



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Obras Civiles

ANÁLISIS DE FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL HUMEDAL DEL RÍO MAIPO

Memoria de Título presentada por

Francisca Valentina Lamoza Ramírez

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Raúl Flores Audibert

Junio de 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: ANÁLISIS DE FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL HUMEDAL DEL RÍO MAIPO

Nombre del candidato(a): Francisca Valentina Lamoza Ramírez

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: Casa Central Valparaíso ; **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Raúl Flores Audibert, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 23/06/2025 ; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 23/06/2025 ; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

TITULO DE LA TESIS:

**ANÁLISIS DE FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO
HIDRÁULICO DEL HUMEDAL DEL RÍO MAIPO**

AUTOR:

Francisca Valentina Lamoza Ramírez

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Nombre Prof. Guía
Nombre Miembro 1 Comisión

Raúl Flores A.

Nombre Miembro 2 Comisión

Karina Soto R.

Valparaíso, Chile, Junio de 2025

Índice

1	Contextualización.....	5
2	Marco Teórico.....	5
2.1	Antecedentes de la investigación.....	5
2.2	Conceptos teóricos.....	7
2.3	Geolocalización.....	7
3	Definición y Solución al Problema.....	8
3.1	Definición.....	8
3.1.1	Causas.....	8
3.1.2	Consecuencias.....	8
3.2	Solución.....	9
3.2.1	Estación HOBO para monitoreo permanente.....	9
3.2.2	Monitoreo hidrográfico en kayak/bote y dron.....	11
4	Objetivos.....	13
4.1	Objetivo general.....	13
4.2	Objetivos específicos.....	13
5	Metodología de Investigación.....	13
6	Monitoreo Hidrográfico.....	14
6.1	Visita 26 de septiembre de 2024.....	14
6.2	Visita 19 de octubre de 2024.....	17
6.3	Visita 21 de diciembre de 2024.....	19
6.4	Visita 1 de febrero de 2025.....	21
6.5	Visita 24 de Marzo de 2025.....	24
7	Monitoreo Estación HOBOLink.....	27
7.1	Muelle.....	27
7.2	Serie de datos: nivel, temperatura y conductividad.....	28
7.3	Análisis de datos – Contexto.....	31
7.3.1	Análisis de Fourier.....	31
7.3.2	Análisis armónico de la señal de marea.....	31
7.4	Análisis de datos – Resultados.....	32
7.4.1	Nivel y marea.....	32
7.4.2	Temperatura.....	35
7.4.3	Conductividad y salinidad.....	37
8	Conclusiones y comentarios.....	39
9	Referencias.....	40

ANÁLISIS DE FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL HUMEDAL DEL RÍO MAIPO

Francisca Valentina Lamoza Ramírez¹, Raúl Flores Audibert²

1 Universidad Técnica Federico Santa María

2 Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

En el contexto del Proyecto: Fondo de Protección Ambiental, FPA, 2023 “Implementación del plan de Manejo del Santuario de la Naturaleza Humedal Río Maipo: educación ambiental en torno al monitoreo del Río Maipo”, financiado por el Ministerio del Medio Ambiente y liderado por la Fundación Cosmos, fundación sin fines de lucro que actualmente posee la misión de manejo, gestión y rehabilitación del Parque Santuario Humedal Río Maipo. La Universidad Técnica Federico Santa María, específicamente el Departamento de Obras Civiles, actúa como contraparte técnica en el Proyecto, con la misión de monitorear periódicamente las condiciones hidrográficas del estuario, salinidad, temperatura, turbidez, etc., así como la supervisión, mantenimiento y análisis de datos provenientes de la nueva instrumentación instalada en el sistema estuarino (Flores, 2025).

En este documento se detallan las visitas realizadas al sitio de estudio durante los meses de Septiembre, Octubre y Diciembre 2024, además de las que se llevan a cabo en Febrero y Marzo 2025, en ellas se efectuaron mediciones hidrográficas, perfiles de salinidad y temperatura, a lo largo del estuario. Adicionalmente, se detalla la información recogida por la estación de monitoreo permanente, y se presenta el análisis de las series de tiempo obtenidas tanto para profundidad como conductividad - salinidad y temperatura. En esta oportunidad, el análisis se enfoca en establecer las frecuencias - períodos de la variabilidad temporal asociada a cada variable, a través de un análisis espectral.

Respecto a los resultados obtenidos, al momento de evaluar la confiabilidad de los sensores instalados y la información recolectada en terreno, se obtiene un resultado favorable pues los datos son consistentes y de muy buena calidad. Por otro lado, en términos hidrográficos, se puede advertir que la presencia de agua salada no se aprecia hasta mediados de Enero 2025, presuntamente por los altos caudales observados en el Río Maipo. Finalmente, con respecto a la morfología de la desembocadura, la barra se ha desplazado de tal manera que la descarga es casi paralela a la costa y el contraste de color entre el agua de río y agua de mar forman una pluma con elevada carga de sedimentos finos en suspensión.

1 Contextualización.

Los ecosistemas costeros son ambientes naturales localizados en la zona costera compuestos por seres vivos, el área donde habitan y las relaciones entre ellos. Las playas, los humedales y campos dunares son ecosistemas costeros (WWF, 2022). Ahora bien, los humedales se definen como áreas que permanecen en condiciones de inundación y sustentan la biodiversidad del litoral. Se encuentran en forma de estuarios, lagunas costeras o marismas (Ministerio del Medio Ambiente, n.d.).

Los estuarios corresponden a sistemas donde los ambientes marino y fluvial interactúan significativamente, son sensibles a los efectos de la actividad humana que en ellos incide y al cambio climático que día a día se acentúa con más fuerza. Algunas dificultades para su estudio son las siguientes: cada sistema es único y la descarga de los ríos, el rango de marea y la distribución de los sedimentos cambia continuamente (Piccolo & Perillo, 1997). La hidrodinámica del sistema, comportamiento del fluido en movimiento, depende de los estudios de descarga, marea y transporte de sedimentos, además de múltiples factores ambientales, tales como: clima, tipo de costa y rocas, amplitud de marea, estabilidad de la costa, caudal líquido y sólido de los ríos, fuerzas difusivas marinas y atmosféricas.

El estuario del Río Maipo, ubicado entre las localidades de San Antonio y Santo Domingo de la V Región, posee una extensión aproximada de 600 hectáreas y la cuenca, Río Maipo, a la que se encuentra conectado se considera una de las más expuestas a intervenciones antropogénicas en Chile, debido a los diversos usos de agua y descargas hacia su curso superficial (Jainaga et al., 2019). El humedal costero fue declarado Santuario de la Naturaleza en 2020 no sólo por su extensión territorial, sino que también por la cantidad de especies observadas in situ, convirtiéndose en un lugar de invaluable importancia biológica (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

La falta de conocimiento de los procesos hidrodinámicos que determinan la salud del ecosistema costero se ha convertido en un problema, pues el desconocer su estado puede propiciar la existencia de daños ambientales que no permitirían su correcta conservación, tema relevante, ya que se trata de un Santuario de la Naturaleza. La fundación Cosmos quien se encuentra a cargo de este humedal (El Líder, 2022) desea conocer si en las condiciones en las que se encuentra hay garantía de su salud ecológica. Bajo este contexto, se hace indispensable describir las condiciones de marea y salinidad en el humedal del Río Maipo con ayuda de la información capturada por una nueva estación, ubicada entre la desembocadura y el puente Lo Gallardo, instalada para monitoreo permanente. Esta cuenta con dos sensores HOBOTD, uno móvil en superficie y otro fijo en profundidad; la sigla CTD refiere a conductividad, temperatura y profundidad, datos necesarios para el cálculo de la salinidad en el punto de estudio.

Para realizar esta investigación, se verificará la buena calidad de los datos recolectados por la nueva estación de monitoreo permanente para comparar esta información con el registro de información obtenida en terreno. Asimismo, se determinará la variabilidad asociada a cada variable en estudio, específicamente: salinidad, temperatura y marea, para hallar su espectro representativo. Por otro lado, también, se realizará un análisis armónico de marea tanto en el estuario del Río Maipo como en San Antonio, océano, con la intención de estudiar las diferencias existentes entre estos dos puntos de interés. Finalmente, el estudio entregará las bases para nuevas investigaciones del área.

2 Marco Teórico.

2.1 Antecedentes de la investigación

El río Maipo tiene su origen en la cordillera de los Andes, drenando una cuenca de aproximadamente 15.000 [Km²] que contiene extensas superficies de cultivo y una importante actividad industrial. La

calidad del agua de este río ha sido motivo de creciente preocupación debido a las continuas intervenciones que sufre a lo largo de su recorrido desde la cordillera hasta el mar. Su desembocadura se encuentra a 1 km al sur del Puerto de San Antonio (Flores, 2025).

El río Maipo es un curso de agua de descarga moderada, con un caudal medio anual de 50 [m^3/s] durante la última década, registrado en la estación fluviométrica Cabimbao (código BNA 05748001-7), situada 20 [Km] aguas arriba de su desembocadura. No obstante, en los últimos años, el caudal medio anual ha descendido a 30 [m^3/s], atribuible a extracciones de agua y a la mega-sequía que ha afectado a Chile Central desde 2010. Durante los meses estivales, el caudal diario en la desembocadura puede reducirse hasta 5 [m^3/s] debido a dichas extracciones. En enero de 2023, el río Maipo experimentó una desconexión sin precedentes con el mar, resultado de la persistente reducción del caudal en los meses previos (Flores, 2025).

El régimen fluvial del río Maipo en su desembocadura exhibe una marcada estacionalidad, con aumentos de caudal en invierno debido a precipitaciones y en verano por el derretimiento nival. Su estuario se caracteriza por una alta complejidad hidrodinámica y morfológica, influenciada por diversos forzantes, entre ellos el flujo del río, las mareas, el oleaje y, en menor medida, el viento. En la zona, la marea es de tipo mixta semidiurna, presentando dos ciclos de llenante y vaciante con amplitudes desiguales en un periodo de aproximadamente 24 horas. La amplitud mareal raramente supera los 2 [m], clasificándose como micro-mareal (Flores, 2025).

El río Maipo desemboca en una costa de alta energía, caracterizada por un oleaje significativo con valores medios de altura de ola de 2.3 [m] y un periodo peak de 13 [s] en aguas profundas. El oleaje dominante proviene del suroeste, generando corrientes costeras hacia el norte que inciden en la dispersión del agua descargada desde el estuario. De manera similar a otras regiones del mundo, como: California, Sudáfrica, Portugal, Nueva Zelanda; la combinación de un oleaje intenso y un régimen de caudales estacionales propicia la formación de una barra de arena dinámica en la desembocadura, configurando un estuario de barra, característico de los estuarios en Chile central (Flores, 2025).

Investigaciones previas en el estuario han revelado que los parámetros hidrográficos e hidrodinámicos, tales como salinidad, temperatura y velocidad del flujo, están fuertemente influenciados por la marea en condiciones de bajo caudal del río. En ausencia de crecidas, la dinámica del campo de salinidad se encuentra dominada por la marea, con la presencia de masas de agua dulce y salina. Se ha observado una marcada estratificación vertical, especialmente durante la marea llenante, cuando el agua marina ingresa al estuario. En tales condiciones, se forma una cuña salina con fuertes gradientes verticales, distinguiéndose una capa superficial con salinidad baja, 0-5 [psu] y una capa de fondo con alta salinidad, 32-35 [psu]. A medida que la marea desciende, la cuña salina retrocede y desaparece. La evolución de la temperatura sigue un patrón similar al de la salinidad, evidenciando la coexistencia de distintas masas de agua (Flores, 2025).

La velocidad del flujo también varía con el ciclo mareal. Durante la fase llenante, las velocidades son predominantemente hacia el este, dirección tierra adentro, mientras que en la fase vaciante se orientan hacia el oeste, hacia el océano. En episodios de crecida del río, el estuario tiende a contener agua totalmente dulce, 0 [psu], sin estratificación vertical. Es importante notar que los resultados de los estudios anteriores son el resultado de campañas de terreno realizadas en condiciones de caudales bajos durante los años 2019, 2021 y 2022, que contrasta con los altos caudales observados durante 2023 y 2024 resultantes de eventos hidrometeorológicos extremos (Flores, 2025).

2.2 Conceptos teóricos

- **Humedal:** terreno de aguas superficiales o subterráneas de poca profundidad (H. RAE, 2023). Engloba al sistema estuarino.
- **Estuario:** desembocadura de un río caudaloso en el mar, caracterizada por tener una forma semejante al corte longitudinal de un embudo, cuyos lados van apartándose en el sentido de la corriente, y por la influencia de las mareas en la unión de las aguas fluviales con las marítimas (E. RAE, 2023).
- **Desembocadura:** paraje por donde un río, un canal, etc., desemboca en otro, en el mar o en un lago (D. RAE, 2023). Uno de sus sinónimos es estuario.

2.3 Geolocalización

El sitio de estudio corresponde a la zona de la desembocadura del río Maipo, que alberga el Santuario de la Naturaleza Humedal Río Maipo, administrado por la Fundación Cosmos. En específico, las mediciones hidrográficas se realizan en la zona estuarina delimitada por el Puente Lo Gallardo, que conecta San Antonio y Santo Domingo, y la desembocadura del río en el Océano Pacífico (Flores, 2025).

Todas las imágenes satelitales presentes en el documento son de Google Earth o Copernicus Browser. A continuación, se presenta la geolocalización del estuario:

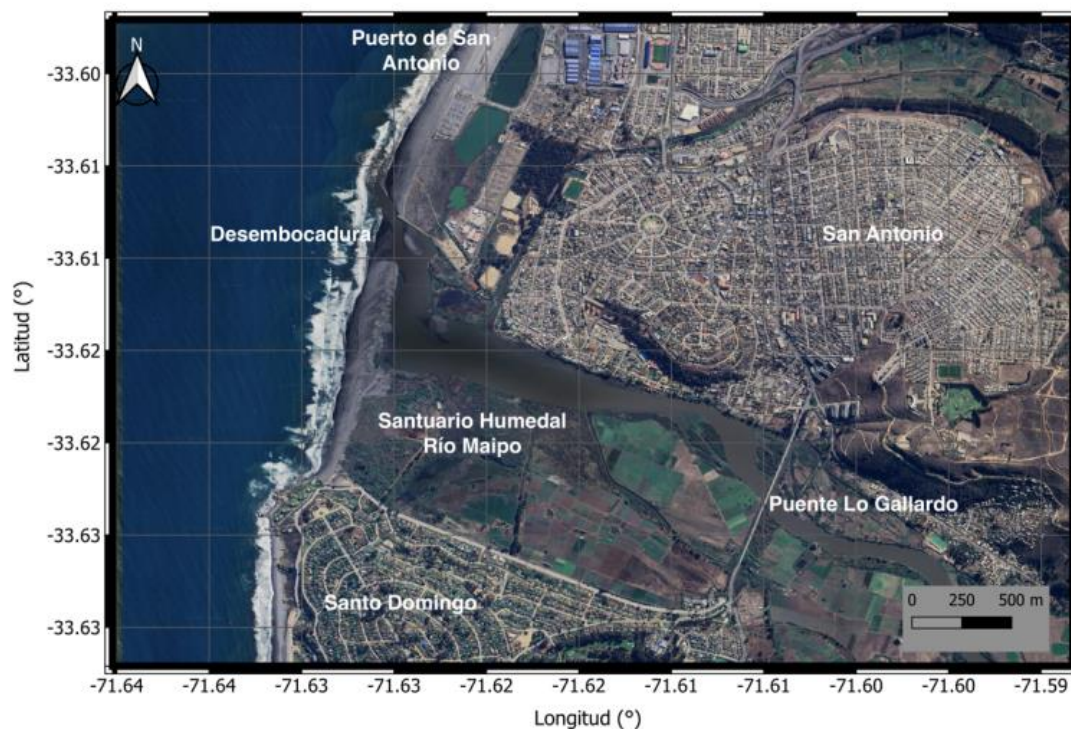


Figura 1 - Sitio de Estudio. Última imagen disponible en Google Earth correspondiente al 01 de Mayo 2023.

3 Definición y Solución al Problema.

3.1 Definición

Luego de revisar el estado del arte relacionado al tema de forma general, se genera un árbol de problemas donde se anotan las principales causas y consecuencias que llevan a la formulación del problema. Este último es: “Falta de entendimiento de los procesos hidrodinámicos que afectan al estuario del Río Maipo”.

A continuación, se presenta el desglose del árbol de problemas antes mencionado.

3.1.1 Causas

- Déficit de monitoreo ambiental que garantice la salud del Santuario Humedal Río Maipo, en términos ecosistémicos e hidrodinámicos.
- Pocas determinaciones asociadas a los requisitos de agua (valores intrínsecos, ecológicos, sociales y económicos) de los estuarios (Adams, 2014).
- No se discute la importancia del flujo de agua dulce a los estuarios y los cambios en los estuarios en respuesta a la alteración del flujo de agua dulce (Adams, 2014).
- Los estudios que determinan los requisitos de flujo de agua dulce deben tratar cada estuario como un sistema complejo único (Adams, 2014).
- Las intervenciones humanas también pueden llevar a aumentos en el flujo de agua dulce a través de transferencias intercuenas, retorno de agua agrícola y flujos de agua de tormenta de áreas urbanas (Adams, 2014).
- La hidrodinámica de ECB de boca restringida y EIC ha sido históricamente poco estudiada, posiblemente porque las aguas poco profundas y la actividad de las olas cerca de la entrada han impedido que estos sistemas se utilicen como puertos (Harvey et al., 2023).

3.1.2 Consecuencias

- La estratificación es un factor que inhibe el intercambio de agua entre el fondo y la superficie, favoreciendo la acumulación de nutrientes, contaminantes, y materia orgánica que puede dar como resultado la aparición de florecimientos algales y episodios de baja de oxígeno disuelto (Sanay González & Perales Valdivia, 2022).
- La extracción de agua dulce puede aumentar el tiempo de residencia de un cuerpo de agua en un estuario, aumentando la concentración de contaminantes y la eutrofización (Adams, 2014).
- Todos los componentes del flujo contribuyen al estado actual de un estuario. Si se modifica el flujo del río, tendrá alguna respuesta resultante en los procesos y funciones estuarinas, simplemente es la escala de la respuesta la que está en cuestión (Adams, 2014).
- Los cambios en la cantidad, calidad y temporización del flujo de agua dulce influirán en la estructura y función de un estuario a través de cambios en la geomorfología, hidrología, calidad del agua, intercambios con el mar, disponibilidad de hábitat, conectividad y procesos ecológicos (Adams, 2014).
- Como los estuarios y otros hábitats costeros semi-cerrados a veces tienen períodos de residencia de agua dulce más largos, esto podría conducir a una carga de contaminantes ambientales más alta (Binte Sultan et al., 2024).
- El no comprender su hidrodinámica es de suma importancia, ya que no se conocerán los servicios ecosistémicos críticos y resistencia a cambios futuros del estuario, incluido el desarrollo, las derivaciones de agua dulce aguas arriba y el cambio climático (Harvey et al., 2023).

- Dos aspectos hidrodinámicos de estuarios son los que determinan su respuesta ante reducciones del caudal del río: i) la altura de escurrimiento queda determinada por el nivel del mar que varía por la marea, y no por el caudal de agua del río; y ii) reducciones del caudal del río producen una mayor intrusión de agua marina con el consiguiente aumento de la salinidad del agua (Urmeneta Migone, 2013).

3.2 Solución

Para solucionar el problema, se considera estudiar la afectación a la dinámica estuarina y el análisis de la información capturada por sensores ubicados en una estación instalada para monitoreo permanente.

3.2.1 Estación HOBO para monitoreo permanente

A fines de Julio de 2024 se instaló una estación de monitoreo permanente, capaz de transmitir datos en forma remota a una plataforma web, para el acceso quasi-instantáneo de los datos (Flores, 2025).

3.2.1.1 Detalle estación HOBO

La estación HOBO RX2100, proporciona un registro continuo de datos para monitoreo meteorológico y de microclima, con hasta cinco entradas para sensores inteligentes plug-and-play. Adicionalmente, admite la instalación de sensores de nivel de agua e incorpora una conversión de flujo integrada para el monitoreo de ríos, lagos, humedales, zonas de marea, aguas subterráneas y más (HOBO® HOBO RX2100 Station - CELL-4G, 2021). En la zona de estudio, la estación cuenta con 2 sensores de nivel, uno en superficie y otro en profundidad.

Los datos registrados en la estación se transfieren como intervalos regulares a la plataforma web HOBOLink® (HOBO® HOBO RX2100 Station - CELL-4G, 2021), donde es posible:

- Verificar las condiciones actuales.
- Visualizar gráficos.
- Configurar sensores y alarmas.
- Crear un panel de control personalizado.
- Descargar datos.
- Programar la entrega de datos vía correo electrónico o FTP.

Para este caso, el intervalo asociado a la página web es de 30 [min].

Dentro de su carcasa resistente a la intemperie, esta estación compacta cuenta con una pantalla LCD integrada para (HOBO® HOBO RX2100 Station - CELL-4G, 2021):

- Verificar la configuración y el estado del sistema.
- Iniciar y detener el registro de datos.
- Añadir y quitar sensores inteligentes.

Según las necesidades de implementación (HOBO® HOBO RX2100 Station - CELL-4G, 2021), la estación ofrece dos opciones principales de alimentación:

- Baterías de litio AA reemplazables por el usuario.
- Panel solar integrado y una batería recargable NiMH.

La estación instalada cuenta con panel solar integrado, gracias a esta condición su constancia de medición es absoluta.

A continuación, se presenta una imagen representativa del dispositivo:



Figura 2 - Imagen de la estación HOBOLink, Tomada del sitio web del instrumento.

3.2.1.2 Página web

Enlace público para el periodo entre el 12 de Agosto 20204 y el 23 de Febrero 2025:
<https://hobolink.com/p/fb7dc6f41b4efec590c0d4f5208a4283>

Enlace privado para el periodo desde el 23 de Febrero 2025. A continuación, se puede observar la interfaz de la página web:

The screenshot shows the HOBOLink web interface. At the top, there is a navigation bar with tabs for Overview, Graphs, Logs, and Exports. Below this, there are several sections: 'Conditions Today at 13:30 CLT' with a plus icon, 'Next Device Connection' with a minus icon and the text 'Next connection expected 24 minutes from now', and 'Device Information' with a minus icon. The Device Information section lists: Status: Logging, Memory: Wrapping, Nickname: Snrhmcosmos, Serial Number (SN): 21891003, Model: HOBOLink RX2100 Station - CELL-4G, and Firmware Version: 2.73.

Figura 3 - Página principal sitio web.

Desde el sitio web es posible revisar el estado de los instrumentos e identificar si ha existido algún error en la transmisión de datos. Asimismo, es posible visualizar los datos en gráficos, series de tiempo, y realizar su descarga en paquetes definidos por los administradores de la estación, Fundación Cosmos y UTFSM, por ejemplo, los últimos 7 días, el último mes, e incluso la totalidad de los datos. En este informe, la visualización y el análisis de datos descargados se realiza mediante el software Matlab® (Flores, 2025).

La plataforma contempla la medición de nivel de agua, conductividad eléctrica y temperatura, en dos niveles de la columna de agua (Flores, 2025):

- **Superficie:** entrega el comportamiento de la superficie en ese punto del estuario, ayuda a dilucidar la estratificación que pudiese existir en la línea de corriente.
- **Profundidad:** entrega el nivel de agua total en ese punto del estuario, esta medición incluye las variaciones producto de la marea y aquellas asociadas al flujo del río. Eventualmente, podría incluir variaciones de nivel producto del viento, en caso de existir vientos fuertes con larga línea de acción.

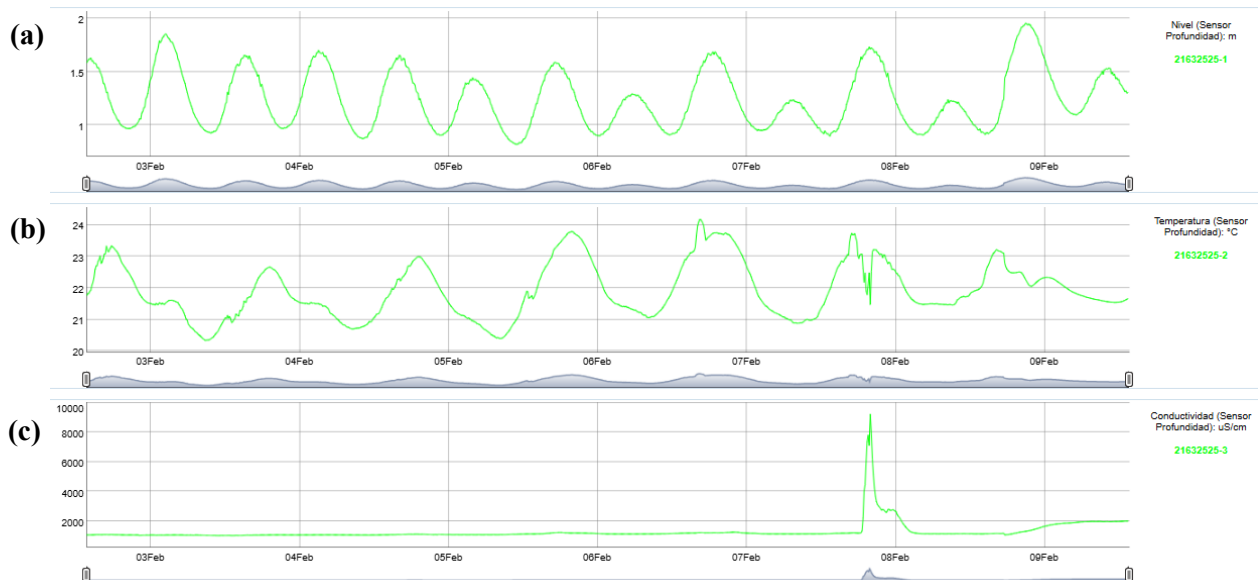


Figura 4 – Ejemplo visualización datos sección “Graphs” en sitio web. Sensor de profundidad, semana del 02 al 09 de Febrero 2025. (a) Nivel / (b) Temperatura / (c) Conductividad eléctrica.

Con las mediciones de presión (nivel), conductividad eléctrica y temperatura, es posible estimar la salinidad del agua [psu]. Lo anterior, aplicando una ecuación de estado, llamada Thermodynamic Equation of Seawater, TEOS-10 (McDougall & Barker, 2020).

En términos generales, a medida que aumenta la temperatura la salinidad tiende a aumentar, debido a que a mayor temperatura la cantidad de sales que puede ser disuelta en el agua aumenta producto del mayor movimiento molecular. De igual manera, al aumentar la salinidad la conductividad eléctrica aumenta, como consecuencia de la mayor presencia de iones (Flores, 2025).

3.2.2 Monitoreo hidrográfico en kayak/bote y dron

El monitoreo de las condiciones de salinidad y temperatura del estuario se realiza a bordo de un kayak o bote pescador, navegando entre la barra de arena y el muelle donde se encuentra la estación HOBOLink, tomando mediciones de perfiles verticales a lo largo del recorrido. La toma de perfiles verticales se realiza con ayuda del instrumento CastAway CTD y la descripción general del sitio, junto con las condiciones particulares de medición, se realiza con vuelos complementarios de dron, Dji Air 3 o Dji Mini 3 (Flores, 2025).

3.2.2.1 Detalle instrumento CastAway CTD

El CastAway®-CTD es un instrumento ligero y fácil de usar, diseñado para obtener perfiles rápidos y precisos de conductividad, temperatura y profundidad. Cada medición se referencia automáticamente con hora y ubicación gracias al receptor GPS que tiene integrado (Xylem Brand, 2019).

El software CastAway muestra los perfiles de las mediciones y mapea las ubicaciones de los puntos de recolección de datos. Los datos se integran directamente con los programas RiverSurveyor Live y HYPACK®, además de poder exportarse a MATLAB® (Xylem Brand, 2019).

Algunas características particulares de este instrumento (Xylem Brand, 2019) ,son:

- Visualización inmediata de gráficos de conductividad, temperatura y salinidad en función de la profundidad en una pantalla LCD a color.

- Tasa de respuesta y muestreo de 5 [Hz], cinco mediciones por segundo, con una precisión de 0.1 (PSS-78) y 0.05 [°C].
- GPS interno y descarga de datos mediante Bluetooth.
- El rango de medición del instrumento es de 0-100 [dBar] para la presión, 0-100000 [$\mu S/cm$] para conductividad eléctrica y -5 [°C] a 45 [°C] para la temperatura.

El análisis de los datos y gráficos se realizan a través del software Matlab®. A continuación, se presenta una imagen representativa del dispositivo:



Figura 5 - Imagen del CastAway CTD, Tomada del sitio web del instrumento.

3.2.2.2 Drones: Air 3 y Mini 3

Los drones tienen una capacidad de vuelo de aproximadamente 25 minutos, dependiendo de las condiciones de viento. Se capturan imágenes y videos durante la recolección de datos in-situ, para posterior análisis y evaluación (Flores, 2025).

A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de estos dispositivos:

- **DJI Air 3:** cuenta con un sistema de visión omnidireccional y un sistema de detección infrarroja tridimensional, lo que le permite volar y mantenerse en suspensión tanto en interiores como en exteriores. Además, puede regresar automáticamente al punto de origen mientras detecta y esquiva obstáculos en todas las direcciones (DJI, 2024a).

Algunas de sus características y advertencias (DJI, 2024a) son:

- La aeronave alcanza una velocidad máxima de 47 [mph] (75.6 [kph]) y un tiempo máximo de vuelo de 46 minutos.
 - La velocidad máxima de vuelo se probó a nivel del mar sin viento. El tiempo máximo de vuelo se probó en un entorno sin viento mientras se volaba a una velocidad constante de 17.9 [mph] (28.8 [Km/h]).
 - Los dispositivos de control remoto alcanzan su distancia máxima de transmisión (FCC) en un área abierta sin interferencias electromagnéticas, a una altitud de aproximadamente 120 [m] (400 [pies]). La distancia máxima de transmisión se refiere a la distancia máxima en la que la aeronave aún puede enviar y recibir transmisiones. No se refiere a la distancia máxima que la aeronave puede volar en un solo vuelo.
- **DJI Mini 3:** cuenta con un diseño plegable y un peso ultraligero de menos de 249 [g]. Equipado con un sistema de visión inferior y un sistema de detección por infrarrojos, puede volar y mantenerse en suspensión tanto en interiores como en exteriores, además de iniciar automáticamente el regreso al punto de origen (RTH) (DJI, 2024b).

Algunas de sus características y advertencias (DJI, 2024b) son:

- La aeronave tiene un tiempo máximo de vuelo de 38 minutos con una batería de vuelo inteligente y hasta 51 minutos con una batería de vuelo inteligente Plus.
- El tiempo máximo de vuelo se probó en un entorno sin viento, cerca del nivel del mar, volando a una velocidad constante de 13 [mph] (21.6 [Km/h]).
- El control remoto alcanza su distancia máxima de transmisión (en modo compatible con la FCC) en un área abierta sin interferencias electromagnéticas, a una altitud de aproximadamente 120 [m] (400 [pies]).

4 Objetivos.

4.1 Objetivo general

Analizar las condiciones de marea y salinidad en el humedal del Río Maipo con ayuda de sensores de conductividad, temperatura y presión instalados para monitoreo permanente.

4.2 Objetivos específicos

1. Describir armónica y comparativamente los niveles de marea en el estuario del Río Maipo junto con la estación de San Antonio para dilucidar su comportamiento.
2. Esbozar un espectro representativo para cada parámetro estudiado en el sistema estuarino del Río Maipo.
3. Evaluar la calidad de los nuevos datos recolectados por la estación instalada para monitoreo permanente, en la desembocadura del Río Maipo.

5 Metodología de Investigación.

De forma resumida, la metodología que se lleva a cabo consiste en visitas a terreno y trabajo con datos que se transmiten remotamente desde la estación instalada para monitoreo permanente.

En primer lugar, se debe verificar la calidad de los datos capturados por los sensores HOBO -CTD (HOBO® HOBO RX2100 Station - CELL-4G, 2021), comparando esa información con la medida por un dispositivo CastAway-CTD (Xylem Brand, 2019) el cual es más exacto en sus mediciones. En segundo lugar, con la información procesada, se puede llevar a cabo un análisis de marea para comprender cómo cambia el nivel del agua según las interacciones gravitacionales existentes entre la Tierra, la luna y el sol. En tercer y último lugar, se pueden tomar decisiones y generar recomendaciones de mejoras para próximas investigaciones que apunten en la misma línea de esta investigación.

Por objetivo específico, se desglosan las siguientes actividades principales:

1. Objetivo específico 1: Se pretende describir las diferencias de comportamiento existentes entre el estuario y el océano.
 - Descarga de datos desde HOBOLink y desde alguna página que contenga la información de marea en San Antonio, el postproceso de ellos se realiza con MATLAB®.
 - Para comparar los datos de la estación instalada para monitoreo permanente con la de San Antonio, se utiliza la herramienta U-Tide de MATLAB®.
 - Análisis del resultado obtenido, gráfica comparativa.
 - Propuesta de mejoras en la forma de procesar los datos.
2. Objetivo específico 2: Se quiere caracterizar las variables estudiadas por medio de espectros de Fourier.

- Descarga de información desde la página HOBOLink, sitio web donde los datos actuales son almacenados, y postproceso con MATLAB®.
 - El estudio de cada una de las variables se realiza graficando cada una de ellas en el tiempo para conocer su comportamiento. En base a este comportamiento, se puede advertir si el ecosistema en el punto de la estación para monitoreo permanente responde adecuadamente a lo esperado.
 - En el caso de la variabilidad por variable, se analizan sus espectros de Fourier, concluyendo acerca
3. **Objetivo específico 3:** Se busca evaluar el comportamiento de la data capturada por los sensores respecto de las mediciones realizadas en terreno.
- Mediciones permanentes realizadas por los sensores ubicados en el muelle que transmiten la información de forma remota a un programa web, HOBOLink, donde se cuenta con acceso.
 - Mediciones en terreno con dispositivo CastAway-CTD, considerando una zona de medición aproximada desde el muelle tanto hacia aguas arriba como aguas abajo.
 - Con Matlab se leen los datos, se generan funciones con ayuda de las subrutinas TEOS-10 (UNESCO/IOC, 2010) y se generan gráficas de salinidad [psu] v/s tiempo.
 - Comparar los datos capturados por los sensores y los medidos en terreno, con la intención de verificar el comportamiento de la salinidad respecto de la información considerada como real, es decir, la información recolectada por el dispositivo CastAway-CTD.

6 Monitoreo Hidrográfico.

6.1 Visita 26 de septiembre de 2024

Se realiza una visita al humedal para realizar monitoreo hidrográfico el día 26 de septiembre de 2024, entre las 12:00 y 17:00 [hrs]. La campaña se planificó para medir condiciones de marea y realizar una comparación entre el CastAway-CTD y lo sensores instalados para monitoreo permanente, estación HOBOLink.

Con vuelos de dron, se capturaron las siguientes imágenes:



Figura 6 - Imágenes capturadas con dron (26 de Septiembre 2024).

En la *Figura 6.a*, se observa una barra litoral de arena extensa que ha forzado una descarga del río con inclinación norte, *Figura 6.c, d*, esto es, en dirección al Puerto San Antonio. Se hace relevante mencionar que la barra de arena característica de la desembocadura del estuario se cerró completamente durante enero 2023, y posteriormente fue removida casi en su totalidad durante las crecidas de invierno de los años 2023 y 2024. Si bien la barra se ha recuperado y avanza progresivamente hacia el norte, el estuario ha mantenido su conexión con el océano (Flores, 2025).

En cuanto al agua de río, se nota turbia, *Figura 6.a,b,c,d*, situación que sugiere una alta concentración de sedimentos finos, limos y arcillas, en suspensión. De acuerdo con lo reportado por la Dirección General de Aguas (DGA) en el sistema de estaciones en línea, el caudal en la estación Cabimbao fue aproximadamente de $60.71 [m^3/s]$ (DGA, 2025), valor superior al caudal medio de los últimos años (Flores, 2025). La descarga del estuario al océano forma una pluma turbia de gran tamaño, *Figura 6.c,d*, que en su campo cercano, inmediato a la desembocadura, es inicialmente confinada por el oleaje y fluye hacia el norte paralelo a la costa, para luego escapar y propagarse más allá de la zona de rompiente. Lo anterior contrasta con lo observado en condiciones de bajo caudal, donde la descarga del río y la pluma quedan completamente atrapadas cerca de la costa debido al oleaje (Flores, 2025). Finalmente, la *Figura 6.b*, muestra una perspectiva del estuario hacia aguas arriba.

Por otro lado, la ubicación de los puntos donde se realizaron los perfiles verticales en kayak fue:

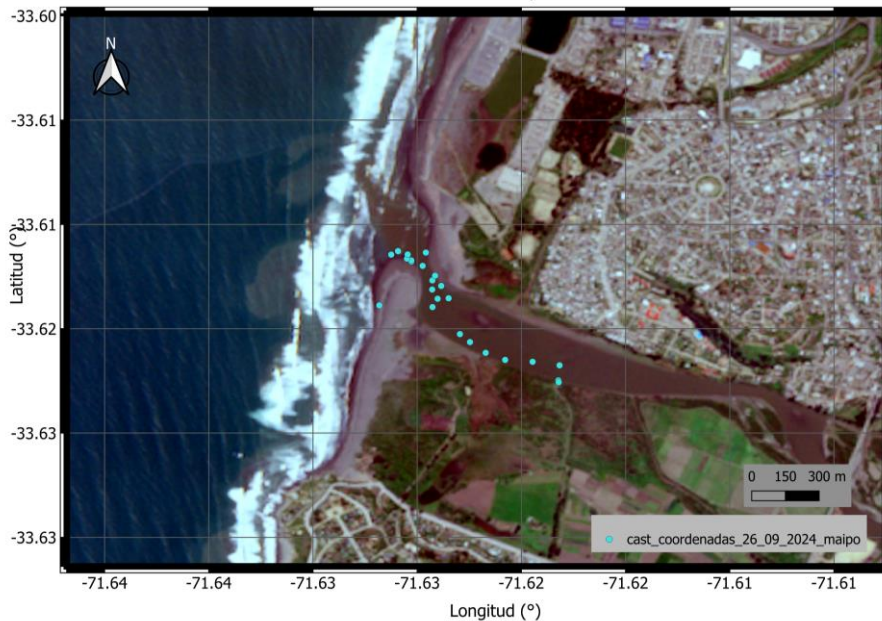


Figura 7 - Ubicación perfiles verticales en estuario (26 de Septiembre 2024, Copernicus Browser).

En esta campaña se realizan 30 perfiles verticales en un lapso aproximado de 2 horas, existiendo mediciones que arrojan ausencia y presencia de sal. A continuación, se presenta el análisis en MATLAB® de las mediciones realizadas con el dispositivo CastAway-CTD:

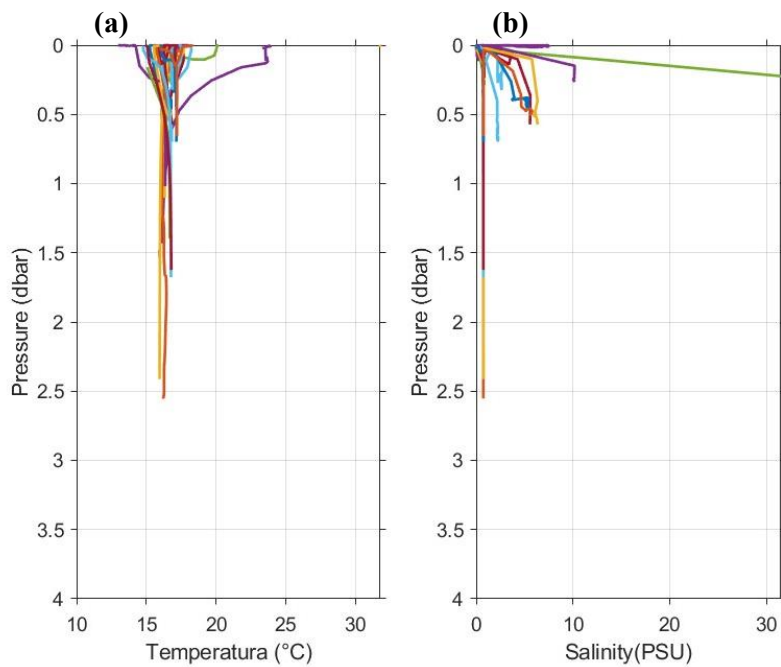


Figura 8 - Perfiles de Temperatura y Salinidad (26 de Septiembre 2024).

En la *Figura 8.a*, se observa una temperatura constante de 16 [°C] en la columna de agua, sin variabilidad ni estratificación notoria. Por otra parte, en la *Figura 8.b*, se nota que en su mayoría los perfiles de salinidad se encuentran en un rango de 0-10 [psu] lo que indicaría presencia de sal en la zona de estudio, para verificar esta acotación, se analiza el sector específico de la estación HOBOLink en donde se realizaron 2 mediciones:

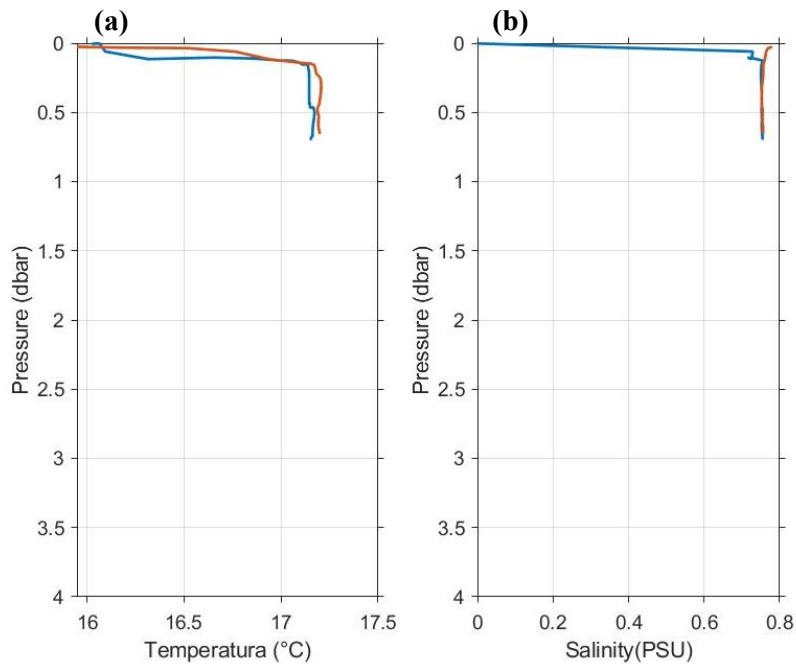


Figura 9 - Perfiles de Temperatura y Salinidad Estación HOBOLink (26 de Septiembre 2024).

En la *Figura 9.a*, se observa una temperatura de 17 [°C] aproximadamente y, en la *Figura 9.b* se advierte que la columna de agua no posee salinidad pues su rango de variabilidad es de 0-1 [psu], contrario a lo que ocurría años atrás cuando si era posible hallar sal en la zona donde se encuentra la estación HOBOLink (Flores, 2025).

6.2 Visita 19 de octubre de 2024

Se realiza una visita al humedal para realizar monitoreo hidrográfico el día 19 de octubre de 2024, entre las 11:00 y 15:00 [hrs]. La campaña se planificó para medir condiciones de marea llanante en período de sicigia, a fin de maximizar el efecto mareal y determinar si hay presencia de sal en el estuario, lo que no se ha observado en campañas anteriores durante 2024. Al igual que en monitoreos anteriores, se realizó un muestreo in-situ para obtener perfiles verticales de salinidad y temperatura a lo largo del estuario, y se realizaron vuelos de dron para monitorear las condiciones generales, la morfología de la desembocadura y la descarga al océano (Flores, 2025).

Con vuelos de dron, se capturaron las siguientes imágenes:



Figura 10 - Imágenes capturadas con dron (19 de Octubre 2024).

En la *Figura 10.a*, se aprecia una barra litoral de arena más extensa que en visitas de meses anteriores, que ha ido forzando una migración de la desembocadura del río, que descarga con una prominente inclinación hacia el norte, *Figura 10.c,d*, esto es, en dirección al Puerto San Antonio. Se estima que la desembocadura tiene un ancho de 50 [m] (Flores, 2025). La *Figura 10.b*, por otro lado, muestra una perspectiva del estuario hacia aguas arriba.

En cuanto al agua de río, se percibe turbia, *Figura 10.a,b,c,d*, situación que sugiere una alta concentración de sedimentos finos, limos y arcillas, en suspensión. De acuerdo con lo reportado por la Dirección General de Aguas (DGA) en el sistema de estaciones en línea, el caudal en la estación Cabimbao fue aproximadamente de 95.48 [m³/s] (DGA, 2025), mayor al existente en la campaña de septiembre. La descarga del estuario al océano forma una pluma turbia de gran tamaño, *Figura 10.c,d*.

Por otro lado, la ubicación de los puntos donde se realizaron los perfiles verticales en kayak fue:

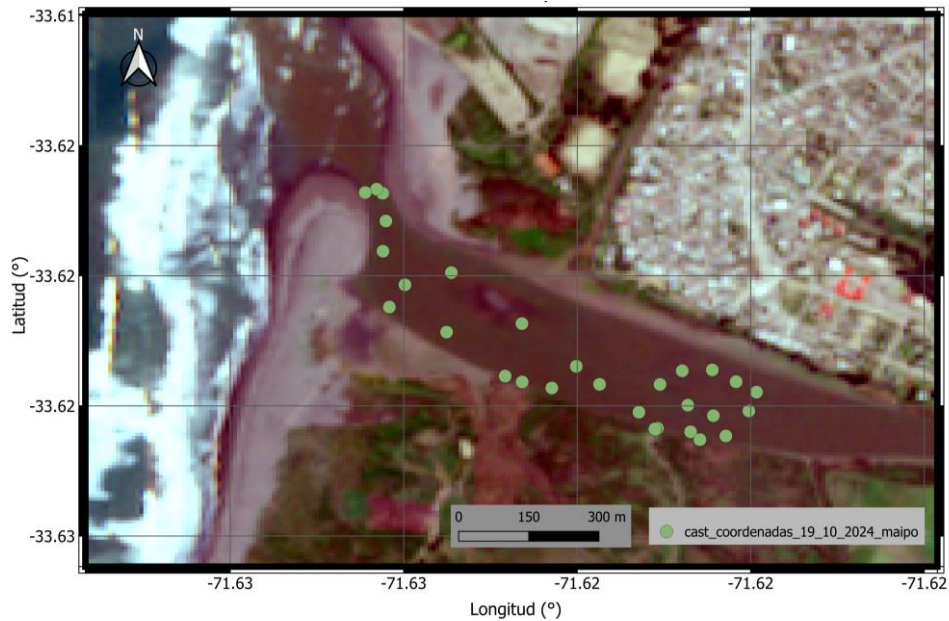


Figura 11 - Ubicación perfiles verticales en estuario (19 de Octubre 2024, Copernicus Browser).

En esta campaña se realizan 31 perfiles verticales en un lapso aproximado de 2 horas, arrojando todas las mediciones los mismos resultados, incluso en zonas muy cercanas a la desembocadura, no se registra presencia de sal. Lo anterior se puede extraer luego del análisis en MATLAB® de las mediciones realizadas con el dispositivo CastAway-CTD:

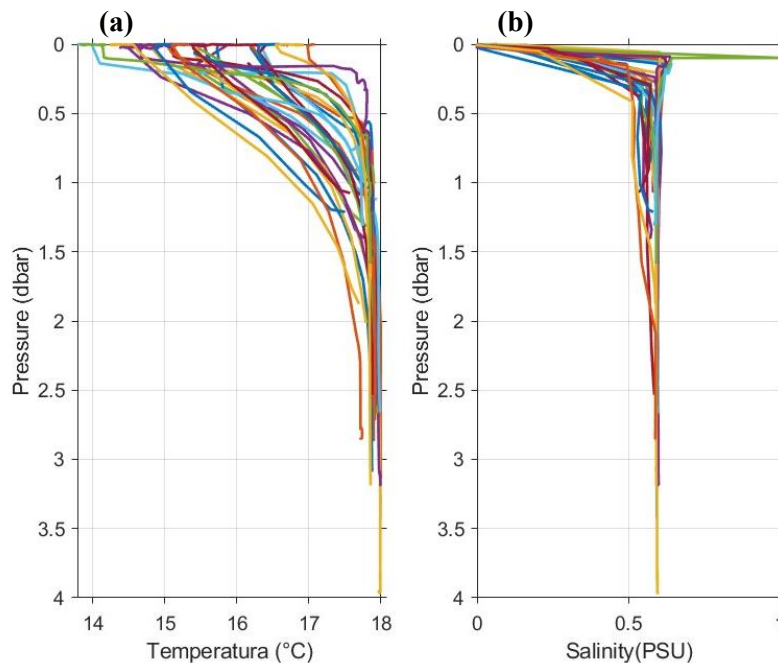


Figura 12 - Perfiles de Temperatura y Salinidad (19 de Octubre 2024).

En la *Figura 12.a*, se observa una temperatura constante de 18 [°C] en la columna de agua, sin variabilidad ni estratificación notoria, superior a las temperaturas de la campaña de septiembre. Por otro

lado, en la *Figura 12.b*, se nota que todos los perfiles de salinidad se encuentran en un rango de 0-1 [psu], por tanto, no hay agua salada en el estuario, incluso en las condiciones de marea llanante en sicingia de esta campaña. Considerando el elevado caudal reportado en la estación Cabimbao (DGA, 2025), es claro que el caudal río fue lo suficientemente elevado para impedir la entrada de agua de mar y la formación de una cuña salina, aún en condiciones de marea alta (Flores, 2025).

6.3 Visita 21 de diciembre de 2024

Se realiza una campaña de monitoreo el día 21 de diciembre, entre las 11:40 y 15:00 [hrs]. La campaña se planificó para realizar mediciones y capturar condiciones de marea llanante, a fin de maximizar las posibilidades de observar agua salada en el estuario. De igual forma que en visitas pasadas, se realizó un muestreo in-situ para obtener perfiles verticales de salinidad y temperatura a lo largo del estuario, y se realizaron vuelos de dron para monitorear las condiciones generales, la morfología de la desembocadura y la descarga al océano (Flores, 2025).

Con vuelos de dron, se capturaron las siguientes imágenes:



Figura 13 - Imágenes capturadas con dron (21 de Diciembre 2024).

En la *Figura 13.a*, se aprecia una barra de arena extensa, de dimensiones similares a lo observado en octubre. Sin embargo, el desarrollo de la barra ha forzado a la desembocadura a migrar hacia el norte, formando un canal que descarga casi paralelo a la costa (Flores, 2025), *Figura 13.c,d*, esto es, en dirección al Puerto San Antonio, al llegar a esta zona, la pluma es forzada a cambiar de rumbo debido a la morfología de la costa, se despega y propaga hacia aguas más profundas. La *Figura 13.b*, por otro lado, muestra una perspectiva del estuario hacia aguas arriba.

En cuanto al agua de río, se percibe turbia, *Figura 13.a,b,c,d*, situación que sugiere una alta concentración de sedimentos finos en suspensión. De acuerdo con lo reportado por la Dirección General de Aguas (DGA) en el sistema de estaciones en línea, el caudal en la estación Cabimbao fue aproximadamente de 85.09 [m^3/s] (DGA, 2025), menor al existente en la campaña de octubre. La descarga del estuario al océano forma una corriente paralela a la costa, en parte por la inclinación del

canal de descarga y en parte por la acción del oleaje que impide la dispersión inicial del agua de río. Es probable que además existan efectos batimétricos, que contribuyan a retener la pluma cerca de la costa (Flores, 2025).

Por otro lado, la ubicación de los puntos donde se realizaron los perfiles verticales en bote fue:

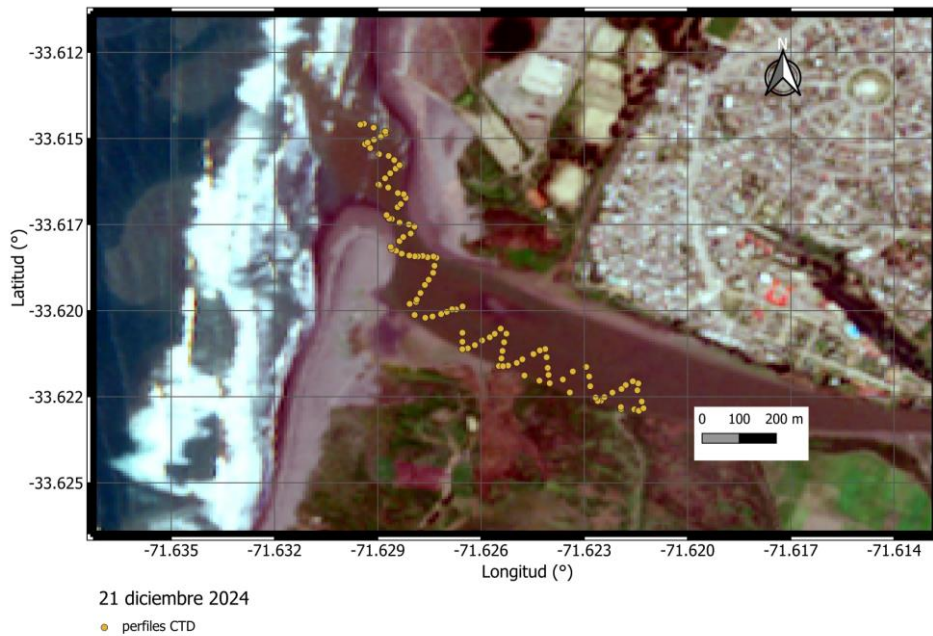


Figura 14 - Ubicación perfiles verticales en estuario (21 de Diciembre 2024, Copernicus Browser).

En esta campaña se realizan 120 perfiles verticales en un lapso aproximado de 4 horas, arrojando todas las mediciones los mismos resultados, incluso en zonas muy cercanas a la desembocadura no se registra la presencia de sal. Lo anterior se puede extraer luego del análisis en MATLAB® de las mediciones realizadas con el dispositivo CastAway-CTD:

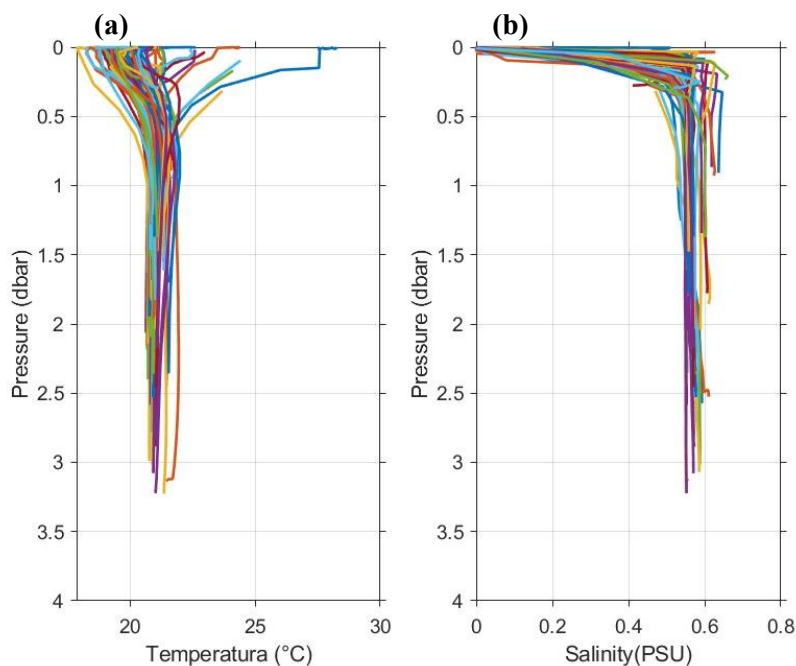


Figura 15 - Perfiles de Temperatura y Salinidad (21 de Diciembre 2024).

En la *Figura 15.a*, se observa una temperatura constante y aproximada de 21 [°C] en la columna de agua, superior a la encontrada en la campaña de octubre, no se observa variabilidad vertical. Por otra parte, en la *Figura 15.b*, al igual que lo reportado en las campañas anteriores, no se aprecia presencia de agua salada en el estuario; todos los perfiles recolectados muestran agua dulce, rango de 0-1 [psu]. Se sugiere que lo anterior es nuevamente producto del elevado caudal del río, que impide la penetración de la cuña salina aún en condiciones de marea llenante (Flores, 2025).

6.4 Visita 1 de febrero de 2025

Se realiza una campaña de monitoreo el día 1 de febrero, entre las 11:40 y 16:00 [hrs]. Las mediciones realizadas capturaron condiciones de marea llenante, con la intención de maximizar las posibilidades de observar agua salada en el estuario. De igual forma que en monitoreos anteriores, se realizó un muestreo in-situ para obtener perfiles verticales de salinidad y temperatura a lo largo del estuario, y se realizaron vuelos de dron para monitorear las condiciones generales, la morfología de la desembocadura y la descarga al océano.

Con vuelos de dron, se capturaron las siguientes imágenes:



Figura 16 - Imágenes capturadas con dron (01 de Febrero 2025).

En la *Figura 16.a*, se aprecia una barra de arena extensa, de dimensiones similares a lo observado en diciembre. El canal de descarga asociado a la desembocadura se percibe de igual forma que en la campaña anterior, *Figura 16.c,d*, esto es, paralelo a la costa en dirección al Puerto San Antonio, al llegar a esta zona, la pluma es forzada a cambiar de rumbo debido a la morfología de la costa, se despega y propaga hacia aguas más profundas. La *Figura 16.b*, por otro lado, muestra una perspectiva del estuario hacia aguas arriba.

En cuanto al agua de río, se percibe turbia, *Figura 16.a,b,c,d*, situación que sugiere una alta concentración de sedimentos finos en suspensión. De acuerdo con lo reportado por la Dirección General de Aguas (DGA) en el sistema de estaciones en línea, el caudal en la estación Cabimbao fue aproximadamente de $53.91 [m^3/s]$ (DGA, 2025), mucho menor a los caudales presentes en las campañas mencionadas anteriormente, de hecho, este valor es el más cercano al caudal medio anual del sistema estuarino. Esta situación, bajo caudal río, aumenta las posibilidades de encontrar sal en el estuario, pues si este caudal sigue disminuyendo no se impedirá la entrada de agua de mar y la formación de una cuña salina.

Por otro lado, la ubicación de los puntos donde se realizaron los perfiles verticales en bote fue:

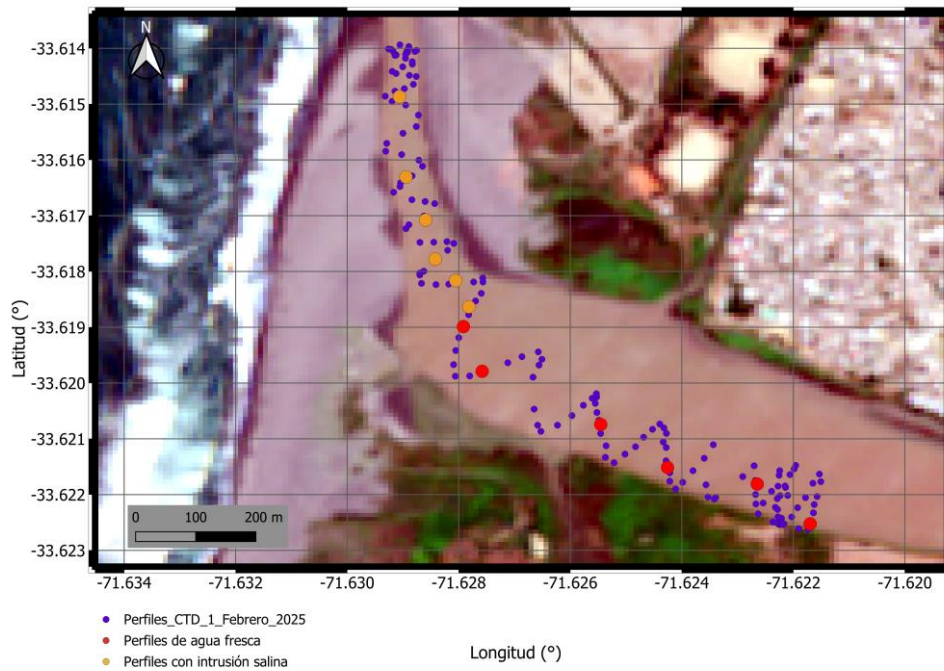


Figura 17 - Ubicación perfiles verticales en estuario (01 de Febrero 2025, Copernicus Browser).

En esta campaña se realizan 160 perfiles verticales en un lapso aproximado de 3 horas, arrojando 2 tipos de resultados:

- Zona que abarca a los puntos rojos (Mediciones 1 a 91): Agua fresca, ausencia de sal. Dentro de esta sección de mediciones se encuentra la estación HOBOLink, entonces, la intrusión salina aún no es tan fuerte.
- Zona que abarca a los puntos amarillos (Mediciones 92 a 160): Agua con intrusión salina, presencia de sal en el sistema estuarino.

Lo anterior se puede extraer luego del análisis en MATLAB® de las mediciones realizadas con el dispositivo CastAway-CTD:

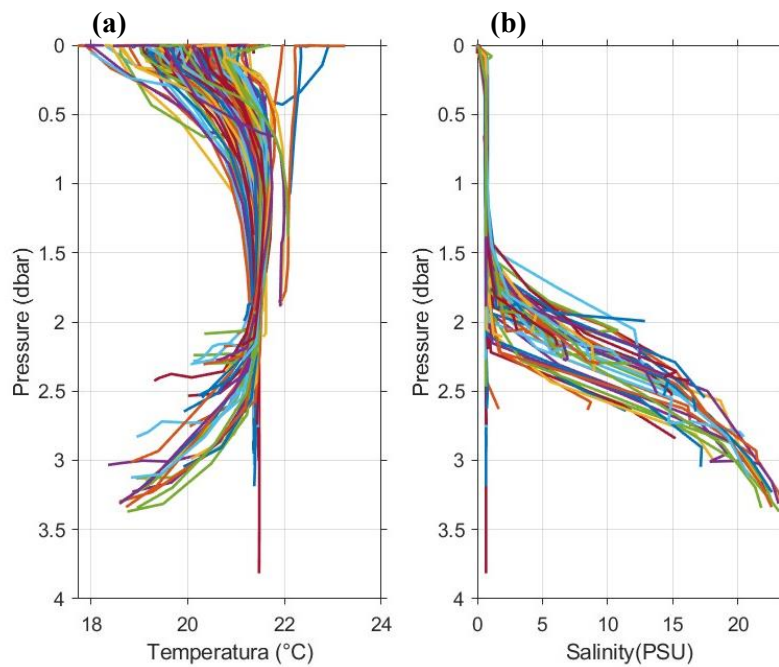


Figura 18 - Perfiles de Temperatura y Salinidad (01 de Febrero 2025).

En la *Figura 18.a*, se advierte una temperatura variable de 18-22 [°C] en la columna de agua, similar a la temperatura encontrada en la campaña de diciembre. Por otra parte, en la *Figura 18.b*, se observa la existencia de sal, tal como se había mencionado anteriormente, en un rango igual a 0-25 [psu]. Sin embargo, al momento de la campaña, esta intrusión salina no alcanza a llegar a la zona donde se encuentra la estación HOBOLink.

6.5 Visita 24 de Marzo de 2025

Se realiza una campaña de monitoreo el día 24 de marzo, entre las 11:00 y 16:30 [hrs]. Al igual que en monitoreos anteriores, se realizó un muestreo in-situ para obtener perfiles verticales de salinidad y temperatura a lo largo del estuario, y se realizaron vuelos de dron para monitorear las condiciones generales, la morfología de la desembocadura y la descarga al océano.

Con vuelos de dron, se capturaron las siguientes imágenes:



Figura 19 - Imágenes capturadas con dron (24 de Marzo 2025).

En la *Figura 19.a*, se aprecia una barra de arena mucho más extensa a la observada en febrero. El canal de descarga asociado a la desembocadura se percibe de igual forma que en la campaña anterior, *Figura 19.c,d*, esto es, paralelo a la costa en dirección al Puerto San Antonio, al llegar a esta zona, la pluma es forzada a cambiar de rumbo debido a la morfología de la costa, se despega y propaga hacia aguas más profundas. La *Figura 19.b*, por otro lado, muestra una perspectiva del estuario hacia aguas arriba.

En cuanto al agua de río, se percibe turbia, *Figura 19.a,b,c,d*, situación que sugiere una alta concentración de sedimentos finos en suspensión.. De acuerdo con lo reportado por la Dirección General de Aguas (DGA) en el sistema de estaciones en línea, el caudal en la estación Cabimbao fue aproximadamente de $42.62 [m^3/s]$ (DGA, 2025), valor cada vez más cercano al caudal medio anual esperado en el estuario de $30 [m^3/s]$. Lo anterior, permite hallar sal en el estuario y, presumiblemente, la formación de una cuña salina.

Por otro lado, la ubicación de los puntos donde se realizaron los perfiles verticales en bote fue:

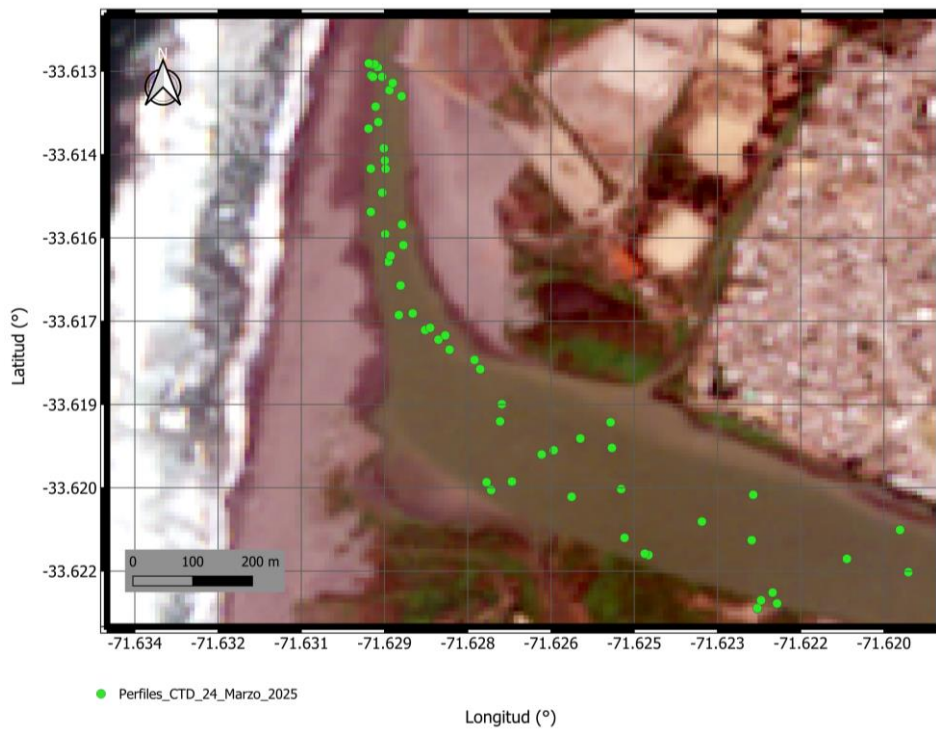


Figura 20 - Ubicación perfiles verticales en estuario (24 de Marzo 2025, Copernicus Browser).

En esta campaña se realizan 68 perfiles verticales en un lapso aproximado de 3 horas, arrojando todas las mediciones los mismos resultados, incluso en zonas muy cercanas a la desembocadura no se registra la presencia de sal. Lo anterior se puede extraer luego del análisis en MATLAB® de las mediciones realizadas con el dispositivo CastAway-CTD:

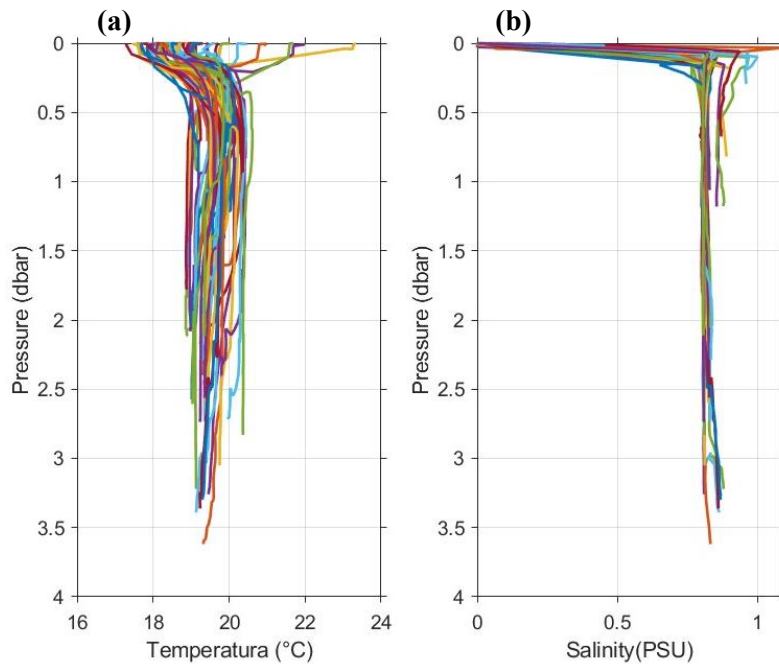


Figura 21 - Perfiles de Temperatura y Salinidad (24 de Marzo 2025).

En la *Figura 21.a*, se advierte una temperatura variable de 19-21 [°C] en la columna de agua, similar a la temperatura encontrada en la campaña anterior. Por otra parte, en la *Figura 21.b*, al igual que lo reportado en las campañas anteriores a la de febrero 2025, no se aprecia presencia de agua salada en el estuario; todos los perfiles recolectados muestran agua dulce, rango de 0-1 [psu].

7 Monitoreo Estación HOBOLink.

7.1 Muelle

A continuación, se presenta la variación en el nivel de la rampa apoyada a la balsa flotante que sostiene el muelle, observada en más de una de las campañas a terreno mencionadas en la *Sección 5*.



Figura 22 – (a) Muelle 14 de Agosto 2024 / (b) Muelle 26 de Septiembre 2024 / (c) Muelle 19 de Octubre 2024 / (d) Muelle 01 de Febrero 2025.

En la *Figura 22*, se puede apreciar fácilmente la movilidad de la balsa según la inclinación de la rampa. Sin un análisis detenido, se podría sostener que tanto en las campañas de agosto 2024 como septiembre 2024 el caudal río fue menor al observado en las visitas a terreno de octubre 2024 y febrero 2025, ya que la rampa posee una mayor inclinación en esos meses. Esta aseveración no es del todo correcta, pues como se menciona en la *Sección 5*, los caudales del 26 de septiembre 2024 y 19 de octubre 2024 son mayores a los del 1 de febrero 2025. Por otra parte, el caudal el día 14 de agosto 2024 fue aproximadamente de $481.14 [m^3/s]$ (DGA, 2025), mucho mayor a todos los valores reportados en la *Sección 5*.

Entonces, estudiar la inclinación de la rampa no es concluyente para el análisis que se quiere realizar con este estudio.

7.2 Serie de datos: nivel, temperatura y conductividad

La estación HOBOLink comenzó a registrar información el día 12 de agosto de 2024. La estación se encuentra configurada para tomar mediciones cada 10 minutos, y enviar datos a la plataforma online cada 30 minutos (Flores, 2025). Las variables registradas y sus unidades se muestran a continuación:

Tabla 1 - Variables registradas por la estación HOBOLink.

Variable	Unidad	Símbolo
Nivel	Metros	[m]
Temperatura	Celsius	[°C]
Conductividad eléctrica	Micro Siemens por metro	[mS/m]

Las variables nivel, temperatura y conductividad se registran en dos puntos de la columna de agua: fondo y superficie. El sensor de profundidad se ubica a $20 [cm]$ del fondo, por lo que a la medición de nivel del instrumento se le debe agregar dicho offset, lo que se hace de forma automática gracias a una configuración previa. El sensor de superficie se encuentra instalado bajo la balsa flotante que sostiene el muelle, aproximadamente a $50 [cm]$ de profundidad (Flores, 2025).

Los datos provenientes de la página web se presentan a continuación:

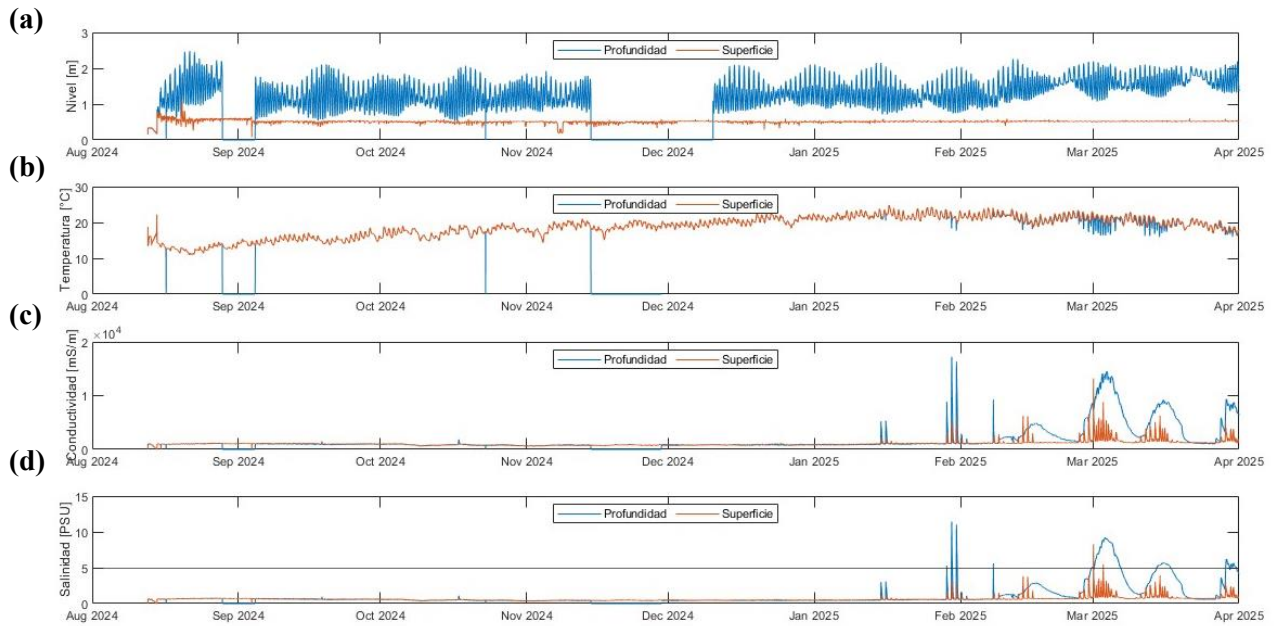


Figura 23 - Datos estación HOBOLink. (a) Nivel [m] / (b) Temperatura [°C] / (c) Conductividad [mS/m] / (d) Salinidad [psu].

En la *Figura 23* es posible observar que el sensor ubicado en profundidad ha presentado problemas dos veces, situaciones que requirieron la visita de profesionales de la empresa Unisource para su solución. A fines de agosto y principios de septiembre, específicamente entre el 28 de agosto y el 04 de septiembre, el sensor de profundidad deja de transmitir información y es reemplazado por uno nuevo; luego de este evento, las mediciones vuelven a estar en línea a partir del “04/09/24 10:10am”. Este último sensor, debe ser reemplazado nuevamente, pues falla entre el 14 de noviembre y el 10 de diciembre, las mediciones retoman su normalidad el “10/12/24 10:10am”. En cuanto al sensor de superficie, este ha transmitido datos de forma continua, sin errores hasta la fecha.

En la *Figura 23.a*, se puede ver la serie de tiempo de nivel para ambos sensores, en el caso del sensor de profundidad se observa la variabilidad mareal, asociada a ciclos semi-diurnos, diurnos y de sicigia/cuadratura, y se advierte variabilidad en los valores mínimos de la serie de tiempo del sensor de profundidad, asociada al flujo de río. Por otro lado, el sensor de superficie muestra un nivel relativamente constante, debido a su posición invariante en la columna de agua, lo que sí se debe mencionar es la existencia de un cambio de nivel durante los primeros días de septiembre, pues los guardaparques del humedal varían la posición del sensor (Flores, 2025). Como la serie de nivel de superficie se mantiene constante, no merece mayor investigación, y, por tanto, en todos los análisis siguientes se utilizará la información asociada al sensor de profundidad.

En la *Figura 23.b*, se muestra la serie de temperatura para ambos sensores donde se advierte que ambos sensores registran los mismos valores para todo el período, salvo en aquellos episodios donde el sensor de profundidad dejó de transmitir datos. Lo anterior indica que no existe estratificación por temperatura en la columna de agua, de forma que la temperatura en superficie es siempre igual a la temperatura registrada en el fondo. Por otro lado, se observa una tendencia al alza de las temperaturas desde el mes de agosto, cuando se registraron temperaturas menores a los 15 [°C], hasta el mes de marzo, donde se registran temperaturas superiores a los 15 [°C]. La serie de tiempo de temperatura evidencia ciclos de

menor frecuencia que las variaciones semi-diarias de la marea, que serán analizadas en las siguientes secciones. Es importante notar que el valor elevado registrado al principio de la serie ocurre porque el instrumento estaba fuera del agua, registrando la temperatura ambiente (Flores, 2025).

En la *Figura 23.c*, se puede observar la poca variabilidad existente en la conductividad eléctrica desde agosto 2024 a mediados de enero 2025, manteniéndose en un valor relativamente constante, tanto para el sensor de superficie como de profundidad, de aproximadamente $1.000 [mS/m]$. Lo inmediatamente anterior, sugiere la ausencia de estratificación por salinidad (Flores, 2025). Por otro lado, desde fines de enero 2025, la tendencia ha cambiado, pues es posible encontrar valores de conductividad eléctrica cercana a los $20.000 [mS/m]$ en el caso del sensor de profundidad y sobre los $1.000 [mS/m]$ en el caso del sensor de superficie, esto podría indicar la presencia de estratificación por salinidad, contrario a lo que ocurría desde agosto 2024.

La *Figura 23.d*, muestra la serie de salinidad que se obtiene a partir de los datos de conductividad, temperatura y profundidad. La salinidad se mantiene constante durante el período agosto 2024 a mediados de enero 2025, en valores de aproximadamente $0.6 [psu]$ lo que corresponde a agua dulce, sin presencia de sal (Flores, 2025). Recién a fines de enero 2025, se observan ciertos peaks de salinidad cercanos a $10 [psu]$ para el sensor de profundidad y, a $3 [psu]$ en el caso del sensor de superficie; esto sugiere la presencia de agua de mar en el punto del estuario donde se encuentra la estación para monitoreo permanente. Adicionalmente, se hace relevante mencionar que dentro de toda la gráfica no se obtiene ningún valor igual a $0 [psu]$ debido a que el agua de río contiene mínimos niveles de sales.

Adicionalmente, se puede calcular la densidad asociada a los datos capturados por la estación de monitoreo permanente, con ayuda de las herramientas de TEOS-10, encontrándose:

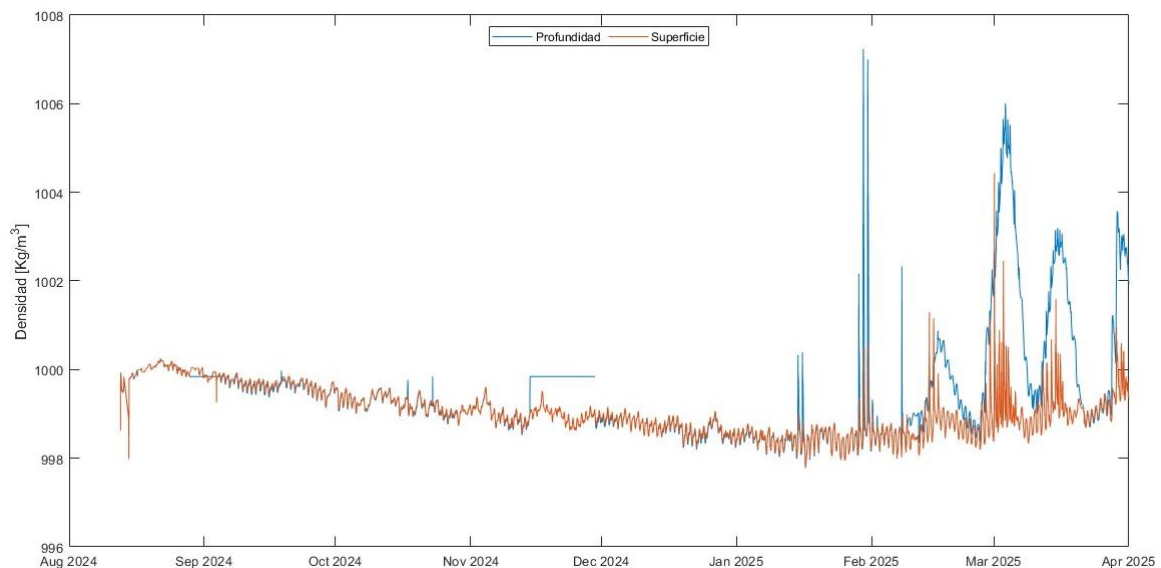


Figura 24 – Datos HOBOLink: Densidad [Kg/m³].

En la *Figura 24*, se aprecia que, desde agosto 2024 a mediados de enero 2025, la variabilidad existente entre la densidad en superficie como profundidad es casi imperceptible; caso contrario, al visualizar la información desde fines de febrero 2025 a abril 2025 donde se observan peaks superiores a $1.002 [Kg/m^3]$ en el caso del sensor de profundidad y, $1.000 [Kg/m^3]$ para el sensor de superficie. Esto, sugiere la existencia de una cuña salina en la zona de estudio.

Finalmente, para validar los datos de la plataforma, en cada campaña de terreno se realizan mediciones de conductividad y temperatura en el muelle. Esta información ha sido consistente a través del tiempo, es decir, los sensores instalados de forma permanente entregan las mismas mediciones que el CastAway utilizado en las campañas de terreno, instrumento considerado más preciso (Flores, 2025).

7.3 Análisis de datos – Contexto

En muchos aspectos de la oceanografía, resulta útil separar series de datos en términos de componentes mareales y no mareales.

7.3.1 Análisis de Fourier

El procesamiento y análisis de los datos registrados por la estación de monitoreo se realiza caracterizando los períodos y frecuencias fundamentales de las series de tiempo. Lo anterior, se lleva a cabo calculando los espectros de energía mediante un análisis de Fourier, esta técnica matemática permite descomponer una señal compleja en una sumatoria de componentes sinusoidales simples de diferentes amplitudes y frecuencias. Los espectros de Fourier representan la distribución espectral de la energía de la señal, proporcionando una herramienta clave para identificar las frecuencias más importantes y dominantes de la señal (Flores, 2025).

La estimación de los espectros se realiza, entonces, aplicando la Transformada Discreta de Fourier:

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-\frac{iz\pi fn}{N}}$$

donde:

- $X(f)$ es la transformada de Fourier para la frecuencia f .
- $x(n)$ es el valor de la señal en el punto n .
- N es el tamaño de la muestra.
- La exponencial corresponde a la representación compleja de una senoide.

El espectro de potencia o energía se obtiene mediante $|X(f)|^2$, es decir, mediante la magnitud de la transformada de Fourier al cuadrado. Las frecuencias peak corresponde a aquellas que concentran la mayor parte de la energía de la señal. El análisis de Fourier se realiza mediante el software Matlab® (Flores, 2025).

7.3.2 Análisis armónico de la señal de marea

De manera análoga al análisis de Fourier, el análisis armónico de señales de marea consiste en la descomposición de las variaciones del nivel del agua, océano o agua interiores, en una suma de ondas sinusoidales. Cada una de estas ondas está asociada a un componente armónico específico, el cual representa una influencia de origen astronómico o geofísico sobre el nivel del agua. Este enfoque analítico permite identificar las principales componentes armónicas presentes en un determinado sitio como, por ejemplo, componentes semidiurnas, diurnas, entre otras y, a partir de ellas, realizar predicciones con un alto grado de precisión. Para la correcta identificación de dichas componentes, es necesario registrar la señal de nivel $h(t)$ durante un período suficientemente extenso, usualmente entre un mes y un año, dependiendo de los objetivos y de las condiciones locales. En general, con registros continuos de 2 a 3 meses es posible identificar las componentes más relevantes de la marea (Flores, 2025).

La señal de nivel o marea se modela según:

$$h(t) = A_0 + \sum_{i=1}^N A_i \cdot \cos(2\pi f_i t + \phi_i)$$

donde:

- A_0 corresponde a un nivel base.
- A_i , es la amplitud del armónico i .
- f_i , es la frecuencia del armónico i , relacionado con los ciclos astronómicos.
- ϕ_i , es la fase del componente armónico i .

La determinación de las amplitudes y las fases se realiza mediante un ajuste de mínimos cuadrados, para cada frecuencia conocida f_i . Conocidos los parámetros es posible reconstruir la señal de marea y predecir los niveles futuros de acuerdo con los ciclos identificados. Los principales armónicos, también llamados constituyentes armónicos, representan las oscilaciones periódicas producto de las fuerzas gravitacionales de la luna, el sol, y las interacciones con la Tierra (Flores, 2025). Los principales componentes o constituyentes mareales se presentan a continuación (Bosboom & Stive, 2021):

Tabla 2 - Principales constituyentes mareales.

Componente	Tipo	Periodo
S2	Semidiurna solar	12.00 horas
M2	Semidiurna lunar	12.42 horas
N2	Semidiurna elíptica lunar	12.66 horas
K1	Diurna lunar-solar	23.93 horas
O1	Diurna lunar	25.82 horas
SSA	Semestral	4383 horas

7.4 Análisis de datos – Resultados

En esta sección, todos los análisis a periodos específicos se realizan para los días entre el 28 de enero y 06 de febrero 2025, ya que entre el 29 de enero y 01 de febrero es posible observar el mayor peak de sal en el estuario.

7.4.1 Nivel y marea

A continuación, se presentan las series de tiempo de nivel dentro del estuario, sensor de profundidad, y de la marea en la estación SHOA de San Antonio. Los datos de marea de San Antonio se descargan desde el sitio web Sea Level Station Monitoring de la UNESCO.

Enlace: <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=sano2>

Para comparar ambas series de tiempo fue necesario restarle a cada una su media respectiva, pues las series originales tienen distintos niveles de referencia, obteniéndose:

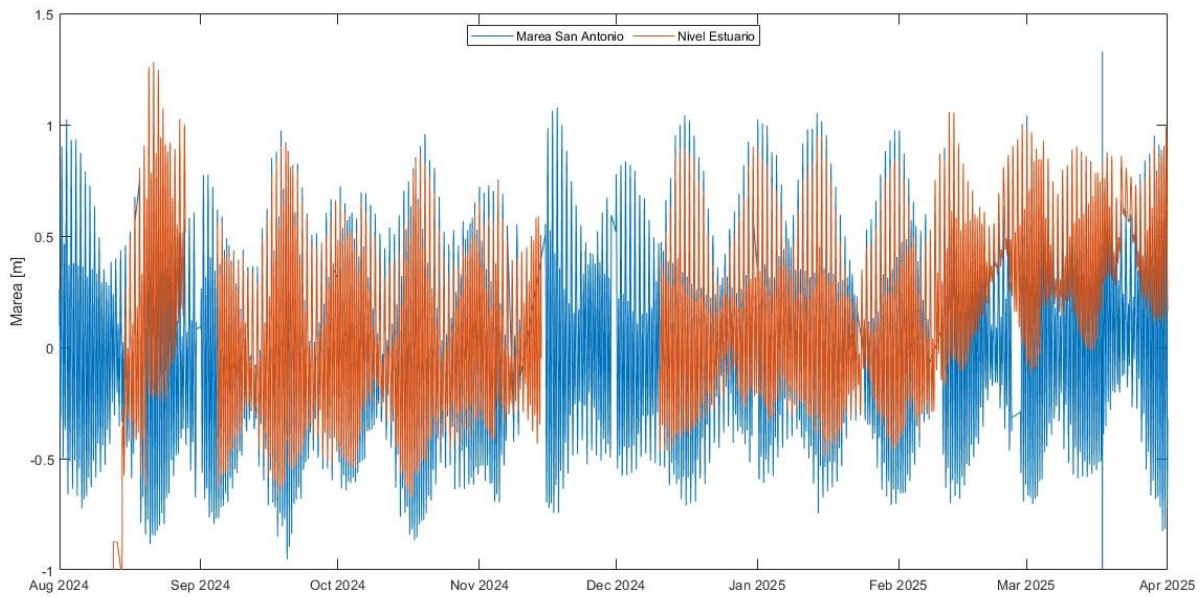


Figura 25 - Nivel marea San Antonio y Estuario.

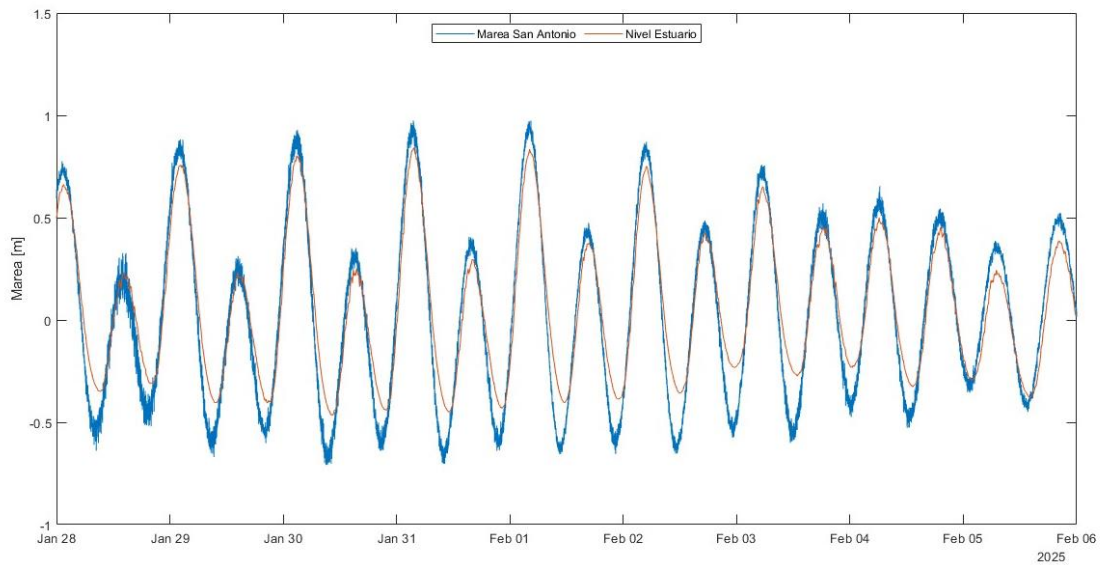


Figura 26 - Nivel marea San Antonio y Estuario (28 de Enero a 06 de Febrero 2025).

En la *Figura 25*, es posible observar que ambas series tienen la misma variabilidad temporal, sin embargo, la amplitud de la serie de nivel dentro del estuario es menor que la amplitud de la serie marea en San Antonio. En general, se observa que los niveles máximos en el estuario son menores que los niveles máximos de marea en el océano, mareas altas, y que los niveles mínimos en el estuario son mayores que los niveles mínimos en el océano, mareas bajas. Lo anterior se aprecia con claridad en el zoom realizado a la *Figura 25*, *Figura 26* donde, también se aprecian las diferencias en la amplitud de las series y el pequeño desfase temporal donde el nivel del estuario sigue al nivel de marea. En particular, se observa que la fase vaciante en el estuario es ligeramente más larga que la de la marea (Flores, 2025).

Al realizar el análisis espectral con Fourier, se obtiene lo siguiente:

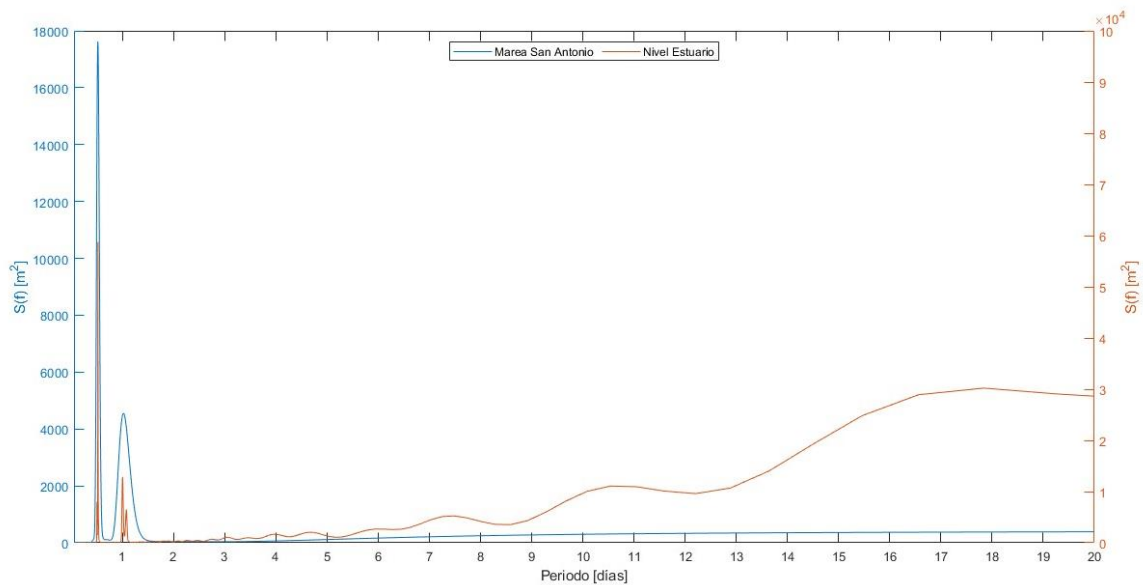


Figura 27 - Espectro de Energía Marea.

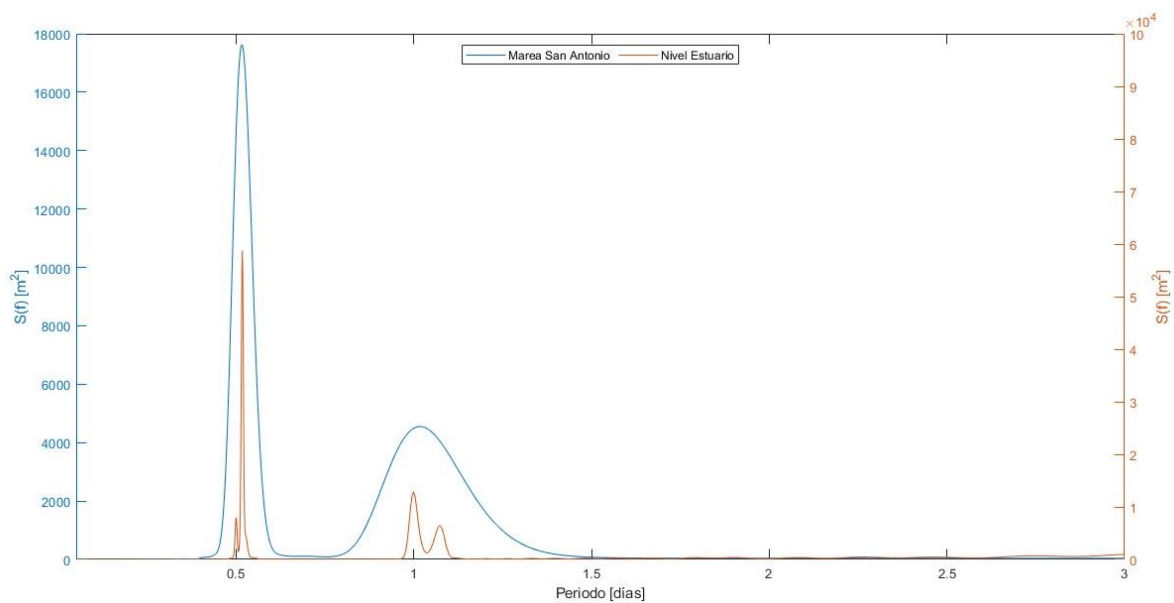


Figura 28 - Periodo Espectro de Energía Marea.

La *Figura 27*, en relación con lo esperado de ambas señales indica periodicidades dominantes aproximadamente de 12 y 24 horas conforme a la dominancia de forzamiento mareal del sistema, esto se observa con mayor claridad en la *Figura 28*. Lo anterior, genera la confianza necesaria, en los datos recolectados por la estación de monitoreo permanente, pues las componentes M2, S2 y K1 son las que caracterizan al estuario del Río Maipo. Una forma de respaldar esta aseveración es realizar un análisis armónico a las series de nivel de marea de San Antonio y el estuario, pues con él es posible determinar un número reducido de componentes mareales que expliquen gran parte de la variabilidad de la serie y faciliten procesos de reconstrucción mareal y pronósticos (Flores, 2025).

Al realizar el análisis armónico a las series de nivel de marea de San Antonio y del estuario con el código UTIDE implementado en MATLAB® (Codiga, 2011), se obtienen las siguientes componentes mareales dominantes:

Tabla 3 - Resultados Análisis Armónico Marea en San Antonio.

Componente	Varianza Explicada [%]	Amplitud [m]	Fase [°]
M2	71.43	0.439	63.5
S2	9.15	0.157	43.4
K1	8.84	0.154	84.1
O1	4.09	0.105	357.0
N2	3.74	0.100	33.6
	97.25		

Tabla 4 - Resultados Análisis Armónico Nivel Sensor Profundidad en el Estuario.

Componente	Varianza Explicada [%]	Amplitud [m]	Fase [°]
M2	64.15	0.331	72.6
K1	9.30	0.126	51.9
S2	7.46	0.113	93.6
SSA	5.64	0.0982	4.54
O1	4.82	0.0908	6.01
	91.37		

En las *Tablas 3 y 4*, se observa congruencia con lo mencionado para los espectros de energía mareales, esto es, existe dominancia de las componentes M2, S2 y K1. Adicionalmente, se puede advertir la existencia de una componente mareal diferente, en el caso de la marea en San Antonio es N2 y en el estuario, SSA. La diferencia antes mencionada, permite afirmar que la onda de marea en San Antonio se deforma a medida que ingresa al estuario del Río Maipo.

7.4.2 Temperatura

Al igual que para las series de nivel, se calculan los espectros de frecuencia para la serie de temperatura en la estación de monitoreo permanente, con la intención de establecer los períodos dominantes. A continuación, se presenta la gráfica obtenida:

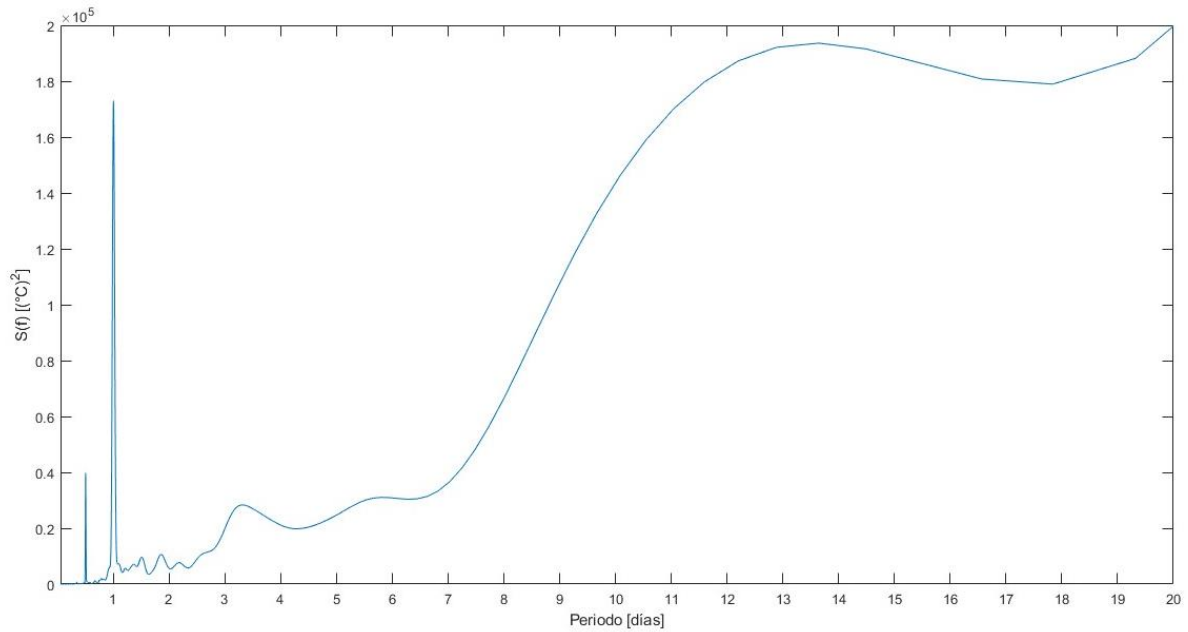


Figura 29 - Espectro de Energía Temperatura en el Estuario.

En la *Figura 29*, se advierte la existencia de 4 peaks relevantes:

- Dominante: 13-14 [días] de aproximadamente $2 \cdot 10^5$ $[(^{\circ}C)^2]$, variabilidad aproximada a una escala quincenal de la temperatura del agua de río, asociada al cambio de amplitud de la marea que según la literatura ocurre cada 15 [días].
- Secundario: 1 [día] de aproximadamente $1.6 \cdot 10^5$ $[(^{\circ}C)^2]$, variabilidad a escala diaria de la temperatura del agua de río.
- Terciario: 0.5 [días] de aproximadamente $0.4 \cdot 10^5$ $[(^{\circ}C)^2]$, variabilidad a escala semi-diaria de la temperatura del agua de río.
- Cuaternario: 3-4 [días] de aproximadamente $0.3 \cdot 10^5$ $[(^{\circ}C)^2]$, variabilidad sin explicación clara que debe ser investigado al recolectar series de datos más largas.

Por otro lado, las frecuencias dominantes pueden apreciarse en la siguiente figura:

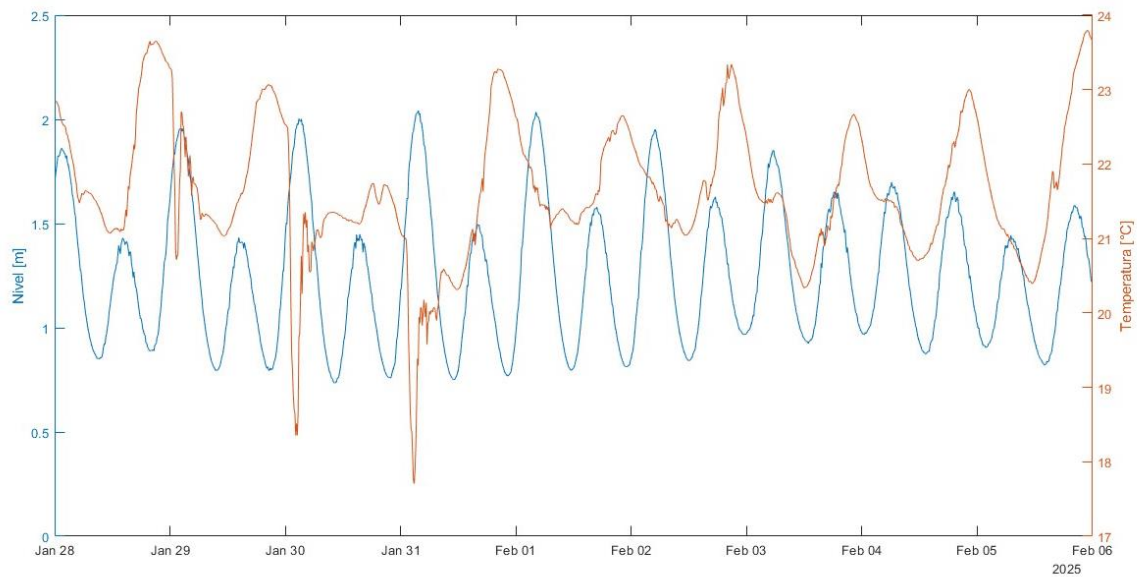


Figura 30 - Serie de Nivel y Temperatura en el Estuario (28 de Enero a 06 de Febrero 2025).

La *Figura 30* muestra un subconjunto de los datos de temperatura y nivel, capturados por el sensor de profundidad y en ella se aprecia la periodicidad de la señal de temperatura, con un ciclo mayor de aproximadamente 1 [día] de duración, de un mínimo al mínimo siguiente, y un ciclo menor, de aproximadamente 0.5 [día] asociado a los valores máximos locales de la señal (Flores, 2025).

7.4.3 Conductividad y salinidad

A continuación, se analizan las señales de conductividad eléctrica y salinidad:

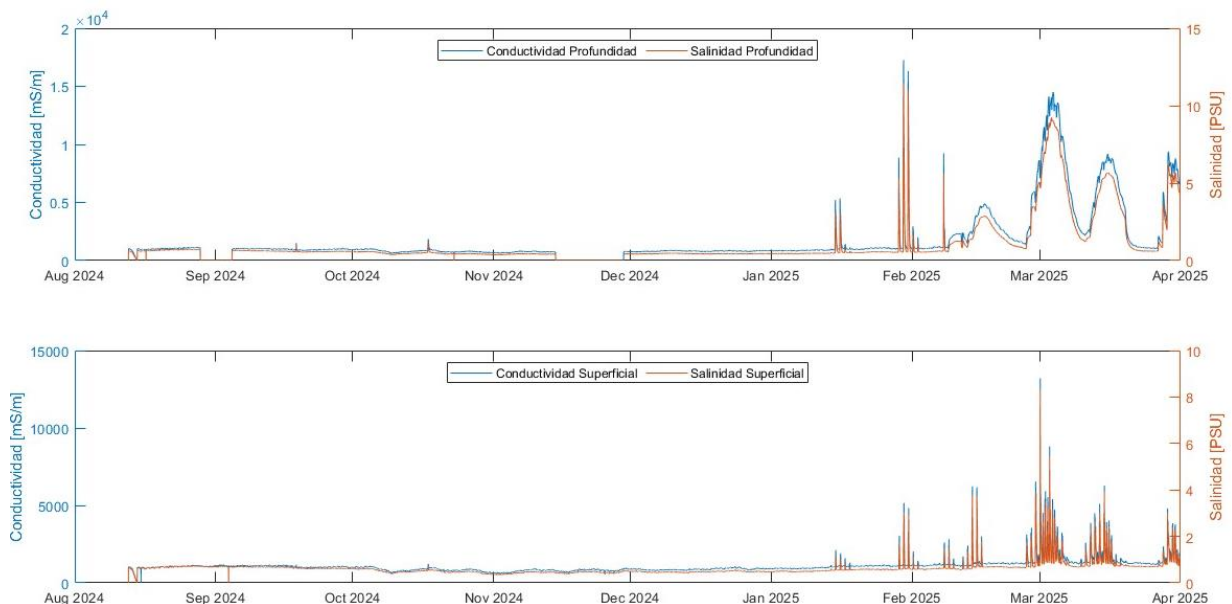


Figura 31 - Conductividad y Salinidad en el Estuario.

En la *Figura 31* se advierte una relación de forma entre conductividad y salinidad tanto en el caso del sensor de profundidad como en el de superficie, debido a que poseen una relación directamente

proporcional, pues para calcular la salinidad se necesita de la información asociada a la conductividad eléctrica. Las gráficas presentes en la figura se mencionan a continuación:

- Sensor de profundidad, la conductividad se encuentra en un rango de 800 a 20.000 [mS/m], asociándose a esta última una salinidad sobre 10 [psu].
- Sensor de superficie, la conductividad se encuentra en un rango de 800 a 15.000 [mS/m], asociándose a esta última una salinidad aproximada de 8 [psu].

Para verificar la existencia o no de variabilidad entre la serie de salinidad y la de nivel, se grafica la información asociada al sensor de profundidad:

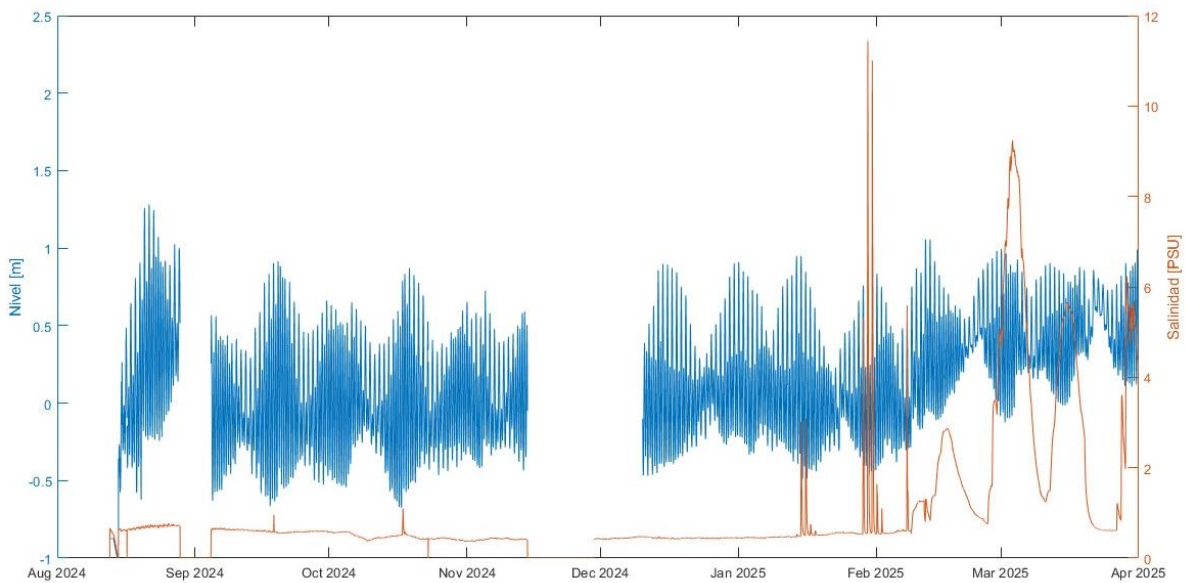


Figura 32 - Señal de Nivel y Salinidad en el Estuario, Sensor Profundidad.

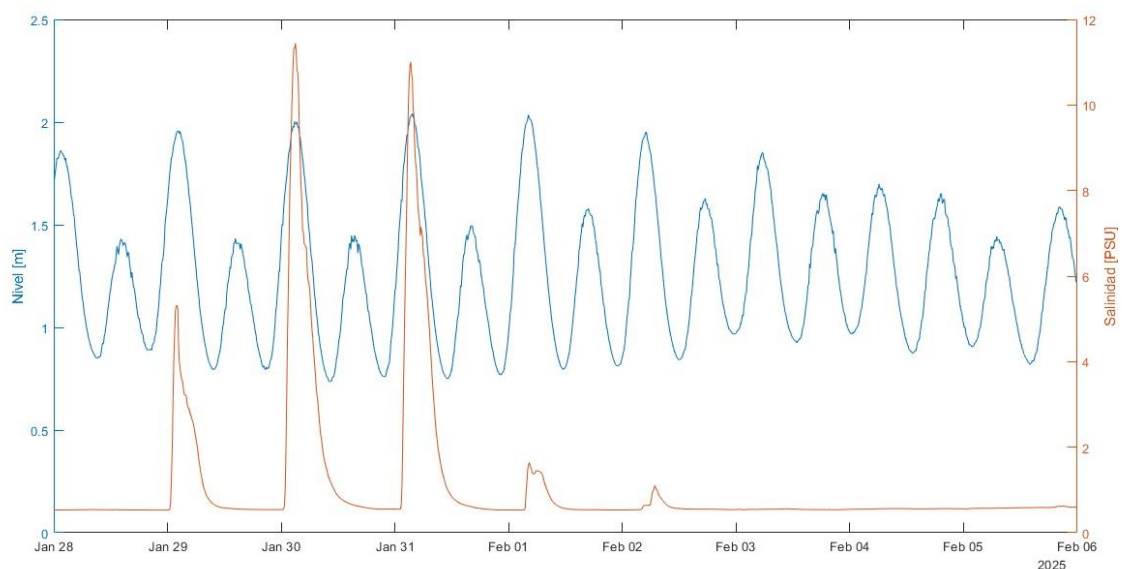


Figura 33 - Señal de Nivel y Salinidad en el Estuario, Sensor Profundidad (28 de Enero a 06 de Febrero 2025).

En la *Figura 32* es posible observar una ausencia de salinidad desde agosto 2024 hasta principios de enero 2025, esto es consistente con los elevados caudales que se han registrado en la estación Cabimbao durante la segunda mitad de 2024 e inicios del 2025 (Flores, 2025). Por otro lado, desde mediados de enero 2025 es posible observar sal en la ubicación de la estación HOBOLink, siendo razonable asegurar la llegada de la cuña salina a este sector del estuario del Río Maipo.

Ahora bien, la *Figura 33*, corresponde a un zoom de la *Figura 32* donde es posible advertir que los peaks más altos de salinidad se aprecian en marea alta, situación que se condice con lo esperado para la zona de estudio.

8 Conclusiones y comentarios.

Durante los días 26 de septiembre 2024, 19 de octubre 2024, 21 de diciembre 2024, 1 de febrero 2025 y 24 de marzo 2025 se realizaron campañas de medición en el estuario del Río Maipo, con el objetivo de obtener perfiles verticales de salinidad y temperatura. En las primeras 3 campañas y en la realizada en marzo 2025, no se detecta presencia de agua salada ni formación de una cuña salina, existiendo perfiles verticales uniformes con salinidades en el rango de 0–1 [psu] a lo largo de todo el estuario, lo que sugiere un caudal fluvial suficientemente alto como para impedir la intrusión marina. Asimismo, los perfiles de temperatura no presentan estratificación vertical, y los resultados obtenidos fueron similares en estas fechas, aunque se registró un aumento evidente de la temperatura del agua en septiembre- diciembre (Flores, 2025) y una disminución diciembre-marzo. Por otro lado, en la campaña restante, el escenario varía, ya que se advierte la existencia de una cuña salina con valores de hasta 12 [psu] aproximadamente y la disminución paulatina de la temperatura, mencionada anteriormente, relacionada con el cambio de temporada, entrada al otoño.

Respecto a la morfología de la desembocadura, se identifica el desarrollo de una barra de arena que ha desplazado el canal de salida hacia el norte, observándose en las últimas campañas, una descarga casi paralela a la línea de costa. El contraste de color entre las aguas del río y del mar sugiere la presencia de una pluma con alta concentración de sedimentos finos en suspensión, lo cual es consistente con los caudales registrados en la estación DGA de Cabimbao, ubicada a 20 km aguas arriba (Flores, 2025).

La estación HOBOLink de monitoreo continuo, por otro lado, ha registrado datos desde agosto 2024, presentando algunos lapsos de mal funcionamiento del sensor de profundidad. Sin embargo, el análisis de los registros indica que los datos son consistentes y de alta calidad. Se identifican frecuencias dominantes de 0.5 y 1 [días] en las series de nivel y temperatura, en concordancia con lo esperado. El análisis armónico de la serie de nivel mostró las mismas componentes principales que la serie de marea de San Antonio, con predominio de las componentes M2, S2 y K1, las cuales explican en su conjunto más del 80% de la varianza observada (Flores, 2025). Si bien, con un solo punto de medición es difícil caracterizar al estuario por completo, este análisis se considera como un primer paso para cumplir con ese objetivo.

9 Referencias

- Adams, J. B. (2014a). *A review of methods and frameworks used to determine the environmental water requirements of estuaries*. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.816426>
- Adams, J. B. (2014b). *A review of methods and frameworks used to determine the environmental water requirements of estuaries*. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.816426>
- Binte Sultan, M., Hasan Anik, A., & Rahman, M. (2024). Emerging contaminants and their potential impacts on estuarine ecosystems: Are we aware of it? *Marine Pollution Bulletin*, 199, 115982. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115982>
- Bosboom, J., & Stive, M. J. F. (2021). *Constituyentes mareales*.
- Codiga, D. L. (2011). *Investigating Tidal Influences on Subtidal Estuary-Coast Exchange Using Observations and Numerical Simulations*.
- DGA. (2025). *Tabla de Valores Sinópticos Agosto 2024 - Marzo 2025: Río Maipo en Cabimbao*.
- DJI. (2024a). *DJI Air 3: User Manual*.
- DJI. (2024b). *DJI MINI 3: User Manual*. <https://www.dji.com/mini-3/>
- El Líder. (2022). *Los desafíos de la Fundación Cosmos para preservar el humedal del río Maipo*.
- Flores, R. (2025). *INFORME TÉCNICO N°2: Implementación del Plan de Manejo del Santuario de la Naturaleza Humedal río Maipo: Educación Ambiental en torno al monitoreo del río Maipo*. www.obrasciviles.usm.cl
- Harvey, M. E., Giddings, S. N., Pawlak, G., & Crooks, J. A. (2023a). Hydrodynamic Variability of an Intermittently Closed Estuary over Interannual, Seasonal, Fortnightly, and Tidal Timescales. *Estuaries and Coasts*, 46(1), 84–108. <https://doi.org/10.1007/s12237-021-01014-0>
- Harvey, M. E., Giddings, S. N., Pawlak, G., & Crooks, J. A. (2023b). Hydrodynamic Variability of an Intermittently Closed Estuary over Interannual, Seasonal, Fortnightly, and Tidal Timescales. *Estuaries and Coasts*, 46(1), 84–108. <https://doi.org/10.1007/s12237-021-01014-0>
- HOBO® HOBO RX2100 Station - CELL-4G. (2021). www.onsetcomp.com
- Jainaga, I., Roco, A., Flores, R., Williams, M., & Horner-Devine, A. (2019). *ESQUEMA PREDICTIVO PARA EL DESTINO DE LA DESCARGA DE RÍOS PEQUEÑOS EN LA ZONA DE ROMPIENTE: APLICACIÓN A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MAIPO*.
- McDougall, T. J., & Barker, P. M. (2020). *Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox*. Trevor J McDougall.
- Ministerio del Medio Ambiente. (n.d.). *Humedales de Chile*. <https://humedaleschile.mma.gob.cl/ecosistemas/humedales/#:~:text=Los>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Decreto 1 DECLARA SANTUARIO DE LA NATURALEZA HUMEDAL RÍO MAIPO*.
- Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (1997). *Geomorfología e hidrografía de los estuarios*. <https://aquadocs.org/handle/1834/1722>

- RAE, D. (2023). *Desembocadura* _ Definición _ Diccionario de la lengua española _ RAE.
- RAE, E. (2023). *Estuario* _ Definición _ Diccionario de la lengua española _ RAE.
- RAE, H. (2023). *Humedal* _ Definición _ Diccionario de la lengua española _ RAE.
- Sanay González, R., & Perales Valdivia, H. (2022). Monitoreo ambiental en estuarios micromareales. *UVserva*, 13. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi13.2860>
- UNESCO/IOC. (2010). *The international thermodynamic equation of seawater-2010: Calculation and use of thermodynamic properties Intergovernmental Oceanographic Commission*.
- Urmeneta Migone, F. A. (2013). *Metodología para la determinación del caudal ecológico en estuarios : aplicación en el estuario del Río Aysén*.
- WWF. (2022). *Ecosistema costero*.
- Xylem Brand, S. (2019). *CastAway-CTD WITH PROFILING AND ANALYSIS SOFTWARE*.