

Informe técnico

Levantamiento de información algal del humedal Cáhuil y propuestas de manejo sustentable en escenarios de floración excesiva

Elaborado por:



Para:



ENERO, 2022

WWW.ADESCOSTA.CL

+56 9 6611 5963

contacto@andescosta.cl

Preparado para:

Proyecto GEF Conservación de Humedales Costeros de la zona Centro sur de Chile.

y

SEREMI de Medioambiente Región de O'Higgins

Elaborado por:

Andes Costa Consultoría Ambiental Ltda.

Avenida Los Leones 133, piso 2

Providencia, Santiago

+56 9 6611 5963

contacto@andescosta.cl

EQUIPO DE PROFESIONAL ANDES COSTA CONSULTORÍA AMBIENTAL

Dra. Ximena Salinas Silva

Bióloga Marina, Ingeniera en Ecología Ambiental y Planificación Territorial,

Doctora en Ciencias de la Vida y el Ambiente

Jon Mendieta Blanco

Biólogo, Magister en Ciencias del Mar

CONTROL DE DOCUMENTOS

Versión	Autor	Revisión	Aprobación	Fecha
0	JMB	XSS		
1	JMB	XSS	XSS	24/01/2022
2	XSS	JMB	XSS	01/02/2022

INDICE

1	ANTECEDENTES	4
2	Objetivo general	5
3	Objetivos específicos.....	5
4	METODOLOGIA.....	5
4.1	Reconocimiento en terreno y toma de muestras.....	5
5	RESULTADOS	8
5.1	Identificación de las especies de las floraciones de algas	8
5.2	Parámetros físico químico del agua medidos in situ	11
5.3	Descripción de las estaciones de muestreo	12
5.4	Limpieza de algas	17
6	DISCUSIÓN.....	18
6.1	Causas de las floraciones masivas y varazones de algas	18
6.2	Interacción de las algas filamentosas con la avifauna local.....	20
6.3	Bloom localmente puntuales de <i>Dunaliella sp.</i>	23
7	RECOMENDACIONES	24
7.1	Medición de los niveles tróficos de la laguna Cáhuil.....	24
7.2	Medidas de control de la contaminación orgánica de la laguna, manejo del bloom de <i>Dunaliella sp.</i> y manejo de la barra de la laguna	25
7.3	Limpieza y retiro de las floraciones masivas.....	26
7.4	Periodicidad y zona de limpiezas	26
7.5	Valorización de los retiros de algas varadas.....	28
8	BIBLIOGRAFIA.....	29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de arriendo de kayaks con una varazón masiva de algas verdes filamentosas (fotografía de diciembre de 2020). Fuente: Andes Costa Ltda.....	4
Figura 2: Área de estudio. Vista de la laguna Cáhuil con los puntos de muestreo y detalle de la boca de la laguna. Fuente: Andes Costa Ltda.....	7
Figura 3: Vista del sector de la estación E1 en el sector de la boca de la laguna Cáhuil. Fuente: Michael Kuhn.....	12
Figura 4: Vista del sector de la estación E2 con algas verdes varadas en descomposición y una floración de <i>Dunaliella sp.</i> . Fuente: Andes Costa Ltda.....	13
Figura 5: Vista del sector de la estación E3 en el sector de arriendo de kayaks, donde puede observarse la floración de <i>Dunaliella sp.</i> y varazón de algas verdes filamentosas. Fuente: Andes Costa Ltda.	14
Figura 6: Vista del sector de la estación E4 en el sector dl muelle de botes en la laguna Cáhuil. Puede observarse una varazón de algas filamentosas. Fuente: Andes Costa Ltda.	15
Figura 7: Vista del sector de la estación E5 en el sector de las salinas donde se observa varazones de algas verdes filamentosas y de <i>Ruppia sp.</i> . Fuente: Andes Costa Ltda.	16
Figura 8: Vista del sector de la estación E6 en el sector de la boca de la laguna Cáhuil. Fuente: Andes Costa Ltda.	17
Figura 9: Cisnes de cuello negro (<i>Cygnus melanocoryphus</i>) en el sector de las salinas de la laguna Cáhuil (fotografía de diciembre de 2020) . Fuente: Andes Costa Ltda.	22
Figura 10: Bloom de <i>Dunaliella sp</i> y muestra de agua con la microalga donde se observa el color rosado del agua. Fuente: Andes Costa Ltda.	23
Figura 11: Área mínima de limpieza. Fuente: Andes Costa Ltda.	27

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo. Fuente: Andes Costa Ltda.	6
Tabla 2: Composición de las floraciones y varazones por estación de muestreo. Fuente: Andes Costa Ltda.	9
Tabla 3: Descriptores generales de las especies identificadas. Fuente y fotografías: Andes Costa Ltda.	10
Tabla 4: Parámetros físico químicos medidos en terreno.	11
Tabla 5: Rangos y valores establecidos en Smith et al. (1999) para determinación del estado trófico en lagos.	20

1 ANTECEDENTES

En la laguna Cáhuil, especialmente entre el sector La Palmilla y la desembocadura, se vienen observando floraciones masivas de algas filamentosas que tienen un efecto negativo en las actividades turísticas del sector de la laguna. En especial en las actividades que tienen que ver con el baño, el arriendo de kayak y los paseos en bote. Las floraciones de algas producen además un efecto indeseado de malos olores debido a su podredumbre y generan además efectos locales de anoxia.

En este contexto la municipalidad de Pichilemu tiene un plan de limpieza de estas algas, para evitar efectos desfavorables en el turismo, sus actividades asociadas y el medioambiente. En la Figura 1 se observa la varazón de una floración masiva de algas verdes filamentosas-



Figura 1: Área de arriendo de kayaks con una varazón masiva de algas verdes filamentosas (fotografía de diciembre de 2020). Fuente: Andes Costa Ltda.

2 OBJETIVO GENERAL

Este estudio tiene como finalidad conocer el ciclo de las masificaciones de algas que se producen en la laguna de Cáhuil, sobre todo en verano, y generar recomendaciones sobre estrategias para la prevención de los bloom de estas algas, su limpieza y disposición final.

3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos de esta consultoría fueron los siguientes:

- Realizar una visita de terreno para evaluar la magnitud de las floraciones de algas, conocer los mecanismos de limpieza que se utilizan actualmente y conocer a través de entrevistas con actores locales la periodicidad de las floraciones.
- Realizar un diagnóstico de las causas de las floraciones de las algas a través de la interpretación de los testimonios locales, indicadores, parámetros medidos in situ y una revisión bibliográfica.
- Realizar recomendaciones para evitar en lo posible la floración de algas.
- Realizar recomendaciones de limpieza de las algas y su disposición final.

4 METODOLOGIA

4.1 Reconocimiento en terreno y toma de muestras

El día 27 de diciembre de 2021 se realizó un reconocimiento de terreno para conocer el estado de las floraciones de algas in situ. Para ello se recorrió la laguna Cáhuil en varios tramos. En los lugares en los que se vieron algas flotantes se tomaron muestras de las algas para su posterior identificación en laboratorio.

Las algas recolectadas se introdujeron en bolsas plásticas con cierre zip a las que se añadió agua de mar y se fijaron con una solución de lugol. Las bolsas se etiquetaron con las coordenadas de donde se tomaron las muestras.

En uno de los puntos de muestreo se tomaron también muestras de agua mar debido al color rosado que presentaba el agua. Estas muestras se tomaron en dos frascos plásticos de 150 ml. Una de las muestras se fijó con lugol y la segunda se fijó con formalina para poder identificar el microorganismo que daba el color rosado al agua.

Todas las muestras fueron analizadas al microscopio en el laboratorio y se clasificaron hasta el taxon más bajo posible.

En los puntos de muestreo se midieron también parámetros de calidad de agua como oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales (TDS), conductividad eléctrica (CE), pH, salinidad, potencial de oxidoreducción (ORP) y Temperatura (T^a).

En terreno también se conversó con profesionales del área de medioambiente de la municipalidad de Pichilemu para conocer la temporalidad de los varamientos de algas y la metodología de recolección de las algas y disposición final.

Las coordenadas de los puntos de muestreo se indican en la Tabla 1. En la Figura 2 se muestra el área de la laguna Cáhul con el recorrido realizado y los puntos donde se tomaron muestras.

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo. Fuente: Andes Costa Ltda.

Estaciones de muestreo	Coordenadas (UTM WGS 84)	
	Este	Sur
E1	773.605	6.180.848
E2	773.741	6.180.859
E3	773.874	6.180.768
E4	773.898	6.1806.01
E5	225.706	6.178.038
E6	227.675	6.174.026

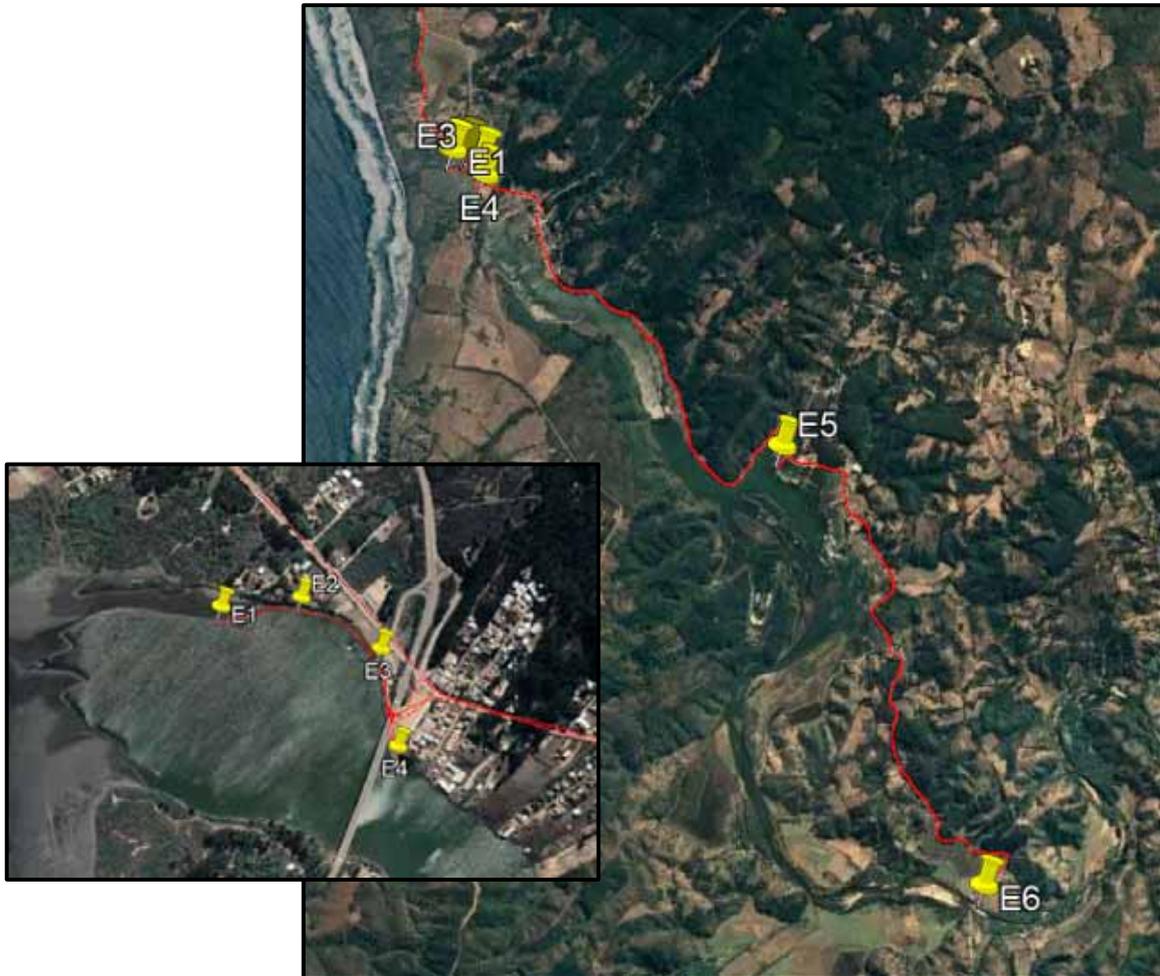


Figura 2: Área de estudio. Vista de la laguna Cahuil con los puntos de muestreo y detalle de la boca de la laguna. Fuente: Andes Costa Ltda.

5 RESULTADOS

5.1 Identificación de las especies de las floraciones de algas

Las muestras recolectadas en terreno se llevaron al laboratorio para su identificación. Del total de las especies recolectadas, tres correspondieron a algas verdes, una especie a una microalga y una especie a una planta vascular.

En algunas áreas de la laguna se detectó un color rosado en el agua, por lo que se tomó una muestra de agua y se procedió a su identificación. Luego de estudiar al microscopio la especie que da el color rosado al agua se identificó como una especie de microalga del género *Dunaliella* (*Dunaliella sp.*). Esta especie es una microalga Chlorophyta, es decir es un alga verde, pero que tiene la particularidad de acumular carotenoides (β -caroteno), por lo que esta especie le da una tonalidad rosada al agua cuando prolifera en un bloom. Los carotenoides presentan una constante e intensa actividad antioxidante, protegiendo a la célula del daño molecular causado por la radiación solar.

Estas microalgas son marinas y algunas especies son muy halófilas, por lo que su proliferación puede ser debida a que se le dieron las condiciones idóneas para reproducirse, i.e., alta temperatura, nutrientes (hay otras algas descompuestas en el sector) y salinidad.

En la literatura científica no se han descrito problemas de toxicidad con esta alga como los que se producen con las mareas rojas. Si bien visualmente es algo llamativo, el problema radica más bien en las algas en descomposición en la orilla.

Las algas verdes que se reproducen en grandes floraciones y que forman la mayor parte de las varazones de orilla se identificaron como *Ulva intestinalis*, *Ulva clathrata*, *Cladophora sp.*, y *Rhizoclonium sp.* Éstas son especies de algas verdes filamentosas que forman parte de las varazones que localmente se denomina como “pelillo”.

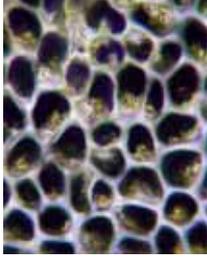
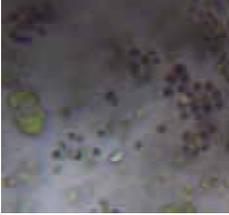
Por último, se detectó la presencia de pasto marino entre las varazones, sobre todo en la zona del muelle de los botes y en la zona de las salinas. Esta especie se identificó como *Ruppia sp.*

En la Tabla 2 se indican las especies más relevantes encontradas en las muestras recolectadas en terreno. En la Tabla 3 se indica la descripción general de cada especie junto a su fotografía.

Tabla 2: Composición de las floraciones y varazones por estación de muestreo. Fuente: Andes Costa Ltda.

Estaciones de muestreo	Composición de las floraciones y varazones
E1	<i>Ulva intestinalis, Ulva clathrata</i>
E2	<i>Ulva intestinalis, Ulva clathrata, Rhizoclonium sp. Dunaliella sp.</i>
E3	<i>Ulva intestinalis, Ulva clathrata, Rhizoclonium sp., Dunaliella sp.</i>
E4	<i>Ulva clathrata, Rhizoclonium sp., Ruppia sp.</i>
E5	<i>Cladophora sp., Ruppia sp.</i>
E6	No se detectaron floraciones ni varazones

Tabla 3: Descriptores generales de las especies identificadas. Fuente y fotografías: Andes Costa Ltda.

Especie	Descriptores	
<i>Ulva intestinalis</i>	Origen: Nativa Distribución: Cosmopolita Hábito de vida: Bentónica marina	
<i>Ulva clathrata</i>	Origen: Nativa Distribución: Cosmopolita Hábito de vida: Bentónica	
<i>Rhizoclonium sp.</i>	Origen: Nativa Distribución: Cosmopolita Hábito de vida: Bentónica	
<i>Dunaliella sp.</i>	Origen: Nativa Distribución: Cosmopolita Hábito de vida: Columna de agua	
<i>Cladophora sp.,</i>	Origen: Nativa Distribución: Cosmopolita Hábito de vida: Bentónica	-
<i>Ruppia sp.</i>	Origen: Nativa Distribución: Cosmopolita Hábito de vida: Bentónica	

5.2 Parámetros físico químico del agua medidos in situ

Durante la prospección de terreno, los parámetros analizados denotan el carácter salobre de agua. Con una conductividad mayor en la boca de la laguna y menor en el sector de las salinas. En la estación E6, ubicada en el estero Nilahue, los resultados indican que el agua es dulce.

El pH es ligeramente alcalino y se mantiene en el mismo rango en todos los puntos de muestreo. El potencial de oxidación-reducción se encuentra por debajo de los valores normales para agua de mar (rango típico de entre 350 y 400mV) e incluso por debajo de los rangos del agua dulce (desde 250mV), lo que podría estar indicando una carga orgánica elevada.

Respecto a los valores de oxígeno disuelto llama la atención de los bajos valores de las estaciones E1, E2 y E3. Estos bajos valores estarían indicando niveles de bajas de oxígeno puntualmente locales debido a la descomposición de la materia orgánica depositada en la orilla.

En la Tabla 4 se indican los parámetros físico químicos medidos en terreno en las estaciones de muestreo

Tabla 4: Parámetros físico químicos medidos en terreno.

Estaciones de muestreo	T (°C)	pH	Potencial Redox (mV)	Conductividad (µS/cm)	TDS (ppm)	O ₂ disuelto (mg/L)
E1	21	8.2	101	40.200	32.250	4
E2	20	8.6	121	40.600	32.400	8
E3	20	8.5	123	40.400	31.950	8
E4	20	9	121	40.600	32.800	14
E5	23,1	8,54	-54	32.500	18.025	12
E6	23,3	8,5	116	528	261	14

5.3 Descripción de las estaciones de muestreo

Estación E1

La estación E1 se encuentra en el sector de la boca de la laguna Cáhuil y corresponde a la parte de la laguna que se utiliza como zona de baño. En este sector se concentran la mayor parte de los bañistas que acceden a la laguna. En esta área se observaron moderadas varazones de algas verdes. En este sector se concentran también grandes bandadas de aves marinas a descansar. Principalmente distintas especies de gaviotas y playeros.



Figura 3: Vista del sector de la estación E1 en el sector de la boca de la laguna Cáhuil.

Fuente: Michael Kuhn.

Estación E2

La estación E2 se encuentra entre la zona de baño y la zona de arriendo de kayak. Es un sector de ribera que forma un arco orientado al sur, el cual está expuesto a los vientos reinantes de componente sur. Por este motivo recibe gran cantidad de varazones de algas verdes que se acumulan en la orilla y comienzan a descomponerse, lo que genera un efecto antiestético y olor a podredumbre. Otro efecto que genera la descomposición de las varazones de algas es un consumo de oxígeno, generando condiciones locales de bajas de oxígeno. En este sector se observó también un color rosado en el agua, lo que llamó la atención de las autoridades locales. Como se ha mencionado en el punto anterior, este color del agua es producido por las floraciones de *Dunaliella sp.* En la Figura 4 se puede observar la varazon de algas verdes y una floración de *Dunaliella sp.*



Figura 4: Vista del sector de la estación E2 con algas verdes varadas en descomposición y una floración de *Dunaliella sp.*. Fuente: Andes Costa Ltda.

Estación E3

La estación E3 se encuentra en la zona de arriendo de kayak. Al igual que el sector de la estación E2, este es un sector de ribera orientado al sur, por lo que también recibe gran cantidad de varazones de algas verdes que se acumulan en la orilla. En este sector se observó también una gran cantidad de algas filamentosas en descomposición y una floración de microalgas del género *Dunaliella*. En la Figura 4 se puede observar la varazón de algas verdes y una floración de *Dunaliella sp.*



Figura 5: Vista del sector de la estación E3 en el sector de arriendo de kayaks, donde puede observarse la floración de *Dunaliella sp.* y varazón de algas verdes filamentosas.

Fuente: Andes Costa Ltda.

Estación E4

La estación E4 corresponde al muelle de atraque de los botes que pasean turistas en la laguna Cáhuil. En este punto se constató la varazón de algas verdes en la orilla y, dada la claridad del agua, también se observó que estas algas forman un dosel en el fondo de la laguna (Figura 6).



Figura 6: Vista del sector de la estación E4 en el sector del muelle de botes en la laguna Cáhuil. Puede observarse una varazón de algas filamentosas. Fuente: Andes Costa Ltda.

Estación E5

La estación E5 corresponde al sector de las salinas. En este sector se observó también gran cantidad de algas varadas y se observó también la presencia del pasto marino *Ruppia sp.*.



Figura 7: Vista del sector de la estación E5 en el sector de las salinas donde se observa varazones de algas verdes filamentosas y de *Ruppia sp.*. Fuente: Andes Costa Ltda.

Los pastos marinos, plantas con flores vasculares, están distribuidos a lo largo de las costas templadas y tropicales del mundo. Los pastos marinos tienen funciones ecológicas clave en los ecosistemas costeros y pueden formar extensas praderas que sostienen una gran biodiversidad (Short et al 2007). El pasto marino hallado en Cáhuil es ecológicamente muy importante y es un gran valor de la laguna de Cáhuil, dada la escasez mundial de ecosistemas de pastos marinos. En este sentido sería de gran valor estudiar y determinar la extensión de la pradera de *Ruppia sp.* existente en la laguna Cáhuil, ya que los ecosistemas de pastos marinos son unos de los más productivos y diversos que existen.

Estación E6

La estación E6 se sitúa en el estero Nilahue propiamente tal. En este punto el agua es más bien dulce y no presenta floraciones masivas de algas.



Figura 8: Vista del sector de la estación E6 en el sector de la boca de la laguna Cáhuil.

Fuente: Andes Costa Ltda.

5.4 Limpieza de algas

Las floraciones masivas de algas comienzan en la laguna de Cáhuil aproximadamente durante los meses de noviembre a diciembre, coincidiendo con el incremento de las temperaturas y el fotoperiodo y duran hasta abril. La Municipalidad de Pichilemu realiza la limpieza y retiro de las varazones de orilla durante los meses de enero y febrero. Durante estos meses la Municipalidad realiza generalmente la limpieza de las varazones de algas de la orilla todos los días.

Adicionalmente a las limpiezas que realiza la Municipalidad, las algas también son retiradas por algunos particulares. Por ejemplo, las personas que tienen arriendo de kayaks, botes a pedales o las personas que realizan paseos en bote. Ocasionalmente, algunas personas relataron que habían realizado retiros de algas desde embarcaciones, utilizando redes, para retirar la mayor cantidad de algas posible,

En diciembre de 2020 se conversó con un caballero que tiene un emprendimiento de arriendo de Kayak. Esta persona, de cierta edad y “criado y crecido” en Cáhuil, nos manifestó que el fenómeno de los florecimientos de esta alga había comenzado desde los años en que la laguna permanece cerrada durante largos períodos y que cuando la barra se abre, las floraciones tienden a remitir, hasta que vuelve a cerrarse.

Las algas retiradas se transportan hasta el punto de acopio municipal donde se depositan junto con los restos de podas municipales. A día de hoy no se realiza un aprovechamiento de estas algas ni se valorizan, como, por ejemplo, mediante su compostaje.

6 DISCUSIÓN

6.1 Causas de las floraciones masivas y varazones de algas

La mayor parte de la biomasa de las floraciones masivas y varazones de algas que se producen en la laguna Cáhuil corresponden a algas verdes filamentosas. Estas algas son organismos filamentosos con clorofila a y b que les otorgan el característico color verde. Las algas verdes filamentosas se caracterizan por tener unas cadenas de células con un aspecto filamentoso y en otros casos por agrupación de pelos o manojos compactos

Las algas verdes filamentosas no son un componente esencial del ecosistema y están inicialmente sumergidas, pero al calentarse el agua forman burbujas de aire y suben a la superficie formando masas flotantes muy aparentes (Gattenlöhner et al. 2004). Para su desarrollo y crecimiento necesitan de nutrientes y luz. Cuando hay un exceso de nutrientes, o eutrofización, este grupo de algas surgen y se desarrollan de forma exuberante, especialmente cuando los nutrientes proceden de aguas residuales urbanas. Las algas verdes filamentosas son un buen indicador de contaminación.

El proceso de eutrofización es definido como un enriquecimiento de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo (Nixon, 1995; CAI et al., 2011), lo cual causa una

alteración en la condición natural del cuerpo de agua, ocasionando un incremento de las concentraciones de clorofila a, florecimiento de algas tóxicas y nocivas, alta biomasa de macroalgas (verdes filamentosas y algas rojas), hipoxia, reducción de la transparencia del agua, muerte de peces, pérdida de hábitat (Justic, 2005; Rabiláis et al, 2009; Moreno et al., 2010; Herrera et al., 2011). Si bien existen muchas estrategias de gestión para mitigar las consecuencias de la eutrofización, la reversión y la recuperación son costosas y tardan mucho tiempo, es por esto que la prevención de la carga de nutrientes es la clave para evitar la pérdida de los servicios ecosistémicos que generan el proceso de la eutrofización (Wikinson, 2017)

Estudios realizados en 2014 en la laguna Cáhuil detectaron que los niveles de nutrientes en los sectores de la boca y de las salinas es alto, provocando niveles de eutrofización para el fósforo y de hiper eutrofización para el nitrógeno total (CEA 2015).

En este sentido, durante los meses de verano se dan las condiciones óptimas para el desarrollo masivo de las algas verdes filamentosas, ya que aumentan el fotoperíodo y la temperatura, lo que, unido a los altos niveles de nutrientes en la laguna, provocan estas floraciones masivas. En general cuando un humedal está cubierto por algas filamentosas, es una clara señal de desequilibrio por exceso de fósforo, lo que es un síntoma inequívoco de eutrofización (Gattenlöhner et al. 2004).

Según Smith et al. (1999), el estado trófico de un lago puede clasificarse según la concentración de nutrientes, clorofila a y la transparencia del agua medida con un disco Secchi. En la Tabla 5 pueden observarse las categorías de eutrofización de acuerdo a Smith et al, (1999).

Tabla 5: Rangos y valores establecidos en Smith et al. (1999) para determinación del estado trófico en lagos.

Sistema	Estado trófico	Nitrógeno total ($\mu\text{g/L}$)	Fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)	Profundidad del disco Secchi (m)
Lagos	Oligotrófico	< 350	< 10	< 3,5	> 4
	Mesotrófico	350 - 650	10- 30	3,5 -9	2 - 4
	Eutrófico	650 - 1200	30 - 100	9 - 25	1 - 2
	Hiper eutrófico	> 1200	> 100	> 25	<1

En consecuencia y tomando como referencia el hecho de la aparición masiva de algas y los valores de la Tabla 5 se podrían esperar valores de Nitrógeno total entre los 650 a 1200 $\mu\text{g/L}$ o mayores y de entre 30 a 100 $\mu\text{g/L}$ para fósforo.

6.2 Interacción de las algas filamentosas con la avifauna local

En las lagunas con grandes masas de algas filamentosas se ha podido comprobar la existencia de abundantes poblaciones de invertebrados fitófagos integradas principalmente por anfípodos (Lalana, 1984), que generan una cadena alimentaria herbívora de importancia (González-Sansón y Rodríguez, 1983). Es así como se pudo observar que, en el sector de la boca, las algas varadas generan un hábitat ideal que genera la cría de grandes cantidades de anfípodos, los que son a su vez alimento de aves marinas como los chorlitos y playeros.

Otra especie de ave emblemática de la laguna Cahuil es el cisne de cuello negro (*Cygnus melanocoryphus*). El cisne de cuello negro se alimenta mayormente de vegetales acuáticos, algas marinas y pastos. Es posible que también que se alimente de pequeños invertebrados en el agua y que complemente su dieta con algunos insectos. También se alimenta de moluscos, crustáceos y larvas de insectos acuáticos, entre ellos algas del género *Ulva sp.* (Cursach et al. 2015).

Los cisnes de cuello negro son aves acuáticas de hábitos herbívoros, que dedican más del 50% del tiempo a su alimentación, la que está primariamente basada en la abundancia de plantas acuáticas blandas o palatables y que habitan en zonas poco profundas de los humedales. Según Corti (1995), la especie *Cygnus melanocoryphus* es un consumidor primario oportunista, que utiliza las plantas acuáticas que son dominantes y, por lo tanto, más abundantes del área donde se encuentran. En la laguna Cáhuil, por lo que se ha observado en terreno, los cisnes de cuello negro se encuentran fundamentalmente en el sector de las salinas. Cabe mencionar que, en este sector, habitantes locales han observado cisnes de cuello negro alimentándose de salicornis (*Sarcocornia fruticosa*), de algas verdes y pastos.

Tanto desde la SEREMI de medioambiente de la Región de O'Higgins como desde el área de medioambiente de la Municipalidad de Pichilemu existe la preocupación de si la extracción de las algas flotantes y varadas perjudicará en algún modo la alimentación de los cisnes de cuello negro.

Se puede suponer que los cisnes de la laguna Cáhuil pueden consumir algas filamentosas, pastos, salicornia y aquellos recursos que estén presentes y sean más abundantes según la época del año. Sin embargo, a día de hoy no se ha documentado mediante estudios de cuál es la dieta de los cisnes de cuello negro en Cáhuil.

En este sentido y tal como se ha mencionado anteriormente, las algas que salen a superficie y varan en la orilla son aquellas que se han desprendido del fondo de la laguna y han subido a la superficie. Esto ocurre principalmente en el sector de la boca y en menor medida se observa en el sector de las salinas. Por lo tanto y desde un punto de vista conservador, no sería recomendable la eliminación o retiro de algas verdes o pastos en el sector donde estas aves proliferan. Más bien se recomienda seguir extrayendo las varazones en la zona de la boca.

En la Figura 9 pueden observarse ejemplares de cisnes de cuello negro con sus polluelos en el sector de las salinas.



Figura 9: Cisnes de cuello negro (*Cygnus melanocoryphus*) en el sector de las salinas de la laguna Cáhuil (fotografía de diciembre de 2020) . Fuente: Andes Costa Ltda.

6.3 Bloom localmente puntuales de *Dunaliella sp.*

Como se ha mencionado, durante la visita a terreno se observaron pequeños bloom de esta microalga en el sector de la boca, en las estaciones E1, E2, y E3. Esta microalga prolifera en aguas salinas y con carga de nutrientes, por lo que la razón de su proliferación puntualmente local en la laguna Cáhuil, puede haberse debido al incremento de nutrientes, tanto por posibles filtraciones de aguas residuales a la laguna como por la descomposición de las algas varadas, y al incremento de la salinidad. No existe riesgo de toxicidad debido a *Dunaliella sp.*

La especie *Dunaliella salina* se cultiva para la producción de β -caroteno, el que se utiliza como complemento alimenticio pro-vitamina A y aditivo cosmético (Ben-Amotz, 1991). Cabe mencionar que la especie *Dunaliella salina* es las que en algunas localidades del mundo dan un color rosado a la sal.



Figura 10: Bloom de *Dunaliella sp* y muestra de agua con la microalga donde se observa el color rosado del agua. Fuente: Andes Costa Ltda.

7 RECOMENDACIONES

7.1 Medición de los niveles tróficos de la laguna Cáhuil

Como se ha mencionado, y de acuerdo a la literatura científica, la floración masiva de alga verdes filamentosas tiene su origen en la eutrofización de los sistemas acuáticos. En este sentido, y para verificar esta hipótesis se recomienda realizar la caracterización de los niveles tróficos de la laguna en al menos tres sectores: la boca, sector de los cultivos de ostras y sector de las salinas.

Los parámetros sugeridos para la determinación del nivel eutrófico del humedal de Cáhuil serían al menos los siguientes:

- Nitrógeno total
- Fósforo Total
- Clorofila a
- Profundidad del disco Secchi cuando sea posible la medición, ya que se debe efectuar desde un bote
- Turbidez.

La periodicidad de estas mediciones debiese ser como mínimo mensual durante un año completo, a fin de conocer el comportamiento de los parámetros tróficos a lo largo del año. Junto con estas mediciones se recomienda realizar un registro de las varazones con indicaciones georeferenciadas y fotografías.

Además de estos parámetros se recomienda, por la seguridad y salud de bañistas y usuarios de la laguna, controlar también la calidad de las aguas en el área de baño de la laguna durante el verano con los parámetros de la Norma Chilena N° 1.333 de Requisitos de calidad del agua para diferentes usos “*Tabla 3: Requisitos del agua para recreación con contacto directo*”, que considera los siguientes parámetros.

- Coliformes fecales
- pH
- T^a
- Claridad disco Secchi
- Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales
- Aceites flotantes y grasas
- Aceites y grasas emulsificadas
- Color
- Turbidez
- Sustancias que produzcan olor o sabor inconvenientes

7.2 Medidas de control de la contaminación orgánica de la laguna, manejo del bloom de *Dunaliella sp.* y manejo de la barra de la laguna

Como recomendación, lo óptimo para el control de las floraciones masivas de algas sería el control de las filtraciones de aguas servidas a la laguna de Cáhuil. Entendiendo que este proceso es complejo y que tiene relación multisectorial, tal vez pudiera hacerse una planificación a largo plazo para evitar la contaminación de la laguna con materia orgánica.

Mientras tanto, una recomendación podría ser la apertura puntual de la barra de la laguna con la finalidad de renovar el agua y diluir los nutrientes para no favorecer las floraciones masivas de algas. Sin embargo, solamente se recomienda esta apertura en casos muy extremos, donde las floraciones y su descomposición generen niveles bajos de oxígeno en todo el humedal, siendo el oxígeno el factor limitante. Lo anterior debido a que la apertura de la barra fuera del periodo de lluvias genera como efecto secundario el ingreso de arena y con ello el embancamiento de la laguna.

En el mercado existen tecnologías para el control de microalgas verdes y cianobacterias en lagos y lagunas, como por ejemplo el uso de generadores de ultrasonidos, control mediante productos químicos, aireación del agua mediante equipos electromecánicos y la mezcla de aguas de diferentes capas mediante el uso de bombas. Estas tecnologías requieren altos costos de inversión, operación y mantenimiento y no resuelven el problema de fondo que gatillan los Bloom, tanto de *Dunaliella* como de otras microalgas, que es, entre otros, el aumento de nutrientes

En este contexto, y dadas las condiciones puntuales del Bloom de *Dunaliella* en la laguna Cáhuil, la recomendación es la de limpiar las varazones de algas verdes que se generan en las orillas de la laguna para retirar los nutrientes que se generan después de la descomposición de las algas y permitir que el viento mueva, oxigene y mezcle la capa de agua de la orilla.

7.3 Limpieza y retiro de las floraciones masivas

En general se recomienda el retiro de las varazones y floraciones masivas que se producen en la boca de la laguna y la zona de botes, tal como se viene realizando hasta el día de hoy.

No se recomienda el retiro de algas verdes flotantes desde el sector de las salinas por su posible uso como alimento por parte de los cisnes de cuello negro.

Dada la particularidad que tienen los ecosistemas de pastos marinos, no se recomienda el retiro de los mismos.

7.4 Periodicidad y zona de limpiezas

Se recomienda realizar una limpieza diaria, desde los meses de octubre a abril de cada año, como mínimo, del área indicada en la Figura 11. La limpieza se recomienda que sea lo más eficiente posible utilizando para ello los medios que se dispongan, tales como botes y mallas para acercar las algas a la orilla y que puedan ser recogidas y cargadas hasta el camión recolector.

Una vez conocidas las condiciones y comportamiento trófico de la laguna y obtenido el registro mensual georeferenciado y respaldado con fotografías, tal como se indica en el punto 7.1, se tendrían las herramientas para diseñar un cronograma más ajustado de las limpiezas. Con los datos también se podría determinar si la eutrofización es local o se extiende a toda la laguna.

Como se ha mencionado anteriormente las floraciones y varazones de algas filamentosas suelen ser un síntoma de la eutrofización. Por ello es necesario diagnosticar bien su alcance en el humedal Cáhuil y poder así proponer las medidas para su solución.



Figura 11: Área mínima de limpieza. Fuente: Andes Costa Ltda.

7.5 Valorización de los retiros de algas varadas

En general las algas han sido históricamente utilizadas como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. En este sentido un buen aprovechamiento de este recurso podría ser el realizar compostaje mezclando esta biomasa con el resto de podas y restos vegetales de las mantenciones que realiza la Municipalidad de Pichilemu.

8 BIBLIOGRAFIA

Ben-Amotz, A., Shaish, A., & Avron, M. (1991). The biotechnology of cultivating *Dunaliella* for production of β -carotene rich algae. *Bioresource Technology*, 38(2-3), 233-235.

CAI, W., X. Hu. W. Huang, M. Murrel, J. Lether, S. Lohrez, W. Cho, W. Zhai, J. Hollibaugh, Y. Wang, P. Zhao, X. Gou, K. Gundersen, M. Dai y G. Goung. (2011). Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nature Geoscience* 4:766–770.

CEA. (2005). Informe final: Diagnóstico ambiental del humedal Cáhuil Ministerio de Medioambiente de Chile. 100 pág.

CORTI P (1995). Conducta de alimentación y capacidad de forrajeo del cisne de cuello negro (*Cygnus melanocorypha*. MOLINA, 1782) en humedales de Valdivia. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 94 páginas.

Cursach, J. A., Rau, J. R., Tobar, C., Vilugrón, J., & de la Fuente, L. E. (2015). Alimentación del cisne de cuello negro *Cygnus melanocoryphus* (Aves: Anatidae) en un humedal marino de Chiloé, sur de Chile. *Gayana (Concepción)*, 79(2), 137-146.

Gattenlöhner, U., Hammerl-Resch, M., & Jantschke, S. (2004). Restauración de Humedales—Manejo Sostenible de Humedales y Lagos Someros. Global Nature Fund (GNF), Radolfzell, Alemania.

González-Sansón, G.y.J Berdayes, (1981). La producción primaria en las lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. *Rev.Invest. Mar.*2(2): 109–139.

Herrera, J., Morales, S y O. Cortes. (2011). Eutrofización en los ecosistemas costeros del Golfo de México: v.1. V.1. SEMARNAT-NOAA-GEF-UNIDO. México, 88 pp

Justic, D., N. Rabalais y N. Turner. (2005). "Coupling between climate variability and coastal eutrophication, evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico" *Journal of Sea Research*. 54: 25-35

Lalana, R., (1984). Fauna asociada a las comunidades de algas en la laguna costera "El Basto". *Rev. Invest. Mar.* 5(2): 3–8.

Moreno, D., J. Quintero y A. López. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78, 25–33.

Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication, a definition, social causes, and future concerns". *Ophelia*. 41:199-219.

Rabiláis; N., N. Turner, R. Díaz y J. Justic. (2009). Global change and eutrophication of coastal waters. International Council for the Exploration of the Sea. Published by Oxford Journals, 66: 1528-1537.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., & Waycott, M. (2007). Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350(1-2), 3-20.

Wilkinson, G. (2017). Eutrophication of Freshwater and Coastal Ecosystems. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 145-152.