



PROPUESTA INTEGRAL DE PROTOCOLO DE APERTURA MECANIZADA DE LA BARRA TERMINAL PARA EL HUMEDAL CÁHUIL

Proyecto GEFSEC ID: 9766 "Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportante, a través de la mejora en la gestión y planificación de los ecosistemas de borde costero de la zona centro sur de Chile, hotspot de biodiversidad"

Recomendaciones de Implementación de Monitoreo de
Variables de Estado, Elaborado para Proyecto GEF
Humedales Costeros



ÍNDICE

1	ANTECEDENTES.....	1-3
2	SITIOS DE MONITOREO DE VARIABLES DE ESTADO	2-3
2.1	Sector Cáhuil (Puente).....	2-4
2.2	Sector Barrancas (Salinas)	2-6
3	IMPLEMENTACIÓN DE MONITOREO DE VARIABLES DE ESTADO	3-6
3.1	Medición de Nivel de Agua.....	3-7
3.2	Medición de Salinidad.....	3-9
3.3	Medición de Oxígeno Disuelto.....	3-11
4	TOMA DE MUESTRAS.....	4-13
4.1	Toma de muestras	4-13

1 ANTECEDENTES

En el presente documento se realizan recomendaciones de Implementación del Monitoreo de Variables de Estado, asociado a la Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil. De acuerdo al protocolo propuesto, y con el objetivo de mitigar riesgos sobre el desarrollo de algunos servicios ecosistémicos, se considera la medición de las siguientes variables de estado, indicadas en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Variable de estado a medir en el Humedal de Cáhuil

Servicio Ecosistémico	Variable de Estado a Medir
Regulación hidrológica	Nivel de agua
Provisión de materias primas (Salineras)	Salinidad
Hábitat para la biodiversidad	Oxígeno disuelto

2 SITIOS DE MONITOREO DE VARIABLES DE ESTADO

Los sitios de monitoreo propuestos y sus variables de estado asociadas, se relacionan con el desarrollo de servicios ecosistémicos específicos, y su ubicación aproximada dentro del Humedal de Cáhuil, se muestran en la Figura 2-1. Los principales sectores son: 1) Sector Cáhuil (Puente), y 2) Sector Barrancas (Salinas).



Figura 2-1 Ubicación de variables de estado a medir en el Humedal de Cáhuil

2.1 Sector Cáhuil (Puente)

Este sitio de monitoreo es de acceso público desde el cual se puede acceder a lecturas de regletas limnimétricas, toma de muestras de orilla, y se encuentra cerca de la zona de mayor profundidad del estuario para acceder en bote/embarcación, en caso de requerimiento de toma de muestra de oxígeno disuelto (muestras de profundidad).

En base a documentos técnicos de MOP-DOP (2018)¹, observaciones de terreno y mediciones topográficas, en este sitio se estimó el Nivel de Reducción de Sondas, que es adoptado como la referencia vertical para la nivelación de regletas y lecturas de la variable de estado de nivel de agua (Figura 2-2).



Figura 2-2 Medición topográfica y traslado de puntos de referencia, a pilote del puente de Cáhuil

En el primer pilote que suele estar sumergido, en la ribera norte, se presentan algunas cotas referenciales que permitirían instalar y nivelar una regleta limnimétrica, en el mismo pilote o en otros sitios cercanos. El punto de referencia principal es la cota de la junta de hormigón del pilote (330 cm NRS), señalada en la Figura 2-3, y desde ese punto se pueden medir el resto de las cotas de interés (Ej: umbrales de emergencia, máxima inundación, máxima marea, etc).

A partir de los valores de cotas observadas, se sugiere que la regleta limnimétrica pueda cubrir el rango de alturas desde 100 cm a 300 cm (NRS).

¹MOP-DOP. (2018). Diagnóstico Desembocadura Laguna Cáhuil, Comuna de Pichilemu. Ministerio de Obras Públicas / Dirección de Obras Portuarias .

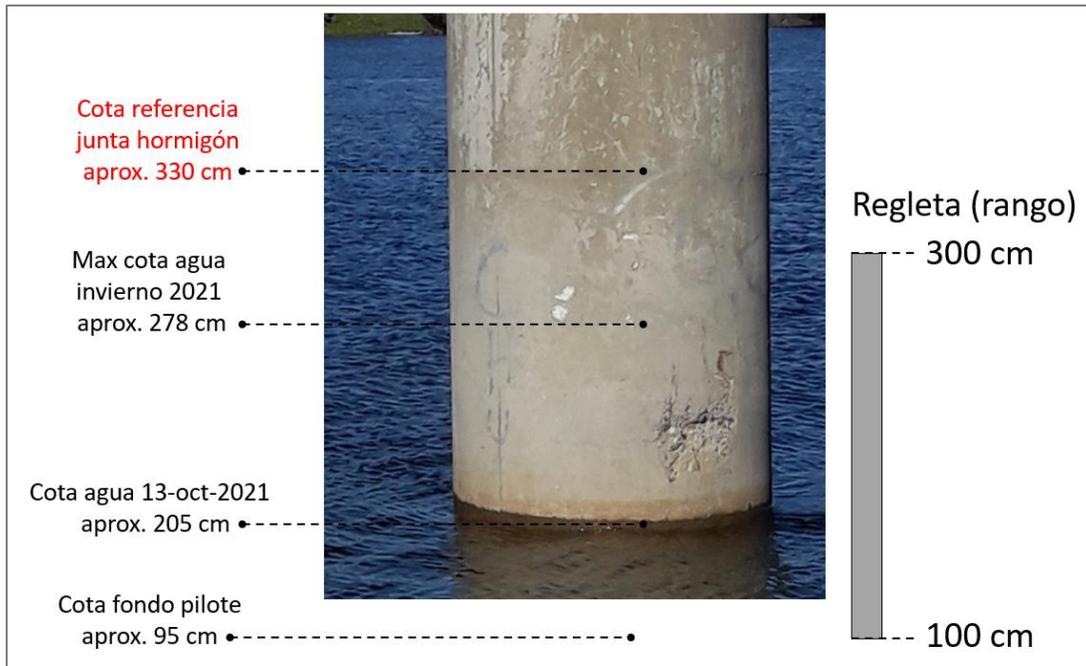


Figura 2-3 Cotas de referencia en pilote del puente de Cáhuil, en relación al Nivel de Reducción de Sonadas (NRS)

A partir de las cotas referenciales del pilote del puente de Cáhuil, es posible hacer un traslado topográfico de la referencia vertical hacia otros sitios cercanos, y con ello se pueden evaluar alternativas para la instalación de regletas. Se sugiere considerar un sitio como el embarcadero (Figura 2-4), que es de acceso público y permitiría una lectura adecuada de los niveles.



Figura 2-4 Sector puente, en sitio de embarcadero

2.2 Sector Barrancas (Salinas)

Para el sector de Barrancas, asociado al nivel de agua y salinidad, se propone un sitio como el mirador (Figura 2-5), que permite acceso público, toma de muestra superficial, y acceso al cuerpo de agua mediante bote/embarcación, en caso de requerimiento de toma de muestra de salinidad en profundidad. En este sitio se puede instalar una regleta limnimétrica, idealmente, con un sistema de sujeción en poste o pilote.



Figura 2-5 Sector de Barrancas, en sitio mirador

3 IMPLEMENTACIÓN DE MONITOREO DE VARIABLES DE ESTADO

A continuación se presentan diferentes formas de medición y toma de muestras, que permiten evaluar alternativas de implementación del monitoreo. Se recomienda adoptar, en principio, métodos de monitoreo sencillos (Por ejemplo, lectura de niveles de agua en la regleta, y/o toma de datos con dispositivos portátiles o kit de medición), que puedan ser gradualmente complementados con otras técnicas, en la medida que se requiera un mayor detalle de la información (mayor precisión, mayor frecuencia de observación, etc.). En etapas posteriores, es altamente recomendable la implementación de sensores automáticos que puedan registrar las variables en forma continua, e idealmente cuenten con tecnología telemétrica para que la información sea transmitida y publicada en un sitio digital de libre acceso (Ej: Nivel de agua).

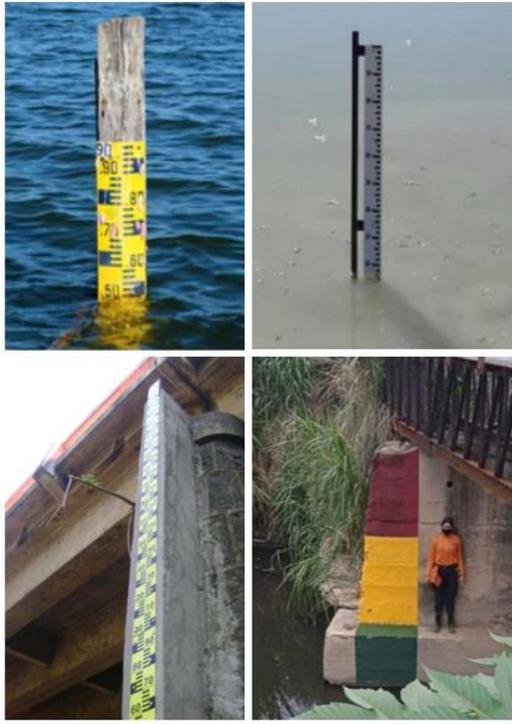
Para el monitoreo de las variables de estado y umbrales que pueden activar el Comité de Emergencia, se sugiere fomentar la participación de la comunidad mediante un monitoreo ciudadano, que pueda llevar registro de la información del humedal.

3.1 Medición de Nivel de Agua

La medición del nivel de agua es importante para evaluar las crecidas fluviales y riesgo de inundación de viviendas y salinas, por lo que es relevante contar con información regular, sobre todo en casos que se perciba incremento del agua. Para la medición del nivel requiere contar, idealmente, con un nivel de referencia vertical asociado al Nivel de Reducción de Sondas (NRS), el cual debe ser estimado para cada sitio específico (Ejemplo de referencia NRS en el Punto 2.1, Sector Cáhuil – Puente).

A continuación se presentan métodos de medición, desde reglas limnimétricas, sensor con registrador y sensor con telemetría.

Tabla 3-1 Métodos de medición de nivel

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
<p>Limnómetro</p>	 <p>Descripción: Escalas limnimétricas graduadas en cm, dm, metros, o colores de referencia (Ejemplos de diversas instalaciones)</p>	<p>Se debe evaluar el anclaje caso a caso, según la disponibilidad de estructuras y opciones de fijación.</p> <p>Lectura pueden ser anotadas manualmente en un registro (libro)</p> <p>Opciones desde costo bajo (en caso de pintar la referencias) hasta aprox. \$300.000 pesos (en caso de comprar las regletas limnimétricas)</p>

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
<p>Sensor automático con datalogger</p>	 <p>Descripción: Sensor automático con transductor de presión y datalogger, corregido barométricamente Ejemplo (3250 LevelVent M5 / Registrador de Nivel de Agua)</p>	<p>Requiere personal técnico especializado. Requiere mantenimiento y calibración Información debe ser descargada manualmente, por lo que no se puede acceder en tiempo-real Costo medio/alto (Referencia \$1.200.000 pesos)</p>
<p>Sensor de presión con telemetría</p>	 <p>Descripción: Sensor automático con transductor de presión y datalogger, corregido barométricamente, con transmisión telemétrica de datos vía celular (Ejemplo: Estación MicroRx HOBO c/panel solar / WL)</p>	<p>Requiere personal técnico especializado. Requiere mantenimiento y calibración Información puede ser revisada a distancia y en tiempo-real Requiere costo adicional de plan de datos celular Costo alto (Referencia \$2.000.000 pesos)</p>

Como referencia, el Protocolo de Apertura y Cierre implementado en la desembocadura del Estero Llico cuenta con reglas limnimétricas en sectores de acceso público, según se muestra en la Figura 3-1.



Figura 3-1 Balneario Paula y puente peatonal Las Conchas. Protocolo de Apertura y Cierre Desembocadura Estero Llico

3.2 Medición de Salinidad

La medición de salinidad es relevante para evaluar las condiciones del estuario, en casos que ocurra un posible cierre temprano de la barra y donde su grado de salinidad sea bajo, lo que puede dificultar o impedir el desarrollo adecuado de la actividad salinera. A continuación se presentan métodos de medición, desde un densímetro, medidores portátiles, multiparamétricos, hasta un sensor automático con registrador.

Tabla 3-2 Métodos de medición de salinidad

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
Densímetro de vidrio	 <p>Descripción: Densímetro de vidrio que dependiendo de su flotabilidad entrega lectura de rango de densidad, útil para estimar valor aproximado de salinidad (Ejemplo: Densímetro Marin Sera)</p>	<p>Fácil operación y mínima mantención</p> <p>Valor de salinidad de mediana precisión, no corregido por temperatura</p> <p>Costo bajo (referencia \$25.000 pesos)</p>

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
Probador de Salinidad	 <p>Descripción: Instrumento portátil y sencillo para medición de salinidad, corregido por temperatura (Ejemplo: Tester Impermeable de Salinidad Marina - HI98319)</p>	<p>Fácil operación y mantención sencilla. Requiere solución de calibración. Valor de salinidad preciso, y corregido por temperatura.</p> <p>Costo bajo (referencia \$90.000 pesos).</p>
Sistema de medición multiparamétrico	 <p>Descripción: Equipos para medición de alta precisión, usadas por laboratorios (Ejemplo: WTW MultiLine Multi 3620 IDS Multi-parameter Portable Meter: pH, ORP, dissolved oxygen and/or turbidity)</p>	<p>Requiere personal técnico especializado. Requiere mantención y calibración de mayor complejidad.</p> <p>Costo alto (referencia >\$3.000.000 pesos, dependiendo de cantidad de sensores).</p>
Sensor automático con datalogger	 <p>Descripción: Sensor de medición de conductividad eléctrica, salinidad y temperatura con registrador datalogger (Ejemplo: HOBO Salt Water Conductivity/Salinity Data Logger HOBO U24-002-C)</p>	<p>Sensor con datalogger, permite registrar en forma continua Requiere personal técnico especializado Requiere mantención y calibración de mayor complejidad Información debe ser descargada manualmente, por lo que no se puede acceder en tiempo-real Costo mediano (Referencia aprox \$1.200.000 pesos)</p>

3.3 Medición de Oxígeno Disuelto

Con el fin de mantener condiciones de habitabilidad para la biodiversidad, es importante evaluar la posible disminución de oxígeno disuelto (hipoxia y/o anoxia) que puede ser de riesgo para la vida acuática. A continuación se presentan métodos de medición, desde un kit de reactivos, medidores portátiles, multiparamétricos, hasta un sensor automático con registrador.

Tabla 3-3 Métodos de medición de oxígeno disuelto

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
Kit Químico para Oxígeno Disuelto	 <p>Descripción: Prueba química que mide el oxígeno disuelto mediante la titulación Winkler modificada (Ejemplo: Kit Químico HI3810)</p>	<p>Manejo de reactivos químicos, debe ser realizado por personal técnico capacitado Sujeto a caducidad de reactivos</p> <p>Costo bajo (Referencia aprox. \$100.000 pesos , para cerca de 100 muestras)</p>
Medidor Portátil para Oxígeno Disuelto	 <p>Descripción: Medidor Portátil para Oxígeno Disuelto (Ejemplos: Hanna Instruments HI8043 o HI9142)</p>	<p>Requiere personal técnico especializado Requiere mantención, recambio de membranas, solución electrolítica y calibración</p> <p>Costo mediano (Referencia aprox. \$350.000 a \$600.000 pesos)</p>

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
	 <p>Descripción: Equipos para medición de alta precisión, usadas por laboratorios (Ejemplo: WTW MultiLine Multi 3620 IDS Multi-parameter Portable Meter: pH, ORP, dissolved oxygen and/or turbidity)</p>	<p>Requiere personal técnico especializado.</p> <p>Requiere mantención y calibración de mayor complejidad.</p> <p>Costo alto (referencia >\$3.000.000 pesos, dependiendo de cantidad de sensores).</p>
<p>Sensor automático con datalogger</p>	 <p>Descripción: Registrador Oxígeno Disuelto / Temperatura (Ej: HOBOT Dissolved Oxygen Logger U26-001)</p>	<p>Requiere personal técnico especializado.</p> <p>Requiere mantención y calibración</p> <p>Recambio de membranas cada 6 meses, requiere gastos adicionales</p> <p>Información debe ser descargada manualmente, por lo que no se puede acceder en tiempo-real</p> <p>Costo medio/alto (Referencia \$2.00.000 pesos)</p>

4 TOMA DE MUESTRAS

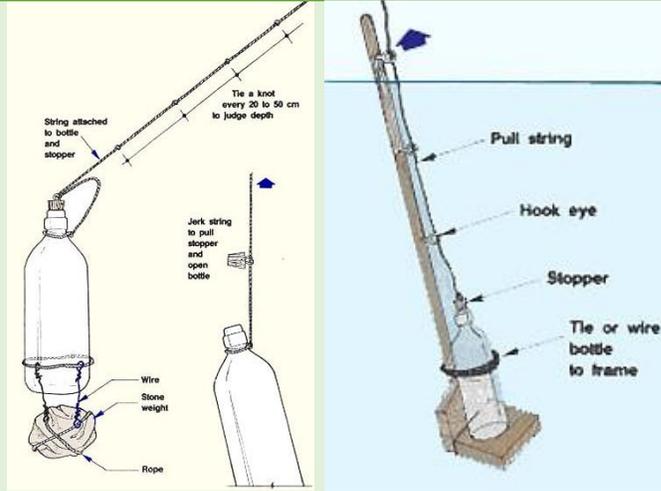
Para las variables de salinidad y oxígeno disuelto, se debe considerar tomas de muestras y requerimientos específicos. La salinidad en estuarios suele estratificarse o distribuirse verticalmente según su densidad, por lo que es ideal contar con una caracterización, tanto en superficie, como en profundidad. Es un parámetro relativamente conservativo, por lo que se pueden recolectar muestras y medir a posteriori (en el momento, dentro del día o al siguiente día).

Para la medición de oxígeno disuelto se puede tomar una muestra, sin embargo, su tiempo de espera (*Holding Time*) hasta realizar la medición es breve (15 minutos), por lo que se debe planificar su medición en forma casi inmediata al muestreo. Respecto a la posición vertical del punto de observación, es conveniente que éste sea sensible a la dinámica de consumo de oxígeno inducida por la materia orgánica y los sedimentos. De esta forma se propone un punto ubicado bajo el gradiente vertical de salinidad (haloclina), al menos, 3 metros de profundidad bajo la superficie.

4.1 Toma de muestras

Para la ejecución del muestreo se requiere la toma de muestras desde orilla, o bien, en bote/embarcación que permita acceder a zonas de mayor profundidad. Para los parámetros en que se requiere muestreo en profundidad se presentan alternativas para su recolección, según se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Método de muestreo para toma de muestras en profundidad

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
Muestreador simple	 <p>Una muestra de agua simple hecha de una botella con un tapón hermético y un peso adherido al fondo de la botella.</p>	<p>Muestreador de bajo costo Posible de implementar con materiales disponibles o reciclados</p>

Instrumento	Descripción	Ventajas / Desventajas
	También se puede construir un marco de madera con un asa para bajar la botella al agua (Referencia https://www.fao.org/fishery/docs/)	
Botella muestreadora Vand Dorn	 <p>Descripción: Botella de muestreo limnológico, del tipo Van Dorn. Ejemplos: botella Fieldmaster Basic Water Bottle (referencia USD\$78 FOB) o Wildco Alpha Horizontal Water Bottle (referencia USD\$513 FOB)</p>	<p>Botella diseñada para muestreo limnológicos.</p> <p>Modelos desde aprox. \$150.000 hasta \$600.000</p>

A continuación, en la Figura 4-1, se muestra la implementación de un muestreador simple probado en el humedal de Cáhuil. Se verificó un funcionamiento adecuado, que permitió muestreo de la columna de agua en diferentes profundidades y su recolección en botellas plásticas.

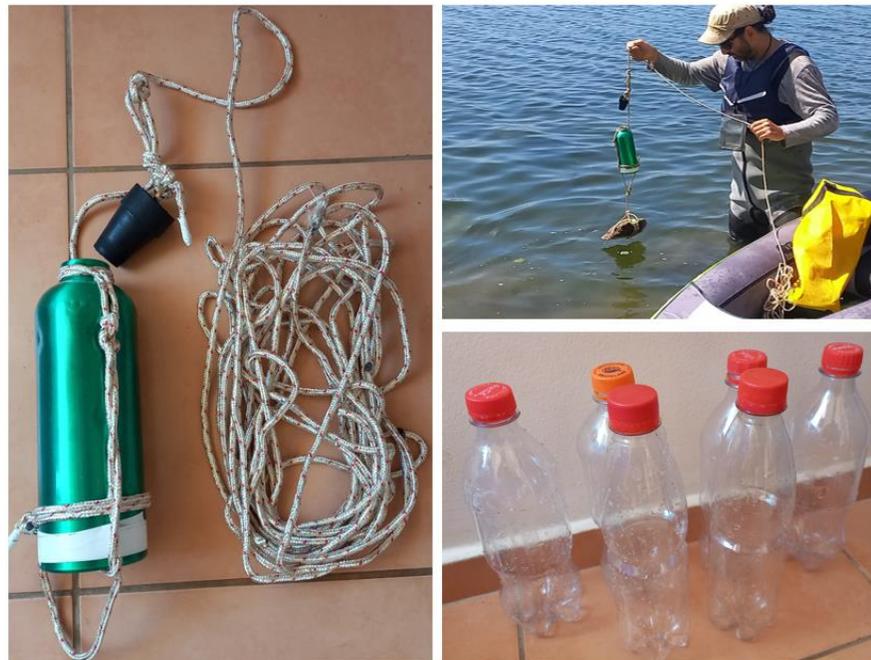


Figura 4-1 Ejemplo de implementación de muestreador simple, y botellas plásticas recicladas