



INFORME FINAL TOMO I: TEXTOS

Convenio de Desempeño 2019
Programa de Manejo y Monitoreo de las Floraciones Algales
Nocivas y Toxinas Marinas en el Océano Pacífico del Centro Sur
de Chile (36° - 44 °S), Etapa II, 2019 – 2020.
SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Abril 2020



TOMO I: TEXTOS INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2019
Programa de Manejo y Monitoreo de las Floraciones Algales Nocivas
y Toxinas Marinas en el Océano Pacífico del Centro Sur de Chile
(36° - 44 °S), Etapa II, 2019 – 2020.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Abril 2020

REQUIRENTE

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

Subsecretaría de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Esteban Carrasco Zambrano

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe División Investigación en Acuicultura
F. Leonardo Guzmán Méndez

JEFE DE PROYECTO

Oscar Espinoza González



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / abril 2020

AUTORES

Oscar Espinoza González
Pablo Salgado Garrido
Isabel Andrade Cornejo
Pamela Carbonell Arias
Luis Norambuena Subiabre
Emma Cascales Hellman
Héctor Tardón Sepúlveda
Julia Cáceres Chamizo
Leandro Lincoqueo
Loreto López Rivera
Gissela Labra Holzapfel
Karen Correa Sepúlveda
Bianca Olivares Olivares
Rosa González González
Carolina Soto Castillo
Verónica Muñoz Ojeda
María Fernanda Cornejo Acevedo
Lorena Ramírez Epple

COLABORADORES

César Loncón Lemus
Darwin Retamal Caimapo
Juan Carlos Union Barría
Mauricio Palma Alarcón
Claudia Zamora Amstein

TOMO I

TEXTOS

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe final forma parte de los compromisos del estudio “*Programa de manejo y monitoreo de las floraciones de algas nocivas y toxinas marinas en el océano Pacífico del centro sur de Chile (36° - 44°S), Etapa II, 2019 - 2020*”, que comenzó en noviembre de 2018 y se extendió por un periodo de 14 meses. El estudio está inserto en el Convenio de Desempeño 2019: Asesoría Integral para la Pesca y Acuicultura 2019-2020, que desarrolla el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) en convenio con la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño.

El objetivo general del estudio es disponer de un sistema oportuno de muestreo, detección y cuantificación periódico de microalgas nocivas y toxinas marinas adecuado a la realidad geográfica de la costa expuesta al océano Pacífico del centro sur de Chile. El estudio comprende un total de cinco objetivos específicos, los cuales están orientados al monitoreo de las variables objetivo de este estudio, las cuales incluyen la identificación y cuantificación del fitoplancton cualitativo y cuantitativo con énfasis en microalgas nocivas, toxinas marinas, además de identificación y cuantificación de quistes de resistencia de dinoflagelados, nutrientes en la columna de agua (nitrato, nitrito, fosfato y silicato) e información oceanográfica y meteorológica.

Para efectos del monitoreo, el área de estudio comprende cinco regiones, con un total de 21 transectos y 67 estaciones de muestreo (**Figuras A a F**). Los transectos están distribuidos en estaciones a 2, 5 y 10 millas de la costa. Con 4 transectos en la región del Biobío, 3 transectos en la región de la Araucanía, 4 transectos en la región de los Ríos, 9 transectos en la región de los Lagos y 1 transecto en la región de Aysén (**Tabla A**). La frecuencia de muestreo es mensual con un total de 14 cruceros a realizar entre los meses de noviembre de 2018 y diciembre de 2019.

En el transcurso de esta etapa del proyecto, se realizaron un total de catorce campañas oceanográficas correspondientes a los meses entre noviembre de 2018 y diciembre de 2019. En este informe final se entregan resultados del análisis del fitoplancton cualitativo, la abundancia relativa de especies nocivas, análisis de toxinas marinas, nutrientes y datos oceanográficos y prospección de quistes, además de la interpretación de los datos recogidos por el muestreo durante las Etapas I y II de este proyecto y difusión de los resultados.

El muestreo de mariscos para la detección de toxinas, se orientó hacia especies centinelas en cada bahía, sin perjuicio de la recolección de otros mariscos según las necesidades, desde el punto de vista de la salud pública, u otras particularidades de cada región de estudio. Los mariscos muestreados en cada sector corresponden a cholga en el caso de Coliumo, Colcura y Tubul y navajuela en el caso de la bahía de Llico, choro zapato en los sectores de Nehuentué, Puerto Saavedra, Queule y Mehuín, Colún, almejas en las localidades de Niebla, Playa Brava, Carelmapu, machas en Mar Brava y Cucao y piures en Bahía Mansa (**Tabla B**).

Las muestras de mariscos para determinar la toxicidad por Toxina Paralizante de los Mariscos (TPM), Toxina Diarreica de los Mariscos (TDM) y Toxina Amnésica de los Mariscos (TAM) fueron entregadas al laboratorio de la Secretaría Regional Ministerial de Salud de la región de Los Lagos. Los resultados que se entregan en este informe final corresponden a los obtenidos durante los catorce cruceros



mencionados anteriormente, los cuáles son presentados en microgramos equivalentes de saxitoxina por 100 gramos de carne de molusco ($\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$) en el caso del TPM, en términos cualitativos según los tiempos de muerte de los ratones en un lapso de 24 horas en el caso del TDM y en microgramos de ácido domoico por gramo de carne de marisco ($\mu\text{g g}^{-1}$) en el caso del TAM.

El muestreo de fitoplancton se realizó en todas las estaciones de cada región de estudio. En lo que respecta a este informe final, se presentan los resultados de los análisis de fitoplancton cualitativo y abundancias relativas de los cruceros 11 y 12 de 2018 y 1 a 12 de 2019. Para el análisis cualitativo del fitoplancton las muestras fueron recolectadas mediante arrastres verticales desde 20 m de profundidad hasta la superficie o según la profundidad del lugar, usando una red de trama de malla de 23 μm , además se estima la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, utilizando las escalas de abundancia relativa que se entregan en la **Tabla C**. Además, se identificaron a nivel específico todas las microalgas presentes, consignando hasta el nivel taxonómico más alto posible en los casos en que no son identificadas a nivel de especie. Mientras que, los muestreos cuantitativos se realizaron muestreando la columna de agua entre los 20 m de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de diámetro. La columna fue fraccionada en dos estratos; un primer estrato de superficie a 10 m y el segundo de 10 a 20 m de profundidad (en las estaciones donde la profundidad permitió el muestreo en estos dos estratos). El fitoplancton cualitativo se entrega como presencia/ausencia y en el caso de la abundancia relativa, los datos son presentados según el nivel alcanzado en las respectivas escalas definidas para cada taxón. Los resultados cuantitativos son entregados en células por litro (cél/L).

En cada sitio de muestreo, se tomaron muestras para el análisis de nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato y silicato) además, de perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila (fluorescencia) y densidad de la columna de agua mediante sensores electrónicos (CTD-OF) hasta la profundidad que permita la topografía del lugar. También se registró la transparencia de agua mediante disco Secchi y variables meteorológicas como temperatura ambiental, radiación solar, velocidad y dirección del viento y cobertura nubosa.

La evaluación de presencia y abundancia de quistes de dinoflagelados se realizó a partir de la prospección de sedimentos obtenidos en 49 sitios de muestreo a lo largo de la red de estaciones de la región de Los Lagos durante el invierno (junio 2019) y 33 sitios de muestreo durante primavera (diciembre 2019). Los resultados mostraron un total de 35 especies de dinoflagelados distintos, los cuales representaron siete géneros: *Alexandrium*, *Protoceratium*, *Gonyaulax*, *Pentaparsodinium*, *Protoperidinium*, *Polykrikos* y *Preperidinium*.

Durante esta segunda etapa del proyecto se ha realizado un análisis interpretativo de los datos biológicos,



oceanográficos y meteorológicos, con el objetivo de identificar posibles relaciones entre esas variables que nos permita avanzar en el conocimiento de los factores determinantes de una FAN.

Además se han incluido nuevas herramientas para la entrega de la información, entre las cuáles se encuentran el I-FAN para las estaciones del océano Pacífico, un sistema SIG para alojar los resultados de los estimadores de la abundancia relativa de las especies nocivas y está en pleno desarrollo una plataforma para la automatización de los registros de entradas de cada una de las variables monitoreadas por el programa, estas herramientas permitirán una mejor difusión de la información generada por el proyecto.

Se informa, además, que el taller de difusión de los resultados que se debía realizar el día 31 de marzo de 2019, se postergó para una nueva fecha debido a la contingencia nacional provocada por el COVID-19. Hasta el momento de la entrega de este informe final, se estaba evaluando las alternativas para realizar este taller de forma no presencial.



ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	i
ÍNDICE GENERAL	iv
1. INTRODUCCI3N	1
2. ANTECEDENTES	4
3. OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo General	6
3.2 Objetivos Específicos	6
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	7
4.1 Metodología objetivo específico 1.	7
4.2 Metodología objetivo específico 2.	18
4.3 Metodología objetivo específico 3.	19
4.4 Metodología objetivo específico 4.	22
4.5 Metodología objetivo específico 5.	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
5.1 Objetivo Específico 1	24
5.2 Objetivo Específico 2	55
5.3 Objetivo Específico 3	60
5.4 Objetivo Específico 4	76
5.5 Objetivo Específico 5	90
6. CONCLUSIONES	91
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94



1. INTRODUCCIÓN

A partir de la primera Etapa (2018) de este proyecto y a otros estudios realizados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) en las regiones de Atacama, Coquimbo y del Biobío, se ha evidenciado la existencia de microalgas nocivas y toxinas marinas a lo largo del litoral expuesto al océano Pacífico desde la región de Arica Parinacota hasta el canal Tuamapu en la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, lo que indica que no sólo los canales y fiordos de las tres regiones más meridionales del país (De Los Lagos (en adelante Los Lagos), De Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (En adelante Aysén) y De Magallanes y de la Antártica Chilena (en adelante Magallanes)), son afectadas por este tipo de eventos. Estas evidencias han determinado que se deba orientar una mayor preocupación a las microalgas nocivas y toxinas marinas, particularmente dadas sus implicancias ambientales, sobre la salud pública y el entorno social y económico, dado su impacto sobre actividades productivas como la pesca, la acuicultura y el turismo. Por lo anterior, es necesario considerar el análisis de muestras o la realización de muestreos en sectores geográficos diferentes a los que se realizan los monitoreos con transectas, a fin de evaluar y conocer la presentación de diferentes FAN en la costa oceánica del país, para de esta forma avanzar en fortalecer el monitoreo de FAN y toxinas marinas en Chile.

Los últimos eventos de floración de *Alexandrium catenella*, durante el año 2016 y recientemente en febrero de 2018, asociada a Toxina Paralizante de los Mariscos (TPM), han provocado un impacto de magnitud a la economía y entorno social de la región de Los Lagos, manifestándose en la costa expuesta al océano Pacífico, lo cual constituye un cambio radical al paradigma sobre la distribución de esta microalga en el litoral nacional. Las evidencias recogidas por el IFOP, muestran que la presencia de la microalga, durante el evento de febrero de 2018, se extendió desde Nehuentué en la región de La Araucanía hasta el Canal Tuamapu en el extremo noroccidental de la región de Aysén, no obstante, durante el transcurso del proyecto se ha confirmado la presencia, en condición de rara, de la microalga en bahía Colcura en la región del Biobío, en tanto que, la TPM mediante bioensayo ratón fue detectada desde playa Brava hasta Cucao en la isla de Chiloé, sin embargo, durante el evento del 2016 la toxina paralizante fue detectada hasta caleta Los Molinos en la región de Los Ríos. Por lo mismo, dadas las características oceanográficas y los rasgos adaptativos y el particular ciclo de vida que presenta *A. catenella* determinan, de la misma manera que en fiordos y canales de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, que se deba contar con un sistema de detección oportuno y confiable a fin de disponer de una alerta temprana para usuarios relacionados con la extracción y cultivo de mariscos, además del impacto sobre la salud pública.



Este programa de manejo y monitoreo se realiza como una actividad de carácter permanente, la cual se desarrolla anualmente desde enero de 2018. A partir de noviembre de 2018 se está ejecutando la II Etapa de este proyecto, de manera independiente pero sincronizada con el estudio “Programa Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes”, que durante 2019 – 20 se encontrará en su etapa XIII. El programa incluye en su diseño a localidades selectas en el litoral de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y en el extremo norte de Aysén. En esta segunda etapa el estudio está estructurada sobre la base de un muestreo mensual, con un total de 14 cruceros (noviembre de 2018 a diciembre de 2019) en un lapso anual. En lo fundamental este programa permite disponer de la composición cualitativa del fitoplancton y estimadores de abundancia relativa de siete taxones nocivos en una red fija de sitios de muestreo, la composición total y abundancia cuantitativa del ensamble de fitoplancton, determinación de nutrientes en la columna de agua, además del registro de variables oceanográficas y meteorológicas en cada uno de los puntos de muestreo que considere este estudio. También se recolectan muestras de sedimentos finos para la identificación de quistes de resistencia de dinoflagelados. Asimismo, se recolectan muestras de mariscos en cada una de las regiones administrativas involucradas, a fin de detectar la presencia de las toxinas paralizante, diarreica y amnésica, cuyos análisis serán efectuados en el laboratorio de la Secretaría Regional Ministerial de Salud de la región de Los Lagos, El detalle y características de la metodología se entregan más adelante por objetivo específico.

Además, al finalizar cada etapa se efectuará un análisis comprensivo de la información recolectada, así como los datos de la etapa previa, de manera de apreciar particularidades en la distribución y abundancia espacio – temporal de los taxones nocivos y su relación con las variables ambientales. Finalmente, se continuará con el formato desarrollado en la Etapa I para difundir la información derivada del estudio, de tal forma que ésta esté disponible para todo público, usando distintos formatos de las redes sociales.

La ocurrencia en los últimos tres años de floraciones nocivas asociadas a mortalidades de fauna marina diversa y de salmónidos en cultivo, determina orientar esfuerzos hacia *Karenia spp.*, *Pseudochattonella verruculosa* u otras especies dañinas. Dado que el Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN) del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), considera entre sus objetivos estratégicos abarcar todo el litoral del país, se considerará también la identificación, en la oportunidad que se requiera, de éstas y otras microalgas nocivas y toxinas marinas, que eventualmente podrían ocasionar efectos nocivos en otros sectores geográficos distintos del sistema de fiordos y canales.





2. ANTECEDENTES

Las Floraciones Algaes Nocivas (FAN) o Mareas Rojas corresponden a una proliferación en ambientes acuáticos de microalgas que pueden causar la muerte masiva de peces y otros organismos, contaminar los mariscos con toxinas, y alterar los ecosistemas, de manera que los seres humanos las perciban como dañinas o nocivas ([GEOHAB, 2001](#)). Los impactos sobre el Hombre y sus actividades, incluyen intoxicaciones por consumo de mariscos, que pueden ser fatales; mortandades masivas de organismos marinos en el ambiente natural y en sistemas de crianza o engorda; alteraciones de los hábitats costeros y, por ende, perturbaciones en los sistemas social y económico.

En Chile se han detectado distintas toxinas asociadas a Toxina Paralizante (TPM), Toxina diarreica (TDM), y Toxina Amnésica de Moluscos (TAM), las cuales afectan directamente a seres humanos además de una serie de otras toxinas lipofílicas. Bajo este escenario, y considerando la inexistencia de antídotos para estas toxinas, la falta de tecnologías para controlar las floraciones en el ambiente o su eliminación de los mariscos, las perturbaciones que provocan en los sistemas social y económico, y la carencia de modelos que permitan predecir la aparición, duración y lugar de ocurrencia de estas floraciones, obligan a fortalecer la prevención una de cuyas fuentes de información son los programas de monitoreo.

La entrada en vigencia del reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas, D. S. (MINECON) N°345/2005 y sus modificaciones, entrega a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la responsabilidad de velar sobre la oportuna detección de plagas hidrobiológicas para aislar su presencia y evitar su propagación, entre otras medidas. Es en este sentido y con motivo de vigilar el área FAN declarada en el 2009 bajo R. Ext. N° 177, la cual fue renovada por la R. Ex. N° 1128 de 2018, ambas de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, es que desde el 2006 se mantiene un programa de Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, además, desde el año 2018 se está desarrollando el programa de Manejo y Monitoreo de las Floraciones de Algas Nocivas y Toxinas Marinas en el océano Pacífico desde Biobío a Aysén, ambos programas son ejecutados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Estos monitoreos proveen la información necesaria para la toma de decisiones por parte de la autoridad usando antecedentes confiables y oportunos que permitan proteger la salud pública y reducir los trastornos sobre las actividades productivas (i.e. pesca, acuicultura, turismo). Además, permiten alimentar una base de datos con información sobre la dinámica de la distribución y abundancia de las especies de microalgas nocivas que se encuentran en las citadas regiones. Por este motivo es



relevante contar con un registro continuo de las variables citadas a fin de analizar no sólo espacialmente los antecedentes sino también desde una perspectiva temporal.



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

3.1.1. Disponer de un sistema oportuno de muestreo, detección y cuantificación periódico de microalgas nocivas y toxinas marinas adecuado a la realidad geográfica de la costa expuesta al océano Pacífico del centro sur de Chile

3.2 Objetivos específicos

3.2.1. Vigilar y analizar las variaciones espacio-temporales de las toxinas paralizante (TPM), diarreica (TDM) y amnésica (TAM) en mariscos selectos, de la abundancia relativa de taxones nocivos, del fitoplancton cualitativo y cuantitativo y, determinar variables hidrográficas y meteorológicas en las estaciones del área de estudio

3.2.2. Prospeccionar quistes de especies nocivas en sedimentos en estaciones selectas de la red de sitios de monitoreo.

3.2.3. Continuar con el análisis interpretativo de los datos a recolectar desde noviembre de 2018 a diciembre de 2019, incorporando la información generada a partir de la Etapa I del proyecto (enero – octubre 2018), segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables biológicas y abióticas disponibles, incluyendo los resultados sobre quistes de dinoflagelados.

3.2.4. Continuar con la difusión periódica de la información recolectada por el programa orientada a la autoridad y a todo público, considerando datos cuantitativos y parámetros ambientales

3.2.5. Realizar un taller de presentación de resultados, sin perjuicio de comprometer la presentación de trabajos indistintamente en seminarios, congresos, conferencias, simposios y/o publicación de artículos científicos.



4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación, se describe la metodología del estudio y los conceptos e ideas que la fundamentan. La presentación está organizada por objetivo específico.

4.1 Metodología objetivo específico 1.

Vigilar y analizar las variaciones espacio-temporales de las toxinas paralizante (TPM), diarreica (TDM) y amnésica (TAM) en mariscos selectos, de la abundancia relativa de taxones nocivos, del fitoplancton cualitativo y cuantitativo y, determinar variables hidrográficas y meteorológicas en las estaciones del área de estudio.

Estaciones y frecuencia de muestreo

El área de trabajo comprendió las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y el extremo norte de la región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo, abarcando desde Bahía Coliumo en la primera de estas regiones, hasta Canal Tuamapu en la última de ellas. Las estaciones de muestreo se dispusieron a través de un transecto perpendicular a la línea de costa y con una separación entre ellas por una distancia de 2, 5 y 10 millas náuticas. Cada transecto pertenece a una red fija, dispuesto de manera representativa y establecido según las particularidades de cada sector geográfico (**Tabla A; Figuras A - F**). En la región del Biobío se muestrearon 4 transectas de 4 estaciones cada una; en la región de La Araucanía, 3 transectas de 3 estaciones cada una; en la región de Los Ríos, 4 transectas de 3 estaciones cada una; en la región de Los Lagos, 9 transectas con 3 estaciones cada una; y en el extremo norte de Aysén, 1 transecto con tres estaciones.

El área de estudio fue dividida por región administrativa, usando distintos puertos de zarpe en cada región. En la región del Biobío, el zarpe se realizó en el puerto de Talcahuano. En la región de La Araucanía y región de los Ríos el zarpe se realizó en el puerto de Corral. En la región de Los Lagos, el zarpe se realizó desde el puerto de Dalcahue. Mientras que, en la región de Aysén, el muestreo se llevó a cabo utilizando la embarcación que realiza el monitoreo regular de Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en canales y fiordos de Chile (Etapa XIII), años 2019 – 2020 en el sector de Aysén norte. Se debe tener presente que el acceso a los lugares de muestreo, estuvieron determinados por las condiciones oceanográficas y meteorológicas al momento de realizar el trabajo de terreno.

Monitoreo Regular:

Tuvo como objetivo el monitoreo en 21 transectas perpendiculares a la línea de costa, con un total de 67 estaciones ubicadas desde Coliumo en la región del Biobío hasta canal Tuamapu en el extremo



noroccidental de la región de Aysén. Las estaciones costeras de cada transecto de monitoreo estuvieron localizadas en sectores de extracción de recursos hidrobiológicos y con potencial para la acuicultura de pequeña escala. La frecuencia de muestreo fue mensual, realizándose 14 cruceros durante el periodo de estudio, empezando el primer crucero de muestreo en el mes de noviembre de 2018 y finalizando en diciembre de 2019. El muestreo de mariscos por su parte fue realizado en 16 localidades, pues solo en ellas se desarrolla la actividad de extracción de recurso y además poseen la cantidad suficiente de recursos para asegurar la recolección durante todo el proyecto.

- **Actividad n°1: Vigilar las variaciones espacio temporales del TPM, TDM y TAM en mariscos centinela en una red de estaciones representativa de los sectores que comprende este monitoreo.**

Muestreo transvectores y detección toxinas

El muestreo se orientó hacia especies centinelas en cada región (e.g. cholga, choro maltón, navajuela, almeja, macha y piure), sin perjuicio de la recolección de otros recursos según las necesidades, desde el punto de vista de la salud pública, u otras particularidades de cada región (**Tabla B**).

Se recolectaron especímenes de talla comercial mediante buceo semiautónomo y recolección de orilla (en el caso de las machas en los sectores de Mar Brava y Cucao y en el caso de los piures en bahía Mansa). Cada muestra fue de aproximadamente 5 kilogramos de marisco con concha, obteniendo una cantidad total de 20 kilogramos por estación. Para las muestras destinadas a la detección de TPM, se recolectaron muestras con réplica, la cual se extrajo en un mismo sector con 500 m de distancia.

Luego de recolectadas, las muestras fueron etiquetadas y almacenadas en bolsas plásticas de cierre hermético, las que fueron conservadas en neveras con hielo o refrigeradas hasta llegar al CREAN de Puerto Montt, donde se congelaron a -20°C hasta el momento de enviarlas a analizar al laboratorio de la SEREMI de Salud de la región de Los Lagos.

1.-Laboratorio de la Secretaría Regional Ministerial de Salud de la región de Los Lagos (Puerto Montt) para análisis de toxicidad por TPM, TDM y TAM.

La metodología para detección de TPM fue el bioensayo ratón según norma A.O.A.C. 959.08 (1990) con determinación del Factor de Corrección (FC) y uso de saxitoxina estándar (Instituto de Salud Pública). Los resultados se entregaron en microgramos equivalentes de saxitoxina por 100 gramos de carne de molusco ($\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$).

Para la Toxina diarreica de los Mariscos (TDM), se aplicó la técnica modificada de [Yasumoto et al.](#),



(1984), y los resultados se presentan en t3rminos cualitativos seg3n los tiempos de muerte de los ratones en un lapso de 24 horas, entendiendo por resultado positivo la muerte, de al menos dos de tres ratones, en un lapso inferior a 24 horas.

La Toxina Amnésica de los Mariscos (TAM) fue determinada mediante Cromatograf3a L3quida de Alta Eficacia (HPLC) seg3n la metodolog3a descrita por Quilliam et al., (1995). Los resultados se presentarán en microgramos de ácido domoico por gramo de carne de marisco ($\mu\text{g AD g}^{-1}$).

2.-Laboratorio de Marea Roja de IFOP en Punta Arenas, para análisis de toxinas TPM y TAM por medio de HPLC.

La extracci3n de TPM se realiza con Ácido Clorhídrico (HCl) 0,1 N.

La detecci3n de Toxinas Paralizantes en los extractos obtenidos, son analizados mediante Cromatograf3a L3quida de Alta Eficacia (HPLC) con Detector de Fluorescencia y con derivatizaci3n postcolumna de acuerdo a Franco y Fernández-Vila (1993).

Las condiciones cromatogr3ficas son las siguientes:

-Fase M3vil:

1° Isocrático: 94% OSA 1mM en 10 mM de Fosfato am3nico, pH=7.2 6% Acetonitrilo (para separaci3n de STX, dcSTX y NeoSTX)

2° Isocrático: OSA 1,5 mM en 10 mM de Fosfato am3nico, pH= 7 (para separaci3n de GTXs)

3° Isocrático: Tetrabutilamonio fosfato 2 mM en 10 mM de Fosfato am3nico a pH= 6 (para separaci3n de C1-C2)

-Flujo: 1 mL min^{-1}

-Columna: Inertsil ODS-3 ($5\mu\text{m}$) 4.6 x 150 mm.

-Temperatura: Columna 33°C y baño de derivatizaci3n postcolumna 65°C .

-Longitud de onda: excitaci3n 330 nm y emisi3n 390 nm.

La extracci3n de **TAM** se realiza con Metanol (MeOH) 50%.

La detecci3n de Ácido Domoico en los extractos obtenidos, son analizados mediante Cromatograf3a L3quida de Alta Eficacia (HPLC) con Detector de arreglo de Diodos de acuerdo a Quilliam et al.,(1995).

Las condiciones cromatogr3ficas son las siguientes:

-Fase m3vil: Acetonitrilo : 0.03% ácido Trifluoroac3tico (15 + 85)

-Flujo: 1 mL min^{-1} .



- Columna: Atlantis dC 18 5µm 4.6 x 250 mm
- Temperatura de la columna: 40°C
- Longitud de onda: 242 nm

3.- Laboratorio del Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN), para análisis de toxinas lipofílicas por medio de HPLC MS /MS.

Toxinas lipofílicas:

Para conocer el perfil de toxinas lipofílicas de las muestras obtenidas durante el proyecto, se realizó un procedimiento para la detección y cuantificación de las toxinas marinas lipofílicas por medio de análisis de HPLC MS/MS, según la siguiente metodología:

El objetivo de este procedimiento es determinar biotoxinas marinas lipofílicas de los grupos de ácido okadaico (AO), Pectenotoxina (PTX), Azaspiracido (AZA), Espirólido (SPX1), Gymnodimina (GYM) y Yessotoxina (YTX) utilizando metodología basada en el uso de HPLC MS/MS. Además, con este procedimiento se determinará Ácido Domoico (DA).

Este método se aplica a la determinación de biotoxinas marinas lipofílicas en diferentes matrices de mariscos. La determinación cuantitativa de AO, PTX2, AZA1, AZA2, AZA3, DTX1, DTX2, YTX, homoYTX, Gym, SPX1 y DA es en forma directa, por medio de los estándares de referencia disponibles comercialmente. Asumiendo un factor de respuesta equivalente, el procedimiento permite la cuantificación indirecta de PTX1 por medio del uso de PTX2, YTX es utilizada para la cuantificación indirecta de 45-OH YTX y homoYTX es usada para la cuantificación de 45OH homoYTX.

El método se basa en la extracción de las toxinas de los tejidos previamente homogeneizado con 100% metanol (MeOH). Los extractos son analizados por HPLC-MS/MS para determinar AO libre, DTX1 libre, DTX2 libre, PTX1, PTX2, AZA1, AZA2, AZA3, YTX, Homo YTX, 45 OH YTX, 45 OH Homo YTX, Gym, SPX1 y DA. Para determinar el contenido total del grupo de las toxinas AO, se realiza una hidrólisis alcalina del extracto para convertir todos los esteres acetilados de estas toxinas a sus formas libres, para ser luego ser analizados en HPLC MS/MS.

Condiciones cromatográficas ácidas:

Fase Móvil A: Agua 100% con 2 mM formiato de amonio + 50 mM ácido fórmico.

Fase móvil B: 95% ACN/ 5% Agua con 2 mM formiato de amonio + 50 mM ácido fórmico.



Materiales de Referencia

Los Materiales y soluciones de referencia certificados fueron adquiridos en el National Research Council Canada (NRC), Institute for Marine Biosciences, Halifax.

Material de referencia certificado de OA, DTX1, DTX2 (CRM-DSP-Mus-c): homogeneizado de *Mytilus edulis* que contiene OA, DTX1 y DTX2. En forma adicional, está certificado para DA, como también los ésteres de OA, DTX1 y DTX2. Material de referencia certificado de AZA1, AZA2 y AZA3 (CRM-AZA-Mus): homogeneizado de *Mytilus edulis* naturalmente contaminado con azaspirácidos (concentraciones certificadas para AZA1, AZA2 y AZA3).

Soluciones estándar en metanol de: OA (CRM-OA-d), PTX2 (CRM-PTX2-b), AZA1 (CRM-AZA1-b), AZA2 (CRM-AZA2-b), AZA3 (CRM-AZA3-b), DTX1 (CRM-DTX1-b), DTX2 (CRM-DTX2-b), YTX (CRM-YTX-c), h-YTX (CRM-h-YTX), GYM (CRM-GYM-b), SPX1 (CRM-SPX1) y DA (CRM-DAg) en acetonitrilo/Agua (1:19).

Procedimiento de extracción:

Pesar 2.00 g + 0.05 g de tejido homogeneizado en un tubo de centrifuga cónico de 50 ml. Agregar 9 ml de MeOH y homogeneizar en multivortex por 10 minutos a velocidad máxima. Centrifugar a 4000 rpm por 6 minutos y transferir el sobrenadante a un matraz aforado de 20 ml. Repetir la extracción del residuo con 9 ml de MeOH y homogeneizar 10 minutos con multivortex. Sonicar en baño de ultrasonido por 5 minutos. Homogeneizar en multivortex por 5 minutos a máxima velocidad. Centrifugar a 4000 rpm por 10 min y combinar el sobrenadante con el de la primera extracción. Aforar a 20 ml con MeOH.

Análisis de los grupos de toxinas AO, PTX, AZA, YTX DA, Gimnodimina y SPX1.

Libres:

Se filtra una alícuota del matraz aforado con un filtro de jeringa de 0.2 μ m de PVDF en un vial, del cual posteriormente se inyectan 2.5 μ l en el sistema HPLC MS/MS.

Hidrólisis:

Para detectar y cuantificar el contenido total de toxinas AO y DTX, es necesaria una hidrólisis alcalina previa a la inyección en el HPLC. En un tubo eppendorf (safelock de 2.0 ml) se traspasa 1.0 ml del extracto metanólico y se agregan 125 μ l de NaOH 2.5M, homogeneizar en vortex por 0.5 min y calentar la mezcla utilizando un termoblock a 76°C por 40 minutos. Enfriar a temperatura ambiente, neutralizar con 125 μ l de HCl 2.5 M y homogeneizar en vortex por 0.5 min. Filtrar como se realizó anteriormente



en un vial y se inyecta en el HPLC. Se debe pesar el tubo antes de calentarlo, una vez finalizado el procedimiento, la eventual pérdida de volumen por el procedimiento, debe ser repuesta con metanol antes de agregar el HCl.

Determinación LC-MS/MS

Condiciones Cromatográficas:

Las condiciones cromatográficas deben ser ajustadas de acuerdo a las condiciones particulares del laboratorio (columnas, fases móviles utilizadas (básicos o ácidas), etc. Lo que si se debe asegurar es que los analitos que no se pueden diferenciar por sus espectros de masa, se deben separar completamente de forma cromatográfica (ej AO y DTX2).

Detección por espectrometría de masas:

Esto debe optimizarse en las fases iniciales, previo a la realización de los análisis con estándares de toxinas, de manera que se obtengan el nivel de sensibilidad lo más alto posible. Como no se dispone de estándar de PTX1, ni de 45-OH YTX y 45-OH hYTX, se ocupa el mismo DP(V), CE (eV) y dwell time calculados para PTX2 en el caso de PTX1, y los de YTX para los otros dos casos (tienen el mismo patrón de fragmentación). Cada pico cromatográfico debe estar definido por 10 a 15 puntos por pico, para que este tenga la suficiente exactitud. La detección de MS debe tener dos transiciones por toxina. La de mayor intensidad debe ser utilizada para cuantificación. Siendo la otra utilizada con fines confirmatorios.

Calibración y Cuantificación

La cuantificación de cada toxina se realiza con el método de calibración externa. En los casos, en los que no se dispone de estándares de calibración, como es el caso de PTX1, asumiendo una respuesta equi-molar, se utiliza la curva obtenida con PTX2 para calcular la concentración de PTX1. Del mismo modo las curvas obtenidas para YTX y homoYTX, se utilizan para el cálculo de 45-OH YTX y 45-OH homoYTX, respectivamente.

Cuando la señal de la toxina en la muestra es mayor a las obtenidas en la curva de calibración, el extracto debe ser diluido con MeOH para lograr una interpolación en la curva de calibración. Se debe anotar el factor de dilución para posteriormente realizar el cálculo de concentración.

Para el cálculo de concentración se debe seguir la siguiente fórmula:



$$\text{Concentration } (\mu\text{g toxin/kg}) = \left(\frac{y-b}{a} \right) \times \frac{\frac{V_F(\text{ml})}{V_H(\text{ml})} \times V_T(\text{ml})}{W(\text{g})} \times D$$

Dónde:

y= Área del pico cromatográfico

b= Intercepto de la curva

a= pendiente de la curva

V_T= Volumen total del extracto crudo (20 mL)

V_H= Volumen del extracto utilizado para realizar la hidrólisis

V_F= Volumen final después de la hidrólisis (y clean-up/concentración)

W= Peso de la muestra (2 g)

D= Factor de dilución (si el extracto es diluido)

Para expresar los resultados de un grupo de toxinas en μg equivalentes/kg o mg equivalentes/kg, se requiere la utilización de los Factores de Equivalencia de toxicidad (FET), los cuales fueron adoptados por el panel científico de contaminantes de la European Food Safety Authority (EFSA).

Toda la información referente a resultados de toxicidad en mariscos, será entregada tabulada, con las unidades para resultados cuantitativos, o según corresponda para resultados cualitativos (en el caso de TDM). Se entregarán los resultados por estación y crucero, distribuidos por cada región administrativa.

TPM:

En el Laboratorio del CREAN se está montando la metodología para la detección y cuantificación de las TPM por medio de análisis de HPLC MS/MS, basados en el trabajo de [Turner et al., 2020](#).

El objetivo de este procedimiento es determinar un amplio rango de análogos de TPM en una corrida cromatográfica, para lo cual utiliza con una columna del tipo HILIC.

Este método se aplica a la determinación de las siguientes toxinas, de las cuales tenemos material de referencia: Saxitoxina (SXT), neosaxitoxina (NEO), gonyautoxinas (GTX) 1-5, decarbamoyl GTX (dcGTX) 2-3, decarbamoyl STX (dcSTX), decarbamoyl NEO (dcNEO), y N-sulfocarbamoyl GTX (C1-C2). Con el método se puede determinar simultáneamente Tetrodotoxina (TTX).



El método se basa en la extracción de las toxinas de los tejidos previamente homogeneizados con ácido acético (HAc) al 1%. El extracto es posteriormente limpiado por medio de extracción en fase sólida (SPE) utilizando cartuchos de carbón. El extracto es diluido y analizado utilizando el HPLC-MS/MS

- **Actividad n°2:** Conocer la abundancia, composición y distribución espacio-temporal de las especies nocivas: *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, además de las especies que componen el fitoplancton total en la red de estaciones de estudio.

Muestreo de fitoplancton

El muestreo de fitoplancton se realizó en todas los transectos y estaciones de las cinco regiones donde se ejecuta el estudio. Se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos de fitoplancton según la siguiente metodología:

- Muestreo cualitativo:** el fitoplancton fue recolectado en todas las estaciones mediante arrastres verticales desde 20 m de profundidad como máximo hasta la superficie o según profundidad del lugar, usando una red de trama de malla de 23 μ m. Los arrastres fueron realizados en triplicado (3 réplicas), en dos lugares en cada punto de muestreo de cada estación, separados entre sí por aproximadamente 300 m, conformado una sola muestra (i.e. una muestra integrada de seis arrastres). Las muestras fueron fijadas con formalina neutralizada al 2-3%.
- Muestreo cuantitativo:** la recolección se realizó muestreando la columna de agua entre los 20 m de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de diámetro. La columna de agua fue fraccionada en dos estratos; el primer estrato de superficie a 10 m y el segundo estrato de 10 a 20 m de profundidad (se recolectó una muestra por estrato).

Análisis de fitoplancton

- Análisis cualitativo:** se utilizaron microscopios ópticos de campo luminoso, a 100x y 400x, dotados con condensador de contraste de fase y equipo de epifluorescencia. Se estimó la abundancia relativa para las siguientes especies: *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, para lo cual se contabilizó el número de células en una alícuota de 0,1 ml tomada desde una muestra sedimentada, bajo un cubre-objeto de 18 x 18 mm (3 réplicas). Sin perjuicio de lo anterior, se identificaron todas las



microalgas contenidas en la muestra al nivel de especie, y en los casos que no fue posible hasta el menor nivel taxonómico.

ii. Análisis cuantitativo: las muestras fueron contabilizadas a nivel específico en cámaras de sedimentación, cuyo volumen fue seleccionado de acuerdo a la concentración de la muestra. La cámara más utilizada fue la de 10 ml. Para el recuento celular se aplicó la técnica de [Utermöhl \(1958\)](#), en microscopios invertidos complementados con equipo de contraste de fase.

iii. Análisis en taxones emergentes: Tanto en las muestras cualitativas como en las cuantitativas se puso especial atención a taxones de los géneros *Karenia*, *Pseudochattonella* u otras especies nocivas, no obstante que las primeras sólo pueden ser detectadas en sectores con mayor influencia del océano Pacífico, y las segundas, con muchas limitaciones dado que las muestras que se observaron en su mayor parte serán muestras preservadas (formalina, lugol).

Los resultados tanto cualitativos como cuantitativos tanto de las especies nocivas como las que componen el fitoplancton, son entregados con las unidades de medición correspondientes, indicando su presencia o en escalas de abundancia relativa según lo indicado para cada especie, y en unidades de densidad para resultados cuantitativos. Estos resultados son entregados por estación y crucero, según corresponda por sector de muestreo.

- **Actividad n°3:** Recolectar información hidrográfica (e.g. temperatura, salinidad, fluorescencia, oxígeno, nutrientes) y meteorológica (e.g. temperatura, nubosidad, viento) en cada una de los transectos y las estaciones de monitoreo de las 5 regiones.

Recolección de datos hidrográficos y meteorológicos

A través de sensores electrónicos (CTD-OF), en cada estación de monitoreo (ver **Tabla A**) se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia (como *proxy* de clorofila-a) de la columna de agua hasta la máxima profundidad que permitió la batimetría de cada estación. Cada equipo cuenta con un certificado de calibración que resguarda la calidad de la información recopilada.

La caracterización de las condiciones hidrográficas de la macro-región durante el periodo de estudio fue abordada a través de gráficos elaborados con el programa Ocean Data View (ODV; versión 5.1.7). Se elaboraron dos tipos de gráficos: a) superficiales; donde se muestra el valor del primer registro de la variable analizada para cada sitio de muestreo, y b) secciones verticales (profundidad, latitud), para caracterizar la columna de agua. Para ambos tipos de gráficos se utilizó una interpolación DIVA, la cual viene incorporada dentro del programa ODV.



Registros diarios de velocidad (m/s) y dirección (°) del viento, temperatura del aire (°C) y precipitación (mm) fueron obtenidos desde seis estaciones meteorológicas de registro automático pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile y a la Dirección General de Aeronáutica Civil (D.G.A.C) (www.meteochile.cl). La ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas analizadas es presentada en la **Figura 1.3.29**. Cada estación se compone de un registrador de datos electrónico ("datalogger"); la energía para su funcionamiento es provista por una batería de 12 V, que es recargada en forma automática a través de un panel solar. Las características de las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente informe se muestran a continuación:

Nombre	Región	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)
Carriel Sur, Concepción Ap.	Del BíoBío	-36.780554	-73.066388	13 m
Maquehue, Temuco Ad.	De La Araucanía	-38.767777	-72.631943	86 m
Pichoy, Valdivia Ad.	De Los Ríos	-39.656666	-73.087221	18 m
Cañal Bajo, Osorno Ad.	De Los Lagos	-40.614444	-73.057500	61 m
El Tepual, Puerto Montt Ap.	De Los Lagos	-41.447499	-73.095833	87 m
Melinka Ad.	Aysén del Gral. Carlos Ibañez del Campo	-43.897777	-73.739444	8 m

El análisis de datos contempló la construcción de series de tiempo para cada variable analizada desde Noviembre de 2018 hasta Diciembre de 2019. Posteriormente, se calculó la Rosa de Vientos para cada estación meteorológica. Los vientos son interpretados de acuerdo a la norma meteorológica, es decir, desde donde provienen.

Finalmente, se calculó el Índice de Surgencia (IW_x [$m^3 s^{-1}$]; Transporte de Ekman Horizontal) como sigue:



$$lw_x = T_y / f$$

Donde,

T_y = estr3s meridional del viento = $\rho_a * C_d \sqrt{(u^2+v^2)} * v \Rightarrow \rho_a$ corresponde a la densidad del aire (1.22 Kg m^{-3}); C_d corresponde al coeficiente de arrastre (0.0013); u, v corresponden a las componentes zonal y meridional del viento, las cuales fueron obtenidas a trav3s de la descomposici3n vectorial del viento, como sigue:

$$u = \text{Vel} \times \sin(\text{Dir})$$

$$v = \text{Vel} \times \cos(\text{Dir})$$

Donde; u = Componente zonal (Este-Oeste) del vector viento (m/s). Si su valor es positivo (negativo), el flujo es Este (Oeste), v = Componente meridional (Norte-Sur) del vector viento (m/s). Si su valor es positivo (negativo), el flujo es Norte (Sur), Vel = Magnitud de la velocidad del viento (m/s), Dir = Direcci3n del viento ($^\circ$).

f = par3metro de Coriolis = $2 \Omega \sin \Phi \Rightarrow \Omega$, corresponde a la velocidad angular de la tierra, y Φ a la latitud.

Adem3s, en todos los puntos de muestreo, se registraron las condiciones meteorol3gicas al momento de efectuar el muestreo. Este contempl3 la medici3n de temperatura del aire y rapidez del viento mediante termo-anem3metro digital, a resguardo de lluvia y radiaci3n solar para efectuar la toma de temperatura, y registrando 5 valores minuto a minuto para calcular un promedio de la rapidez del viento y el uso de un comp3s de navegaci3n para registrar su direcci3n; la presi3n atmosf3rica se midi3 mediante un GPS; Nubosidad, mediante la divisi3n de la b3veda celeste en octavos. La posici3n de cada estaci3n fue referenciada geogr3ficamente utilizando equipos GPS bajo el Datum WGS84.

Recolecci3n de muestras y an3lisis para nutrientes

Las muestras para estimar la concentraci3n de nutrientes en la columna de agua fueron recolectadas las estaciones de muestreo de cada una de las transectas de las regiones consideradas en este



estudio (**Tabla A**). En cada sitio de muestreo, se recolectaron dos muestras, una correspondiente al estrato superficie – 10 m de profundidad y otra, referida al estrato 10 - 20 m de profundidad. Las muestras fueron recolectadas de la misma forma que se utiliza para la toma de muestras para el fitoplancton cuantitativo (muestreo integrado por estrato mediante manguera). Las muestras fueron filtradas y conservadas en botellas asépticas de polietileno de alta densidad y congeladas hasta su análisis a -20°C. Los nutrientes considerados son nitrato, nitrito, fosfato y silicato. El análisis se realizó mediante autoanalizador de nutrientes y las técnicas aplicadas, en el caso de los nitritos y nitratos, está basado en el Nitrate Standard Methods y en el DIN/ISO Standards for automatic nitrate measurements mientras que, para los fosfatos se utilizó el método de [Murphy and Reley \(1962\)](#) y para los silicatos se estimaron usando el método descrito por la [COI-UNESCO \(1983\)](#).

4.2 Metodología objetivo específico 2.

Prospectar quistes de especies nocivas en sedimentos en estaciones selectas de la red de sitios de monitoreo.

Para el estudio de quistes de resistencia de dinoflagelados nocivos se dispuso de dos campañas destinadas a la obtención de muestras de sedimento superficial en estaciones ubicadas en la costa centro-sur del país. La primera campaña se llevó a cabo en el mes de junio (entre fines de otoño y principios de invierno) donde se obtuvo un total de 49 muestras de sedimento mediante una draga Van Veen. Durante la segunda campaña, la cual se desarrolló en el mes de diciembre (fines de primavera), se obtuvo un total de 33 muestras de sedimento superficial mediante una draga Van Veen y/o un muestreador de fondo KC Haps Corer. Esta última campaña estuvo marcada por malas condiciones de navegación que impidieron la obtención de más muestras.

Para la búsqueda de quistes se consideraron principalmente los tipos de sedimentos más apropiados, siendo éstos, sedimentos finos tipo limo-arcilla y arenas finas. No obstante, otros tipos de sedimento fueron también considerados (i.e. arenas medias y gruesas) cuando no fue imposible obtener los más idóneos. Los sitios estudiados en las campañas de junio y diciembre (fines de otoño-principio de invierno, y fines de primavera, respectivamente) se encuentran distribuidos entre las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Las muestras recolectadas durante el mes de junio corresponden al crucero 6 del monitoreo y las recolectadas en diciembre al crucero 12.

Para la obtención y el almacenamiento de las muestras se utilizó un frasco cilíndrico de 3 cm de boca con tapa y contratapa, recogiendo el material depositado sólo en los tres primeros centímetros de sedimento recolectado por la draga y/o el Haps Corer en cada sitio. Las muestras no fueron fijadas.



Los frascos fueron envueltos con papel aluminio para evitar la entrada de luz y se mantuvieron a baja temperatura ($\sim 4^{\circ}\text{C}$) para evitar la germinación de los quistes. Todos los frascos fueron enrasados con agua de mar del sector para evitar que quedara aire en su interior.

El procesamiento de las muestras de sedimento se realizó utilizando como base el método biológico de limpieza y concentración de quistes descrito por [Matsuoka y Fukyo \(2000\)](#). Este método consiste en mezclar una cantidad conocida de sedimento con agua de mar filtrada, para luego aplicarle ultrasonido con la finalidad de disgregar todas las partículas de la muestra, entre ellas los quistes. Posteriormente, la muestra es tamizada a través de mallas de $100\ \mu\text{m}$ y $20\ \mu\text{m}$, y la fracción retenida en el tamiz de $20\ \mu\text{m}$ se recoge con agua de mar y se lleva a un contenedor de vidrio graduado anotando su volumen final. De este volumen, una alícuota se analiza en una cámara Sedgwick Rafter de 1 mL bajo aumentos de 100x y 400x utilizando un microscopio de luz equipado con contraste de fases y cámara digital. Los resultados son entregados como abundancia de quistes (quistes $\times\ \text{mL}^{-1}$ de sedimento húmedo (sh)) de dinoflagelados nocivos.

La identificación de los quistes se realiza en base a sus características morfológicas, tales como, forma, tamaño, color, tipo de pared, ornamentaciones y arqueópilo (estructura por donde emerge la célula al germinar) usando material de referencia recolectado en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, además de publicaciones especializadas (e.g. [Mertens et al., 2012, 2019](#); [Zonneveld y Pospelova, 2015](#); [Liu et al., 2015](#); [Mudie et al., 2017](#)). Especial atención se tiene con los quistes del género *Alexandrium*, con énfasis en las especies *A. catenella* y *A. ostenfeldii*.

4.3 Metodología objetivo específico 3.

Continuar con el análisis interpretativo de los datos a recolectar desde noviembre de 2018 a diciembre de 2019, incorporando la información generada a partir de la Etapa I del proyecto (enero – octubre 2018), segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables biológicas y abióticas disponibles, incluyendo los resultados sobre quistes de dinoflagelados.

El análisis de la información consideró una revisión y validación de los datos, y luego homologación, cuando fue necesario, de las bases de datos entre regiones. Además, el análisis consideró el comportamiento espacio-temporal de variables hidrográficas relevantes como la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu), oxígeno (mL/L) y fluorescencia (mg/m^3) de la columna de agua a 5 metros de profundidad, coincidiendo con el promedio del estrato superficial de muestreo de las variables biológicas (0 – 10 metros), mientras que las variables meteorológicas seleccionadas fueron temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), nubosidad (8vos), presión barométrica (mba), dirección (grados) y velocidad del viento (m/s), además de los nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato y silicato (μM)) y su relación con las



variaciones de la abundancia del fitoplancton total y taxones nocivos específicos, además del comportamiento las biotoxinas marinas.

Para la validación de la base de datos, la información fue organizada en archivos correspondiente a cada una de las etapas del Programa (Etapa I, desde enero de 2018 a octubre de 2018 y Etapa II, desde noviembre de 2018 a diciembre de 2019), ordenando de forma separada la información de las cinco regiones administrativas y separando cada una de las variables consideradas en el programa.

Para confeccionar la base de datos, se comenzó por ordenar las estaciones de muestreo para cada región de modo de obtener una plantilla única de estaciones por región (**Anexo 1, Base de Datos**).

Con esta plantilla, común para cada etapa de monitoreo por región y corrección de códigos y topónimos de los lugares de muestreo, se añadió la información en las columnas siguientes con respecto a: fitoplancton (cualitativo y cuantitativo), variables oceanográficas y meteorológicas, nutrientes, toxicidad por veneno paralizante, veneno amnésico y veneno diarreico (lipofílicas) con la finalidad de responder la pregunta asociada a este objetivo.

Con el objetivo de continuar con el análisis de la base de datos y en base a los resultados obtenidos en la Etapa I de este programa de monitoreo, referente a la existencia de configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total (esto en términos de densidad: cél/L), el cual informó el periodo comprendido entre enero 2018 hasta octubre de 2018, se realizaron nuevos análisis exploratorios multivariantes incluyendo los datos generados durante la presente etapa de monitoreo, comprendida entre noviembre de 2018 y diciembre de 2019. El objetivo de estos análisis exploratorios, en los que se considera la ordenación y clasificación de las distintas variables de estudio, fue visualizar los patrones de distribución del conjunto de datos biológicos y ambientales y las posibles relaciones entre estos conjuntos de datos.

Para ello, se realizó un análisis completo de los datos disponibles, tendiente a identificar características y patrones respecto a la distribución espacial y temporal de los ensambles fitoplanctónicos considerando en forma independiente también a las especies de microalgas nocivas monitoreadas. Posteriormente, estos patrones generales, fueron contrastados con las distintas variables ambientales (meteorológicas e hidrográficas) y biológicas (abundancia relativa y fitoplancton total) registradas por el programa. Para ello, se realizaron análisis exploratorios integrados de la información disponible (análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, análisis de escalamiento multidimensional (MDS), relaciones entre variables biológicas y ambientales, entre otros) tendientes a evaluar las relaciones entre las variables de la base de datos, considerando toda el área de estudio, las regiones administrativas y sectores dentro de cada región. Estos análisis se realizaron con el programa PRIMER ("Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research"). Los conglomerados representados en los dendrogramas significativamente diferentes, fueron identificados mediante el análisis SIMPROF ("SIMilarity PROFile" o perfiles de similaridad) (cf. [Clarke y Gorley 2006](#), [Clarke et al., 2008](#)), el cual calcula rangos de los "perfiles de similaridad" entre muestras y determina la



significancia estadística de cada conglomerado individual del dendrograma usando técnicas de permutaciones. El nivel de significancia empleado fue de 5%.

Para evaluar la relación entre las variables ambientales y el fitoplancton total y el fitoplancton nocivo, los datos fueron analizados en cuatro fases sucesivas

Los datos oceanográficos utilizados fueron la transparencia del agua (metros) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (psu), densidad (kg/m^3), fluorescencia ($\mu\text{g/L}$) y oxígeno (mg/L) a la profundidad de 5 metros, coincidiendo con el promedio del estrato superficial de muestreo de las variables biológicas (0 – 10 metros), las variables meteorológicas seleccionadas fueron temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), nubosidad (8vos), presión barométrica (mba), dirección (grados), velocidad del viento (m/seg) y luz (lux), además de las concentraciones de nutrientes, nitrato (μM), nitrito (μM), fosfato (μM) y silicato (μM), obtenidos desde el estrato entre 0 y 10 metros. Estos datos ambientales fueron dispuestos en una matriz para cada una de las estaciones y fechas de muestreo.

Estas variables ambientales fueron representadas en un gráfico de Draftsman, que consiste en realizar una matriz de gráficos en que las variables se representan enfrentadas por pares, de modo que se pueden visualizar sus relaciones aparentes dos a dos. Este gráfico se utilizó para detectar las variables altamente correlacionadas, que, en conjunto con el cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson por pares de variables, permitieron eliminar de los análisis posteriores altamente correlacionadas. Debido a las distintas escalas de las variables ambientales estas fueron normalizadas para tener escalas comparables (adimensionales). Con estas variables se aplicó un análisis de conglomerados entre las estaciones de muestreo, pero usando como índice la distancia euclidiana, reducción de la matriz mediante el método del par promedio ponderado y luego la representación mediante un dendrograma, además de un análisis de ordenación con escalamiento multidimensional no métrico (nMDS). La interpretación de estos gráficos depende de cuán buena es la representación de las similitudes reales; es decir el valor de stress indica la bondad de ajuste de ésta ([Holland, 2008](#)). Valores cercanos a cero son los que indican una mejor representación de los datos. Bates (2008) entrega la siguiente clasificación: 0.0= ajuste ideal; 0.1= buen ajuste; 0.2= ajuste aceptable; 0.3 y más= mal ajuste. Por su parte [Clarke \(1993\)](#), sugiere que valores del stress $<0,1$ corresponden a buenas ordenaciones y valores $<0,2$ dan una interpretación de los datos potencialmente útil.

A partir de los datos de densidad del fitoplancton, se ordenó la matriz con los datos de cada fecha y estación de monitoreo. Posteriormente, los datos fueron transformados, aplicándoles raíz cuadrada para minimizar el efecto de las especies dominantes. A esta matriz se aplicaron los análisis de conglomerados usando como índice de similitud Bray–Curtis, representando en dendrogramas y un nMDS y un Análisis de Componentes Principales (PCA) para evaluar la variación del conjunto de datos biológicos, en nuestro caso representado por la composición fitoplanctónica términos de densidad (células L^{-1}) en función del conjunto de datos ambientales.



Por último, siguiendo la rutina BIOENV (Biological–Environmental) se llevó a cabo un procedimiento BEST (Bio – Env + STepwise) (Clarke y Warwick, 2001). Éste permite examinar en qué medida los patrones de las variables ambientales se relacionaban con el patrón de las variables biológicas observadas. Mediante este método se pudo establecer cuál fue la combinación de variables ambientales que conformó el patrón de mayor ajuste a la ordenación biológica, lo que se determinó mediante el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (no paramétrico) entre las dos ordenaciones

A partir de la abundancia relativa de 7 especies nocivas (*Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*, *Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata* y *Protoceratium reticulatum*), se ordenó la matriz con los datos de cada fecha y estación de monitoreo. Posteriormente, los datos fueron transformados, aplicándoles raíz cuadrada para minimizar el efecto de las especies dominantes. Se aplicó un análisis de conglomerados usando como índice de similitud Bray–Curtis, representando en dendrogramas y un nMDS.

4.4 Metodología objetivo específico 4.

Continuar con la difusión periódica de la información recolectada por el programa orientada a la autoridad y a todo público.

En esta Etapa II del proyecto se continuó con el formato de entrega de información desarrollada durante la Etapa I (2018), la cual incorporó una modalidad de distribución de la información, particularmente en lo que se refiere a los estimadores de abundancia relativa, sin perjuicio de la inclusión de otras variables que son registradas en el desarrollo del programa. Se privilegiaron dos públicos objetivo, el representado por las autoridades de Salud y de Pesca-Acuicultura, colectivo en el cual se incluyen también los especialistas y profesionales con entrenamiento superior interesados en el tema de las floraciones de algas nocivas y toxinas marinas, y el Público en general. Respecto de los primeros, interesa que sean de conocimiento rápido y simple los estimadores de abundancia relativa. Se representaron gráficamente los estimadores, tanto para dimensionar los cambios temporales, pero también para apreciar la distribución espacial. Por lo mismo el SIG del proyecto, y la página WEB institucional y la aplicación para teléfonos celulares I-FAN, tienen un acceso simple para disponer periódicamente de esta información. Para todo público, se distribuyó la información al menos por Twitter y Facebook, de una manera resumida y sintética a fin de que las personas puedan formarse una idea cabal de la distribución y abundancia de las microalgas nocivas. En una primera etapa se les otorgó difusión exclusiva a las estimaciones de abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, evaluándose la pertinencia de segregar por sector geográfico y/o presentación global de la información abarcando toda el área de estudio. En la distribución de la información siempre tuvo prioridad la autoridad pertinente, además que los antecedentes serán entregados en un formato más instructivo que aquel que se utilice para todo público. Esto último básicamente para simplificar la complejidad del



mensaje cuando está dirigido a personas no entrenadas pero que requieren antecedentes respecto de lo que ocurre en su entorno.

4.5 Metodología objetivo específico 5.

Realizar un taller de presentación de resultados, sin perjuicio de comprometer la presentación de trabajos indistintamente en seminarios, congresos, conferencias, simposios y/o publicación de artículos científicos.

Estará orientado a la difusión y discusión de los resultados obtenidos entre enero y diciembre de 2019, con la participación de todos los investigadores y técnicos integrantes del grupo de trabajo de este estudio, además de la concurrencia de especialistas de centros de investigación del sistema universitario y profesionales ligados al tema de las floraciones de algas nocivas y toxinas marinas. El taller de cierre del proyecto se realizará en la ciudad de Puerto Montt durante el lapso formal del periodo del proyecto, actividad que quedará reflejada en el informe final del proyecto. Además, se realizará, a lo menos un taller, fuera del periodo formal del proyecto, en la ciudad de Concepción. Para ambas instancias se evaluará contar con una conexión vía streaming. Estos talleres están orientados a profesionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, del Ministerio de Salud y de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.



5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se presentan los resultados y discusiones por objetivo específico:

5.1 Objetivo específico 1.

- **Actividad n°1:** Vigilar las variaciones espacio temporales del TPM, TDM y TAM en mariscos centinela en una red de estaciones representativa de los sectores que comprende este monitoreo.

Los resultados asociados a este objetivo corresponden a los valores cuantitativos en el caso de TPM y TAM, y valores cuantitativos, positivos o negativos, para el caso del TDM. Los resultados se entregan por región, crucero y estación de muestreo.

Para las cuatro regiones administrativas se entrega la información disponible desde el crucero 11 (2018) al crucero 12 (2019), correspondientes a los meses de entre noviembre de 2018 y diciembre de 2019. (**Anexo de Datos 1**)

Toxinas Paralizantes

Para todas las estaciones distribuidas desde las regiones del Biobío hasta Los Lagos, no se detectaron toxinas paralizantes a través del Bioensayo de Ratón (**Tablas 1.1.1 a 1.1.4**). Sin embargo, a través del análisis de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) (**Tablas 1.1.5 a 1.1.8**), dos análogos de toxinas paralizantes fueron detectados, en algunas muestras de la región del Biobío, y principalmente en la región de Los Lagos. Las concentraciones encontradas fueron muy bajas, lo que explicaría los resultados negativos por el Bioensayo del Ratón, ya que es una metodología mucho menos sensible.

En la región del Biobío (**Tabla 1.1.5**) no se detectó la presencia de ningún análogo de toxina paralizante desde el crucero 11 (2018) hasta el crucero 10 (2019), pero en los cruceros 11 y 12 del 2019, se detectó en la totalidad de las estaciones GTX2 y GTX3. Las concentraciones obtenidas son muy bajas con valores que varían desde traza ($T = <0,01 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$) a $0.002 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ para GTX2, y desde traza ($T = <0,01 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$) a $0.009 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ para GTX3. Como parte del montaje de la técnica de detección de toxinas paralizantes por HPLC MS/MS, se analizaron las 4 muestras del crucero 11 (datos no mostrados), con resultados muy similares, pero además se detectó a nivel de traza la presencia de SXT, lo que podría deberse a la mayor sensibilidad que tiene esta metodología.

En la región de Los Ríos (**Tabla 1.1.8**) se detectó GTX2 y GTX3 en casi todas las estaciones. Bahía Mansa fue la única estación que no dio positivo en ningún crucero. Pese a que las otras estaciones dieron positivo a los dos análogos en algunos cruceros, la concentración obtenida fue siempre baja,



con niveles que variaron desde traza ($T = <0,01 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$) a $0.06 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ para GTX2, y siempre traza ($T = <0,01 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$) para GTX3.

A diferencia de los perfiles de toxinas paralizantes de los cruceros anteriores (desde enero a octubre 2018), estuvieron ausentes los análogos GTX1-4 y carbamoil C1 y C2.

Los resultados positivos GTX 2 y 3 puede deberse a que estén presentes *Alexandrium catenella* o *Alexandrium ostenfeldii*. De hecho, en una cepa de *A. ostenfeldii* aislada de la región del Biobío (datos no mostrados), se pudo observar la presencia de GTX2, GTX3, GTX5, C2 y SXT. Estos resultados se obtuvieron con las dos metodologías, HPLC tradicional y HPLC MS/MS. El análogo que se obtuvo en mayor proporción fue GTX3 (alrededor de 81%), seguidos por GTX5 (11% aprox), SXT (4 % aprox), GTX2 (2% aprox) y C2 (2% aprox).

Cabe mencionar que los casos positivos obtenidos de las muestras fueron siempre muy bajos, concentraciones que en ningún caso ponen en riesgo la salud humana.

Los resultados preliminares que se han obtenido con los ensayos utilizando la metodología de HPLC MS/MS, son muy prometedores, por lo que prontamente se estará en condiciones de implementar de forma rutinaria.

Toxinas Lipofílicas y Ácido Domoico.

Se presentan los resultados de los puntos de muestreos realizados en 2 cruceros realizados el 2018 (11 y 12) y 12 cruceros realizados el 2019 (1 al 12). En las tablas solo se presentan los resultados que fueron positivos para algún analito por HPLC MS/MS (**Tablas 1.1.9 a 1.1.12**) en las tablas se incluyen los resultados de TDM realizados mediante el bioensayo de ratón, porque hay muestras positivas.

En la región de Biobío (**Tabla 11.9**) hasta el crucero 10, no se detectó la presencia de GYM en ninguna muestra, cabe destacar que el límite de detección calculado instrumentalmente para GYM fue de 0.2 ng mL^{-1} equivalente a 2 ng g^{-1} . En dos muestras del crucero 9 fue posible detectar DA, pero con valores muy bajos, de 0.3 ug/g . El límite de detección calculado instrumentalmente para DA fue de 2.9 ng mL^{-1} (eq. 29 ng g^{-1}). Estos resultados son similares a los obtenidos en el informe final de la Etapa 1 del proyecto, dónde en 10 cruceros sólo fue posible detectar la presencia de GYM en dos muestras. En el crucero 11 del 2019, se pudo determinar la presencia de PTX2, toxina que no había sido observada en ninguna muestra anterior de la presente etapa del proyecto, ni de la anterior. El rango de concentración obtenido fue bajo, varía de $<LC$ a 54 ng g^{-1} . En el crucero 12 del 2019, no se observa PTX2, pero todas dan positivo a GYM ($<LC$), y dos dan positivo además a DA y SPX1 (ambos $<LC$). Sin embargo, los resultados de TDM entregados por el Servicio de Salud, muestran 19 resultados positivos (con muerte de los ratones entre 17 y 23 horas post inyección, sin signos característicos) de un total de 56 muestras. Es decir, se informa casi un 34 % de resultados positivos, que de acuerdo a los resultados realizados por HPLC MS/MS serían falsos positivos.



En la región de la Araucanía (**Tabla 1.1.10**) no se detectó la presencia de DA. Sin embargo, en todas las muestras se detectó la presencia de GYM, pero con niveles muy bajos, inferiores al estándar más bajo utilizado (3 ng mL^{-1}), equivalente a 30 ng g^{-1} . Estos resultados son parecidos a los obtenidos en los 10 cruceros informados en el informe final de la Etapa 1. Todas las muestras son negativas a TDM en el ensayo de ratón, lo que seguramente se debe a que los niveles de GYM obtenidos por HPLC MS/MS son muy bajos como para dar un resultado positivo en el bioensayo del ratón.

En la región de Los Ríos (**Tabla 1.1.11**) los resultados obtenidos de GYM al igual que en las dos regiones anteriores son similares a los obtenidos en el informe final de la Etapa 1, con prácticamente todas las muestras positivas, pero con concentraciones muy bajas ($< \text{LC}$). Una muestra fue informada como positiva a TDM por el Servicio de Salud, pero lo más probable es que sea un falso positivo, ya que el tiempo de muerte de los ratones es de 23 horas, sin sintomatología característica. Una muestra dio positiva a DA, pero con un nivel de 0.6 ug/g , lo que es muy bajo.

En la región de los Lagos (**Tabla 1.1.12**) en las estaciones MPLT- 3 y 4 fueron positivas a GYM en casi todos los cruceros, siendo ND solo en el crucero 3 del 2019. En cuanto a DA, las mismas estaciones fueron positivas (concentraciones entre 0.2 y $0.64 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$) en los primero tres cruceros (crucero 11-2018 al 1-2019). El crucero 2-2019, se detectó DA en la estación Bahía Mansa, y no se detectó en la estación de Playa Brava. En todos los restantes cruceros, solo fue posible detectar DA en la estación de Carelmapu del Crucero 11 del 2019 ($0.64 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$). Varias muestras son informadas como positivas a TDM, pero al igual que en las otras estaciones, es probable que sean falsos positivos, ya que la única muestra informada con sintomatología característica, es ND en el análisis de HPLC MS.

Los resultados positivos GYM, puede deberse a que estén presentes *Karenia selliformis* o *Alexandrium ostenfeldii* (Stivala et al., 2015). GYM ya fue detectada en las costas del Pacífico entre Temuco y Aysén (Trefault et al., 2011), y al igual que nosotros en concentraciones muy bajas. Del mismo modo SPX1 podría ser producto de la presencia de *Alexandrium ostenfeldii*.

Los resultados informados como positivos a TDM, son probablemente falsos positivos, ya que los únicos resultados positivos en los ensayos de toxinas lipofílicas por HPLC MS/MS son GYM, SPX1, DA o PTX2, pero todos con niveles muy bajos, que con seguridad no pueden causar la muerte de los ratones. En todo caso, no hay que perder de vista que la forma en que se utiliza el espectrómetro de masas (MRM: Multi Reaction Mode) sólo se puede detectar lo que uno está midiendo con el equipo, por lo que siempre está la posibilidad que esté la presencia de alguna otra toxina no regulada.

Los resultados positivos a DA en las regiones del Biobío, los Ríos y Los Lagos puede deberse a que en las épocas en que fue detectado (primavera-verano) estén presentes en mayor concentración diatomeas del género *Nitzschia* o *Pseudo-nitzschia*. Los resultados positivos a PTX2, pueden deberse a la presencia de *Dinophysis acuminata*. Es importante señalar que, con la metodología de HPLC tradicional, realizado por el Laboratorio del Servicio de Salud y por el laboratorio de IFOP en Punta Arenas, no se detectó la presencia de DA en ninguna de las muestras, lo que es debido a que la



metodología por HPLC MS/MS es mucho más sensible.

- **Actividad n°2:** Conocer la abundancia, composición y distribución espacio-temporal de las especies nocivas: *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, además de las especies que componen el fitoplancton total en la red de estaciones de estudio.

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los 14 cruceros efectuados en las cinco regiones de estudio entre los meses de noviembre de 2018 y diciembre de 2019. Los datos resultantes del monitoreo en la red de estaciones: análisis del fitoplancton cualitativo y abundancia relativa de las especies nocivas y registro de variables oceanográficas, se encuentran en **Anexo 1, Base de datos**.

Abundancia relativa especies nocivas: Los resultados de abundancia relativa en cada una de las regiones estudiadas se presentan desde la **Tabla 1.2.1 hasta la Tabla 1.2.21**. Para los 14 cruceros considerados se identificaron cinco especies nocivas de dinoflagelados (*Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum*) y dos especies de los complejos (*Pseudo-nitzschia* cf. *australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*).

Alexandrium catenella*:** En general, se observó que la distribución temporal de esta microalga tuvo presencia en 13 de las 14 campañas realizadas, estando solo ausente durante el crucero 3 (marzo-abril), sin embargo, los niveles de abundancia relativa son bajos, moviéndose entre el Nivel 0 (Ausente) y el Nivel 3 (Regular) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que el Nivel 3 de abundancia relativa sólo se presentó en la región de Los Lagos (**Tabla 1.2.20**) y durante los cruceros 6 (junio 2019) y N°7 (julio 2019) en la transecta de Caleta Zorra, y en el crucero 10 (octubre) en las transectas de Estaquilla, Carelmapu, Chepu y Caleta Zorra. La cobertura espacial de ***A. catenella fue del 12,8% en la macrozona durante el proyecto.

Nota: Entiéndase también para los comentarios de esta y de las otras especies nocivas, que cuando nos referimos a cobertura espacial, queremos explicar la relación en porcentaje del: **N° de estaciones con presencia de la especie / N° total de estaciones muestreadas**.

***Alexandrium ostenfeldii*:** En general, se observó una importante distribución temporal de esta microalga, con presencia en las 14 campañas realizadas, mostrando niveles de abundancia relativa que van desde el Nivel 0 (Ausente) al Nivel 9 (Mega Abundante) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que el Nivel 9 de abundancia relativa sólo se presentó en la región del Biobío (**Tablas 1.2.3 y 1.2.4**) y durante los cruceros 2 (febrero 2019) en las estaciones de 2 millas de las transectas de Tubul y Llico, y crucero 10 (noviembre 2019) en la estación de 2 millas de la transecta de Coliumo. Es preciso señalar que el Nivel 8 (Ultra Abundante) de



abundancia relativa también se observó solamente en la región del Biobío. La cobertura espacial de **A. ostenfeldii** fue del 79,2% en la macrozona durante esta Etapa del proyecto.

Dinophysis acuminata: En general, se observó una importante distribución temporal de esta microalga, con presencia en las 14 campañas realizadas, mostrando niveles de abundancia relativa que van desde el Nivel 0 (Ausente) al Nivel 10 (>Mega Abundante) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que el Nivel 10 de abundancia relativa sólo se presentó en la región del Biobío (**Tabla 1.2.2**) durante los cruceros N°10 (noviembre 2019) en las estaciones de Tubul 2 millas y Coliumo 5 millas, crucero 11 (noviembre 2019), en la mayoría de las estaciones de las transectas de Coliumo, Colcura y Tubul, y crucero 12 (diciembre 2019), en la estación de 5 millas y 10 millas de la transecta de Colcura y la estación costa de Tubul. Es necesario señalar que si bien los niveles de abundancia relativa entre 3 (Regular) y 9 (Mega Abundante) se observaron principalmente en las regiones del Biobío y Los Lagos (**Tabla 1.2.18**), se detectó esta especie en prácticamente todas las estaciones de monitoreo, con bajas diferencias temporales, durante varios cruceros en las distintas regiones de estudio. Lo que indica, que esta microalga es cosmopolita y las floraciones pueden ocurrir bajo distintas condiciones oceanográficas. La cobertura espacial de **D. acuminata** fue del 89,9% en la macrozona durante el proyecto.

Dinophysis acuta: En general, se observó que la distribución temporal de esta microalga tuvo presencia en solo 6 de las 14 campañas realizadas, con niveles de abundancia relativa bajos, en un rango entre el Nivel 0 (Ausente) y el Nivel 2 (Escaso) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que esta especie sólo estuvo presente en la región de Los Lagos (**Tabla 1.2.20**) y la región de Aysén (**Tabla 1.2.21**), registrando el Nivel 2 de abundancia relativa únicamente durante el crucero 12 (diciembre 2018) en la estación C. Tuamapu 2 millas. La cobertura espacial de **D. acuta** fue bajo con un 1,3% en la macrozona durante el proyecto.

Protoceratium reticulatum: En general, se observó una importante distribución temporal de esta microalga, con presencia en las 14 campañas realizadas, sin embargo, los niveles de abundancia relativa son bajos, en un rango entre el Nivel 0 (Ausente) y el Nivel 3 (Regular) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que el Nivel 3 de abundancia relativa sólo se presentó en la región de Los Lagos (**Tabla 1.2.20**) y durante los cruceros 11 (noviembre 2018) en la estación Faro Corona 2 millas y crucero 2 (febrero 2019) en la estación Caleta Zorra 5 millas. La cobertura espacial de **P. reticulatum** fue del 9,5% en la macrozona durante el proyecto.

Pseudo-nitzschia cf. australis: En general, se observó una importante distribución temporal de esta microalga, con presencia en las 14 campañas realizadas, mostrando niveles de abundancia relativa que van desde el Nivel 0 (Ausente) al Nivel 8 (Ultra Abundante) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que el Nivel 8 de abundancia relativa sólo se presentó en la región de La Araucanía (**Tabla 1.2.6**) durante el crucero 12 (diciembre 2019) en la estación Nehuentúe 10 millas. La cobertura espacial de **Pseudo-nitzschia cf. australis** fue del 82,1% en la macrozona durante el proyecto.



Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima: Para esta diatomea también se observó una importante distribución temporal, con presencia en las 14 campañas realizadas, mostrando niveles de abundancia relativa que van desde el Nivel 0 (Ausente) al Nivel 9 (Mega Abundante) durante el periodo de estudio. En cuanto a la distribución espacial, podemos señalar que el Nivel 9 de abundancia relativa sólo se presentó en la región de La Araucanía (**Tabla 1.2.5**) durante el crucero 12 (diciembre 2019) en la estación Nehuentúe 10 millas. Así entonces, podemos señalar que esta especie presenta una distribución espacio temporal bastante similar a lo descrito para *Pseudo-nitzschia cf. australis*. La cobertura espacial de ***Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*** fue del 84,1% en la macrozona durante el proyecto.

Fitoplancton cuantitativo: El detalle de la distribución espacio-temporal del fitoplancton cuantitativo total (cél/L), se muestra informa en los resultados asociados al objetivo específico 3.

- **Actividad n°3**: Recolectar información hidrográfica (e.g. temperatura, salinidad, fluorescencia, oxígeno, nutrientes) y meteorológica (e.g. temperatura, nubosidad, viento) en cada una de los transectos y las estaciones de monitoreo de las 5 regiones.

Recolección de datos hidrográficos y meteorológicos

Las condiciones hidrográficas superficiales registradas con CTD-OF para la macro-región de estudio (36° - 44°S) durante los cruceros 11,12 (noviembre - diciembre 2018) y 1 al 12 (enero a diciembre 2019), son presentadas en las **Figuras 1.3.1 a 1.3.14**. Cada figura muestra por crucero las mediciones de Temperatura (°C), Salinidad (PSU), Oxígeno (ml/L) y Fluorescencia (mg/m³). (**Anexo 1 Base de datos**)

En términos generales, se puede observar que durante el periodo estudiado (mediados de primavera 2018 hasta finales de primavera 2019) la zona costera (primeras 10 millas) entre 36° - 44°S se presenta heterogénea para todas las variables, sin presentar un claro gradiente latitudinal. Debido a lo anterior, la caracterización de las condiciones hidrográficas superficiales será realizada por región geográfica.

1) **Región del Biobío (~36° - 38,48°S)**: Esta región fue abordada a través de mediciones realizadas en 4 transectos ubicados (de norte a sur) en los sectores de: Bahía Coliumo, Bahía Colcura, Bahía Tubul y Bahía Llico. La temperatura en esta región oscila mensualmente, presentando valores entre 14° y 15 °C durante noviembre y diciembre (cruceros 11 y 12), disminuyendo levemente en enero (crucero 1), para luego presentar los valores máximos del periodo estudiado durante el mes de febrero (crucero 2); en el mes de marzo (crucero 3) se observa una disminución de la temperatura de



~2°C, para volver a incrementar levemente en el mes de abril (cruce 4). Los registros de salinidad fueron >33 PSU durante todo el periodo, con valores máximos asociados a los meses de diciembre (cruce 12) y febrero (cruce 2). Los valores de oxígeno para la región presentan una mayor fluctuación (amplitud) espacio-temporal durante el periodo de estudio, con valores >6 ml/L durante los meses de noviembre, diciembre, febrero y abril (cruce 11, 12, 2 y 4); valores <4 ml/L fueron observados en las estaciones asociadas al norte de la región (sector Coliumo) para los meses de enero y marzo (cruce 1 y 3). Por su parte, la fluorescencia presenta un claro comportamiento estacional, con valores que van incrementando gradualmente desde noviembre (cruce 11), alcanzando los máximos valores en enero (cruce 1), para luego disminuir gradualmente durante los meses de febrero, marzo y abril (cruce 2, 3 y 4). Para esta región destaca el mes de enero (cruce 1), donde se puede observar la presencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en superficie, asociada a los mayores registros de fluorescencia de todo el periodo estudiado. El AESS, es una masa de agua que se caracteriza por presentar valores de Temperatura entre 8° y 12°C, Salinidades >34.4, concentraciones de Oxígeno <2 ml/L y un alto contenido de nutrientes (Silva et al., 2009). La expresión superficial del AESS es una clara señal de la ocurrencia de eventos de surgencia mediados por forzantes atmosféricos, donde, vientos paralelos a la costa hacia el Ecuador y Transporte de Ekman costa afuera promueven el ascenso de esta masa de agua rica en nutrientes dentro de la capa eufótica favoreciendo los incrementos de clorofila-a (i.e. *blooms* de fitoplancton) en la costa continental de Chile durante los periodos de primavera y verano. Durante los cruces 5 al 10 (mayo a octubre), la temperatura superficial en la región del Biobío presentó valores entre 11° y 13°C; con los mínimos durante septiembre (cruce 9), asociado al inicio del periodo de surgencia. Este mes, también presenta altos valores de salinidad (~34 PSU), oxígeno <6 ml/L y, valores de fluorescencia de hasta 9 mg/m³ en la zona más costera de la bahía. En salinidad, se pueden observar intrusioniones de agua dulce desde la costa entre los meses de junio a agosto (cruce 6 al 8) con valores mínimos de salinidad (~29 PSU), y valores de oxígeno >6 ml/L. La fluorescencia durante mayo a julio (cruce 5 al 7) es baja, comenzando a incrementar gradualmente a partir del mes de agosto (cruce 8), hasta alcanzar valores de ~14 mg/m³ en el mes de octubre (cruce 10). Entre los cruces 11 y 12 (noviembre y diciembre), la región presentó una dinámica oceanográfica alta. En noviembre (cruce 11) se observó un leve incremento en la temperatura superficial (~1.5°C), respecto del cruce anterior. La salinidad se mantuvo >34 PSU, y la concentración de oxígeno alrededor de 6 ml/L. Los valores de fluorescencia disminuyeron a concentraciones de ~8 mg/m³, respecto del cruce anterior. En diciembre (cruce 12), la temperatura superficial disminuyó en ~3°C, respecto a noviembre, asociada a salinidades >34 PSU. En el oxígeno se observó la presencia de una estructura dipolar, con una diferencia en la concentración de oxígeno de sus centros de ~5 ml/L. La fluorescencia para este cruce presentó un incremento alcanzando valores >15 mg/m³.



2) Región de la Araucanía ($\sim 38,48^{\circ}$ - $39,38^{\circ}$ S): Esta región fue abordada a través de mediciones realizadas en 3 transectos ubicados (de norte a sur) en los sectores de: Nehuenté, Puerto Saavedra y Queule. La temperatura en esta región mostró un claro comportamiento estacional, con valores que van disminuyendo gradualmente desde noviembre (crucero 11; $\sim 16^{\circ}\text{C}$) a abril (crucero 4; 12°C). La salinidad mostró un comportamiento inverso al de temperatura, con valores mínimos durante noviembre (crucero 11), y máximos en enero (crucero 1). El oxígeno mostró un incremento gradual desde noviembre (crucero 11) hasta alcanzar los máximos en enero (crucero 1), para luego disminuir a valores <3 ml/L durante el mes de febrero (crucero 2), que vuelven a incrementar durante marzo y abril (cruceros 3 y 4). La fluorescencia por su parte, mostró los mayores valores durante los meses de enero y marzo (cruceros 1 y 3), sin embargo, a diferencia de lo observado para la región del Biobío, estos máximos de fluorescencia superficial, no parecen estar asociados a la presencia de AESS, debido a que los registros de oxígeno superficial son >5 ml/L. Durante los cruceros 5 al 10 (mayo a octubre), la temperatura superficial en la región de la Araucanía presentó valores entre 11° y $12,5^{\circ}\text{C}$. En esta región, durante otoño-invierno, las bajas salinidades superficiales costeras son frecuentes debido a la presencia de agua dulce, y se encuentran asociadas a concentraciones de oxígeno >6 ml/L. La fluorescencia se observó baja para estos seis meses. Entre los cruceros 11 y 12 (noviembre y diciembre), la región presentó aguas superficiales templadas ($\sim 14^{\circ}$ - 15°C), bien oxigenadas (~ 6 - 7 ml/L), e intrusión de aguas salinas desde el océano. La fluorescencia se observó alta sólo en el crucero 12, y en el límite sur de la región, sugiriendo un transporte de ésta desde la región de Los Ríos. Debido a la geomorfología (e.g. línea de costa) de esta región y al patrón de circulación geostrofica, es probable que su dinámica oceanográfica esté altamente asociada/influenciada con lo que ocurre/origina en la región de los Ríos, operando ambas regiones como una sola unidad, la cual abarcaría entre $\sim 38^{\circ}$ a 40°S .

3) Región de Los Ríos ($\sim 39,38^{\circ}$ - $40,19^{\circ}$ S): Esta región fue abordada a través de mediciones realizadas en 4 transectos ubicados (de norte a sur) en los sectores de: Mehuín, Niebla, Chaihuín y Río Bueno. Para esta área se observa una alta variabilidad de los registros durante el tiempo, destacando los meses de enero y febrero (cruceros 1 y 2), donde se pueden observar temperaturas entre 10° - 12°C , salinidades de $\sim 34,4$, asociadas a bajas de oxígeno (<2 ml/L), que como ya se mencionó anteriormente, son condiciones vinculadas a un ascenso vertical del Agua Ecuatorial SubSuperficial (AESS). Si bien, la fluorescencia para estos meses no presenta focos de incremento con respecto a otras regiones, los valores oscilan alrededor de ~ 5 mg/m³. Para el mes de marzo (crucero 3) se observa el máximo de fluorescencia en esta región, pudiendo indicar una respuesta tardía (desfase) a las condiciones de surgencia observadas durante los meses previos. Así mismo, en términos de salinidad, el mes de diciembre (crucero 12) resulta destacable por la fuerte disminución de salinidad (~ 29) e incremento de oxígeno (~ 7 ml/L) en la zona, representado este valor, el mínimo



de salinidad para este periodo (primeros 6 cruceros), y el cual podría estar asociado a un importante aporte fluvial durante este mes. Durante los cruceros 5 al 10 (mayo a octubre), las variables hidrográficas en la región de la Los Ríos presentó el mismo patrón que en la región de la Araucanía. Sin embargo, durante septiembre (crucero 9) resulta particularmente interesante un foco de fluorescencia ($\sim 5 \text{ mg/m}^3$) originado en las estaciones ubicadas en la desembocadura del río Valdivia en el sector de Niebla, asociado a baja salinidad y alto contenido de oxígeno. Así mismo, durante el mes de octubre (crucero 10), se pudo observar un foco de fluorescencia asociado a un alto contenido de oxígeno ($\sim 7 \text{ ml/L}$) y temperatura de $\sim 12^\circ\text{C}$, que no aparece asociado a una clara intrusión fluvial. La forma de la línea de costa entre las regiones Araucanía - Los Ríos, sumado a la fricción superficial de los vientos que se dirigen hacia el Ecuador y a la batimetría de la zona, parece estar favoreciendo la generación/propagación de una pluma sur-noroeste (i.e. desde Niebla hacia la isla Mocha) que transportaría costa afuera propiedades físicas y biológicas de la columna de agua. Esta estructura puede ser observada en oxígeno y fluorescencia durante los meses de enero, febrero, marzo y septiembre (cruceros 1, 2, 3, y 9), y salinidad durante los meses de marzo y octubre (crucero 3 y 10). Durante los cruceros 11 y 12 (noviembre y diciembre), para esta región se observó la intrusión de agua oceánica, al mismo tiempo que se observa el ingreso de agua dulce desde la zona costera (sector Niebla), generando fuertes gradientes espaciales en todas las variables analizadas. Durante el crucero 12, se observó alta fluorescencia ($> 15 \text{ mg/m}^3$) originada desde el sector del río Niebla; este incremento puede haber sido favorecido por el ingreso de nitrato y fosfato desde el océano, y de silicato desde la descarga del río.

4) Región de Los Lagos ($\sim 40,19^\circ - 43,71^\circ\text{S}$): Esta región fue abordada a través de mediciones realizadas en 9 transectos ubicados (de norte a sur) en los sectores de: Bahía Mansa, Estaquilla, Playa Brava, Carelmapu, Faro Corona, Mar Brava, Chepu, Cucao, y Caleta Zorra. En términos generales, esta región es la más extensa dentro de la macroregión de estudio, y de acuerdo a las condiciones hidrográficas presentadas en las figuras, esta se observa subdividida por una zona de transición latitudinal correspondiente al Canal de Chacao. Para el caso del Canal de Chacao, si bien, durante el periodo evaluado no se observaron focos de fluorescencia local, sí se observan incrementos en sus zonas adyacentes durante los meses de diciembre, enero y febrero (cruceros 12, 1 y 2) asociados a menores valores de temperatura y oxígeno respecto de las zonas aledañas, y salinidad variable durante el periodo estudiado. Al norte del Canal de Chacao, destacan los incrementos de fluorescencia asociados a los meses de diciembre y febrero (cruceros 12 y 2); el primero, asociado a temperaturas de $\sim 10^\circ\text{C}$, salinidades de ~ 34 y concentraciones de oxígeno de $\sim 4 \text{ ml/L}$; el segundo, asociado a temperaturas cercanas a 16°C , salinidades cercanas a ~ 33 y concentraciones de oxígeno de $\sim 7 \text{ ml/L}$. Al sur del Canal de Chacao se observan focos de fluorescencia para los meses de diciembre, enero y febrero (cruceros 12, 1 y 2), no encontrándose asociados a eventos de afloramientos. Durante los



cruceros 5 al 10 (mayo a octubre), la temperatura superficial en la región de Los Lagos presentó valores entre 10° y 12°C. La fluorescencia presentó máximos de ~7-8 mg/m³ al norte (Bahía Mansa) y sur (Caleta Zorra) de la región, durante septiembre y octubre, respectivamente. Ambos focos se presentan asociados a concentraciones de oxígeno ~7 mg/m³ y temperaturas de 11°C; sin embargo, el foco de Bahía Mansa se observa asociado a bajas salinidades (~29-30 PSU), y el de Caleta Zorra a alta salinidad (33 PSU). En términos de zonificación de las propiedades físicas, al igual que en los primeros 6 cruceros, el Canal de Chacao se presenta como una zona de transición latitudinal, que para otoño-invierno está marcadamente representada con menor salinidad y oxígeno, respecto de las zonas adyacentes (al norte y sur de éste). Para los cruceros 11 y 12 (noviembre y diciembre), la región se observa heterogénea para todas las variables analizadas, destacando el sector de Bahía Mansa (crucero 11), donde se observan características asociadas al AESS, aunque sin un efecto marcado sobre la fluorescencia. También, es posible observar un foco de fluorescencia en el sector de Mar Brava, asociado a aguas de ~12°C, salinidad de ~33 PSU y oxígeno de ~6 ml/L. Durante el crucero 12, destaca la costa oeste de la isla de Chiloé, con aguas costeras frías (<11°C), salinas (~33.5 PSU), y oxígeno <3 ml/L, sin un efecto marcado sobre la fluorescencia.

5) Región de Aysén (~43,71° – 44°S): Esta región fue abordada a través de mediciones realizadas en 1 transecto ubicado en el sector del Canal Tuamapu. Para esta zona, hubo cruceros donde no se registró la totalidad de variables hidrográficas debido a problemas presentados por los sensores de fluorescencia (cruceros 11 y 12 de 2018) y oxígeno (crucero 11 de 2018 y crucero 5 de 2019), lo que dificultó la continuidad temporal de su caracterización. Sin embargo, en términos generales, se puede observar que es una zona altamente dinámica debido a las características topográficas que presenta; al no tener una línea de costa continua, el intercambio de las propiedades físico-químicas-biológicas entre el mar interior y la zona oceánica es más frecuente. Durante los cruceros 5 al 12, la temperatura durante el periodo estudiado osciló entre 10° y 13°C, la salinidad estuvo entre 31 y 33 PSU, el oxígeno osciló alrededor de los 5 ml/L, excepto para los cruceros 6 y 12, donde se registraron los máximos valores de oxígeno ~8 - 9 ml/L. En los cruceros donde hubo registros de fluorescencia, esta no presentó valores >1 mg/m³.

Las condiciones hidrográficas verticales (en profundidad) registradas con CTD-OF para la macro-región de estudio (36° - 44°S) durante los cruceros 11,12 (noviembre – diciembre 2018) y 1 al 12 (enero a diciembre 2019), son presentadas en las **Figuras 1.3.15 a 1.3.28**. Cada Figura muestra por crucero las mediciones de Temperatura (°C), Salinidad (PSU), Oxígeno (ml/L) y Fluorescencia (mg/m³) correspondientes a las estaciones ubicadas a 5 millas desde la costa. En este caso, la caracterización de las condiciones hidrográficas será realizada por crucero.



En términos generales, las secciones verticales durante el periodo estudiado muestran una mayor (menor) estratificación de la columna de agua al norte (sur) de los $\sim 41^{\circ}\text{S}$; y mayor mezcla de las propiedades hidrográficas para la región de Aysén. Además, es posible observar un desplazamiento hacia sur del AESS en el tiempo, específicamente desde diciembre 2018 a enero 2019; a partir de marzo-abril 2019 la presencia de AESS se comienza a debilitar en toda la macroregión de estudio, para volver a observarse en superficie en la región del Biobío durante el mes de septiembre 2019.

1) Para el mes de noviembre 2018 (crucero 11), se observa una marcada profundización de la isoterma de 12°C conforme incrementa la latitud, siendo encontrada dentro de los primeros 5 m de profundidad en la región del Bío-Bío y a los ~ 40 m en la región de Los Lagos. Así mismo, se puede observar una clara estratificación de la columna de agua entre 36.5° a 40°S , siendo menos intensa desde $\sim 40,5^{\circ}\text{S}$ hacia el sur. Se observa, además, zonas de intensa mezcla vertical en las regiones del Biobío ($\sim 36^{\circ}\text{S}$) y Los Ríos ($\sim 40^{\circ}\text{S}$), asociadas a bajas temperaturas, alta salinidad (>34 PSU) y bajas concentraciones de oxígeno (<2 ml/L) que parecen estar vinculadas a eventos de surgencia (afloramiento de AESS). Si bien, la fluorescencia no muestra un claro incremento en estos puntos, esto puede ser debido a un desfase temporal en la respuesta biológica. Resultan importantes los aportes fluviales en las regiones de La Araucanía-Los Ríos y Los Lagos durante este mes con valores de salinidad <31 PSU dentro de los primeros 20 m de profundidad. Por otra parte, la región de Aysén también presenta una intensa mezcla de la columna de agua, pero asociada a aguas bien oxigenadas y menores valores de temperatura y salinidad, probablemente vinculadas a las condiciones estuarinas del Mar Interior.

2) Durante el mes de diciembre 2018 (crucero 12), destaca la presencia de AESS bajo los 10 m de profundidad en la región del Biobío con máximos subsuperficiales de fluorescencia. Los aportes fluviales observados durante noviembre en las regiones de La Araucanía-Los Ríos y Los Lagos, se presentan menos intensos a las 5 millas durante el mes de diciembre. Se observa además una fuerte zona de mezcla vertical entre $\sim 40^{\circ}$ y 41°S (región de Los Ríos) asociado a un máximo de fluorescencia que abarca los primeros 30 m de la columna de agua, y que debido a los valores de oxígeno (>4 ml/L) y salinidad (~ 33 PSU) registrados, este máximo de fluorescencia no parece estar asociado a un afloramiento de AESS, sugiriendo otra fuente de nutrientes para este incremento (e.g. fluvial).

3) En el mes de enero 2019 (crucero 1), se observa la máxima extensión latitudinal de AESS abarcando casi toda la macroregión de estudio (entre 36° hasta $\sim 43^{\circ}\text{S}$). Es posible observar importantes núcleos con altos valores de fluorescencia en las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Estos núcleos de fluorescencia se presentan en superficie (Biobío) y subsuperficie



(La Araucanía-Los Ríos y Los Lagos) con extensiones entre 30 a 100 km de diámetro, sugiriendo la presencia de estructuras de vorticidad sub y mesoescalar (i.e. Remolinos: dentro de los mecanismos físicos asociados a incrementos de fitoplancton observados en sistemas de surgencia de borde oriental, se encuentran los remolinos. Estas estructuras cumplen un rol fundamental en el transporte horizontal de propiedades físico-químicas del agua de mar y en el transporte vertical de nutrientes; [McGillicuddy et al., 1998](#); [Chelton et al., 2007](#); [Sangrà et al., 2009](#); [Morales et al., 2012](#)). Los remolinos pueden tener una expresión superficial o subsuperficial, siendo estos últimos conocidos como remolinos intratermoclina; [Johnson y MacTaggart, 2010](#)). Por otro lado, durante este crucero es importante destacar la presencia de dos “focos” de oxígeno ubicados sobre los incrementos de fluorescencia, asociados a una disminución de la salinidad, indicando la presencia de aporte fluvial, y sugiriendo a estos caudales como los “responsables” de que el AESS no alcance la superficie, y que los máximos de fluorescencia se localicen en subsuperficie. Por otra parte, en la zona norte de la región de Aysén la columna de agua se presenta bien mezclada, con los menores valores de salinidad de todo el periodo estudiado, sugiriendo para este mes una dirección predominante de las corrientes hacia el océano abierto.

4) Durante el mes de febrero 2019 (crucero 2), si bien el AESS sigue estando presente, las isolíneas que caracterizan su presencia, se encuentran a mayor profundidad respecto del mes anterior, sugiriendo el inicio de su debilitamiento (retroceso). Así mismo, los máximos de fluorescencia se comienzan a observar menos intensos y en superficie.

5) En el mes de marzo 2019 (crucero 3), la macro-región de estudio comienza nuevamente a subdividirse, donde, al norte de los $\sim 40^{\circ}\text{S}$ la distribución espacial de temperatura y oxígeno sugieren la presencia de estructuras mesoescalares (e.g. remolinos), con máximos de fluorescencia subsuperficiales. La presencia del AESS sigue siendo importante, alcanzando la superficie en la región del Biobío, y hasta los 20 m de profundidad entre La Araucanía-Los Ríos. Al sur de los $\sim 40^{\circ}\text{S}$, la columna de agua nuevamente se comienza oxigenar, no se observa el AESS sobre los 80 m de profundidad, ni tampoco importantes incrementos de fluorescencia, a pesar de que sus concentraciones de igual forma son $>2 \text{ mg/m}^3$.

6) Para el mes de abril 2019 (crucero 4), a 5 millas desde la costa, las temperaturas sobre los 100 m de profundidad se presentan $>10^{\circ}\text{C}$. Por otra parte, al norte de los $\sim 40^{\circ}\text{S}$ se observa la intrusión de focos fluviales que disminuyen los valores de salinidad ($<33 \text{ PSU}$) e incrementan los valores de oxígeno. Los valores de fluorescencia en general presentan bajos valores, con un incremento ($\sim 6\text{-}10 \text{ mg/m}^3$) dentro de los primeros 30 m de profundidad en región de Los Ríos (estación Mehuín).



7) Durante el mes de mayo 2019 (crucero 5), la columna de agua en la macroregión de estudio se presentó con valores $>10^{\circ}\text{C}$, y máximos sobre los 20 m de profundidad. Las intrusiones de agua dulce a las 5 mn observadas en abril, se comienzan a profundizar abarcando los primeros 10 m de profundidad, y comienzan a presentar una mayor extensión latitudinal. La región del Bío-Bío en superficie se observa bien oxigenada ($>6\text{ ml/L}$), mientras que hacia el sur los valores de oxígeno son $<5\text{ ml/L}$. La fluorescencia durante este mes se presentó $<4\text{ mg/m}^3$ para toda la macroregión.

8) En Junio 2019 (crucero 6), a 5 mn los aportes fluviales son importantes, alcanzando los 50 m de profundidad en la región de Los Lagos entre los 41° y 42°S ; la salinidad más baja ($\sim 29\text{ PSU}$) se registra en la Región de Los Ríos ($\sim 40^{\circ}\text{S}$). La temperatura se mantiene $>11^{\circ}\text{C}$, y el oxígeno alcanza su máxima extensión en profundidad de todo el periodo estudiado, con valores $>5\text{ ml/L}$ para toda la macroregión. Si bien, la fluorescencia se mantiene baja para toda la macroregión, es posible detectar un foco de fluorescencia superficial en la región del Bío-Bío, asociado a baja salinidad y alto contenido de oxígeno.

9) En el mes de Julio 2019 (crucero 7), la temperatura se observa entre 11° y 13°C . La salinidad comienza a estratificar la columna de agua al norte de los 40°S . El oxígeno aún se mantiene alto en toda la macroregión, exceptuando el Biobío, donde bajo los 40 m de profundidad se observan mínimos de oxígeno. La fluorescencia no supera los 4 mg/m^3 en toda la región de estudio.

10) Durante el mes de agosto (crucero 8), la salinidad estratifica toda la macroregión sobre los 40 m de profundidad, con valores mínimos ($\sim 29\text{ PSU}$) en las regiones del Biobío y Los Ríos. La temperatura es de 10° a 11°C al sur de los 38°S , sólo en el Bío-Bío se observan temperaturas de 13°C , asociadas a un alto contenido de oxígeno ($\sim 7 - 8\text{ ml/L}$), y a un foco de fluorescencia de $\sim 10\text{ mg/m}^3$. En este mes se presenta la mayor estratificación por salinidad para todo el periodo estudiado.

11) Para el mes de septiembre 2019 (crucero 9), se comienza a observar la presencia de AESS en la región del Biobío, con valores de oxígeno $<2\text{ ml/L}$, y salinidades $>34\text{ PSU}$. En esta región, es posible observar además, un foco de fluorescencia superficial ($\sim 15\text{ mg/m}^3$), asociado a alto contenido de oxígeno ($\sim 9\text{ ml/L}$), y temperaturas de 12°C . Un segundo foco de fluorescencia subsuperficial ($\sim 9\text{ mg/m}^3$) es observado en los 41°S , asociado a baja salinidad y alto contenido de oxígeno.

12) En octubre 2019 (crucero 10), la presencia de AESS ya es evidente entre $36^{\circ} - 40^{\circ}\text{S}$ (oxígeno $<2\text{ ml/L}$ y salinidad $>34\text{ PSU}$). En oxígeno es posible observar una estructura mesoescalar subsuperficial en la región del Biobío, asociado a bajo oxígeno ($<1\text{ ml/L}$), alta salinidad ($>34\text{ PSU}$) y temperaturas de $\sim 10^{\circ}\text{C}$. Así mismo, en el límite superior de la estructura mesoescalar se observa un foco subsuperficial de fluorescencia ($\sim 13\text{ mg/m}^3$). Para el resto de la macroregión, el oxígeno $>6\text{ ml/L}$



comienza a concentrarse sobre los 40 m de profundidad. En los 42°S y 43°S, es posible observar focos de fluorescencia subsuperficial ($\sim 7 \text{ mg/m}^3$) asociados a alto contenido de oxígeno y salinidades de $\sim 33.5 \text{ PSU}$. La zona del Canal de Chacao ($\sim 41.8^\circ\text{S}$) aparece mezclada sobre toda la columna de agua para todas las variables analizadas.

13) En noviembre 2019 (crucero 11), toda la macroregión sobre los 40 m de profundidad, presenta estructuras sub y mesoescalares de contorno cerrado (e.g. oxígeno) que generan efectos sobre la distribución espacial de las propiedades hidrográficas. Destacan dos focos de fluorescencia subsuperficial en las regiones de La Araucanía y Los Ríos, asociados a núcleos de alta concentración de oxígeno, y salinidades de $\sim 33 \text{ PSU}$. Otro foco de fluorescencia, que abarca entre 0 a $\sim 20 \text{ m}$ de profundidad, puede ser observado en el sector de Mar Brava asociado a aguas de $\sim 12^\circ\text{C}$, salinidad de $\sim 33 \text{ PSU}$ y oxígeno de $\sim 6 - 7 \text{ ml/L}$. Los 3 focos observados de fluorescencia, aparecen asociados a condiciones hidrográficas de origen costero continental.

14) En diciembre 2019 (crucero 12), destaca la presencia de AESS bajo los 10 m de profundidad en la región del Biobío con máximos de fluorescencia en el sector norte y sur de la región. Los aportes fluviales observados durante noviembre en las regiones de La Araucanía-Los Ríos y Los Lagos, se presentan menos intensos a las 5 millas durante el mes de diciembre. Se observa, además, una zona de mezcla vertical entre $\sim 40.5^\circ\text{S}$ y 41°S asociado a un foco de fluorescencia de $\sim 6 \text{ mg/m}^3$, que abarca los primeros 40 m de la columna de agua, probablemente asociado al afloramiento de AESS (baja temperatura, bajo oxígeno, alta salinidad). Mientras que el foco de fluorescencia más intenso $> 15 \text{ mg/m}^3$ (región de Los Ríos, localidad de Niebla) se observa asociado a altos valores de oxígeno ($\sim 8 \text{ ml/L}$), baja salinidad ($< 32 \text{ PSU}$), y temperaturas entre $13^\circ - 14^\circ\text{C}$, sugiriendo que este máximo se encuentra asociado a una fuente de nutrientes de origen costero continental (e.g. fluvial).

En el presente estudio, el uso de CTD-OF vinculado a la frecuencia de muestreo (mensual), permitió caracterizar el comportamiento espacial y temporal de las variables: temperatura, salinidad, oxígeno y fluorescencia; logrando identificar la presencia de surgencia (a través de la identificación AESS), periodos y zonas de estratificación / mezcla, y proponer zonas de transición latitudinal para la propagación de las propiedades hidrográficas. Sin embargo, a través del uso de un sólo instrumento, se dificulta evaluar la dinámica oceanográfica subyacente que nos permita explicar apropiadamente los resultados obtenidos. Bajo esta perspectiva, el presente informe permitió identificar una brecha de información crucial para lograr explicar la caracterización encontrada, y que está vinculada principalmente con la necesidad de caracterizar la dinámica de corrientes y mareas sobre la columna de agua. Debido a lo anterior, se cree fundamental complementar el actual monitoreo con la incorporación de nuevas herramientas operativas que nos permitan resolver esta brecha de información, como, por ejemplo, el uso de ADCP's en zonas claves identificadas a partir de este estudio.



Los registros diarios de velocidad (m/s) y dirección (°) del viento, temperatura del aire (°C) y precipitación (mm) obtenidos entre noviembre 2018 y diciembre 2019 desde seis estaciones meteorológicas (**Figura 1.3.29**), son presentados en las **Figuras 1.3.30 a 1.3.35**. El cálculo de las rosas de viento obtenidas por estación meteorológica, son presentadas en las **Figuras 1.3.36 a 1.3.41**, y los cálculos de índice de surgencia, son presentados en las **Figuras 1.3.42 a 1.3.47**. Los resultados serán mostrados por estación, y los vientos serán interpretados de acuerdo a la norma meteorológica, es decir, desde donde provienen.

a) Región del Bío-Bío, Carriel Sur (**Figura 1.3.30**): La dirección del viento es SO la mayor parte del año. La dirección N se presenta principalmente durante invierno (Primer panel). La intensidad del viento durante el periodo estudiado presentó un promedio de 4.4 m/s con máximos que no superaron los ~10 m/s (Segundo panel). La temperatura presentó un marcado ciclo anual con valores que oscilaron entre -0.3°C y 30.9°C, los valores mínimos se observaron durante el periodo invernal (Tercer panel). Las precipitaciones se concentraron entre mayo a septiembre 2019, con un máximo de 56 mm durante el mes de junio; el promedio absoluto para el periodo analizado fue de ~7.3 mm (Cuarto panel).

La rosa de vientos para el periodo estudiado, es presentada en la **Figura 1.3.36**. Se observa que el viento predominante estuvo asociado al tercer cuadrante (Sur-Oeste) con un porcentaje de ocurrencia de 50.47% (SO), seguido de las direcciones N (23.47%) y S (13.62%), el resto de las direcciones (NE, E, SE, O y NO) presentaron porcentajes de ocurrencia <4.5%.

El índice de surgencia diario y mensual son presentados en la **Figura 1.3.42**. Para la región del Biobío, el viento favorable al desarrollo de surgencia se presenta a lo largo de todo el periodo estudiado, resultando en índices de surgencia mensual positivos que alcanzan valores máximos de ~450 m³ s⁻¹; los mayores valores fueron observados durante el periodo primavera-verano, y los menores valores en otoño-invierno, específicamente durante los meses de mayo, junio y julio.

b) Región de la Araucanía, Maquehue (**Figura 1.3.31**): La dirección del viento es SO durante primavera-verano. Las direcciones N y NE se presentan principalmente durante otoño-invierno, entre los meses de abril y agosto (Primer panel). La intensidad del viento durante el periodo estudiado presentó un promedio de 2.5 m/s con máximos que no superaron los ~7 m/s (Segundo panel). La temperatura presentó un marcado ciclo anual con valores que oscilaron entre -4.2°C y 41.1°C, los valores mínimos se observaron durante el periodo invernal (Tercer panel). Las precipitaciones se concentraron entre mayo a septiembre 2019, con un máximo de 74.8 mm durante el mes de junio; el promedio absoluto para el periodo analizado fue de ~4.5 mm (Cuarto panel).



La rosa de vientos para el periodo estudiado, es presentada en la **Figura 1.3.37**. Se observa que el viento predominante estuvo asociado al tercer cuadrante (Sur-Oeste) con un porcentaje de ocurrencia de 29.81% (SO) y 24.65% (O), seguido de la dirección NE (19.72%), el resto de las direcciones (N, E, SE, S, y NO) presentaron porcentajes de ocurrencia < ~9%.

El índice de surgencia diario y mensual son presentados en la **Figura 1.3.43**. Para la región de la Araucanía, el viento favorable al desarrollo de surgencia se presenta la mayor parte del periodo estudiado, resultando en índices de surgencia mensual positivos que alcanzan valores máximos de ~110 m³ s⁻¹; valores negativos, asociados al desarrollo de submergencia (downwelling) fueron observados durante el otoño, específicamente durante los meses de mayo y julio.

c) Región de los Ríos, Pichoy (**Figura 1.3.32**): La dirección del viento tiene una fuerte componente S (SO, S, SE) durante primavera-verano. Las direcciones con componente N (N y NO), son más intensas, respecto de los vientos con componente S, y se presentan principalmente durante otoño-invierno-primavera, siendo la primavera la estación que presenta mayor variabilidad en la dirección de los vientos (Primer panel). La intensidad del viento durante el periodo estudiado presentó un promedio de 2.7 m/s con máximos que no superaron los ~7.5 m/s (Segundo panel). La temperatura presentó un marcado ciclo anual con valores que oscilaron entre -4.9°C y 38.5°C, los valores mínimos se observaron durante el periodo invernal (Tercer panel). Las precipitaciones se concentraron entre mayo a septiembre 2019, con un máximo de 73.8 mm durante el mes de mayo; el promedio absoluto para el periodo analizado fue de ~6.2 mm (Cuarto panel).

La rosa de vientos para el periodo estudiado, es presentada en la **Figura 1.3.38**. Se observa que el viento predominante estuvo asociado al tercer cuadrante (Sur-Oeste) con un porcentaje de ocurrencia de 19.72% (S), 16.67% (SO), 13.62% (O) y 11.74% (NO), el resto de las direcciones (N, NE, E y SE) presentaron porcentajes de ocurrencia < ~10%.

El índice de surgencia diario y mensual son presentados en la **Figura 1.3.44**. Para la región de la Araucanía, el viento favorable al desarrollo de surgencia se presenta la mayor parte del periodo estudiado, resultando en índices de surgencia mensual positivos que alcanzan valores máximos de ~160 m³ s⁻¹; valores negativos, asociados al desarrollo de submergencia (downwelling) no se observan en el promedio mensual, sin embargo en la serie de tiempo diaria pueden observarse vientos favorables a la submergencia concentrados en invierno, debilitando durante este periodo la surgencia observada en el promedio mensual.

d) Región de los Lagos, Cañal Bajo (**Figura 1.3.33**): La dirección del viento es principalmente S durante primavera-verano. Los vientos con componente N (NO, N, NE) se presentan principalmente



durante otoño-invierno, entre los meses de abril y septiembre (Primer panel). La intensidad del viento durante el periodo estudiado presentó un promedio de 3.4 m/s con máximos que no superaron los ~8.4 m/s (Segundo panel). La temperatura presentó un marcado ciclo anual con valores que oscilaron entre -5.8°C y 36.8°C, los valores mínimos se observaron durante el periodo invernal (Tercer panel). Las precipitaciones se concentraron entre mayo a septiembre 2019, con un máximo de 31.2 mm durante el mes de julio; el promedio absoluto para el periodo analizado fue de ~5.5 mm (Cuarto panel).

La rosa de vientos para el periodo estudiado, es presentada en la **Figura 1.3.39**. Se observa que el viento predominante estuvo asociado a las direcciones S y N, con un porcentaje de ocurrencia de 35.45% y 25.12%, respectivamente; el resto de las direcciones (NE, E, SE, SO, O y NO) presentaron porcentajes de ocurrencia < ~7%.

El índice de surgencia diario y mensual son presentados en la **Figura 1.3.45**, respectivamente. Para el sector asociado a la Estación Cañal Bajo, el viento favorable al desarrollo de surgencia se observa la mayor parte del periodo estudiado, resultando en índices de surgencia mensual positivos que alcanzan valores máximos de ~250 m³ s⁻¹ y valores negativos asociados al desarrollo de submergencia (downwelling) de ~-110 m³ s⁻¹. Los vientos favorables a la surgencia son observados entre los meses de septiembre a mayo, mientras los vientos favorables al desarrollo de submergencia pueden ser observados durante invierno, entre los meses de junio, julio y agosto.

e) Región de los Lagos, El Tepual (**Figura 1.3.34**): La dirección del viento S se observa principalmente durante los meses de diciembre 2018 y marzo 2019; para el resto del periodo estudiado predominan los vientos desde el N (Primer panel). La intensidad del viento durante el periodo estudiado presentó un promedio de 3.8 m/s con máximos que no superaron los ~10 m/s (Segundo panel). La temperatura presentó un marcado ciclo anual con valores que oscilaron entre -3.1°C y 35.1°C, los valores mínimos se observaron durante el periodo invernal (Tercer panel). Las precipitaciones se concentraron entre mayo a diciembre 2019, con un máximo de 48.4 mm durante el mes de mayo; el promedio absoluto para el periodo analizado fue de ~5.6 mm (Cuarto panel).

La rosa de vientos para el periodo estudiado, es presentada en la **Figura 1.3.40**. Se observa que el viento predominante estuvo asociado a las direcciones N y S, con un porcentaje de ocurrencia de 40.38% y 24.65%, respectivamente; el resto de las direcciones (NE, E, SE, SO, O y NO) presentaron porcentajes de ocurrencia < ~10%.

El índice de surgencia diario y mensual son presentados en la **Figura 1.3.46**. Para el sector asociado a la Estación El Tepual, el viento favorable al desarrollo de surgencia es variable para el periodo estudiado, resultando en índices de surgencia mensual positivos que alcanzan valores máximos de



~250 m³ s⁻¹ y valores negativos asociados al desarrollo de submergencia (downwelling) de ~350 m³ s⁻¹. Si bien, en el promedio mensual se observa un patrón asociado a surgencia durante verano y principios de otoño, y submergencia durante finales de otoño e invierno, interesante es la dinámica de primavera, donde los procesos de surgencia/submergencia son débiles y variables; ejemplo de lo anterior es el mes de noviembre, donde en 2018 se observaron vientos favorables al desarrollo de submergencia, mientras que en 2019 se observaron vientos favorables al desarrollo de surgencia.

f) Región de Aysén, Melinka (**Figura 1.3.35**): La dirección del viento presenta una alta variabilidad a lo largo del periodo estudiado, sin direcciones predominantes estacionalmente. Las direcciones con componente N se observan durante todo el periodo, y con mayores intensidades respecto de los vientos con componente S (Primer panel). La intensidad del viento presentó un promedio de 4.9 m/s y un máximo de ~17 m/s (Segundo panel). La temperatura y precipitación no presentaron registros durante el periodo estudiado.

La rosa de vientos para el periodo estudiado, es presentada en la **Figura 1.3.41**. Se observa que el viento predominante estuvo asociado a la dirección N, con un porcentaje de ocurrencia de 26.06%, seguido de las direcciones SO (14.79%), S (14.08%), O (11.97%), el resto de las direcciones (NE, E, SE y NO) presentaron porcentajes de ocurrencia < ~9%.

El índice de surgencia diario y mensual son presentados en la **Figura 1.3.47**. Para la región de Aysén, el viento favorable al desarrollo de surgencia se presenta casi todo el periodo estudiado, resultando en índices de surgencia mensual positivos que alcanzan valores máximos de ~500 m³ s⁻¹; valores negativos, asociados al desarrollo de submergencia (downwelling) fueron observados sólo durante el mes de julio.

Recolección de muestras y análisis para nutrientes

Durante el desarrollo de este informe final se han analizado los nutrientes asociados a los 14 cruceros desarrollados durante esta Etapa del proyecto, correspondientes a los meses de noviembre y diciembre de 2018 y los cruceros 1 a 12, correspondientes a los meses entre enero y diciembre de 2019. A continuación, se presenta la descripción gráfica por nutriente y región administrativa de estos análisis de esta información. (**Anexo 1 Base de datos**)

Nitrito

Se describen las concentraciones de nitrito para las 5 regiones de muestreo en el estrato 0-10m durante los meses noviembre y diciembre 2018 y para los meses de enero a abril del 2019. (**Figuras 1.4.1, 1.4.2 y 1.4.3**)



Región del Biobío

Las concentraciones de nitrito para la región en noviembre de 2018, oscilaron entre 0.30 μM a 0.81 μM con un máximo en la estación ubicada en Coliumo a 0-10m, el promedio para la región fue de 0.48 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 0.16 μM a 0.50 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación de Tubul en la milla 1, el promedio de la región para diciembre fue de 0.31 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.19 μM a 1.54 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Colcura a las 3 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.64 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.09 μM a 0.61 μM y el promedio para la región fue de 0.28 μM . Las concentraciones de nitrito para la región de marzo, oscilaron entre 0.55 μM a 4.59 μM con un máximo en la estación ubicada en Colcura a las 5 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 2.05 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.19 μM a 0.85 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Coliumo a las 10 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.49 μM . Para el mes de mayo 2019, correspondiente al crucero 5, las concentraciones de nitrito fueron bajas en toda la región con un promedio de 0.4 μM , durante el mes de junio presenta un aumento con un máximo de 1.84 μM pero un promedio de 0.83 para la región. En el crucero 7 las menores concentraciones se registraron en la zona de Coliumo, donde se presentaron los valores más bajo cercanos a 0.59 μM , para el resto de la región el promedio fue de 1.09 μM . En el mes de agosto las concentraciones menores se presentaron al sur del Golfo de Arauco, con valores promedio de 0.18 μM donde se registraron el valor mas bajo para las estaciones ubicadas en Tubul. Para el mes de septiembre en el estrato 0-10m la concentración en promedio para la región fueron de 0.11, y el máximo se presentó en Bahía Coliumo registrando 0.20 μM a las 10 millas de costa. Para el crucero 10 correspondiente al mes de octubre el máximo de nitrito se presentó a la milla de costa en Bahía Colcura con un valor de 0.53 μM , el promedio para la zona fue de un 0.19 μM . Para el mes de noviembre, las concentraciones de nitrito en el estrato 0-10m en la región mostraron un promedio de 0.15 μM donde la concentración más alta se presentó en Bahía Coliumo a la milla de costa, y a lo largo de la transecta con un valor de 0.48 μM . Para el mes de diciembre correspondiente al crucero 12, la concentración más alta para la región fue en Bahía Coliumo a la milla de costa con un valor de 1.06 μM , y los valores más bajos se registraron en la Bahía Colcura con una concentración de 0.01 μM , el promedio para la región fue de un 0.23 μM .

Región La Araucanía

En el mes de noviembre de 2018, se registraron valores entre 0.26 μM a 0.54 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Queule a las 5 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.36 μM . Para el mes de diciembre de 2018, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.20 μM a 0.41 μM y el promedio para la región fue de 0.31 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.44 μM a 0.96 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Nehuentué a las 5 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.70 μM . Para el mes de febrero de 2019 el rango fue entre 0.27 μM a 0.83 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación Queule a las 5 millas de costa, el promedio de la región para febrero fue de 0.49 μM . Las concentraciones de nitrito



para la región en marzo, oscilaron entre 0.21 μM a 0.51 μM con un máximo en la estación ubicada en Puerto Saavedra a las 2 millas en el estrato 0-10m, el promedio para la región fue de 0.36 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.12 μM a 0.36 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Nehuentué a las 10 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.23 μM . Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de nehuentue con un valor de 0.25 μM y el valor más bajo fue en Pto. Saavedra de 0.52, el promedio para la región fue de 0.36 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.46 μM a 1.47 μM y el promedio para la región fue de 0.92 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.41 μM a 1.24 μM ambas en Pto. Saavedra y el promedio para la región fue de 0.83 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.14 μM a 0.30 μM y el promedio para la región fue de 0.19 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.03 μM a 0.23 μM y el promedio para la región fue de 0.13 μM . Para el mes de octubre el valor mas bajo se registro en Queule a las 5 millas y fue de 0.02 μM , el valor mas alto fue en Pto. Saavedra y fue de 0.09 μM , el promedio en la región fue de 0.05 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.07 μM a 0.17 μM y el promedio para la región fue de 0.07 μM . Para el crucero 12, la concentración mas baja se registro en Queule a la 5 millas con un valor de 0.07 μM y la concentración mas alta fue en Nehuentué a las 10 milla con un valor de 0.12 μM , el promedio de la región fue de 0.05 μM .

Región Los Ríos

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores entre 0.25 μM a 0.63 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Niebla a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.42 μM . Para el mes de diciembre el rango fue entre 0.17 μM a 0.41 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación de Queule a las 2 millas, el promedio de la región para diciembre fue de 0.028 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.22 μM a 0.95 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Mehuín a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.48 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.19 μM a 0.97 μM y el promedio para la región fue de 0.35 μM . Las concentraciones de nitrito para la región de marzo, oscilaron entre 0.18 μM a 0.48 μM con un máximo en la estación ubicada en Mehuín a las 2 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 0.32 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.15 μM a 0.44 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Mehuín a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.25 μM .

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Mehuin a las 10 millas con un valor de 1.54 μM y el valor más alto fue en Mehuin a las 5 millas de 0.38, el promedio para la region fue de 0.282 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.59 μM a 1.43 μM y el promedio para la región fue de 1.018 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.56 μM a 1.62 μM y el promedio para la región fue de 0.93 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.07 μM a 0.24 μM y el promedio para la región fue de 0.15 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.1 μM a 0.22 μM



y el promedio para la región fue de 0.09 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Río Bueno a las 2 millas y fue de 0.01 μM , el valor más alto fue en Río Bueno a la 10 milla y fue de 0.15 μM , el promedio en la región fue de 0.04 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.01 μM a 0.12 μM y el promedio para la región fue de 0.04 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Niebla a la 5 millas con un valor de 0.02 μM y la concentración más alta fue en Chaihuin a las 5 milla con un valor de 0.21 μM , el promedio de la región fue de 0.09 μM .

Región Los Lagos

Las concentraciones de nitrito para la región en noviembre de 2018, oscilaron entre 0.13 μM a 0.46 μM con un máximo en la estación ubicada en Caleta Zorra a las 2 millas, el promedio para la región fue de 0.32 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 0.16 μM a 0.50 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación de Bahía Mansa en las 2 millas, el promedio de la región para diciembre fue de 0.29 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.08 μM a 0.53 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Playa Brava a las 10 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.31 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.09 μM a 0.43 μM y el promedio para la región fue de 0.28 μM . Las concentraciones de nitrito para la región de marzo, oscilaron entre 0.19 μM a 0.57 μM con un máximo en la estación ubicada en Bahía Mansa a las 10 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 0.37 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.04 μM a 0.55 μM , donde la concentración de nitrito más alta fue en Caleta Zorra a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.31 μM .

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Carelmapu las 2 millas con un valor de 0.17 μM y el valor más alto fue en Caleta Zorra a las 2 millas de 0.41, el promedio para la región fue de 0.29 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.65 μM a 1.77 μM y el promedio para la región fue de 1.13 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.01 μM a 1.81 μM y el promedio para la región fue de 0.66 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.01 μM a 0.51 μM y el promedio para la región fue de 0.27 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.01 μM a 0.22 μM y el promedio para la región fue de 0.10 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Bahía Mansa a las 2 millas y fue de 0.01 μM , el valor más alto fue en Estaquilla a las 2 millas y fue de 0.44 μM , el promedio en la región fue de 0.08 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de nitrito fue entre 0.01 μM a 0.33 μM y el promedio para la región fue de 0.09 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Playa Brava a la 2 milla con un valor de 0.01 μM y la concentración más alta fue en Playa Brava las 5 milla con un valor de 0.21 μM , el promedio de la región fue de 0.08 μM .



Región de Aysén

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores entre 0.48 μM a las 5 millas y 0.52 μM a las 10 millas en el Canal Tuamapu, Para el mes de diciembre el rango fue entre 0.59 μM a las 5 millas y de 0.71 μM a las 10 millas en el Canal Tuamapu. Para el mes de mayo, la concentración las concentraciones en el transecto de canal Tuamapu, fueron entre 0.12 μM y 0.14 μM con un promedio de 0.13 μM . En el crucero 6 correspondiente al mes de junio, las concentraciones oscilaron entre 0.65 μM y 1.77 μM , el promedio para el canal fue de 1.13. Para el mes siguiente, las concentraciones fueron entre 0.08 μM y 0.10 μM , con un promedio de 0.09 μM . Para el mes de agosto las concentraciones fueron entre 0.15 μM a 0.24 μM , con un promedio para el Canal Tuamapu de 0.200. Para el crucero 10 las concentraciones oscilaron entre 0.34 μM y el promedio fue de 0.35.

Nitrato

Se describen las concentraciones de nitrato para las 5 regiones de muestreo en el estrato 0-10m durante los meses noviembre y diciembre 2018 y para los meses de enero a abril del 2019. (Figuras 1.4.4, 1.4.5 y 1.4.6)

Región del Biobío

Las concentraciones de nitrato para la región de noviembre de 2018, oscilaron entre 0.91 μM a 16.68 μM con un máximo en la estación ubicada en Bahía Coliumo a 0-10m, el promedio para la región fue de 8.13 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 0.13 μM a 19.22 μM , el promedio de la región para diciembre fue de 6.52 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 1.52 μM a 20.24 μM , el promedio de la región fue de 8.53 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 0.23 μM a 7.05 μM y el promedio para la región fue de 2.01 μM . Las concentraciones de nitrato para la región de marzo, oscilaron entre 4.22 μM a 16.28 μM el promedio para la región fue de 9.04 μM . En el mes de abril, se registraron valores entre 2.08 μM a 9.99 μM , el promedio de la región fue de 6.27 μM . Las concentraciones de nitrato para Biobío en el mes de mayo, oscilaron entre 1.09 y 2.1, con un promedio de 1.6 para toda la región. En el mes de junio la concentración más baja se registró en el golfo de Arauco en la estación de Llico a la milla con un valor de 5.18 μM y las concentraciones más altas se registraron en la Bahía Coliumo de 26.00 μM , el promedio para la región fue de 10.63 μM . Para el mes de Julio de 2019, se registraron valores entre 3.05 y 23.75, el promedio de la región fue de 10.70 μM . En el mes de agosto, se registraron valores entre 0.04 μM a 16.72 μM , el promedio de la región fue de 10.27 μM . Para el Crucero 9, correspondiente al mes de septiembre, se registró la concentración más alta de 4.49 en la estación de Llico a la milla, donde el promedio para la región fue de 1.89 μM . Para el mes de octubre las concentraciones oscilaron entre 2.44 μM a 16,45 μM , donde el promedio fue de 7.25 μM . Para el mes de noviembre del 2019, la concentración más alta fue de 20.28 μM y correspondió a la estación ubicada en BCL-1, Bahía de Coliumo a la milla de costa con un valor de 20.28 μM . Para el mes de diciembre la concentración más alta registrada fue de 8.59 en el estrato 0-10m de la estación de BLL-10, ubicada a 10 millas de costa, el promedio para la región fue de 3.16 μM .



Región La Araucanía

En el mes de noviembre de 2018, se registraron valores entre 1.75 uM a 4.93 uM, donde la concentración de nitrato más alta fue en Puerto Saavedra a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 3.05 uM. Para el mes de diciembre de 2018, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 1.33 uM a 4.31 uM y el promedio para la región fue de 2.63 uM. En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 5.19 uM a 21.14 uM, donde la concentración de nitrato más alta fue en Queule a las 5 millas de costa, el promedio de la región fue de 13.3 uM. Para el mes de febrero de 2019 el rango fue entre 9.92 uM a 18.68 uM, el promedio de la región para febrero fue de 14.29 uM. Las concentraciones de nitrato para la región en marzo, oscilaron entre 1.25 uM a 14.94 uM con un máximo en la estación ubicada en Puerto Saavedra a las 2 millas en el estrato 0-10m, el promedio para la región fue de 8.13 uM. En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 3.53 uM a 11.23 uM, donde la concentración de nitrato más alta fue en Nehuentué a las 10 millas de costa, el promedio de la región fue de 6.31 uM. Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Queule con un valor de 0.97 uM y el valor más alto fue en Pto. Saavedra las 10 millas de 2.0, el promedio para la región fue de 1.25 uM. Para el mes de junio, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 3.32 uM a 25.23 uM y el promedio para la región fue de 10.67 uM. Para el mes de julio, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 3.27 uM a 11.11 uM y el promedio para la región fue de 6,73 uM. Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 16.61 uM a 23.75 uM y el promedio para la región fue de 19.00 uM. En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 2.64 uM a 26.67 uM y el promedio para la región fue de 17.29 uM. Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Pto Saavedra a las 5 millas y fue de 2.63 uM, el valor más alto fue en Nehuentue y fue de 24.43 uM, el promedio en la región fue de 14.07 uM. En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 0.48 uM a 5.19 uM y el promedio para la región fue de 1.62 uM. Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Pto. Saavedra a la 5 milla con un valor de 0.16 uM y la concentración más alta fue en Nehuentue a las 5 milla con un valor de 9.87 uM, el promedio de la región fue de 2.90 uM.

Región Los Ríos

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores entre 1.06 uM a 15.82 uM, el promedio de la región fue de 5.82uM. Para el mes de diciembre el rango fue entre 1.46 uM a 4.56 uM, donde la concentración más baja se ubicó en la estación de Niebla a las 2 millas, el promedio de la región para diciembre fue de 2.56 uM. En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 9.01 uM a 22.51 uM, donde la concentración de nitrato más alta fue en Niebla a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 14.73 uM. Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 8.69 uM a 25.38 uM y el promedio para la región fue de 19.07 uM. Las concentraciones de nitrato para la región de marzo, oscilaron entre 1.50 uM a 16.75 uM con un máximo en la estación ubicada en Mehuín a las 2 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 9.44 uM. En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 2.69 uM a 10.73 uM, el promedio de la región fue de 7.70 uM.



Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona Rio Bueno con un valor de 0.72 μM y el valor más alto fue en Niebla 2 millas del promedio para la región fue de 1.25 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 5.58 μM a 21.37 μM y el promedio para la región fue de 9.70 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 5.11 μM a 14.25 μM y el promedio para la región fue de 9.57 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 14.60 μM a 17.62 μM y el promedio para la región fue de 16.48 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 3.06 μM a 34.33 μM y el promedio para la región fue de 13.48 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Chaihuin a las 10 millas y fue de 0.45 μM , el valor más alto fue en Niebla 2 millas y fue de 22.50 μM , el promedio en la región fue de 9.36 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 0.49 μM a 11.13 μM y el promedio para la región fue de 3.46 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Mehuin a las 10 millas con un valor de 0.01 μM y la concentración más alta fue en Rio Bueno a las 2 millas con un valor de 3.91 μM , el promedio de la región fue de 1.25 μM .

Región Los Lagos

Las concentraciones de nitrato para la región en noviembre de 2018, oscilaron entre 0.43 μM a 4.66 μM , el promedio para la región fue de 2.25 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 1.15 μM a 19.62 μM , el promedio de la región para diciembre fue de 8.86 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.62 μM a 20.14 μM , el promedio de la región fue de 10.91 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 1.28 μM a 20.78 μM y el promedio para la región fue de 8.10 μM . Las concentraciones de nitrato para la región de marzo, oscilaron entre 4.31 μM a 17.64 μM , el promedio para la región fue de 10.69 μM . En el mes de abril se registraron valores entre 3.63 μM a 21.67 μM , donde la concentración de nitrato más alta fue en Caleta Zorra a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 12.58 μM .

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona Caleta Zorra con un valor de 0.88 μM y el valor más alto fue en Bahía Mansa de 2.51 del promedio para la región fue de 1.39 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 4.47 μM a 28.12 μM y el promedio para la región fue de 11.70 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 3.14 μM a 26.76 μM y el promedio para la región fue de 11.74 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 14.82 μM a 25.03 μM y el promedio para la región fue de 18.78 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 0.03 μM a 28.60 μM y el promedio para la región fue de 12.86 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Chepu a las 10 millas y fue de 1.09 μM , el valor más alto fue en Faro Corona a las 2 millas y fue de 28.94 μM , el promedio en la región fue de 8.47 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de nitrato fue entre 0.07 μM a 16.20 μM y el promedio para la región fue de 5.84 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Chepu a las 5 millas con un valor de 0.02 μM y la concentración más alta fue en Playa Brava a las 10 millas con un valor de 23.86 μM , el promedio de la región fue de 9.891 μM .



Región de Aysén

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores de nitrato entre 10.81 μM a las 5 millas y 7.41 μM a las 10 millas en el Canal Tuamapu, Para el mes de diciembre el rango fue entre 11.62 μM a las 5 millas y de 13.03 μM a las 10 millas en el Canal Tuamapu. Para el mes de mayo, las concentraciones de nitrato en el transecto de Canal Tuamapu, fueron entre 9.94 μM y 18.20 μM con un promedio de 14.07 μM . En el crucero 6 correspondiente al mes de junio, las concentraciones oscilaron entre 4.47 μM y 28.12 μM , el promedio para el canal fue de 11.70. Para el mes de julio, las concentraciones fueron entre 7.81 μM y 11.26 μM , con un promedio de 9.54 μM . Para el mes de agosto las concentraciones fueron entre 5.05 μM a 9.96 μM con un promedio para el Canal Tuamapu de 7.51. Para el crucero 10 las concentraciones oscilaron entre 14.8 μM y el promedio fue de 14.8.

Fosfato

Se describen las concentraciones de fosfato para las 5 regiones de muestreo en el estrato 0-10m durante los meses noviembre y diciembre 2018 y para los meses de enero a abril del 2019. (**Figuras 1.4.7, 1.4.8 y 1.4.9**)

Región del Biobío

Las concentraciones de fosfato para la región de noviembre de 2018, oscilaron entre 0.84 μM a 3.05 μM con un máximo en la estación ubicada en Coliumo a 0-10m, el promedio para la región fue de 1.60 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 0.61 μM a 2.59 μM , el promedio de la región para diciembre fue de 1.51 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 1.21 μM a 3.02 μM , donde la concentración de fosfato más alta fue en Bahía Coliumo a la 1 milla de costa, el promedio de la región fue de 1.89 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.77 μM a 1.78 μM y el promedio para la región fue de 1.20 μM . Las concentraciones de fosfato para la región de marzo, oscilaron entre 2.06 μM a 3.59 μM con un máximo en la estación ubicada en Colcura a las 3 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 2.88 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 1.30 μM a 4.31 μM , donde la concentración de fosfato más alta fue en Bahía Colcura a la 1 milla de costa, el promedio de la región fue de 2.13 μM . Para el mes de mayo, las concentraciones registradas la mayoría estuvo bajo el límite de detección, solo una estación registro datos con una concentración de 4.8 μM . Para el crucero 6, correspondiente al mes de junio las concentraciones oscilaron entre 0.19 μM y 1.49 μM , donde el promedio para la región fue de 0.99 μM . En el mes de julio, la concentración más alta se registró en Bahía Tubul con 1.23 μM y la más baja en Bahía Colcura 10 millas, con una concentración de 0.43 μM . Para el mes de agosto, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.06 μM a 1.10 μM y el promedio para la región fue de 0.10 μM . Para el crucero 9, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.03 μM a 1.49 μM y el promedio para la región fue de 0.89 μM . Las concentraciones



del mes de octubre oscilaron entre 0.23 μM y 1.89 μM , con un promedio para la región de 1.02 μM . Para el mes de noviembre, la concentración más alta presentada fue de 1.36 y corresponde a la estación BLL-2, el promedio para la región fue de 0.91 μM . Para el mes de diciembre la concentración más alta registrada fue de 1.59 en el estrato 0-10m de la estación de BCC.5, ubicada a 5 millas de costa, el promedio para la región fue de 0.80 μM .

Región La Araucanía

En el mes de noviembre de 2018, se registraron valores entre 0.87 μM a 2.62 μM , el promedio de la región fue de 2.02 μM . Para el mes de diciembre de 2018, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.35 μM a 0.86 μM y el promedio para la región fue de 0.57 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.87 μM a 2.23 μM , donde la concentración de fosfato más alta fue en Nehuentué a las 5 millas de costa, el promedio de la región fue de 1.66 μM . Para el mes de febrero de 2019 el rango fue entre 1.20 μM a 2.94 μM , el promedio de la región para febrero fue de 1.92 μM . Las concentraciones de fosfato para la región en marzo, oscilaron entre 0.48 μM a 2.51 μM con un máximo en la estación ubicada en Puerto Saavedra a las 2 millas en el estrato 0-10m, el promedio para la región fue de 1.23 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.35 μM a 1.32 μM , donde la concentración de fosfato más alta fue en Nehuentué a las 10 millas de costa, el promedio de la región fue de 0.97 μM .

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Pto. Saavedra con un valor de 3.12 μM y el valor más alto fue en Queule las 10 millas de 5.0, el promedio para la región fue de 3.90 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.45 μM a 1.09 μM y el promedio para la región fue de 0.87 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.61 μM a 1.36 μM y el promedio para la región fue de 0.93 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.45 μM a 0.62 μM y el promedio para la región fue de 0.55 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.18 μM a 1.07 μM y el promedio para la región fue de 0.50 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Queule a las 5 millas y fue de 0.19 μM , el valor más alto fue en Pto. Saavedra a las 2 millas de costa y fue de 1.89 μM , el promedio en la región fue de 0.58 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.05 μM a 0.63 μM y el promedio para la región fue de 0.30 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Nehuentué a la 10 milla con un valor de 0.05 μM y la concentración más alta fue en Queule a las 2 milla con un valor de 1.00 μM , el promedio de la región fue de 0.39 μM .

Región Los Ríos

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores entre 0.87 μM a 2.62 μM , donde la concentración de fosfato más alta fue en Mehuín a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 2.02 μM . Para el mes de diciembre el rango fue entre 0.35 μM a 1.14 μM ,



el promedio de la región para diciembre fue de 0.68 uM. En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 1.20 uM a 2.25 uM, donde la concentración de fosfato más alta fue en Mehuín a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 1.69 uM. Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.20 uM a 1.88 uM y el promedio para la región fue de 1.06 uM. Las concentraciones de fosfato para la región de marzo, oscilaron entre 0.28 uM a 2.88 uM con un máximo en la estación ubicada en Mehuín a las 10 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 2.19 uM. En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.74 uM a 1.68 uM, donde la concentración de fosfato más alta fue en Niebla a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 1.63 uM.

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Río Bueno a las 5 millas con un valor de 2.41 uM y el valor más alto fue en Niebla a las 10 millas de 5.79, el promedio para la región fue de 4.18 uM. Para el mes de junio, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.55 uM a 1.19 uM y el promedio para la región fue de 0.90 uM. Para el mes de julio, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.51 uM a 1.36 uM y el promedio para la región fue de 0.79 uM. Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.17 uM a 0.74 uM y el promedio para la región fue de 0.52 uM. En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.31 uM a 2.12 uM y el promedio para la región fue de 0.63 uM. Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Mehuín a las 5 millas y fue de 0.11 uM, el valor más alto fue en Chaihuín a las 2 millas de costa y fue de 0.68 uM, el promedio en la región fue de 0.38 uM. En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.14 uM a 1.04 uM y el promedio para la región fue de 0.38 uM. Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Niebla a la 2 milla con un valor de 0.12 uM y la concentración más alta fue en Río Bueno a las 2 milla con un valor de 0.85 uM, el promedio de la región fue de 0.26 uM.

Región Los Lagos

Las concentraciones de fosfato para la región en noviembre de 2018, oscilaron entre 0.44 uM a 2.41 uM con un máximo en la estación ubicada en Mar Brava a las 2 millas, el promedio para la región fue de 1.06 uM. Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 0.30 uM a 1.14 uM, el promedio de la región para diciembre fue de 0.68 uM. En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.21 uM a 1.82 uM, donde la concentración de fosfato más alta fue en Faro Corona a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 1.14 uM. Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.20 uM a 1.88 uM y el promedio para la región fue de 1.06 uM. Las concentraciones de fosfato para la región de marzo, oscilaron entre 0.96 uM a 2.04 uM, el promedio para la región fue 1.50 uM. En el mes de abril, se registraron valores entre 0.94 uM a 2.22 uM, donde la concentración de fosfato más alta fue en Faro Corona a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 1.63 uM.

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Estaquilla a las 10 millas con un valor de 1.12 uM y el valor más alto fue en Carelmapu las 2 millas de 5.97, el promedio para la



región fue de 3.43 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.56 μM a 1.39 μM y el promedio para la región fue de 1.02 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.45 μM a 1.26 μM y el promedio para la región fue de 0.89 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.45 μM a 1.39 μM y el promedio para la región fue de 0.70 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.03 μM a 1.13 μM y el promedio para la región fue de 0.48 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Mar Brava a las 2 millas y fue de 0.09 μM , el valor más alto fue en Carelmapu a las 2 millas de costa y fue de 1.76 μM , el promedio en la región fue de 0.61 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de fosfato fue entre 0.11 μM a 1.49 μM y el promedio para la región fue de 0.55 μM . Para el crucero 12, la concentración mas baja se registró en Caleta Zorra la 5 milla con un valor de 0.15 μM y la concentración más alta fue en Chepu a las 2 milla con un valor de 1.71 μM , el promedio de la región fue de 0.75 μM .

Región de Aysen

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores de fosfato entre 1.38 μM a las 5 millas y 1.72 μM a las 10 millas en el Canal Tuamapu, Para el mes de diciembre el rango fue entre 1.69 μM a las 5 millas y de 1.85 μM a las 10 millas en el Canal Tuamapu. Para el mes de mayo, las concentraciones de fosfato en la transecta de Canal Tuamapu, fueron entre 0.41 μM y 1.63 μM con un promedio de 0.93 μM . En el crucero 6 correspondiente al mes de junio, las concentraciones oscilaron entre 0.56 μM y 1.39 μM , el promedio para el canal fue de 1.10. Para el mes de julio, las concentraciones fueron entre 0.40 μM y 2.07 μM , con un promedio de 0.96 μM . Para el mes de agosto las concentraciones fueron entre 0.40 μM a 0.87 μM con un promedio para el Canal Tuamapu de 0.62. Para el crucero 9 las concentraciones oscilaron entre 0.26 μM a 1.18 μM y el promedio fue de 0.86 μM . Para el crucero 10 las concentraciones fueron entre 0.99 μM y 1.69 μM , el promedio para el Canal Tuamapu fue de 0.72 μM . Para el crucero 12, el rango de concentraciones fue de 0.25 μM al 0.45 μM , el promedio para el Canal fue de 0.35 μM

Silicato

Se describen las concentraciones de silicato para las 5 regiones de muestreo en el estrato 0-10m durante los meses noviembre y diciembre 2018 y para los meses de enero a abril del 2019. (**Figuras 1.4.10, 1.4.11 y 1.4.12**)

Región del Biobío

Las concentraciones de silicato para la región de noviembre de 2018, oscilaron entre 5.08 μM a 23.98 μM , el promedio para la región fue de 11.31 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 2.93 μM a 39.84 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación de Bahía Coliumo a las 10 millas, el promedio de la región para diciembre fue de 22.44 μM . En el mes de enero de 2019, se



registraron valores entre 3.77 μM a 26.86 μM , el promedio de la región fue de 12.76 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.23 μM a 10.63 μM y el promedio para la región fue de 3.73 μM . Las concentraciones de silicato para la región de marzo, oscilaron entre 4.39 μM a 26.131 μM , el promedio para la región fue de 5.27 μM . En el mes de abril se registraron valores entre 1.05 μM a 17.95 μM , donde la concentración de silicato más alta fue en Bahía Llico a las 5 millas de costa, el promedio de la región fue de 5.88 μM . Las concentraciones reportadas para el mes de mayo 2019, para la región del Biobío. Para el mes de mayo 2019, los valores oscilaron entre 4.03 μM y 11.5 μM , donde el promedio para la región fue de 8.0 μM . Para el crucero 6 correspondiente al mes de junio, la concentración más alta fue de 30.0 μM y corresponde a la estación BLL-5, el promedio para la región fue de 20.97 μM . Para el mes de julio, los valores oscilaron entre 0.38 μM y 32.40 μM , donde el promedio para la región fue de 17.68 μM . Para el mes de agosto, la concentración mas alta registrada fue de 27.76 μM , ubicada en Bahía Colcura BCC.1, el promedio para la región fue de 12.36 μM . Para el mes de septiembre, los valores oscilaron entre 1.83 μM y 20.83 μM , donde el promedio para la región fue de 10.23 μM . Para el crucero 10, la concentración más alta fue en BLL-2, Bahía Llico a las 2 millas y fue de 35.45 μM , donde el promedio de la región fue de 17.52 μM . Para el mes de noviembre, los valores oscilaron entre 1.31 μM y 20.30 μM , donde el promedio para la región fue de 7.33 μM . Para el crucero 12, la concentración más alta fue de 17.15 μM , donde el promedio para la región fue de 4.62 μM .

Región La Araucanía

En el mes de noviembre de 2018, se registraron valores 2.51 μM a 9.22 μM , el promedio de la región fue de 5.86 μM . Para el mes de diciembre de 2018, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.41 μM a 5.55 μM y el promedio para la región fue de 2.12 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 1.07 μM a 5.88 μM , donde la concentración de silicato más alta fue en Nehuentué a las 5 millas de costa, el promedio de la región fue de 3.77 μM . Para el mes de febrero de 2019 el rango fue entre 1.45 μM a 17.08 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación Queule a las 5 millas de costa, el promedio de la región para febrero fue de 10.01 μM . Las concentraciones de silicato para la región en marzo, oscilaron entre 0.11 μM a 9.39 μM con un máximo en la estación ubicada en Puerto Saavedra a las 2 millas en el estrato 0-10m, el promedio para la región fue de 3.32 μM . En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 0.82 μM a 4.9 μM , el promedio de la región fue de 2.02 μM

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Nuehuentue con un valor de 4.05 μM y el valor más alto fue en Queule las 2 millas de 8.80, el promedio para la región fue de 7.07 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de silicato fue entre 4.41 μM a 22.51 μM y el promedio para la región fue de 13.14 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de silicato fue entre 4.04 μM a 32.22 μM y el promedio para la región fue de 14.44 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.78 μM a 21.45 μM y el promedio para la región fue de 7.24 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.04 μM a 16.79 μM y el promedio para la región fue de 5.05 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se



registró en Queule a las 5 millas y fue de 0.64 μM , el valor más alto fue en Nehuentue a las 10 millas de costa y fue de 32.28 μM , el promedio en la región fue de 17.41 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.46 μM a 9.66 μM y el promedio para la región fue de 3.93 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Queule a las 5 millas con un valor de 1.29 μM y la concentración más alta fue en Nehuentue a las 5 milla con un valor de 7.32 μM , el promedio de la región fue de 2.51 μM .

Región Los Ríos

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores entre 2.62 μM a 9.22 μM , donde la concentración de silicato más alta fue en Niebla a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 7.16 μM . Para el mes de diciembre el rango fue entre 0.41 μM a 5.55 μM , donde la concentración más baja se ubicó en la estación de Queule a las 2 millas, el promedio fue de 2.21 μM . En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 1.92 μM a 18.13 μM , el promedio de la región fue de 7.99 μM . Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.48 μM a 10.67 μM y el promedio para la región fue de 3.97 μM . Las concentraciones de silicato para la región de marzo, oscilaron entre 0.39 μM a 7.17 μM con un máximo en la estación ubicada en Mehuín a las 2 millas a 0-10m, el promedio para la región fue de 3.96 μM . En el mes de abril, se registraron valores entre 0.018 μM a 3.96 μM , el promedio de la región fue de 2.34 μM .

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Chaihuin con un valor de 1.76 μM y el valor más alto fue en Niebla las 2 millas de 7.21, el promedio para la región fue de 4.69 μM . Para el mes de junio, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.43 μM a 64.17 μM y el promedio para la región fue de 12.56 μM . Para el mes de julio, el rango de concentraciones de silicato fue entre 1.09 μM a 76.64 μM y el promedio para la región fue de 15.10 μM . Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de silicato fue entre 1.36 μM a 51.74 μM y el promedio para la región fue de 13.61 μM . En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de silicato fue entre 2.18 μM a 20.80 μM y el promedio para la región fue de 7.58 μM . Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Mehuin a las 5 millas y fue de 0.39 μM , el valor más alto fue en Mehuin a las 2 millas de costa y fue de 5.57 μM , el promedio en la región fue de 2.61 μM . En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.04 μM a 16.79 μM y el promedio para la región fue de 5.83 μM . Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Río Bueno a las 5 millas con un valor de 0.04 μM y la concentración más alta fue en Mehuin a las 2 milla con un valor de 15.76 μM , el promedio de la región fue de 2.94 μM .

Región Los Lagos

Las concentraciones de silicato para la región en noviembre de 2018, oscilaron entre 0.73 μM a 20.07 μM con un máximo en la estación ubicada en Bahía Mansa a las 2 millas, el promedio para la región fue de 4.76 μM . Para el mes de diciembre de 2018 el rango fue entre 0.41 μM a 9.61 μM , donde la



concentración más baja se ubicó en la estación de Playa Brava a las 5 millas, el promedio de la región para diciembre fue de 4.28 uM. En el mes de enero de 2019, se registraron valores entre 0.231 uM a 10.125 uM, el promedio de la región fue de 4.81 uM. Para el mes de febrero de 2019, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.48 uM a 10.67 uM y el promedio para la región fue de 3.97 uM. Las concentraciones de silicato para la región de marzo, oscilaron entre 1.95 uM a 10.16 uM, el promedio para la región fue de 5.71 uM. En el mes de abril correspondiente al crucero 4, se registraron valores entre 2.26 uM a 11.12 uM, donde la concentración de silicato más alta fue en Faro Corona a las 2 millas de costa, el promedio de la región fue de 6.66uM.

Para el mes de mayo, la concentración más baja se presentó en la zona de Caleta Zorra 10 millas con un valor de 3.70 uM y el valor más alto fue en Chepu las 2 millas de 14.20, el promedio para la región fue de 7.50 uM. Para el mes de junio, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.84 uM a 55.15 uM y el promedio para la región fue de 10.10 uM. Para el mes de julio, el rango de concentraciones de silicato fue entre 3.27 uM a 46.95 uM y el promedio para la región fue de 13.14 uM. Para el Crucero 8, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.25 uM a 13.16 uM y el promedio para la región fue de 4.70 uM. En el mes de septiembre, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.48 uM a 7.47 uM y el promedio para la región fue de 3.87 uM. Para el mes de octubre el valor más bajo se registró en Mar Brava a las 5 millas y fue de 0.03 uM, el valor más alto fue en Chepu a las 5 millas de costa y fue de 6.29 uM, el promedio en la región fue de 2.93 uM. En el mes de noviembre, el rango de concentraciones de silicato fue entre 0.68 uM a 7.83 uM y el promedio para la región fue de 2.93 uM. Para el crucero 12, la concentración más baja se registró en Mar Brava a las 10 millas con un valor de 0.14 uM y la concentración más alta fue en Playa Brava a las 5 milla con un valor de 11.46 uM, el promedio de la región fue de 4.68 uM.

Región de Aysén

En el mes de noviembre de 2018 correspondiente al crucero 11, se registraron valores de silicato entre 6.90 uM a las 5 millas y 6.08 uM a las 10 millas en el Canal Tuamapu, Para el mes de diciembre el rango fue entre 5.14 uM a las 5 millas y 4.97 uM a las 10 millas en el Canal Tuamapu. Para el mes de mayo, las concentraciones de silicato en la transecta de Canal Tuamapu, fueron entre 4.15 uM y 8.20 uM con un promedio de 6.00 uM. En el crucero 6 correspondiente al mes de junio, las concentraciones oscilaron entre 0.84 uM y 55.15 uM, el promedio para el canal fue de 10.10. Para el mes de julio, las concentraciones fueron entre 2.09 uM y 6.45 uM, con un promedio de 4.35 uM. Para el mes de agosto las concentraciones fueron entre 3.66 uM a 8.47 uM con un promedio para el Canal Tuamapu de 6.16. Para el crucero 9 las concentraciones oscilaron entre 2.06 uM a 5.19 uM y el promedio fue de 3.24 uM. Para el crucero 10 las concentraciones fueron entre 3.77 uM y 7.88 uM, el promedio para el Canal Tuamapu fue de 5.37 uM. Para el crucero 11, el rango de concentraciones fue de 2.34 uM.

Los resultados de concentración de nutrientes corresponden Nitritos, Nitratos, Fosfatos y Silicatos (estrato 0 – 10m) para las 5 regiones monitoreadas en este proyecto, En general, las concentraciones muestran un comportamiento estacional, con los registros más altos durante el periodo estival y una



disminución latitudinal hacia el sur. Las concentraciones más altas de fosfato fueron registradas en las estaciones con mayor influencia de la región del Biobío, en tanto que los silicatos mostraron mayores concentraciones en zonas de salida de ríos y en periodos de invierno como en la zona de Bahía Mansa y Chacao.

5.2 Objetivo específico 2.

Prospectar quistes de especies nocivas en sedimentos en estaciones selectas de la red de sitios de monitoreo.

Quistes de resistencia entre las regiones del Biobío y Los Lagos

En esta Etapa II de monitoreo, el análisis total de 82 muestras de sedimentos obtenidas durante las campañas realizadas en los meses de junio y diciembre en las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, permitió identificar un total de 64 tipos de quistes de dinoflagelados, entre ellos, tres especies reportadas como productoras de toxinas en aguas chilenas: *Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii* y *Protoceratium reticulatum*. (**Anexo 1, Bases de datos**)

En términos generales, y desde el punto de vista taxonómico, se identificaron y documentaron quistes pertenecientes a 23 géneros (*Alexandrium*, *Protoceratium*, cf. *Lingulodinium*, *Gonyaulax*, *Spiniferites*, *Nematosphaeropsis*, *Impagidinium*, *Prorocentrum*, *Pentaparsodinium*, *Scrippsiella*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Trinovantedinium*, *Echinidinium*, *Selenopemphix*, *Archaeoperidinium*, *Protoperidinium*, *Polykrikos*, *Preperidinium*, *Diplopsalopsis*, *Niea*, cf. *Ensiculifera*, *Margalefidinium*), 44 especies y 14 tipos no identificados (**Figuras. 2.1 - 2.3**). Cualitativamente, el género de dinoflagelado con una mayor presencia en el área de estudio correspondió a *Protoperidinium*, siendo identificadas 14 especies (*P. americanum*, *P. avellana*, *P. claudicans*, *P. conicoides*, *P. conicum*, *P. nudum*, *P. denticulatum*, *P. excentricum*, *P. leonis*, *P. oblongum*, *P. pentagonum*, *P. punctulatum*, *P. sinuosum*, *P. subinermis*) y dos miembros identificados solo a nivel de género (*Protoperidinium* sp. 3 y *Protoperidinium* sp. 4). Los quistes registrados como *Protoperidinium* spp. eran esféricos, de color café, sin germinar, que muy probablemente pertenecen al género *Protoperidinium*, pero al no tener un arqueopilo (estructura por donde sale la célula germinada) que permita su identificación es imposible agruparlo dentro de alguna especie.

Las **Tablas 2.1 – 2.3** muestran los registros de identificación y cuantificación de los quistes de dinoflagelados obtenidos en la primera campaña realizada en junio (entre fines de otoño y principios



de invierno) correspondiente al crucero 6 del monitoreo. En esa oportunidad se obtuvo muestras de sedimento superficial desde un total de 49 estaciones.

En las **Tablas 2.4 – 2.7** se muestra la información de identificación y cuantificación de quistes correspondientes al análisis de 33 muestras de sedimento obtenidas durante el mes de diciembre (final de primavera), que correspondió al crucero 12 de monitoreo.

Entre las cuatro regiones estudiadas, aquellas que presentaron una mayor diversidad y abundancia de quistes durante ambas campañas de muestreo correspondieron a las regiones del Biobío y de Los Lagos (**Tablas 2.1 – 2.7**). Al considerar las abundancias quistes totales entre ambas campañas (junio y diciembre) de Los Lagos se pudo identificar que las mayores abundancias se encuentran en las estaciones ubicadas a 10 millas, y las menores en las estaciones de 2 millas (**Figura 2.4**). En el Biobío parece ocurrir algo muy similar. Sin embargo, debido a que durante ambas campañas (junio y diciembre) se pudo observar muy altas abundancias del quiste del dinoflagelado inocuo *Scrippsiella precaria* probablemente por una floración en Bahía Colcura (abundancia máxima de 38520 quistes $\times$ mL⁻¹ de sedimento húmedo en Bahía Colcura 5 millas), estas altas abundancias enmascaran (gráficamente) las abundancias de quistes totales. En **Figura 2.5**, donde se filtra la abundancia de *S. precaria*, se puede ver que las máximas abundancias del Biobío se localizan entre estaciones ubicadas a 5 y 10 millas de la costa, coincidiendo con lo ocurrido en Los Lagos.

Por otro lado, considerando la presencia de quistes de las especies productoras de toxinas paralizantes *A. catenella* y *A. ostenfeldii*, se puede destacar que los quistes de *A. catenella* se encuentran distribuidos exclusivamente en sedimentos de la región de Los Lagos, desde Estaquilla al sur, mientras que aquellos de *A. ostenfeldii* casi exclusivamente en sedimentos de la región del Biobío, exceptuando un registro en Guapiquilán (5 quistes $\times$ mL⁻¹ de sedimento húmedo) en Los Lagos durante la campaña de diciembre (crucero 12).

Particularmente para *A. catenella*, sus quistes identificados durante la primera campaña realizada en junio (crucero 6) fueron registrados en las estaciones Estaquilla 5 millas, Playa Brava 10 millas, Mar Brava 10 millas, Chepu 5 millas, Cucao 10 millas, Caleta Zorra 2 millas, Caleta Zorra 10 millas, Asasao y Guapiquilán, éstas dos últimas ubicadas en la costa. El registro positivo en estas estaciones muestra que los quistes de la especie están presentes en distintos sectores de la plataforma continental con abundancias bajas, variando entre 2 y 21 quistes $\times$ mL⁻¹ de sedimento húmedo. La máxima abundancia fue registrada en Caleta Zorra 10 millas y la menor en Playa Brava 10 millas. Durante la segunda campaña realizada en diciembre, aunque con menos estaciones disponibles, los resultados no



mostraron mucha diferencia de los obtenidos en junio. Las estaciones positivas para la presencia de quistes fueron Mar Brava 10 millas, Chepu 2 millas, Caleta Zorra 10 millas, Asasao y Guapiquilán. Adicionalmente se incluyó en esta campaña una estación en Isla Guafo, la cual también fue positiva para quistes de *A. catenella*. De igual manera que en la primera campaña, en esta segunda las abundancias fueron bajas, variando entre 9 y 2 quistes $\times$ mL⁻¹ de sedimento húmedo.

Si consideramos la suma de las abundancias de quistes de *A. catenella* de ambas campañas (**Figura 2.6**) se puede identificar que las estaciones que presentan mayor abundancia corresponden a Caleta Zorra 10 millas y Playa Brava 10 millas, seguido por las estaciones ubicadas al sur de la Isla de Chiloé, en el sector costa de Asasao y Guapiquilán.

Para el caso de *A. ostentfeldii*, durante la campaña realizada en junio (crucero 6) sus quistes solo fueron registrados en la región del Biobío (**Figuras 2.7 y 2.8**). En esa ocasión 9 (60%) de las 15 estaciones muestreadas presentaron quistes de *A. ostentfeldii*, siendo éstas, Bahía Coliumo 2 millas, B. Coliumo 5 millas, B. Colcura 2 millas, B. Colcura 5 millas, B. Colcura 10 millas, B. Tubul costa, B. Tubul 10 millas, B. Llico costa, y B. Llico 2 millas. En general las abundancias fueron relativamente bajas, variando entre 3 y 38 quistes $\times$ mL⁻¹ de sedimento húmedo, con la mayor abundancia en B. Colcura 5 millas y la menor en las estaciones B. Llico 2 millas y B. Coliumo 2 millas. En la campaña realizada en diciembre (crucero 12) los resultados fueron muy similares a los de la primera campaña (junio), siendo registrada la especie casi exclusivamente en sedimentos del Biobío, excepto por el registro de Guapiquilán en Los Lagos. En el muestreo de diciembre (crucero 12) se registró la presencia de quistes de la especie en 10 (63%) de las 16 estaciones muestreadas en el Biobío (**Figuras 2.9 y 2.10**), siendo éstas, las cuatro estaciones de Bahía Coliumo (costa, 2, 5 y 10 millas), B. Colcura 2 millas, B. Colcura 10 millas, B. Tubul costa, B. Tubul 5 y 10 millas, y B. Llico 2 millas. Igualmente, que en junio, las abundancias fueron relativamente bajas, las cuales variaron entre 3 y 36 quistes $\times$ mL⁻¹ de sedimento húmedo. La estación con mayor abundancia correspondió a B. Coliumo 5 millas y la de menor abundancia a B. Coliumo 2 millas.

Los sitios que presentaron mayor abundancia de quistes de *A. ostentfeldii* durante el año en la región del Biobío, considerando las abundancias de ambas campañas (junio y diciembre), fueron B. Coliumo 5 millas y B. Colcura 5 millas, seguido por las estaciones ubicadas a 10 millas de las bahías de Coliumo, Colcura y Tubul. Bahía Llico, en cambio, presentó máxima abundancia en estación de 2 millas (**Figura 2.11**).



Por otro lado, quistes del dinoflagelado productor de yesotoxinas *Protoceratium reticulatum* fueron registrados durante el muestreo de junio (crucero 6) en sedimentos del Biobío y de Los Lagos. En el Biobío sus quistes estuvieron presente en siete estaciones con una abundancia máxima de 23 quistes $\times \text{mL}^{-1}$ de sedimento húmedo en B. Llico 2 millas, y en Los Lagos en tres estaciones con una abundancia máxima de 27 quistes $\times \text{mL}^{-1}$ en Caleta Zorra (Los Lagos). Durante la campaña de diciembre (crucero 12) los quistes de la especie se registraron igualmente en baja abundancia (entre 2 y 6 quistes $\times \text{mL}^{-1}$) en sedimentos de las regiones del Biobío, Los Ríos y Los Lagos. En el Biobío se registró solo en una estación (5 quistes en Bahía Tubul costa), mientras que en Los Ríos en Niebla 5 millas y Chaihuin 2 millas (6 y 3 quistes $\times \text{mL}^{-1}$, respectivamente), y en Los Lagos en cinco estaciones con muy bajas abundancias (entre 2 y 6 quistes $\times \text{mL}^{-1}$), siendo Isla Guafo la estación donde se registró la máxima abundancia.

El estudio de quistes de resistencia en monitoreos es importante debido a que ellos juegan un rol fundamental en el ciclo de vida de los dinoflagelados al acoplar los ambientes planctónicos y bentónicos, sobre todo de aquellos dinoflagelados que viven en ambientes con una marcada variación estacional como pueden ser los ambientes costeros (Montresor et al., 1998). Los quistes son importantes, además, en la dinámica de las floraciones de los dinoflagelados dado que se ha demostrado que pueden ser la fuente de inóculo de una floración, o ser el medio para dar término a una floración, puesto que los quistes de resistencia son el producto de la fusión de gametos haciendo que en la fase final de una floración disminuya la densidad celular (Kremp 2013). Más aún, la dispersión geográfica de las especies ha sido sugerida, entre otras razones, por el transporte de quistes por factores antropogénicos (e.g. aguas de lastre, trasplante de mariscos y aparejos de pesca) como naturales (corrientes y plumas costeras). Una vez en el sedimento, y luego de haber cumplido un período de latencia (maduración) obligatorio que varía de días a meses según la especie, los quistes podrán germinar y restablecer las poblaciones móviles cuando las condiciones ambientales sean favorables.

La estrategia de muestreo propuesta en esta etapa destinada a la búsqueda de quistes de especies nocivas consistió en aumentar a dos el número de muestreos en el año (períodos del otoño y primavera) y utilizar una mayor cantidad de estaciones. Esta estrategia arrojó resultados positivos tanto en lo referido a diversidad de especies registradas, como en la identificación de sectores que presentan una mayor sedimentación de quistes de especies particulares, entre ellas, las de las especies productoras de toxinas *A. catenella* y *A. ostenfeldii*. En primer lugar, en esta etapa se registraron 64 tipos de quistes distintos, lo cual difiere considerablemente de los 30 registrados en la etapa anterior (Etapa I) y a cantidades reportadas en distintos trabajos especializados en Chile (e.g.



Alves de Sousa et al., 2008; Seguel et al., 2011; Díaz et al., 2014) y en otras partes del planeta (e.g. Persson et al., 2000; Orlova et al., 2004). Además, los resultados actuales, junto con los de la etapa I, son los primeros registros de quistes de dinoflagelados fuera del sistema de canales y fiordos del sur de Chile, lo cual amplía aún más el conocimiento y el listado de dinoflagelados de la costa Chilena. Por ejemplo, los estudios realizados en la región del Biobío de Salgado et al. (2013) y Espinoza et al. (2019) han podido mostrar la marcada presencia anual de dinoflagelados productores de toxinas, entre ellas el productor de toxinas paralizantes *A. ostenfeldii*. Por otro lado, en la actual etapa se ha mostrado que la composición taxonómica de los ensambles de quistes ha sido dominada por dinoflagelados heterótrofos del género *Protoperdinium*. Esto, sin embargo, no es sorprendente debido a la naturaleza cosmopolita de sus miembros, los cuales pueden tolerar amplios rangos de salinidades y temperaturas (Marret & Zonneveld 2003).

En segundo lugar, la utilización de un mayor número de estaciones permitió, en esta ocasión, identificar sectores en que la sedimentación de quistes puede ser más frecuente, tanto por el régimen sedimentario o por la recurrencia y abundancia de la fase móvil en el área y su eficacia en la formación de quistes (Balch et al., 1983; Blanco 1995). Sin embargo, la identificación de sectores requiere una serie de tiempo prolongada para dar peso a la información. Por ejemplo, el sector de Caleta Zorra 10 millas ha sido identificado, tanto en la etapa actual como en la anterior, como un sitio con presencia marcada de quistes de *A. catenella*, aunque sus abundancias no sean altas. Esto se ha repetido también con sectores del sur de Chiloé como Asasao y Guapiquilan donde la presencia de quistes de la especie parecen ser habituales. Aunque requiere confirmación, podríamos hipotetizar que tales situaciones podrían ser similares a lo reportado por Salgado (2011) para el área de Bahía Quellón y alrededores, donde la presencia de quistes de *A. catenella* fue registrada en columnas sedimentarias datadas cronológicamente desde aproximadamente el año 1929. De igual manera, si consideramos la abundancia de quistes totales registrada en ambas campañas (junio y diciembre) en Los Lagos podemos identificar que las estaciones Bahía Mansa 10 millas, Mar Brava 10 millas y Caleta Zorra 10 millas son sitios con una mayor sedimentación de quistes.

Para el caso de *A. ostenfeldii*, las estaciones B. Coliumo 5 millas y B. Colcura 5 millas fueron los sitios donde fue posible identificar en mayor número los quistes de la especie. La confirmación de la producción de toxinas paralizantes de *A. ostenfeldii* y su marcada presencia de quistes de resistencia en sedimentos del Biobío genera la necesidad de mantener de manera constante un programa de monitoreo con estrategias que permitan dar una imagen clara del comportamiento de la fase móvil en el área, resguardando así la salud pública y las actividades productivas como la pesca, la acuicultura y el turismo de la región.



5.3 Objetivo específico 3

Continuar con el análisis interpretativo de los datos a recolectar desde noviembre de 2018 a diciembre de 2019, incorporando la información generada a partir de la Etapa I del proyecto (enero – octubre 2018), segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables biológicas y abióticas disponibles, incluyendo los resultados sobre quistes de dinoflagelados (**Anexo 1, Base de Datos**).

1.- Series de tiempo de las variables ambientales y biológicas.

En la actividad n°3 del objetivo n°1 de este proyecto se detallaron las condiciones hidrográficas y meteorológicas para cada uno de las regiones de estudio. Por lo que, en esta descripción se integrará esa información junto a la distribución de nutrientes y la variabilidad de los grandes grupos que componen el fitoplancton (diatomeas y dinoflagelados). Las **Figuras 3.1 a 3.21** muestran las variaciones temporales de las variables ambientales (temperatura (°C) y salinidad (psu), oxígeno (mL/L), fluorescencia (mg/m³), dirección (grados) y velocidad del viento (m/s) y nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato y silicato (μM)) y de las variables biológicas (diatomeas, dinoflagelados, silicoflagelados y otros grupos (log células/L)), para cada uno de las estaciones de muestreo en el periodo comprendido entre enero de 2018 a diciembre de 2019.

Para las estaciones ubicadas en la región del Biobío (Bahías Coliumo, Colcura, Llico y Tubul; **Figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4**), se observó que los mayores incrementos en la densidad de las diatomeas estuvieron asociadas a los periodos de verano, especialmente durante los meses de enero 2018, febrero 2018 y diciembre de 2019, coincidiendo con registros de temperatura del agua entre 11,7 y 14,5 °C, con salinidades altas entre 33,3 y 34,5 PSU y concentraciones de oxígeno por sobre 4, 0 ml/L. Las concentraciones de nutrientes fueron variables y con una amplia dispersión, así las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato estuvieron en rangos entre 0,9 – 13,9 μM; 0,3 – 2,6 μM y 0,7 – 15,7 μM, respectivamente, con vientos de intensidad entre 1,5 y 6,5 m/seg y principalmente de componente sur y sur oeste. Las especies dominantes de diatomeas corresponde principalmente a la especie *Skeletonema spp.*, además, se registraron altas densidades de las especies *Thalassionema nitschioides*, *Chaetoceros spp* y *Thalassiosira rotula*. El aumento de las densidades asociadas a las diatomeas ha sido descrito anteriormente en donde se ha asociado a los procesos de surgencia costera y el aumento de la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua ([Anabalón et al., 2007](#)) Mientras que, los mayores incrementos en la densidad de los dinoflagelados estuvieron asociados al periodo del final de la primavera y comienzos del verano, durante los meses de diciembre de 2018 y noviembre de 2019, cuando la columna de agua presentó valores altos de temperatura entre 12 y 15,1°C, con salinidades entre 33 y 34,6 PSU y valores de oxígeno por sobre los 5,0 ml/L. Las



concentraciones de nutrientes fueron altas, en rangos para nitrato, fosfato y silicatos entre 2,9 – 7,6 μM ; 1,2 – 3,3 μM y 4,3 – 22,9 μM , respectivamente, con vientos de intensidad baja entre 1,0 y 3,7 m/seg de componente norte y noroeste. Entre las especies de dinoflagelados dominantes se encontraron *Gyrodinium spp*, Dinoflagelados tecados y atecados y *Dinophysis acuminata*, especie que es productora de toxinas diarreicas (TDM), que el mes de noviembre de 2019 registró una densidad de 67.800 células/L en la localidad de Tubul. Durante este periodo se registraron distintas discoloraciones asociadas a la especie *Mesodinium rubrum* específicamente en las bahías de Tubul y Coliumo y floraciones de *Dinophysis acuminata*, con un grado de desfase. Se conoce que este dinoflagelado es mixótrofo y que predica sobre *Mesodinium rubrum*, por lo que, existe una relación ecológica directa entre estas especies.

Para las estaciones ubicadas en la región de la Araucanía (Nehuentué, Puerto Saavedra y Queule; **Figuras 3.5, 3.6 y 3.7**), Se observó que los mayores incrementos en la densidad de las diatomeas estuvieron asociadas a los periodos de verano, especialmente durante los meses de enero y diciembre de 2019, donde la columna de agua presentó valores de temperatura del agua entre 12,6 y 15,2°C, con salinidades mayores a 33,4 PSU y concentraciones de oxígeno por sobre 7,6 ml/L. Las concentraciones de nutrientes presentaron una alta dispersión, así las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato estuvieron en rangos entre 0,16 – 21,5 μM ; 0,6 – 2,1 μM y 1,3 – 7,3 μM , respectivamente, con vientos de intensidad entre 6,8 y 7,7 m/seg y principalmente de componente norte. Las especies dominantes de diatomeas corresponde principalmente a la especie *Skeletonema spp.*, además, se registraron altas densidades de las especies *Thalassionema nitschioides*, *Chaetoceros spp* y una importante floración del complejo *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* que durante el mes de diciembre de 2019 alcanzó una densidad de 1.016.200 células/L en la localidad de Puerto Saavedra. En cuanto a las toxinas que producen estas especies (TAM), los registros de toxinas realizadas tanto por bioensayo como por HPLC, los resultados fueron negativos y no se detectaron toxinas asociadas a esta floración. Se sabe que, las floraciones asociadas a esta especie son de corta duración, esto ha sido evidenciado en floraciones del complejo *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* y producción de TAM en la isla de Chiloé, donde la permanencia de las toxinas en mariscos es corta y no sobrepasan una semana. Por lo que, una floración de esta especie es complejo de pesquisar con monitoreos de frecuencia mensual. En cuanto a los mayores incrementos en la densidad de los dinoflagelados, estos estuvieron asociados al comienzo del verano, durante los meses de diciembre y enero de 2018 y diciembre de 2019, cuando la columna de agua presento valores de temperatura entre 13,5 y 15,2°C, con salinidades sobre 33,2 PSU y valores de oxígeno por sobre los 6,0 ml/L. Las concentraciones de nutrientes fueron muy variables en el caso del nitrato y más cercanas en el caso del fosfato y silicato las que se registraron en un rango entre 1,4 – 12,6 μM ; 0,8 – 0,9 μM y 5,7 – 7,32 μM , respectivamente, mientras que los vientos registrados fueron de



intensidad baja entre 1,2 y 2,8 m/seg de componente sur y este. Entre las especies de dinoflagelados dominantes se registraron densidades celulares altas de Dinoflagelados atecados.

Para las estaciones ubicadas en la región de los Ríos (Mehuín, Niebla, Chaihuín y Río Bueno; **Figuras 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11**), se observó que los mayores incrementos en la densidad de las diatomeas estuvieron asociadas a los periodos de verano e invierno, durante los meses de enero de 2018 y diciembre de 2019 y agosto y septiembre de 2018, respectivamente. Durante el periodo de verano, la columna de agua presentó valores de temperatura entre 13,9 y 14,5°C, con salinidades cercanas a 33 PSU con concentraciones de oxígeno sobre 7,5 ml/L y concentraciones de nutrientes bajas de nitrato, fosfato y silicato en rangos entre 1,4 – 2,7µM; 0,16 – 0,25µM y 0,5 – 1,7µM, respectivamente, con vientos de componente sur e intensidad cercanas a 2,0 m/seg. Durante este periodo se registraron varias especies de diatomeas dominantes en términos de densidad, entre ellas, *Chaetoceros radicans*, los complejos *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia cf. australis*, especies de diatomeas nocivas productoras de toxinas amnésicas (TAM), que alcanzaron valores de 117.800 y 46.800 células/L, respectivamente. Mientras que, para el periodo de invierno, las condiciones de la columna de agua presentaron valores bajos de temperatura entre 10,8 y 11,8°C, con salinidades cercanas a 30PSU y concentraciones de oxígeno sobre 6,5 ml/L. Las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato en rangos entre 1,3 – 3,5µM; 0,4 – 0,5µM y 1,7 – 15,2µM, respectivamente, con vientos de intensidad entre 2,0 y 6,8 m/seg y principalmente de componente sur y suroeste. La especie dominante de diatomeas fue la especie *Skeletonema spp.*, que alcanzó densidades de 14.500.000 células/L en el mes de septiembre de 2018 en la localidad de Chaihuín. *Skeletonema spp.* es considerada como nociva para peces y bivalvos filtradores, debido a que cuando se encuentra en altas densidades puede causar daños mecánicos en peces y obstrucción en los organismos filtradores, además, de que densidades como las registradas pueden generar bajas de oxígeno cuando la floración decae y es consumida por bacterias aeróbicas que utilizan el oxígeno disponible para este proceso. En cuanto a los mayores incrementos en la densidad de los dinoflagelados, estos estuvieron asociados al comienzo del verano y primavera, durante los meses de febrero de 2018 y diciembre de 2019 y septiembre de 2018, respectivamente. Durante estos periodos, las condiciones de la columna de agua presentaron valores de temperatura entre 11,8 y 14,6°C, con salinidades sobre 30PSU y valores de oxígeno por sobre los 5,7ml/L. Las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato se encontraron en rangos entre 0,8 – 3,6µM; 0,45 – 0,7µM y 2,1 – 15,2µM, respectivamente, con vientos de intensidad entre 2,0 y 4,5 m/seg y principalmente de componente sur y suroeste. Las especies dominantes de dinoflagelados fueron *Gyrodinium spp.* y el grupo de las Kareniaceas, las cuales presentaron una densidad de 90.800 células/L durante el mes de febrero de 2018 en la localidad de Río Bueno. En la sección de análisis de las especies nocivas y la relación con las variables ambientales



nos referiremos a la floración de la Kareniaceas que tuvo una amplia cobertura y numerosos eventos tóxicos.

Para las estaciones ubicadas en la región de los Lagos (Bahía Mansa, Estaquilla, Playa Brava, Carelmapu, Faro Corona, Mar Bravo, Chepu, Cucao, Caleta Zorra; **Figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20**), se observó que los mayores incrementos en la densidad de las diatomeas estuvieron asociadas a los periodos de verano, durante los meses de enero, febrero y diciembre de 2018. Durante el periodo de verano, la columna de agua presentó valores bajos de temperatura entre 10,2 y 13,6°C, con salinidades cercanas a 33 PSU, con concentraciones de oxígeno entre 4,0 – 7,5ml/L y concentraciones de nutrientes de nitrato, fosfato y silicato en rangos entre 1,9 – 19,1µM; 0,40 – 1,8µM y 0,5 – 12,1µM, respectivamente, con vientos de componente sur e intensidad mayores a 2,0 m/seg. Durante este periodo se registraron una mayor variabilidad de diatomeas dominantes en términos de densidad, entre ellas, *Asterionellopsis glacialis*, *Thalassiosira* cf. *minúscula*, *Thalassiosira delicatula*, *Thalassiosira subtilis*, *Skeletonema* spp., *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros radicans*, *Pseudo-nitzschia* spp. y los complejos *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia* cf. *australis*, estas dos últimas especies son diatomeas nocivas productoras de toxinas amnésicas (TAM), que alcanzaron valores de 472.400 y 97.700 células/L, respectivamente. En cuanto a los mayores incrementos en la densidad de los dinoflagelados, estos estuvieron asociados al comienzo del otoño, principalmente durante el mes de abril de 2018. Durante este periodo, la columna de agua presentó valores de temperatura entre 11,8 y 14,7°C, con salinidades sobre 33PSU y valores de oxígeno por sobre los 5,0ml/L. Las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato se encontraron en rangos entre 2,2 – 10,5 µM; 0,45 – 1,0µM y 0,33 – 7,1µM, respectivamente, con vientos de intensidad entre 2,5 – 5,5 m/seg y principalmente de componente norte. Las especies dominantes de dinoflagelados fueron las diatomeas atecadas y el grupo de las Kareniaceas, las cuales fueron dominantes en prácticamente todas las estaciones de esta región, registrando densidades entre 9.800 y 334.300 células/L durante el mes de abril de 2018.

Finalmente, para las estaciones ubicadas en la región de Aysén (**Figura 3.21**). Se observó que los mayores incrementos en la densidad de las diatomeas estuvieron asociadas a los periodos de verano, durante el mes de diciembre de 2019. Durante el periodo de verano, la columna de agua presentó valores bajos de temperatura de 11,1°C, con salinidades de 33 PSU y concentraciones de oxígeno de 7,5ml/L, con vientos de componente sur e intensidad mayores a 2,0 m/seg. Durante este periodo la especie de diatomea dominantes fue *Skeletonema* spp. En cuanto a los mayores incrementos en la densidad de los dinoflagelados, estos estuvieron asociados al comienzo del otoño, principalmente durante el mes de marzo de 2019. Durante este periodo, la columna de agua presentó valores de



temperatura de 11,1°C, con salinidad de 33PSU y valores de oxígeno por sobre los 5,0ml/L. Las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato fueron de 11,2µM; 0,5µM y 6,7µM, respectivamente, con vientos de intensidad de 3,5m/seg y de componente norte. Durante este periodo, se identificó que las especies dominantes corresponde al grupo de los dinoflagelados atecadas.

2.- Variación espacial del ensamble de fitoplancton en las distintas estaciones de muestreo:

La composición fitoplanctónica, en las estaciones de muestreo de las regiones de estudio, estuvo compuesta por un total de 193 especies, de las cuales 112 son diatomeas, 73 son dinoflagelados, 3 silicoflagelados, 2 ciliados, 1 euglenofícea, 1 zoomastigoforo y 1 prymnesiales. La **Figura 3.22**, muestra la distribución espacial de esta composición fitoplanctónica, donde se observan diferencias tanto en la composición como en el nivel de densidad para cada estación de muestreo. Las mayores densidades (> 900.000 células/L) fueron registradas en la estación de Cucao en la región de los Lagos, mientras que, las densidades más bajas (> 20.000 células/L) fueron registradas en la estación de Mehuín en la región de los Ríos. En términos de composición fitoplanctónica, las mayores diversidades fueron registradas en las estaciones asociadas a las estaciones de la región de los Lagos. Además, se registró una dominancia de la especie *Skeletonema* spp. en varias de las estaciones de muestre y especialmente en las estaciones de la región del Biobío y Cucao y Caleta Zorra en la región de los Lagos.

La ordenación del fitoplancton total se llevó a cabo por medio de un escalamiento no dimensional (nMDS), el análisis de nMDS mostró los resultados de la clasificación disponiendo las estaciones en sus grupos con un coeficiente de estrés de Kruskal de 0,1 (**Figura 3.23**). Los grupos de estaciones fueron ubicados de derecha a izquierda, donde a un nivel de similitud del 60% se identifican tres grupos de estaciones, el compuesto por las estaciones ubicadas en Mehuín, que presentó una mayor distancia (menor similitud) con los otros dos grupos, el segundo de ellos compuesto por las estaciones ubicadas en la región (Niebla, Chaihuín y Rio Bueno), región (Bahía Mansa, Estaquilla, Carelmapu, Playa Brava, Mar Brava y Faro Corona) y región (Canal Tuamapu) y del tercer grupo compuesto por las estaciones de la región (Bahías Coliumo, Colcura, Llico y Tubul), región (Nehuentué, Puerto Saavedra y Queule) y región (Chepu, Cucao y Caleta Zorra).

De acuerdo a esta distribución y de la similitud en la composición del fitoplancton, podemos indicar que existen patrones regionales que determinan la formación de estos grupos. Uno de ellos, es el que se genera a partir de la composición del fitoplancton en la región del Biobío, donde la similitud entre las estaciones alcanza un valor del 70%, valor similar al observado para las estaciones en la región de la Araucanía.

A partir de los análisis de SIMPER se pudo determinar que, las diferencias entre la composición del fitoplancton entre las estaciones de las regiones del Biobío y de la Araucanía se debieron principalmente a la presencia de *Skeletonema* spp., el complejo *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* y *Chaetoceros* spp. que contribuyeron en 32,4%, 14,9% y 14,2% a las diferencias entre ambos grupos regionales. Mientras que, las mayores diferencias en la composición



fitoplanctónica registrada para la estación de Mehuín, con respecto a los otros grupos firmados, estuvo dada por las bajas densidades de las especies anteriormente mencionadas, que en conjunto representaron hasta un 70% de la distancia (menor similitud) entre la estación de Mehuín y los otros grupos. En general, las altas contribuciones, en términos de densidad, de las especies de *Skeletonema* spp., y el complejo *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* registradas en la región del Biobío, fueron las responsables de las menores similitudes con los otros grupos regionales. En la región de los Lagos, las diferencias al interior de este grupo regional, estuvo marcado por las contribuciones de las especies *Skeletonema* spp., el complejo *Pseudo-nitzschia* spp. y *Asterionellopsis glacialis*, las cuales contribuyeron en un 66% a la distancia (menor similitud) de las estaciones ubicadas al norte del canal de Chacao (Playa Brava y Carelmapu) y las estaciones ubicadas en el sur de la isla de Chiloé (Cucao y Caleta Zorra).

La **Figura 3.24** resume la información detallada anteriormente, en una figura que integra el análisis de clúster para las 70 especies que más contribuyeron en términos de densidad (Transformada a raíz cuadrada) a la composición fitoplanctónica y la configuración de los grupos de estaciones representado en un gráfico de sombras (Shade Plot). En esta figura se aprecia claramente el grupo de especies que da origen a los distintos grupos de estaciones y cómo éstas se ordenan en función de dos características, presencia y nivel de abundancia.

3.- Variación espacial de las variables ambientales en las distintas estaciones de muestreo

La ordenación de las variables ambientales (oceanográficas, meteorológicas y nutrientes) se llevó a cabo por medio de un escalamiento no dimensional (nMDS) de la misma forma que se realizó el análisis de la composición fitoplanctónica, el análisis de nMDS mostró los resultados de la clasificación disponiendo las estaciones en sus grupos con un coeficiente de estrés de Kruskal de 0,14 (**Figura 3.25**). Los grupos de estaciones fueron ubicados de derecha a izquierda, donde a un nivel de distancia (distancia Euclideana) de 6 se identifican tres grupos de estaciones, el compuesto por las estaciones de la región VIII (Bahías Coliumo, Colcura, Llico y Tubul). El segundo grupo formado por la totalidad de las estaciones de las regiones de la Araucanía, Los Lagos y Los Ríos y un tercer grupo formado por la estación de canal Tuamapu en la región de Aysén, la cual presentó una mayor distancia (menor similitud) con los otros dos grupos.

A partir de los análisis de SIMPER se pudo determinar que, las diferencias entre los distintos grupos segregados en el MDS. Las distancias entre el grupo de estaciones de la región del Biobío y el resto de estaciones estuvieron dadas por valores mayores de salinidad, nutrientes (fostafo y nitrato) y valores bajos de temperatura del agua y velocidad del viento, que en conjunto representaron un 70% de la distancia con las otras estaciones. Estas variables estarían relacionadas con los procesos de surgencia costera que en la región del Biobío son característicos durante los periodos de primavera y verano. La descripción de las variables oceanográficas detallado en el Objetivo 1 de este proyecto, señala la irrupción de masas de agua (AESS) que se caracterizan por presentar bajas temperaturas y salinidades y altas concentraciones de nutrientes. Las diferencias entre estos grupos y la estación ubicada en el canal Tuamapu en la región de los Aysén, estuvieron asociadas principalmente a las



variables meteorológicas (presión atmosférica, luz, nubosidad), además de la disponibilidad de silicato, que en conjunto explican cerca del 50% de las diferencias entre esta estación y el resto de las estaciones de muestreo.

4.- Relación entre la composición del fitoplancton total y las variables ambientales:

La **Figura 3.26** muestra el gráfico de Draftsman elaborado a partir de los datos de las variables ambientales no transformados. A partir de esta figura y de la matriz de correlaciones de Pearson se desprende que las variables no tuvieron una correlación absoluta alta, siendo la más alta la registrada entre la salinidad (PSU) y el fósforo (μM) ($r = 0,63$; $p < 0,05$).

Debido a la baja correlación entre las variables ambientales, se decide no quitar de la matriz ninguna de las variables analizadas. Esta matriz de datos ambientales fue normalizada, con lo que se procedió a un análisis de componentes principales (CAP; **Figura 3.27**). Este análisis se realizó con la finalidad de evaluar la variación de las catorce variables ambientales seleccionadas y obtener grupos de estaciones con un comportamiento similar. Este análisis arrojó que los tres primeros componentes principales CAP1, CAP2 y CAP3 dan cuenta del 68% de la varianza total, representando CAP1 un 30% de la varianza, la componente que explicaría la mayor diferenciación entre estaciones de muestreo, ya que las mayores medidas covariaron con dicha componente principal (**Tabla 3.1**). Las variables velocidad del viento, oxígeno y luz presentaron valores positivos altos asociados a CAP1, mientras que, salinidad y nutrientes (nitrito, nitrato, fósforo y silicato) mostraron valores negativos altos. Este CAP1 se interpreta como los aportes de aguas de salinidades altas y los aportes de nutrientes sobre las estaciones asociadas a la VIII región del Biobío. Mientras que, el CAP2 representó un 23% de la varianza (**Tabla 3.1**), donde las variables temperatura, fluorescencia y silicato presentaron valores positivos altos y las variables nitrato, nubosidad y profundidad del disco Secchi presentaron valores negativos altos asociados a CAP2. Este CAP2 se interpreta como los aportes de aguas de baja temperatura y la disponibilidad de altas concentraciones de nitrato, lo que puede estar relacionado con los procesos de surgencia/mezcla asociados a las estaciones ubicadas al norte de la isla de Chiloé (Bahía Mansa, Playa Brava, Faro Corona y Carelmapu). En este sentido, el proyecto ha desarrollado el caso de estudio del cambio en la estructura de la comunidad fitoplanctónica asociada a las estaciones ubicadas en el canal de Chacao, este estudio propone que la presencia de estructura de remolinos de mesoescala favorecería la mezcla de la columna de agua, generando condiciones propicias para el dominio de las diatomeas.

El procedimiento BEST mostró que la presión atmosférica, entre las variables ambientales, es la que mejor explica la ordenación de la composición del fitoplancton total, presentando la mejor correlación entre las dos configuraciones. Este análisis mostró relaciones significativas ($p < 0,01$) entre las variables biológicas y las variables ambientales. Si consideramos el valor de correlación de Spearman $\rho_s = 0,40$ resultante de la relación entre la composición del fitoplancton y la presión atmosférica, tenemos que esta variable sólo explicaría un ~20% de la variabilidad de la composición fitoplanctónica. Sin embargo,



el valor de ρ_s aumenta a 0,70 al incorporar las variables salinidad, dirección y velocidad del viento y fosfato, explicando entre ellas un 35% de la variabilidad del fitoplancton.

A partir de este análisis se deduce de la relación, ya descrita para otros sistemas de afloramiento costero, entre el efecto positivo de la dirección, principalmente de componente sur, e intensidad de los vientos para promover la surgencia de aguas profundas que se caracterizan por sus bajas salinidades y sus niveles altos de nutrientes y la composición del fitoplancton dominada por las diatomeas. Este grupo sería el dominante en este ambiente ya que requiere de las condiciones de mezcla y energía aportada por este proceso para alcanzar zonas de la columna de agua donde la cantidad y calidad de la luz sea óptima para su crecimiento. En contraste, condiciones de menor salinidad, vientos menos intensos y aumento de la temperatura de la columna de agua, favorecerían la estabilidad y estratificación de la columna de agua, donde los dinoflagelados serían más exitos. Los flagelos que poseen estas especies le permiten su desplazamiento por la columna de agua hacia zonas bien iluminadas, con disponibilidad de nutrientes, en las cuáles generalmente se acumulan formando máximos profundos de abundancia, estos máximos profundos se mantienen gracias a la barrera que aporta la estratificación de la columna de agua. Por lo que, en términos del porcentaje de variabilidad resultante de este análisis podemos indicar que las variables que lo explican (salinidad, dirección y velocidad del viento y fosfato), podrían también a su vez explicar la variabilidad de los dinoflagelados si se consideran de forma inversa, favoreciendo la estabilidad y la estratificación de la columna de agua.

5.- Variabilidad espacial de las especies tóxicas y nocivas y su relación con las variables ambientales.

Para este análisis se construyeron matrices de datos de densidad promedio de las especies tóxicas y nocivas para el periodo de estudio comprendido entre enero de 2018 y diciembre de 2019. Además, de las siete especies tóxicas que son monitoreadas durante este programa, las cuáles se describen en el objetivo 1 de este proyecto, en este análisis se han incluido a las especies de diatomeas y dinoflagelados nocivos y potencialmente tóxicos. Este análisis incluye a la mayoría de las especies identificadas en el proyecto y que potencialmente pueden ser percibidas como nocivas por el ser humano, principalmente por los efectos negativos sobre aspectos económicos y sociales.

Especies de dinoflagelados y diatomeas tóxicas.

Las especies nocivas identificadas y cuantificadas durante este periodo de estudio fueron las diatomeas del complejo *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia cf. australis* y los dinoflagelados *Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata* y *Dinophysis acuta* (**Figura 3.28**). La especie que presentó mayor cobertura y densidades celulares fue *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*, con presencia en todas las estaciones de estudio y densidades promedio altas (~300.000 células/L), especialmente en la estación de Nehuentué. A partir de la



distribución regional de estas especies, se observó que *Dinophysis acuminata* fue más importante en las estaciones asociadas a la VIII región del Biobío, mientras que *Alexandrium catenella* estuvo presente en las estaciones asociadas al sur de la X región de los Lagos y particularmente en la isla de Chiloé asociadas a las estaciones de Chepu, Caleta Zorra y Cucao, en esta última alcanzó valores de densidad promedio de ~20.000 células/L.

La floración de *A. catenella* durante el verano de 2018 en las estaciones mencionadas, estuvo mediado por las condiciones atmosféricas y oceanográficas favorables permitieron la proliferación de *A. catenella* y su presencia progresiva hacia el norte, con densidades celulares máximas de 300.000 células/L a cinco metros de profundidad en la zona de Cucao

Especies de diatomeas y dinoflagelados nocivos y potencialmente tóxicos.

Durante el periodo de estudio se identificaron y cuantificaron 25 especies de diatomeas: *Ceratulina pelágica*, *Chaetoceros affinis*, *Ch. cosntrictus*, *Ch. compressus*, *Ch. convolutus*, *Ch. decipens*, *Ch. didymus*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. pendulus*, *Ch. radicans*, *Ch. teres*, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia cornuta*, *E. zodiacus*, *Leptocylindrus danicus*, *L. minimus*, *Rhizosolenia setigera*, *R. styliformis*, *Skeletonema* spp., *Stephanopyxis turris*, *Thalasionema nitzschoides*, *Thalassiaosira ajuste-lineata*, *Th.cf. aestivalis*, *Th. rotula* y *Th. cf. decipens*. La **Figura 3.29** muestra la distribución y la densidad promedio de estas especies, siendo *Skeletonema* spp. la especie que estuvo presente en todas las estaciones de muestreo, alcanzado en las estaciones al norte de la X región de los Lagos las mayores densidades celulares promedios, con un máximo de ~700.000 células/L. Además, las diatomeas *Th.cf. aestivalis*, *L. danicus*, *L. minimus*, *Ch. radicans*, *Th. rotula*, *Ch. compressus* y *Rhizosolenia setigera* han sido detectadas en todas las estaciones de muestreo con densidades promedio altas entre 23.500 y 270.000 células/L.

En el caso de los dinoflagelados, se identificaron y cuantificaron 12 especies: *Karenia* spp., *Ditylum brightwellii*, *Heterocapsa triquetra*, *Protoperidinium excentricum*, *Tripos fusus*, *Akashiwo sanguinea*, *Gonyaulax spinifera*, *Cochlodinium* spp., *Azadinium*, *Phalacroma rotundatum*, *Dinophysis truncata* y *Lingulodinium polyedra*. Además de una especie de Ciliado, *Mesodinium rubrum* y dos especies de Silicoflagelados, *Dictyocha speculum* y *Dictyocha fibula*, que pueden estar relacionados con eventos FAN (**Figura 3.30**). En términos de distribución y densidad promedio, el grupo de las *Karenia* spp. estuvo presente en la mayoría de las estaciones de muestreo, particularmente asociadas a las estaciones entre la IX región de la Araucanía y la X región de los Lagos, las densidades promedio más altas fueron registradas en las estaciones de Bahía Mansa, Cucao y Caleta Zorra, el promedio de densidad fue de 14.000 células/L.

La mayoría de las especies identificadas presentan un carácter nocivo y potencialmente tóxicos para peces. En el caso de las diatomeas, debido a su morfología, ya que presentan frústulas en forma de agujas o de estrellas puntiagudas que irritan y dañan las células epiteliales de las branquias de los peces, que a su vez provoca exceso de mucus en la zona branquial y finalmente muerte por asfixia. En el caso de los dinoflagelados, estos pueden producir ictiotoxinas, que son metabolitos secundarios



productos del metabolismo celular, los cuales pueden generar daños branquiales en peces. Otra razón de considerar a estas especies como nocivas, es debido a que en condición de floración pueden alcanzar elevadas biomásas que, al decaer, se produce la lisis celular, degradación por bacterias aeróbicas que, a su vez, consumirán el oxígeno disuelto en la columna de agua, provocando la muerte de los peces por asfixia.

La detección de las especies que componen el grupo de las Kareniaceas (diferentes especies del género *Karenia*), asociada a una amplia zona geográfica de la zona oceánica del sur de Chile es relevante, ya que estas especies, como se ha informado previamente, pueden estar asociada a la mortalidad de salmónidos en isla James durante el 10 de febrero de 2018, varazón de almejas en la zona de Queule durante el 29 de marzo de 2018, mortalidad de organismos bentónicos en Punta Quillahua el 19 de abril, evento que se caracterizó por la presencia de diferentes especies de dinoflagelados del grupo de las Kareniaceas. Además de las mortalidades de organismos marinos en los sectores de Cucao, Carelmapu y Bahía Mansa. Las condiciones oceanográficas favorables para el desarrollo de este grupo fluctúan entre 9 y 12°C y salinidades altas. Debido a ello, es más frecuente registrar su presencia y eventos de floración en aguas más oceánicas, con una baja presencia en el mar interior. Entre los compuestos tóxicos que presenta este grupo se encuentran las gymnodiminas, las cuales actúan como un agente bloqueador muscular activando los receptores de calcio y alterando los receptores nicotínicos de acetilcolina (Molgó et al., 2007). Sin embargo, especies de Kareniaceas producen más de una toxina. Así, mortalidad de animales asociadas a floraciones de *karenia* no pueden ser atribuidas a una toxina en particular.

El procedimiento BEST aplicado a las diatomeas tóxicas y nocivas mostró que la temperatura de la columna de agua a una profundidad de 5 metros, entre las variables ambientales, es la que mejor explica la ordenación de la composición de este grupo, presentando la mejor correlación entre las dos configuraciones (Spearman $\rho_s = 0,54$; $p < 0,01$), explicando cerca del 27% de la variabilidad de las diatomeas tóxicas y nocivas. Sin embargo, el valor de ρ_s aumenta a 0,71 al incorporar las variables de temperatura, fluorescencia, presión atmosférica y profundidad del disco Secchi, las que en conjunto explicaron cerca del 35% de la variabilidad de este grupo. Este análisis aplicado a dinoflagelados tóxicos y nocivos arrojó que la concentración de silicato es la que mejor explica la variabilidad de este grupo, presentando la mejor correlación (Spearman $\rho_s = 0,35$; $p < 0,01$), este valor aumenta a $\rho_s = 0,57$ cuando se incorporan las variables dirección del viento, profundidad disco Secchi, fosfato y silicato.

Análisis interpretativo de quistes

Los resultados de quistes obtenidos en esta Etapa II, comparados con aquellos de la Etapa I, tanto en ámbito de diversidad de especies como en las abundancias de especies nocivas (*A. catenella*, *A. ostenfeldii*, *P. reticulatum*), nos muestran que el aumento en el número de estaciones de muestreo y la periodicidad de los muestreos (en Etapa II en junio y diciembre) son acciones favorables para obtener una mayor detección de especies, lo cual nos da una imagen más clara del comportamiento de las especies en su fase móvil, las cuales dejan su registro en los sedimentos mediante los quistes de resistencia. En la Etapa II fue posible identificar 64 tipos de quistes distintos en 82 muestras de



sedimento obtenidas en dos muestreos (otoño y primavera), frente a los 30 tipos de quistes identificados en 26 muestras obtenidas en un período de muestreo realizado en la Etapa I. La diferencia en la estrategia de muestreo utilizada en la actual etapa también dio resultados positivos al poder visualizar áreas que pueden ser consideradas como reservorios de quistes. En esta etapa se identificaron las estaciones B. Coliumo 5 millas y B. Colcura 5 millas como zonas con mayor abundancia de quistes de *A. ostensfeldii*. Para *A. catenella* se identificó las áreas de C. Zorra y Mar Brava ambas a 10 millas de distancia de la costa. No obstante, para tener confirmación de esto se debe tener series largas de tiempo que ayuden a visualizar el comportamiento de las especies.

6.- Desarrollo de las investigaciones asociadas a eventos FAN en el océano Pacífico entre 2018 y 2019.

En esta sección se incluirá el desarrollo de los trabajos de investigación que se están realizando en torno al programa de manejo y monitoreo en las costas del Pacífico entre las regiones del Biobío y Aysén. Cada uno de estos trabajos, tienen distinto niveles de avance, que se han preparado para su presentación en congresos nacionales e internacionales, así como, para su publicación en artículos científicos.

a.- Factores atmosféricos y oceánicos como promotores de la variabilidad espacio-temporal de las Floraciones de Algas Nocivas (FAN) en el centro sur de Chile

Oscar Espinoza-González, Emma Cascales, Hector Tardón, Valentina Besoain, Loreto López, Karen Correa, Bianca Olivares y Carolina Soto.

Durante el primer semestre de 2016, se registró una floración de *Alexandrium catenella* en la Región de Los Lagos que provocó un impacto a la economía y entorno social, con un desarrollo por la costa expuesta al océano Pacífico, lo cual constituye un cambio radical al paradigma sobre la distribución de esta microalga en el sur de Chile. Para evaluar la distribución espacio-temporal de las Floraciones de Algas Nocivas (FAN) en este ambiente, se midió mensualmente, entre enero y diciembre de 2018, la densidad del fitoplancton total y nocivo, nutrientes y variables hidrográficas en 67 estaciones, dispuestas en 21 transectos (2, 5 y 10 millas desde la costa) entre las regiones del Biobío (~36°S) y Aysén (~44°S). Para el periodo de estudio, se observaron distintas FAN entre ellas, de la diatomea *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* (316.700 cél L⁻¹) registrada en Chepu durante el verano asociada a una surgencia local con baja temperatura (<10°C) y alta concentración de nutrientes, especialmente de silicatos (15 µM) y de los dinoflagelados *A. catenella* (375.000 cél L⁻¹) registrada en el verano en las estaciones de Cucao y caleta Zorra, *Dinophysis acuminata* (13.400 cél L⁻¹) registrada en primavera en Mehuín y una extensa floración de *Karenia* con amplia distribución (39 – 45°S) durante el verano y que alcanzó valores cercanos a 2000 cél L⁻¹, las cuales estuvieron asociadas a una columna de agua estable, con aguas cálidas (>15°C), baja intensidad de vientos, alta



radiación y disponibilidad de nutrientes, factores que favorecieron el desarrollo de estos dinoflagelados nocivos.

b.- Potencial rol de los remolinos de submesoescala como agentes moduladores de FAN, caso de estudio en el canal de Chacao durante la floración 2018.

Isabel Andrade y Oscar Espinoza-González

Este trabajo propone por primera vez el rol de los Remolinos de Submesoescala (RS) como potenciales agentes moduladores de las Floraciones Algales Nocivas (FAN) alrededor de la isla Grande de Chiloé (IGC), región de Los Lagos, Chile. Estudios realizados sobre la Estructura Comunitaria de Fitoplancton (ECF), indican que una columna de agua estratificada favorece el predominio de dinoflagelados; mientras que una columna de agua mezclada favorece el predominio de diatomeas. Durante febrero 2018, se registró una floración del dinoflagelado *Alexandrium catenella* sobre la costa oceánica de la IGC, sin un desarrollo hacia el Mar Interior de Chiloé (MIC) a través del canal de Chacao, marcando una diferencia con lo observado durante la floración 2016. A través del análisis de salidas del producto MOSA-ROMS proporcionadas por CHONOS (chonos.ifop.cl) se ha observado la presencia de RS como estructuras frecuentes en el sector occidental del canal de Chacao (Golfo Coronados). Debido a la baja profundidad del sector (~30 m), cuando los RS están presentes pueden generar una intensa mezcla vertical de las propiedades hidrográficas de la columna de agua, pudiendo impactar la ECF. Los resultados preliminares muestran que durante el evento FAN 2018, la costa oceánica de la IGC presentó una columna de agua estratificada favoreciendo el predominio de *A. catenella*; mientras que, en el Golfo Coronados, se observó la presencia de RS asociados a una fuerte mezcla vertical de las propiedades hidrográficas sobre toda la columna de agua, generando un cambio en la ECF hacia el predominio de las diatomeas. Debido a lo anterior, se propone que durante eventos FAN, la presencia de RS favorecería el cambio en la ECF actuando como un potencial mecanismo regulador de la proliferación de las FAN en la región.



c.- Reciente expansión de *Alexandrium catenella* hacia el norte de la Región de Los Ríos: Potenciales riesgos de Veneno Paralizante en la Región del BíoBío.

Javier Paredes-Mella, Jorge I. Mardones, Luis Norambuena y Gonzalo Fuenzalida.

Alexandrium catenella es la principal especie que forma floraciones algales en el sur de Chile, generando el síndrome del veneno paralítico de moluscos. A través de los años ha mostrado un aparente incremento de su rango de distribución. Así, desde su primer registro en 1972 en el sur de la región de Magallanes, progresivamente se ha ido detectando su presencia hacia el norte, alcanzando el sur de Chiloé en el 2002. El 2016 se produjo una severa floración que se extendió desde el centro de la región de Aysén hasta el Mar Interior de Chiloé. Sorprendentemente, también se observó la extensión de la floración por la costa del Océano Pacífico desde el sur de Chiloé hasta aproximadamente Mehuin localidad costera de la región de Los Ríos. Recientemente, el monitoreo implementado por el CREAN-IFOP ha detectado la presencia de *Alexandrium* en la costa de la región del Bio Bio en el 2018 y 2019. En este trabajo se realizó la caracterización molecular de células vegetativas de *Alexandrium* aisladas desde la localidad costera de la Bahía Coliumo Región del Bio Bio. Para esto 8 cepas fueron establecidas como cultivo clonal y se secuenció un segmento de la LSU rDNA. Además, cepas clonales aisladas desde la región de Aysén en el 2016 y desde la región de Magallanes en el 2018 fueron caracterizadas con el mismo marcador molecular. La evaluación de la presencia de toxinas también fue realizada mediante HPLC MS-MS. Se realizó una reconstrucción filogenética utilizando secuencias disponibles en el GenBank, y el método de máxima verosimilitud. La reconstrucción filogenética reveló que todas las cepas provenientes de la región de Aysén, Los Lagos y el Bio Bio se agruparon en el mismo clado. Este correspondió al grupo I del “complejo tamarense”, y considerando la última revisión taxonómica del complejo, el nombre de las cepas aisladas desde la región del Biobío correspondería a *A. catenella*. En tanto que la evaluación el análisis de HPLC mostro la presencia de toxinas descritas para esta especie.



d.- Desarrollo de una herramienta molecular para la detecci3n y cuantificaci3n de *Alexandrium ostenfeldii*.

Fuentes F., Stuardo M., Cruzat F., Astuya A., Jara S., Espinoza-González O., Fuenzalida G., Mardones J., Tard3n H.

El impacto de los eventos de floraciones algales nocivas (FAN) incluyen efectos sobre la salud p3blica por el riesgo de consumo de mariscos contaminados, mortalidades masivas de organismos silvestre o criados en cautiverio, lo que conlleva a evidentes impactos econ3micos y sociales. En Chile, una de las microalgas potencialmente productora de FAN m3s abundante corresponde a *Alexandrium ostenfeldii*, la cual se encuentra distribuida en el sur de Chile desde la regi3n del Biob3o hasta Magallanes. Hasta ahora, la detecci3n y cuantificaci3n peri3dica de microalgas t3xicas, es realizada mediante microscopia de luz. Sin embargo, esta t3cnica presenta dificultades como tiempo de an3lisis, requerimiento de entrenamiento taxon3mico del analista y el riesgo de identificar err3neamente un tax3n. Estas complicaciones hacen que el informe de alerta temprana que permitan tomar las medidas de cuidado de la poblaci3n y/o producci3n sea tard3o, por lo que en ocasiones de floraci3n abundante, pueden impactar negativamente en las actividades productivas y en la salud p3blica. La aplicaci3n de t3cnicas moleculares basadas principalmente en genes de ADNr para la diferenciaci3n de especies complejas, acopladas a la tecnolog3a de PCR en tiempo real (qPCR), ha sido aplicada en los 3ltimos a3os para la detecci3n y cuantificaci3n de microalgas productoras de FANs demostrando una alta especificidad y sensibilidad, y en especial por la rapidez en la obtenci3n de resultados, convirti3ndose en una buena alternativa para acortar los tiempos de detecci3n. En este trabajo se dise3aron marcadores moleculares para la detecci3n y cuantificaci3n de *A. ostenfeldii* mediante qPCR. A partir de muestras de cultivo se desarroll3 una curva est3andar, la que permiti3 escalar la detecci3n y cuantificaci3n en muestras ambientales obtenidas de monitoreos continuos en la regi3n del Biob3o. El desarrollo de esta metodolog3a permite detectar y cuantificar *A. ostenfeldii* de manera altamente espec3fica y r3pida a partir de muestras ambientales ofreciendo a las autoridades competentes una herramienta para la toma de decisiones de alerta temprana ante eventos de FANs.



e.- Caracterización morfológica, genética, perfil de toxinas y distribución de quistes de resistencia del dinoflagelado *Alexandrium ostenfeldii* de la región del Biobío, Chile

Pablo Salgado, Claudia Zamora, Luis Norambuena, Bernd Krock, Gonzalo Fuenzalida, Pamela Carbonell, Héctor Tardón, César Loncón & Oscar Espinoza-González.

Microalgas productoras de toxinas han generado floraciones algales nocivas (FANs) durante décadas en aguas australes de Chile causando una variedad de problemas ambientales, económicos, y de salud pública. Sin embargo, el registro de estas microalgas en otras regiones del país ha sido mucho menos frecuente lo cual ha generado que sus características básicas sean poco estudiadas y por consiguiente menos conocidas. Aquí, mediante estudios de microscopía óptica con eplifluorescencia, toxinológicos por métodos cromatográficos y genéticos por PCR se realizó una caracterización del dinoflagelado *Alexandrium ostenfeldii* de la Región del Biobío. Se estudió, además, la abundancia y distribución espacial de su quiste de resistencia en sedimentos superficiales de 16 estaciones distribuidas entre las bahías de Coliumo, Colcura, Tubul, y Llico (estaciones en costa, a 2, 5 y 10 millas), las cuales forman parte de la red de estaciones del Programa de manejo y monitoreo de FANs y toxinas marinas en el Océano Pacífico del Centro Sur de Chile que desarrolla el IFOP. Como resultado, el estudio taxonómico mostró la morfología y tabulación de placas tecales clásica de *A. ostenfeldii*, destacada por su angosta y elongada primera placa apical (1') con un gran poro ventral. Filogenéticamente *A. ostenfeldii* del Biobío se agrupó junto con cepas de Aysén y de Callao, Perú, las cuales producen toxinas paralizantes. El perfil de toxinas de *A. ostenfeldii* del Biobío se caracterizó por la presencia de las toxinas paralizantes gonyautoxina (GTX)-3, GTX-2, GTX-5, N-sulfocarbamoilgonyautoxina-2 (C2) y saxitoxina (STX), pero ausente de espirólidos y gymnodiminas. Los quistes de resistencia de la especie fueron registrados en las cuatro bahías, en un total de 10 (63%) de las 16 estaciones muestreadas en diciembre de 2019. La abundancia máxima fue de 36 quistes $\times$ cm⁻³ en la estación ubicada a 5 millas de Bahía Coliumo. El registro de *A. ostenfeldii* y la producción de toxinas paralizantes en la Región del Biobío genera la necesidad de mantener de manera constante un programa de monitoreo de especies nocivas y toxinas marinas con la finalidad de resguardar la salud pública y las actividades productivas como la pesca, la acuicultura y el turismo.



7.- Proyecciones de investigación para las siguientes etapas del proyecto.

Debido al avance obtenido en estas dos etapas de desarrollo del proyecto y en base a la información obtenida, así como, en las brechas de investigación que se han identificado, se propone que la nueva etapa de desarrollo incorpore aspectos como:

Exploración de imágenes satelitales, como forma de continuar con la caracterización de la de patrones espacio-temporal de la distribución de variables como clorofila_a y temperatura en las regiones de estudio.

Estudio comparativo entre tipos de quistes y células planctónicas de dinoflagelados,

En esta etapa se realizará un estudio comparativo entre los distintos tipos de quistes registrados en sedimentos superficiales y las distintas especies de dinoflagelados identificadas en la columna de agua mediante análisis cualitativo, lo cual permitirá robustecer la base de datos de especies fitoplanctónicas.

Identificación molecular en especies de microalgas nocivas, Las especies que componen el fitoplancton representan un desafío para la taxonomía clásica debido a las similitudes morfológicas entre especies, existencia de especies tóxicas y no tóxicas, ciclos de vida complejos entre otros aspectos. Para sortear esta barrera se ha propuesto implementar y desarrollar las metodologías de PCR cuantitativa y metabarcoding.

Estudio de biotoxinas en tejidos de mariscos, Como forma de conocer el perfil de toxinas lipofílicas de las muestras obtenidas durante el proyecto, se realizará un procedimiento para la detección y cuantificación de las toxinas marinas lipofílicas por medio de análisis de HPLC MS/MS.

Implementación de nuevas herramientas analíticas in vitro, el objetivo es ampliar conocimiento de la taxonomía, distribución biogeográfica, sus biotoxinas y su respuesta eco-fisiológica frente a variables ambientales, de las principales especies de microalgas tóxicas.



5.4 Objetivo específico 4.

Continuar con la difusión periódica de la información recolectada por el programa orientada a la autoridad y a todo público.

1.- Sistema de distribución de la información a través de SIG

Guía acceso y uso WebMap para el “Programa de manejo y monitoreo de las Floraciones Algales Nocivas y Toxinas Marinas en el océano Pacífico centro-sur de Chile”.

El WebMap del Monitoreo de Floraciones Algales Nocivas y Toxinas Marinas en el Océano Pacífico del Centro Sur de Chile se encuentra alojado en el GeoPortal IFOP de Acuicultura (**Figura 4.1**) en el link: <http://ifop.maps.arcgis.com/home/index.html>

Al ingresar al GeoPortal y posterior WebMap del programa, se le solicitara aceptar los términos y condiciones del uso de este (**Figura 4.2**).

Visión general del WebMap

El WebMap se divide en 3 paneles (**Figura 4.3**):

1. Panel superior: esta área corresponde al título del webmap.
2. Panel lateral: está compuesta por 2 parte; la superior que es de carácter informativo estática y la parte inferior de análisis de los muestreos por medio de filtros.
3. Panel central: este muestra el mapa, capas activadas y herramientas para el enriquecimiento del mapa.

Panel lateral

El panel lateral está compuesto por 2 parte (**Figura 4.4**);

Parte superior; es informativa, en la cual se indica como visualizar las capas de microalgas y posteriores consultas a los filtros, debiéndose primero activar la capa, para que queden visibles en el mapa. También se muestra la categorización de alerta temprana y el rango de abundancia relativa al cual corresponde.

La parte inferior contiene filtros para consultar por cada una de las especies de microalgas, para usar y visualizar estos filtros primero debe seleccionar de la lista de capas la especie a consultar, luego activar el filtro y realizar la selección según lo que se desee ver, cada filtro puede ser utilizado de manera conjunta o independiente (región, crucero y/o abundancia relativa) y el resultado de esto se verá gráficamente en el mapa.

Panel Central



El Panel central contiene una serie de herramientas para enriquecer el mapa y trabajar con la información alojada en el WebMap (**Figura 4.5**). Además, las entidades que se despliegan en el mapa contienen información a la cual se puede acceder directamente desde el mapa, para esto primero se debe activar la capa y luego con un click sobre la entidad en el mapa se accede a la base de datos de esta, pudiendo consultar para el caso de los polígonos por área, a los reportes; para el caso de las estaciones de muestreo, a la información de esta y al activar las capas de microalgas se accede a información de abundancia relativa de la estación consultada (**Figura 4.6**).

2.- Sistema de ingreso y aprobación de muestras, bases de datos y reportería usando plataforma web de IFOP.

Resumen

El presente documento se ha desarrollado para entregar de manera clara el funcionamiento del proceso de ingreso y aprobación muestras, aplicación utilizada por muestreadores y aprobadores. Por otra parte, el sistema posee un mantenedor de los datos base para el funcionamiento del sistema, además de apartado de reportería en la cual es posible descargar los datos mediante una serie de selecciones específicas visibles por pantalla o descarga vía Excel de la información solicitada.

Para la confección de este manual, se utilizó etapas de prueba con datos no reales, solo para fines explicativos.

Acceso al sistema

Se puede acceder al sistema por medio de portal de aplicaciones, ingresando datos como usuario y contraseña, según la siguiente ruta: <http://portal.ifop.cl/> (**Figura 4.7 y 4.8**).

Posteriormente, el sistema nos enviara al menú principal de ingreso de la aplicación (**Figura 4.9**).

Al presionar el botón “Cargar de Muestras” se despliega un sub menú de ingreso de datos (**Figura 4.10**).

Módulos del sistema

Los módulos del sistema son accesibles mediante los permisos otorgados a cada usuario, pero en este manual serán indicados todos.

Modulo Carga de Muestra: es donde se ingresan datos de las muestras obtenidas en cada crucero, y se inicia con el ingreso de la bitácora del crucero, el cual es el punto de partida para el ingreso de las muestras. También existe un módulo Muestras por validar, la cual será explicada por cada módulo.

1. Abundancia relativa
2. Fitoplancton cuantitativo
3. Fitoplancton cualitativo



4. Oceanografía
5. Meteorología
6. Nutrientes
7. Toxinas
8. Quistes

Modulo Mantenedores: habilitado para administradores del sistema y corresponde a los ingresos o modificaciones de los datos bases del sistema.

1. Regiones
2. Estaciones
3. Etapas
4. Cruceros
5. Personal
6. Tareas
7. Equipos
8. Laboratorios
9. Especies
10. Especies Abundancia Relativa
11. Especies Quistes
12. Escala de Abundancia
13. Tipos de Toxina
14. Validadores

Modulo Informes: es donde se efectúa la descarga de los datos ya ingresados al sistema o la generación de informes específicos. Las siguientes opciones están disponibles:

1. Descarga de datos
2. Descarga de mantenedores
3. Reporte de monitoreo regular
4. Reporte de monitoreo alta frecuencia
5. Informe de Abundancia

Ingreso bitácora

Punto de inicio para registrar la bitácora de un crucero, el cual puede ser guardado de forma parcial o completa. Además, cuenta con un botón Finalizar el que permite enviar correos de aviso a los muestreadores informando que la bitácora ha sido ingresada.

Los datos a ingresar son Etapa (viene por defecto), Región, Crucero, Fecha de zarpe y recalada, selección de equipos y la información por cada estación de su lance (**Figura 4.11**).

Ingreso abundancia relativa



Para ingresar muestras de abundancia de relativa el usuario deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, estación, cruceros e ingresar datos correspondientes cada especie después presionar el botón guardar (**Figura 4.12**).

Una vez ingresado la muestra, el usuario podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo (**Figura 4.13**) avisando a los aprobadores que la muestra de abundancia relativa está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas.

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú e elegir “Muestras por validar” (**Figura 4.14**).

Muestra por Validar – Abundancia Relativa

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados

Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador, el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados (**Figura 4.15**).

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de abundancia relativa el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (**Figura 4.16**).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada”.

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (**Figura 4.17**).

El usuario aprobador deberá seleccionar una o varias estaciones una vez seleccionadas deberá escribir una observación por cada estación después debe presionar el botón “Guardar” enviará un correo de rechazo por cada estación a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja (**Figura 4.18**).

INGRESO FITOPLANCTON CUANTITATIVO

Para ingresar muestras de fitoplancton cuantitativo usuario deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, estación, cruceros e ingresar datos correspondientes cada especie después presionar el botón guardar (**Figura 4.19**).

Una vez ingresado la muestra, el usuario podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de fitoplancton cuantitativo está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (**Figura 4.20**).



El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú e elegir “Muestras por validar” (Figura 4.21).

Muestra por Validar – Fitoplancton Cuantitativo

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados

Para ver los datos ingresados por el usuario el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón se abrirá una  ventana mostrando los datos ingresados (Figura 4.22).

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de Fitoplancton cuantitativo el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (Figura 4.23).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada “.

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (Figura 4.24).

El usuario aprobador deberá seleccionar una o varias estaciones una vez seleccionadas deberá escribir una observación por cada estación después debe presionar el botón “Guardar” enviará un correo de rechazo por cada estación a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja (Figura 4.25).

INGRESO FITOPLANCTON CUALITATIVO

Para ingresar muestras de fitoplancton cualitativo el usuario muestreador deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, estación, cruceros e ingresar datos correspondientes cada especie después presionar el botón guardar (Figura 4.26).

Una vez ingresado la muestra, el usuario muestreador podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de fitoplancton cualitativo está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (Figura 4.27).

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú e elegir “Muestras por validar” (Figura 4.28).



Muestra por Validar – Fitoplancton Cualitativo

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados

Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados (Figura 4.29).

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de Fitoplancton cualitativo el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (Figura 4.30).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada” (Figura 4.31).

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (Figura 4.32).

El usuario aprobador deberá seleccionar una o varias estaciones una vez seleccionadas deberá escribir una observación por cada estación después debe presionar el botón “Guardar” enviará un correo de rechazo por cada estación a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja.

INGRESO OCEANOGRAFÍA

Para ingresar muestras de Oceanografía usuario muestreador deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, cruceros e ingresar Excel correspondientes cada región después presionar el botón guardar (Figura 4.33).

Una vez ingresado la muestra, el usuario muestreador podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de oceanografía está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (Figura 4.34).

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú e elegir “Muestras por validar” (Figura 4.35).

Muestra por Validar - Oceanografía

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.



Ver datos ingresados

Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados (Figura 4.36).

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de oceanografía el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (Figura 4.37).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada”

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (Figura 4.38).

El usuario aprobador deberá escribir una observación general después debe presionar el botón “Guardar” enviará un correo de rechazo por todas las estaciones de la región a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja (Figura 4.39).

INGRESO METEOROLOGÍA

Para ingresar muestras de meteorología usuario muestreador deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, estación, cruceros e ingresar Excel correspondientes cada región después presionar el botón guardar (Figura 4.40).

Una vez ingresado la muestra, el usuario muestreador podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de meteorología está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (Figura 4.41).

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú y elegir “Muestras por validar” (Figura 4.42).

Muestra por Validar – Meteorología

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados



Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados (**Figura 4.43**).

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de meteorología el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (**Figura 4.44**).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada “.

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (**Figura 4.45**).

El usuario aprobador deberá escribir una observación general después debe presionar el botón “Guardar”, enviará un correo de rechazo por todas las estaciones de la región a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja (**Figura 4.46**).

INGRESO NUTRIENTES

Para ingresar muestras de Nutrientes usuario muestreador deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, cruceros e ingresar Excel correspondientes cada región después presionar el botón guardar (**Figura 4.47**).

Una vez ingresado la muestra, el usuario podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de nutrientes está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (**Figura 4.48**).

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú e elegir “Muestras por validar” (**Figura 4.49**).

Muestra por Validar – Nutrientes

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados



Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados (Figura 4.50).

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de Nutrientes el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (Figura 4.51).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada “.

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (Figura 4.52).

El usuario aprobador deberá escribir una observación general después debe presionar el botón “Guardar”, enviará un correo de rechazo por todas las estaciones de la región a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja (Figura 4.53).

INGRESO TOXINA

Para ingresar muestras de Toxina usuario muestreador deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, cruceros e ingresar datos correspondientes cada estación y especie después presionar el botón guardar (Figura 4.54).

Una vez ingresado la muestra, el usuario muestreador podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de nutrientes está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (Figura 4.55).

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú y elegir “Muestras por validar” (Figura 4.56).

Muestra por Validar – Toxinas

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados

Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados (Figura 4.57).



Aprobar muestra

Para aprobar muestra de Nutrientes el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (**Figura 4.58**).

Una vez presionado el botón “SI” aparecerá una ventana de aviso “Muestra aprobada “.

Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar (**Figura 4.59**).

El usuario aprobador deberá escribir una observación general después debe presionar el botón “Guardar”, enviará un correo de rechazo por todas las estaciones de la región a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja (**Figura 4.60**).

INGRESO QUISTES

Para ingresar muestras de Quiste usuario muestreador deberá seleccionar los campos requerido tales como subprograma, región, estación, crucero e ingresar datos correspondientes cada estación y especie después presionar el botón guardar (**Figura 4.61**).

Una vez ingresado la muestra, el usuario muestreador podrá finalizar el proceso presionando el botón “Finalizar” enviado un correo avisando a los aprobadores que la muestra de nutrientes está finalizada siempre en cuando estén todas estaciones de la región ingresadas y finalizadas (**Figura 4.62**).

El usuario aprobador deberá ingresar al portal de aplicaciones e ingresar al sistema de marea roja y presionar el botón “Carga de Muestras” se desplegará un sub-menú e elegir “Muestras por validar” (**Figura 4.63**).

Muestra por Validar –Quistes

Una vez completadas y finalizadas las estaciones de la región se podrá visualizar la opción de validación.

Ver datos ingresados

Para ver los datos ingresados por el usuario muestreador el usuario aprobador deberá presionar en la columna seleccionada el botón  se abrirá una ventana mostrando los datos ingresados.

Aprobar muestra

Para aprobar muestra de Nutrientes el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de confirmación de aprobación (**Figura 4.64**).



Rechazo de Muestra

Para rechazar muestra el usuario aprobador deberá presionar el botón  se desplegará ventana de estaciones para rechazar.

El usuario aprobador deberá escribir una observación general después debe presionar el botón “Guardar”, enviará un correo de rechazo por todas las estaciones de la región a los usuarios muestreadores y aprobadores del sistema marea roja.

DESCARGA DE DATOS

En el módulo de INFORMES, se encuentra ‘Descarga de Datos’ el cual permite según una serie de selecciones visualizar y descargar los datos relacionados a los ingresos por sistema (**Figura 4.65**).

Dependiendo el tipo de muestra a seleccionar se abrirán distintas opciones de selección de datos.

En el módulo de INFORMES, se encuentra ‘Descarga de Mantenedores’ donde se pueden visualizar o descargar la información de los datos base del sistema, tales como estaciones, región, etapas, cruceros, equipos y especies (**Figura 4.66**).

En el módulo de INFORMES, se encuentra ‘Reporte Monitoreo Regular’ el cual genera un informe a partir de un crucero específico, permitiendo generar una vista previa, en la cual pueden modificarse algunos comentarios, para posteriormente generar un archivo pdf como resultado final (**Figura 4.67**).

En el módulo de INFORMES, se encuentra ‘Reporte Monitoreo Alta Frecuencia’ donde se genera una vista previa a partir de un crucero específico, para posteriormente ser validada y generado un archivo pdf como resultado final (**Figura 4.68**).

En el módulo de INFORMES, se encuentra ‘Informe Abundancia Relativa’ el cual permite la selección, visualización y generación de un informe final según un modelo ya definido. Mientras este en vista previa es posible agregar algunos comentarios generales (**Figura 4.69**).

3.- REDES SOCIALES

Durante esta etapa, se ha continuado el trabajo a través de redes sociales (Facebook, Twitter e Instagram) con el objetivo de mantener a una comunidad informada con respecto a temas nacionales e internacionales de las Floraciones de Algas Nocivas (FANs). Los resultados generados por el grupo de Marea Roja (Monitoreo, charlas, congresos, publicaciones), son informados a través de estas plataformas.



Aplicación para teléfonos móviles – i~FAN

El lunes 24 de febrero 2020, se realizó el lanzamiento de una versión actualizada de i-FAN, la cual incorporó 76 nuevos puntos de muestreo pertenecientes al “Programa de Manejo y Monitoreo de Floraciones Algaes Nocivas y Toxinas Marinas en el Océano Pacífico del Centro Sur de Chile (36° - 44°S)”, que abarca desde la región de Biobío hasta el extremo norte de la región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo, con sitios de muestreo establecidos entre las 2 y 10 millas de la costa. Además, incorporó información sobre otros taxones nocivos tales como *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata* y *Protoceratium reticulatum*, todos taxones ligados a distintos complejos tóxicos, al ya conocido *Alexandrium catenella*.

La aplicación es gratuita y se encuentra disponible para su descarga en teléfonos móviles Android e i-OS. Cada vez que los datos de abundancia relativa son actualizados en cualquiera de los puntos del Monitoreo, los usuarios de la App son notificados a través de mensajes “push”. De esta manera, el usuario podrá visualizar en “Estados de Alerta”, la abundancia relativa de cada uno de los taxones a través de un semáforo, los cuales indican:

En el menú, se encontrarán 4 íconos principales: Inicio, Semáforos, Alertas y Más

1. INICIO. Es la pantalla de inicio donde se describe de manera general el objetivo de la aplicación móvil (**Figura 4.70**).
2. SEMÁFOROS. A través de una escala de cinco colores (desde el blanco hasta el rojo), el usuario puede diferenciar el nivel de la abundancia relativa en la cual está presente la microalga de interés (**Figura 4.71**). De esta manera, podrán encontrar:
 - 2.1. Semáforo Blanco. Indica una “Situación de Ausencia”. La microalga no está presente en el agua.
 - 2.2. Semáforo Verde. Indica una “Situación Normal”. Los niveles de abundancia son bajos y no representan riesgos.
 - 2.3. Semáforo Amarillo. Indica una “Situación Moderada”. Los niveles de abundancia son intermedios, no representan alto riesgo, pero hay que estar atentos a la evolución de la Floración.
 - 2.4. Semáforo Naranja. Indica una “Alerta Temprana”. Los niveles de abundancia son altos y potencialmente presentarían riesgo si se mantienen en el tiempo.



2.5. Semáforo Rojo. Indica una “Situación de Riesgo”. Los niveles de abundancia son muy elevados y representan riesgo.

3. ALERTAS. En esta sección, se encuentra un banner que permite ingresar al Programa de Marea Roja Pacífico (Figura 3). En él podrán desplegar las regiones asociadas a este Programa con todos los puntos de muestreo (**Figura 4.72a**).

3.1. Biobío. 16 puntos de muestreo (**Figura 4.72b**)

3.2. La Araucanía. 9 puntos de muestreo (**Figura 4.72b**)

3.3. Los Ríos. 12 puntos de muestreo (**Figura 4.72c**)

3.4. Los Lagos-Aysén. 27 puntos para la región de Los Lagos, y 3 puntos para la región de Aysén (**Figura 4.72c**)

4. MÁS. En esta sección del Menú, se podrá encontrar (**Figura 4.73**).

4.1. Monitoreo Pacífico. Donde se explica en que consiste el Programa, principales objetivos, detalle de sus estaciones y un mapa general donde se pueden visualizar los puntos de muestreo.

4.2. Noticias. En esta sección, son publicadas las principales noticias relacionadas al CREA.

4.3. Preguntas Frecuentes. Por otra parte, se entrega información complementaria para dar a conocer aspectos básicos de las Floraciones de Algas Nocivas, a través de preguntas tales como: ¿Qué es una Floración de Algas Nociva?, ¿Qué significa microalga?, ¿Qué puedo comer con seguridad?, ¿Por qué se trabaja tanto en Chile el tema de las Mareas Rojas?, ¿Qué síntomas causan las toxinas de los mariscos?, ¿Hay antídotos para los Venenos?

4.4. Fotos de microalgas. A través de imágenes de especies de microalgas asociadas a intoxicaciones (e.g. *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*), se trata de acercar a las comunidades a conocer que hay a nivel microscópico en el agua.



4.- ACCIONES DE DIFUSIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN

Charlas y actividades colaborativas

Durante el segundo semestre 2019, se realizaron 3 actividades (Conversando sobre Mareas Rojas), en las cuales se trabajó con niños de enseñanza básica y media. La dinámica radica en una “Dinámica de Grupo”, en la cual un “Facilitador” ayuda a que el grupo comparta experiencias y se realice una actividad colaborativa. Se revisaron aspectos generales tales como Concepto de FAN, Microalgas y Transvectores. Se continua con una dinámica denominada “Torbellino de Ideas”, dónde cada asistente debe indicar en sólo una palabra que es lo que piensa cuando le preguntan sobre Mareas Rojas o FANs, lo cual ayuda a construir una plataforma para poder continuar con una discusión socializada (interacción dinámica).

Fiesta de la Ciencia. Muelle de Puerto Montt. Octubre 2019. Con más de 4000 asistentes de distintos lugares de la región, el Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN), participó con un stand dinámico de microalgas nocivas, además de contar con un microscopio con pantalla para que niños y adultos pudieran ver que existe en una gota de agua de mar. A través de fotografías, se les dio a conocer al público, las especies nocivas presentes en Chile, conversando sobre los primeros datos reportados hasta la fecha. También se incluyó la Floración del 2016, la cual alcanzó la parte del Pacífico, dando a conocer el nacimiento del Monitoreo del Pacífico.

Explora VA. Este campamento orientado a 150 profesores de enseñanza básica y media de colegio rurales de la región de Los Ríos y Los Lagos, se realizó en la zona de Antillanca, región de Los Lagos durante el mes de enero 2020. Esta participación fue gracias a la invitación realizada por el Programa Explora-Los Lagos. En esta actividad, se conversó con los profesores sobre los principales taxones nocivos presentes en su región, tipos de toxinas, principales síntomas de intoxicación y prevención. Esta actividad fue respaldada con muestras de microalgas vistas a través de microscopio invertido, y material audiovisual (fotografías y videos).



5.5 Objetivo específico 5.

Realizar un taller de presentación de resultados, sin perjuicio de comprometer la presentación de trabajos indistintamente en seminarios, congresos, conferencias, simposios y/o publicación de artículos científicos.

El taller se realizó el día miércoles 03 de junio por vía telemática, utilizando la aplicación GoogleMeets y reunió un total de 117 personas registradas de las cuales 100 personas estuvieron conectadas. La invitación fue realizada a través de la aplicación calendar de Google y además se envió una encuesta para el registro de los participantes a través de la aplicación Google Forms. El registro de las 117 personas, sus nombres, emails e institución se adjunta en el Tomo II de este informe final corregido, además, se adjunta el programa del taller y la invitación.

El taller estuvo orientado a la difusión y discusión de los resultados obtenidos entre noviembre de 2018 y diciembre de 2019. Contó con la participación de todos los investigadores y técnicos integrantes del grupo de trabajo de este estudio, además de la concurrencia de especialistas de centros de investigación del sistema universitario y profesionales ligados al tema de las floraciones de algas nocivas y toxinas marinas. La actividad estuvo orientada a profesionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, del Ministerio de Salud y de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, de las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Es importante destacar que la asistencia vía telemática fue notoriamente superior a la lograda mediante actividades presenciales, con una amplia cobertura a nivel nacional, con personas conectadas desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Magallanes y Antártica Chilena, lo que marca también un hito importante en la gestión y ejecución de los aspectos de difusión ligada a este tipo de proyecto.



6. CONCLUSIONES

- La caracterización hidrográfica con CTD-OF dentro del periodo de estudio, permitió identificar la presencia del Agua Ecuatorial SubSuperficial (AESS) en toda la macro-región de estudio con un marcado comportamiento estacional, donde fue posible observar un desplazamiento hacia sur del AESS en el tiempo. La expresión superficial de esta masa de agua (indicador de eventos de surgencia) sólo fue observada al norte de $\sim 40^{\circ}$ - 41° S durante el periodo primavera – verano.
- En términos de estratificación por salinidad, los mayores aportes de agua dulce fueron observados durante primavera e invierno vinculados a descargas de ríos, con una mayor (menor) estratificación al norte (sur) de los $\sim 41^{\circ}$ S. Durante el mes de agosto, se observó una estratificación sobre los ~ 40 m de profundidad en toda la macro-región de estudio. Los mayores aportes de agua dulce durante primavera, podrían estar asociados a una descarga fluvial importada principalmente desde los deshielos cordilleranos; mientras que en invierno, la descarga fluvial estaría mayormente vinculada a pluviometría.
- La fluorescencia, como indicador de la presencia de chl-a, presentó máximos superficiales y subsuperficiales concentrados en el periodo primavera – verano. Así mismo, estos incrementos de fluorescencia se encontraron vinculados a 3 mecanismos de acoplamiento físico - biológico: 1) eventos de surgencia, 2) aportes de agua dulce y, 3) estructuras mesoescalares (i.e. remolinos).
- La caracterización hidrográfica de la macro-región de estudio, permitió identificar 2 zonas de transición latitudinal para la propagación espacial de propiedades hidrográficas: al norte de la unidad La Araucanía-Los Ríos, y al sur del Canal de Chacao. Estos límites geográficos subdividirían (en términos de interpretación de futuros resultados) a la macro-región en 3 zonas.
- La composición fitoplanctónica estuvo dominada por diatomeas, las cuales dominaron numéricamente a lo largo de todo el año, con un aporte menor de los dinoflagelados, que sólo



durante algunos momentos del año (fines de verano y comienzos de otoño) alcanzaron densidades celulares importantes.

- A partir de la composición del fitoplancton, en términos de presencia y densidad celular y de la variabilidad ambiental, se observaron importantes diferencias entre las estaciones ubicadas en la región del Biobío y el resto de las estaciones de muestreo.
- Se propone que las diferencias entre la composición fitoplanctónica y la ocurrencia de las especies nocivas están en relación con los procesos de surgencia costera asociada a las estaciones del Biobío.
- Procesos oceanográficos como la surgencia costera y remolinos de submesoescala inducirían la mezcla de la columna de agua facilitando la ocurrencia y dominancia de las diatomeas, por el contrario, son los procesos de estratificación y estabilidad los que favorecerían los incrementos celulares de dinoflagelados y en especial el desarrollo de las distintas floraciones de *A. catenella*, *D. acuminata* y Kareniaceas.
- De acuerdo los antecedentes recogidos por este estudio, se requiere conocer con más detalle acerca de la interacción de los procesos atmosféricos – oceanográficos que pueden determinar las condiciones favorables para el desarrollo de diatomeas y/o dinoflagelados y sus patrones de ocurrencia temporales.
- Seis de las siete potenciales especies nocivas fueron detectadas en este estudio mediante microscopia óptica (*A. catenella*, *A. ostenfeldii*, *D. acuminata*, *D. acuta*, , *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*), sólo *P. reticulatum* estuvo ausente durante todo el periodo de estudio.
- La estrategia de muestreo de sedimentos para la búsqueda de quistes utilizada en la actual etapa es adecuada para lograr la identificación de un mayor número de tipos de quistes y para observar la variabilidad temporal de quistes de distintas especies, entre ellas las especies nocivas *A. ostenfeldii* y *A. catenella*.
- Durante este estudio se confirma que *A. ostenfeldii* produce toxinas paralizantes , lo que junto con su importante distribución a lo largo de la zona de estudio, implica que debemos reforzar



el monitoreo y la investigación en torno a esta especie, en aspectos relacionados con su ecofisiología, biogeografía y producción de toxinas.

- La presencia constante presencia de gymnodiminas, aunque en concentraciones muy bajas, debe ser materia de estudio, ya que faltan estudios acerca de los riesgos a la exposición crónica de estas toxinas. Los resultados positivos GYM, puede deberse a que estén presentes *Karenia selliformis* o *Alexandrium ostenfeldii*.
- La presencia estacional de quistes de *A. ostenfeldii* en las bahías del Biobío, además de mostrar indirectamente la presencia de la fase móvil en la columna de agua de la región, refuerza la necesidad de realizar seguimientos periódicos de quistes en sedimentos dada su potencialidad de germinación bajo condiciones ambientales favorables.
- Las estaciones de la región del Biobío se caracterizaron por presentar quistes de *A. ostenfeldii* mientras que las estaciones de Los Lagos por presentar quistes de *A. catenella*.
- Se identificaron los sitios de 10 millas como sectores con una mayor presencia de quistes de dinoflagelados.
- Las estaciones Caleta Zorra 10 millas, Mar Brava 10 millas son sectores donde ocurre mayor sedimentación de quistes de *A. catenella* en la parte expuesta al océano Pacífico de la región de Los Lagos.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves de Sousa, C., Varela, D., Navarrete, F., Fernández, P., Leal, P. 2008. Distribution, abundance and diversity of modern dinoflagellate cyst assemblages from southern Chile (43-54° S). *Botanica Marina* 51: 399-410.
- A.O.A.C. 1990. Paralytic Shellfish Poison. Biological method. Final action. In Hellrich, K. ed. Official Method of Analysis. 15th Edition, pp. 881-882, Sec 959.08. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Arlington, Virginia, USA.
- Anabal3n, V., C. Morales, R. Escribano, & M. Varas. 2007. The contribution of nano- and micro-planktonic assemblages in the surface layer (0–30 m) under different hydrographic conditions in the upwelling area off Concepci3n, central Chile. *Progress in Oceanography* 75: 396–414
- Avaria, S., P. Mu3oz, & E. Uribe. 1982. Composici3n y biomasa del fitoplancton marino del norte de Chile en diciembre de 1980. (Operaci3n OceanogrÁfica MARCHILE XI-ERFEN II). *Ciencia y TecnologÍa del Mar*, Cona 6: 5-36.
- Balech, E. 1985. The genus *Alexandrium* or *Gonyaulax* of the *tamarensis* group. In D. M. Anderson, A. W. White, and D. G. Baden (eds.), *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier, New York, pp. 33-38.
- Balch, W.M., Reid, P.C., Surrey-Gent, S.C. 1983. Spatial and temporal variability of dinoflagellate cyst abundance in a tidal estuary. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40: 244-261.
- Bates, C. 2008. Multivariate analysis of community structure data. Bamfield Marine Science Centre. www.zoology.ubc.ca/~srivast/biol404/Eco%20Methods%20multivariate.ppt
- Blanco, J., 1995. Cyst production in four species of neritic dinoflagellates. *Journal of Plankton Research* 17: 165-182.
- Blanco, J., G. Álvarez y E. Uribe. 2007. Identification of pectyentoxins in plankton, filter feeders, and isolated cells of *Dinophysis acuminata* with an atypical toxin profiles, from Chile. *Toxicon*. 49 (5): 710-716.
- Cembella, A., M.A. Quilliam, N.I. Lewis, A.G. Bauder, C. Dell'Aversano, K. Thomasa, J. Jellett, & R.R. Cusack. 2002. The toxigenic marine dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* salmon in Nova Scotia. *Harmful Algae* 1: 313–325.



- Chelton, D. B., M. G. Schlax, R. M. Samelson & R. A. de Szoeke. 2007. Global observations of large ocean eddies. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L15606, doi:10.1029/2007GL030812.
- Correa-Ramirez, M. A., S. Hormazabal & G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°S-39°S). *Geophys. Res. Lett.* 34, L12604.
- Johnson, G. C. & K. E. McTaggart. 2009. Equatorial Pacific 13°C Water Eddies in the Eastern Subtropical South Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 40(1), doi:10.1175/2009JPO4287.1.
- Clarke, K.R. 1993. Non – parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117 – 143.
- Clarke, K.R. & Gorley, R.N., 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
- Clarke, K., P. Somerfield & R. Gorley. 2008. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 366, 56-59.
- Clarke, K.R. & R.N. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, UK, 172pp.
- COI-UNESCO (1983). Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Manual and guides, No12. 52p
- Collins, C., J. Graham, L. Brown, E. Bresnan, J.-P. Lacaze, & E.A. Turrell. 2009. Identification and toxicity of *Alexandrium tamarense* (dinophyceae). *Journal of Phycology* 45: 692–703.
- Díaz, P., Molinet, C., Seguel, M., Díaz, M., Labra, G., Figueroa, R.I. 2014. Coupling planktonic and benthic shifts during a bloom of *Alexandrium catenella* in southern Chile: Implications for bloom dynamics and recurrence. *Harmful Algae* 40: 9-22.
- Dyhrman ST, Erdner D, Du JL, Galac M, Anderson DM. Molecular quantification of toxic *Alexandrium fundyense* in the Gulf of Maine using real-time PCR. *Harmful Algae*. 2006;5:242–250. doi: 10.1016/j.hal.2005.07.005.
- Espinoza, O., Cáceres, J., Calderón, M., López, L., Labra, G., Correa K., Norambuena, L., Muñoz, V., Cornejo, M.F., Palma, M., Tardón, H., Ramírez, L., Olivares, B., González, R., Soto C., Salgado, P., Carbonell, P., Cascales, E. 2019. Programa de manejo y monitoreo de las floraciones algales nocivas y toxinas marinas en el Océano Pacífico desde el Biobío a Aysén (Etapa I) 2018. Informe Final (Tomo I y II). Subsecretaría de Economía y EMT. Instituto de Fomento Pesquero. 63 pág.



- Franco, J.M. & P. Fernández-Vila. 1993. Separation of Paralytic Shellfish Toxins by Reversed Phase High Performance Liquid Chromatography, with Postcolumn Reaction and Fluorimetric Detection. *Chromatographia* 35: 613-620.
- Fux, Elie, Juliette L. Smith, Mengmeng Tong, Leonardo Guzmán, Donald M. Anderson. 2011. Toxin profiles of five geographical isolates of *Dinophysis* spp. from North and South America *Toxicon* 57 (2): 275-287.
- GEOHAB (2001) Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan. P. Gilbert and G. Pitcher (eds.) SCOR and IOC, Baltimore and Paris. 87 pp.
- GEOHAB (2003) Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Implementation Plan. P. Gentien, G. Pitcher, A. Cembella, P. Gilbert (Eds.). SCOR an IOC, Baltimore and Paris. 36 pp.
- Holland, S., 2008. Non-Metric Multidimensional Scaling. Department of Geology, University of Georgia. Athens, GA. 30602-2501. www.uga.edu/~strata/software/pdf/mdsTutorial.pdf
- Ichimi, K., T. Suzuki, & A. Ito. 2002. Variety of PSP toxin profiles in various culture strains of *Alexandrium tamarense* and change of toxin profile in natural *A. tamarense* population. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 273: 51– 60.
- Johnson, G.C. & K.E. McTaggart. 2010. Equatorial Pacific 13°C water eddies in the eastern subtropical south Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 40(1): 226-236, doi: 10.1175/2009JPO4287.1.
- Kremp, A., 2013. Diversity of dinoflagellate life cycles: facets and implications of complex strategies. In; Lewis, J.M., Marret, F. & Bradley, L.(eds). *Biological and Geological Perspectives of dinoflagellates*. The Micropaleontological Society, Special Publication. Geological Society, London 197-205
- Kudela, R., G. Pitcher, T. Probyn, F. Figueiras, T. Moita, V. Trainer. 2005. Harmful algal blooms in coastal upwelling systems. *Oceanography* 18, 184–197.
- Lembeye, G. 2004. Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de la zona sur-austral de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar* 27: 21-31. Lindholm, T. 1978. Autumnal mass development of the “Red Water” ciliate *Mesodinium rubrum* in the Aland Archipelago. *Soc. Fauna Flora Fennica*, 54 1-5.
- Liu, T., K.N. Mertens, H. Gu. 2015. Cyst-theca relationship and phylogenetic positions of the diplopsaloideans (Peridinales, Dinophyceae), with description of *Niea* and *Qia* gen. nov. *Phycologia* 54(2): 210–232.



- Marret, F. & Zonneveld, K. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Rev. Paleobot. Palynol.* 125: 1-200.
- Matsuoka K & Y Fukuyo. 2000. Guía técnica para el estudio de quistes de dinoflagelados actuales, 30 pp. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC, Unesco, Paris.
- McGillicuddy, D., A. Robinson, D. Siegel, H. Jannasch, R. Johnson, T. Dickey, J. McNeil, A. Michaels, A. Knap. 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*, 394: 263–266.
- Mertens, K.N., A. Yamaguchi, H. Kawami, S. Ribeiro, B.S. Leander, A.M. Price, V. Pospelova, M. Ellegaard, K. Matsuoka. 2012. *Archaeoperidinium saanichi* sp. nov.: a new species based on morphological variation of cyst and theca within the *Archaeoperidinium minutum* Jorgensen 1912 species complex. *Mar Micropaleontol.* 96-97: 48–62.
- Mertens, K., Gu, H., Gurdebeke, P.R., Takano, Y., Clarke, D., Aydin, H., Li, Z., Pospelova, V., Shin, H.H., Li, Z., Matsuoka, K., Head, M. 2019. A review of rare, poorly known, and morphologically problematic extant marine organic-walled dinoflagellate cyst taxa of the orders Gymnodinales and Peridinales from the Northern Hemisphere. *Mar. Micropaleontology*, In Press.
- Montresor, M., Zingone, A., Sarno, D., 1998. Dinoflagellate cyst production at a coastal Mediterranean site. *Journal of Plankton Research* 20(12): 2291-2312
- Molgó J., Girard E. and Benoit E. (2007) The cyclic imines: an insight into this emerging group of bioactive marine toxins, in *Phycotoxins: Chemistry and Biochemistry* (L. M. Botana, ed.), pp. 319– 335. Blackwell Publishing Ltd, Ames, IA.
- Morales, C. E., S. Hormazabal, M. Correa-Ramirez, O. Pizarro, N. Silva, C. Fernandez, V. Anabalón, M. L. Torreblanca. 2012. Mesoscale variability and nutrient–phytoplankton distributions off central-southern Chile during the upwelling season: The influence of mesoscale eddies. *Prog. Oceanogr.*, 104: 17–29.
- Mudie, P.J., F. Marret, K.N. Mertens, L. Shumilovskikh, S.A.G. Leroy. 2017. Atlas of modern dinoflagellate cyst distributions in the Black Sea Corridor: from Aegean to Aral Seas, including Marmara, Black, Azov and Caspian Seas. *Mar. Micropaleontology* 134: 1–152.
- Murphy, J. and Riley, J.R. (1962) A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)



- Orlova, T.Y., Morozova, T.V., Gribble, K.E., Kulis, D.M., Anderson, D.M. 2004. Dinoflagellate cysts in recent marine sediments from the east coast of Russia. *Botanica Marina* 47: 184-201.
- Persson, A., Godhe, A. & Karlson, B. 2000. Dinoflagellate cysts in recent sediments from the West coast of Sweden. *Botanica Marina* 43: 69-79.
- Pizarro, G., C. Alarcón, J. Franco, M. Palma, L. Escalera, B. Reguera, G. Vidal & L. Guzmán. 2011. Distribución espacial de *Dinophysis* spp. Y detección de toxinas DSP en el agua mediante resinas DIAION. *Cienc. Tecno. Mar*, 34 (1-2): 31-48.
- Pizarro, G., N. Pesse, P. Salgado, C. Alarcón, C. Garrido & L. Guzmán. 2012. Determinación de la capacidad de adherencia, mecanismos de propagación y métodos de destrucción de *Alexandrium catenella* (célula vegetativa y quiste). Informe Final Proyecto SUBPESCA. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile, 79 pp
- Pizarro, G., Arévalo, F., Moroño, A., Riobó, P., Franco, J., Zamora, C. & Guzmán, L. 2014. Emergent lipophilic toxins in the Magellan region (47-55 °S), Chile. The 16th International Conference on Harmful Algae. 27 October-01 November 2014, Wellington, New Zealand. Abstract Book, p. 124.
- Pospelova, V. , Price A. M., and Pedersen T. F.. 2015. Palynological evidence for late Quaternary climate and marine primary productivity changes along the California margin. *Paleoceanography* 30:877–894.
- Quijano-Scheggia, S., E. Garcés, N. Sampedro, K. van Lenning, E. Flo, K. Andree, J.M. Fortuño, J. Camp. 2008. Identification and characterisation of the dominant *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) along the NE Spanish coast (Catalonia, NW Mediterranean). *Scientia Marina*. 72 (2), 343–359.
- Quilliam, M.A. and Wright, J.L.C. 1995. Methods for diarrhetic shellfish poisons. Ch. 6. In *Manual on Harmful Marine Microalgae*. G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, and A.D. Cembella (Eds.), p. 95-111. IOC Manuals and Guides No. 33. UNESCO, Paris.
- Salgado, P. 2011. Distribución espacio-temporal de ensambles de quistes de dinoflagelados productores de floraciones algales nocivas en sedimentos costeros del sur de Chile (Región de Los Lagos) durante los últimos ~150 años. Tesis de Magíster, Universidad de Concepción, 130 pág.
- Salgado, P, L. Guzmán, G. Labra & C. Cáceres. 2013. Monitoreo de especies nocivas en la región del Biobío. Informe Final Proyecto SUBPESCA. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile, 126 pp.



- Salgado, P., P. Riobó, F. Rodríguez, J. Franco & I. Bravo. 2015. Differences in the toxin profiles of *Alexandrium ostenfeldii* (Dinophyceae) strains isolated from different geographic origins: Evidence of paralytic toxin, spirolide, and gymnodimine. *Toxicon*, 103: 85-98.
- Sangrà, P., A. Pacual, A. Rodríguez-Santana, F. Machín, E. Mason, J.C. McWilliams, J.L. Pelegrí, Ch. Dong, A. Rubio, J. Aristegui, A. Marrero-Díaz, A. Hernández-Guerra, A. Martínez-Marrero & M. Auladell. 2009. The Canary Eddy Corridor: A mayor pathway for long-lived eddies in the subtropical North Atlantic. *Deep-Sea Res. I*, 56: 2100–2114.
- Seguel, M., A. Sfeir, J. González, P. Díaz, C. Molinet y G. Labra. 2011. Quistes de dinoflagelados en sedimentos marinos del sur de Chile con énfasis en *Alexandrium catenella* y *Protoceratium reticulatum*. *Cienc. Tecnol. Mar*, 34 (1-2); 5-7.
- Silva, N., N. Rojas, A. Fedele. 2009. Water masses in the Humboldt Current System: properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Res. II*, 56: 1004-1020.
- Stivala, C. E., Benoit, E., Araoz, R., Servent, D., Novikov, A., Molgó, J. & Zakarian, A. 2015. Synthesis and biology of cyclic imine toxins, an emerging class of potent, globally distributed marine toxins. *Natural product reports*, 32, 411-435.
- Suárez, B. & L. Guzmán. 1992. Floraciones de Algas Nocivas, Mareas Rojas y Toxinas Marinas. *Rev. San. Def. Nac.* 9, 133-138.
- Trefault, N., Krock, B., Delherbe, N., Cembella, A. & Vásquez, M. 2011. Latitudinal transects in the southeastern Pacific Ocean reveal a diverse but patchy distribution of phycotoxins. *Toxicon*, 58, 389-397.
- Turner, A., Dhanji-Rapkova M., Fong, S.Y.T., Hungerford, J., McNabb, P.S., Boundy, M.J., Harwood, T. 2020. Ultrahigh-Performance Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography with Tandem Mass Spectrometry Method for the determination of Paralytic Shellfish Toxins and Tetrodotoxin in Mussels, Oysters, Clams, Cockles, and Scallops: Collaborative Study. *Journal of AOAC International* 103.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. *Methodik. Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol.* 9, 38.
- Yasumoto, T., M. Murata, Y. Oshima, K. Matsumoto & J. Clardy. 1984. Diarrhetic shellfish poisoning. Pp. 207-214, in: E. P. Ragelis (ed.). *SeaFood Toxins*, ACS Symposium Series 262, American Chemical Society, Washington, D.C.



Zonneveld, K.A.F., V. Pospelova. 2015. A determination key for modern dinoflagellate cysts. *Palynology* 39(3): 387–409.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA



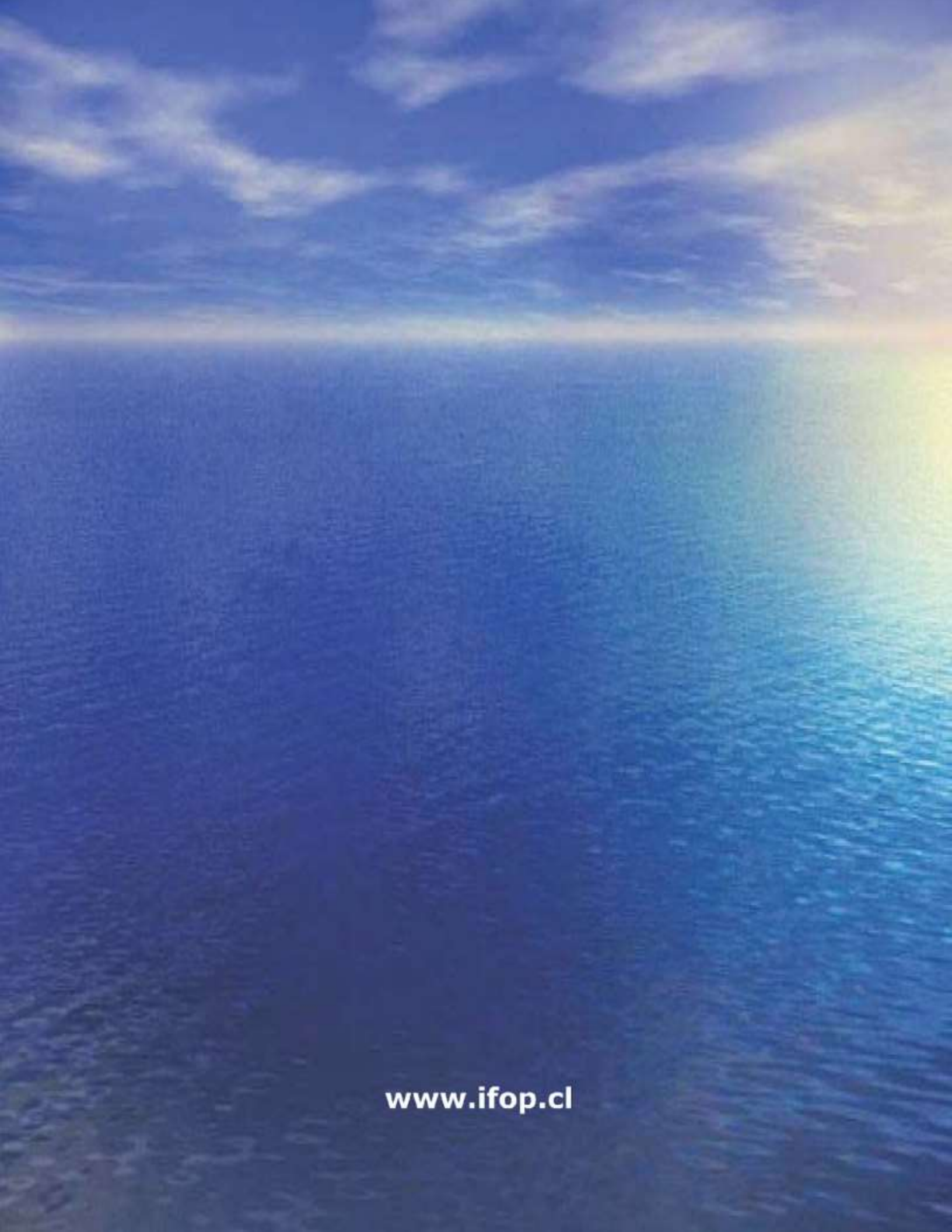
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción

Blanco 839, Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl