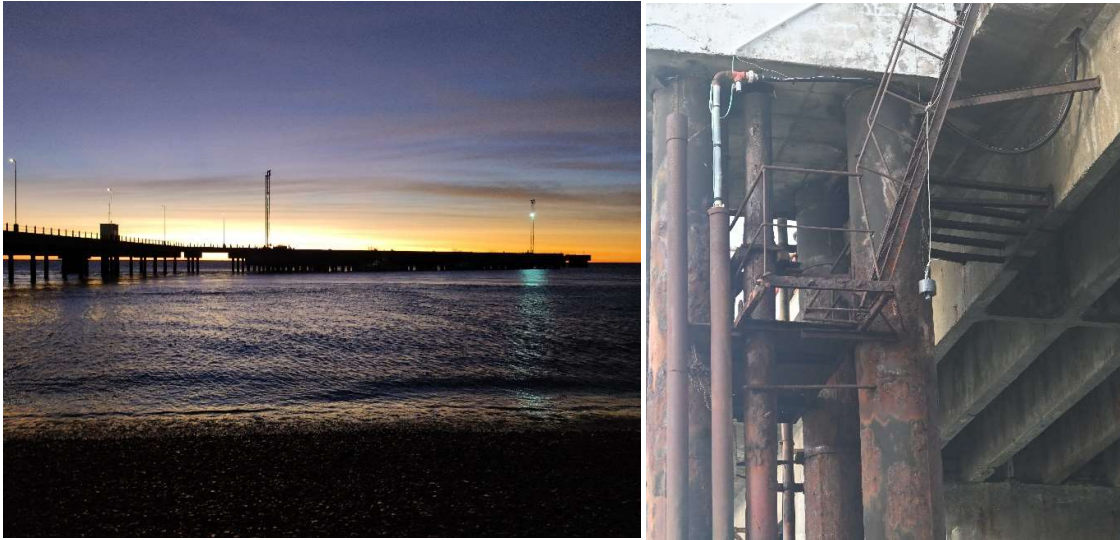


Figura 4.2. Instalación del sensor de nivel en el muelle de Punta Quilla (río Santa Cruz).

4.2 Posicionamiento satelital

La estación GPS fue utilizada en conjunto con la ecosonda para georreferenciar el relevamiento batimétrico, vinculándolo a su vez con el cero del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

4.3 Batimetrías

La ecosonda fue empleada para realizar un relevamiento batimétrico en cada estuario según los recorridos descriptos en el apartado 2.3, que dada su extensión se dividieron en dos instancias, realizando las tareas en los días 11 y 12 de mayo para el caso del estuario de río Gallegos y en los días 14 y 16 de mayo para el estuario del río Santa Cruz. En la Tabla 4.1 se describen los períodos durante los cuales se realizaron dichos relevamientos, que resultaron en aproximadamente 5 horas para el estuario del río Gallegos y casi 9 horas para el estuario del río Santa Cruz.

Tabla 4.1. Características de los relevamientos con ecosonda.

| Estuario | Medición | Fecha | Hora de inicio | Hora de fin |
|----------------|--------------------------|------------|----------------|-------------|
| Río Gallegos | Relevamiento batimétrico | 11/05/2022 | 13:45:00 | 16:30:00 |
| Río Gallegos | Relevamiento batimétrico | 12/05/2022 | 15:30:00 | 15:50:00 |
| Río Santa Cruz | Relevamiento batimétrico | 14/05/2022 | 10:35:00 | 15:35:00 |
| Río Santa Cruz | Relevamiento batimétrico | 16/05/2022 | 11:50:00 | 15:30:00 |

4.4 Velocidades de corriente

Se realizaron mediciones de profundidad y de perfiles de velocidades tanto de manera estática como de transectas para ambos estuarios siguiendo lo descrito en el apartado 2.3. En la Tabla 4.2 se resumen las características de cada relevamiento:

Tabla 4.2. Características de los relevamientos con ADCP.

| Estuario | Medición | Fecha | Hora de inicio | Hora de fin | Estado de marea |
|----------------|--------------|------------|----------------|-------------|-----------------|
| Río Gallegos | Transecta 01 | 11/05/2022 | 14:09:06 | 15:24:49 | Bajante |
| Río Gallegos | Punto 02 | 11/05/2022 | 15:50:41 | 16:05:55 | Creciente |
| Río Gallegos | Punto 01 | 11/05/2022 | 16:28:04 | 16:41:25 | Creciente |
| Río Gallegos | Punto 02 | 12/05/2022 | 12:48:32 | 13:11:02 | Bajante |
| Río Gallegos | Punto 01 | 12/05/2022 | 14:27:12 | 14:52:26 | Bajante |
| Río Gallegos | Punto 02 | 12/05/2022 | 15:30:07 | 15:49:57 | Creciente |
| Río Santa Cruz | Transecta 01 | 14/05/2022 | 12:12:11 | 12:32:26 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Punto 02 | 14/05/2022 | 12:43:28 | 13:03:26 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Punto 01 | 14/05/2022 | 13:09:47 | 13:15:57 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Punto 03 | 14/05/2022 | 13:37:06 | 13:52:11 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Punto 01 | 16/05/2022 | 10:07:22 | 10:24:36 | Creciente |
| Río Santa Cruz | Punto 02 | 16/05/2022 | 10:29:25 | 10:46:22 | Creciente |
| Río Santa Cruz | Punto 03 | 16/05/2022 | 10:55:02 | 11:11:29 | Creciente |
| Río Santa Cruz | Punto 01 | 16/05/2022 | 13:29:26 | 13:48:18 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Punto 02 | 16/05/2022 | 13:53:45 | 14:10:35 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Punto 03 | 16/05/2022 | 14:16:58 | 14:33:19 | Bajante |
| Río Santa Cruz | Transecta 02 | 16/05/2022 | 15:00:32 | 15:17:04 | Bajante |

En el estuario del río Gallegos se contabilizaron unas 12 horas y 20 minutos con la tripulación embarcada, de las cuales 2 horas y 45 minutos correspondieron a mediciones con ADCP (1 hora y 15 minutos para la realización de la transecta y 1 hora y 30 minutos para la medición en puntos fijos).

En el estuario del río Santa Cruz se contabilizaron unas 12 horas y 50 minutos con la tripulación embarcada, de las cuales 3 horas correspondieron a mediciones con ADCP (casi 40 minutos se dedicaron a las transectas y poco más de 2 horas y 20 minutos se utilizaron para la medición de puntos fijos).

Los períodos en los que se embarcó la tripulación y en los que se realizaron las distintas mediciones de velocidades pueden observarse en la Figura 4.3 para el caso del río Gallegos y en la Figura 4.4 para el caso del río Santa Cruz. No fue posible obtener mediciones del Punto 03 en el estuario del río Gallegos debido a retrasos en el cronograma de tareas. Estos retrasos comprometían al resto de las mediciones programadas, por lo que fue descartado en ambas ocasiones (día 01 y día 02).

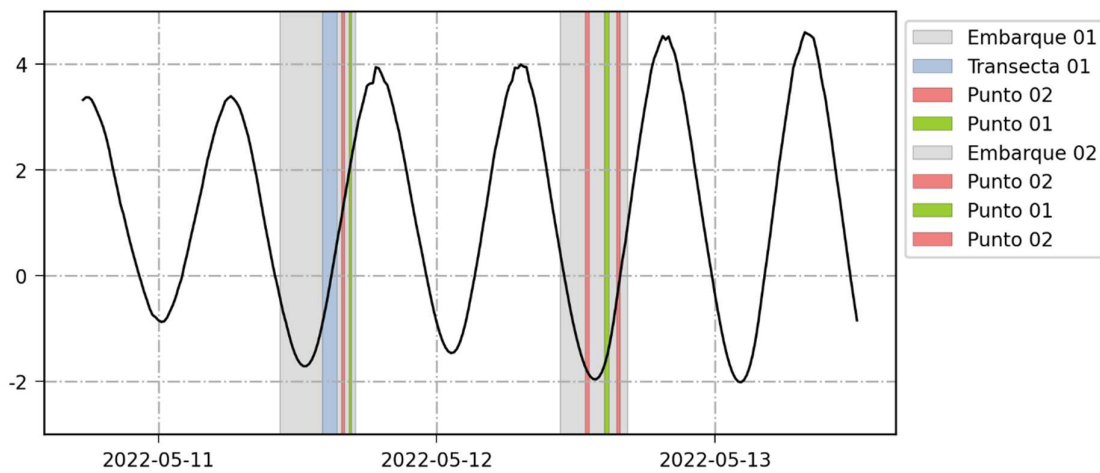


Figura 4.3. Esquema de mediciones embarcadas y onda de marea observada. Estuario del río Gallegos.

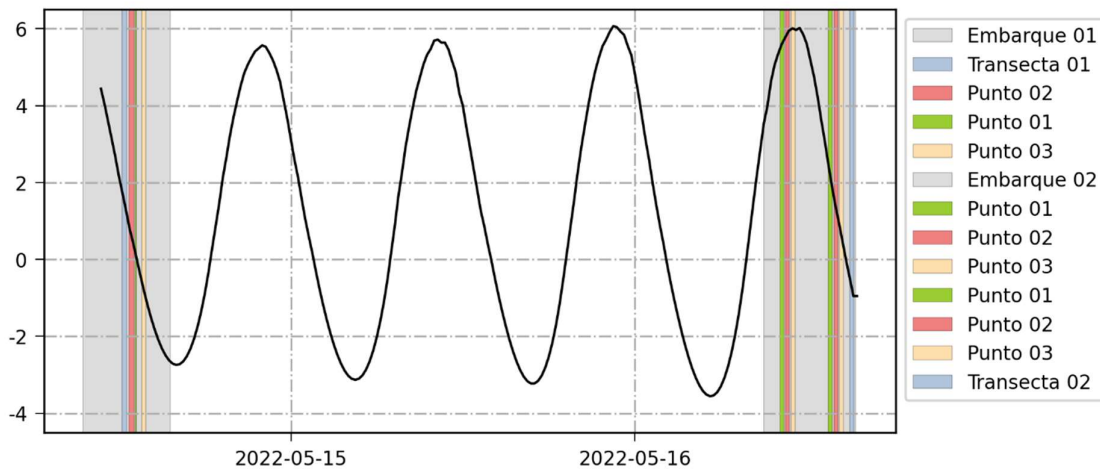


Figura 4.4. Esquema de mediciones embarcadas y onda de marea observada. Estuario del río Santa Cruz.

5 Resultados

5.1 Niveles de marea

A continuación se comparan las predicciones de marea astronómica provistas por el SHN (Tabla 5.1) con los niveles de marea obtenidos por el sensor ultrasónico (Figura 5.1 y Figura 5.2). Debido a las limitaciones del sensor empleado, no se logra capturar toda la amplitud de la onda de marea (las mediciones mayores a 7 m no fueron registradas y deben ser interpoladas).

Tabla 5.1. Bajamares y pleamares predichas por el SHN.

| Río Gallegos | | Río Santa Cruz | |
|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| Fecha y hora | Nivel [m] | Fecha y hora | Nivel [m] |
| 5/11/2022 0:12 | 4.91 | 5/14/2022 3:36 | 2.03 |
| 5/11/2022 6:30 | 9.28 | 5/14/2022 9:35 | 10.86 |
| 5/11/2022 12:53 | 4.20 | 5/14/2022 15:57 | 1.84 |
| 5/11/2022 19:29 | 9.65 | 5/14/2022 21:56 | 11.30 |
| 5/12/2022 1:24 | 4.36 | 5/15/2022 4:23 | 1.32 |
| 5/12/2022 7:42 | 9.85 | 5/15/2022 10:22 | 11.44 |
| 5/12/2022 14:02 | 3.75 | 5/15/2022 16:44 | 1.44 |
| 5/12/2022 20:23 | 10.40 | 5/15/2022 22:40 | 11.83 |
| 5/13/2022 2:30 | 3.63 | 5/16/2022 5:09 | 0.81 |
| 5/13/2022 8:39 | 10.63 | 5/16/2022 11:07 | 11.81 |
| 5/13/2022 15:03 | 3.21 | 5/16/2022 17:29 | 1.24 |
| 5/13/2022 21:09 | 11.24 | 5/16/2022 23:24 | 12.11 |
| - | - | 5/17/2022 5:55 | 0.53 |
| - | - | 5/17/2022 11:52 | 11.92 |
| - | - | 5/17/2022 18:16 | 1.27 |

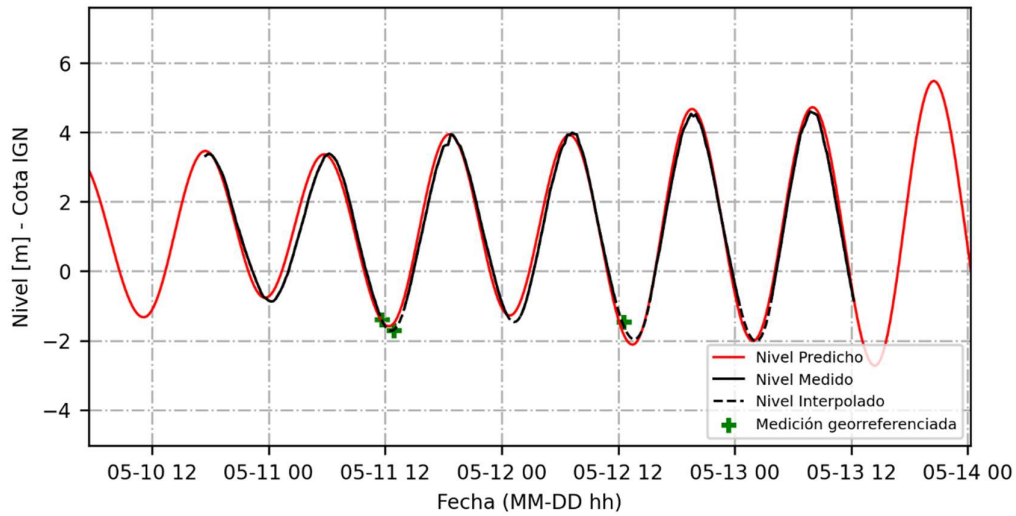


Figura 5.1. Comparación entre ondas de marea predicha y medida en el estuario del río Gallegos.

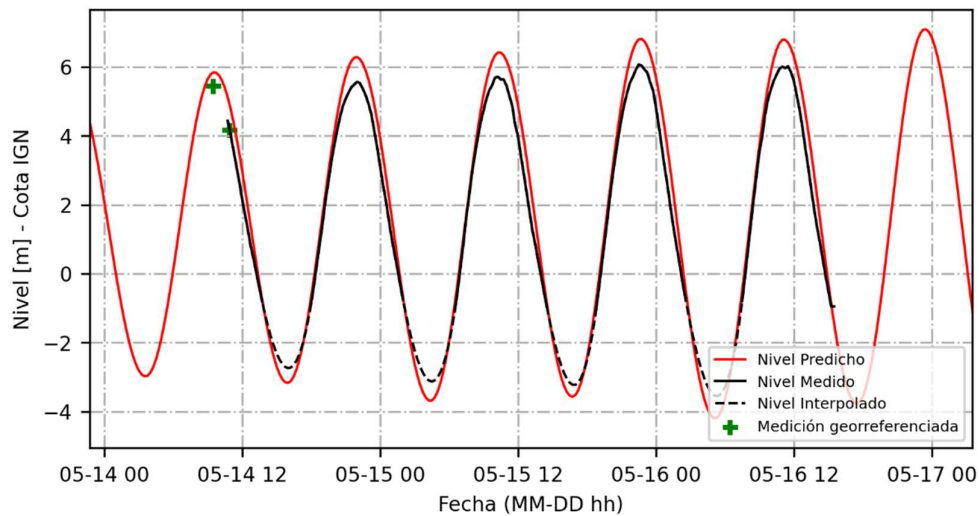


Figura 5.2. Comparación entre ondas de marea predicha y medida en el estuario del río Santa Cruz.

A nivel general, el acuerdo entre la predicción y la observación de marea es bueno en ambos estuarios dada la situación meteorológica predominante al momento de las mediciones. Para el caso del río Gallegos, las diferencias en amplitud son del orden de los 5 cm y en fase son prácticamente nulas a excepción de situaciones puntuales en las que se observan desfases de hasta una hora. Para el estuario del río Santa Cruz, las mayores diferencias en la amplitud se observan en los extremos de manera regular, alcanzando un valor máximo de 70 cm durante una pleamar, y los desfases alcanzan un valor máximo de 15 minutos en los extremos.

Para cuantificar el total de las mediciones respecto de las predicciones del SHN se utilizan los indicadores de RECM (Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio) y R (Coeficiente de Correlación de Pearson), obteniendo los valores de la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Indicadores adoptados.

| Puerto | RECM [m] | R [%] |
|--------------|----------|-------|
| Punta Loyola | 0.29 | 99.1 |
| Punta Quilla | 0.56 | 99.7 |

Los resultados de ambos indicadores presentan un buen acuerdo entre las mediciones y las predicciones del SHN, ya que, si bien el RECM puede parecer elevado, al compararlo con la amplitud de marea relevada resulta del 5% y 6% para Punta Loyola y Punta Quilla respectivamente. Estos registros, aun siendo de corta duración, permiten una aproximación a la validación de una de las hipótesis iniciales adoptadas en Bindelli *et al.* (2020): el principal forzante hidrodinámico, al menos en condiciones climáticas normales, es la marea astronómica.

Cabe remarcar que las predicciones del SHN se hacen respecto a un plano de referencia, cuya ubicación se determina respecto del nivel medio del mar (NMM) en esa zona. Es decir, no hay relación directa entre estos niveles y el cero IGN, por lo que, a partir de georreferenciar las mediciones obtenidas con el sensor de nivel, es posible obtener dicha relación entre el nivel medio del mar y la cota IGN. Si bien es necesario contar con mediciones de muy largo plazo (> 18 años) para poder obtener esta relación, se considera que los datos relevados son suficientes para obtener un valor de referencia en una primera aproximación. Las cotas obtenidas son de 1.21 m y 1.19 m por sobre el cero IGN para Punta Loyola y Punta Quilla respectivamente.

5.2 Batimetrías

Los relevamientos batimétricos provienen tanto de la ecosonda como del ADCP, pero para poder utilizar ambas fuentes de datos en conjunto, es necesario primero compatibilizar las mediciones. En primer lugar, se corrigen los datos del ADCP por la onda de marea registrada por el sensor ultrasónico para que los datos obtenidos estén referenciados verticalmente al mismo cero que el de la ecosonda (en este caso, cero IGN). En segundo lugar, se realiza una comparación entre las profundidades registradas por ambos equipos para determinar si ambos presentaban mediciones similares.

En la Figura 5.3 se observa como en ambos casos (río Gallegos y río Santa Cruz), los datos del ADCP subestiman las profundidades que registra la ecosonda (el equipo con mayor precisión). Esta subestimación es directamente proporcional a la profundidad y muy similar para ambos cuerpos de agua. Las pendientes son casi idénticas (1.1 para río Gallegos y 1.2 para río Santa Cruz) y la diferencia principal reside en la ordenada al origen, que debiera ser cero, y que en el caso del río Gallegos se alcanza un valor muy cercano (0.1 m), mientras que para el caso del río Santa Cruz las diferencias son mayores (1.8 m).

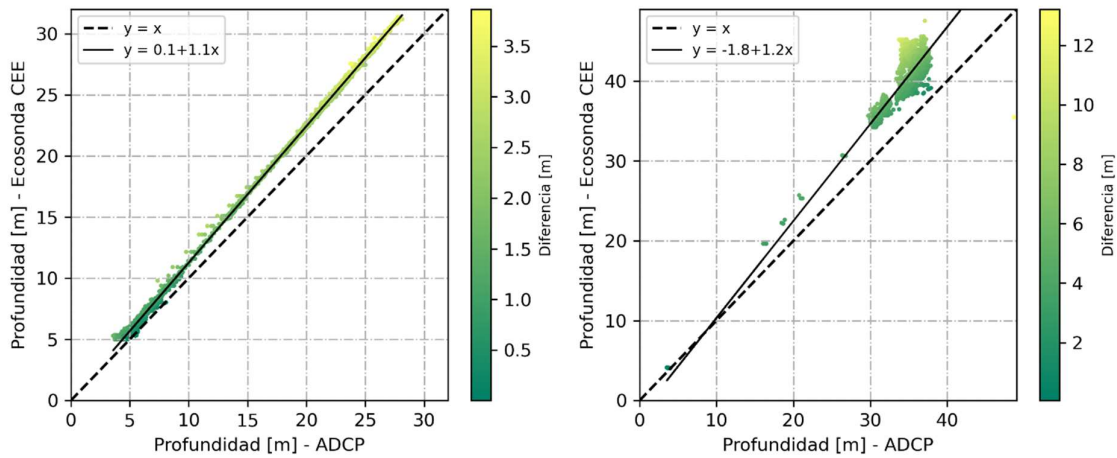


Figura 5.3. Comparación entre datos medidos con Ecosonda y ADCP para el estuario del río Gallegos (izquierda) y para el estuario del río Santa Cruz (derecha).

Los valores de las pendientes obtenidas presentan una subestimación del orden del 10% para las profundidades obtenidas con el ADCP respecto de aquellas registradas por la ecosonda, mientras que las diferencias en la ordenada al origen indican errores en el proceso de calibración para el caso de las mediciones en el estuario del río Santa Cruz. Todo esto resulta en diferencias de hasta 3.5 m en el primer caso y en diferencias de entre 4 y 8 metros, con un conjunto de datos con hasta 10 m de diferencia en el segundo caso.

Finalmente, tras ajustar los datos del ADCP a partir de las funciones lineales obtenidas en las figuras anteriores se obtienen datos compatibles con aquellos relevados con la ecosonda y resulta posible utilizarlos en conjunto. Las batimetrías finales son las que se presentan en las Figura 5.4 y 5.5.

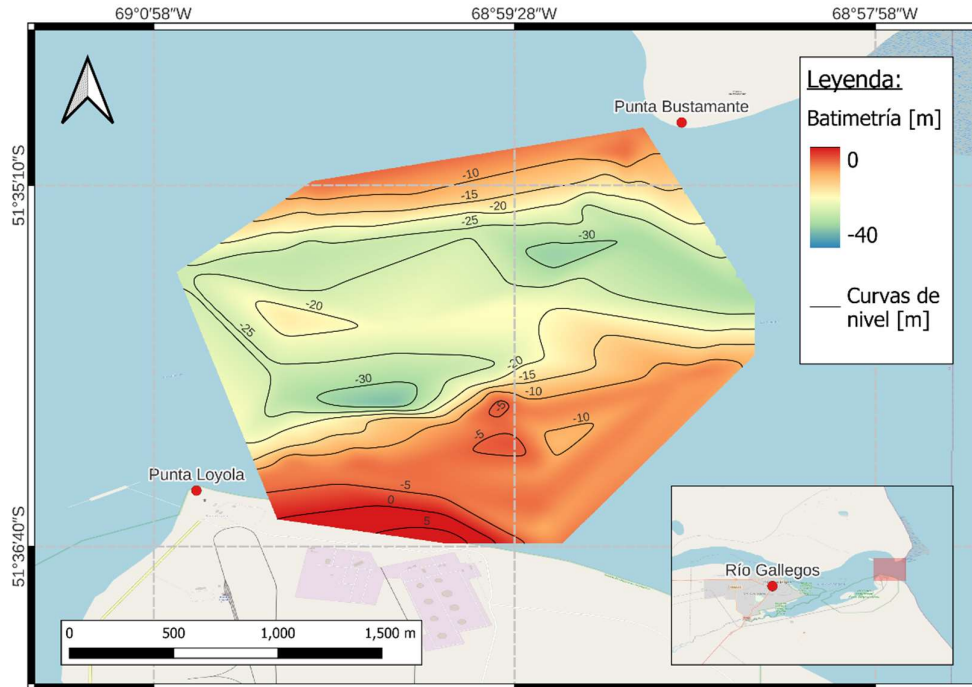


Figura 5.4. Batimetría resultante de los datos relevados en el estuario del río Gallegos (cota IGN).

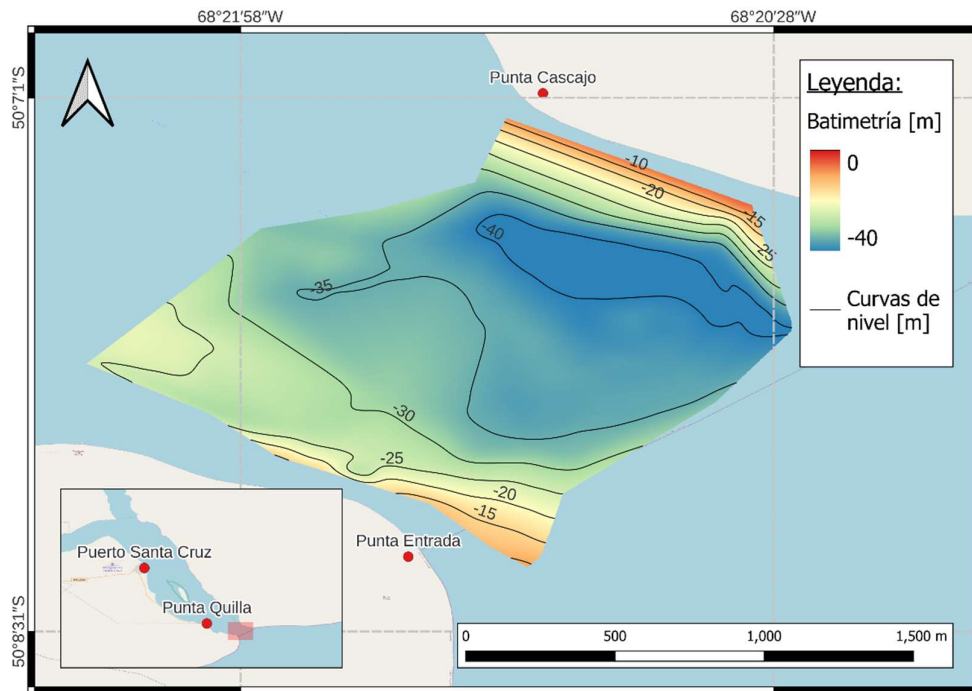


Figura 5.5. Batimetría resultante de los datos relevados en el estuario del río Santa Cruz (cota IGN).

5.3 Velocidades de corriente

A continuación, se muestran las distribuciones de velocidad en vertical obtenidas mediante ADCP, diferenciando entre transectas y puntos fijos. En todos los casos, las profundidades que se muestran son valores medidos desde el pelo de agua y no se encuentran referenciados a la cota IGN. Para facilitar la referencia a las distintas mediciones se utiliza la nomenclatura de la Tabla 5.3:

Tabla 5.3. Nomenclatura utilizada para la designación de los puntos de medición

| Nomenclatura | Significado |
|--------------|-----------------------------|
| T | Transecta |
| P | Punto fijo |
| 01 - 02 - 03 | Nomenclatura del punto |
| RG | Estuario del río Gallegos |
| RSC | Estuario del río Santa Cruz |
| D | Día |
| S | Onda en crecida |
| B | Onda en bajada |

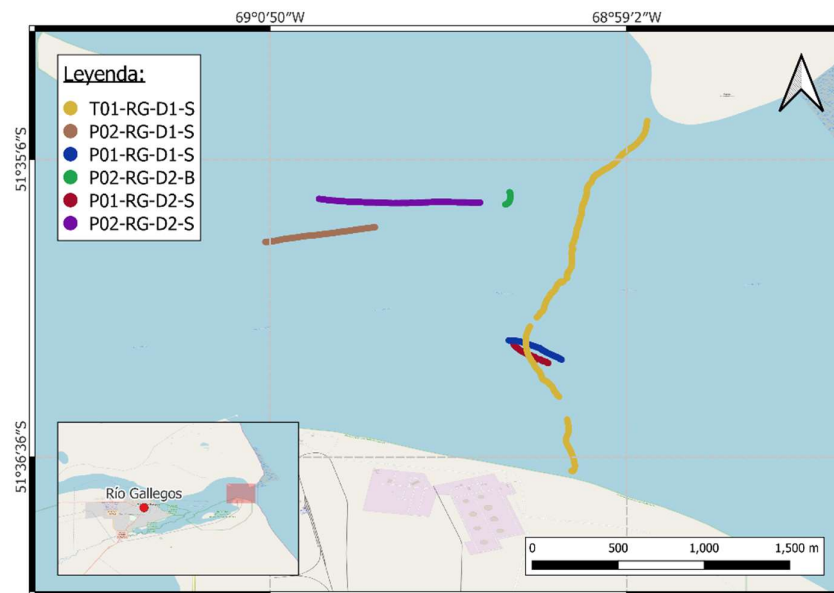


Figura 5.6. Datos relevados en el estuario del río Gallegos.

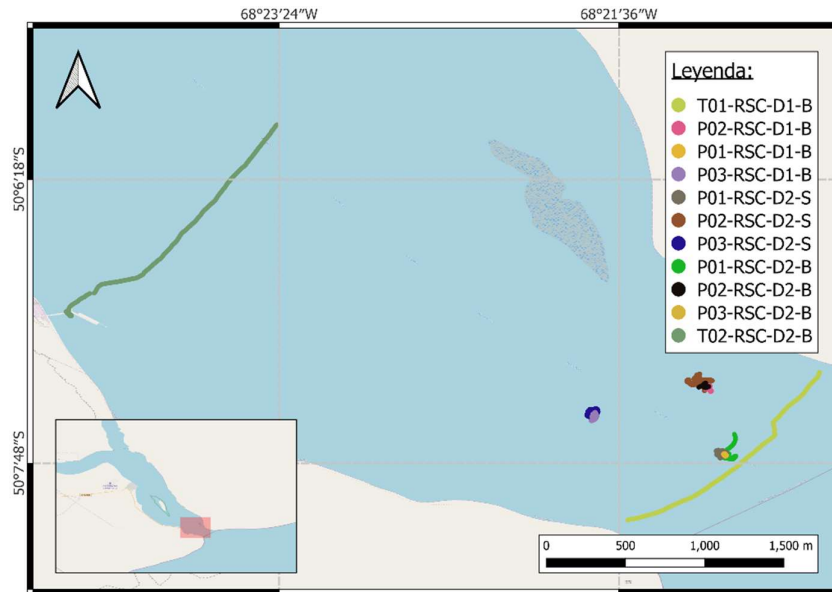


Figura 5.7. Datos relevados en el estuario del río Santa Cruz.

La técnica utilizada para el relevamiento es la de *Bottom Track (BT)*, que asume un fondo fijo y determina las velocidades del flujo de manera relativa a este. Contrario a la hipótesis asumida, al comparar las posiciones resultantes de estas mediciones en ambos estuarios con aquellas obtenidas mediante GPS, se detecta movimiento de fondo. Para no perder precisión en los valores obtenidos, estos se adoptan como válidos a pesar de subestimar las velocidades reales.

Por otro lado, la diferencia entre posiciones por BT y por GPS permite hacer una estimación de la velocidad del fondo. En la Tabla 5.4 y la Tabla 5.5 se presentan valores medios de la velocidad de desplazamiento del fondo para cada medición:

Tabla 5.4. Velocidades aproximadas del fondo – Estuario del río Gallegos.

| Medición | Vx [m/s] | Vy [m/s] | Vtot [m/s] |
|---------------------|----------|----------|------------|
| T01-RG-D1-S_Parte01 | 0.44 | 0.14 | 0.46 |
| T01-RG-D1-S_Parte02 | 0.35 | 0.22 | 0.41 |
| T01-RG-D1-S_Parte03 | 0.66 | 0.07 | 0.67 |
| T01-RG-D1-S_Parte04 | 0.42 | 0.11 | 0.43 |
| T01-RG-D1-S_Parte05 | 0.35 | 0.03 | 0.35 |
| P02-RG-D1-S | 0.14 | 0.26 | 0.29 |
| P01-RG-D1-S | 0.04 | 0.18 | 0.18 |
| P02-RG-D2-B | 0.02 | 0.01 | 0.03 |
| P01-RG-D2-S | 0.02 | 0.06 | 0.06 |
| P02-RG-D2-S | 0.07 | 0.28 | 0.29 |

Tabla 5.5. Velocidades aproximadas del fondo – Estuario del río Santa Cruz.

| Medición | Vx [m/s] | Vy [m/s] | Vtot [m/s] |
|----------------------|----------|----------|------------|
| T01-RSC-D1-B | 0.50 | 0.23 | 0.55 |
| P02-RSC-D1-B | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P01-RSC-D1-B | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| P03-RSC-D1-B | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| P01-RSC-D2-S | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| P02-RSC-D2-S | 0.03 | 0.02 | 0.04 |
| P03-RSC-D2-S | 0.02 | 0.00 | 0.02 |
| P01-RSC-D2-B | -0.06 | -0.01 | 0.06 |
| P02-RSC-D2-B | 0.01 | -0.02 | 0.02 |
| P03-RSC-D2-B | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| T02-RSC-D2-B_Parte01 | 0.74 | -0.30 | 0.80 |
| T02-RSC-D2-B_Parte02 | 0.48 | -0.23 | 0.53 |

5.3.1 Transectas

En las Figura 5.8, Figura 5.9 y Figura 5.10 se presentan los resultados de las transectas T01-RG-D1-S, T01-RSC-D1-B y T02-RSC-D2-B respectivamente. Tanto para el estuario del río Gallegos como para el estuario del río Santa Cruz se encuentran grandes variaciones del perfil de velocidades a lo largo de cada transecta, pero también se constatan variaciones en la vertical. Estas van desde los 0.5 m/s hasta los 2.5 m/s y en todos los casos, las mayores velocidades pueden observarse en la superficie o en los primeros metros de profundidad. Las direcciones de desplazamiento del agua por su parte presentan en los tres casos una distribución más homogénea a lo largo de cada transecta, y variaciones mucho menores (de hasta 50°), con algunos cambios más bruscos hacia las márgenes y en zonas de muy baja profundidad. Cabe remarcar que las zonas rayadas corresponden a interferencias en las mediciones que impidieron la obtención de datos en esas zonas.

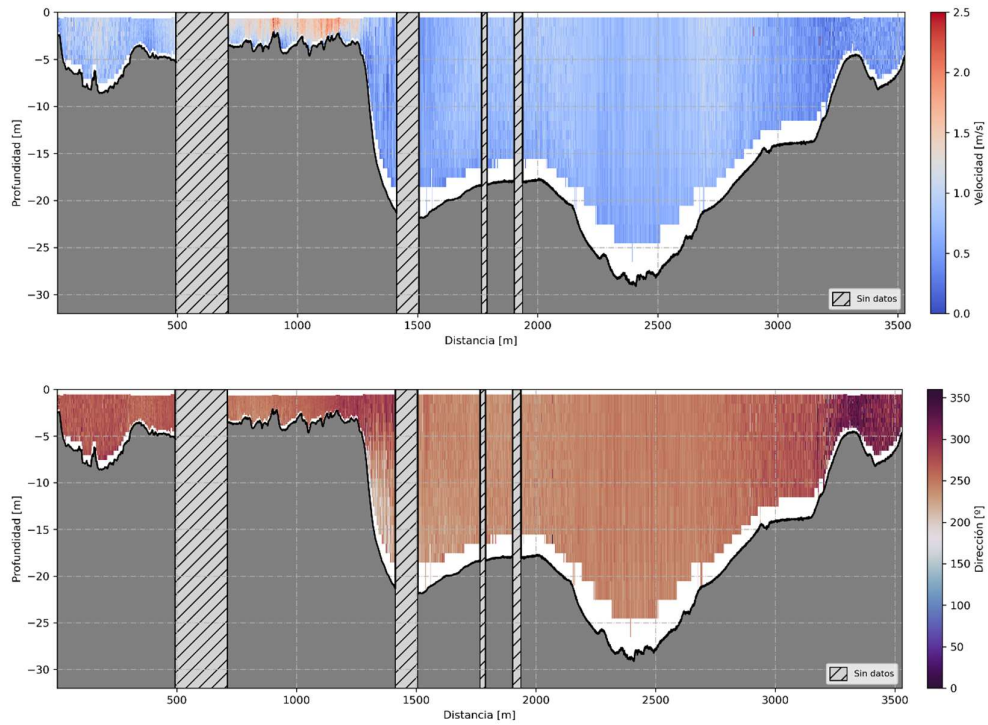


Figura 5.8. Velocidad (arriba) y dirección (abajo) del flujo para la transecta T01-RG-D1-S.

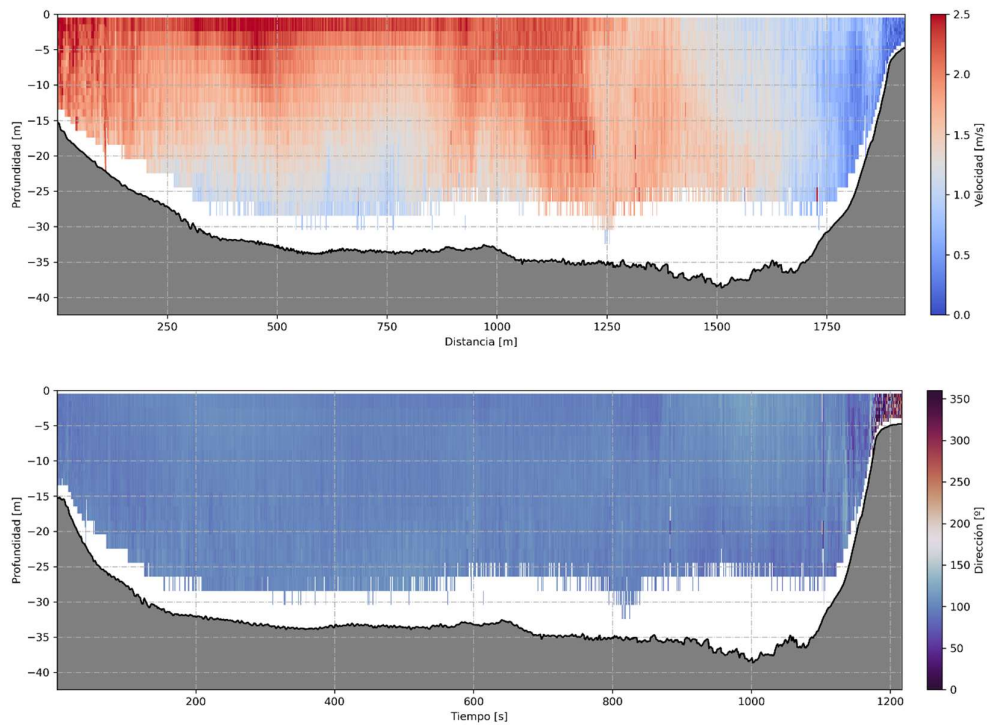


Figura 5.9. Velocidad (arriba) y dirección (abajo) del flujo para la transecta T01-RSC-D1-B.

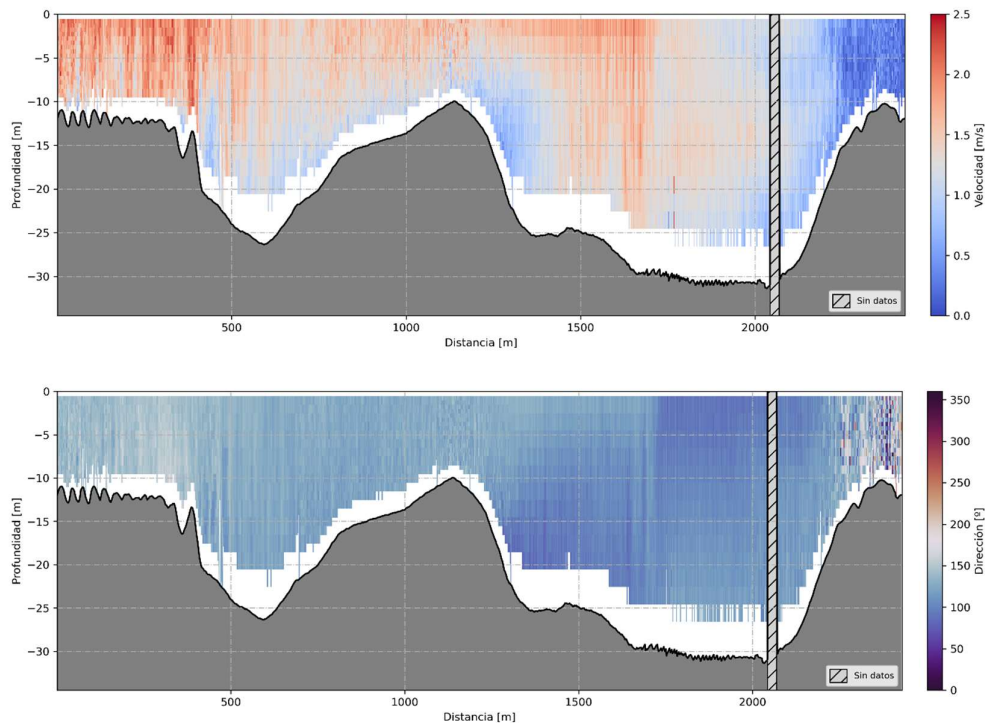


Figura 5.10. Velocidades (arriba) y dirección (abajo) del flujo en la transecta T02-RSC-D2-B.

5.3.2 Puntos fijos

Para las mediciones tomadas en los puntos fijos se observan resultados más estables en el tiempo y en profundidad, aunque producto de dificultades para mantener fija la posición (desplazamientos de la embarcación) en algunos casos se registran cambios batimétricos importantes, que resultan en una modificación del perfil de velocidades obtenido. También se detecta la presencia de toninas overas (*delfines de Commerson*) que generan interferencias puntuales en las mediciones.

En función de lo anterior se adopta la siguiente hipótesis: se considera que las distancias recorridas para las mediciones de tipo estáticas son lo suficientemente acotadas como para considerarlas como puntos fijos, a excepción de que las variaciones batimétricas modifiquen sustancialmente el perfil medido. En aquellos casos, se separa y analiza cada tramo de profundidades similares por separado.

Asumiendo que la recolección de datos por parte del ADCP obedece a una distribución normal, se procede a aplicar el método Z-Score para eliminar valores anómalos. El método consiste en filtrar valores eliminando todos aquellos que estén por fuera del rango de velocidades conformado por dos veces el desvío estándar (> 95% de confianza) de la medición, garantizando la eliminación de los valores alta y moderadamente inusuales. En caso de ser necesario, el procedimiento se efectúa nuevamente tras la eliminación de los valores que se encuentren fuera de dicho rango. Dado que esto implica una disminución en un 5% del rango de confianza por cada iteración, se busca un equilibrio entre la reducción de la dispersión y la maximización del intervalo de confianza.

Los datos recolectados se esquematizan luego graficando únicamente los valores medios de la velocidad/dirección del flujo y el intervalo de confianza definido por el proceso de filtrado en función de la calidad de la medición. Esto es posible dado que, en todos los casos, a mismo rango de profundidades se observan perfiles estables durante el tiempo de medición.

A continuación, se describen las principales características de cada medición, junto con las figuras resultantes.

5.3.2.1 PO2-RG-D1-S

Se trata de una medición de unos 15 minutos de duración, que presenta valores de velocidades medias de entre 0.8 m/s y 1.1 m/s, y direcciones entre 228° y 247°. Se la considera de muy buena calidad al no detectarse interferencias en las mediciones, ni valores anómalos significativos y presentar desplazamientos menores.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.11 se observa un perfil de velocidades de tipo logarítmico, con velocidades constantes para los primeros 12 metros de profundidad. El valor promediado en la profundidad es de 1 m/s y el intervalo de confianza de +/- 0.2 m/s. Por su parte, el perfil de direcciones mantiene su constancia en toda la columna de agua, con variaciones del tipo recto sin inclinación, con un valor promediado en la profundidad de 237° y un intervalo de confianza de +/- 8°.

En ambos los casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua.

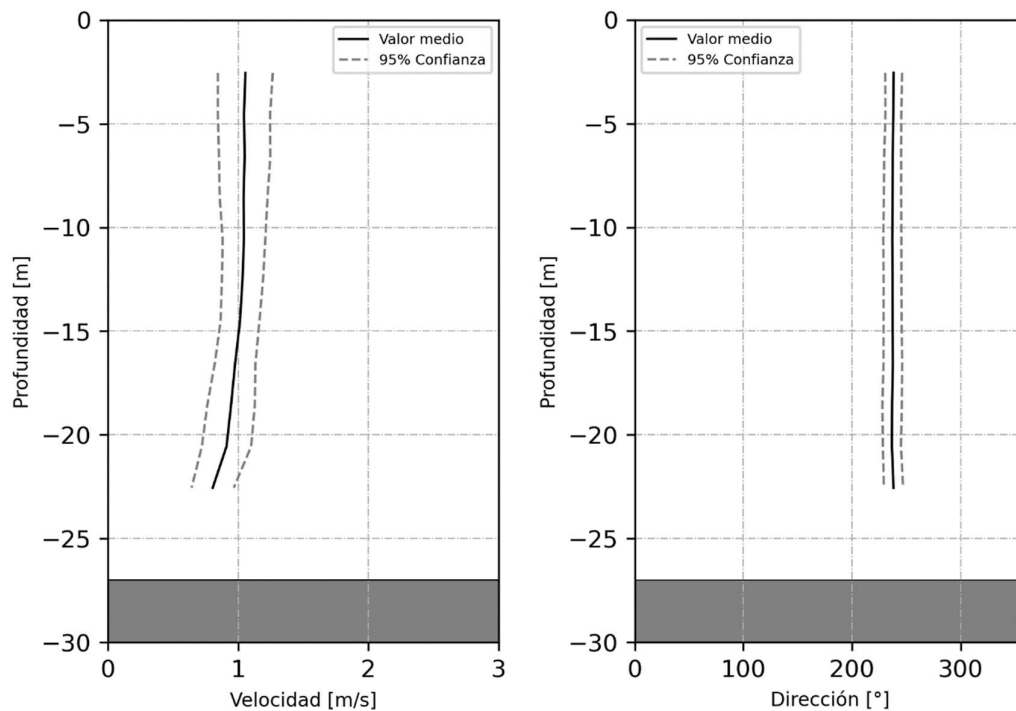


Figura 5.11. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RG-D1-S.

5.3.2.2 P01-RG-D1-S

En este caso, la medición es de algo más de 13 minutos y presenta velocidades medias que oscilan entre 0.3 m/s y 1.4 m/s, y direcciones medias entre 219° y 286°. La medición es de calidad media, dado que, si bien no se evidencian interferencias y hay muy pocos valores anómalos, los desplazamientos de la embarcación fueron mayores, manifestando bruscos cambios en la profundidad. Esta pasa de 8 metros a 19 metros en 2.5 minutos.

Producto de las variaciones en profundidad mencionadas anteriormente, se separa a la Figura 5.12 en 3 para cada variable (velocidad y dirección), en función de los distintos rangos batimétricos medidos. En este caso, los límites adoptados son 8, 14 y 19 metros. Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico que presentan valores medios de 1.2 m/s, 0.7 m/s y 0.7 m/s, e intervalos de confianza de +/- 0.4 m/s, 0.4 m/s y 0.3 m/s respectivamente. Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, constante para los casos de 8 y 14 metros de profundidad, y con una inclinación positiva para el caso de mayor profundidad. Los valores medios son de 282°, 266° y 247° con intervalos de confianza de +/- 25°, 44° y 31°.

En todos los casos se observan variaciones del valor medio con la profundidad relativamente suaves, a excepción del caso con datos de 8 a 14 metros de profundidad, en el que las variaciones son más bruscas. En este caso, también se percibe un fuerte incremento del intervalo de confianza a partir de los 7.5 metros para las direcciones. Todo esto, se estima, se debe a que en este caso se encuentran las mediciones correspondientes al cambio brusco de profundidad.

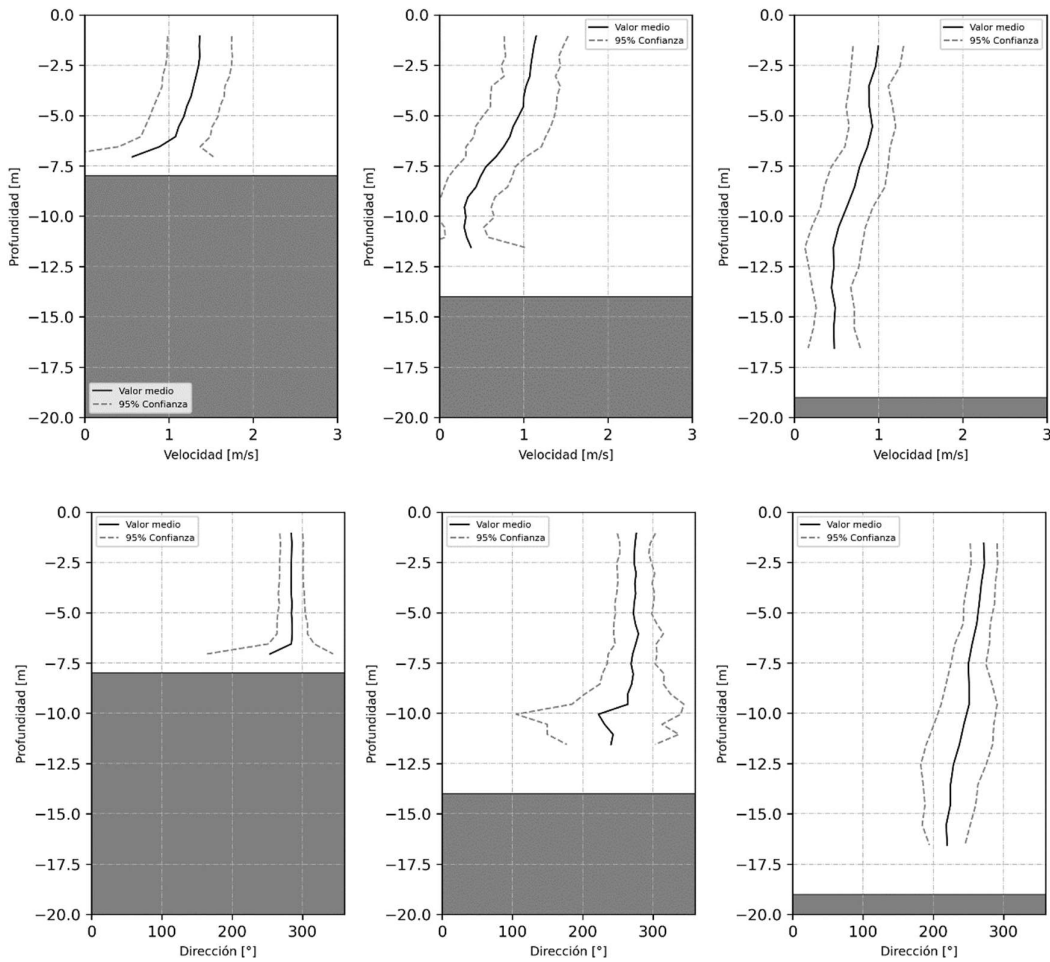


Figura 5.12. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (arriba) y dirección (abajo) de la medición P01-RG-D1-S.

5.3.2.3 P02-RG-D2-B

La medición es de casi 21 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.3 m/s y 1 m/s, y direcciones entre 44° y 83°. La medición es de calidad media, producto de algunas interferencias (delfines) y de la gran cantidad de valores anómalos obtenidos. También presenta desplazamientos menores.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.13 para las velocidades se observan variaciones del tipo recto con la profundidad, con una leve inclinación positiva. Presenta un valor medio de 0.4 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.3 m/s. Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, con una inclinación negativa. Cabe remarcar la evidencia de importante dispersión en los datos obtenidos, producto de los valores anómalos mencionados previamente. El valor medio es de 62° con un intervalo de confianza de +/- 41°.

Para ambas variables se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, a excepción de los datos de mayor profundidad, en los que esta disminuye.

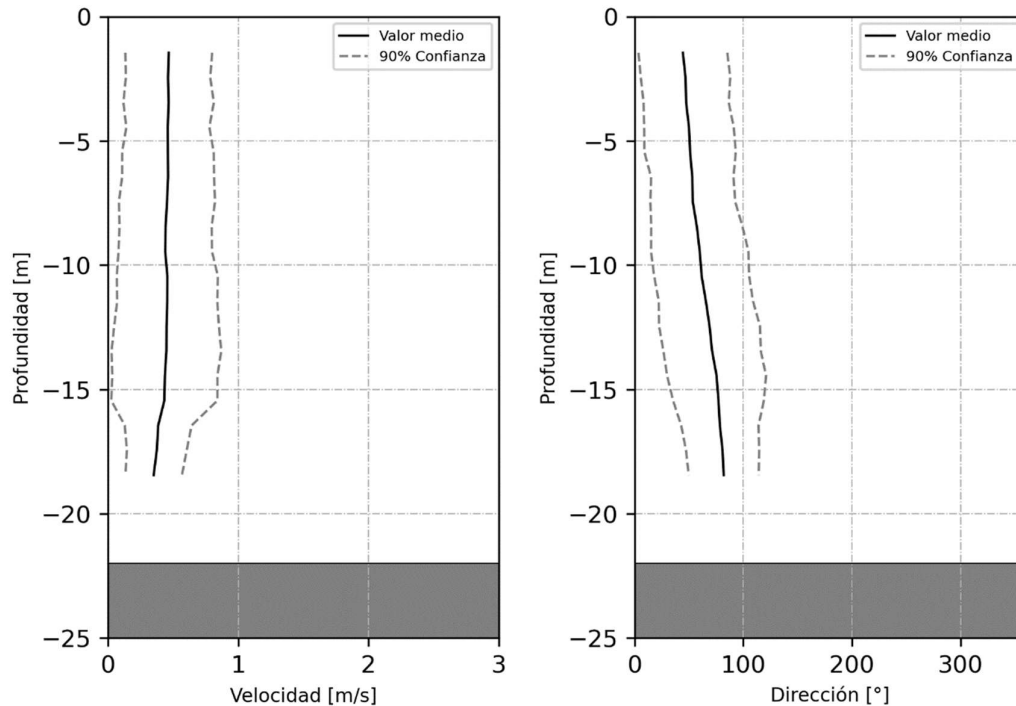


Figura 5.13. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RG-D2-B.

5.3.2.4 P01-RG-D2-S

Esta medición es de unos 25 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.2 m/s y 1 m/s, y direcciones entre 194° y 293°. La medición es de calidad media ya que, si bien no hubo interferencias ni valores anómalos, si ocurrieron desplazamientos importantes de la embarcación, produciendo cambios de 5 metros en la profundidad durante los primeros 12 minutos. Para garantizar mejores resultados se extendió el tiempo de medición otro tanto.

Debido a las variaciones en profundidad mencionadas anteriormente, se separa a la Figura 5.14 en 3 para cada variable (velocidad y dirección), en función de los distintos rangos batimétricos medidos. En este caso, los límites adoptados son 4, 6 y 7.5 metros, y para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico para el caso de menores profundidades y del tipo recto para los otros dos, con una inclinación positiva en ambos casos. Presentan valores medios de 0.8 m/s, 0.8 m/s y 0.4 m/s e intervalos de confianza de +/- 0.6 m/s, 0.5 m/s y 0.3 m/s respectivamente. Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, sin inclinación en los primeros dos casos, y una variación del tipo logarítmico en el tercer caso. Los valores medios son de 281°, 285° y 254° con intervalos de confianza de +/- 23°, 22° y 129°.

Se observan variaciones del valor medio con la profundidad suaves, salvo en tramos de los primeros dos casos para la velocidad, con intervalos de confianza que se mantienen constantes a lo largo de toda la columna de agua, salvo en el tercer caso para las direcciones.

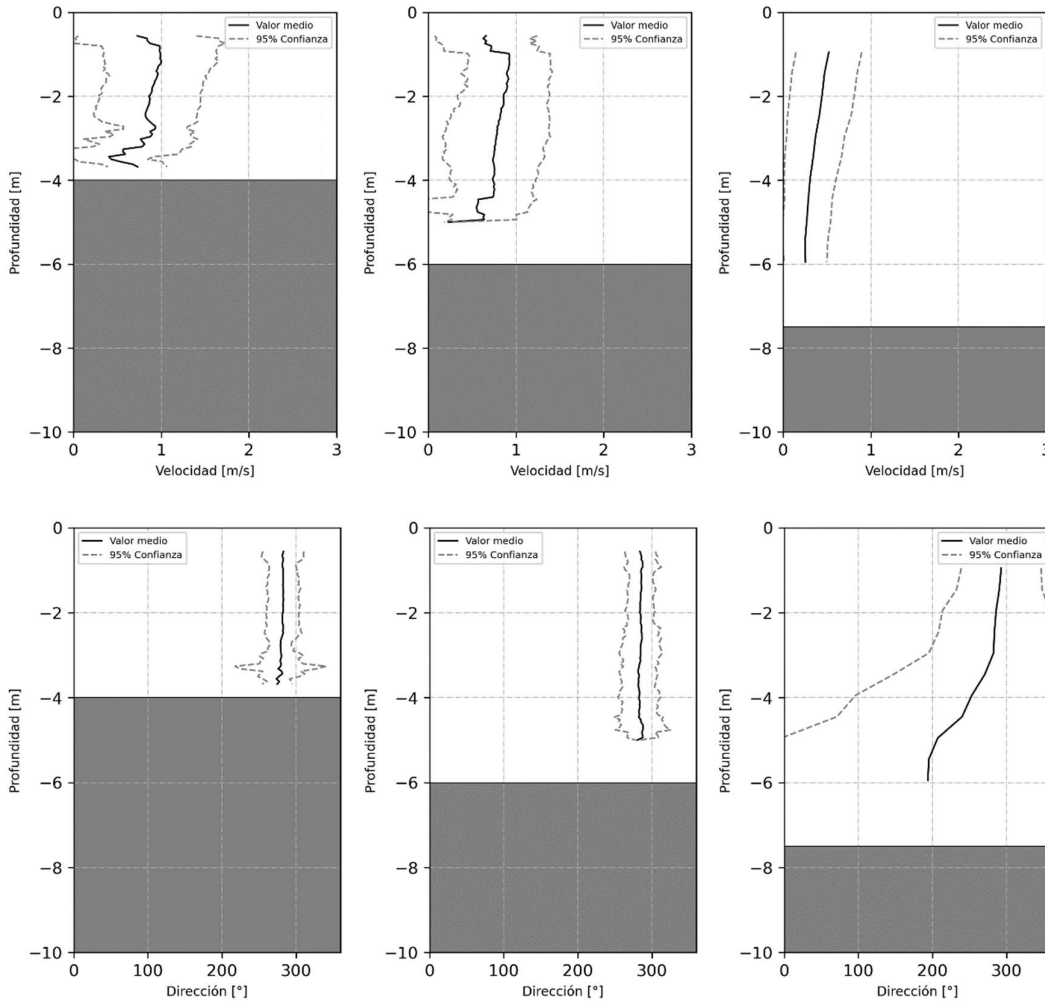


Figura 5.14. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (arriba) y dirección (abajo) de la medición P01-RG-D2-S.

5.3.2.5 P02-RG-D2-S

Esta medición es de casi 20 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.6 m/s y 1 m/s, y direcciones entre los 230° y 242°. La medición es de calidad media a buena, ya que no hubo interferencias, pero si algunos valores anómalos, y también ocurrieron desplazamientos de la embarcación importantes. Esto produjo cambios de 7 metros en la profundidad durante los primeros 8 minutos, por lo que se extendió el tiempo de medición para garantizar mejores resultados.

Nuevamente, producto de las variaciones en profundidad mencionadas anteriormente, se separa a la Figura 5.15 en 3 para cada variable (velocidad y dirección), en función de los distintos rangos

batimétricos medidos. En este caso, los límites adoptados son 17, 21 y 22 metros, y para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico en los tres casos. Presentan valores medios de 0.9 m/s, 0.9 m/s y 0.8 m/s e intervalos de confianza de +/- 0.2 m/s, 0.2 m/s y 0.2 m/s respectivamente. Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, sin inclinación en el primer caso, y con una leve inclinación positiva en los otros dos. Los valores medios son de 241°, 237° y 238° con intervalos de confianza de +/- 16°, 13° y 11°.

En todos los casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua.

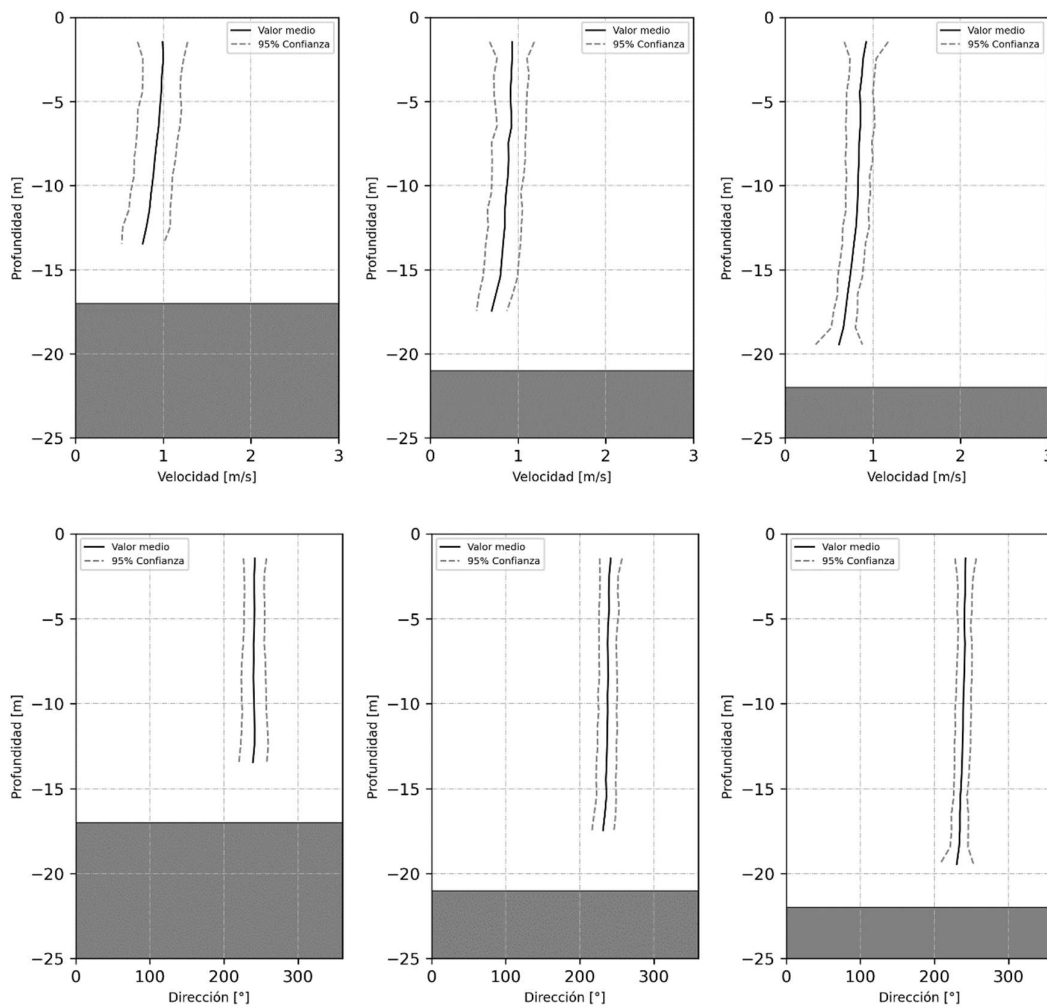


Figura 5.15. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (arriba) y dirección (abajo) de la medición P02-RG-D2-S.

5.3.2.6 P02-RSC-D1-B

Esta medición es de unos 20 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.9 m/s y 1.3 m/s y direcciones entre los 92° y 106°. La medición es de calidad buena, ya que hubo pocas interferencias (toninas) y pocos valores anómalos por desplazamientos menores de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.16 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 1.3 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.2 m/s. Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva con un valor medio es de 101° y un intervalo de confianza de +/- 10°.

En todos los casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, pero presentan un leve incremento en ambos casos (velocidad y dirección) con el aumento de las profundidades.

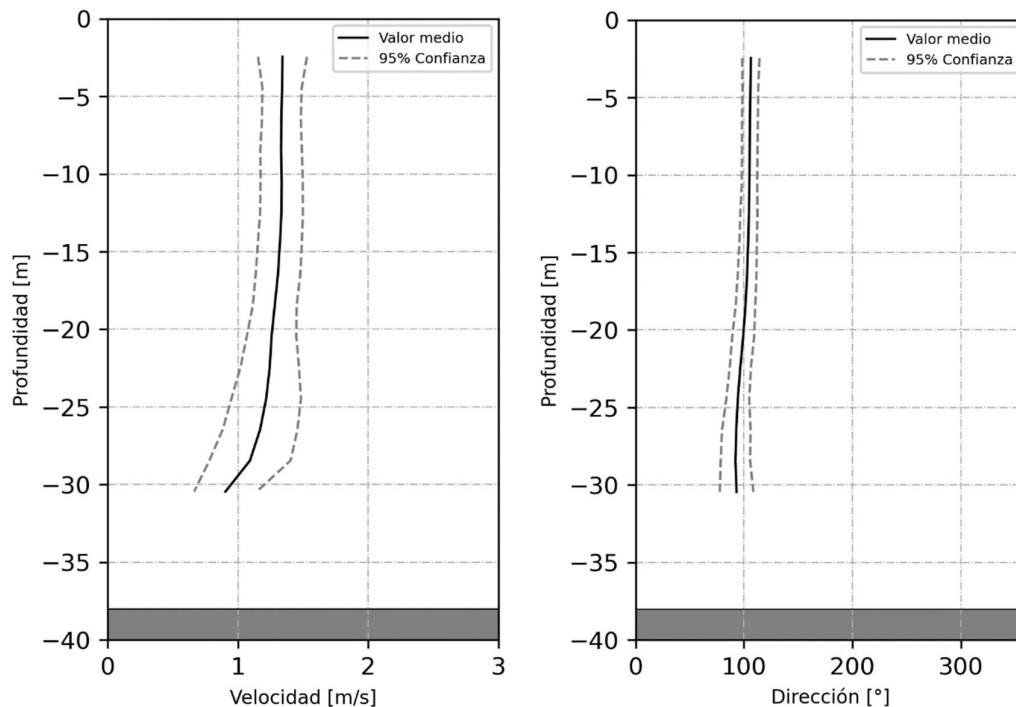


Figura 5.16. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RSC-D1-B.

5.3.2.7 P01-RSC-D1-B

Esta medición es de algo más de 6 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 1 m/s y 1.9 m/s en magnitud, y direcciones entre los 93° y 109°. La medición es de calidad buena, ya que no hubo interferencias, sólo unos pocos valores anómalos por desplazamientos de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad resultantes de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.17 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 1.6 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.2 m/s. Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 99° con un intervalo de confianza de +/- 8°.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con un leve aumento en la dispersión para profundidades mayores a 17 metros, coincidentes con los valores anómalos previamente enunciados.

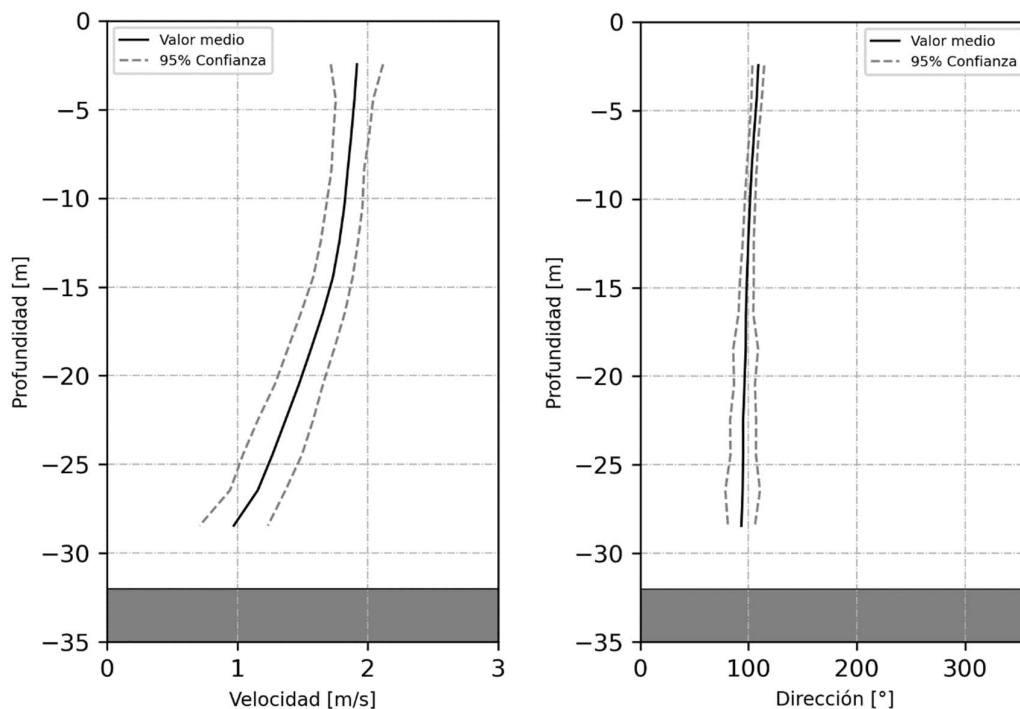


Figura 5.17. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P01-RSC-D1-B.

5.3.2.8 P03-RSC-D1-B

Esta medición es de unos 16 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.8 m/s y 1.7 m/s, y direcciones entre los 91° y 113°. La medición es de calidad buena, ya que hubo una sola interferencia (tonina) y unos pocos valores anómalos por desplazamientos de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.18 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 1.4 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.2 m/s.

Para las direcciones, se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 101° con un intervalo de confianza de $\pm 9^\circ$.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con un leve aumento de la dispersión de los datos obtenidos para profundidades mayores a 20 metros, coincidentes con los valores anómalos previamente enunciados.

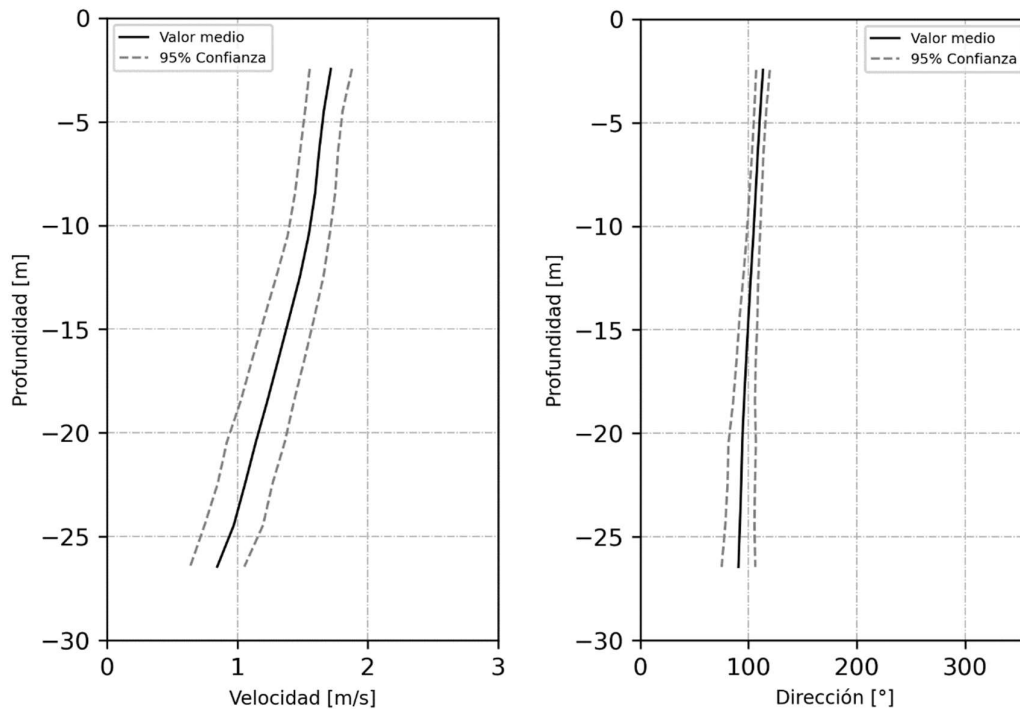


Figura 5.18. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P03-RSC-D1-B.

5.3.2.9 P01-RSC-D2-S

Esta es de unos 18 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.9 m/s y 1.4 m/s, y direcciones entre los 282° y 291° . La medición es de calidad buena, ya que hubo pocas interferencias (toninas) y algunos valores anómalos por desplazamientos de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.19 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 1.3 m/s y un intervalo de confianza de ± 0.3 m/s. Para las direcciones se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 286° con un intervalo de confianza de $\pm 19^\circ$.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua,

pero con un leve incremento con el aumento de las profundidades para el caso de la dirección a partir de los 17 metros.

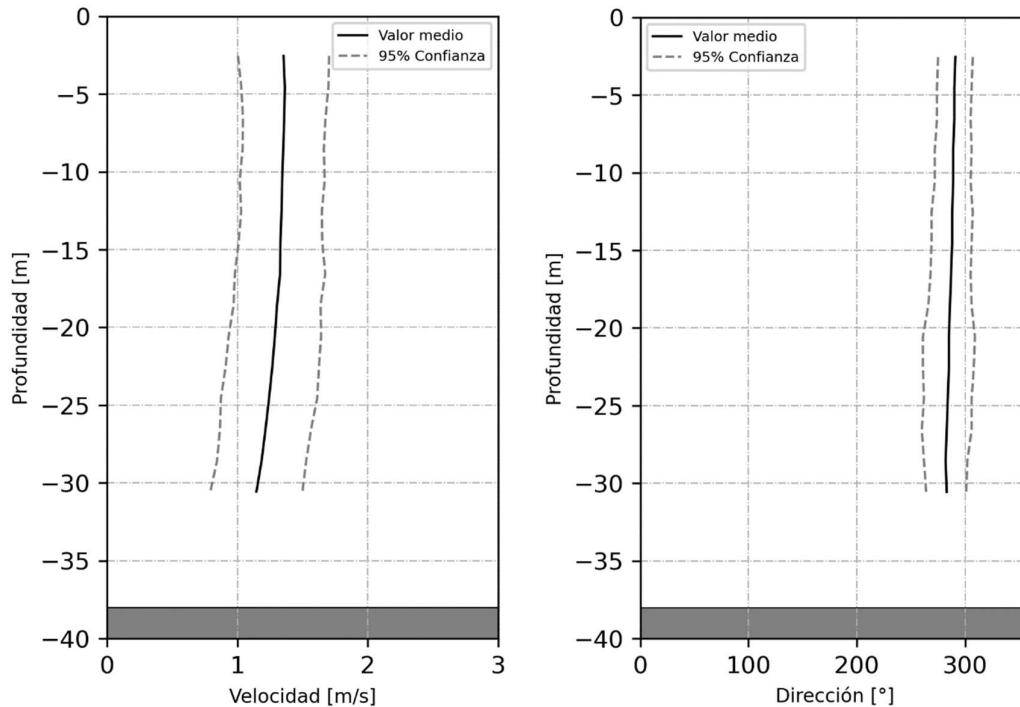


Figura 5.19. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P01-RSC-D2-S.

5.3.2.10 P02-RSC-D2-S

Esta medición es de unos 17 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 1.4 m/s y 1.6 m/s, y direcciones entre los 279° y 289°. La medición es de calidad media a buena, ya que hubo pocas interferencias (toninas) y algunos valores anómalos por desplazamientos de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.20 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico que presentan un valor medio de 1.5 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.5 m/s. Para las direcciones se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 283° con un intervalo de confianza de +/- 17°.

Los valores medios presentan variaciones suaves con la profundidad, y si bien los intervalos de confianza se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, para las velocidades se observa una considerable dispersión en los datos obtenidos. Cabe remarcar además, que en ambos casos no se cuenta con datos para el rango de profundidades de 27 a 40 metros producto de las limitaciones del ADCP utilizado.

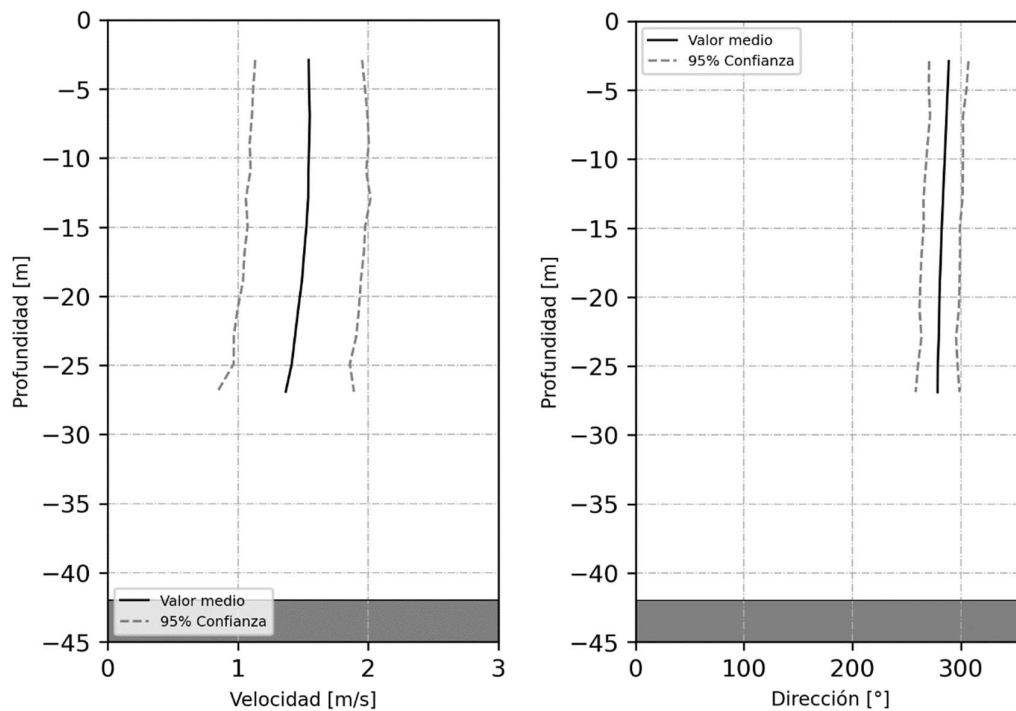


Figura 5.20. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RSC-D2-S.

5.3.2.11 P03-RSC-D2-S

Esta medición es de más de 17 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 0.6 m/s y 0.8 m/s, y direcciones entre los 260° y 303°. La medición es de calidad media a buena, ya que hubo pocas interferencias (toninas) y algunos valores anómalos por desplazamientos de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.21 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las magnitudes se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 0.8 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.4 m/s. Para las direcciones se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 287° con un intervalo de confianza de +/- 27°.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua.

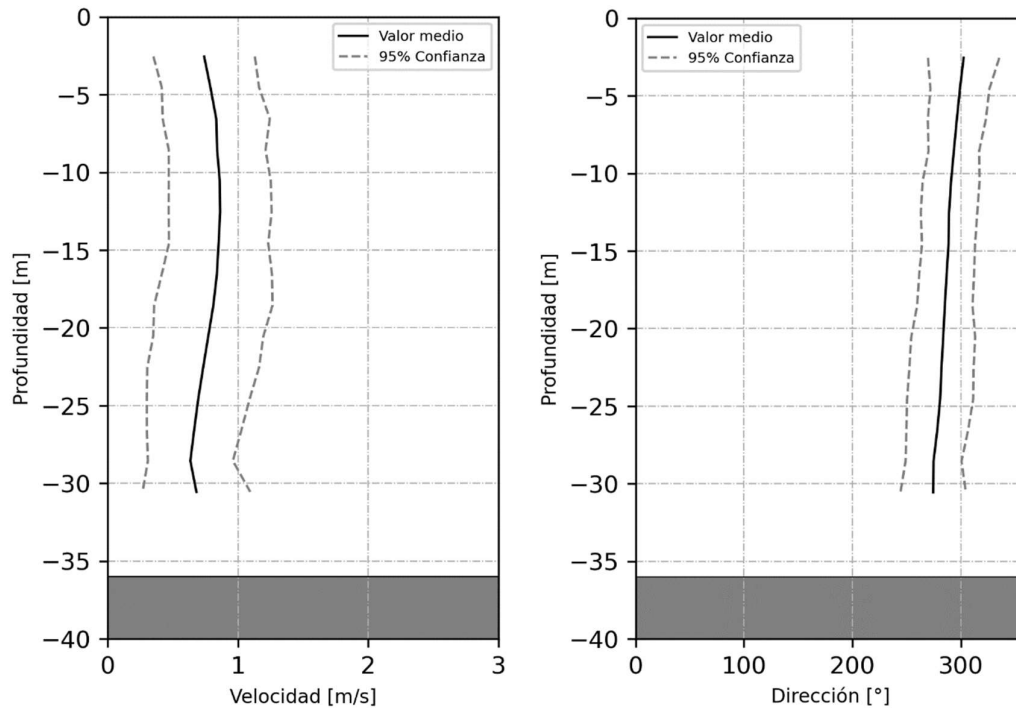


Figura 5.21. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P03-RSC-D2-S.

5.3.2.12 P01-RSC-D2-B

Esta medición es de unos 20 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 1.6 m/s y 2.7 m/s, y direcciones entre los 96° y 106°. La medición es de muy buena calidad, ya que sólo hubo interferencias durante los primeros 20 segundos de medición y cuyos valores fueron despreciados. Prácticamente no se registraron valores anómalos por desplazamientos de la embarcación.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación sean lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.22 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo recto con inclinación positiva, que presentan un valor medio de 2.1 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.4 m/s. Para las direcciones se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación negativa y un valor medio es de 102° con un intervalo de confianza de +/- 11°.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, pero con un leve incremento con el aumento de las profundidades para el caso de la dirección a partir de los 15 m.

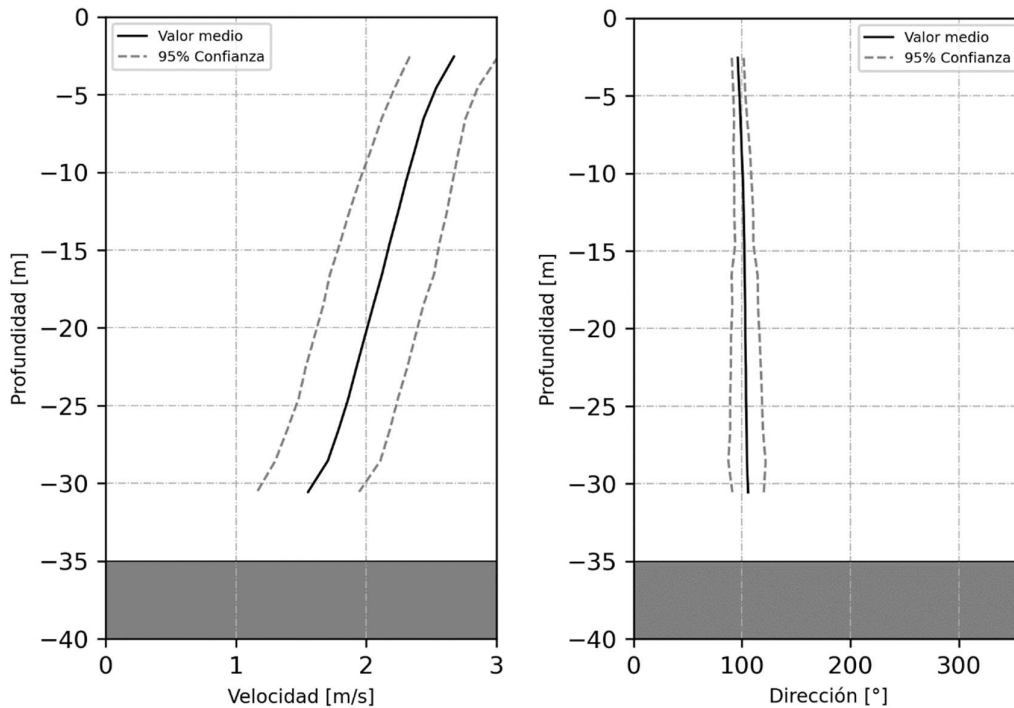


Figura 5.22. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P01-RSC-D2-B.

5.3.2.13 P02-RSC-D2-B

Esta es de unos 18 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 1 m/s y 1.8 m/s, y direcciones entre los 89° y 113°. La medición es de muy buena calidad, ya que hubo pocas interferencias (toninas) y prácticamente no hubo valores anómalos por desplazamientos de la embarcación menores.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.23 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 1.6 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.3 m/s. Para las direcciones se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 102° con un intervalo de confianza de +/- 8°.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, pero con un leve incremento para el entorno de los 15 metros de profundidad en el caso de la velocidad, y lo mismo con el aumento de las profundidades a partir de los 20 m para el caso de la dirección.

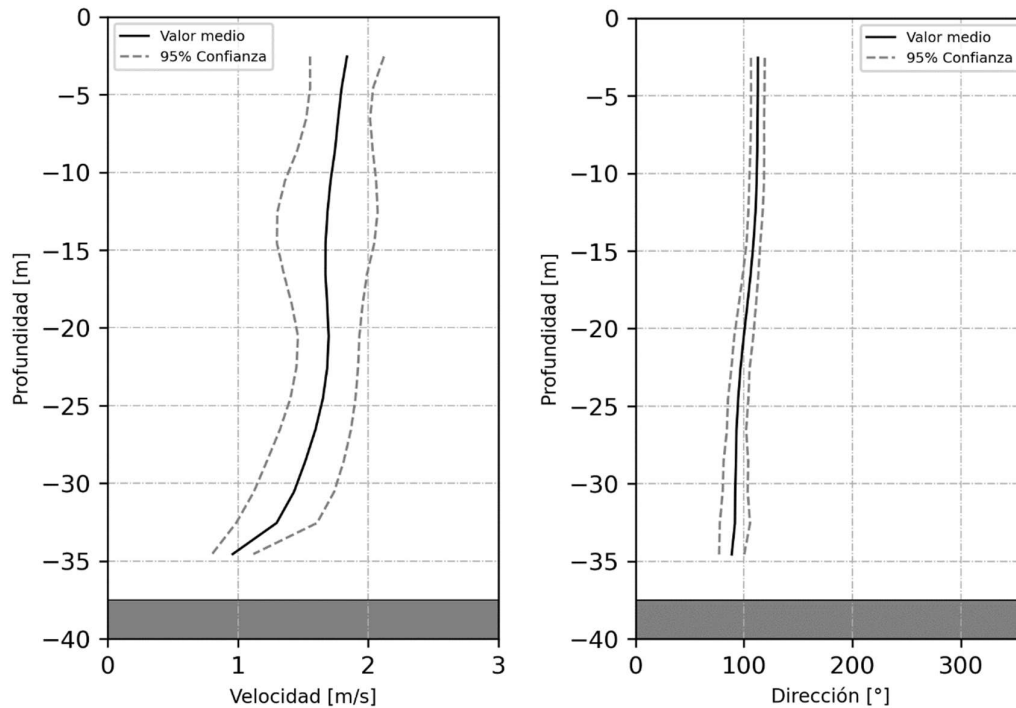


Figura 5.23. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RSC-D2-B.

5.3.2.14 P03-RSC-D2-B

Esta es de más de 16 minutos y presenta velocidades que oscilan entre 1.1 m/s y 2.3 m/s, y direcciones entre los 94° y 116°. La medición es de muy buena calidad, ya que hubo pocas interferencias (toninas), prácticamente no hubo valores anómalos por desplazamientos de la embarcación menores.

Se considera que las variaciones en profundidad producto de los desplazamientos de la embarcación no son lo suficientemente importantes como para separar los perfiles obtenidos por rangos de profundidades, por lo que en la Figura 5.24 se muestra un único caso para cada variable (velocidad y dirección). Para las velocidades se observan variaciones con la profundidad del tipo logarítmico, que presentan un valor medio de 1.9 m/s y un intervalo de confianza de +/- 0.3 m/s. Para las direcciones se observan variaciones del tipo recto, con una leve inclinación positiva y un valor medio es de 102° con un intervalo de confianza de +/- 8°.

En ambos casos se observan variaciones suaves del valor medio con la profundidad, con intervalos de confianza que se mantienen prácticamente constantes a lo largo de toda la columna de agua, pero con un leve incremento a partir de los 12 metros de profundidad, tanto para la velocidad como para la dirección.

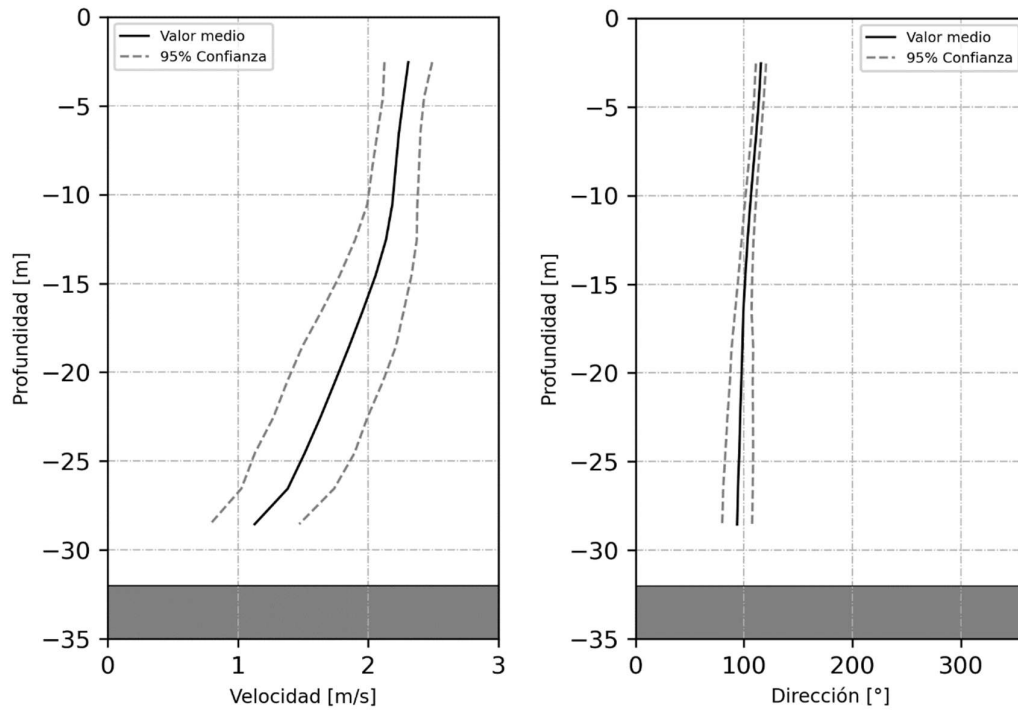


Figura 5.24. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P03-RSC-D2-B.

6 Conclusiones

En este trabajo se describen las características de la campaña de mediciones efectuada en los estuarios de los ríos Gallegos y Santa Cruz en mayo de 2022, ilustrando los resultados obtenidos. A continuación, se detallan las principales conclusiones de este estudio:

- Respecto al desarrollo de la campaña, se destaca el cumplimiento de los objetivos previamente planteados, posibilitados por las buenas condiciones meteorológicas al momento de efectuar las mediciones.
- A pesar de las dificultades presentes durante la campaña, producto de las maniobras realizadas por la embarcación y de la presencia de fauna en contacto con los sensores, además de las limitaciones propias de los instrumentos, los datos obtenidos son consistentes y de buena calidad.
- La comparación entre las mediciones de nivel georreferenciadas y las predicciones del SHN de onda de marea, aun siendo de corta duración, permite una aproximación a la validación de una de las hipótesis iniciales adoptadas en Bindelli *et al.* (2020): el principal forzante hidrodinámico, al menos en condiciones climáticas normales, es la marea astronómica.
- La medición conjunta de niveles de marea y velocidades permite referenciar verticalmente las profundidades obtenidas con ADCP y añadir esta fuente de datos adicional a lo relevado con la ecosonda. El resultado es una batimetría interpolada a partir de una mayor cantidad de datos, que por ende es más robusta.
- Los perfiles de velocidades relevados superan en cantidad a los estipulados originalmente, siendo en total 14 mediciones (5 en el estuario del río Gallegos y 9 en el del río Santa Cruz). Estos son representativos de distintos instantes de la onda de marea.
- Las velocidades registradas se encuentran en el orden de lo esperado, e incluso presentan valores superiores a estos en momentos puntuales, superando los 2 m/s para el estuario de río Gallegos y alcanzando los 3 m/s para el estuario del río Santa Cruz.
- A excepción de los casos en los que los desplazamientos de la embarcación resultan en variaciones batimétricas importantes, los perfiles medidos presentan constancia en magnitud y forma, tanto para las velocidades como para las direcciones, en el intervalo de

medición adoptado en cada caso. Esto permite validar la aproximación adoptada de representar a los perfiles por su valor medio más el intervalo de confianza elegido en cada caso, para mediciones de hasta 25 minutos.

- Todas las mediciones presentan dispersión en sus datos. Considerando un intervalo de confianza de entre 90% y 95% según el caso, para 9 de las 14 mediciones esta es menor a ± 0.3 m/s en velocidad y para 10 de 14 esta es menor a $\pm 20^\circ$ en dirección. Las mediciones restantes alcanzan dispersiones de hasta ± 0.6 m/s y $\pm 44^\circ$, con un caso puntual de $\pm 129^\circ$.
- Las direcciones de la onda en crecida para todas las mediciones de ambos estuarios tienen 180° de diferencia con sus respectivas ondas de bajada. Las ondas en crecida de los tres puntos seleccionados (P01, P02 y P03) para el estuario del río Santa Cruz tienen una dirección promedio de 100° y las ondas de bajante de 280° . Para el estuario del río Gallegos, la dirección promedio de la onda de crecida es de 280° para el P01 y de 240° para el P02, mientras que en la onda en bajada sólo se cuenta con datos para el P02, con valor promedio de 60° . Estas diferencias de 180° entre onda en crecida y onda en bajada implican una direccionalidad muy definida del flujo, que resulta de gran interés para el empleo de turbinas reversibles.

Referencias

- Archer, A.W., 2013. World's highest tides: Hypertidal coastal systems in North America, South America and Europe. *Environmental Science. Sedimentary Geology*. DOI: 10.1016/J.SEDGEO.2012.12.007.
- Bindelli, L., Kazimierski, L., Re, M., 2020. Evaluación del potencial energético de las corrientes de marea en estuarios patagónicos mediante modelación numérica. Modelos numéricos y potencial energético. Informe LHA 02-372-18, Instituto Nacional del Agua, Ezeiza.
- Bindelli, L., Kazimierski, L., Re, M., 2022. Análisis comparativo del potencial hidrocínético de cinco estuarios patagónicos. XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 7-11 de noviembre, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Buono, N., Zabaleta, F., Cáceres, R., Tomazín, N., Cecotti, R., 2016. Estudio del recurso energético marino sobre el estuario del Río Gallegos. III Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos, Ezeiza, Argentina.

Anexo I – Fotografías de la campaña

Durante toda la campaña, el equipo del INA realizó capturas fotográficas del trabajo emprendido y el entorno en el cual se llevaban a cabo las mediciones a modo de lograr una caracterización más completa de los cuerpos de agua. En este apartado se muestran algunas de esas capturas fotográficas para ambos sitios.

6.1 Estuario del río Gallegos

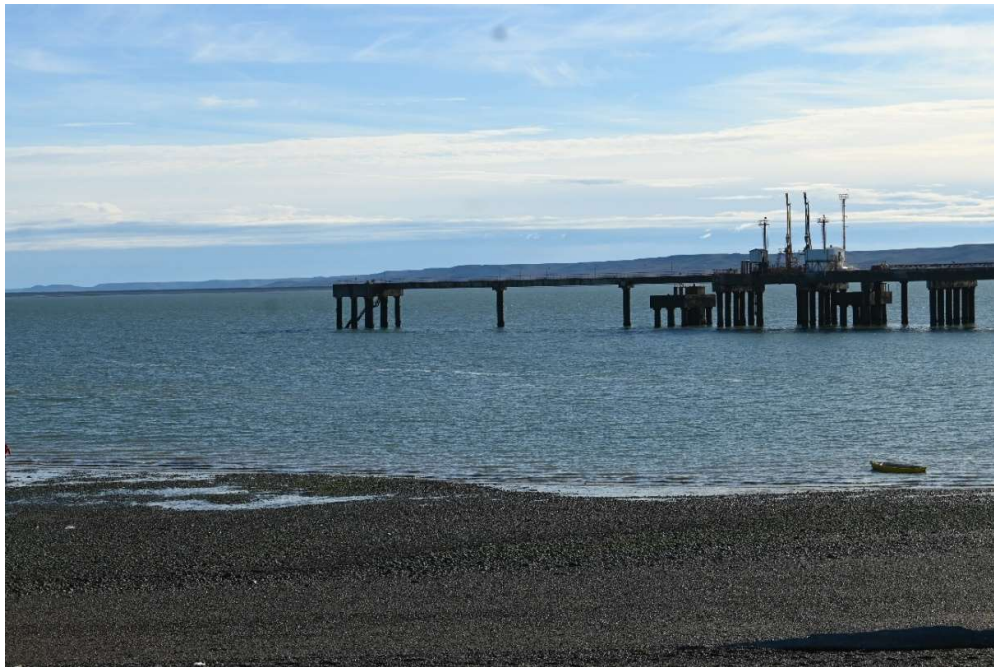


Figura A-I.1. Puerto de Punta Loyola.



Figura A-I.2. Regla de nivel del puerto de Punta Loyola.



Figura A-I.3. Carga y armado de equipos al bote semirrígido.



Figura A-I.4. Botadura del semirrígido por PNA.



Figura A-I.5. Armado y operación de equipos.



Figura A-I.6. Colocación de estación GPS para georreferenciación de datos.



Figura A-I.7. Fauna marina presente en el estuario durante las mediciones: Lobo Marino (izquierda) y Toninas (derecha).

6.2 Estuario del río Santa Cruz



Figura A-I.8. Regla de nivel del puerto de Punta Quilla.



Figura A-I.9. Sensor de nivel colocado en el puerto de Punta Quilla.

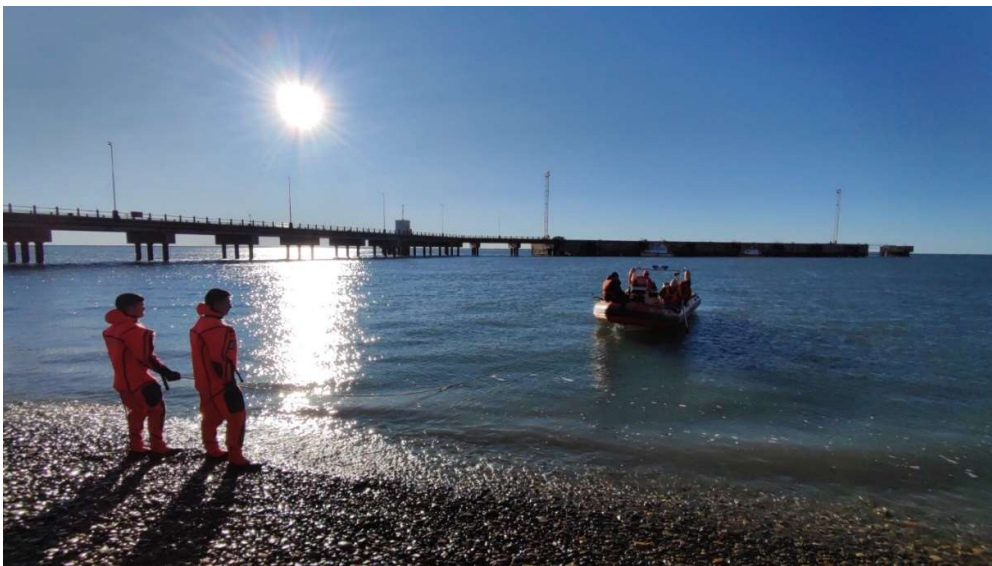


Figura A-I.10. Puerto de Punta Quilla, embarcación utilizada y tripulación.



Figura A-I.11. ADCP en posición de reposo y configuración utilizada.



Figura A-I.12. ADCP en posición de medición y configuración utilizada.



Figura A-I.13. Ecosonda en posición de medición y configuración utilizada.



Figura A-I.14. Toninas overas interactuando con la embarcación.

Anexo II – Fichas técnicas

En este anexo se describen las principales características de cada medición a partir de las figuras y los datos más representativos, con el objetivo de sintetizar y facilitar el acceso a la información recolectada en cada caso. La información provista en cada ficha está compuesta por:

- Las figuras de los perfiles de valores medios con intervalo de confianza en velocidad y dirección del flujo.
- La figura de ubicación de la medición en el estuario, incluyendo la batimetría resultante de los datos recolectados.
- La figura de la ubicación temporal dentro del ciclo de marea, que permite identificar la magnitud relativa de los valores obtenidos respecto de sus máximos valores posibles dentro del ciclo completo de marea.
- Una tabla que resume características propias de la medición, como la duración y los valores obtenidos de velocidad y dirección promediados en profundidad.

6.3 P02-RG-D1-S

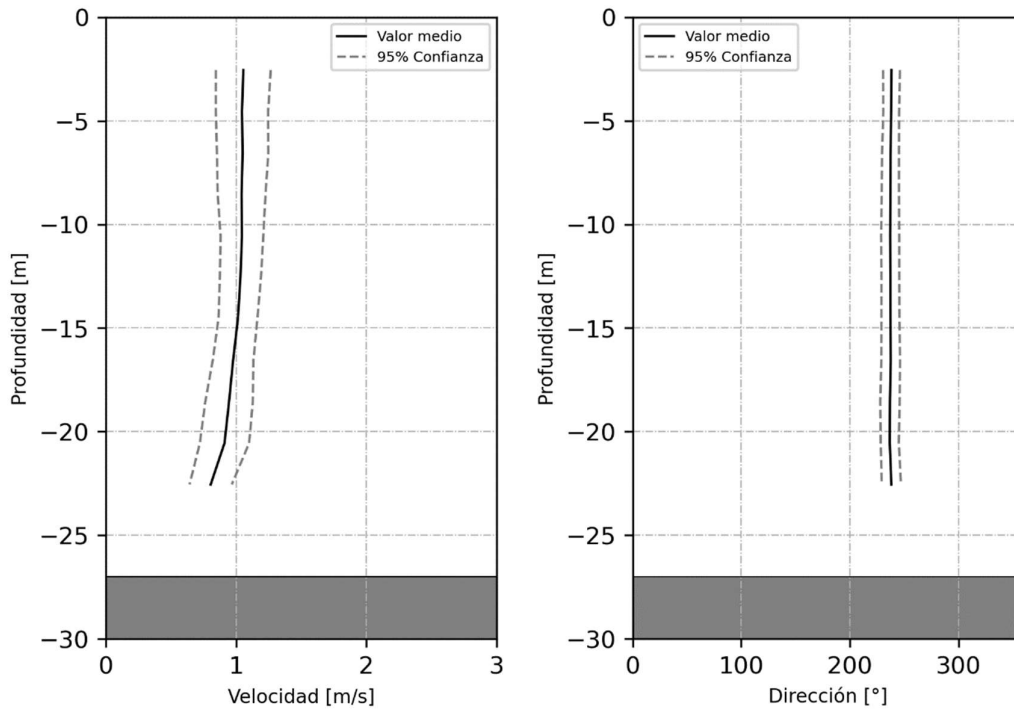


Figura A-II.1. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RG-D1-S.

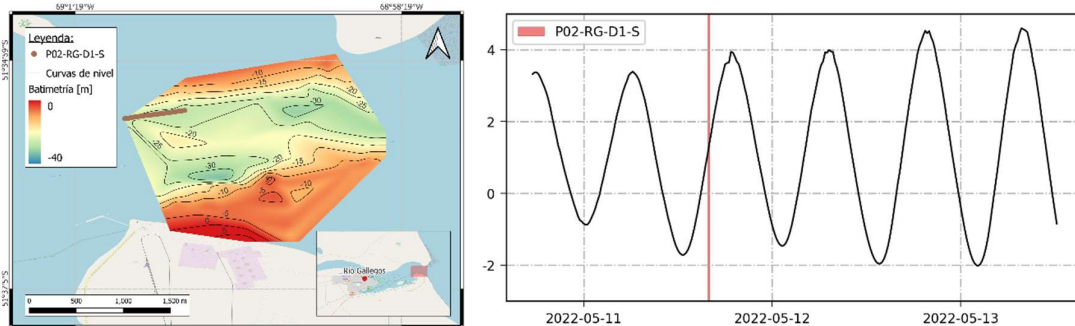


Figura A-II.2. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P02-RG-D1-S.

Tabla A-II.1. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P02-RG-D1-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P02-RG-D1-S | 15 | 27 | 1.0 | +/- 0.2 | 237 | +/- 8 |

6.4 P01-RG-D1-S

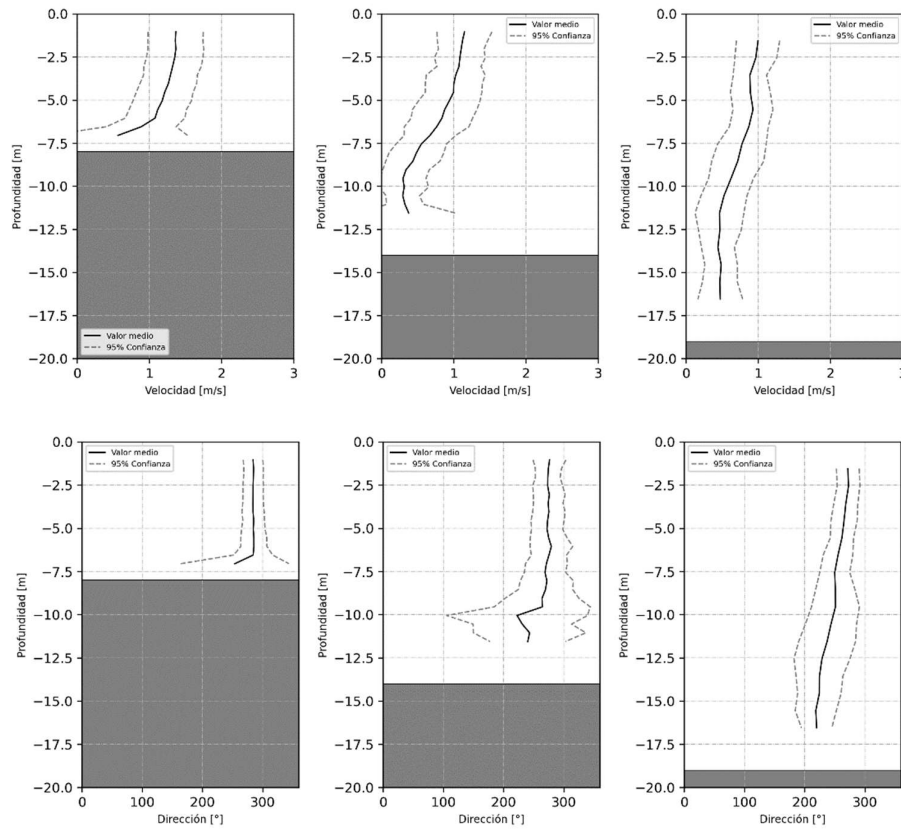


Figura A-II.3. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (arriba) y dirección (abajo) de la medición P01-RG-D1-S.

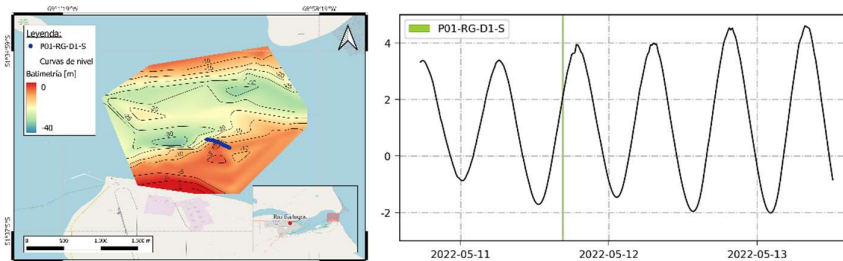


Figura A-II.4. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P01-RG-D1-S.

Tabla A-II.2. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P01-RG-D1-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P01-RG-D1-S | 13 | 8 | 1.2 | +/- 0.4 | 282 | +/- 25 |
| | | 14 | 0.7 | +/- 0.4 | 266 | +/- 44 |
| | | 19 | 0.7 | +/- 0.3 | 247 | +/- 31 |

6.5 P02-RG-D2-B

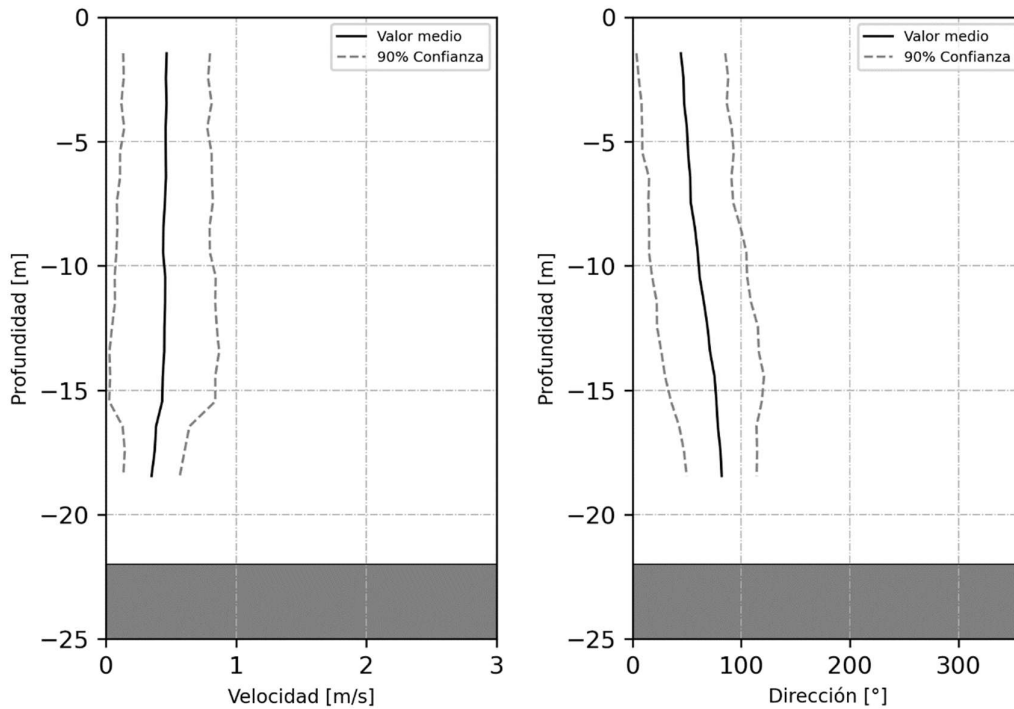


Figura A-II.5. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RG-D2-B.

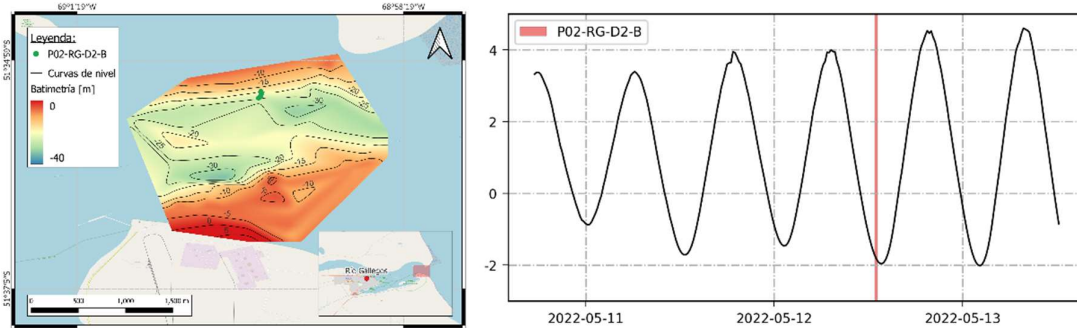


Figura A-II.6. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P02-RG-D2-B.

Tabla A-II.3. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P02-RG-D2-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P02-RG-D2-B | 21 | 22 | 0.4 | +/- 0.3 | 62 | +/- 41 |

6.6 P01-RG-D2-S

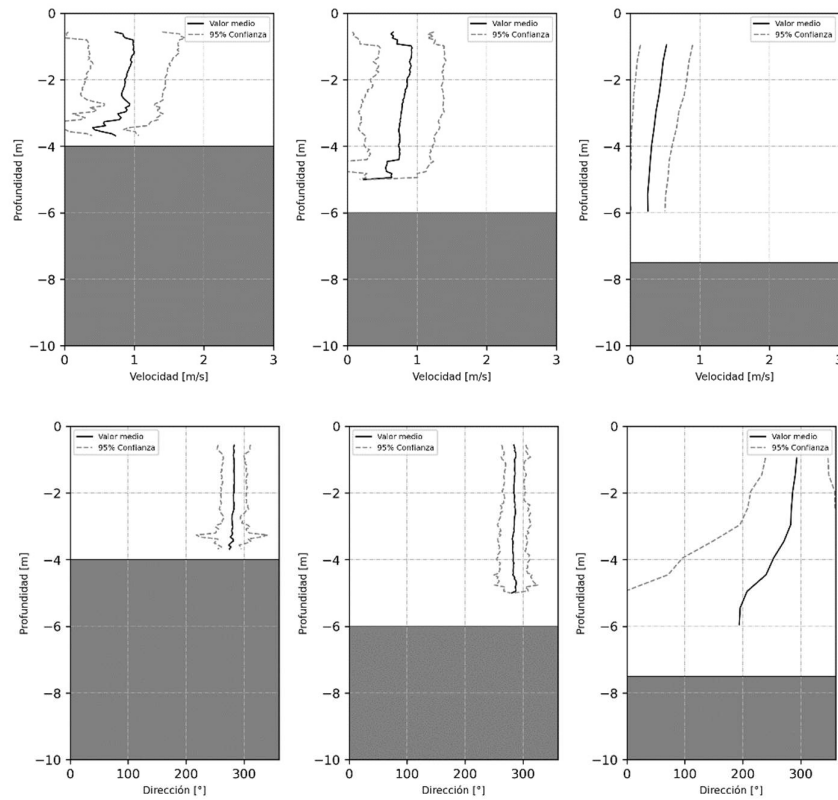


Figura A-II.7. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (arriba) y dirección (abajo) de la medición P01-RG-D2-S.

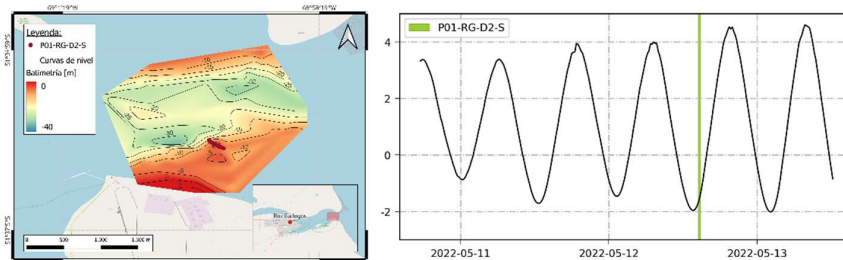


Figura A-II.8. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P01-RG-D2-S.

Tabla A-II.4. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P01-RG-D2-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P01-RG-D2-S | 25 | 4 | 0.8 | +/- 0.6 | 281 | +/- 23 |
| | | 6 | 0.8 | +/- 0.5 | 285 | +/- 22 |
| | | 7.5 | 0.4 | +/- 0.3 | 254 | +/- 129 |

6.7 P02-RG-D2-S

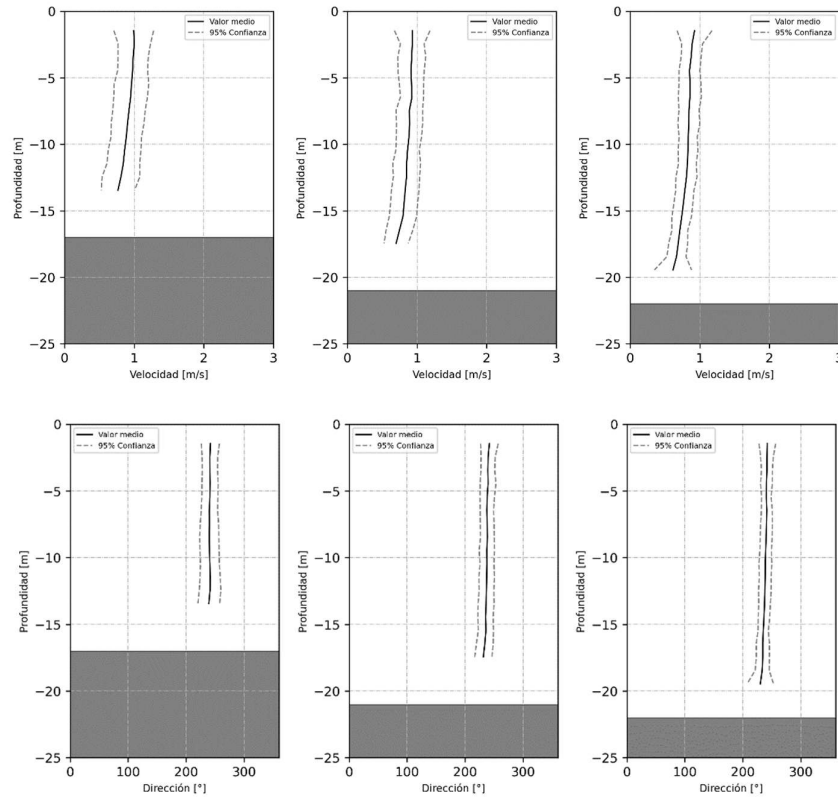


Figura A-II.9. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (arriba) y dirección (abajo) de la medición P02-RG-D2-S.

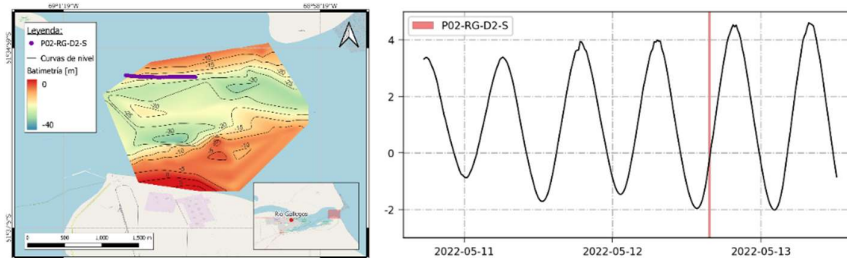


Figura A-II.10. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P02-RG-D2-S.

Tabla A-II.5. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P02-RG-D2-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P02-RG-D2-S | 20 | 17 | 0.9 | +/- 0.2 | 241 | +/- 16 |
| | | 21 | 0.9 | +/- 0.2 | 237 | +/- 13 |
| | | 22 | 0.8 | +/- 0.2 | 238 | +/- 11 |

6.8 P02-RSC-D1-B

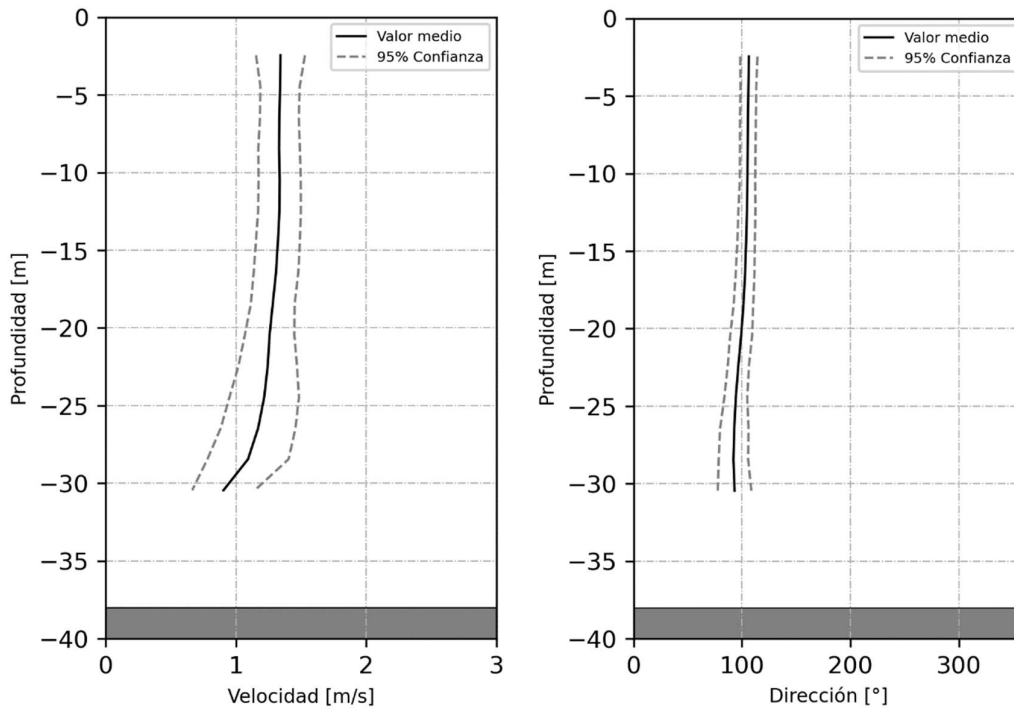


Figura A-II.11. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RSC-D1-B.

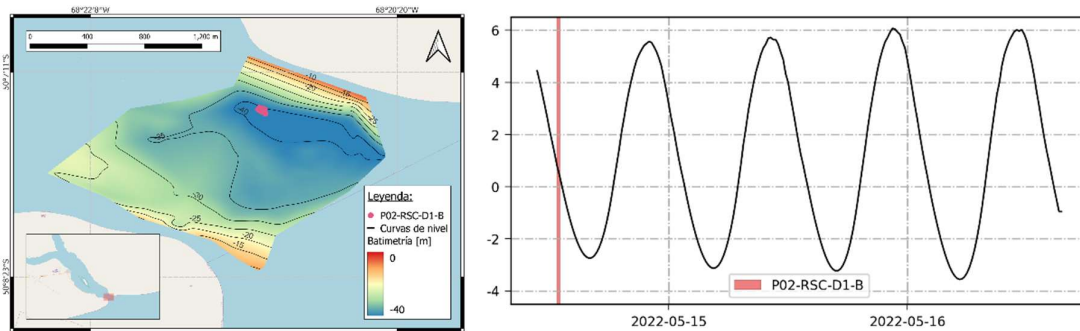


Figura A-II.12. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P02-RSC-D1-B.

Tabla A-II.6. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P02-RSC-D1-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P02-RSC-D1-B | 20 | 38 | 1.3 | +/- 0.2 | 101 | +/- 10 |

6.9 P01-RSC-D1-B

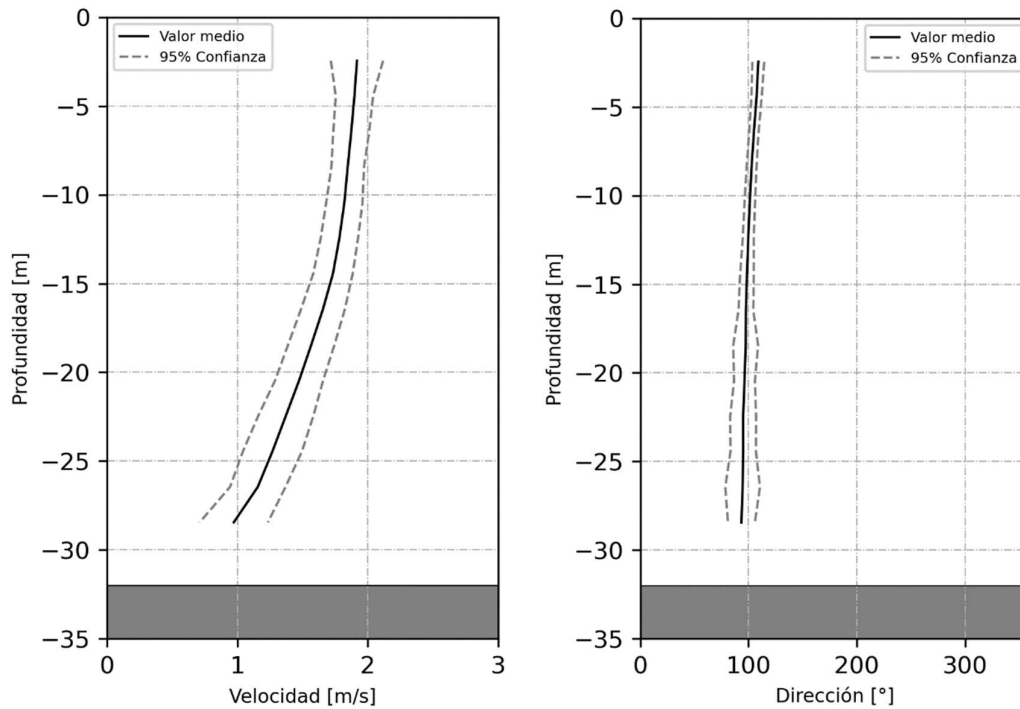


Figura A-II.13. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P01-RSC-D1-B.

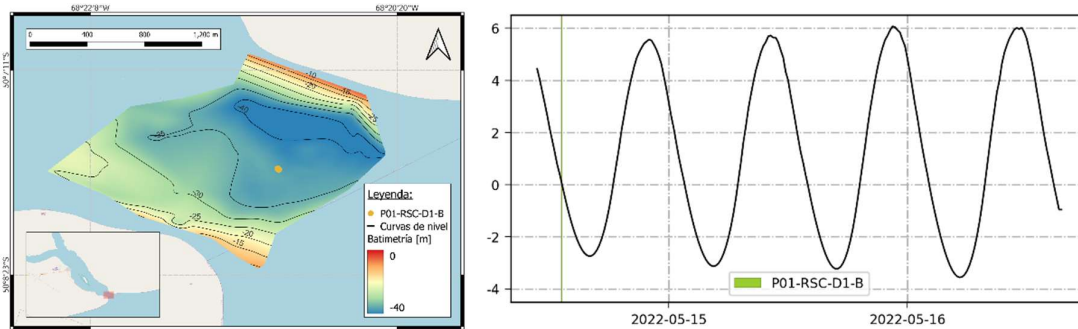


Figura A-II.14. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P01-RSC-D1-B.

Tabla A-II.7. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P01-RSC-D1-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P01-RSC-D1-B | 6 | 32 | 1.6 | +/- 0.2 | 99 | +/- 8 |

6.10 P03-RSC-D1-B

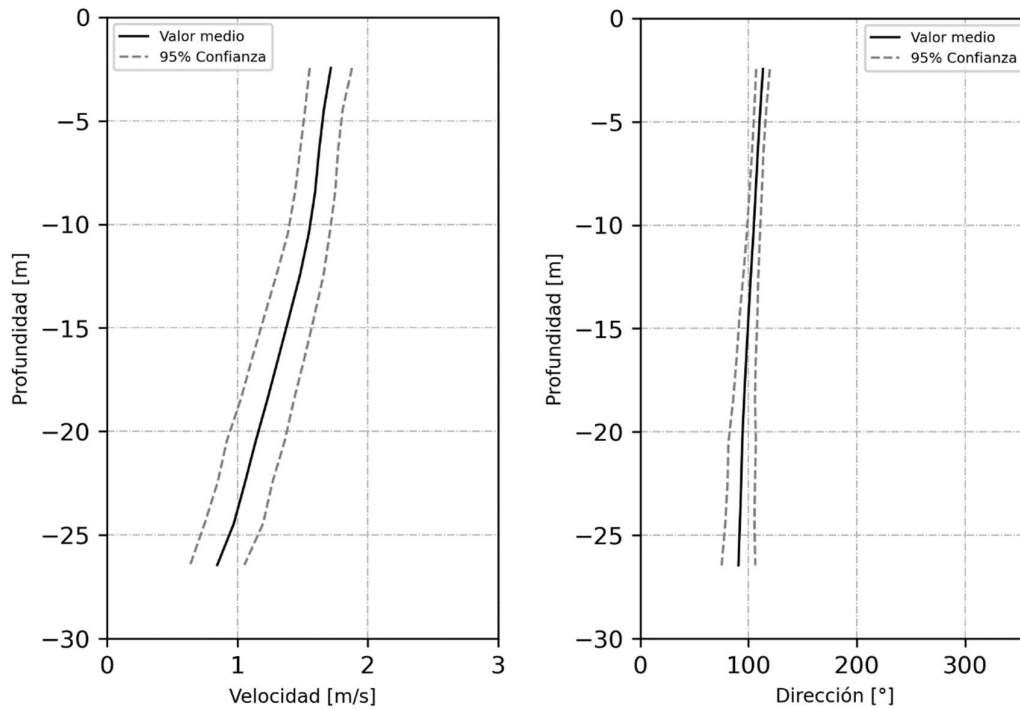


Figura A-II.15. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P03-RSC-D1-B.

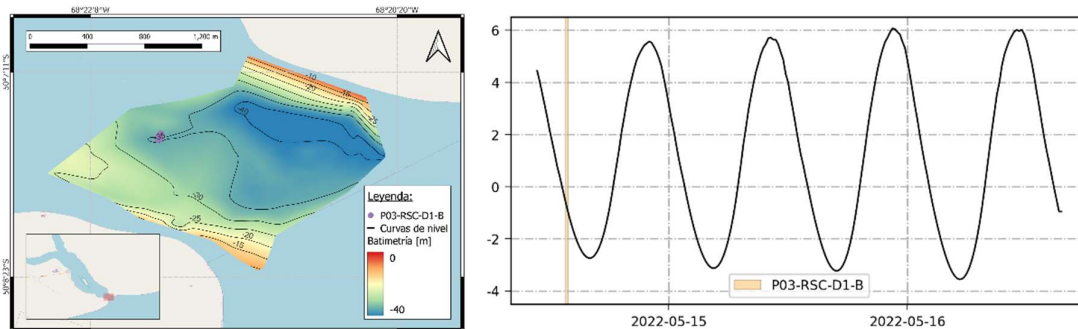


Figura A-II.16. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P03-RSC-D1-B.

Tabla A-II.8. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P03-RSC-D1-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P03-RSC-D1-B | 16 | 30 | 1.4 | +/- 0.2 | 101 | +/- 9 |

6.11 P01-RSC-D2-S

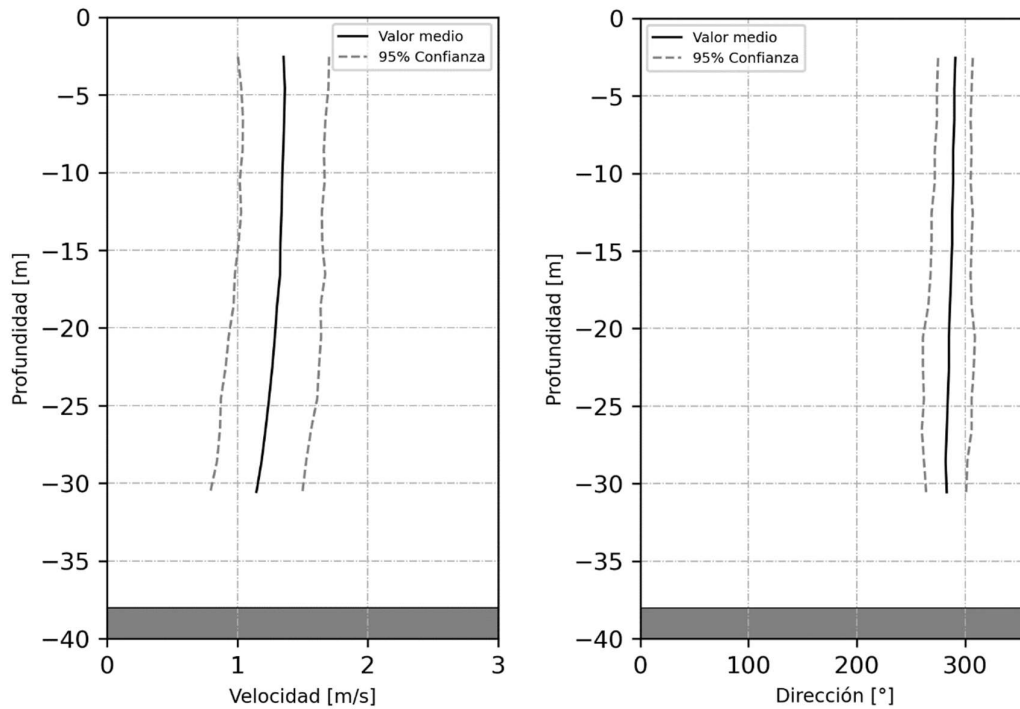


Figura A-II.17. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P01-RSC-D2-S.

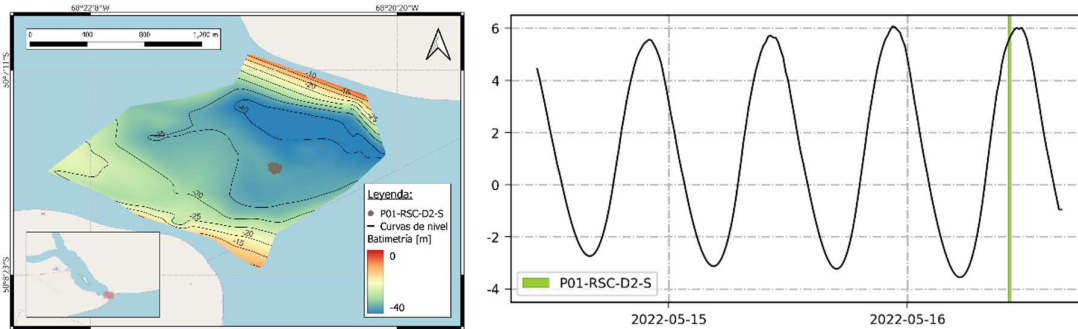


Figura A-II.18. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P01-RSC-D2-S.

Tabla A-II.9. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P01-RSC-D2-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P01-RSC-D2-S | 18 | 38 | 1.3 | +/- 0.3 | 287 | +/- 19 |

6.12 P02-RSC-D2-S

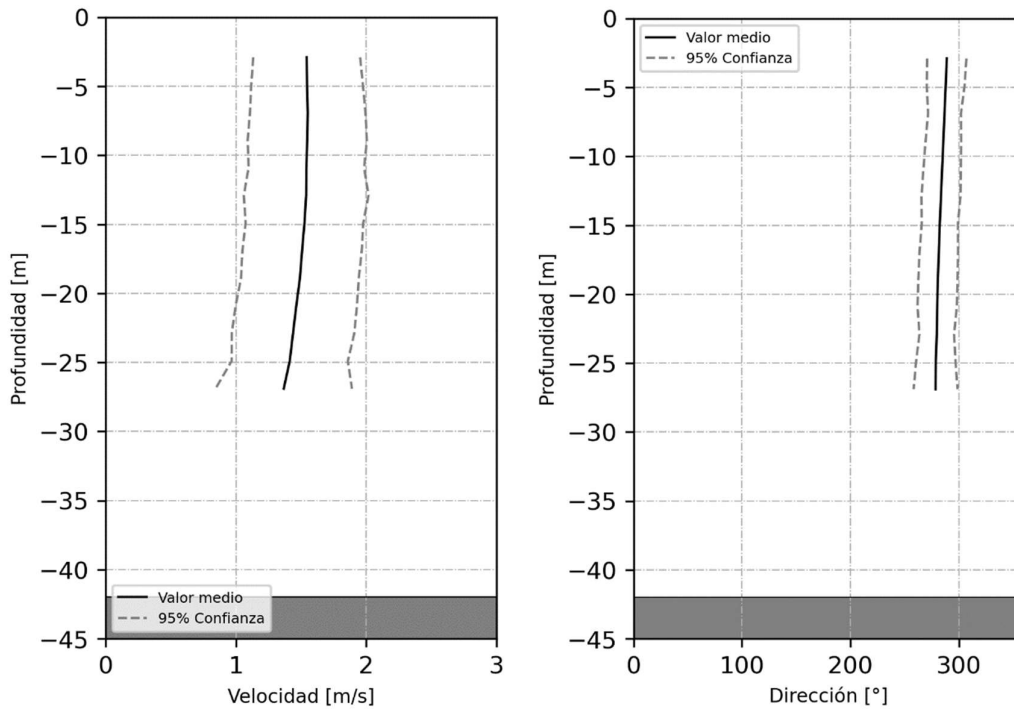


Figura A-II.19. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RSC-D2-S.

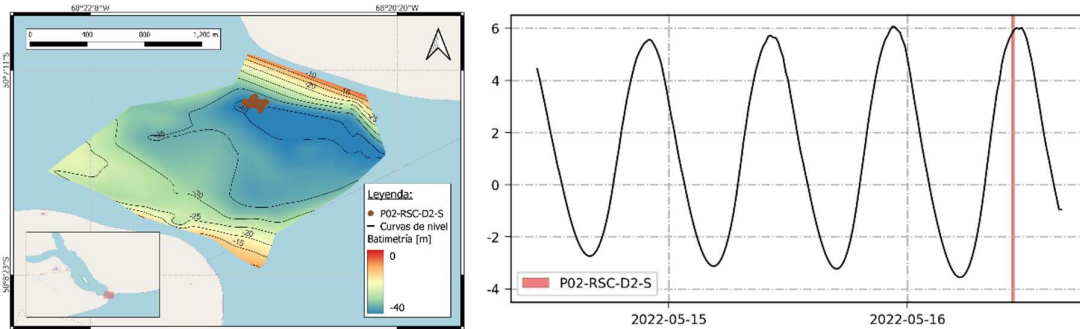


Figura A-II.20. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P02-RSC-D2-S.

Tabla A-II.10. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P02-RSC-D2-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P02-RSC-D2-S | 17 | 42 | 1.5 | +/- 0.5 | 283 | +/- 17 |

6.13 P03-RSC-D2-S

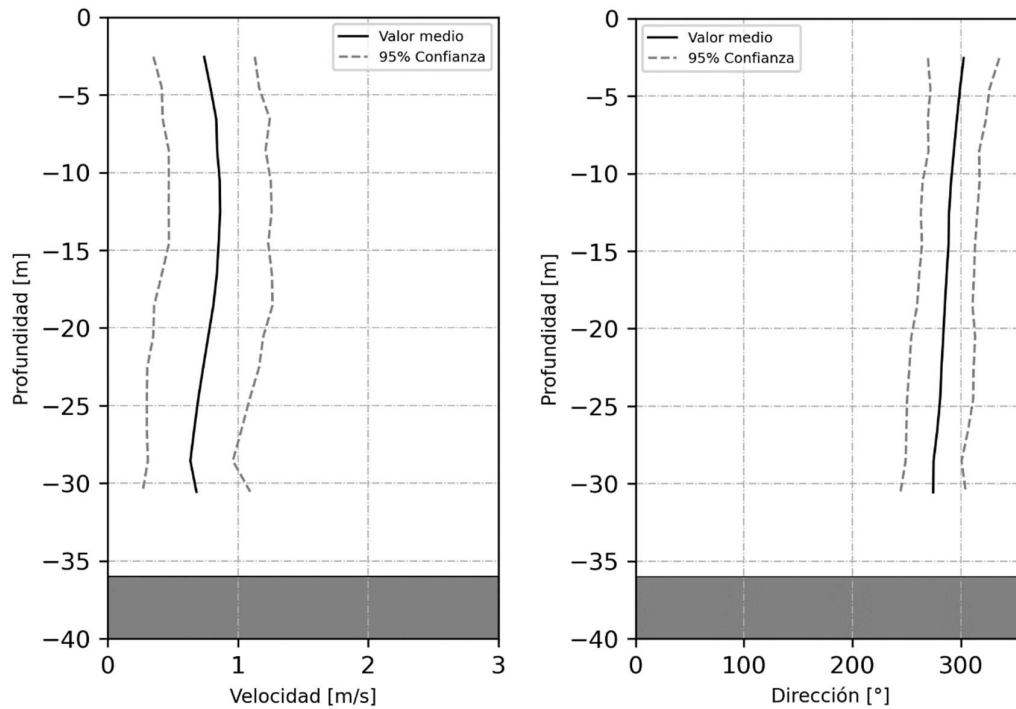


Figura A-II.21. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P03-RSC-D2-S.

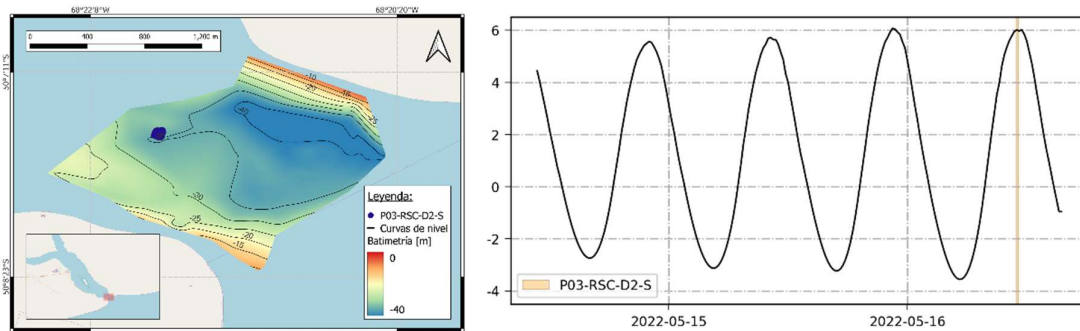


Figura A-II.22. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P03-RSC-D2-S.

Tabla A-II.11. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P03-RSC-D2-S.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P03-RSC-D2-S | 17 | 36 | 0.8 | +/- 0.4 | 287 | +/- 27 |

6.14 P01-RSC-D2-B

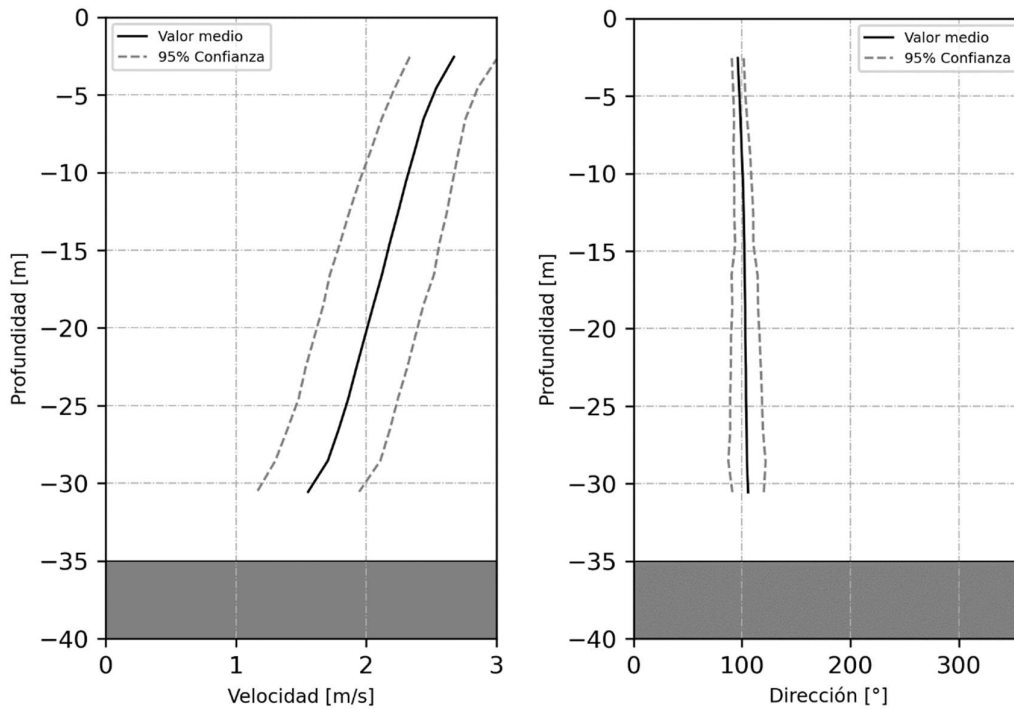


Figura A-II.23. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P01-RSC-D2-B.

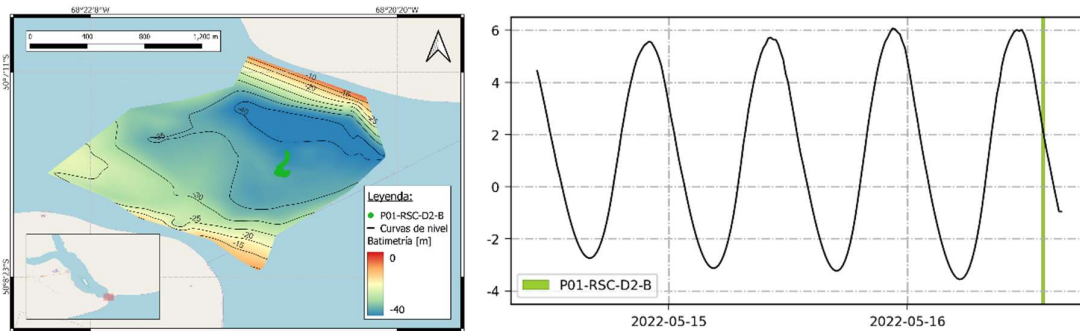


Figura A-II.24. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P01-RSC-D2-B.

Tabla A-II.12. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P01-RSC-D2-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P01-RSC-D2-B | 20 | 35 | 2.1 | +/- 0.4 | 102 | +/- 11 |

6.15 P02-RSC-D2-B

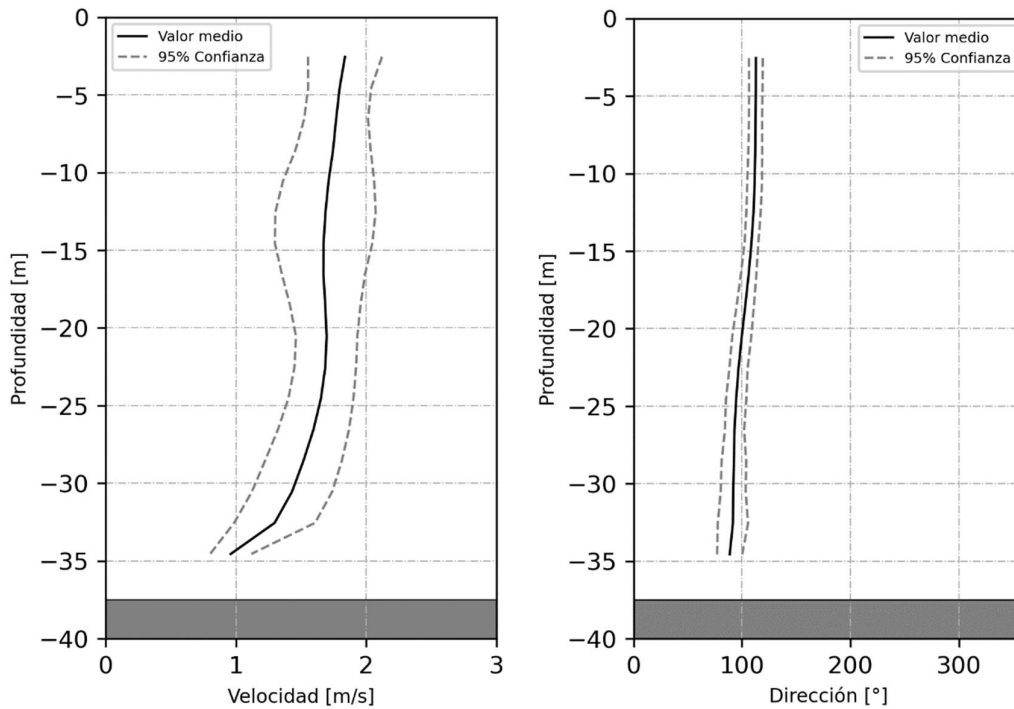


Figura A-II.25. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P02-RSC-D2-B.

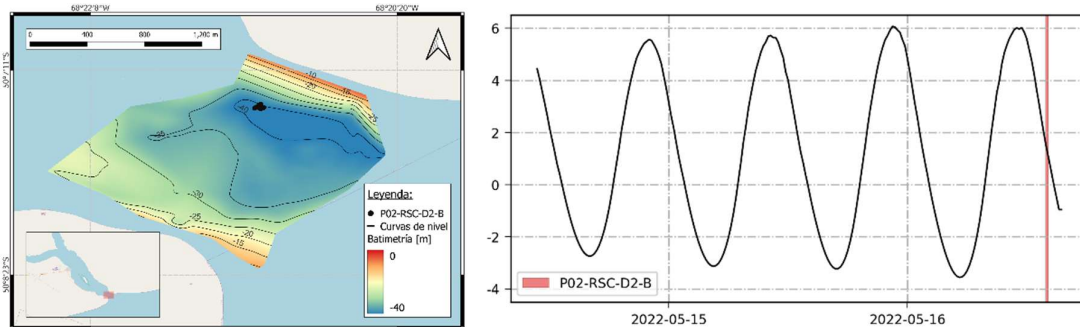


Figura A-II.26. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P02-RSC-D2-B.

Tabla A-II.13. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P02-RSC-D2-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P02-RSC-D2-B | 18 | 37.5 | 1.6 | +/- 0.3 | 102 | +/- 8 |

6.16 P03-RSC-D2-B

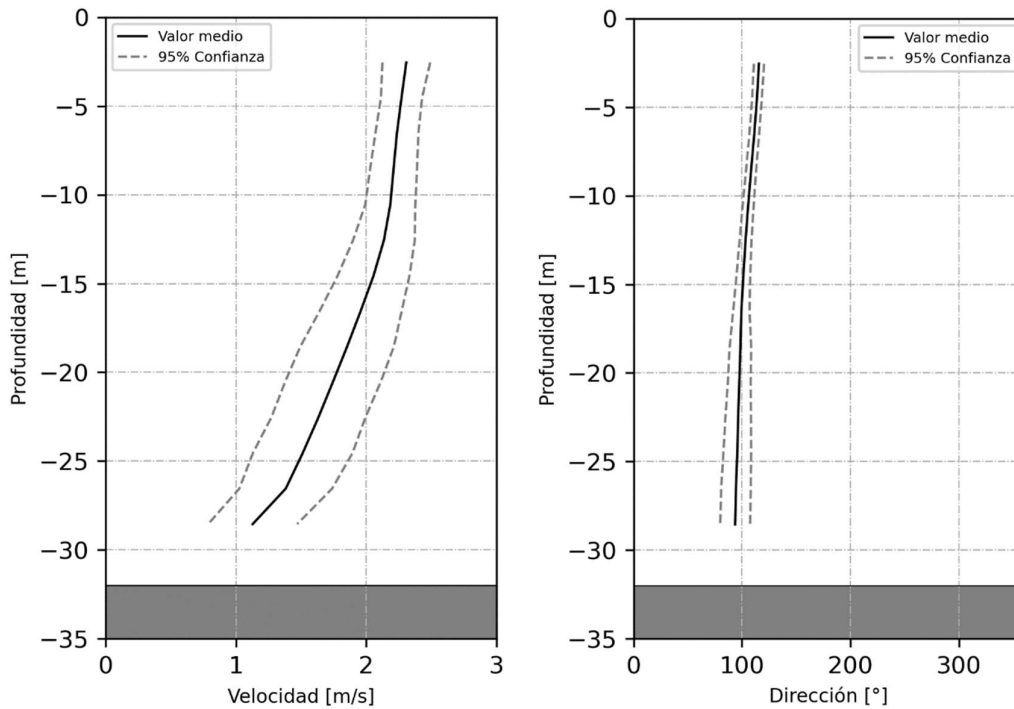


Figura A-II.27. Valor medio y rango de 95% de confianza en función de la profundidad para velocidad (izquierda) y dirección (derecha) de la medición P03-RSC-D2-B.

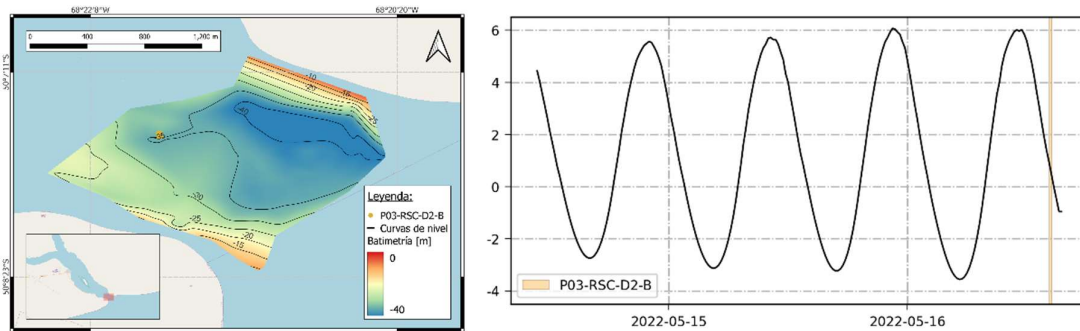


Figura A-II.28. Ubicación espacial (izquierda) y temporal (derecha) de la medición P03-RSC-D2-B.

Tabla A-II.14. Resumen de datos promediados en la profundidad de la medición P03-RSC-D2-B.

| Punto | Duración [min] | Profundidad [m] | Velocidad media [m/s] | Intervalo de confianza medio [m/s] | Dirección media [°] | Rango de direcciones [°] |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| P03-RSC-D2-B | 16 | 32 | 1.9 | +/- 0.3 | 102 | +/- 8 |