



ONU 
medio ambiente
Programa de las Naciones
Unidas para el Medio Ambiente



**fondo
para el medio
ambiente mundial**
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



Sistematización
de resultados del
**Protocolo
de manejo**
de la barra del
humedal Cáhuil

Análisis de resultados
de implementación 2023-2024
y lecciones aprendidas



fondo
para el medio
ambiente mundial
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA



Sistematización de resultados del **Protocolo de manejo** de la barra del humedal Cáhuil

Análisis de resultados
de implementación 2023-2024
y lecciones aprendidas

Este material ha sido desarrollado como parte de las acciones del Proyecto GEF Humedales Costeros para mejorar el estado ecológico y de conservación de los ecosistemas costeros del Centro-Sur de Chile, a través de la promoción de un manejo sustentable. Incorporando y/o mejorando la gestión de humedales costeros, para su conservación y recuperación o mantención de los servicios ecosistémicos que proveen, reduciendo también las amenazas y presiones sobre los humedales costeros y su cuenca aportante que soportan las actividades humanas de importancia local.

Equipo de Trabajo

Elaboración de contenidos

Toradji Uraoka Orlandini

Izumi Consultores

Edición

Luis Araya Barros

GEF Humedales Costeros

Diseño y diagramación

Ariel Ulagnero

Cita:

MMA-ONU Medio Ambiente, 2025. Sistematización de resultados protocolo de manejo de la barra del humedal Cahuil. Elaborado por Toradji Uraoka, Consultor Proyecto GEF/SEC ID: 9766 "Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile". Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. X p.



Contenido

1. INTRODUCCIÓN	7
------------------------------	----------

Capítulo I

Sistematización y análisis detallado de los eventos de apertura de la barra de arena del humedal de Cáhuil, realizados en el contexto de la aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra

2. Antecedentes	9
------------------------------	----------

2.1 Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil	9
--	---

3. Resultados de sistematización de eventos de apertura en el contexto de aplicación del protocolo de manejo mecanizado de la barra del humedal de Cáhuil (OE N° 1)	11
--	-----------

3.1 Sistematización de información sobre aperturas de la barra del humedal Cáhuil documentadas.....	11
---	----

3.1.1 Recopilación de información años 2014, 2016 y 2017	11
--	----

3.1.2 Recopilación de eventos de aperturas 2023-2024 mediante el Sistema de Monitoreo GEF Humedales Costeros	12
--	----

3.1.3 Resumen de eventos recopilados	15
--	----

3.2 Análisis de aperturas documentadas	18
--	----

3.2.1 Tipos de aperturas	18
--------------------------------	----

3.2.2 Evaluación de aperturas por regulación hidrológica (Variable de estado Nivel de Agua)	20
---	----

3.2.3 Evaluación de aperturas por provisión de materias primas (Variable de estado Salinidad).....	21
--	----



3.2.4 Evaluación de aperturas por regulación y mantenimiento del hábitat para la biodiversidad (Variable de estado Oxígeno Disuelto)	23
3.2.5 Monitoreo actual y comparación de variable de estado Oxígeno Disuelto en temporadas 2022/2023 y 2024/2025	25
3.2.6 Evaluación lugar de excavación para apertura	27
3.2.7 Evaluación de potenciales cambios pre y post crecida extraordinaria de agosto 2023	28
4. Conclusiones y Recomendaciones	30
Capítulo II	
Análisis general de las lecciones aprendidas durante los procesos de elaboración y aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra del humedal de Cáhuil, proporcionando recomendaciones generales para la elaboración de protocolos de manejo de barras de arena en humedales costeros	
5. Antecedentes	33
5.1 Contexto general	33
5.2 Descripción general aperturas y cierres de barras de arena en estuarios	34
6. Consideraciones sobre el marco normativo, institucional y gobernanza	37
6.1 Marco Normativo e institucional	37
6.2 Mapa de Actores y Gobernanza	39
7. Recomendaciones generales proceso de generación de un protocolo de manejo	40
7.1 Recopilación y levantamiento de información	40
7.1.1 Información general del humedal	41
7.1.2 Información hidrometeorológica	41
7.1.3 Información Oceanográfica	44
7.1.4 Análisis geomorfológico	44
7.1.5 Servicios Ecosistémicos	48
7.2 Diseño del Protocolo de Manejo	50
7.2.1 Diagnóstico y Determinación de objetivo del protocolo de manejo (acuerdo de gestión)	50
7.2.2 Variable de estado de Nivel de Agua	51
7.2.3 Características de la apertura	53
7.2.4 Implementar un plan de Monitoreo	54
8. REFERENCIAS	55

1. Introducción

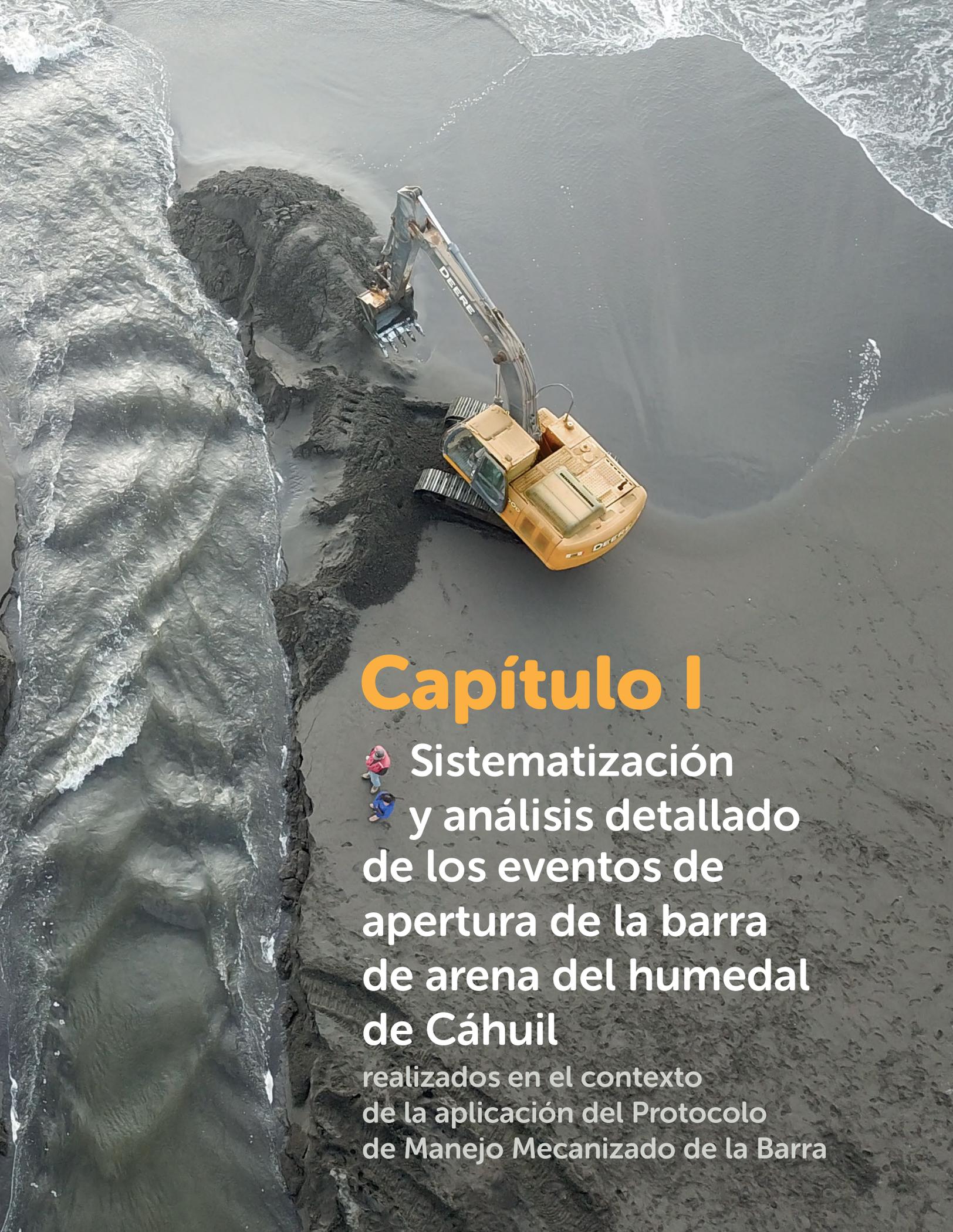
El presente trabajo se basa en la experiencia adquirida durante la implementación del Protocolo de Apertura Mecanizada de la Barra en el Humedal de Cáhuil, así como en las recomendaciones derivadas de dicho proceso. En este documento se identifican los pasos relevantes a considerar al generar un protocolo de apertura de barra, con el objetivo de servir como referencia en la toma de decisiones en otros lugares del país que enfrenten problemas conceptualmente similares.



El objetivo principal de este trabajo es sistematizar y analizar los resultados obtenidos en los procesos de elaboración y aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra del Humedal de Cáhuil, considerando su implementación en los años 2023-2024.

El documento se divide en dos capítulos:

- **Capítulo I:** Sistematización y análisis detallado de los eventos de apertura de la barra de arena del humedal de Cáhuil, realizados en el contexto de la aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra.
- **Capítulo II:** Análisis general de las lecciones aprendidas durante los procesos de elaboración y aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra del humedal de Cáhuil, proporcionando recomendaciones generales para la elaboración de protocolos de manejo de barras de arena en humedales costeros.



Capítulo I

 Sistematización
y análisis detallado
de los eventos de
apertura de la barra
de arena del humedal
de Cáhuil

realizados en el contexto
de la aplicación del Protocolo
de Manejo Mecanizado de la Barra

2. Antecedentes

2.1

Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil

En el año 2021, GEF Humedales Costeros desarrolla la “Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil”, el cual permitió suministrar a la Ilustre Municipalidad de Pichilemu una guía técnica que contenga los procedimientos, umbrales y lineamientos necesarios para la regulación del manejo de la barra del humedal de Cáhuil. El objetivo del protocolo es sistematizar un procedimiento que permita la regulación del manejo de la barra de acuerdo a su estacionalidad, y que ésta se haga de modo informado y

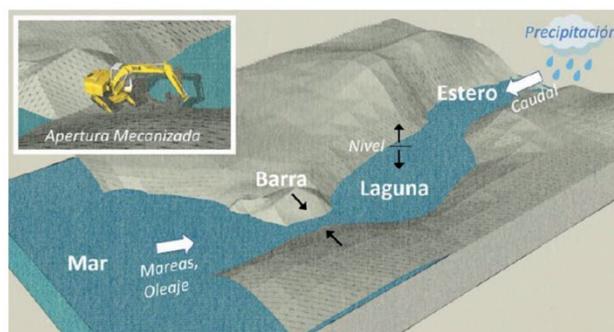
coordinado, mediante la evaluación de variables de estado y umbrales que determinan la activación de la apertura (GEF Humedales Costeros, 2021).

Para el monitoreo de las variables de estado y umbrales que pueden activar el Comité de Emergencia, se recomendó 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 1 y Figura 2 se muestra el resumen de variables de estado y la ubicación aproximada de los sitios de monitoreo en el Humedal de Cáhuil.

FICHA RESUMEN (I)

Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil

El objetivo del protocolo es sistematizar un procedimiento que permita 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, las que son medidas en **SITIOS DE MONITOREO**.



Estacionalidad	Fase Lluvias					Transición			Estiaje			
Servicio Ecosistémico	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Regulación hidrológica	●	●	●	●	●	●	●	●				
Provisión de materias primas (salineras)						●	●	●				
Hábitat para la biodiversidad									●	●	●	●

Figura 1. Ficha Resumen de variables de estado, umbrales y sitios de monitoreo del Protocolo de Manejo de la Barra (GEF Humedales Costeros, 2021)



FICHA RESUMEN (II)

Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil

Variables de estado y umbrales de apertura				
	Riesgo	Objetivo	Variable estado	Umbral
●	Crecidas fluviales y riesgo de inundación de viviendas	Mitigación de inundaciones	Nivel de agua	250 cm Alerta 250 cm Máximo medido en sitio A
●	Crecidas fluviales y riesgo de inundación de viviendas	Mitigación de inundaciones	Nivel de agua	155 cm Alerta 193 cm Máximo medido en sitio B
●	Cierre temprano de la barra y grado de salinidad bajo, pueden impedir desarrollo de actividad salinera	Inducir intrusión salina y permitir actividad	Salinidad	20 PSU medido en sitio C
●	Disminución de oxígeno disuelto (hipoxia y/o anoxia) con riesgo para la vida acuática	Hábitat biodiversidad	Oxígeno disuelto	5 mg/l medido en sitio D

Sitios de monitoreo

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

3. Resultados de sistematización de eventos de apertura

en el contexto de aplicación del protocolo de manejo mecanizado de la barra del humedal de Cáhuil (OE N° 1)

En este acápite se describen los resultados de la sistematización y análisis detallado de eventos de apertura de la barra de arena del humedal Cáhuil realizados en el contexto de aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra del mismo humedal, asociadas al OE N°1 del informe.

3.1 Sistematización de información sobre aperturas de la barra del humedal Cáhuil documentadas

La sistematización de la información consideró la recopilación de datos de estudios desarrollados previamente, como también, el análisis de información registrada por los sensores automáticos implementados en el Sistema de Monitoreo Ambiental y Alerta Temprana del humedal Cáhuil de GEF Humedales Costeros.

3.1.1 Recopilación de información años 2014, 2016 y 2017

En relación a monitoreos realizados en el humedal de Cáhuil, se pueden encontrar experiencias relacionadas a la medición de niveles y salinidad. En el estudio desarrollado por Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2015) se instalaron sensores de nivel y salinidad que permitieron estudiar en forma detallada el ingreso de marea en distintos sitios del estuario, con un escenario de barra abierta (Figura 3). Si bien, durante las mediciones del año 2014 no se registraron aperturas, es relevante observar que durante todo el período de mediciones el estuario se encontró conectado al mar, y el flujo de agua permitía la variación de la señal de marea por debajo de los 0.8 m NRS (Nivel de Reducción de Sondas, nivel mínimo de marea que sirve de referencia de alturas), lo que indica que había una desembocadura amplia y profunda.

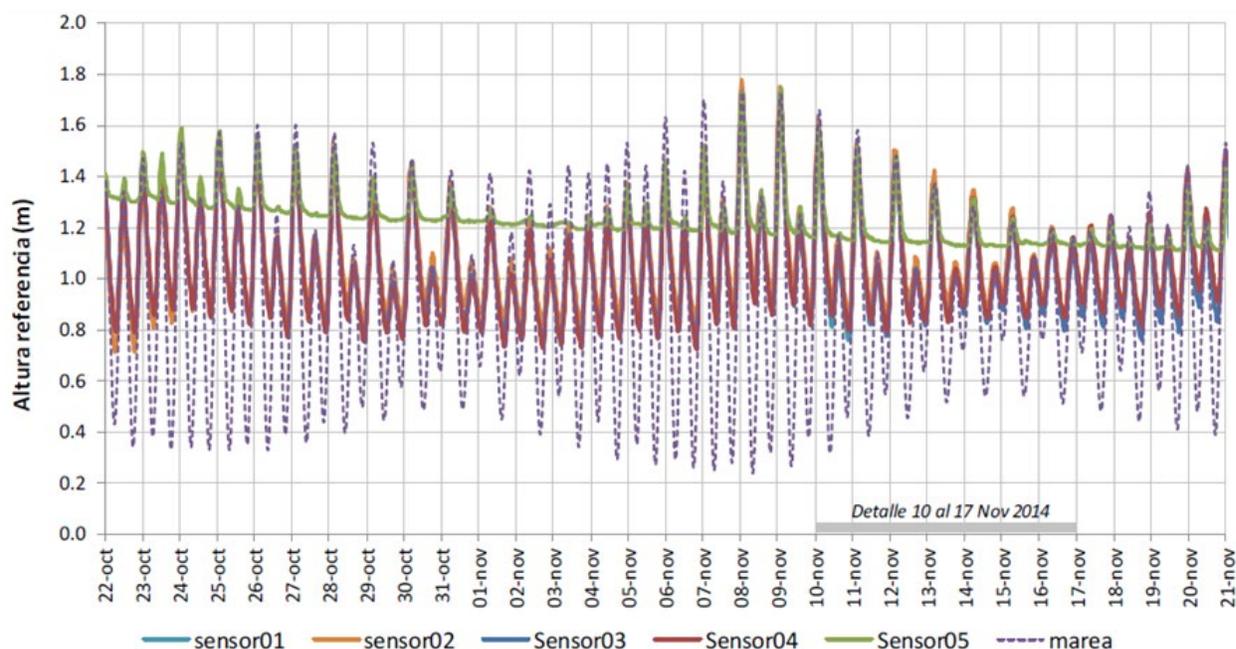


Figura 3. Registros continuos de nivel registrados mediante sensores en el humedal de Cáhuil(Fuente: Ministerio de Medio Ambiente MMA, 2015)

Posteriormente, la Dirección de Obras Portuarias (MOP-DOP, 2018) tomó registros automáticos de los niveles en ciclos de cierre y apertura de barra para los años 2016 y

2017, permitiendo tener los primeros registros continuos de estos eventos (Figura 4 y Figura 5).

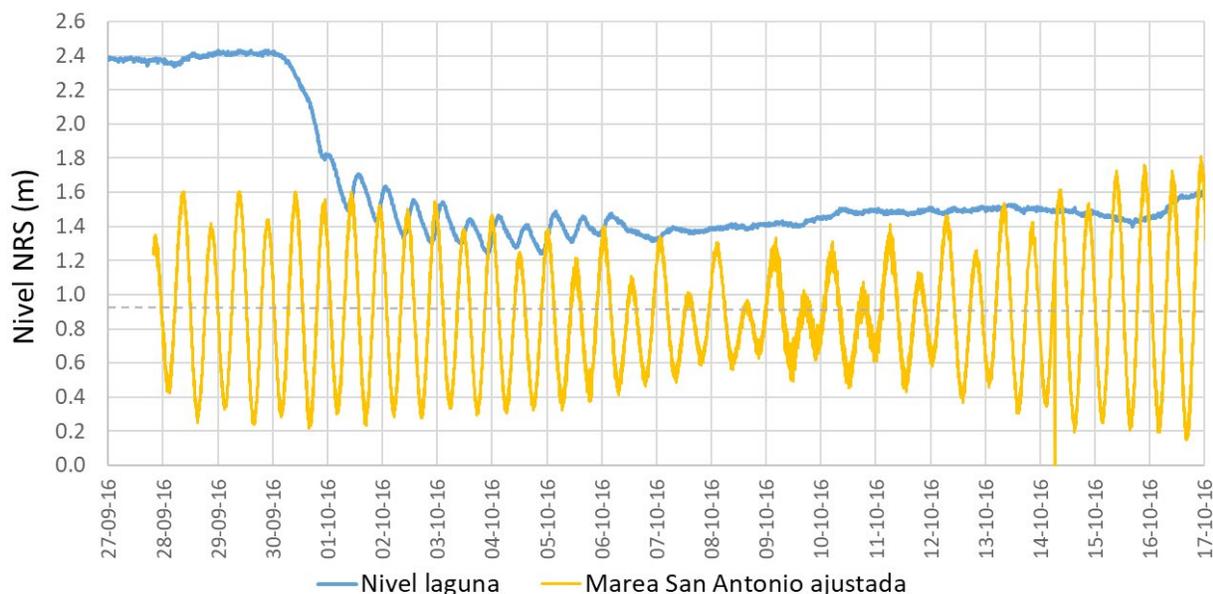


Figura 4. Registros continuos de apertura y cierre de barra Septiembre-Octubre 2016 (Fuente: MOP-DOP,2018)

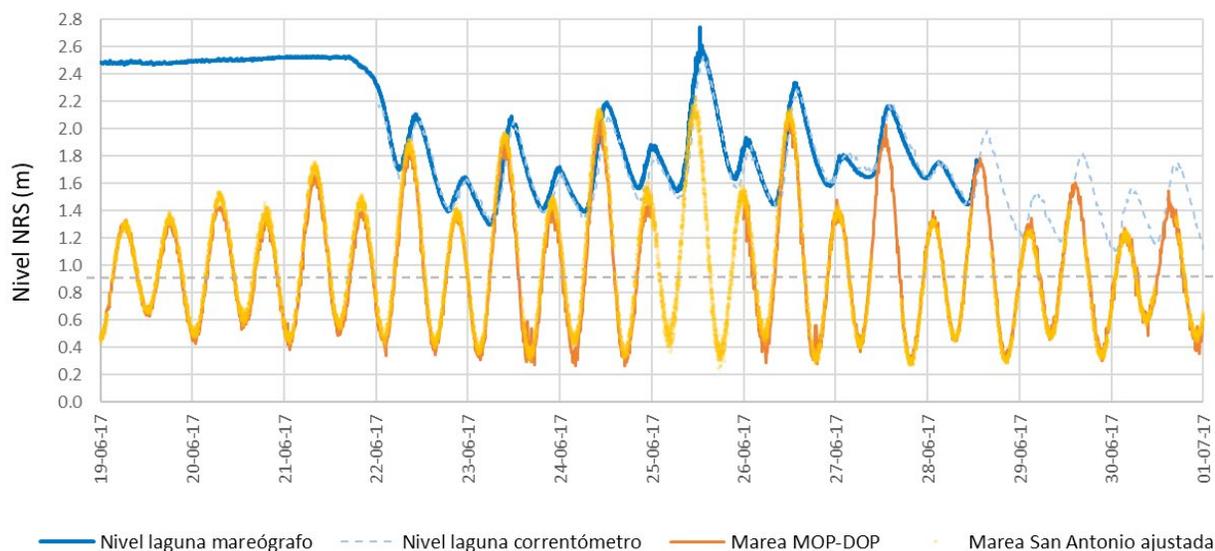


Figura 5. Registros continuos de apertura de barra Junio 2017 (MOP-DOP,2018)

3.1.2

Recopilación de eventos de aperturas 2023-2024 mediante el Sistema de Monitoreo GEF Humedales Costeros

A contar del año 2023, se cuenta con datos del Sistema de Monitoreo Ambiental y Alerta Temprana del humedal Cáhul de GEF Humedales Costeros. El sistema funcionó hasta el invierno de ese mismo año, cuando a causa de

precipitaciones y crecidas extraordinarias ocurridas entre 18 y 23 agosto de 2023, los equipos fueron dañados y/o arrastrados por la corriente. Durante el año 2024 se lleva a cabo una iniciativa de rediseño y reinstalación del sistema de monitoreo. En la siguiente Tabla 1 se describen las características del sistema y parámetros registrados en los años 2023 y 2024, respectivamente.

Tabla 1. Descripción Sistema de Monitoreo Ambiental y Alerta Temprana del humedal Cáhuil

Período de medición	Descripción del monitoreo	Parámetros registrados
Enero-agosto 2023*	Sector Barrancas Estación telemétrica de monitoreo de nivel fue instalada en el sector de Barrancas (coordenadas UTM E 226.014 m, UTM N 6.177.679 m WGS-84 Huso 19S)	Nivel y Salinidad
	Sector Cáhuil Boya telemétrica con sensores, sitio profundidad aprox. 6.0 m (Coordenadas UTM E 773.930, UTM N 6.180.437 m, WGS84 Huso 18S)	Oxígeno Disuelto (prof. 3.0 m) Temperatura (prof. 0.5 m y 4.5m)
Marzo-diciembre 2024 (operativo a la fecha del presente informe)	Sector Balseo Estación telemétrica de monitoreo (Coordenadas UTM E 774931.64, UTM N 6179611.98 m, WGS84 Huso 18S)	Nivel y Salinidad
	Sector Cáhuil Boya con sensores (Bluetooth), sitio profundidad aprox. 6.5 m (Coordenadas UTM E 773.924, UTM N 6.180.438 m, WGS84 Huso 18S)	Oxígeno Disuelto (prof. 3.0 m) Temperatura (prof. 0.7 m, 3.0 m y 4.5m)

* Pérdida de equipos, a causa de precipitaciones y crecida extraordinaria ocurrida entre 18 y 23 agosto de 2023.

Cabe señalar que los datos registrados por el sistema de monitoreo son de acceso público y se pueden ver en tiempo real en el siguiente enlace, que se puede acceder desde un computador o smartphone:

<https://dashboard.hobolink.com/public/Monitoreo%20Cahuil#/>

Por ejemplo, en la Figura 6 se muestra una visualización parcial de noviembre y diciembre 2024, de una secuencia de una apertura, conexión con el mar y cierre. Es particularmente relevante notar que se observan períodos (Por ej., 24 noviembre al 02 diciembre 2024) en que la laguna se mantuvo con nivel y salinidad estable, lo cual muestra que, de haber caudales afluentes suficientemente bajos, es posible mantener un equilibrio relativo en el estuario.

En la Figura 7 y Figura 8 se muestran la series de tiempo completas, donde también se grafica la altura de la tabla de pronóstico de mareas SHOA (Puerto San Antonio), fechas de marejadas previstas (Directemar), caudal de estación DGA Estero Nilahue en Santa Teresa y precipitaciones diarias en estación Lolol (Agromet). En ellas, se puede observar la dinámica general del humedal, en las fases en que el estuario se encuentra mayoritariamente cerrado,

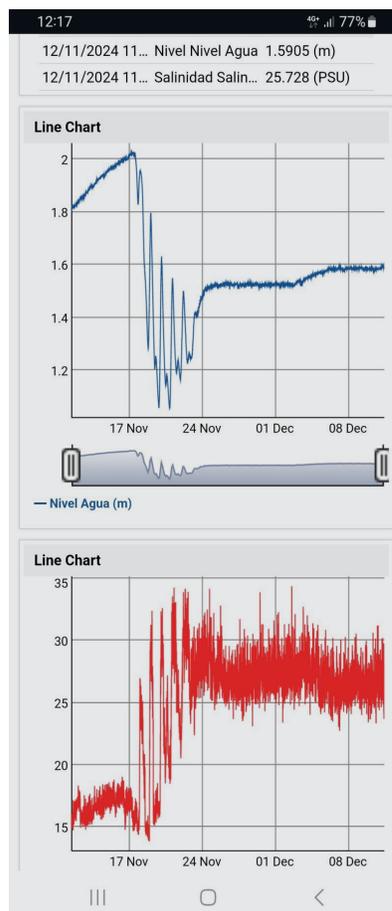


Figura 6. Captura de pantalla desde smartphone de visualización de datos en tiempo real de Monitoreo de Cáhuil, período noviembre y diciembre 2024. Enlace: <https://dashboard.hobolink.com/public/Monitoreo%20Cahuil#/>

hasta que caen precipitaciones significativas que aumentan el caudal, e inducen una apertura más efectiva y conexión más prolongada con el mar. De los gráficos se puede

observar claramente los puntos de apertura, y es posible evaluar si se logró efectividad en el desagüe y/o conexión con los ciclos de marea llenante y vaciante del mar.

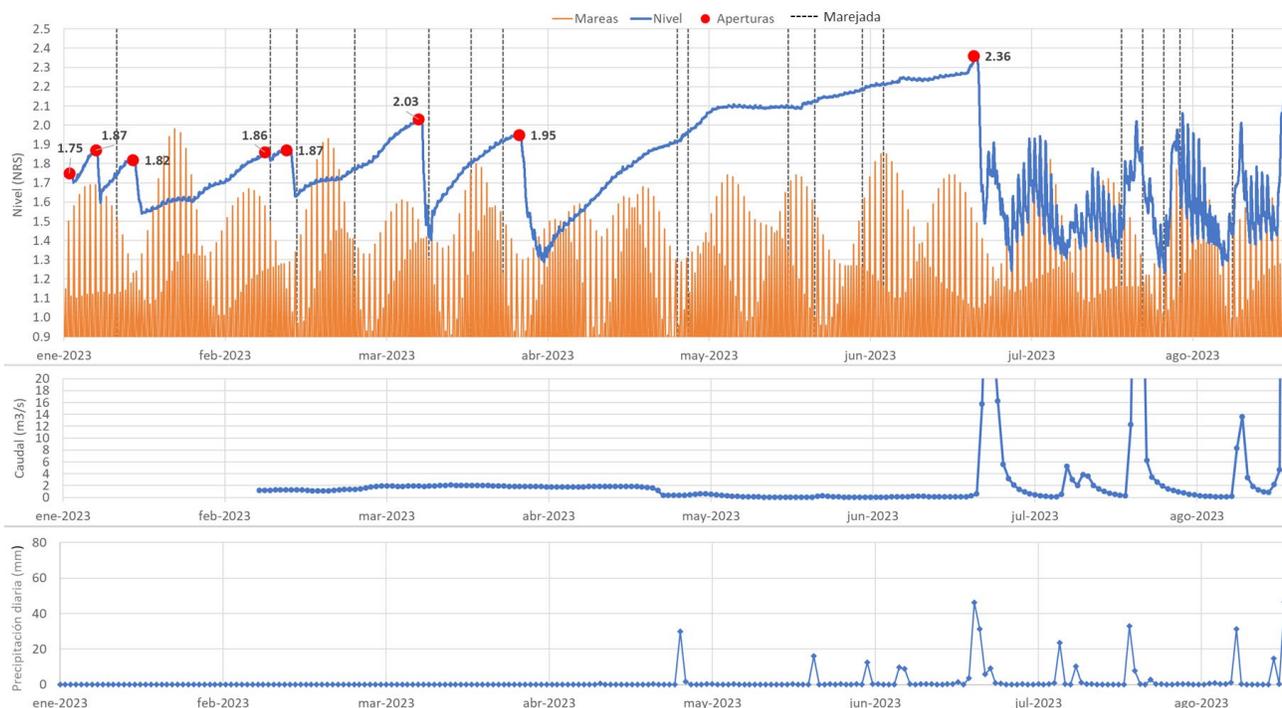


Figura 7. Series de tiempo periodo enero a agosto 2023: nivel de la laguna/estuario, altura de tabla de mareas SHOA (Puerto San Antonio), fechas de marejadas previstas (Directemar), Caudal de estación DGA Estero Nilahue en Santa Teresa y precipitaciones diarias en estación Lolol (Agromet). En puntos rojos se indican las aperturas registradas.

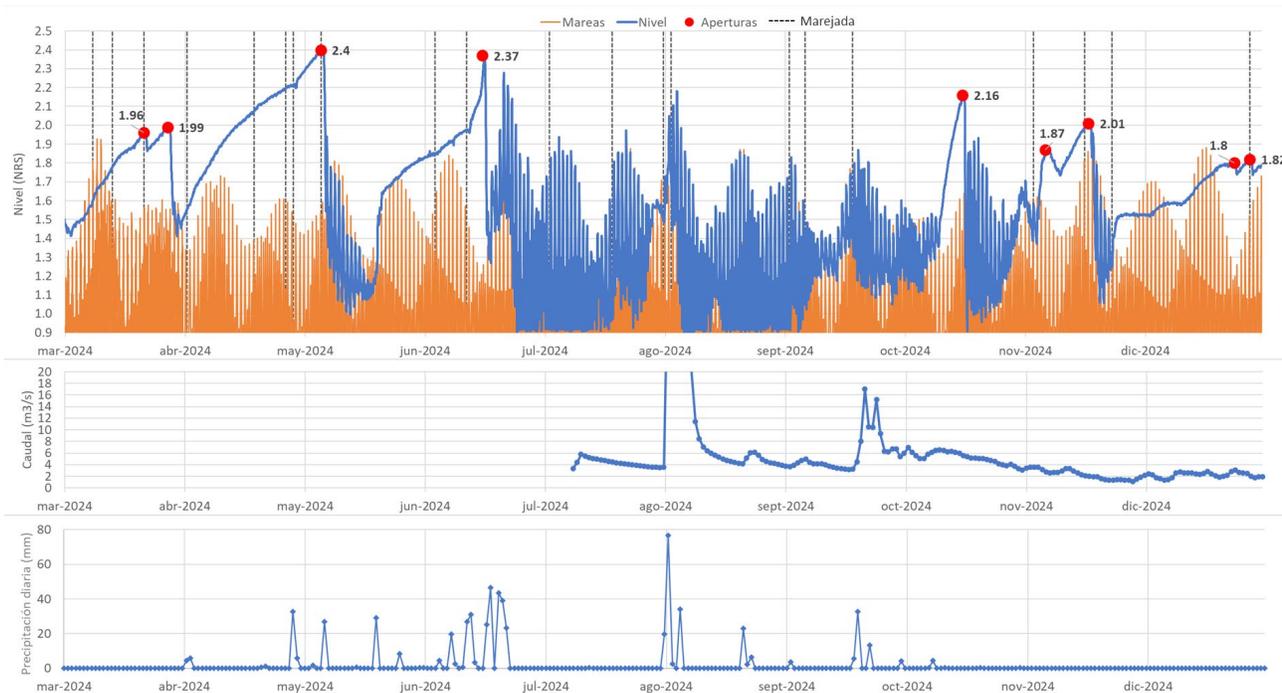


Figura 8. Marzo a diciembre 2024: nivel de la laguna/estuario, altura de tabla de mareas SHOA (Puerto San Antonio), fechas de marejadas previstas (Directemar), Caudal de estación DGA Estero Nilahue en Santa Teresa y precipitaciones diarias en estación Lolol (Agromet). En puntos rojos se indican las aperturas registradas.

3.1.3

Resumen de eventos recopilados

De la observación de las series de tiempo recopiladas, se pudieron recopilar 19 aperturas con datos de sensores continuos. Cabe señalar que dos de ellas (años 2016 y 2018), fueron previas al desarrollo del proyecto GEF. De

las 17 aperturas documentadas entre 2023 y 2024, la mayoría (9 aperturas) fueron registradas en fase de estiaje (01 enero - 31 abril), luego, 5 aperturas fueron registradas en fase de transición (01 octubre - 31 diciembre), y finalmente, se registraron 3 aperturas en fase de lluvias (01 mayo - 30 septiembre).

Tabla 2. Eventos de apertura de barra documentados

Nº evento	Fecha	Fase estacional del protocolo	Fuente
1	30-sept-2016	-	MOP-DOP, 2018
2	21-jun-2017	-	
3	03-ene-2023	Fase Estiaje	GEF Humedales Costeros. Sistema de Monitoreo Cáhuil 2023
4	08-ene-2023	Fase Estiaje	
5	15-ene-2023	Fase Estiaje	
6	09-feb-2023	Fase Estiaje	
7	13-feb-2023	Fase Estiaje	
8	10-mar-2023	Fase Estiaje	
9	29-mar-2023	Fase Estiaje	
10	23-jun-2023	Fase Lluvias	
11	22-mar-2024	Fase Estiaje	
12	28-mar-2024	Fase Estiaje	
13	06-may-2024	Fase Lluvias	
14	16-jun-2024	Fase Lluvias	
15	16-oct-2024	Fase Transición	
16	06-nov-2024	Fase Transición	
17	17-nov-2024	Fase Transición	
18	24-dic-2024	Fase Transición	
19	28-dic-2024	Fase Transición	

A partir del análisis detallado de las series, se construyó una tabla de resumen general (Tabla 3) de cada apertura donde se sistematizan diferentes características, tales como, la descripción de la apertura (nº evento, fecha, nivel laguna inicial (m), nivel laguna resultante (m), descenso (m), días de apertura y tipo de apertura),

también, variables forzantes (precipitaciones, caudal, riego embalse convento viejo (ECV), mareas (flujo vaciante/lLENANTE), pleamar (m NRS y marejadas), y efectos sobre las restantes variables de estado como el aumento de salinidad y aumento oxígeno disuelto.

Tabla 3. Resumen de Sistematización de información de eventos de apertura

N° evento	Descripción apertura						Forzantes						Parámetros protocolo	
	Fecha	Nivel Laguna Inicial (m)	Nivel Laguna resultante (m)	Descenso (m)	Días de apertura	Tipo de Apertura	Precipitaciones	Caudal	Riego ECV	Mareas (flujo vaciante/llenante)	Pleamar (m NRS)	Marejadas	Aumento de Salinidad	Aumento Oxígeno Disuelto
1	30-09-2016	2.4	1.2	1.2	7	Fallida (cierre temprano)	Sin lluvia durante septiembre, y en octubre solo cayeron 9mm entre 15-16 oct y 5mm el 23 oct. (Est. Nilahue Barahona)	sin info	sí	Conexión acotada	1.6	sin info	sin info	sin info
2	21-06-2017	2.52	1.07	1.45	270	Exitosa	Previo entre el 14-15 jun, precipitó 44 mm, sin generar caudal. Día 21 junio (apertura) precipitó 20 mm. 21 al 25 junio precipitaron entre 100 a 170 mm	Caudales aumentaron después de la apertura, primera meseta 25 jun hasta 60 m ³ /s y luego máximo 27 jun hasta 180 m ³ /s	no	conexión	1.85	sin info	sin info	sin info
3	03-01-2023	1.75	1.7	0.05	0	Fallida (cierre inmediato)	no	sin info	sí	no	1.58	no	no	no
4	08-01-2023	1.87	1.6	0.27	0	Fallida (cierre inmediato)	no	sin info	sí	conexión acotada	1.66	no	Aumento	
5	15-01-2023	1.82	1.54	0.28	1	Fallida (cierre inmediato)	no	sin info	sí	no	1.24	no	no	no
6	09-02-2023	1.86	1.82	0.04	0	Fallida (cierre inmediato)	no	Q=1.2 m ³ /s	sí	no	1.58	con aviso de marejada	no	no
7	13-02-2023	1.87	1.63	0.24	1	Fallida (cierre inmediato)	no	Q=1.3 m ³ /s	sí	no	1.29	marejada posterior a apertura	no	no
8	10-03-2023	2.03	1.4	0.63	2	Fallida (cierre temprano)	no	Q=1.9 m ³ /s	sí	conexión acotada	1.41	marejada posterior a apertura	no	no

9	29-03-2023	1.95	1.29	0.66	4	Fallida (cierre temprano)	no	Q=1.9 m ³ /s	sí	conexión acotada	1.3	no	Aumento
10	23-06-2023	2.36	1.49	0.87	58	Exitosa	92 mm (en 4 días) en Lolol	Q max 47m ³ /s	no	conexión	1.41	Ingreso de salinidad	
11	22-03-2024	1.96	1.86	0.1	0	Fallida (cierre inmediato)	no	sin info	sí	no	1.57	con aviso de marejada	sin info
12	28-03-2024	1.99	1.4	0.59	3	Fallida (cierre temprano)	no	sin info	sí	conexión acotada	1.56	no	sin info
13	06-05-2024	2.4	0.99	1.41	15	Exitosa	26.8 mm (en 1 día) en Lolol	sin info	no	conexión	1.7	Ingreso de salinidad	sin info
14	16-06-2024	2.37	0.9	1.47	45	Exitosa	177 mm (en 6 días) en Lolol	sin info	no	conexión	1.45	Periodo domina- do por agua dulce. y luego ingreso de salinidad	sin info
15	16-10-2024	2.16	0.9	1.26	18	Exitosa	no	Q=5.5 m ³ /s recesión	sí	conexión	1.55	Ingreso de salinidad	sin info
16	06-11-2024	1.87	1.74	0.13	3	Fallida (cierre inmediato)	no	Q=2.8 m ³ /s recesión	sí	no	1.5	no	sin info
17	17-11-2024	2.01	1.06	0.95	6	Exitosa	no	Q=2.0 m ³ /s recesión	sí	conexión	1.86 (sicigia)	Ingreso de salinidad	sin info
18	24-12-2024	1.8	1.75	0.05	0	Fallida (cierre inmediato)	no	Q=3.1 m ³ /s	sí	no	1.26	no	sin info
19	28-12-2024	1.82	1.74	0.08	0	Fallida (cierre inmediato)	no	Q=2.0 m ³ /s	sí	no	1.6	con aviso de marejada	sin info

3.2 Análisis de aperturas documentadas

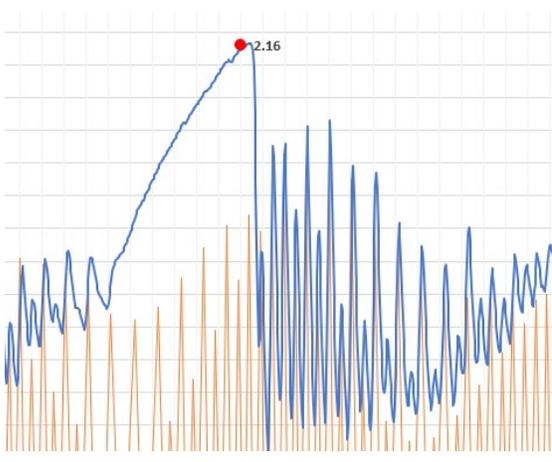
3.2.1 Tipos de aperturas

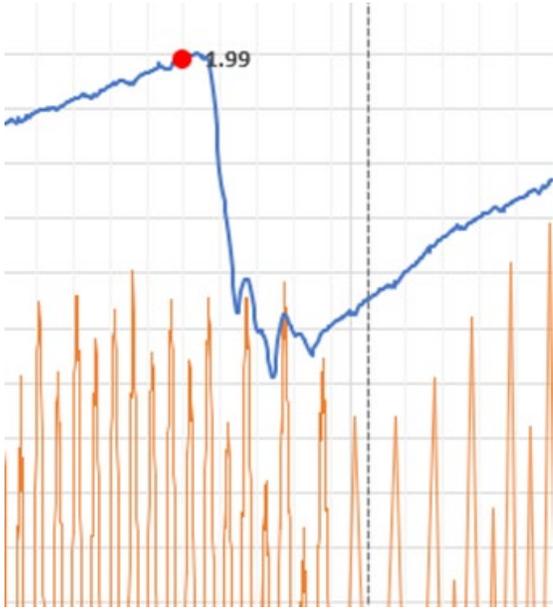
Dada la existencia generalizada de aperturas artificiales a nivel mundial, McSweeney y Stout (2023) han publicado estudios específicos de sistemas estuarinos intermitentes que requieren de aperturas mecanizadas. Ellos indican que es importante poder lograr aperturas que sean “exitosas”,

para reducir la necesidad de estar constantemente interviniendo las desembocaduras.

Para ello han propuesto una clasificación de distintos tipos de aperturas en relación con si han logrado sus propósitos de gestión. Basándose en esos conceptos, se han adaptado las definiciones de apertura exitosa y fallidas, que permiten evaluar la efectividad de la aplicación del protocolo de apertura en el humedal de Cáhuil, según se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los distintos tipos de aperturas de entrada a la ría en relación con si han logrado sus propósitos de gestión. (Modificado de McSweeney y Stout, 2023)

Tipo de Apertura	Descripción	Ejemplo de nivel y mareas
<p>Apertura exitosa</p>	<p>Permanece abierto después de la excavación, se genera una incisión clara y ampliación del canal post-apertura, se produce un desagüe, disminuye el nivel del agua de la laguna sustancialmente y la mitigación de inundaciones es exitosa. Se alcanza a lograr una conexión con el mar que provoca varios ciclos de marea llenante y vaciante en el estuario.</p>	
<p>Apertura fallida (cierre inmediato)</p>	<p>Cerrado casi inmediatamente después de la apertura y desagüe inicial. El canal excavado no genera flujo significativo, socavación ni ensanchamiento.</p> <p>El descenso del nivel de la laguna es acotado, y no se produce conexión con el mar.</p>	

Tipo de Apertura	Descripción	Ejemplo de nivel y mareas
<p>Apertura fallida (cierre temprano)</p>	<p>Permanece abierto durante algunos días (aproximadamente de 1 a 5 días) después del desagüe inicial provocado por la excavación.</p> <p>Se produce incisión y ensanchamiento acotado del canal, y la mitigación de inundaciones es parcial.</p> <p>Se produce conexión parcial con el mar, y sólo en condiciones de pleamar.</p>	



3.2.2

Evaluación de aperturas por regulación hidrológica (Variable de estado Nivel de Agua)

Respecto a la aplicación del protocolo de apertura, la principal variable de estado que ha gatillado las aperturas ha sido el nivel de la laguna, debido a la necesidad de aliviar los riesgos de inundaciones.

Cabe señalar que el umbral propuesto (que no debería ser sobrepasado) para época de lluvias es de 2.50 m NRS, se propuso como nivel de aguas máximas para umbral de inundación de viviendas. Mientras que el umbral propuesto para época de transición y estiaje es de 1.93 m NRS, asociado un umbral de inundación de salinas (que se basa en la máxima marea pronosticada, Tabla de Mareas SHOA, 2018).

En la Figura 9 se muestran 17 eventos de apertura separados por estacionalidad (fase de lluvias, transición y estiaje). Se observa que en época de lluvias las 3 aperturas registradas

se han realizado efectivamente bajo el umbral 2.50 m. En tanto para época de transición y estiaje, se observó que 8 aperturas de un total de 14 eventos (equivalente a un 57%) se han realizado bajo el umbral de nivel asociada a esa estacionalidad. Cabe indicar que en el gráfico fueron ordenados por rango de nivel de agua en la laguna al momento de la apertura.

Respecto a los tipos de apertura, se contabilizaron 12 aperturas fallidas (cierre inmediato o temprano) y 5 aperturas exitosas, de acuerdo a los criterios de tipos de aperturas señalados anteriormente.

Se observa que 8 de las 9 aperturas fallidas de cierre inmediato, se encuentran desde el nivel 1.87 m hacia abajo, y sólo una con nivel 1.96 m. Por otro lado, las 3 aperturas fallidas de cierre temprano están en un rango entre 1.95 m y 2.03 m. Y finalmente, los 5 eventos de aperturas exitosas se dan en nivel de agua sobre 2.0 m.

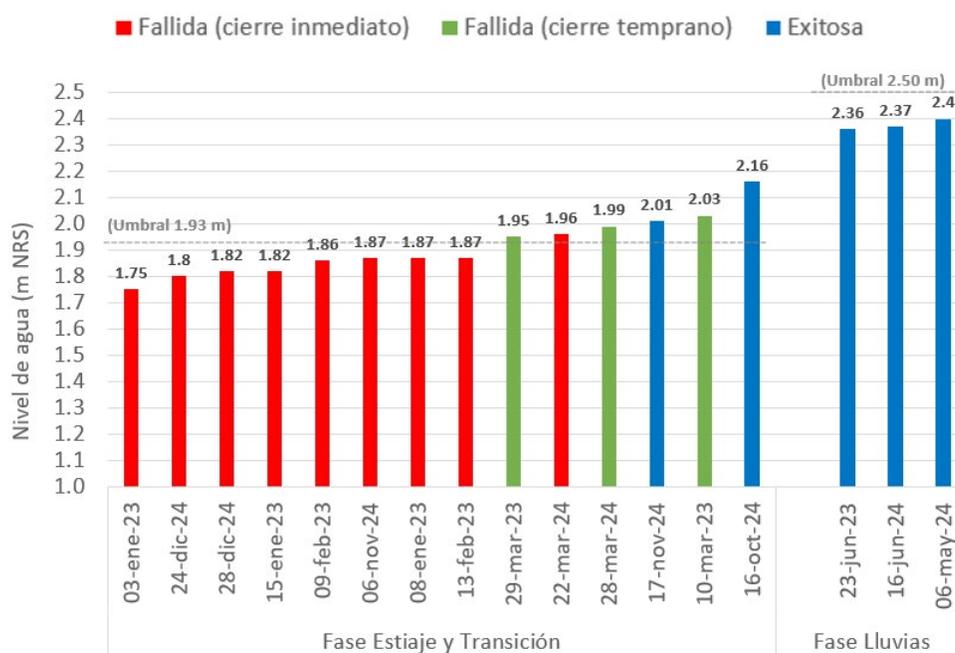


Figura 9. Eventos de apertura respecto a umbrales propuestos en función de la estacionalidad. Ordenados por orden creciente de nivel de agua.

Si bien, el nivel de agua muestra que puede ser un factor determinante para una apertura exitosa, se debe tener presente que para la fase de lluvias, las 3 aperturas registradas tuvieron además eventos de precipitaciones o caudales significativos asociados. De esta forma, la

apertura se ve reforzada y su conexión con el mar puede llegar a ser más efectiva.

Para las aperturas exitosas de fase de transición, se observaron algunas singularidades que se pueden tener

en consideración. Para la apertura del 16 octubre 2024 (con nivel de apertura de 2.16 m), se observaron caudales de recesión del orden de 5.5 m³/s o más (si se considera el desfase debido a la distancia de la estación DGA). Mientras que la apertura del 17 de noviembre 2024 (con nivel de 2.01 m) tuvo caudal del orden de 2.0 m³/s, pero con marejadas pronosticadas tanto para la fecha de apertura como para su posterior cierre.

3.2.3 Evaluación de aperturas por provisión de materias primas (Variable de estado Salinidad)

De acuerdo al protocolo de manejo, si el grado de salinidad

en la laguna es bajo, el desarrollo de actividad salinera puede verse críticamente afectado. Por ello, se plantea la posibilidad de la ejecución de una apertura de barra que pueda inducir la intrusión salina, y aumentar el grado de salinidad del estuario, con un umbral de salinidad de 20 PSU.

En general se observa que la dinámica de la salinidad está directamente relacionada con los ciclos de partura y cierre del estuario. Se observa que mientras la barra se encuentra cerrada en época de estiaje, los caudales del embalse Convento Viejo pueden provocar descenso significativo del grado de salinidad de la laguna.

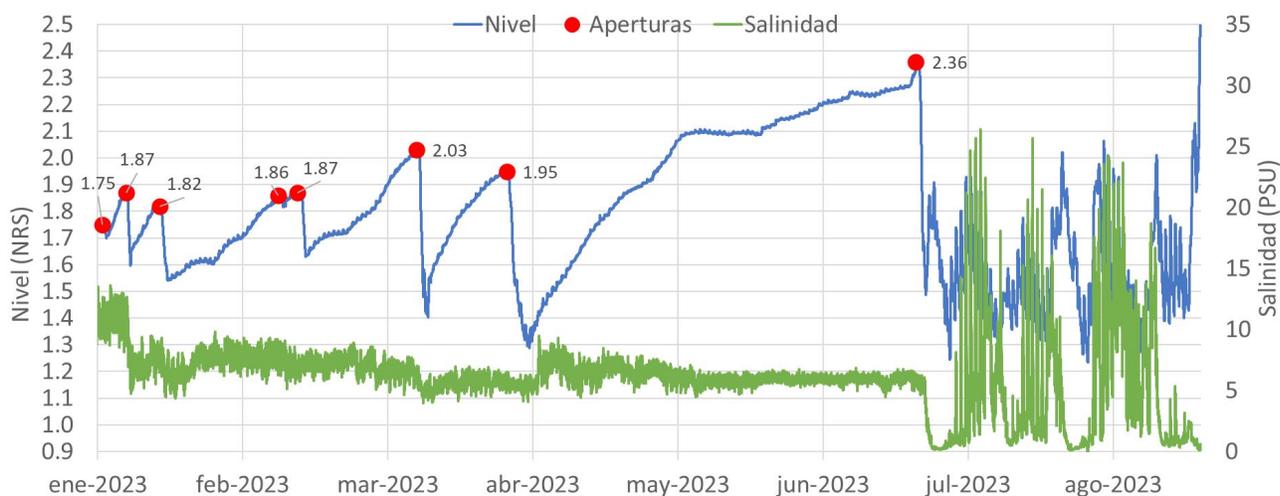


Figura 10. Período enero a agosto 2023: nivel de la laguna/estuario y salinidad (PSU). En puntos rojos se indican las aperturas registradas.

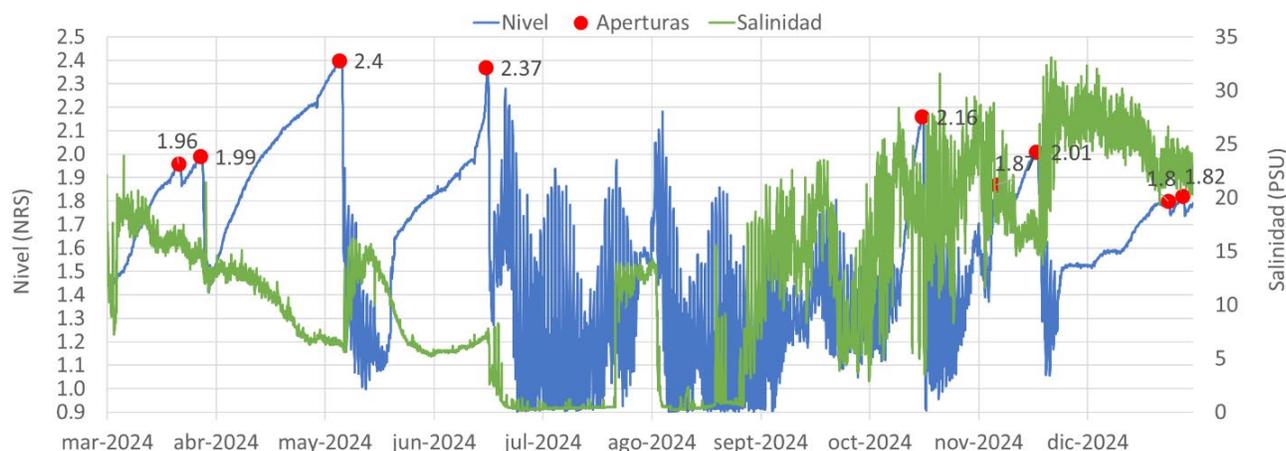


Figura 11. Período marzo a diciembre 2024: nivel de la laguna/estuario y salinidad (PSU). En puntos rojos se indican las aperturas registradas.

En relación a la efectividad del protocolo, se pudo registrar una sola apertura que pudo contribuir a la provisión de sal en la época de transición, mediante la conexión al mar

y aumento significativo de salinidad, donde el estuario aumentó a valores de 15 a 20 PSU a valores 25 y 30 PSU en el sitio de monitoreo en el Balseo.

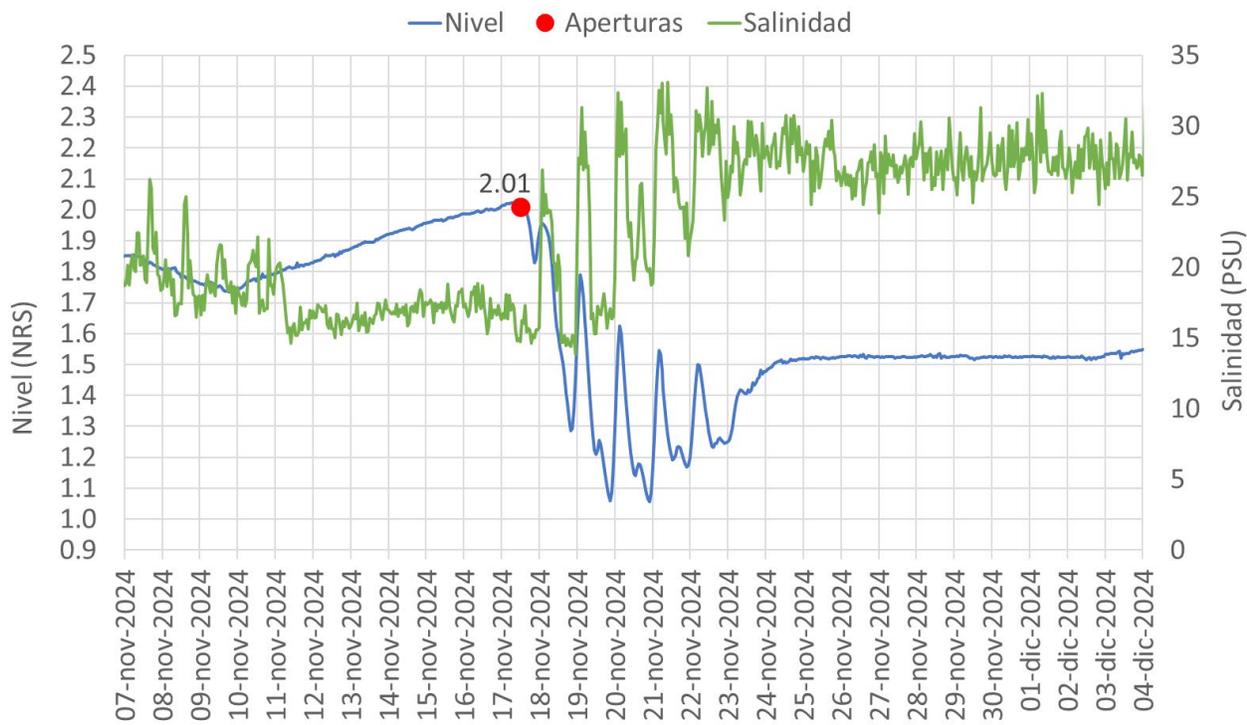


Figura 12. Detalle de serie de tiempo entre noviembre y diciembre 2024



3.2.4

Evaluación de aperturas por regulación y mantenimiento del hábitat para la biodiversidad (Variable de estado Oxígeno Disuelto)

En relación al oxígeno disuelto, el protocolo propone un punto de observación en la columna de agua, donde la medición sea sensible a la dinámica de consumo de oxígeno inducida por la materia orgánica y los sedimentos. De esta forma la medición se realiza en un punto ubicado bajo el gradiente vertical de salinidad (haloclina), en torno a 3 metros de profundidad bajo la superficie. Cabe señalar que, los registros del sensor durante el año 2023 mostraron un valor mínimo del sensor en torno a 1.85 mg/l. Su comportamiento, sin embargo, mostró una curva

de agotamiento que se infiere que ese valor corresponde realmente a anoxia, por lo que la serie de tiempo fue escalada para que el valor mínimo sea ajuste al valor 0.

En general se observa que la dinámica de oxígeno disuelto registrada es muy dinámica, y se puede ver una gran oscilación intradiaria, como también, variaciones asociadas a períodos más extensos. El comportamiento del oxígeno puede depender de múltiples factores, tales como, la estratificación vertical de la columna de agua debido a los forzantes hidrodinámicos, el metabolismo de producción/respiración de las microalgas, y/o consumo de oxígeno de la materia orgánica, entre otros factores.

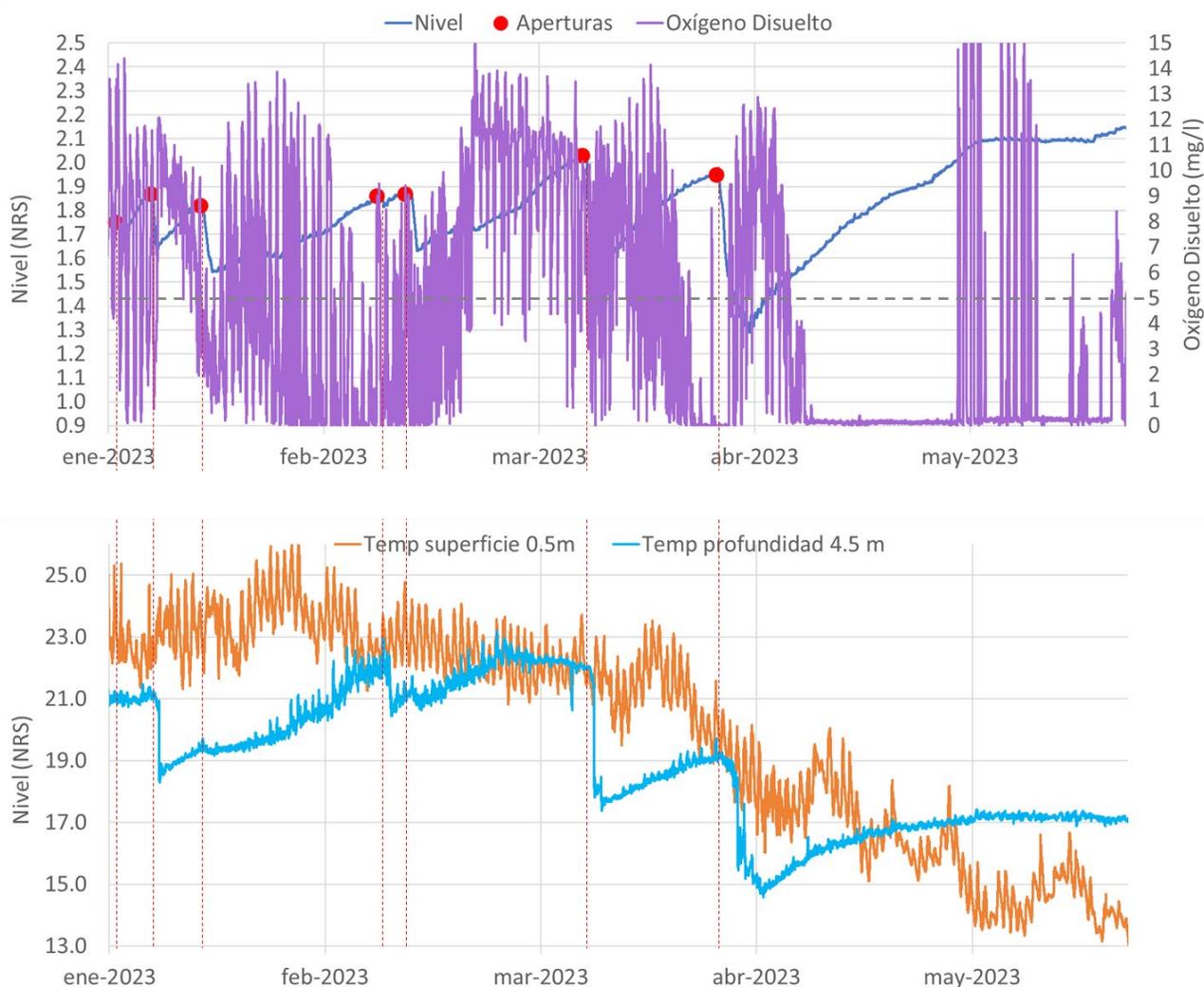


Figura 13. Período entre marzo a diciembre 2024: nivel de la laguna/estuario, oxígeno disuelto (prof. 3.0 m), y temperatura a 0.5 y 4.5 m de profundidad. En puntos rojos se indican las aperturas registradas, en conjunto a líneas discontinuas que se proyectan verticalmente a la serie de temperatura. Como referencia, se indica el umbral de OD 5 mg/l.

Es relevante señalar que para algunos períodos en particular, se observaron algunos efectos en el oxígeno disuelto que se pueden atribuir a las aperturas de la barra. Por ejemplo, la apertura de fecha 08 de enero 2023, muestra un aumento del OD, lo cual también es respaldado por un descenso de temperatura, mostrando

que se trataría de un ingreso parcial de agua de mar, que fluye por capas de mayor profundidad del estuario (Figura 14). Se infiere que la densidad de agua de mar pudo producir un aislamiento temporal en esos estratos profundos y provocar un consumo significativo de oxígeno.

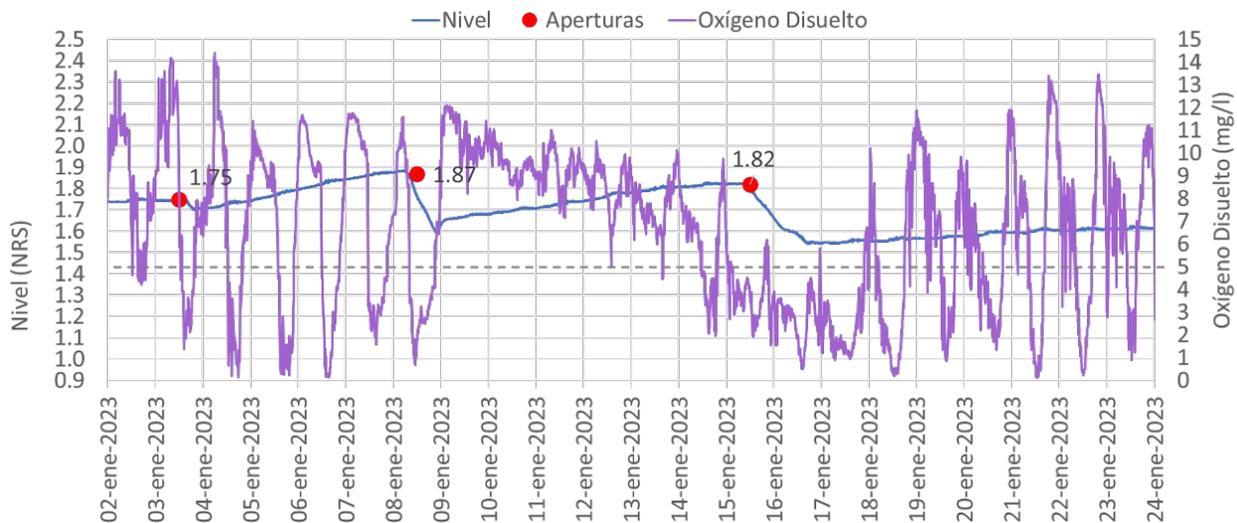


Figura 14. Detalle de oxígeno disuelto a 3.0 m de profundidad durante enero 2023

En este contexto, para la apertura del 19 marzo 2023 también se observó un evento de interés para el entendimiento de la dinámica del estuario. Pevio a la apertura, se observaba una condición de anoxia a 3 m

de profundidad, que el ingreso de agua de mar permitió recuperar temporalmente niveles de oxígeno sobre 5 mg/l por casi una semana, para luego volver a descender a condición de anoxia (Figura 15).

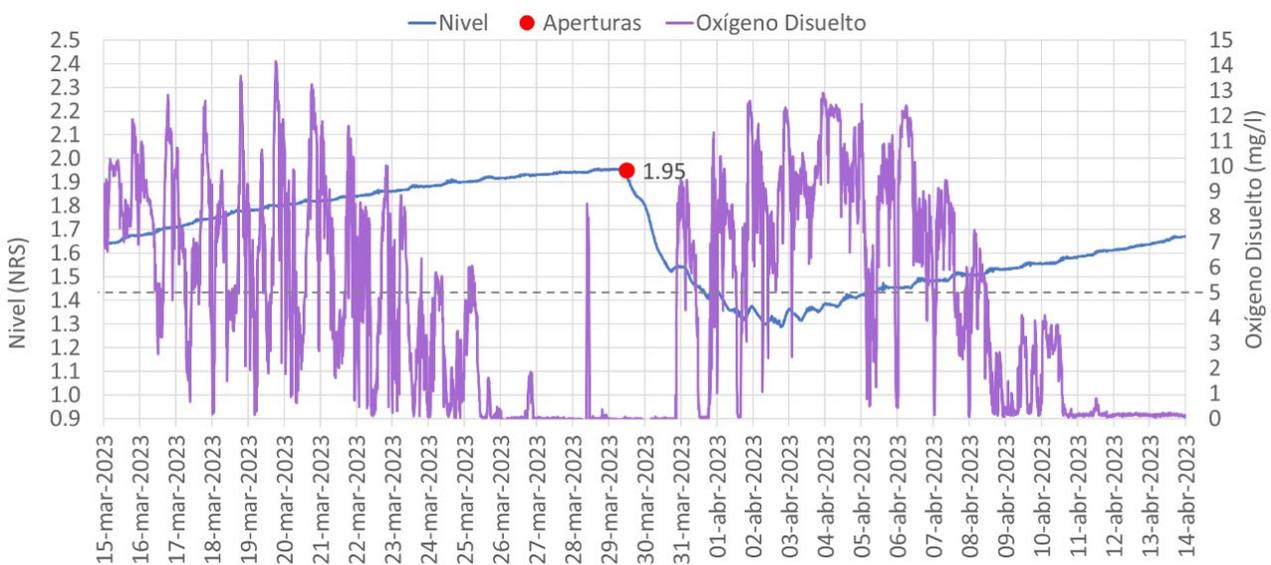


Figura 15. Detalle de oxígeno disuelto a 3.0 m de profundidad durante marzo y abril 2023

Dentro de la literatura internacional existen descripciones de procesos en estuarios donde se observan comportamientos hidrodinámicos que deben ser tomados en cuenta.

En relación a los procesos de mezcla vertical y estratificación, Gale et al. (2006) indica que cuando el cuerpo de agua tiene a estratificarse, hay una tendencia a que el oxígeno disuelto disminuya en las aguas del fondo. En parte, esto se puede explicar porque el ingreso de marea puede promover el aislamiento de las aguas del fondo, lo que hace que las tasas de oxígeno disuelto disminuyan temporalmente.

Suari et al. (2023), por ejemplo, realizó un estudio en un estuario donde se identificaron períodos prolongados de hipoxia como el principal factor de estrés, los cuales se alivian cuando se rompe el banco de arena en la desembocadura por las olas del mar o por eventos de escorrentía de aguas pluviales (principalmente durante el

invierno) que eliminan el agua anóxica del fondo. Se realizó un experimento de aperturas artificiales, y observaron que la tasa de consumo de oxígeno de aquel estuario es demasiado alta para considerar las aperturas artificiales como un remedio para la anoxia.

Un caso más complejo, fue el descrito por Becker et al. (2009) cuando un estuario se estratificó durante la fase de boca cerrada, las aguas aisladas debajo de la haloclina se estancaron y se volvieron anóxicas. Como resultado, sólo las aguas por encima de la haloclina contenían concentraciones de oxígeno capaces de sustentar a la mayoría de los peces. Allí se indica que, si se produce una apertura de la boca en condiciones de bajo flujo, se puede producir un efecto donde las aguas superficiales fluyen hacia el mar dejando atrás aguas más profundas. Esto pudo generar que solo hubiera aguas anóxicas durante un tiempo prolongado y se cree que esta condición pudo ser responsable de la muerte de peces.



3.2.5 Monitoreo actual y comparación de variable de estado Oxígeno Disuelto en temporadas 2022/2023 y 2024/2025

Actualmente (diciembre-2024/enero-2025 a la fecha) se están tomando datos de oxígeno disuelto que se traslapan en fecha a una temporada pasada (diciembre-2022/enero-2023).

En la Figura 16 se muestran las mediciones de oxígeno

disuelto y temperatura. El oxígeno se ha mantenido oscilando, y marcadamente sobre el umbral de 5 mg/l. De los datos de temperatura, se infiere que no ha habido eventos de ingreso de agua de mar fría en profundidad, por lo tanto, mientras el estuario se encuentre cerrado, la estructura de densidad de la columna de agua puede estar más bien controlada por el ingreso de caudal de agua dulce proveniente desde aguas arriba (principalmente debido a la operación de Convento Viejo) y la mezcla turbulenta inducida por el viento).

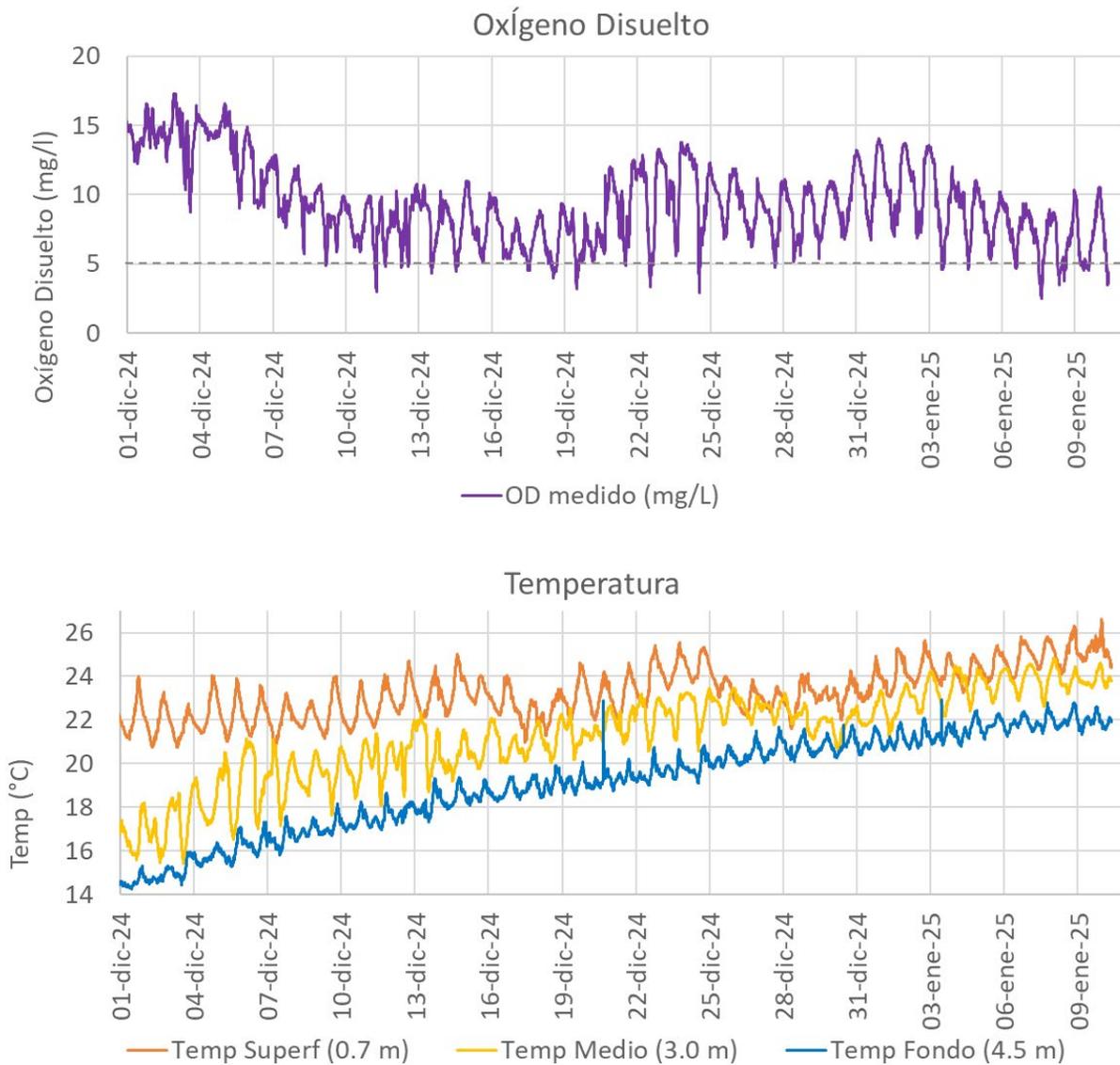


Figura 16. Series de tiempo de oxígeno disuelto y temperatura durante diciembre 2024 y parte de enero 2025, correspondiente la reimplementación de boya de monitoreo

Aunque se debe tener presente que la comparación directa entre temporadas puede responder a diferentes condiciones hidrodinámicas y factores forzantes, se realizó un ejercicio de graficar simultáneamente ambas series de oxígeno disuelto (Figura 17). En la comparación se aprecia que la temporada 2022/2023, muestra una mayor tendencia al consumo de oxígeno que la temporada actual 2024/2025, generando varios ciclos donde se registraron valores que bajaron temporalmente del umbral de 5 mg/l. También se observa la posible consecuencia de la apertura de enero 2023, donde se

genera un cambio de patrón de oxígeno disuelto por un período de poco más de una semana.

Esta diferencia podría tener explicación en que a partir de las crecidas del 2023, hubo arrastre significativo de sedimentos que tenían altos niveles de materia orgánica, y por lo tanto, eran fuente de consumo de oxígeno bajo la haloclina.

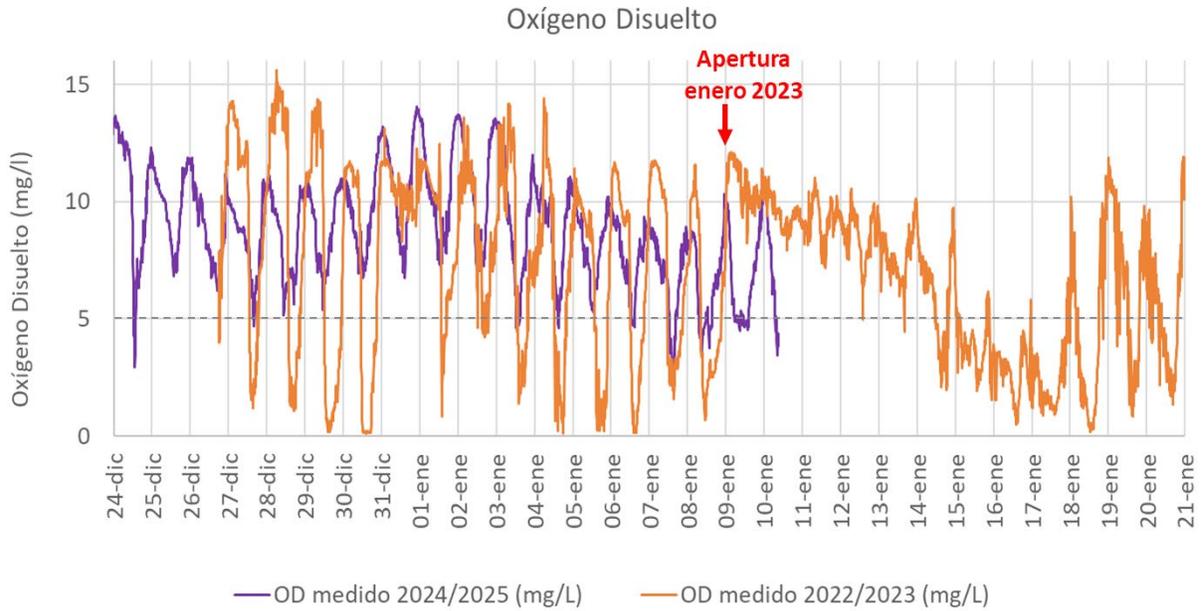


Figura 17. Series de tiempo de oxígeno disuelto y comparación entre durante diciembre y parte de enero, correspondiente los temporadas diciembre-2022/enero-2023 y diciembre-2024/enero-2025

3.2.6

Evaluación lugar de excavación para apertura

En el protocolo se recomendaban coordenadas que demarcan límites norte y sur, dentro de los cuales se puede proyectar el canal de conexión entre la laguna y el mar, basados en la información histórica. Sin embargo, las crecidas del 2023 reconfiguraron significativamente la forma de la desembocadura, y se puede apreciar que durante el año 2024 la apertura se ha estado generando aproximadamente 130 m más al norte de la franja señalada.

En particular, según se muestra en la Figura 18, la apertura de noviembre 2024 se ha realizado aproximadamente 200 m más al norte que la realizada en marzo del año 2023. Respecto a esto, se puede recomendar simplemente que la excavación se mantenga lo más próxima a la zona donde haya salido el flujo anteriormente, lo cual puede cambiar constantemente dependiendo de la dinámica costera y la reconfiguración de la barra de arena.



Figura 18. Comparación de lugar de aperturas de marzo 2023 y noviembre 2024

Información levantada por Cigiden (2023) confirma que hubo cambios topo-batimétricos de la laguna Cáhuil, y en la Figura 19 se aprecia la profundización de la laguna

por el efecto de las crecidas ocurridas durante el invierno de 2023.

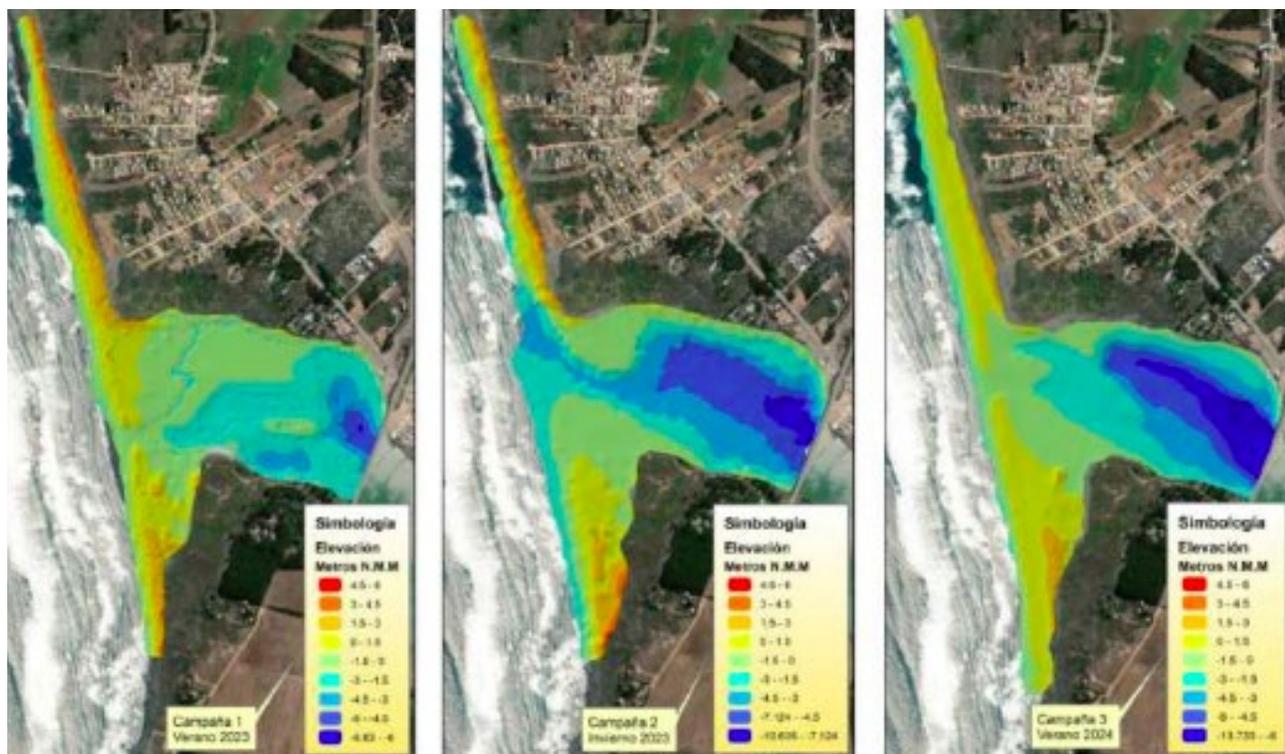


Figura 19. Cambios topo-batimétricos de la laguna Cáhuil medidos luego del verano 2023, del invierno 2023, y del verano 2024. Se observa la profundización de la laguna por el efecto de las crecidas ocurridas durante el invierno de 2023 (Cigiden, 2023)

3.2.7

Evaluación de potenciales cambios pre y post crecida extraordinaria de agosto 2023

De acuerdo a la información recopilada, es posible identificar potenciales cambios relevantes en el funcionamiento del estuario, que pueden relacionarse directamente a la crecida extraordinaria de agosto 2023.

Por un lado, ocurrió una profundización de la laguna por el efecto de las crecidas, y eso puede incidir en el grado de conexión del estuario con el mar. En este contexto, se puede ver que la profundidad de nivel alcanzada en el estuario ha sido variable para distintas temporadas. Por ejemplo, para el año 2014 la profundidad observada en las mediciones del estuario, llegaron a mínimos de aproximadamente 0.8 m NRS. Al compararlo con el valor del nivel medio del mar en que tiene un valor de 0.92 m

XNRS (puerto patrón de San Antonio, Tabla de Mareas de la Costa de Chile, Publicación SHOA N° 5115), se puede inferir que la apertura se mantuvo a un nivel más bajo, permitiendo una conexión eficiente con el mar.

Luego, para los años 2016, 2017 y los registros disponibles del monitoreo GEF hasta agosto 2023, los niveles mínimos llegaron en general hasta valores en torno a 1.2 a 1.3 m NRS, lo que significa que la conexión con el mar es parcial durante las pleamares que superan esas cotas.

Finalmente, los valores mínimos alcanzados en invierno 2024, volvieron a bajar significativamente a valores registrados menores a 0.9 m. Cabe señalar que ese valor de 0.9 m es el mínimo que registra el sensor, pero pudieron ser niveles bastante menores. Se infiere entonces, que la crecida 2023, sí puede haber favorecido la conexión del estuario con el mar.



Por otro lado, la magnitud de la crecida generó arrastre significativo de sedimentos tal como lo muestra el cambio y profundización de batimetría (Figura 19), y junto con ello se infiere que el sistema arrastró materia orgánica responsable del consumo de oxígeno disuelto desde el fondo. Este tipo de crecidas suele

funcionar como un “reseteo” anual, que permite a los sistemas mitigar la acumulación de nutrientes y desarrollo de eutrofización. De esta forma es esperable que la laguna de Cahuil haya mejorado sus condiciones ecológicas respecto al potencial desarrollo de eutrofización.

4. Conclusiones y recomendaciones



El sistema de monitoreo en tiempo real ha sido una herramienta fundamental para el seguimiento de variables de estado y apoyar la toma de decisiones asociadas al Protocolo de Manejo. De acuerdo a lo revisado en el presente informe, la información recopilada permite generar diversos análisis de correlación de las diferentes variables (nivel laguna, mareas, salinidad y oxígeno disuelto), y con ello es posible aumentar el grado de entendimiento del funcionamiento de la dinámica del estuario, como también, evaluar la efectividad de las medidas de manejo que se han tomado.

En relación a la gobernanza, se aprecia que la Municipalidad de Pichilemu ha sido capaz de gestionar la aplicación del protocolo en forma adecuada, disponiendo de personal y maquinaria para efectuar los procesos de apertura.

Respecto a las variables de estado asociadas al protocolo, la efectividad del manejo depende principalmente del

nivel de agua al momento de la apertura, y su efectividad aumenta si estero Nlahue tiene caudal afluente. Al revisar las aperturas registradas, los eventos más exitosos y duraderos se lograron en fase de lluvias, donde se suelen alcanzar niveles superiores a 2.3 m NRS, y en general, con caudales que ayudan a reforzar la apertura al mantener un flujo basal significativo. Para tener posibilidades de una apertura exitosa, éstas se deberían realizar con, al menos, niveles del orden de 2.0 m NR, de modo de generar carga hidráulica y mayor tiempo de flujo de salida de caudal.

Cuando los niveles de apertura son menores a 2.0 m NRS, es muy probable que se obtengan aperturas fallidas (cierre inmediato o temprano). En estas condiciones, se puede lograr un desagüe parcial de la laguna y generar alivio temporal a la situación, sin embargo, dependiendo de la magnitud de los caudales que ingresan desde la cuenca, es posible que se vuelvan a generar condiciones de inundación en un corto plazo (aprox. 1 a 2 semanas).

La información analizada, muestra que los efectos de la aperturas sobre las variables de estado como el aumento de salinidad y aumento oxígeno disuelto, han tenido efectividad acotada. Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda mantener la observación de estas variables ya que son variables críticas para algunos servicios ecosistémicos del humedal.

Es muy importante señalar que el protocolo se ha estado operando bajo condiciones forzantes del caudal proveniente de la operación del Embalse Convento Viejo (ECV), que ha estado alterando el régimen hidrológico y funcionamiento del humedal de Cáhuil en época de transición y estiaje, desde hace aproximadamente una década (desde año 2014). Entre los principales efectos negativos derivados del exceso de caudal, se pueden señalar: 1) Aumento de nivel de la laguna en época estiaje que ha provocado inundaciones de salinas y otros usos de suelo, 2) Inducción de la apertura artificial de la barra de forma frecuente debido a esas inundaciones, 3) Dilución del agua salada y/o salobre del estuario, que afecta la producción de sal.

Por otro lado, se puede indicar que dicho caudal es percibido como una externalidad positiva por algunas localidades debido a que permite recargar algunos acuíferos someros que proveen agua a APR rurales.

Se recomienda avanzar en medidas complementarias sobre caudal proveniente de la operación de Convento Viejo y evaluar medidas de apoyo a afectados locales (principalmente salineros). Es un tema que debe seguir abordándose con una perspectiva de cuenca, con los actores público-privados que sea necesarios.

Es relevante señalar que se han observado períodos en que el caudal del Estero Nilahue ha sido relativamente bajo (fin de noviembre 2024), y se han generado condiciones de cierto equilibrio en la laguna de Cáhuil, donde el nivel y salinidad se mantuvieron relativamente estables. En esa línea, se recomienda buscar compromisos de parte de ECV de regular y reducir el caudal excedente para lograr minimizar la afectación de los servicios ecosistémicos del humedal de Cáhuil.

En el intertanto, se recomienda diagnosticar los pretiles y puntos críticos donde se producen filtraciones, para evaluar y proyectar posible mejoras de los fuertes y pretiles, para generar mayor contención de agua, al menos, entre los niveles 1.80 m hasta 2.00 m. Junto con ello, es ideal que se puedan generar condiciones para abrir con mayor carga hidráulica, y mejorar las posibilidades de que la apertura sea más efectiva.

An aerial photograph of a wide river with a long bridge crossing it. In the foreground, there is a large, dark, sandy bar extending into the water. The background shows a town on a hillside under a blue sky with light clouds.

Capítulo II

Análisis general de las lecciones aprendidas durante los procesos de elaboración y aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra del humedal de Cáhuil proporcionando recomendaciones generales para la elaboración de protocolos de manejo de barras de arena en humedales costeros

5. Antecedentes

5.1 Protocolo de manejo de la barra del humedal Cáhuil

De forma general, los estuarios formados por la presencia de barras de arena se ubican en los extremos de arroyos y ríos, donde una barrera de arena construida por las olas del mar restringe la conexión con el océano. La formación de esta barra de arena es impulsada por un conjunto de procesos dinámicos, que varían geográfica y estacionalmente dependiendo de factores como la naturaleza de la cuenca hidrográfica, el clima, los caudales de los ríos, la carga de sedimentos de los ríos, los flujos de marea, el suministro de sedimentos cerca de la costa, la exposición a las olas y el desarrollo de infraestructura de origen antrópico (Largier, 2019). Estos estuarios pueden presentar numerosos desafíos en la gestión, como la

búsqueda de un equilibrio entre los usos ecológicos, recreativos y de desarrollo económico de las sociedades que lo habitan.

En muchos casos, el creciente desarrollo urbano, rural y expansión de actividades productivas, ha utilizado planicies de inundación y lugares que regularmente se ven afectados con crecidas fluviales y/o mareas. Para mitigar los efectos de estas inundaciones, se suele recurrir a la apertura artificial de las barras para provocar el descenso de los niveles al interior del estuario (Figura 20). Esta práctica es ampliamente utilizada, sin embargo, en muchos casos puede no estar regulada. Esta ruptura del banco de arena puede tener una variedad de efectos ecológicos en la condiciones de hábitat de la flora y fauna, como también efectos en lo social, generando conflicto entre los múltiples usuarios de estos sistemas. Cáhuil.



Figura 20. Revisión de experiencias de apertura artificial de barras y ejemplos nacionales e internacionales

Desde una perspectiva global, este tipo de estuarios intermitentes se encuentran ampliamente distribuidos en latitudes medias (ver Figura 21), en países como Australia, Sudáfrica, México, EEUU (principalmente California), Argentina, Nueva Zelanda, Chile, Brasil, Rusia, Uruguay, Marruecos, Madagascar, España, Portugal, Sri Lanka y Vietnam (Mc Sweeney, 2017). A estos sistemas, en algunos

casos se les ha otorgado nomenclaturas específicas en la literatura como ICOLLs (*Intermittently Closed and Open Lake or Lagoon*), IOE (*Intermittently Open Estuary*), IOCE (*Intermittently Open-Closed Estuaries*), TOCE (*Temporarily Open-Closed Estuaries*), BBE (*Bar-Built Estuary*) y/o *Seasonal Lagoon*.

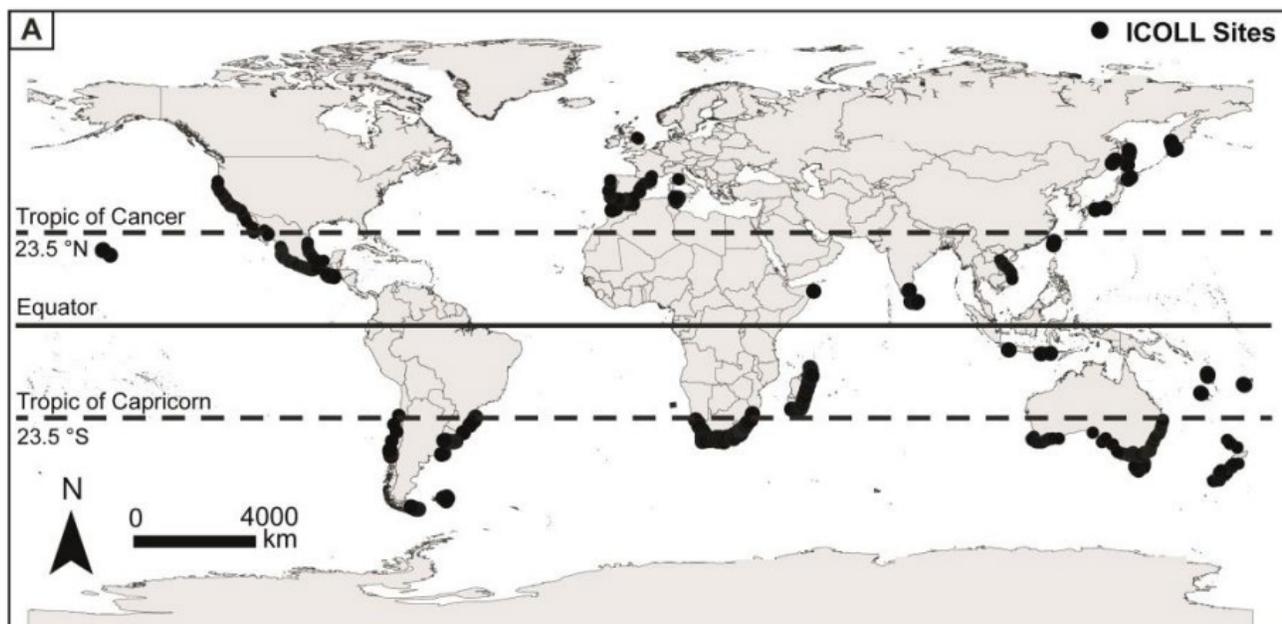


Figura 21. Distribución global de estuarios intermitentes (Mc Sweeney et al., 2017).

En Chile se registran, múltiples sitios en que han realizado estas aperturas como son el estuario de Cáhuil, el sistema Llico-Vichuquén, Lago Budi, Laguna de Zapallar, Humedal San Jerónimo y El Membrillo en Algarrobo. Sin embargo, la situación a nivel nacional se ha vuelto preocupante, ya que estos eventos se han vuelto más recurrentes. Por efecto del cambio climático y sobreexplotación de recursos hídricos se han observado incluso cierres de las desembocaduras de ríos que debiesen tener caudal permanente, como el río Maipo, Mataquito, Aconcagua, Huentelauquén (río Choapa) y Salinas de Pullally (ríos La Ligua y Petorca).

5.2 Descripción general aperturas y cierres de barras de arena en estuarios

Para abordar el estudio se consideraron antecedentes generales asociados a estuarios, los cuales han permitido revisar cómo la dinámica de energías interviene en los

procesos hidrodinámicos, hidrológicos y oceánicos (Figura 22). En general, estas energías que se ven representadas en la influencia fluvial, crecidas, oleaje de viento, mareas y mar de fondo, determinan el funcionamiento y geomorfología del estuario.

Cuando domina la fuerza del oleaje oceánico, existe una alta capacidad de transporte marino que tiende a generar depositación costera formando barras de arena que cierran la salida del estuario. Dependiendo de las condiciones hidrológicas, algunos estuarios presentan períodos secos de bajos caudales y otros períodos húmedos en que los eventos de mayor intensidad de precipitaciones provocan pulsos de crecidas fluviales capaces de aumentar la carga hidráulica y/o encontrar una salida al mar mediante la erosión y apertura de la barra. Como resultado de esta dinámica de fuerzas entre el oleaje, el sistema fluvial, y la marea en menor medida, tienden a generarse estuarios que presentan una conexión intermitente con el mar (Figura 23).

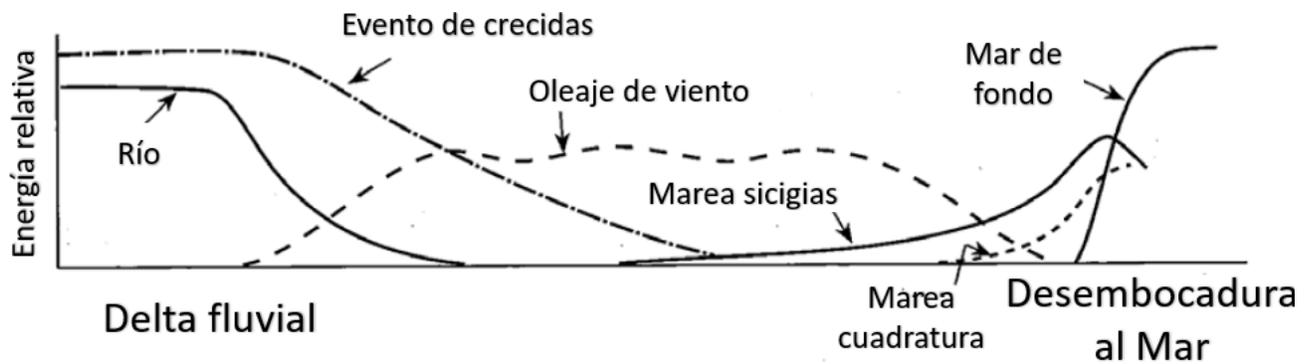
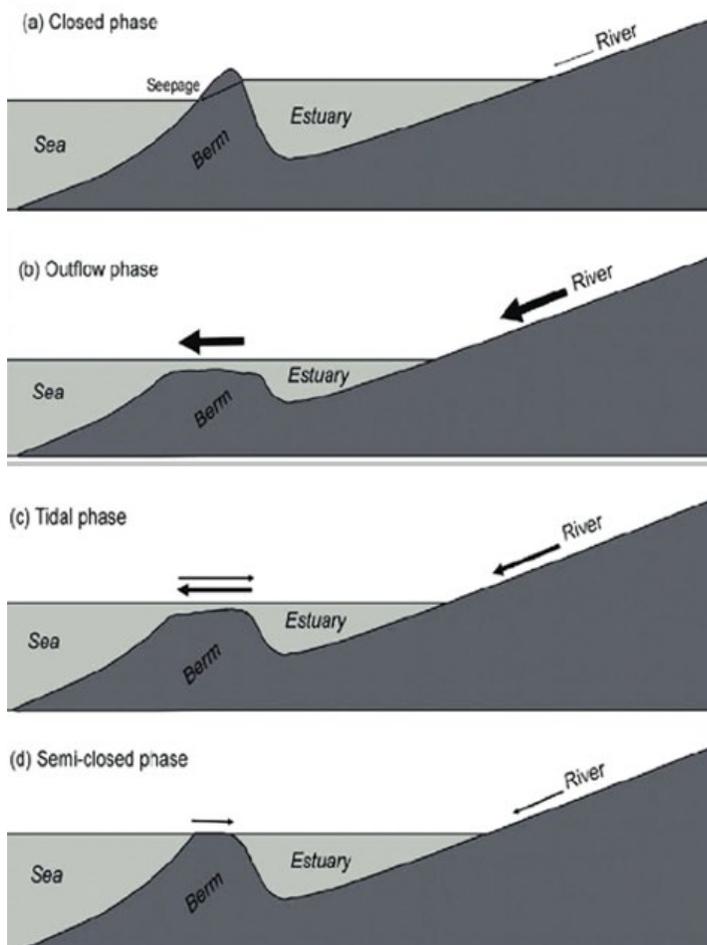


Figura 22. Representación esquemática de energías asociadas a una laguna costera en que se observa de izquierda a derecha, la influencia fluvial, crecidas, oleaje de viento, mareas y mar de fondo (Haines.P., 2006).



Otoño / Invierno

Barra cerrada acumula volumen de agua proveniente del estero.

Invierno

En eventos de precipitaciones intensas y crecidas del estero, se abre la barra (natural o artificial).

Primavera

Estuario conectado a mar, ciclos de marea llenante y vaciante generan intrusión salina.

Primavera / Verano

Proceso de cierre de la barra, por bajos caudales y efecto del transporte de sedimentos al mar.

Figura 23. Esquema conceptual de fases de un estuario que tiene conexión intermitente con el mar (modificado de Froneman, 2018)

En base a observaciones empíricas e interpretaciones geomorfológicas, Sonoma Water (2020) propone un modelo conceptual para identificar parámetros hidrodinámicos forzantes que son clave del sistema. En la Figura 24 se muestran parámetros y procesos, tales

como el caudal fluvial, nivel de la laguna, caudal pasante por la desembocadura, nivel de mareas, y procesos de erosión-depositación (en función de la geometría del canal, la barra, tamaño de grano de arena y procesos oceánicos).

Algunos investigadores señalan que las entradas de caudales de agua dulce al estuario son significativos para determinar el comportamiento de la desembocadura. La magnitud y dirección del flujo a través de la barra

determina si se produce erosión o acreción de sedimentos en el canal de la desembocadura, lo que influye en la altura de la barra de arena (Slinger, 2007).

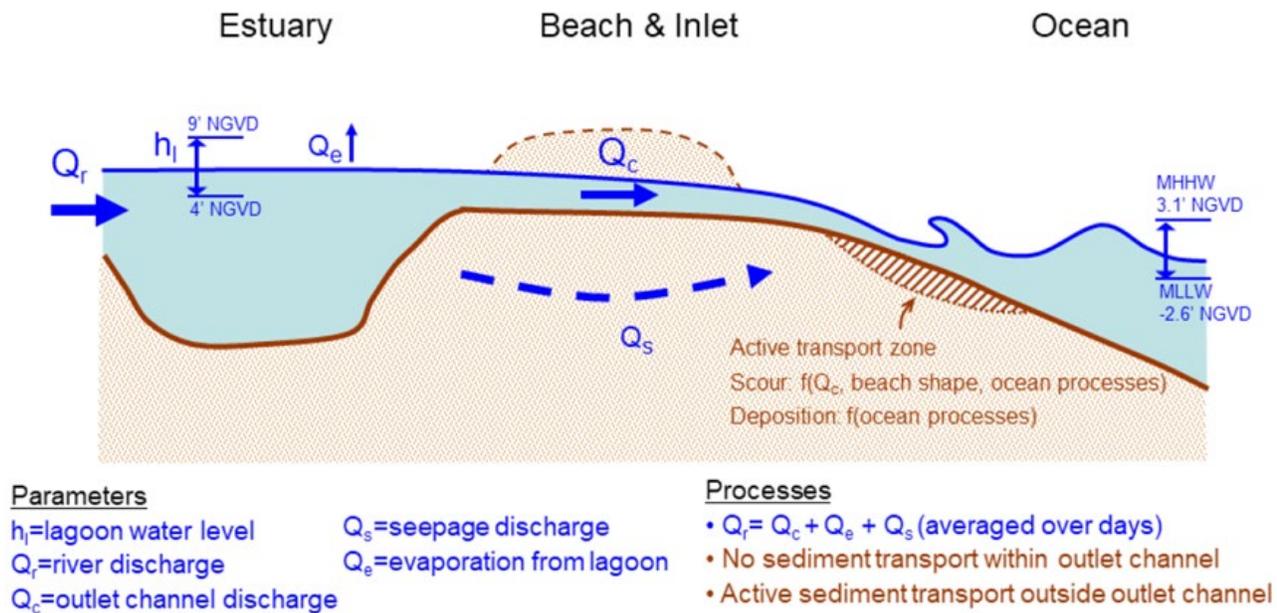


Figura 24. Esquema conceptual de estuario en fase de apertura (Sonoma Water, 2020)

6. Consideraciones sobre el marco normativo, institucional y gobernanza

6.1 Marco Normativo e institucional

Cabe señalar que propender a una gestión integrada de las zonas costeras implica un enorme desafío debido a la multiplicidad de actores e instituciones con competencias legales (Tabla 5). Lo anterior es relevante en zonas de desembocadura de ríos, esteros y lagunas, ya que en un

mismo espacio confluyen competencias tanto respecto de la administración y gestión de los recursos hídricos tanto marítimas como terrestres (GEF Humedales Costeros, 2021).

Para el desarrollo del proceso, es necesario que sean invitados a participar a todas las instituciones que tengan algún grado de competencia en el sistema de estudio, y generar un plan para abordar los permisos sectoriales que se requieran.

Tabla 5. Resumen de la multiplicidad de actores públicos.

Múltiples actores	Instituciones específicas
Ministerio de Defensa Nacional	Subsecretaría de las Fuerzas Armadas
	DIRECTEMAR
	Comisión Nacional de Uso del Borde Costero
Ministerio de Medio Ambiente	Servicio de Evaluación Ambiental
	Consejo de Ministros para la Sustentabilidad
	Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)
Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Municipios y Secretarías Regionales Ministeriales de Vivienda y Urbanismo
	Dirección de Obras de la Municipalidad (DOM)
Gobiernos Regionales	Plan regional de ordenamiento territorial, estrategia regional de desarrollo, proyectos de zonificación del borde costero.
Ministerio de Economía	Servicio Nacional de Pesca
	Subsecretaría de Pesca
Ministerio de Bienes Nacionales	Bienes nacionales de uso público
	D.S 609 establece fija normas deslindes propietarios ribereños con el bien nacional de uso público por las riberas de los ríos, lagos y esteros.
Municipalidades	Instrumentos de Planificación Territorial
	Otorgamientos de Permisos de Construcción y Subdivisiones en Áreas Urbanas (DOM)
	Administración de Bienes Nacionales de Uso Público
Ministerio de Obras Públicas	Dirección General de Aguas
	Dirección de Obras Hidráulicas
	Dirección General de Concesiones



Cabe señalar, que el primer protocolo desarrollado en una mesa técnica público-privada conocido como “Protocolo de apertura y cierre desembocadura Lago Vichuquén” (DOP, 2016), fue desarrollado para el manejo de la barra de Llico, donde se establecieron alturas de referencia asociados a al objetivo de acción ante inundaciones, lo que incluye faenas de apertura y cierre con maquinaria.

Luego, durante el año 2021, se genera la propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil (GEF Humedales Costeros, 2021), la cual ha sido aplicada para aliviar las inundaciones que se producen en el humedal, tanto a viviendas como a las salineras históricas.

En la práctica, la experiencia de la aplicación de los protocolos debe considerar que la principal razón de su aplicación, es la condición de emergencia por inundaciones. Por ello, es relevante poder establecer procedimientos sobre las instancias regionales y comunales que tengan competencia al momento de enfrentar la decisión de apertura de una barra.

En este contexto, se debe tener en consideración la regulación que establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (Ley 21.364), donde se establecen los principios, políticas, normas, instrumentos y procedimientos que deben garantizar la gestión del riesgo de desastres. En esta línea, se requiere coordinar con el respectivo Comité Regional y/o Comité

Comunal la forma de abordar las amenazas y emergencias. Las aperturas, en su mayoría, podrían considerarse un tipo de emergencia menor, dado que suelen ser situaciones que pueden ser gestionada con capacidades comunales (Alcalde, jefe de la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres, entre otros) y, eventualmente, con refuerzos o apoyos desde otras zonas, a través de una coordinación de nivel comunal.

Es importante resaltar que las aperturas, si bien suelen responder a situaciones de emergencia, pueden tener efectos sobre la estructura, componentes y funciones ecológicas del humedal, y también afectar a otros servicios ecosistémicos. De acuerdo a consultas de pertinencia al Sistema de Evaluación Ambiental SEIA y resoluciones de tribunales, los protocolos deben ser evaluados ambientalmente bajo el marco del SEIA, de lo contrario pueden ser declarados inaplicables.

En consecuencia, actualmente existe una brecha y desafío normativo de cómo enfrentar en la práctica los crecientes problemas que acarrear los cierres de barra. En base a la experiencia, se recomienda en primera instancia, enfocar el diseño del protocolo en las situaciones de emergencia de inundaciones (variable de estado de nivel de agua), sin dejar de lado el monitoreo y análisis de otras componentes ambientales (variables fisicoquímicas y biológicas), las cuales serán necesarias para entender el funcionamiento del estuario, establecer una línea base, y realizar futuros ajustes del protocolo en caso de iniciar procesos de evaluación ambiental.

6.2 Mapa de Actores y Gobernanza

A partir de la necesidad de contar con un protocolo y regulaciones para abordar el cierre anormal de barras, es importante visualizar las instituciones que puedan liderar y convocar el proceso de diálogos, y posterior elaboración de protocolo. En principio esta instancia debe tener la posibilidad de facilitar una convocatoria amplia de todos los actores institucionales, actores locales, gremios productivos ONGs, etc. Una instancia ad-hoc para la evaluación y fórmulas de provisión de recursos para el proceso es el Comité Regional de Humedales, que reúne a los principales actores institucionales regionales y comunales.

Para el inicio y desarrollo del proceso es importante contar con un mapa de actores que puedan estar involucrados y ser parte interesada en la implementación de un protocolo. Cabe señalar que el área de influencia no se circunscribe al entorno cercano del sistema, sino que debe considerarse un enfoque de gestión de cuenca, ya que las interacciones hidrológicas y uso de suelo se dan en esa escala hidrográfica.

En la etapa de aplicación de un protocolo, se requiere que la institución a cargo tenga presencia territorial, por lo que naturalmente puede decantar en la Municipalidad con eventual apoyo del MOP (DOP o Vialidad), dado el requerimiento de contar con disponibilidad de gestionar maquinaria y equipos de emergencia.

En el proceso de desarrollo de un protocolo es clave facilitar las instancias de participación ciudadana para la construcción y validación de la propuesta de protocolo. En general, es importante fomentar la conversación y concientización de los bienes comunes, cohesión de los actores y asimilar la necesidad de regulación. En la etapa de aplicación del protocolo, se debe considerar que la información usada para la toma de decisiones (variables de estado y umbrales) sea compartida de forma pública y oportuna a los actores.

Como apoyo en esta etapa, en la Guía para la elaboración de planes de gestión integral de humedales y sus cuencas aportantes (MMA - ONU Medio Ambiente, 2023) se presentan metodologías sobre el procesos e identificación de actores claves y participación de la ciudadanía, que pueden ser tomadas como referencia.

7. Recomendaciones generales proceso de generación de un protocolo de manejo

7.1 Recopilación y levantamiento de información

En la búsqueda de información que permita entender la dinámica espacio-temporal del sistema, es necesario considerar todas las fuentes que sean útiles para poder describir los componentes, estructura y funcionamiento del río, estuario o laguna que se esté analizando.

En la recopilación de antecedentes puede consultarse información bibliográfica de instituciones, como servicios públicos, universidades, publicaciones científicas, etc. Actualmente es posible contar con información actualizada de estaciones meteorológicas, fluviométricas, y disponer de acceso a múltiples imágenes satelitales que pueden ayudar a observar y

describir el comportamiento de un sistema en diferentes escenarios (crecidas, estiajes, etc.).

Es relevante poder recopilar información mediante entrevistas, relatos y material de apoyo de la comunidad. Por ejemplo en el Anexo 1, se muestra una encuesta realizada en el humedal de Cáhuil que puede ser tomada como referencia para otros sistemas.

También, se pueden planificar levantamientos de información en terreno que permitan tener una visión actualizada del sistema, y complementar información específica que se requiera para configurar un modelo conceptual de funcionamiento del sistema (Figura 25). Por ejemplo, se pueden realizar levantamientos de parámetros de calidad de agua, medición con sensores de registro continuo, levantamientos topográficos, etc.



Figura 25. Uso de nivel topográfico para verificar diferencia de alturas entre puntos de interés

7.1.1

Información general del humedal

Al inicio del estudio de estas características, se recomienda que los datos recopilados se puedan sistematizar en un Sistema de Información Geográfica (SIG), de forma que se puedan realizar cruces cartográficos entre distintas capas de información

(Figura 26). La información base puede estar constituida por archivos vectoriales y raster del inventario de humedales, red hídrica, polígonos de subcuencas (DGA), modelo digital de terreno (DEM), catastro de recursos vegetacionales (CONAF), propiedad rural (CIREN/SII), Topo-batimetrías disponibles, derechos de agua (DGA), Plan regulador Comunal, etc.



Figura 26. Ejemplo de Sistema de información geográfica y capas de delimitación de Inventario de Humedales, catastro CONAF, plan regulador comunal y topo-batimetría disponible

7.1.2

Información hidrometeorológica

La dinámica de apertura de un estuario puede estar estrechamente ligada a la magnitud de los caudales generados en la cuenca. El factor hidrológico puede representar uno de los mayores forzantes de cambios en la condición del estuario, dado que repercute directamente en el régimen de sedimentos, embancamiento y apertura

de la barra. Por ello es importante caracterizar el régimen hídrico del sistema, como también las alteraciones hidrológicas que pueden existir en la cuenca. La información hidrometeorológica de precipitaciones y caudales, pueden mostrar también los ciclos de largo plazo (ENOS El Niño/La Niña) y/o períodos de sequía que aportan un panorama de mayor escala temporal para entender el comportamiento del sistema (Figura 27).

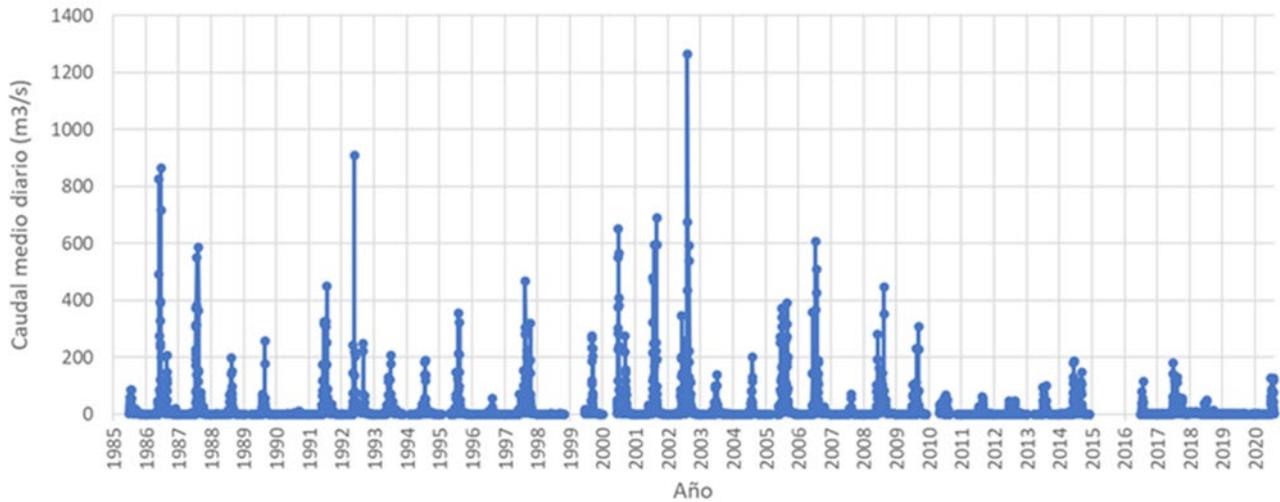


Figura 27. Serie de tiempo de Caudales medios diarios (m³/s) en estación DGA Estero Nilahue en Santa Teresa

En la dinámica de funcionamiento de los estuarios con conexión intermitente al mar, se reconoce que uno de los principales forzantes de apertura es caudal fluvial de crecida. Por ejemplo, para visualizar esta dinámica en Cáhuil, se realizó un cruce de información entre la serie de tiempo de caudales medios del Estero Nilahue en Santa Teresa, en conjunto con la condición de barra abierta o cerrada obtenida mediante fotointerpretación de la serie histórica de imágenes LANDSAT (Figura 28). De acuerdo con lo observado, los pulsos de crecida presentan una

relación directa con la apertura de la laguna. Sin embargo, actualmente no es el caudal mismo el que abre el sistema, sino más bien es el caudal el que genera un aumento de nivel de la laguna hasta que se toma la decisión de abrir la barra debido a las inundaciones que produce.

También se puede observar que el estuario se mantiene abierto hasta que la curva de recesión del caudal desciende, hasta un punto en que la energía del mar comienza a dominar y aporta arena para el cierre de la barra.

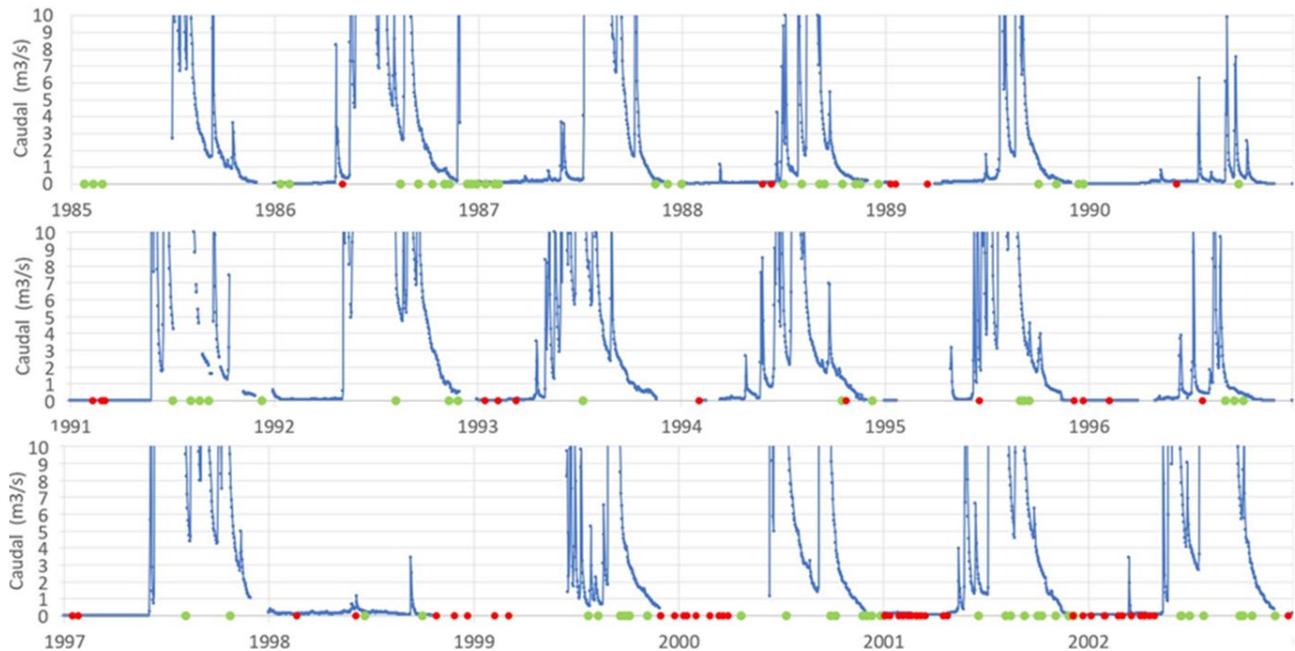


Figura 28. Serie de caudal medio diario Estero Nilahue en Santa Teresa (escalado a 10 m³/s), Período Años 1985 a 2002. Se identifica la condición de barra abierta (puntos verdes) y barra cerrada (puntos rojos) obtenida mediante fotointerpretación de imágenes satelitales LANDSAT.

A nivel de cuenca hidrográfica puede ser importante revisar el estado administrativo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, en relación a las posibles resoluciones de declaración de agotamiento, áreas de restricción y/o zonas de prohibición, y sus respectivos informes técnicos donde se realizan los balances hídricos. Con esto se puede tener un diagnóstico general de la presión y alteración hídrica que puede tener un sistema.

Si fuese necesario, también se puede revisar la información de los derechos de agua con mayor detalle espacial. Por ejemplo, para evaluar la distribución espacial y magnitud de la información asociada a los derechos de agua, se puede hacer una interpretación cartográfica de los puntos del Catastro Público de Aguas (DGA), con el fin de visualizar la naturaleza de las aguas (Ej: subterránea y superficial) y su caudal asociado (Ej: caudal anual promedio), como se muestra en la Figura 29.

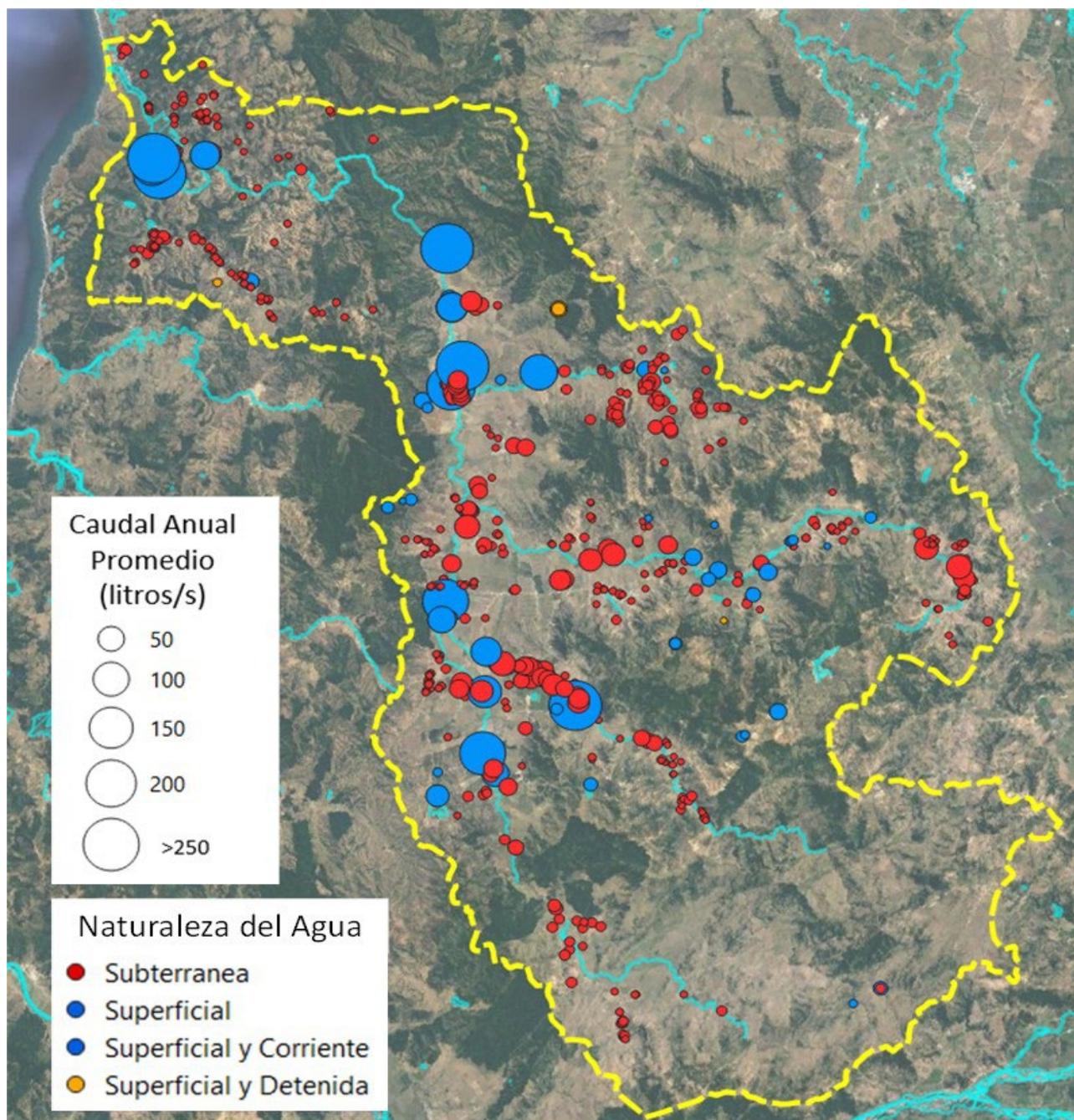


Figura 29. Cartografía de derechos de agua, según naturaleza y caudal anual promedio

7.1.3

Información Oceanográfica

Por otro lado, desde la perspectiva oceanográfica, el mar es el que aporta la energía asociada a los mecanismos de mareas, oleaje y marejadas que influyen en los procesos de ingreso de agua de mar al estuario, definen la intensidad del prisma de mareas, aportan flujo de sedimentos de la deriva litoral, y son en gran medida responsables del cierre de los estuarios.

Se debe considerar la información de las tablas de

mareas SHOA del sector de estudio, y es ideal hacer seguimiento a las condiciones de oleaje y marejadas que sean informadas por la autoridad marítima. Entre la información considerada, es ideal contar con mediciones continuas de niveles dentro del estuario, y que puedan ser comparadas con el nivel de mareas (Figura 30). Es importante que la información recopilada sea sistematizada para hacerla comparable, por ejemplo, establecido el nivel de referencia altitudinal común del Nivel de Reducción de Sondas (NRS).

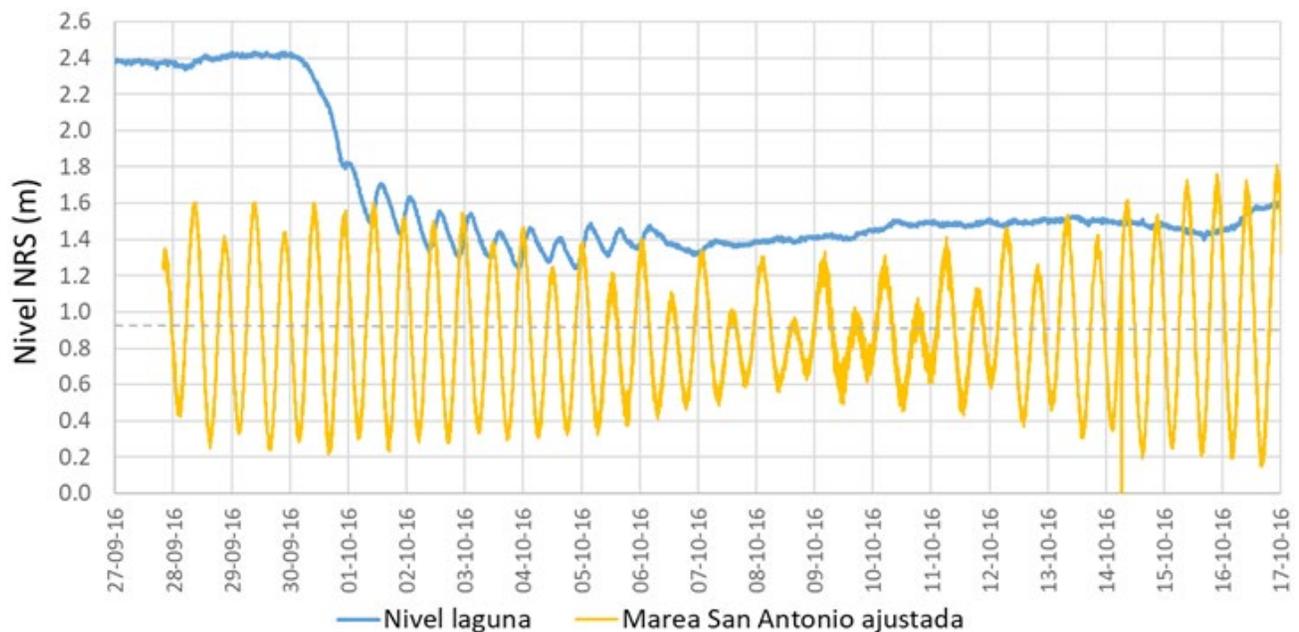


Figura 30. Registros de apertura y cierre de barra Septiembre-Octubre 2016 (MOP-DOP, 2018), comparados con el nivel de mareas de San Antonio.

7.1.4

Análisis geomorfológico

El análisis geomorfológico puede ser de gran ayuda para entender los cambios históricos que ha sufrido el sistema, por ejemplo, mediante el apoyo de herramientas de teledetección se puede estudiar el comportamiento estacional e interanual de la barra, los sitios de apertura históricos, entre otros procesos.

Para ello, es útil hacer una recopilación de mapas, imágenes aéreas y satelitales que permitan generar

una reconstrucción de la dinámica natural o histórica de apertura (Figura 31 y Figura 32). Mediante el análisis de la evolución temporal, es posible también encontrar múltiples alteraciones que pueden afectar el funcionamiento general del humedal, como amenazas de usos de humedal, relleno y construcciones en zonas inundables, alteraciones de calidad de agua, procesos de eutrofización, estabilización de dunas y alteraciones del balances de sedimentos, etc.

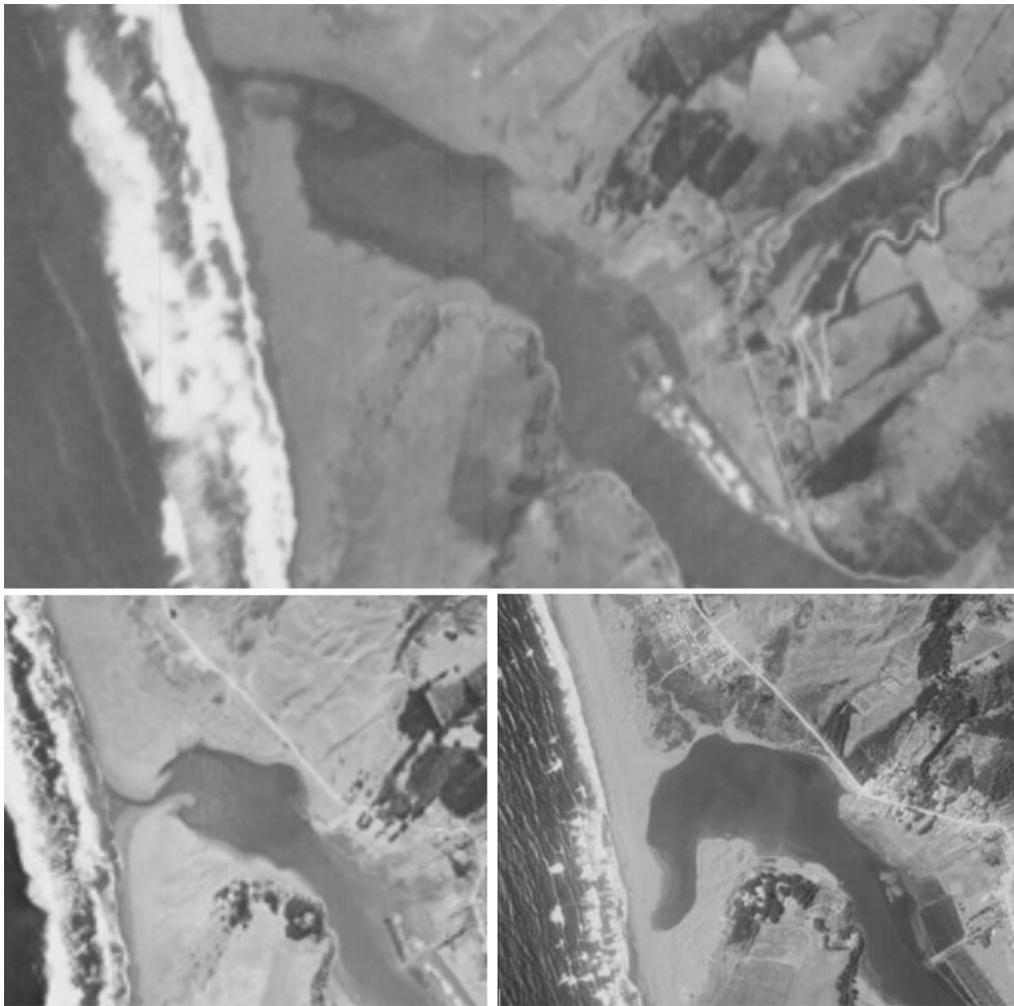


Figura 31. Fotografías aéreas de Cahuil. Arriba: IGM (1955), Abajo izquierda: SAF (1978), Abajo derecha: SAF (1994).

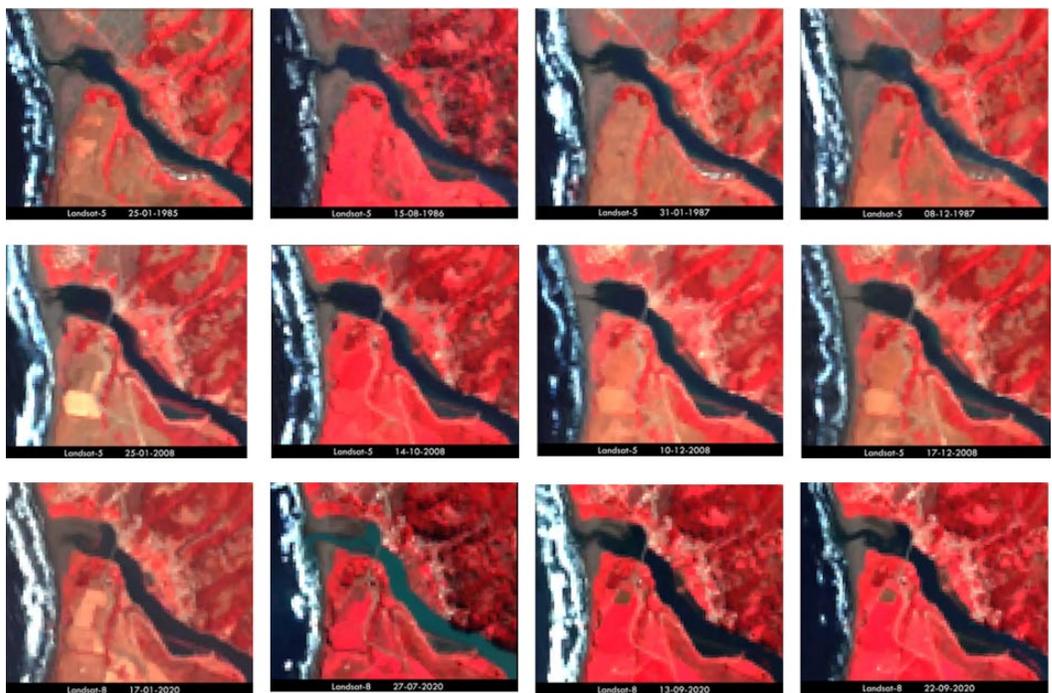


Figura 32. jemplo de secuencia de imágenes satelitales Landsat.

Por ejemplo, para analizar la desembocadura de Cáhuil y evaluar la condición estacional del estuario se realizó un análisis histórico mediante imágenes satelitales que permitió crear un diagrama temporal e identificar la dinámica inter-anual y estacional. Mediante la revisión de la dinámica morfológica se realizó un análisis orientado a identificar sitios históricos de apertura de la barra, ya sea natural o mecanizada. Se revisaron y fotointerpretaron en torno a 600 imágenes satelitales LANDSAT entre 1985-2020. También se incluyeron algunas imágenes Sentinel-2, Google Earth, y fotografías aéreas SAF e IGM más antiguas. Con ello, se realizó una identificación de los casos en que la

barra estuvo cerrada y abierta, generando una estadística mensual para los años de observación (Figura 33).

Luego, se pudo construir una estadística de condición promedio, que en esta caso muestra una curva que se acopla a las condiciones hidrológicas mediterráneas, mostrando una condición abierta en la época de lluvias, que se va cerrando gradualmente hacia la época de estiaje (Figura 34). Se observa que el mes que se presentó más cerrado fue mayo (94% de las observaciones), en tanto, el mes que se presentó abierto con mayor porcentaje fue agosto (98%).

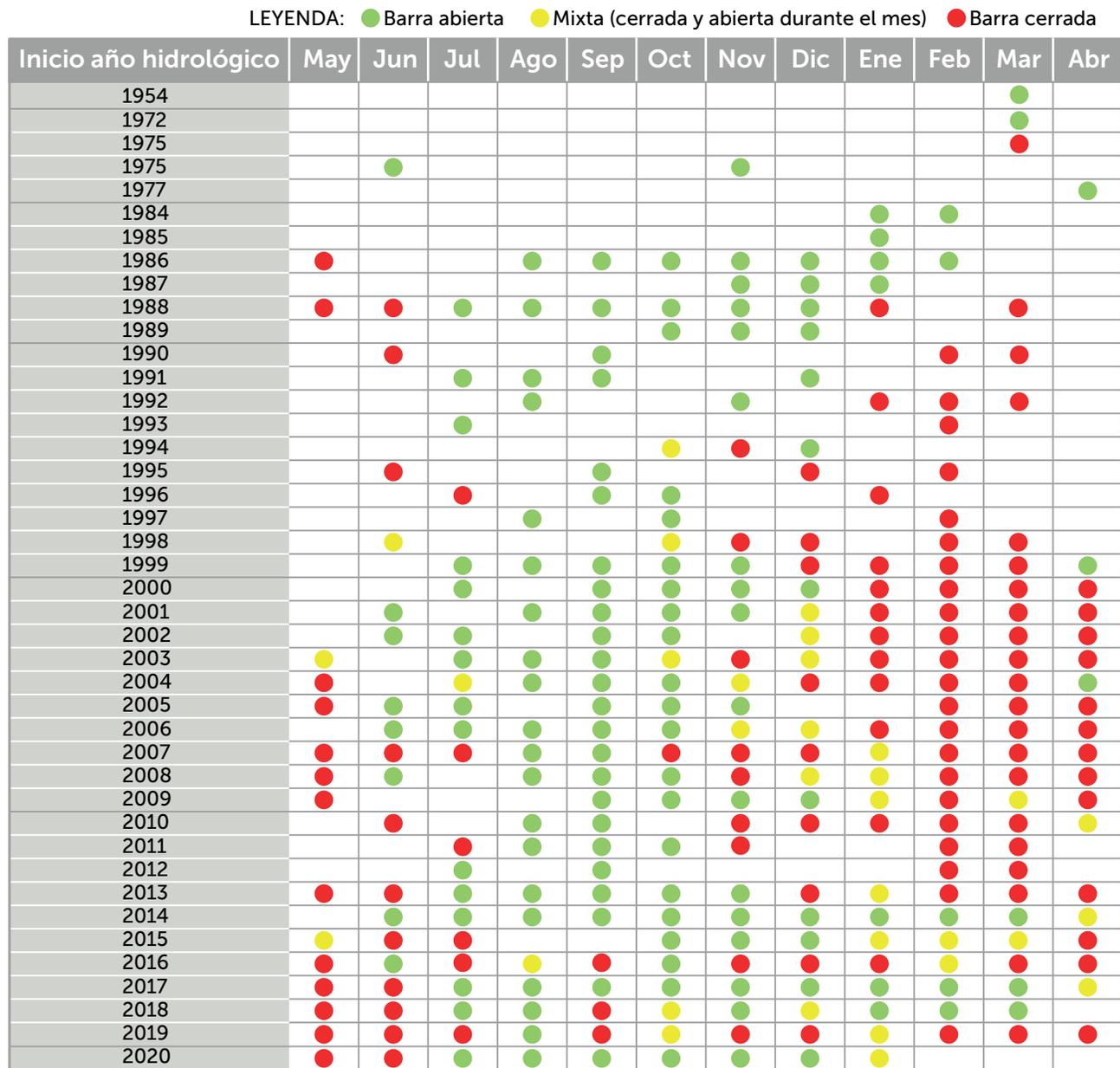


Figura 33. Análisis histórico de estado del estuario de Cáhuil mediante fotografías aéreas e imágenes satelitales

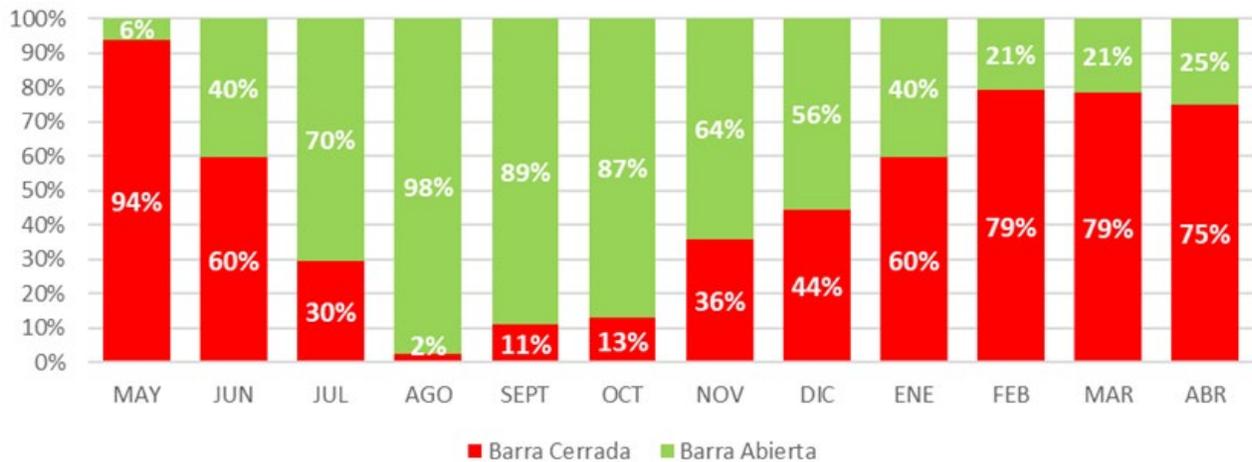


Figura 34. Condición promedio de barra abierta y cerrada, obtenida mediante fotointerpretación de imágenes

En base al análisis de imágenes también se pueden identificar diferentes patrones en la posición de la apertura de la barra, y los cambios que ha experimentado en el tiempo (Figura 35). Por ejemplo, en el caso de Cáhuil se observa que la desembocadura más antigua registrada (año 1955) se producía por un lugar mucho más al norte que los registros posteriores. Esta información fue útil

para generar hipótesis en relación a los posibles factores, los cuales pueden estar asociados a la intervención antrópica, como la medidas de manejo de contención de dunas, y la frecuente apertura artificial de la barra, que pueden provocar un cambio significativo en la distribución de sedimentos, haciendo cada vez más estrecho el delta de la desembocadura.

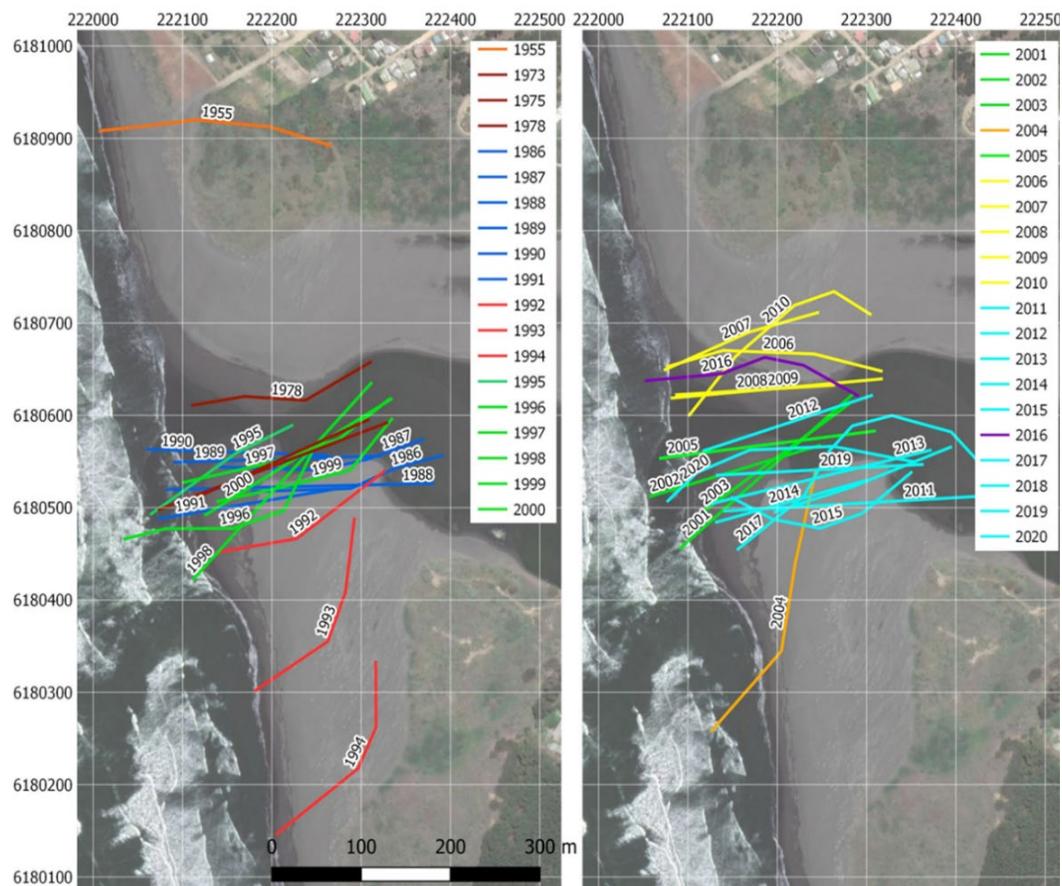


Figura 35. Secuencia de canal de la desembocadura histórica de la barra Cáhuil. Coordenadas WGS84, Huso 19S



En esta etapa es importante recopilar información que aporte un contexto respecto a las decisiones del por qué, cuando y cómo se realizaban estas aperturas artificiales. Por ejemplo, de acuerdo al relato de los habitantes, en Cáhuil no existe un dato preciso de cuándo se dejó de producir la última apertura natural, o bien, cuándo se comenzó a abrir de manera artificial. Según se recopila (Araya, 2006), el siguiente relato correspondería la década de los 80, donde se señala cómo se abrió de forma manual con palas:

"...después se vino esos bancos de arena después en Cáhuil, tuvimos que abrir la boca de la Laguna como 20 años atrás harán. A pura pala se abría la Laguna, donde se veía afligido en Cáhuil ahí le ponían la obra de mano, estábamos 1 día y medio todos los salineros trabajando y los pescadores de Cáhuil,"

7.1.5 Servicios Ecosistémicos

Respecto a los Servicios Ecosistémicos (SSEE), se puede tener como referencia lo establecido en el *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES 2013), que se definen como "Las contribuciones que los ecosistemas ofrecen al bienestar humano (Haines-Young & Potschin, 2010). Estas contribuciones son el producto directo de las interacciones entre los procesos de lo biótico con lo abiótico.

Para levantar la información se puede realizar una revisión bibliográfica sobre las actividades socioecológicas vinculadas al humedal a través de estudios ecológicos, geográficos, sociales, antropológicos. Es relevante levantar información de los servicios ecosistémicos mediante consulta a los actores locales identificados en el mapa de actores, ya que son ellos los que pueden describir en detalle cómo se benefician del humedal.

Los SSEE se suelen clasificar según los productos o servicios que otorgan los ecosistemas, los cuales se pueden agrupar en los siguientes:

- **Provisión:** Todos los productos nutricionales, materiales y energéticos de los ecosistemas.
- **Regulación y Mantenimiento:** Todas las formas en que los organismos pueden mediar o moderar el ambiente que afecta el bienestar humano.
- **Cultural:** Todos los resultados no materiales y normalmente no consuntivos, de los ecosistemas que afectan física y mentalmente a las personas.

De acuerdo a la "Guía para la Comprensión de los Servicios Ecosistémicos que prestan los Humedales" (MMA - ONU Medio Ambiente, 2024), se presentan ejemplos de SSEE proporcionados por humedales (Tabla 6). Cabe indicar que estos servicios pueden variar entre diferentes humedales, y la lista proporciona una orientación para la clasificación.

Tabla 6. Servicios ecosistémicos proporcionados por humedales (MMA – ONU Medio Ambiente, 2024)

Clasificación	Servicio ecosistémico
Provisión	Alimentos y fibras
	Agua fresca
	Combustible
	Recursos genéticos
	Recursos ornamentales
Regulación	Purificación del agua y tratamiento de desechos
	Regulación hídrica y control de inundaciones
	Regulación climática
	Control biológico
	Control de la erosión
	Polinización
	Mantenimiento de la calidad del aire
Culturales	Reducción de riesgo de desastres
	Recreación y ecoturismo
	Beneficios estéticos
	Beneficios educativos
	Inspiración
	Sentido de lugar
Cohesión social	

Para el caso de estudio del humedal de Cáhuil, existen múltiples actividades que representan servicios ecosistémicos que tienen dependencia directa del humedal (Figura 36). Por ejemplo, se puede encontrar

desarrollo de actividad patrimonial de Salineras, Turismo, Recreación, Cultivo Ostras, Pesca, Avistamiento de Aves, Biodiversidad, Regulación, etc.



Figura 36. Servicios Ecosistémicos (salineras, turismo, recreación, cultivo de ostras, pesca, avistamiento de aves, biodiversidad, regulación, etc).

7.2 Diseño del Protocolo de Manejo

7.2.1 Diagnóstico y Determinación de objetivo del protocolo de manejo (acuerdo de gestión)

A partir de la información recopilada y analizada, el siguiente paso para avanzar en el diseño del protocolo debería basarse en un diagnóstico de los problemas donde se identifiquen los servicios ecosistémicos, componentes, estructura o funciones del humedal que tienen degradación. Luego se deben abordar las preguntas ¿Por qué se requiere un protocolo de manejo de la barra? y ¿Cuál es su objetivo?.

En general, Largier et al. (2019) explica que la apertura artificial de la barra de arena en muchos sistemas es

una intervención que alivia o previene los problemas ambientales, pero que también puede resultar en impactos secundarios indeseables debido al efecto agudo de una sola apertura o al efecto crónico de repetidas aperturas a lo largo de años. Las decisiones de gestión se basan, en consecuencia, en un equilibrio implícito entre esos beneficios y costos.

El protocolo como herramienta de gestión en situación de emergencia puede encontrar justificación cuando la amenaza o emergencia de origen natural, biológico o antrópico, pueda ocasionar afectaciones como pérdidas, impactos humanos, materiales, económicos o ambientales. En época de invierno cuando las crecidas por precipitaciones y caudales son significativas, el riesgo de inundación es una situación que está dentro de las situaciones esperadas y probables de ocurrir (Figura 37).

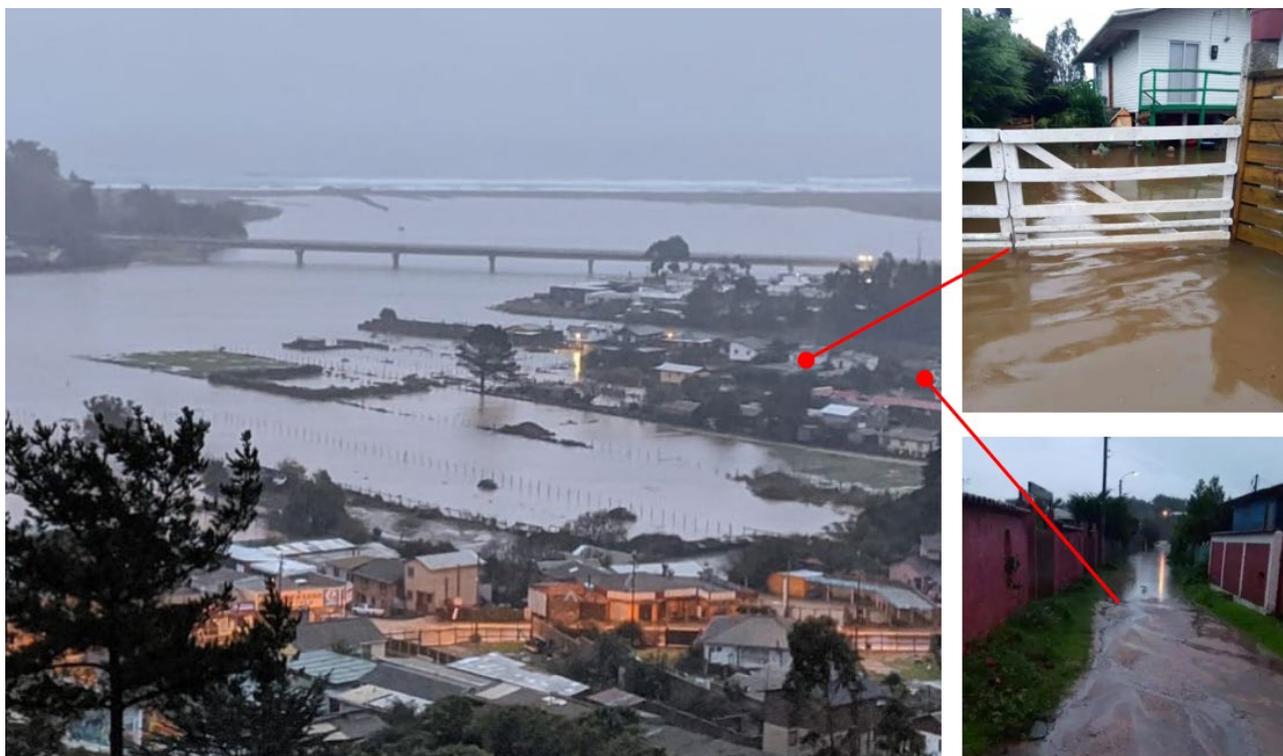


Figura 37. Crecida y nivel de agua alto en la laguna Cáhuil (Invierno), se observan construcciones en zonas inundables.

Sin embargo, la degradación del funcionamiento de los humedales por alteración natural o antrópica del régimen hídrico y balance de sedimentos, está afectando algunas desembocaduras de forma anómala. En el caso del humedal de Cáhuil, se están produciendo inundaciones se salinas en época de estiaje, lo cual se debe a una alteración

del régimen hidrológico por parte del funcionamiento el Embalse Convento Viejo que realiza un trasvase de agua desde una cuenca vecina hacia el secano costero. A consecuencia de ello, se está necesitando realizar aperturas de emergencia que están fuera de la estacionalidad, y con niveles de agua en la laguna muy bajos.

Otro ejemplo, es la desembocadura del río Maipo que durante el año 2023 se cerró a causa de caudales extremadamente bajos, que en conjunto, con la acción de marejadas generaron un cierre de la barra. Se puede inferir que la deficiente gestión del recurso

hídrico y la sobreexplotación a nivel de cuenca, pueden llegar a provocar una afectación severa del estuario, la actividad de pescadores artesanales, pérdidas agrícolas, problemas de suministro de agua potable por salinidad, etc.



Figura 38. Inundación de Salinas en Estiaje, por alteración hidrológica de caudales provenientes de la operación del Embalse Convento Viejo.

7.2.2

Variable de estado de Nivel de Agua

Para el caso de apertura en situación de emergencia, el protocolo de manejo puede considerar la variable de estado de nivel de agua como parámetro de toma de decisión, que al superar ciertos umbrales de alerta, se puedan realizar acciones oportunas para evitar las inundaciones.

Cabe señalar que la definición de inundación puede ser controversial. ¿Qué altura de agua se puede considerar como umbral para efectos de emergencia de inundación? Para ello no hay una respuesta trivial, ya que pueden existir múltiples usos de suelo que históricamente han ido ocupando zonas bajas del terreno, cercanas o incluso dentro del humedal (Construcciones de casas en zonas inundables). Dentro del proceso de diseño

del protocolo, se debe revisar y discutir la información que permita identificar objetivamente los umbrales de los objetos de protección que pueden activar una apertura, como también, la estacionalidad en la cual deben operar esos umbrales.

Para evaluar el estado de la Laguna de Cáhuil frente a los riesgos de crecidas, por ejemplo, se consideró una variable de estado principal que es el nivel de la laguna, y el apoyo complementario de información de pronósticos de lluvias y/o caudales que puedan elevar el nivel del agua. De acuerdo al calendario histórico de comportamiento del estuario, el año fue dividido en 3 fases hidrológicas, que corresponden a: Lluvias,

Transición y Estiaje. En cada fase se propusieron distintos umbrales de operación, que dependen de las actividades y objetos de protección identificados.

Mediante la revisión de estas variables se propuso un diagrama de flujo de árbol de decisión para la apertura de la barra en fase de Lluvias y Transición/Estiaje (Figura 39 y Figura 40, respectivamente).

Para poder operar el protocolo, es importante que las lecturas de nivel se puedan asociar a la referencia vertical de Nivel de Reducción de Sondas (NRS), y puedan ser comparadas con alturas de marea medidas o pronosticadas.

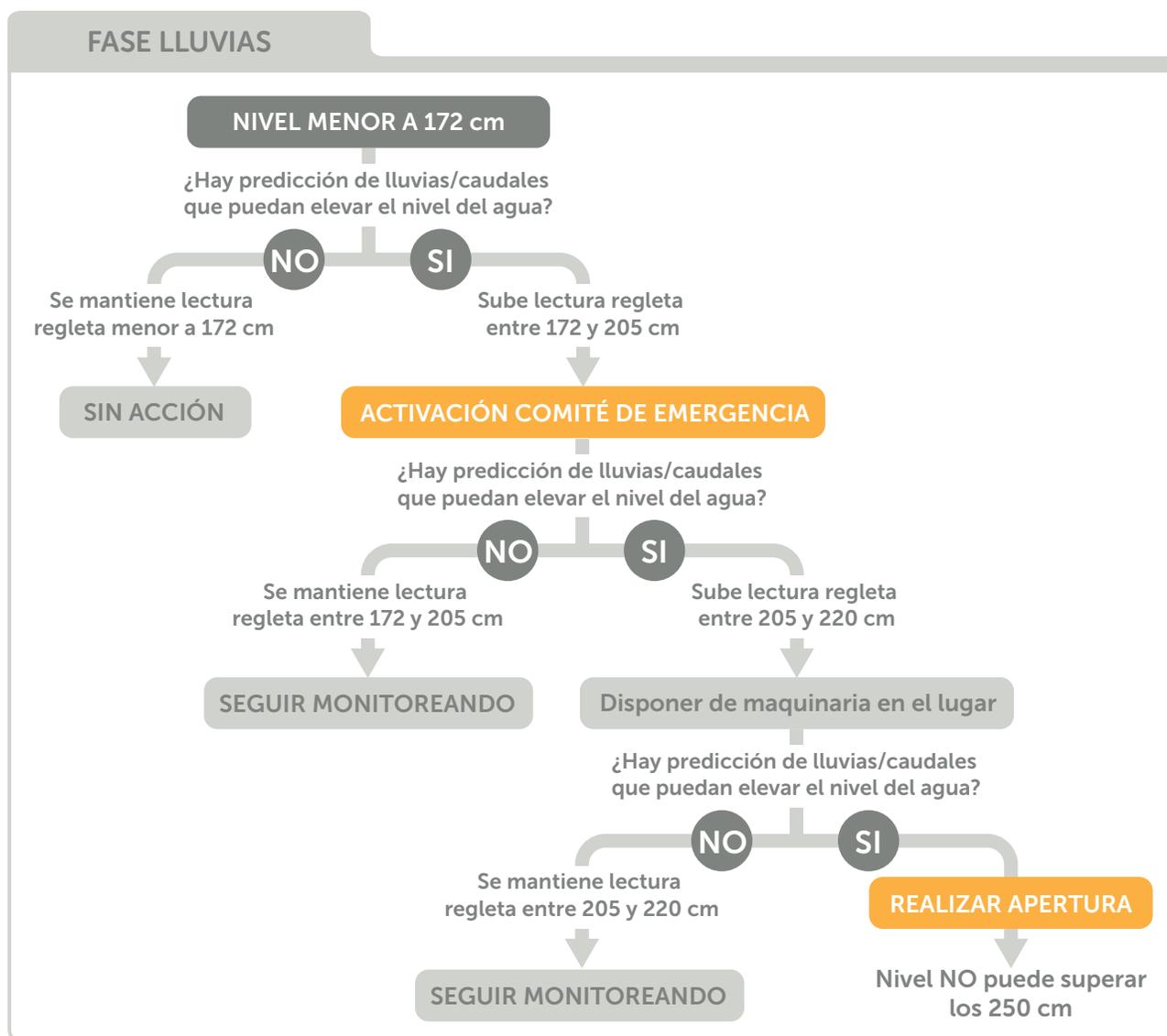


Figura 39. Diagrama de flujo de árbol de decisión Fase Lluvias (Protocolo manejo de la barra de Cáhuil)

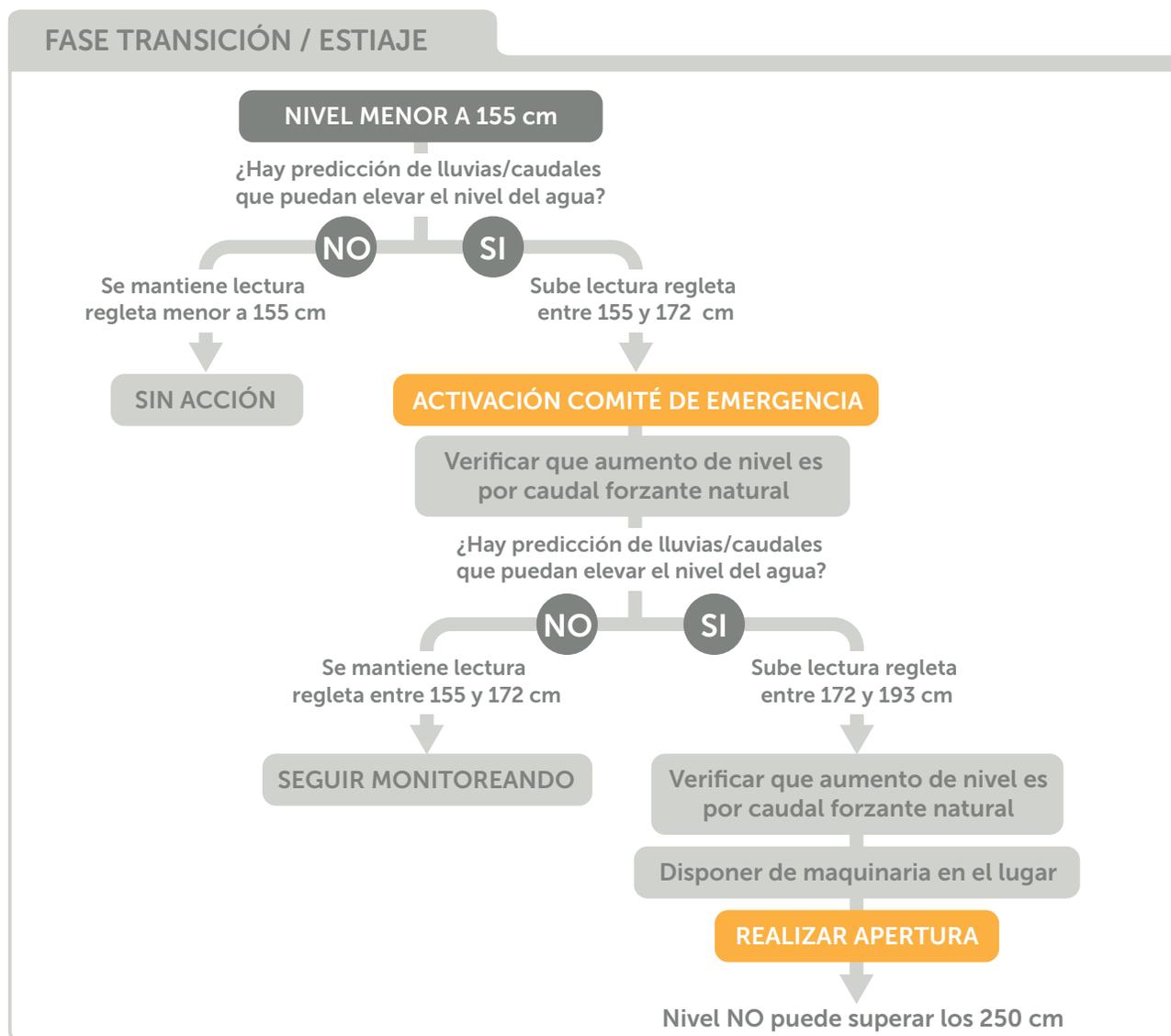


Figura 40. Diagrama de flujo de árbol de decisión Fase Transición/Estiaje Protocolo manejo de la barra de Cahuil)

7.2.3

Características de la apertura

Una vez determinada la necesidad de apertura de la barra, se deben tener en consideración la programación de las actividades y las especificaciones técnicas de los trabajos. El trabajo mecanizado debe buscar que se den condiciones favorables de marea y oleaje, para que la apertura sea lo más efectiva y duradera posible. Se debe considerar la posibilidad que las actividades de apertura se tengan que realizar en un escenario de pronóstico de lluvias y aumento de caudales.

A continuación se presentan algunas recomendaciones generales:

- Se debe contar con autorización de las instituciones pertinentes.
- Dar aviso a las personas presentes en el lugar, asegurar que no haya personas expuestas a riesgo en el entorno de la laguna, como tampoco en el sector del mar.
- Se debe considerar una retroexcavadora con brazo y balde que permita realizar excavación de, al menos, un metro por debajo del nivel de agua.
- La excavación se debe realizar haciendo una excavación de un canal de 5m de ancho, desde la laguna hacia el mar.
- El sector de excavación puede ser realizado siguiendo el trazado de donde se haya cerrado previamente, o bien, donde la barra tenga menor altura.

Se puede depositar la arena excavada usualmente hacia el borde norte, dado que es la dirección en que la deriva litoral transporta los sedimentos.

Para épocas de estiaje o de caudales bajos, se debe tener en cuenta que aperturas prematuras (bajo nivel de agua) e inoportunas (fuera de temporada) son una preocupación dado que inhibe el potencial de descarga y aumentan la sedimentación (Lemley, 2021). En esa línea, Adams y Van Niekerk (2020) explican que la apertura artificial como medida de mitigación del flujo debe practicarse con precaución porque, además de los efectos ecológicos adversos que puede producir, conduce a la sedimentación y, por lo tanto, a la reducción de la descarga en un estuario. Cuando la ruptura ocurre a niveles naturales, un gran volumen de agua fluye hacia el mar durante un período prolongado que, a su vez, arrastra los sedimentos de los tramos inferior y medio del estuario. El potencial de descarga de sedimentos aumenta exponencialmente con el aumento de las velocidades de salida. Cuando la ruptura tiene lugar en niveles de agua más bajos, la intensidad del lavado se reduce y se acumula sedimento. Esta práctica también interrumpe los ciclos normales de acreción-erosión y reduce la eficacia de arrastre de sedimentos de rupturas posteriores.

7.2.4

Implementar un plan de Monitoreo

Para la implementación efectiva de un plan de manejo, es clave contar con un plan de monitoreo con 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 de libre acceso. Se debe considerar necesariamente la variable de estado de nivel de agua, e idealmente monitorear también la temperatura y salinidad. Adicionalmente es deseable contar con algunos otros parámetros que permitan evaluar el estado ecológico del humedal, tales como variables de oxígeno disuelto y/o clorofila.

La información recopilada en tiempo real, permite disponer de datos para la toma de decisiones oportuna, como también, generar análisis a posteriori en los cuales se pueden evaluar los resultados y efectividad del plan de manejo (Figura 41). La información registrada puede ser de utilidad para evaluar los eventos exitosos y fallidos de la aplicación de un protocolo, y así, se pueden realizar ajustes a los umbrales de ser necesario.

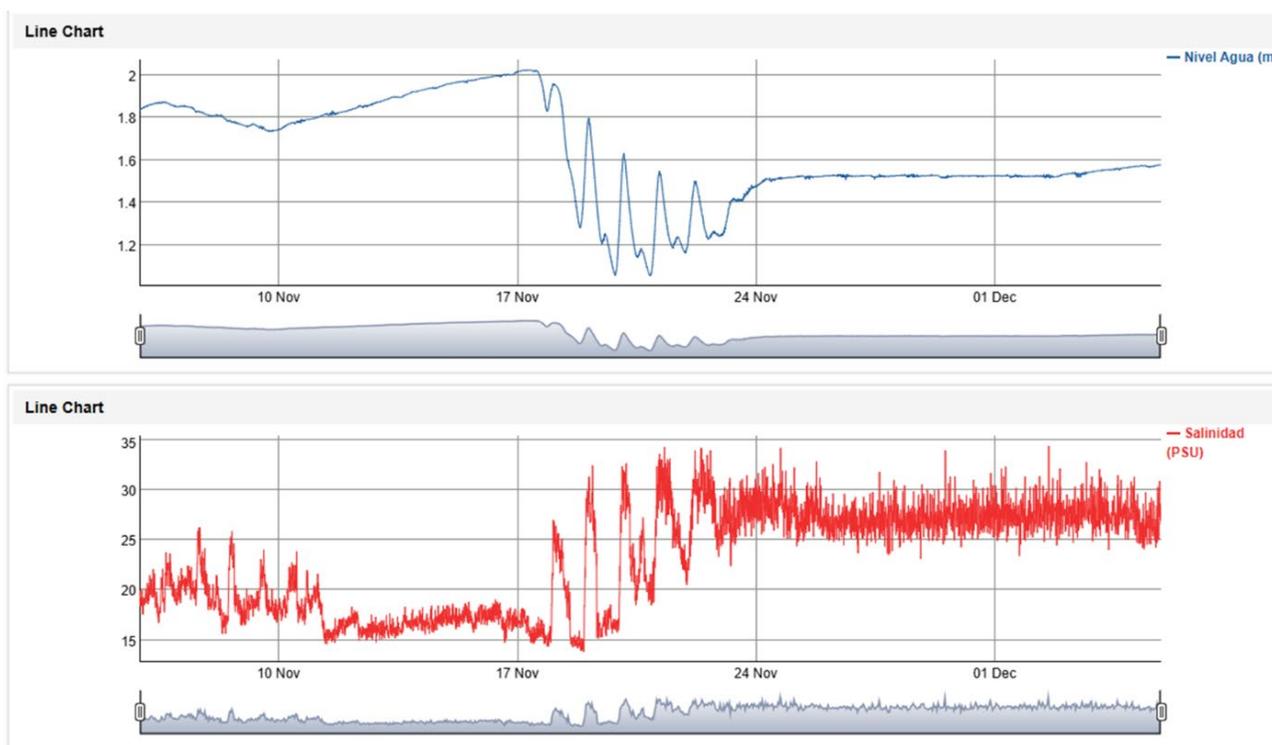


Figura 41. Datos del sistema de monitoreo del humedal de Cáhul. Variable de nivel y salinidad, registrados y transmitidos en tiempo real.

8. Referencias

Becker, A. et al. 2009. Artificial mouth opening fosters anoxic conditions that kill small estuarine fish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Volume 84, Issue 4

Cigiden, 2023. Conoce los primeros resultados del sistema de monitoreo y anticipación de la resiliencia Costera en Chile. Recuperado de <https://www.cigiden.cl/conoce-los-primeros-resultados-del-sistema-de-monitoreo-y-anticipacion-de-la-resiliencia-costera-en-chile/>

Gale, A. et al. 2006. Vertical mixing processes in Intermittently Closed and Open Lakes and Lagoons, and the dissolved oxygen response. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Volume 69, Issues 1-2, August 2006, Pages 205-216

GEF Humedales Costeros, 2021. Propuesta integral de protocolo de apertura mecanizada de la barra terminal para el humedal Cáhuil. GEF Humedales Costeros

Mc Sweeney y Stout. 2023. Hydraulic gradient and wave height control the success of estuary artificial entrance openings. *Journal of Hydrology* 619 (2023) 128902

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

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

Suari, Y. et al. 2019. Sandbar Breaches Control of the Biogeochemistry of a Micro-Estuary. *Front. Mar. Sci.*

Adams, J. B., & Niekerk, L. Van. 2020 . Ten principles to determine environmental flow requirements for temporarily closed estuaries. *Water (Switzerland)*, 12(7).

Araya, C. 2006. Salineros de la laguna de Cáhuil. Cristalizadores de oro blanco. (Tesis para optar al grado de antropóloga). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Behrens, D. K., Associates, E. S., & Battalio, B. 2015. A quantified conceptual model of inlet morphology and associated lagoon hydrology. October.

DOP, 2016. Protocolo de apertura y cierre de la desembocadura del Lago Vichuquén. Dirección de Obras Portuarias.

Froneman, 2018. The Ecology and Food Web Dynamics of South African Intermittently Open Estuaries

Haines-Young, R., & Potschin, M. 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In D. & C. F. (eds. . Raffaelli (Ed.), Ecosystem Ecology: a new synthesis. BES Ecological Reviews Series (Vol. 87, Issue B10, pp. 8501-8507). BES Ecological Reviews Series. Recuperado de <https://doi.org/10.1029/JB087iB10p08501>

Haines.P. 2006. Author Physical and chemical behaviour and management of Intermittently Closed and Open Lakes and Lagoons (ICOLLs) in NSW BE (Hons) MEngSc Griffith Centre for Coastal Management School of Environmental and Applied Sciences Doctor of Philosophy. Recuperado de <https://doi.org/10.25904/1912/3646>

Largier, J. 2019. Considerations for Management of the Mouth State of California's Bar-built Estuaries Final Report to the Pacific States Marine Fisheries Commission and NOAA (NA14NMF437012). January, 2019

Mc Sweeney et al. 2017. Intermittently Closed/Open Lakes and Lagoons: Their global distribution and boundary conditions

Mc Sweeney y Stout. 2023. Hydraulic gradient and wave height control the success of estuary artificial entrance openings. Journal of Hydrology 619 (2023) 128902

MMA – ONU Medio Ambiente, 2023. Guía para la elaboración de planes de gestión integral de humedales y sus cuencas aportantes. Elaborada por el Laboratorio de Planificación Territorial de la Universidad Católica de Temuco. Equipo Consultor Proyecto GEF/SEC ID: 9766 "Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile". Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 53 pp.

MMA – ONU Medio Ambiente, 2024. Guía para la Comprensión de los Servicios Ecosistémicos que Prestan los Humedales. Universidad de Chile

Primack, R. B. 2010. Essentials of Conservation Biology. Sinauer Associates.

Servicio de Evaluación Ambiental, 2023. Guía para la predicción y evaluación de impacto ambiental en humedales en el SEIA. Primera edición, Santiago, Chile.

Slinger 2017. Hydro-morphological modelling of small, wave-dominated estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 198.

Sonoma Water. 2020. Russian River Estuary Adaptive Beach Management Plan 2020.

Suari, Y. et al. 2019. Sandbar Breaches Control of the Biogeochemistry of a Micro-Estuary. Front. Mar. Sci.

Anexo 1

ENCUESTA HUMEDAL DE CÁHUIL

El Proyecto “**Delimitación del Humedal Cáhuil e Identificación de Áreas Prioritarias a Restaurar en su Cuenca Aportante**” inserto en el 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”, está realizando un estudio sobre el Humedal de Cáhuil, su dinámica histórica, la percepción que poseen los

vecinos de este ecosistema y los servicios ecosistémicos que provee a la comunidad.

La participación en este estudio como encuestada/o es de carácter voluntaria/o. La información que usted nos entregue será usada de manera anónima, sumándose a las respuestas de muchos otros habitantes del sector, pues buscamos tener una visión general sobre esta temática. Si está de acuerdo con participar, le solicitamos firmar a continuación.

NOMBRE _____ **FIRMA** _____

Número de Encuesta _____	Nombre Encuestador _____
Fecha de Encuesta ____ / ____ / ____	Lugar de Aplicación _____

INSTRUCCIONES:

Marque con una “x” o introduzca texto o números según corresponda en cada pregunta.

PARTE 1: Antecedentes Generales

Género	<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino	Edad _____ años
Lugar de nacimiento	<input type="checkbox"/> Cáhuil	<input type="checkbox"/> Otro _____	
Trabaja en Cáhuil	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No trabaja	¿En qué? _____ <input type="checkbox"/> Trabajo doméstico sin pago
¿Ud. es dueño(a) de su terreno?	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Sí	
¿Ud. realiza agricultura en su terreno?	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Sí	¿Qué cultiva? _____
¿Qué método de agricultura utiliza en su terreno? (Tipo de abono)	_____		
Utiliza agroquímicos?	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Sí	¿Cuáles? _____
¿Ud. recibe subvención de algún programa del gobierno?	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Sí	¿Cuál? _____

PARTE 2. Uso Histórico del Humedal de Cáhuil

¿Ud. trabaja en las salineras? No Sí ¿Hace cuánto? _____

¿Desde qué año recuerda Ud. se trabaja las salinas de Cáhuil? _____

¿Ud. recuerda algún evento extraordinario a nivel climático o geológico en las Salinas de Cáhuil? _____

¿Existen festividades en Cáhuil? ¿Cuál recuerda? _____

¿Conoce algún lugar ceremonial o de importancia en Cáhuil? _____

¿Ud. conoce la función de la barra de arena? No Sí

¿La barra es manipulada artificialmente? No Sí

¿Cómo salinera/o cómo influye en su trabajo? _____

¿Quién toma la decisión? _____

¿Con qué frecuencia se manipula la barra? _____

¿Cuánto tiempo permanece abierta la barra? _____

¿Está satisfecha/o con la manipulación de la barra? No Sí

¿Ud. sabe cómo se manipula? No Sí

¿Cuándo fue la última vez que Ud. la vio abrirse de forma independiente la Barra? _____

PARTE 3. Capital Social

¿Ud. pertenece a alguna organización social? Sí ¿Cuál? _____
 No ¿Por qué? _____

¿Cuál es el medio de comunicación que utiliza con su organización? _____

¿Ud. Confía en su organización? Sí No ¿Por qué? _____

¿Cuál es su red de confianza más próxima? Familia Vecinos
 Otra _____

PARTE 4: Servicios Ecosistémicos

¿Ud. usa o recolecta algún recurso natural? No Sí

Si su respuesta es Sí; ¿Qué recurso es y dónde lo extrae o produce?

Humedal Bosque (nativo u otro)

Mar Río

Otro lugar _____

Ud. usa madera para:

Leña No uso

De dónde saca agua para:

Consumo _____

Agrícola _____

Otros usos _____

¿Pertenece a alguna agrupación de administración de agua?

No Sí

Según su percepción; ¿Qué buscan los turistas en Cáhuil?

Actividades relacionadas con el río

Actividades relacionadas con el Humedal Cáhuil

Actividades relacionadas con el mar

PARTE 5. Conocimientos Sobre Humedales

¿Sabe usted qué es un humedal? No (*) Sí

(*) En caso negativo, se ofrece al encuestado una definición resumida del concepto de humedal, de manera de contextualizarlo para que pueda continuar respondiendo la encuesta.

¿Podría nombrar algunas características del Humedal de Cáhuil? _____

¿Qué le parecen los humedales?

Algo bonito

No me gustan porque _____

Otra _____

Ha visitado el humedal de Cáhuil?
Si es sí. ¿Cuál ha sido el propósito de su visita?

Actividades recreativas

Proveerse de alimentos (peces, mariscos, etc.)

Actividades deportivas

Proveerse de agua dulce

Leer cada una de las alternativas de respuesta.
Puede marcar más de una alternativa.

Actividades educativas

Proveerse de insumos (sal, fibra vegetal, madera, etc.)

Otras actividades _____

¿Cómo calificaría al Humedal de Cáhuil en términos de "limpieza", "situación de la biodiversidad" y "accesibilidad, infraestructura y señalética?"

		Evaluación			
Humedal	Aspecto a evaluar	Muy buenas condiciones	Buenas condiciones	Malas condiciones	Muy malas condiciones
Cáhuil	Limpieza del humedal				
	Situación de la biodiversidad				
	Accesibilidad, infraestructura, señalética.				
	Gestión de la Barra				
	Gestión del agua				

Respecto al Humedal de Cáhuil;
¿En sus visitas ha observado alguna de las siguientes situaciones?

- | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----|--------------------------|----|
| a) Presencia de microbasurales | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí |
| b) Rellenos ilegales | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí |
| c) Corte ilegal de árboles | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí |
| d) Sectores asociados a delincuencia | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí |
| e) Otras actividades ilícitas | <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Sí |

PARTE 5. Actitudes y Percepciones Generales Sobre el Humedal de Cáhuil y su Uso Público

Señale en qué medida está usted de acuerdo con las siguientes afirmaciones.

Afirmación sobre los humedales		Muy de acuerdo	De acuerdo	Neutro	En des-acuerdo	Muy en desacuerdo
a	El humedal de Cáhuil es muy valioso para la comunidad.					
b	El humedal de Cáhuil, limita el desarrollo de la comuna.					
c	Cáhuil, debiese resguardarse de la actividad humana y conservarse lo máximo posible.					
d	Cáhuil debiese ser intervenido para ser utilizado por el ser humano.					
e	Cualquier actividad humana que dañe Cáhuil debería estar prohibida.					
f	Cáhuil, tienen un valor que va más allá de lo económico.					
g	La degradación de Cáhuil no afecta directamente al ser humano.					
h	El humedal de Cáhuil es un elemento irremplazable del paisaje.					
i	Mejorar la economía local tiene mayor importancia que conservar el humedal					
j	El sector privado debe tener libre acceso al humedal para desarrollar proyectos productivos.					

Existen diversos usos públicos del Humedal de Cáhuil. A continuación, le nombraré diversos usos posibles. Indique si está a favor, en contra o es indiferente a cada uno de ellos.

Uso público de los humedales	A favor	Neutro	En contra	No sabe / No responde
a Visitar por placer				
b Pesca recreativa				
c Actividades recreativas no motorizadas				
d Caza deportiva				
e Actividades recreativas motorizadas				
f Avistamiento de aves				
g Transporte náutico				
h Extracción de Sal				
i Extracción de fibras vegetales				
j Turismo				
k Evacuación de aguas servidas del poblado				
l Hábitat de animales y plantas				
m Educación ambiental				

PARTE 7: Valoración de Servicios Ecosistémicos ofrecidos por los Humedales

Los humedales tienen un valor diferente para cada ciudadano. En el siguiente listado se indican 9 servicios ecosistémicos que otorgan los humedales. Escoja los 3 servicios que usted más valora. Entregue al encuestado la Tarjeta N°4. Leer el listado completo antes de consignar las respuestas.

Servicios ofrecidos por los humedales	Priorización (Marque con una X las 3 alternativas más valoradas)
a Recreativos: Proveen de lugares para la realización de diversas actividades al aire libre.	
b Educacionales: A través de la observación, permiten aprender sobre el medioambiente.	
c Espirituales y estéticos: Permiten disfrutar de la tranquilidad y la belleza de la naturaleza	
d Hábitat de vida silvestre: Ofrecen hogar a una gran diversidad de especies de flora y fauna.	
e Regulación ambiental: Favorecen una regulación climática, hídrica, biológica, calidad del aire, contaminación, erosión.	
f Regulación ante desastres naturales: Permiten un control de las inundaciones y protección contra tormentas, marejadas y tsunamis.	
g Provisión de Alimentos: Ofrecen recursos para satisfacer parte de la alimentación humana.	
h Provisión de agua dulce: Provee de agua dulce para satisfacer diversas necesidades humanas (consumo humano, consumo animal, riego, etc.).	
i Provisión de materias primas: Proveen de fibras naturales, maderas, etc., que se utilizan como insumos artesanales y productivos.	

PARTE 8: Opción Encuesta Breve (enfocada en la apertura de la barra)

Indique su nombre e Institución
(en caso de representar alguna) _____

¿Por qué se manipula artificialmente la barra?
Respecto a esto ¿Cuál es el "gatillante"
específico que motiva la apertura? _____

¿Quién toma la decisión de la apertura? _____

En caso de inundaciones en invierno ¿hasta
dónde llega el agua en las inundaciones por
las crecidas del Estero Nilahue? _____

¿Por qué razón se observan aperturas
de la barra durante el verano, cuando
no hay crecidas por lluvia? _____

¿Desde cuándo existe memoria que se abre
la barra artificialmente? (Ya sea de forma manual
con palas o maquinaria tipo retroexcavadora) _____

¿Están de acuerdo y/o satisfechos cómo
se está manipulando artificialmente la barra? _____

En una posible la creación y aplicación
de un Protocolo de manejo de la barra,
¿Qué tipo de protocolo, gobernanza
y/o coordinación entre actores sugeriría? _____

¿Qué persona Ud. cree que conoce
mucho del Humedal de Cáhuil? _____

¡Muchas gracias por su colaboración!



El presente trabajo se basa en la experiencia adquirida durante la implementación del Protocolo de Apertura Mecanizada de la Barra en el Humedal de Cáhuil, así como en las recomendaciones derivadas de dicho proceso. En este documento se identifican los pasos relevantes a considerar al generar un protocolo de apertura de barra, con el objetivo de servir como referencia en la toma de decisiones en otros lugares del país que enfrenten problemas conceptualmente similares.

El objetivo principal de este trabajo es sistematizar y analizar los resultados obtenidos en los procesos de elaboración y aplicación del Protocolo de Manejo Mecanizado de la Barra del Humedal de Cáhuil, considerando su implementación en los años 2023-2024.