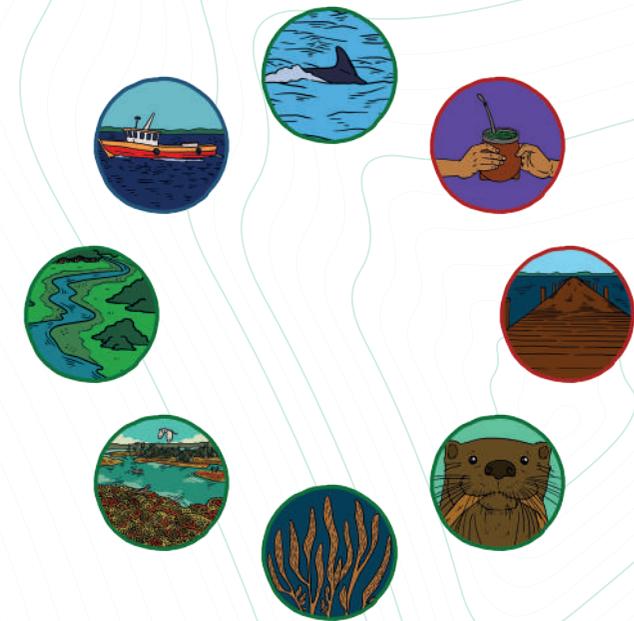


# Cartilla de caracterización del ambiente costero

En las localidades de Marico,  
Terao-Pilpilehue y Piedra Blanca-Tweo



COMPRENDER NUESTROS MARES AHORA PARA  
ADAPTARNOS A LOS CAMBIOS DE HOY Y MAÑANA





# Cartilla de caracterización del ambiente costero en las localidades de Marico, Terao-Pilpilehue y Piedra Blanca-Tweo

Documento elaborado en el marco del Proyecto Adaptación al Cambio Climático en 3 comunidades costeras de Chiloé.

Agradecemos el donativo de David and Lucile Packard Foundation.

## Ejecutor:

Centro de Estudios Sociales de Chiloé - CESCH

## Producción del documento:

Paula Cárcamo Mansilla | Coordinadora científica técnica

## Colaboradoras:

Vladia Torres Herrera

Tamara Santos Pichún

## Organizaciones colaboradoras y participantes:

Comunidad Indígena Trabun de Terao

Comunidad Indígena Chaukun de Terao

Comunidad Indígena Pilpilehue de Pilpilehue

Club del Adulto Mayor de Terao

Escuela Aldea Bosque Chiloé

Junta de Vecinos N° 9 de Terao Bajo.

Junta de Vecinos Terao Alto “Ana Aguilar”

Comunidad indígena y Sindicato de recolectoras de orilla de Marico

Asociación de comunidades del ECMPO Coldita:

Comunidad Indígena de Tweo

Comunidad Indígena de Piedra Blanca

Centro i~mar, Universidad de Los Lagos

Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola - INCAR

## Diagramación y diseño:

Kim López | Kalle Estudio SpA

## Ilustraciones:

Niña Pudú | Kassandra Mardones

Impreso en Castro, Chiloé, durante enero de 2023, en Edel Gráfica e Imprenta, con un tiraje de 200 ejemplares.

# Cartilla de caracterización del ambiente costero

En las localidades de Marico,  
Terao-Pilpilehue y Piedra Blanca-Tweo

COMPRENDER NUESTROS MARES AHORA PARA  
ADAPTARNOS A LOS CAMBIOS DE HOY Y MAÑANA





# 1. Introducción

Esta cartilla surge en el marco del *Proyecto Adaptación al cambio climático en 3 comunidades costeras de Chiloé*, con la finalidad de entregar los resultados de estudios ambientales que se realizaron desde el equipo del proyecto como por el Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos y Ambientes Costeros - Centro i~mar de la Universidad de Los Lagos, en cuanto organismo colaborador.

A través de este documento se aporta información de contexto y relativa al estado actual de diferentes variables de la zona marino costera de las localidades en las que se desarrolló el proyecto. Con ello esperamos contribuir y profundizar el conocimiento local de las comunidades y propiciar mayor atención y acción frente a las transformaciones del territorio y de la zona costera.

## 2. El mar interior de Chiloé: historia de cambios asociados a múltiples factores

**La Patagonia chilena**, considerada como uno de los ecosistemas más prístinos del mundo, representa una de las principales reservas de agua dulce del planeta. Allí se encuentran humedales, turberas, glaciares, fiordos, ríos, lagos y bosques capaces de almacenar tres veces más carbono por hectárea que la Amazonía (*Ugarte et al., 2022*).

Chiloé desde un punto de vista biogeográfico constituye la ecorregión Chiloé-Taitao y forma parte de la Patagonia chilena, caracterizada por ser un área rica en diversidad y productividad biológica. Sin embargo, los procesos y servicios costeros que dan cuenta de esa diversidad y abundancia, de los que históricamente hemos aprovechado los habitantes de Chiloé, se han alterado. Entre las causas podemos identificar las acciones de sobreexplotación asociadas a la pesca y extracción de recursos bentónicos entre las décadas del 70 y 90, y posteriormente el desarrollo incesante de la industria acuícola. Pero existe un factor externo que pone en riesgo y puede alterar aún más nuestros ecosistemas y sus servicios: el cambio climático actual.

Si bien, el cambio climático es un proceso natural y dinámico que ha favorecido los procesos que posibilitan la vida en nuestro planeta, en los últimos 200 años, desde el inicio de la revolución industrial, se ha alterado este equilibrio (*FAO y Centro-EULA, 2021*). El incremento en la atmósfera de los gases responsables del efecto invernadero contribuye al calentamiento, acelerando el de la tierra a un ritmo sin registros previos.

### 3. ¿Cómo influye el Cambio Climático en nuestros sistemas marinos?

En la Región de Los Lagos, y principalmente el mar interior de Chiloé, las proyecciones asociadas al cambio climático sugieren que **la reducción de las precipitaciones** y el **aumento de la temperatura del aire y de la superficie del mar** son los impulsores más relevantes. Estos cambios **afectarán los aportes de agua dulce** y los **patrones de estratificación, circulación y retención de los fiordos y canales**, lo cual influye en el funcionamiento y servicios que proporciona el mar en nuestras costas como la pesca y la marisca, el cultivo de mitíldos y salmones, y la disponibilidad de agua para el consumo humano.

En el actual contexto de cambio climático, los ecosistemas patagónicos donde se desarrolla la acuicultura presentan mayores riesgos de florecimiento de algas nocivas (FAN's), mayor incidencia de enfermedades asociadas a los cambios esperados en temperatura y salinidad y, a los efectos multidimensionales de la disminución del oxígeno disuelto en el agua (*Soto et al., 2019*).

Las investigaciones científicas señalan también que, como consecuencia de aumentos de temperatura, acidificación de océanos y de fenómenos recientes (por ejemplo, olas de calor) asociados al cambio climático, las respuestas de tolerancia a la temperatura y potencial de crecimiento de diversas especies utilizadas por la acuicultura en la actualidad tendrán una mayor probabilidad de verse afectadas, por lo que se anticipan efectos negativos sobre la producción acuícola en el futuro (*Froehlich et al., 2018*).



## Simbología



**Figura 1:** Principales modificaciones asociadas al cambio actual en el mar interior de Chileo.

Posibles disminuciones en el caudal de los ríos afectarán los aportes de aguas dulces a zonas estuarinas, lo que generará modificaciones en la estratificación de las aguas. Actualmente la capa superficial se encuentra hasta aproximadamente los 10 mt. de profundidad, y se caracterizan como aguas poco salinas, pobres en nitratos y fosfatos, pero ricas en materia orgánica y silicatos, como aporte de las descargas de los ríos. Frente al escenario de cambio climático se espera que esta capa disminuya, facilitando el ingreso de aguas más antiguas, salinas y ricas en nutrientes hacia la superficie. Lo que juega un papel importante en la generación y mantenimiento de floraciones de microalgas (*Díaz et al., 2023*), las cuales tienen impactos socio-económicos negativos en pesquerías, acuicultura, turismo, sistemas costeros y en la salud pública.

## ¿Cómo se proyectan los impactos de las floraciones algales nocivas (FAN's) en las principales actividades productivas de los mares interiores de Chiloé?



### PÉRDIDA DE BIOMASA DE SALMONES

Por FAN's en la fase de engorda (en agua salada) debido al potencial incremento de microalgas como consecuencia de la disminución de precipitaciones.

Por aumento de parásitos en la fase de engorda (en agua salada) debido al potencial incremento de parasitismo asociado a la disminución de precipitaciones y aumento de salinidad.



### PÉRDIDA DE BIOMASA DE CHORITOS

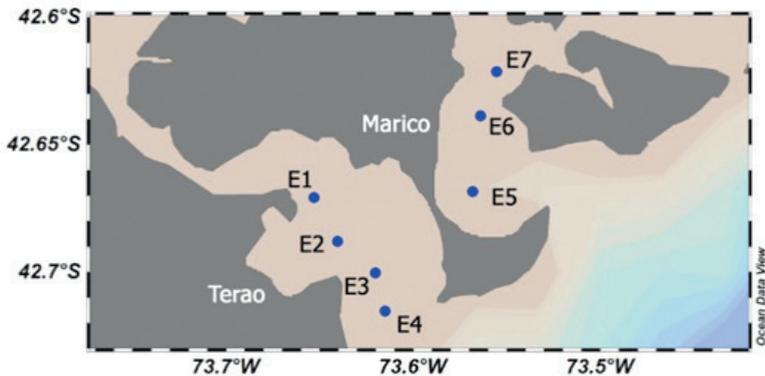
En fase engorda por el incremento de FAN's como consecuencia de la disminución de precipitaciones.

Pérdida de biomasa semilla de choritos por aumento de salinidad como consecuencia de la disminución de precipitaciones.



## 4. ¿Cuáles son las condiciones ambientales identificadas en los territorios costeros durante el desarrollo del proyecto?

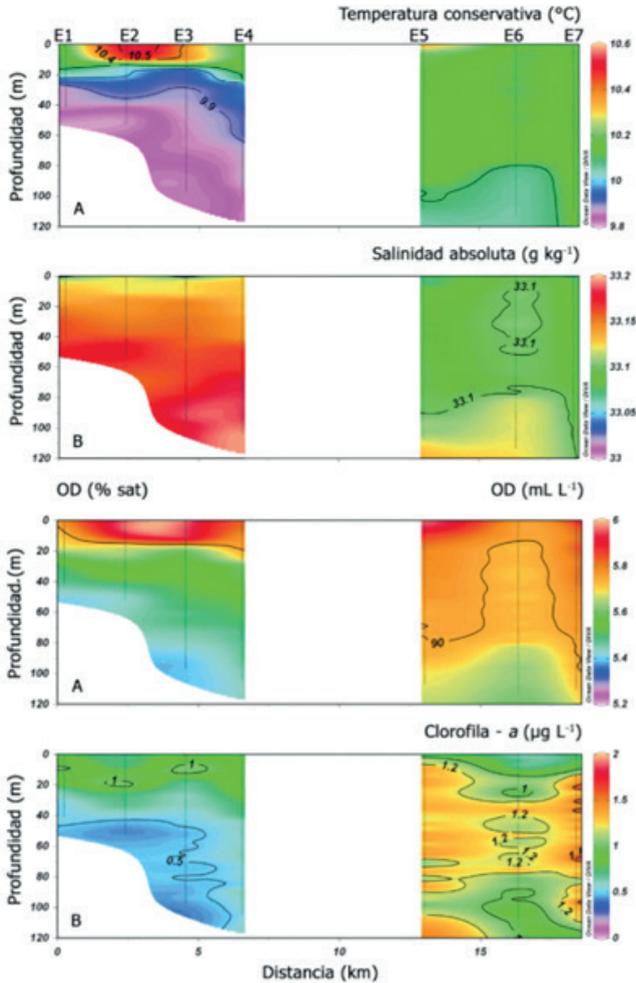
Conocer el estado actual de nuestros mares es importante para poder identificar cuánto cambian a través del tiempo, y para verificar si las proyecciones asociadas al cambio climático actual se ajustan a lo observado en el territorio.



**Figura 2:** Área de estudio del terreno de mediciones hidrográficas en Terao y Marico (Noviembre 2022).

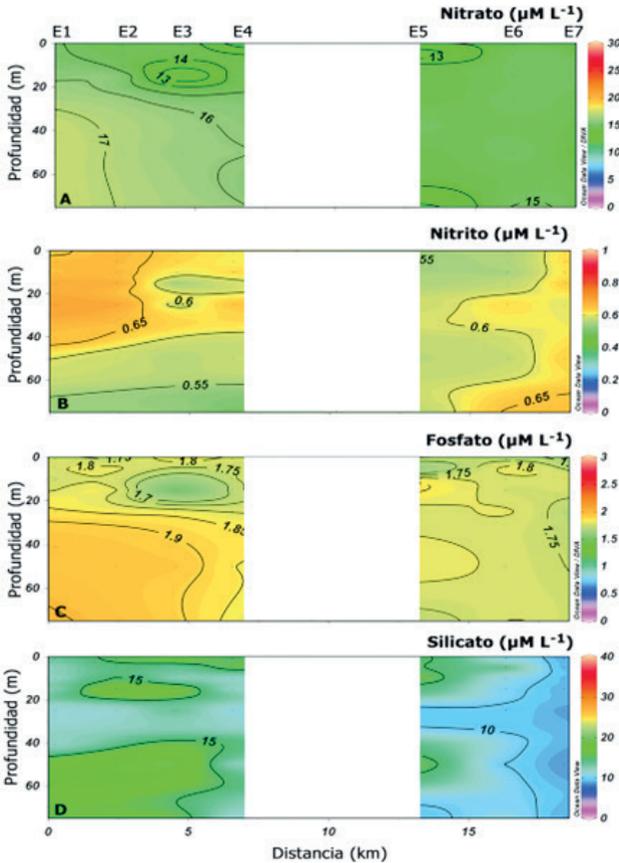
En las localidades de Terao, Pilpilehue (Chonchi) y Marico (Puqueldón) durante los meses de noviembre y diciembre (2022) en conjunto con el Centro i-mar de la Universidad de Los Lagos, realizamos actividades en terreno para identificar las condiciones ambientales de las zonas costeras, que servirán como punto de

referencia para posteriormente comparar el estado ambiental de las aguas y fondo marino. Entre las actividades realizadas se incluyó un muestreo oceanográfico para conocer la variabilidad hidrográfica y de los sedimentos en primavera, y un monitoreo visual del fondo marino utilizando un robot.



**Figura 2.1:** Perfiles de temperatura conservativa (°C), salinidad absoluta (g/kg), Perfiles de Oxígeno disuelto (mL/L), saturación del oxígeno (%) y concentración de clorofila-a de la transecta realizada el 27 de octubre del 2022.

**Las variables hidrográficas** permitieron detectar que el sector de Marico estuvo más mezclado que la zona de Terao. En Marico la temperatura del agua, salinidad, oxígeno disuelto y la clorofila-a mostraron valores homogéneos. Mientras, en Terao se registró una leve estratificación de las aguas a 10 metros de profundidad debido a diferencias en la temperatura del agua. En este lugar la salinidad fue ligeramente más alta. La presencia de Agua Subantártica (ASAA, temperaturas de 33 - 33.8 g/kg) se evidenció en toda el área de estudio.



**Figura 2.2:** Perfiles de Nitrato ( $\mu\text{M}$ ), Nitrito ( $\mu\text{M}$ ), Fosfato ( $\mu\text{M}$ ) y Silicato ( $\mu\text{M}$ ) de la transecta realizada el 27 de octubre del 2022.

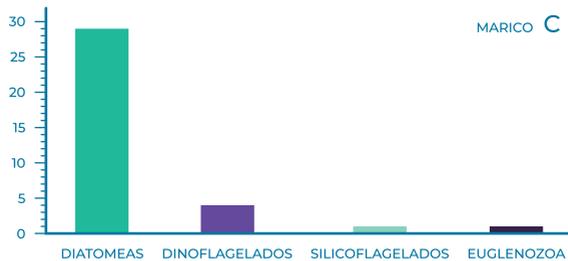
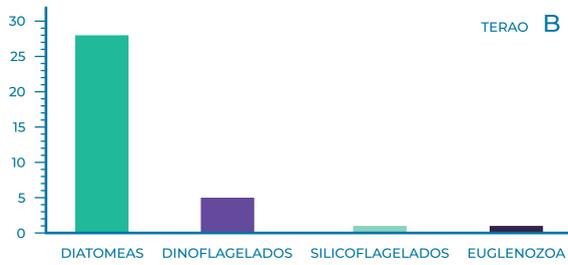
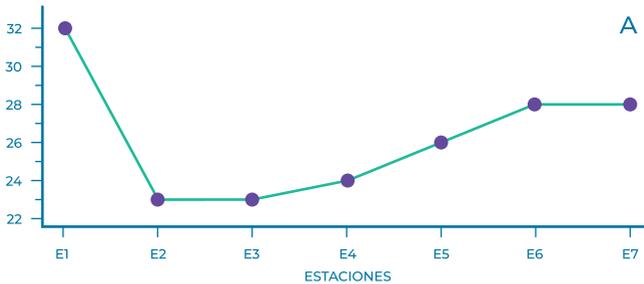
**Los nutrientes** fueron levemente mayores en las estaciones cercanas a la localidad de Terao. Lo anterior posiblemente se asocia a una condición de mayor mezcla de las masas de agua en Marico, lo que favorece procesos fisicoquímicos y biológicos, tales como la transformación de nutrientes en diferentes compuestos y principalmente consumo y asimilación de estos por microorganismos (bacterias, microalgas, entre otros), por ende una mayor actividad biológica. Además, del dinamismo que puede presentar esta localidad, se debe estudiar cómo se relacionan estos procesos con las corrientes, alturas de mareas y componentes geográficos, considerando la leve diferencia que registra en nutrientes al comparar con Terao, y que al parecer genera condiciones favorables para la proliferación de fitoplancton en Marico (figura 2.2).

**La comparación entre la riqueza de especies fitoplanctónicas**, no presentó diferencias notables, esto puede ser atribuido a que tanto las condiciones oceanográficas y biogeoquímicas de nutrientes a la vez fueron similares.

**La composición de fitoplancton**, demostró presentar densidades celulares mayores en las estaciones cercanas a la localidad de Marico. Esto puede ser atribuible a que la mezcla casi completa de la columna de agua observada en Marico, parece favorecer la proliferación de fitoplancton. De manera inversa, las condiciones de estratificación encontradas en Terao parecen ser menos favorables para la proliferación de estas especies. En tanto, la dominancia del grupo de diatomeas en la columna de agua es una respuesta común dentro de la zona de los mares de la Región de los Lagos para la estación de primavera (figura 2.3).



## Riqueza de especies (N° de especies)



**Figura 2.3:** Riqueza de especies. A) Por estación. B) Total de las estaciones E1, E2, E3 y E4 cercanas a la localidad de Terao. C) Total de las estaciones E5, E6 y E7 cercanas a la localidad de Marico.

**Las especies FAN**, no presentaron densidades celulares consideradas críticas, pero sí las especies que generan daño mecánico como es el género productor de toxinas VAM *Pseudo-nitzschia* spp. Es importante señalar que la producción de toxinas está asociada

a las condiciones ambientales más que a la densidad celular de especies que la produzcan. Considerando la importancia de las especies generadoras de toxinas en el sur de Chile, cabe mencionar que estas comúnmente proliferan en verano y comienzos de otoño (principalmente dinoflagelados tóxicos como *Alexandrium catenella*, en los meses entre enero y abril). La abundancia de especies generadoras de toxinas cuantificadas en Terao y Marico se presentan en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1**  
Listado de especies FAN encontradas  
en el sector de Terao

ESPECIE	TERAO				SERNAPESCA (2018)	MARDONES & CLÉMENT (2016)
	E1	E2	E3	E4		
<i>Chaetoceros socialis</i> (cél L <sup>-1</sup> )	9300	12600	3168	1782	Sin info	> 3000000
<i>Leptocylindrus minimus</i> (cél L <sup>-1</sup> )	19702	5841	28413	4800	> 2000000	> 2000000
<i>Dictyocha speculum</i> (cél L <sup>-1</sup> )	200	396	100	200	Sin info	> 75000
<i>Pseudonitzschia</i> spp. (cél L <sup>-1</sup> )	1980	396	1980	396	Sin info	Desconocido

\*Se indica el nombre de la especie, densidades correspondientes a la estación dentro de esta localidad. Además, valores de densidades celulares críticos de SERNAPESCA y de Mardones & Clément (2016).

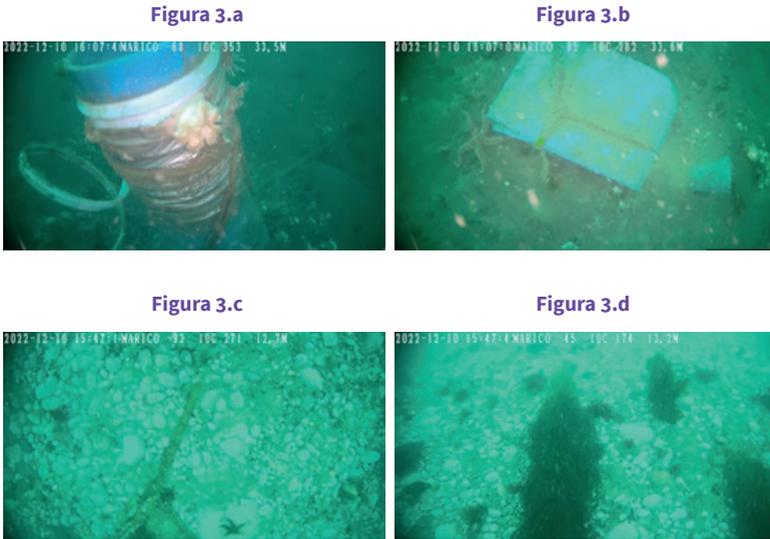
**Tabla 2**  
Listado de especies FAN encontradas  
en el sector de Marico

ESPECIE	MARICO			SERNA- PESCA (2018)	MARDONES & CLÉMENT (2016)
	E5	E6	E7		
<i>Chaetoceros socialis</i> (cél L <sup>-1</sup> )	39402	29403	31878	Sin info	> 3000000
<i>Leptocylindrus minimus</i> (cél L <sup>-1</sup> )	13761	15642	18018	> 2000000	> 2000000
<i>Dictyocha speculum</i> (cél L <sup>-1</sup> )	297	297	297	Sin info	> 75000
<i>Pseudonitzschia spp.</i> (cél L <sup>-1</sup> )	4356	4100	4700	Sin info	Desconocido

\*Se indica el nombre de la especie, densidades correspondientes a la estación dentro de esta localidad. Además, valores de densidades celulares críticas de SERNAPESCA y de Mardones & Clément (2016).

**Los registros del fondo marino**, en las cercanías de Marico permitieron identificar el estado en que se encuentran los sitios donde se desarrolla actividad salmonera y zonas sin intervención. El fondo marino en zonas con actividad salmonera se caracteriza por presentar una escasa diversidad de especies bentónicas, mucha sedimentación de materia orgánica y un alto número de estructuras y restos de materiales desechados por la actividad salmonera (Figura 3.a y 3.b). En contraste, dentro de la misma área los registros en sitios sin actividad salmonera (ni en superficie ni en la columna de agua) presentaron fondos con escasa sedimentación, mayor riqueza de

especies y poca presencia de desechos asociados a la actividad de cultivos (Figura 3.c y 3.d).



**Figura 3:** Registros submarinos del fondo marino en el área de Marico (Diciembre, 2022): a) y b) sitios con actividad salmonera, c) y d) sitios sin actividad salmonera en superficie.

Estos resultados coinciden con lo descrito en diferentes investigaciones científicas (*Soto y Norambuena, 2004; Holmer et al., 2005*) que señalan que el impacto del cultivo de salmones relativo a los sedimentos del fondo marino ocurre en la sombra de las balsas jaulas. En ese sentido, a este impacto localizado se suman otro tipo de impactos ambientales asociados a la actividad salmonera, tales como el alto uso de pesticidas y antimicrobianos así como la adición permanente de nutrientes y en particular nitrógeno (*Cabello, 2006; Fortt et al., 2007; Buschmann y Fortt, 2005*); además de otros impactos como la fuerte presión sobre otras pesquerías para la producción de alimento o el impacto de los escapes de salmones en otras especies y en la cadena trófica de los ecosistemas marinos.

**En las localidades de Piedra Blanca y Tweo (Quellón)**, se realizaron actividades en terreno para identificar las condiciones ambientales de las zonas costeras, que servirán como punto de referencia para posteriormente comparar el estado ambiental de las aguas y fondo marino. Entre las actividades realizadas se incluyen mediciones puntuales para identificar la variabilidad hidrográfica en primavera, y un monitoreo visual del fondo marino utilizando un robot.

Los puntos monitoreados se presentan en la figura 4, donde se incluyen sitios donde se desarrolló acuicultura y hoy sólo quedan estructuras abandonadas, sitios de control cercanos a bosques de macroalgas, y también en las áreas de bancos naturales.



**Figura 4:** Georeferenciación de los elementos registrados en la navegación de reconocimiento de elementos relevantes al ECPMO Coldita (mayo 2022).

**Los registros del fondo marino**, obtenidos en el sector de Punta Paula (1, 2 y 3) indican que las actividades salmoneras desarrolladas

en esos sitios dejaron restos de basura, estructuras en desuso (Figura 5.a). Lo anterior contrasta con los registros del sitio control 1, donde se observan fondos con menos restos de materia orgánica y mayor riqueza de especies asociada a la presencia de bosques de macroalgas (Figura 5.b).

**Figura 5.a**



**Figura 5.b**



**Figura 5.c**



**Figura 5.d**



**Figura 5:** Registros fondos marinos en el sector de: a) Punta Paula, b) Control 1, c) Canal Coldita y d) Banco Oratorio.

En el sector de Canal Coldita bajo las zonas donde se desarrolló actividad salmonera se registró un sedimento más fino y presencia de crustáceos (figura 5.c), mientras que en el sector de Oratorio se observó una abundante presencia de erizos (figura 5.d). Es interesante observar el contraste entre las zonas con y sin actividad salmonera, dado que los sitios donde se ha desarrollado la actividad se caracterizan por presentar fondos más perturbados en términos de la sedimentación de materia orgánica y estructuras abandonadas.

**Tabla 3**

Registros de mediciones en la columna de agua de variables oceanográficas.

ESTA-CIÓN	FECHA	TEMPERA-TURA [°C]	PH	SALINIDAD [PSU]	OXÍGENO DISUELTO [%]	OXÍGENO DISUELTO [MG/L]
Punta Paula 1	11-12-2022	10.58	8.08	30.61	106.81	9.00
Punta Paula 2	11-12-2022	10.44	7.98	30.82	89.33	7.53
Control 1	11-12-2022	10.82	8.01	29.82	99.29	8.40
Inicio Canal Coldita	11-12-2022	11.78	8.00	30.32	101.56	8.44
Centro AquaChile Canal Coldita	11-12-2022	11.84	8.00	30.21	102.00	8.50
Canal Coldita 2	11-12-2022	11.78	8.02	30.38	103.29	8.59
La Mora	11-12-2022	11.68	8.05	29.48	103.90	8.71
Banco Oratorio	11-12-2022	12.68	8.00	27.05	113.88	9.64

Las mediciones realizadas el 11 de Diciembre (2022) para tener una aproximación a las condiciones hidrográficas en los sitios monitoreados se presentan en la tabla 3 observándose variabilidad en la temperatura entre los sitios de zonas más expuestas (Punta Paula 1, Punta Paula 2, Control 1) y los sitios de zonas al interior del canal Coldita (Inicio Canal Coldita, Centro Aquachile Canal Coldita, Canal Coldita y Banco Oratorio). Se observó también que los niveles de salinidad disminuyen en las cercanías de Banco Oratorio, y los niveles de O<sub>2</sub> disuelto fueron menores en las cercanías de los sitios monitoreados en el sector de Punta Paula.

**Conocer los procesos actuales que ocurren en los mares interiores de Chiloé, y el efecto de la variabilidad ambiental que incorpora el cambio climático es una necesidad urgente. El acceso y comprensión del estado y funcionamiento de nuestros sistemas socioecológicos nos permitirá identificar la vulnerabilidad y las posibilidades de adaptación de las comunidades frente a los nuevos escenarios en los ambientes costeros.**



# Bibliografía

- Buschmann, A. y Fortt, A. (2005). Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Revista Ambiente y Desarrollo* 21(3): 58-64. Santiago de Chile.
- Cabello, F. (2006). Heavy Use of Prophylactic Antibiotics in Aquaculture: A Growing Problem for Human and Animal Health and for the Environment. *Revista Environmental Microbiology* 8(7).
- Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ito, S. I., ... & Yool, A. (2022). *Oceans and coastal ecosystems and their services*. In IPCC AR6 WGII. Cambridge University Press.
- Díaz, P. A., Pérez-Santos, I., Basti, L., Garreaud, R., Pinilla, E., Barrera, F. & Figueroa, R. I. (2022). *The impact of local and climate change drivers on the formation, dynamics, and potential recurrence of a massive fish-killing microalgal bloom in Patagonian fjord*. Science of The Total Environment, 161288.
- FAO y Centro EULA. 2021. *Manual para un sistema de monitoreo ambiental participativo, que mejore la capacidad de adaptación al cambio climático de las comunidades pesqueras y acuícolas en Chile*. Santiago de Chile.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2018). Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature ecology & evolution*, 2(11), 1745-1750.
- Fortt, A., Cabello, F. y Buschmann, A. (2007). Residuos de tetraciclina y quinolonas en peces silvestres en una zona costera donde se desarrolla la acuicultura del salmón en Chile. *Revista Chilena de Infectología*. 24(1), 8-12.
- Holmer, M., Wildish, D., & Hargrave, B. (2005). *Organic enrichment from marine finfish aquaculture and effects on sediment biogeochemical processes*. *Environmental effects of marine finfish aquaculture*, 181-206.
- Mardones, J.; Clement, A. (2016). *Manual de microalgas del sur de Chile*.
- Rojas M., P. Aldunce, L. Farías, H. González, P.A. Marquet, J. C. Muñoz, R. Palma-Behnke, A. Stehr y S. Vicuña (editores) (2019). *Evidencia científica*

*y cambio climático en Chile: Resumen para tomadores de decisiones.* Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

- SERNAPESCA (2018). *Res. Ex. 6073. Declara pre-alerta por Floración Algal Nociva conforme lo dispuesto en el D. S. N°132 de 2001.* Gobierno de Chile.
- Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F. J., & Garreaud, R. (2019). Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical, socioeconomic and governance links. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 354-374.
- Soto, D., y Norambuena, F. (2004). Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large scale mensurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology*, 20(6), 493-501.
- Ugarte, A., Romero, J., Farías, L., Sapiains, R., Aparicio-Rizzo, P., Ramajo, L., Aguirre, C., Masotti, I., Jacques, M. et al. (2022). «Marea Roja» y cambio global: elementos para la construcción de una gobernanza integrada de las Floraciones de Algas Nocivas (FAN). Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 84 pp.