



“Propuesta de sistema de monitoreo de Oxígeno disuelto y Temperatura para Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil”

Informe Final

Julio 2024



Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	OBJETIVOS	4
3.	ALCANCES	4
4.	ANTECEDENTES	5
4.1	Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil	5
5.	DESARROLLO ACTIVIDADES ASOCIADAS A OE N° 1	6
5.1	Revisión de tecnologías de monitoreo de Oxígeno disuelto posibles de implementar en laguna Cáhuil.	6
5.2	Revisión de tecnologías de monitoreo de Temperatura posibles de implementar en laguna Cáhuil.	8
5.3	Evaluación y determinación del tipo de instrumento idóneo para el monitoreo continuo de Oxígeno disuelto y Temperatura, en función del contexto local del humedal laguna Cáhuil.	9
6.	DESARROLLO ACTIVIDADES ASOCIADAS A OE N° 2	10
6.1	Diseño de un sistema de monitoreo, que permita la medición de Oxígeno disuelto y Temperatura para la aplicación del Protocolo de Manejo de la Barra del humedal Cáhuil.	10
6.2	Evaluar sitios potenciales de instalación para el sistema de monitoreo elegido.	13
6.3	Determinación de necesidades de trabajos, infraestructura y/o elementos de soporte.	15
6.4	Calendarización de instalación y funcionamiento del equipo	16
7.	REFERENCIAS	17

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se desarrollan actividades de la consultoría “Propuesta de sistema de monitoreo de Oxígeno disuelto y Temperatura para Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil”. Estas actividades buscan volver a reestablecer un sistema de monitoreo en el humedal de Cáhuil, debido a la pérdida de equipos a causa de precipitaciones extraordinarias ocurridas entre 18 y 23 agosto de 2023.

En esa ocasión el caudal del estero Nilahue generó condiciones excepcionales de inundación que afectaron el sector en torno al cauce. Tanto el sector Cáhuil donde se encontraba la boya, como el sector Barrancas fueron afectadas por la crecida (**Figura 1**). En conjunto con la inundación, se observó que la fuerza del escurrimiento arrastró abundante material (arbustos, arboles, escombros, etc.) que provocó daño a la infraestructura, incluyendo las estaciones de monitoreo del humedal.



Figura 1 Izquierda: Sector desembocadura de Cáhuil. Derecha: Inundación en sector Barrancas en agosto 2023

2. OBJETIVOS

Elaborar una propuesta de monitoreo automatizado de Oxígeno Disuelto y Temperatura para el humedal Laguna Cáhuil como complemento al sistema de alerta temprana del protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil.

Los objetivos específicos a cumplir en esta consultoría son:

- **OE N°1)** Evaluación de alternativas de tecnologías de monitoreo de oxígeno disuelto y temperatura aplicables al contexto local de la laguna Cáhuil y propuesta de implementación.
- **OE N°2)** Diseño, en conjunto con la contraparte técnica, de una propuesta de estación de monitoreo, que permita la aplicación del Protocolo de Manejo de la Barra del humedal Cáhuil y el monitoreo de variables de estado para la mantención de SSEE del humedal Cáhuil.

3. ALCANCES

Con el fin de desarrollar la Propuesta de sistema de monitoreo de Oxígeno disuelto y Temperatura para "Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil", se presenta el listado de actividades a desarrollar, según el cada Objetivo Específico.

Para el cumplimiento del **OE N° 1** se consideraron las siguientes actividades:

- Revisión de tecnologías de monitoreo de Oxígeno disuelto posibles de implementar en laguna Cáhuil.
- Revisión de tecnologías de monitoreo de Temperatura posibles de implementar en laguna Cáhuil.
- Evaluación y determinación del tipo de instrumento idóneo para el monitoreo continuo de Oxígeno disuelto y Temperatura, en función del contexto local del humedal laguna Cáhuil.

Para el cumplimiento del **OE N° 2** se consideraron las siguientes actividades:

- Diseño de un sistema de monitoreo, que permita la medición de Oxígeno disuelto y Temperatura para la aplicación del Protocolo de Manejo de la Barra del humedal Cáhuil.
- Evaluar sitios potenciales de instalación para el sistema de monitoreo elegido.
- Determinación de necesidades de trabajos, infraestructura y/o elementos de soporte.
- Calendarización de instalación y funcionamiento del equipo

4. ANTECEDENTES

4.1 Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil

En el contexto del Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile” Piloto Cáhuil, en el año 2021 se desarrolló una “Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil” la cual es una guía técnica que contiene procedimientos, umbrales y lineamientos necesarios para la regulación del manejo de la barra del humedal Cáhuil. El protocolo contiene un procedimiento que propone la regulación del manejo de la barra de acuerdo a su estacionalidad, y que ésta se haga de modo informado y coordinado, mediante la evaluación de variables de estado y umbrales que determinan la activación de la apertura (GEF Humedales Costeros, 2021).

Para el monitoreo de las variables de estado y umbrales, se recomienda la implementación de sensores automáticos que puedan registrar las variables en forma continua (Por ejemplo, Nivel de la laguna, Salinidad, Oxígeno disuelto), e idealmente cuenten con tecnología telemétrica para que la información sea transmitida y publicada en un sitio digital de libre acceso. En la **Figura 2** se muestra el resumen de variables de estado y la ubicación aproximada de los sitios de monitoreo en el Humedal de Cáhuil.



Figura 2 Ficha Resumen de variables de estado, umbrales, y sitios de monitoreo del Protocolo de Manejo de la Barra (GEF Humedales Costeros, 2021)

5. DESARROLLO ACTIVIDADES ASOCIADAS A OE N° 1

A continuación, se describen los resultados de las actividades asociadas al OE N°1, correspondiente a la evaluación de alternativas de tecnologías de monitoreo de oxígeno disuelto y temperatura aplicables al contexto local de la laguna Cáhuil y propuesta de implementación


5.1 Revisión de tecnologías de monitoreo de Oxígeno disuelto posibles de implementar en laguna Cáhuil.




Los medidores de oxígeno disuelto usualmente se han basado en sensores electroquímicos (polarográficos o galvánicos) que requieren una membrana semipermeable y electrolitos para funcionar correctamente. Actualmente, se ha ido ampliando el uso de otras técnicas como los sensores ópticos de OD, conocidos popularmente como sensores luminiscentes o fluorescentes de OD, que miden la concentración de oxígeno disuelto en el agua basándose en la extinción de la luminiscencia en presencia de oxígeno. Para el monitoreo ambiental es altamente recomendado la utilización de este tipo de sensores ópticos, ya que tienen buena estabilidad de las mediciones y requieren menos mantención.

Las mediciones obtenidas por los sensores, en general, suelen ser almacenadas en registradores (*dataloggers*) en forma temporal, que luego pueden ser descargadas de forma directa vía cable USB o protocolo de comunicación Bluetooth, o transmitidas a servidores vía celular/GSM, o incluso vía satelital para zonas de monitoreo remoto.

En la siguiente **Tabla 1** se muestran diferentes opciones de monitoreo que pueden ser usadas para el monitoreo continuo de oxígeno disuelto. En línea con la evaluación técnica-económica y diseño original del sistema de monitoreo se presentan sensores de marca HOBO y RIKA. Adicionalmente, para efectos comparativos, se incluyó la alternativa de Boya Musux Wolke, desarrollada por el reto de Innovación KO-UMA-YAKU (CONAF/CORFO) que consiste en un sistema autónomo para medir y monitorear parámetros fisicoquímicos de los humedales administrados por CONAF.

Tabla 1 Tabla comparativa alternativas de monitoreo ambiental de Oxígeno Disuelto



Tipo de Monitoreo de Oxígeno Disuelto	Descripción Equipos	Principales ventajas y/o desventajas
<p>Sensor con datalogger descarga directa</p> 	<p>Sensor OD óptico y logger HOBO Modelo U26-001</p>	<p>Ventaja: Instalación simple. Sistema puede ser amarrado a una cuerda y/o boya, sin necesidad de ser conectado a otro dispositivo.</p>

		<p>Desventaja: La lectura se debe hacer de forma directa, por lo que se debe levantar el sistema desde el agua hasta un muelle o embarcación, y luego volver a posicionar. No tiene comunicación telemétrica a un servidor, por lo que los datos no están disponibles en tiempo real.</p>
<p>Sensor con datalogger descarga Bluetooth</p> 	<p>Sensor OD óptico HOBOT Dissolved Oxygen Sensor W-DO con logger HOBOT Modelo MX-802 (Bluetooth)</p>	<p>Ventaja: Permite un tipo de descarga directa vía bluetooth, donde se debe estar cerca del datalogger en superficie con algún dispositivo móvil (Ej: smarthphone). La ventaja es que no se debe mover el sensor de su posición. Puede ser implementada en una boya pequeña/mediana.</p> <p>Desventaja: Es un tipo de descarga directa. No tiene comunicación telemétrica a un servidor, por lo que los datos no están disponibles en tiempo real.</p>
<p>Sensor con datalogger telemétrico (celular/GSM)</p> 	<p>HOBOT Estación RX 3004 (celular/GSM) con sensor RIKA RK 500-04 Dissolved Oxygen Sensor</p>	<p>Ventaja: Telemetría en tiempo real y posibilidad de ampliar a más sensores</p> <p>Desventaja: Implementación requiere una plataforma flotante de mayor tamaño, para mantener los equipos en superficie, protegidos y aislados del contacto con el agua.</p>
<p>Sistema de boya multiparamétrica telemétrica (celular/GSM)</p> 	<p>Boya Musux Wolke Multiparámetros (OD, Temp, Cond. Eléctrica y pH). Desarrollo del reto de Innovación KO-UMA-YAKU de CONAF/CORFO</p>	<p>Ventaja: Unidad compacta simple de instalar/desinstalar. Telemetría en tiempo real y posibilidad de ampliar a más sensores</p> <p>Desventaja: Sensores solidarios a la boya, por lo que no permite lecturas en profundidad. En el caso de OD no podría cumplir con la función requerida en el humedal de Cáhuil (lectura bajo haloclina). Costo elevado de equipos (diseño estándar multiparamétrico), es significativamente mayor a los otros equipos.</p>

5.2 Revisión de tecnologías de monitoreo de Temperatura posibles de implementar en laguna Cáhuil.

En relación a los termistores, la medición de temperatura del agua es un parámetro relevante para evaluar la estructura térmica y condición de hábitat acuático (por ejemplo, habitabilidad de peces y cultivos de ostras). Los sensores pueden estar acoplados solidariamente a un datalogger, o bien enviar la señal a un datalogger mediante algún protocolo de comunicación análogo y/o digital. En la siguiente **Tabla 2** se muestran diferentes opciones de monitoreo que pueden ser usadas para el monitoreo continuo de temperatura.

Tabla 2 Tabla comparativa alternativas de monitoreo ambiental de Temperatura del agua


Tipo de Monitoreo de Temperatura	Descripción Equipos	Principales ventajas y/o desventajas
<p>Sensor con datalogger descarga directa</p> 	<p>UTBI-001 HOBO Tidbit v2 Water Temperature Data Logger</p>	<p>Ventaja: Instalación simple. Sistema puede ser amarrado a una cuerda y/o boya, sin necesidad de ser conectado a otro dispositivo.</p> <p>Desventaja: La lectura se debe hacer de forma directa, por lo que se debe levantar el sistema desde el agua hasta un muelle o embarcación, y luego volver a posicionar. No tiene comunicación telemétrica a un servidor, por lo que los datos no están disponibles en tiempo real.</p>
<p>Sensor con datalogger descarga Bluetooth</p> 	<p>HOBO 4-Channel Analog Data Logger MX1105 (Bluetooth). Self-Describing Air/Water/Soil Temperature Sensor (modelos SD-TEMP-01; SD-TEMP-06; SD-TEMP-20; SD-TEMP-50)</p>	<p>Ventaja: Permite un tipo de descarga directa vía bluetooth, donde se debe estar cerca del datalogger en superficie con algún dispositivo móvil (Ej: smarthphone). La ventaja es que no se debe mover el sensor de su posición. Puede ser implementada en una boya pequeña/mediana.</p> <p>Desventaja: Es un tipo de descarga directa. No tiene comunicación telemétrica a un servidor, por lo que los datos no están disponibles en tiempo real.</p>

<p>Sensor con datalogger telemétrico (celular/GSM)</p> 	<p>HOBO Estación RX 3004 HOBO Estación RX 3004 (celular/GSM) con HOBO 12-Bit Temperature Smart Sensor (modelos S-TMB-M002, S-TMB-M006, S-TMB-M017) o sensor análogo RIKA RK500-11 Liquid Temperature Sensor</p>	<p>Ventaja: Telemetría en tiempo real y posibilidad de ampliar a más sensores</p> <p>Desventaja: Implementación requiere una plataforma flotante de mayor tamaño, para mantener los equipos en superficie, protegidos y aislados del contacto con el agua.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5.3 Evaluación y determinación del tipo de instrumento idóneo para el monitoreo continuo de Oxígeno disuelto y Temperatura, en función del contexto local del humedal laguna Cáhuil.

En el contexto del monitoreo del humedal de Cáhuil y la aplicación del protocolo de manejo, un criterio determinante para decidir los equipos idóneos tiene que ver con la posibilidad de contar con monitoreo telemétrico en tiempo real, y también, la posibilidad de ampliar a más sensores en caso que se requiera. En particular, se recomienda la opción de sensor digital *HOBO 12-Bit Temperature Smart Sensor* debido a que tiene un proceso más simple de implementación, respecto a la versión análoga. En la **Tabla 3** se muestran los equipos recomendados para el monitoreo.

Tabla 3 Equipos idóneos recomendados para monitoreo de parámetros OD y Temperatura

Tipo de Monitoreo	Descripción Equipos
<p>Sensor con datalogger telemétrico (celular/GSM)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Datalogger Telemétrico HOBO RX3004 / Módulo análogo de 4 canales para RX3000 RXMOD/ Panel Solar de 5W SOLAR-5W / Web Hobolink (freq 10 min) • Sensor Oxígeno Disuelto RIKA RK 500-04 Dissolved Oxygen Sensor • Sensor Temperatura HOBO 12-Bit Temperature Smart Sensor (modelos S-TMB-M002, S-TMB-M006, S-TMB-M017) o sensor análogo RIKA RK500-11 Liquid Temperature Sensor. *Considerar verticalmente 2 mediciones (superficie y profundidad).

6. DESARROLLO ACTIVIDADES ASOCIADAS A OE N° 2

A continuación, se describen los resultados de las actividades asociadas al OE N°2, correspondiente al diseño de una propuesta de estación de monitoreo, que permita la aplicación del Protocolo de Manejo de la Barra del humedal Cáhuil y el monitoreo de variables de estado para la mantención de SSEE del humedal Cáhuil.

6.1 Diseño de un sistema de monitoreo, que permita la medición de Oxígeno disuelto y Temperatura para la aplicación del Protocolo de Manejo de la Barra del humedal Cáhuil.

En base a la evaluación de las diferentes combinaciones de sensores, se elaboró la presente propuesta de instrumentalización, que permitiría cumplir con los objetivos básicos del plan de monitoreo.

Un criterio relevante del diseño es que la medición de oxígeno se realice en una profundidad bajo la haloclina (gradiente de salinidad), donde se pueda tener sensibilidad de los patrones y dinámicas de la variable. De acuerdo a los datos registrados en el sistema de monitoreo original, mostrado en la **Figura 3**, un sensor de oxígeno disuelto instalado a 3m de profundidad puede cumplir adecuadamente con la sensibilidad de medir los cambios en el tiempo, lo que permitiría inferir la intensidad del procesos de disminución de oxígeno en estratos profundos. De esta forma se propone un sistema según lo indicado en la **Figura 4**.

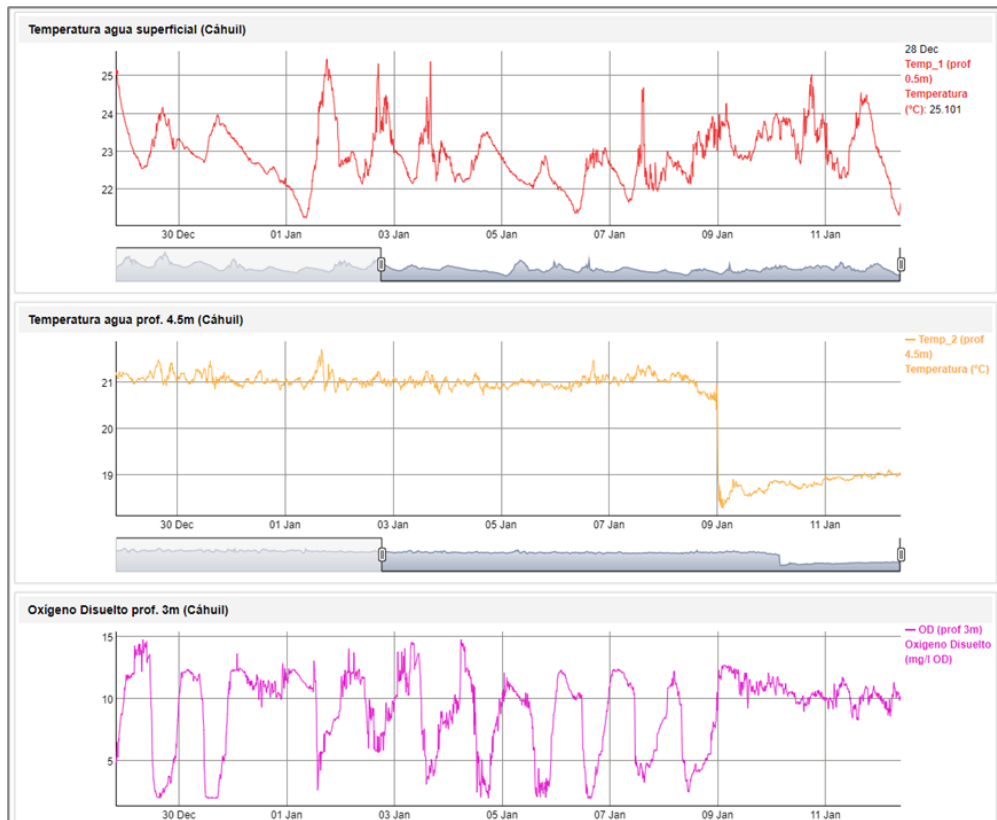


Figura 3 Registros de temperatura y oxígeno disuelto de monitoreo en Cáhuil (enero 2023)

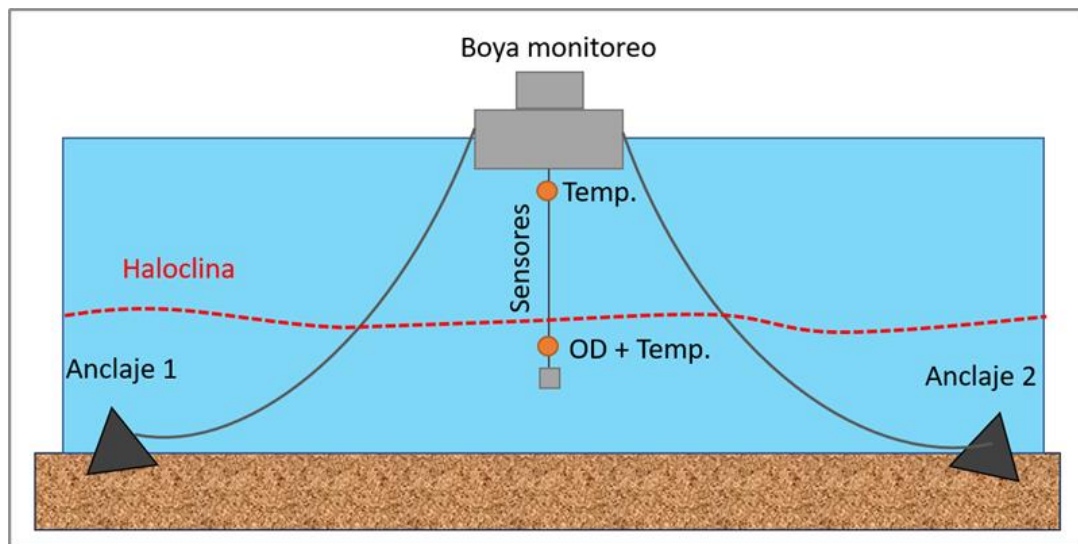


Figura 4 Diseño de sistema de Monitoreo de OD y Temperatura

En particular el monitoreo de Oxígeno Disuelto es de mayor relevancia en la de FASE ESTIAJE (01 de enero a 30 Abril) cuando el tiempo de residencia de agua prolongado y alta demanda bioquímica de materia orgánica puede provocar disminución de oxígeno disuelto (hipoxia y/o anoxia), con riesgo para la vida acuática.

Sin perjuicio de los anterior, se recomienda comenzar el monitoreo más temprano, desde la FASE TRANSICIÓN (01 Octubre a 31 Diciembre) dado que es posible que también puedan ocurrir condiciones hidrodinámicas y eventos de disminución de oxígeno disuelto.

Cabe señalar que la estación debe ser retirada a partir del término del monitoreo a fines de abril, dado que en el período invernal se debe considerar el resguardo de crecidas, donde al arrastre de árboles y otros materiales que puede afectar la estación.

De acuerdo a lo evaluado en este acápite, se presenta una configuración específica de los equipos y accesorios a utilizar. Se incluye un presupuesto estimado del sistema de monitoreo de OD y Temperatura, según lo indicado en la **Tabla 4**.

Tabla 4 Detalle de Equipos y presupuesto estimado para sistema de Monitoreo en Humedal de Cáhuil

Nº	Item	Proveedor	Costo Equipo* (\$ pesos)	Costo Operacional anual* (\$ pesos)	Observación
1	Datalogger Telemétrico HOBO RX3004 / Sensores RIKA Oxígeno Disuelto / HOBO termistores Smart sensor (2 unidades) / Módulo análogo de 4 canales para RX3000 RXMOD/ Panel Solar de 5W SOLAR-5W / Web Hobolink (freq 10 min)	ThotSystems	4,400,000	800,000	Costo Operacional: Servidor , plan de datos y recambio membrana OD
2	Plataforma flotante/ Boya (docks, gabinete protección equipos, sistema anclaje)	Docks.cl	1,200,000		
3	Otros materiales (instalación y fungibles)	-	400,000		
	TOTAL		5,000,000	800,000	

*Costos aproximados pueden estar sujetos a cambios, asociados a variaciones dólar USD\$ y/o UF

6.2 Evaluar sitios potenciales de instalación para el sistema de monitoreo elegido.

Para un monitoreo efectivo de las condiciones de disminución de oxígeno es relevante tener capacidad de monitorear alguno de los sitios de mayor profundidad, donde se pueda observar la estructura vertical del sistema, y proyectar las condiciones de calidad de agua a su entorno.

De acuerdo a las batimetrías disponibles (DOP, 2018 y CIGIDEN, 2023), se observan dos zonas profundas de interés que pueden tener profundidad suficiente para el monitoreo, según se muestra en la **Figura 5** . En ella se indican los puntos: A) Sitio aguas arriba del puente y aguas debajo de la concesión acuícola (ubicación de estación original), B) Sitio alternativo cercano a sector Balseo.

Se observa que el sitio A, tiene mayor profundidad y la extensión de la zona profunda, abarca un área que puede ser representativa de la condición hidrodinámica del sector más próximo a la laguna terminal, el puente y la concesión acuícola. En base a ello, se recomienda mantener las coordenadas de la Boya en UTM E 773.920, UTM N 6.180.443 datum WGS84 Huso 18S, donde la profundidad de referencia era de aproximadamente 6.5 m, la cual pudo haber aumentado a partir de la crecida del año 2023 (**Figura 6**).

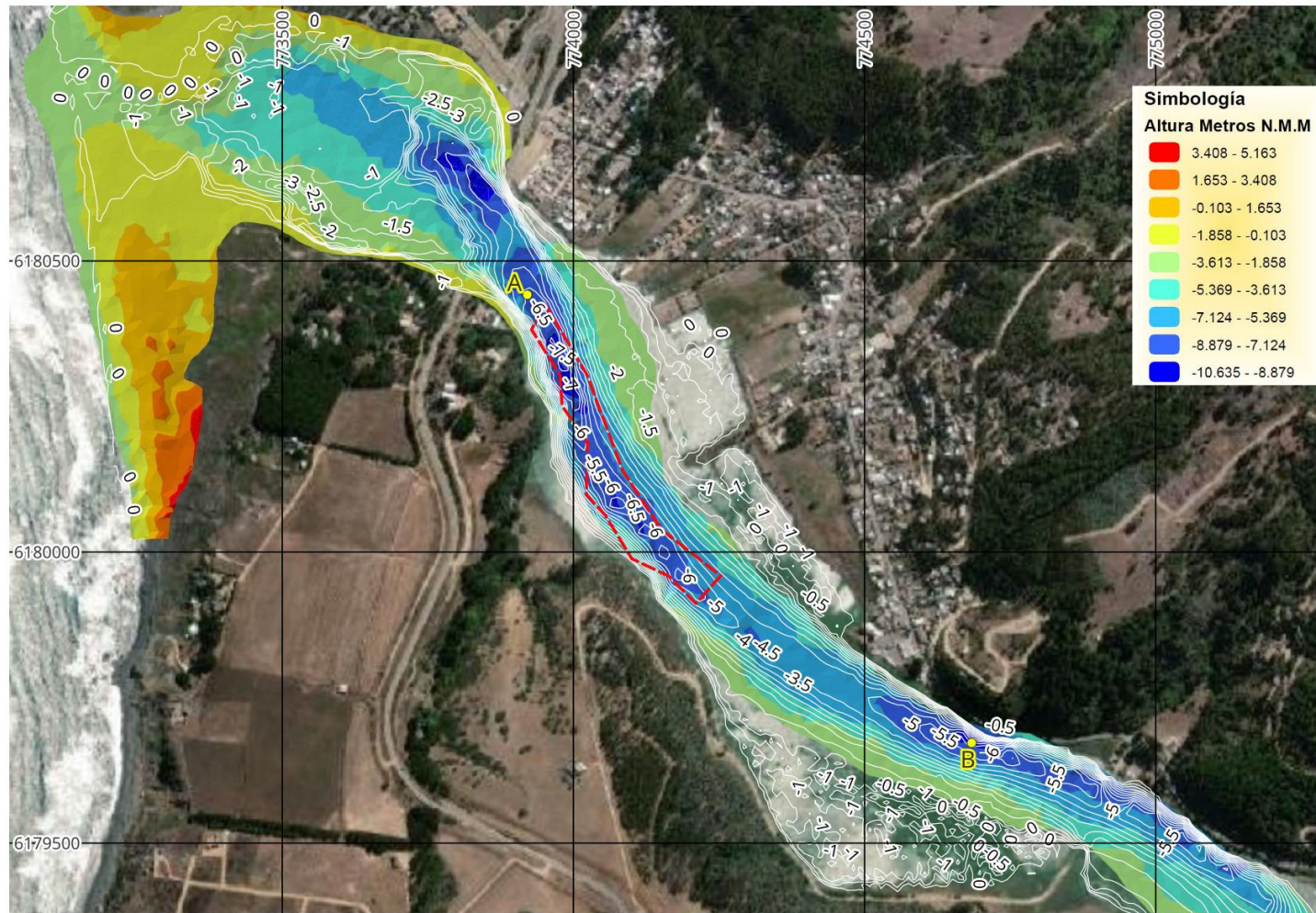


Figura 5 Batimetría DOP (2018) en contornos y batimetría CIGIDEN (2023) en escala de colores. Se muestran los sitios evaluados A y B, y la ubicación de la concesión acuícola del Sindicato de Pescadores. Datum WGS84 Huso 18S

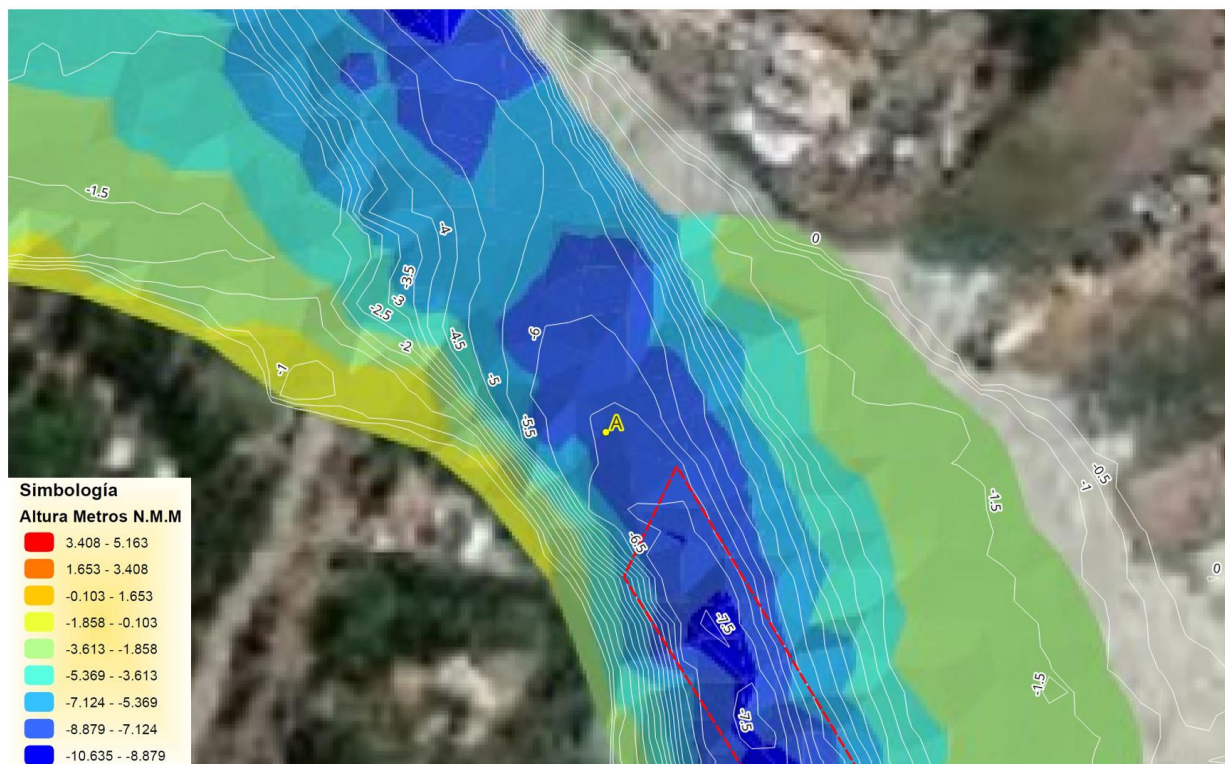


Figura 6 Batimetría DOP (2018) en contornos y batimetría CIGIDEN (2023) en escala de colores. Se muestran ubicación recomendada en sitio A, y la polígono de la concesión acuícola del Sindicato de Pescadores. Datum WGS84 Huso 18S

6.3 Determinación de necesidades de trabajos, infraestructura y/o elementos de soporte.

En relación al equipamiento anexo, se prevé el requerimiento de una boya que consta de módulos flotantes de polietileno de alta densidad, equivalentes a la superficie de 1 m^2 , y una caja de protección donde se resguardarán los equipos electrónicos (**Figura 7**). La boya tiene propuesto un sistema de anclaje que consta de dos pesos de hormigón cónicos (peso 35 kg c/u) y cuerda de polipropileno de uso náutico, dispuestos según se muestra en la siguiente **Figura 8**. En la **Tabla 5** se muestra una descripción de los elementos de apoyo.

Tabla 5 Descripción de equipamiento anexo

Tipo	Anexos Instrumentos	Descripción
Infraestructura para soporte	Plataforma flotante/ Boya (docks, gabinete protección equipos, sistema anclaje)	Elementos requeridos para instalación de equipos en la laguna

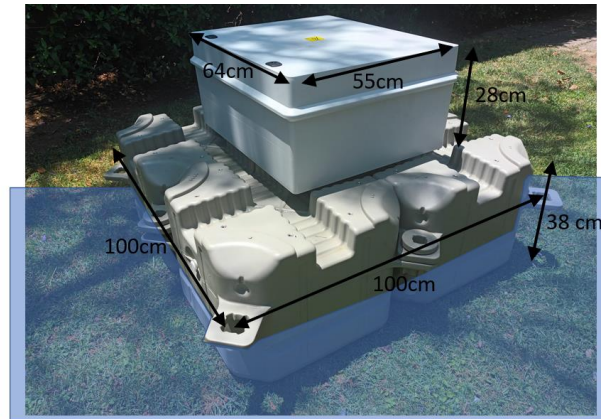


Figura 7 Boya / plataforma flotante propuesta



Figura 8 Anclajes de hormigón

6.4 Calendarización de instalación y funcionamiento del equipo

El calendario de instalación, queda sujeto a las fechas de adquisición de los equipos. De acuerdo a los proveedores, se considera entre 2,5 a 3 meses de proceso de importación de instrumentos. En particular, si los equipos fuesen comprados en agosto 2024, dando inicio al proceso de importación de instrumentos, su llegada podría ser en octubre 2024, y su instalación se podría programar para noviembre 2024.

7. REFERENCIAS

CIGIDEN, 2023. Batimetría Cáhuil año 2023, contenida en expediente MMA de Humedal Cáhuil. <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/OficioHU/DetailsPublico/1044>

DGA, 2014. Diagnóstico de la condición trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas, Dirección General de Aguas . S.I.T. N° 347, 212 pp. (Realizado por Centro de Ecología Aplicada)

Mesa Ambiental Rapel, 2015. Mesa Ambiental Publico-Privada Embalse Rapel, Región de O'Higgins. Sistema de Monitoreo Continuo Embalse Rapel. Año 2015

MMA, 2015. Diagnóstico ambiental a partir de la estructura y funcionamiento del humedal Cáhuil . Ministerio de Medio Ambiente (Realizado por Centro de Ecología Aplicada)

MMA, 2016. Red de Monitoreo de la Condición Ambiental de Ecosistemas Acuáticos. Informe Final. Ministerio de Medio Ambiente Licitacion ID: 608897-187-LE15. (Realizado por Centro de Ecología Aplicada)

MMA, 2020. Propuesta de criterios mínimos para la sustentabilidad de humedales urbanos. INFORME FINAL. Ministerio del Medio Ambiente. Proyecto GEF Humedales Costeros. Octubre 2020

DOP-MOP, 2018. Diagnóstico Desembocadura Laguna Cáhuil, Comuna de Pichilemu. Ministerio de Obras Públicas / Dirección de Obras Portuarias (Realizado por: Arcadis).