



TOMO I INFORME FINAL:

Capítulos 1 al 5: Textos

Convenio de Desempeño 2015:

Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en las
regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, Etapa IX 2015-16

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016



TOMO I INFORME FINAL:

Capítulos 1 al 5: Textos

Convenio de Desempeño 2015:
Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en las
regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, Etapa IX 2015-16

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016

REQUIRENTE

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

Subsecretaria de Economía Y EMT
Natalia Piergentili Domenech

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación en Acuicultura
Leonardo Guzmán Méndez

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

T O M O I

TEXTOS
(CAPÍTULOS 1-5)



ÍNDICE GENERAL

	<i>Páginas</i>
ÍNDICE DE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE TABLAS	xx
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxii
 CAPÍTULO 1:A	
Introducción General al Programa Manejo y Monitoreo Mareas Rojas.	
RESUMEN EJECUTIVO.....	5
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo general	20
1.2.2. Objetivos específicos.....	20
1.3. GESTIÓN DEL PROYECTO	21
1.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
 CAPÍTULO 2: B.	
Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables hidrográficas y meteorológicas, IX etapa (marzo de 2015 a febrero 2016).	
2.1. OBJETIVOS	33
2.1.1 Objetivo general	33
2.1.2 Objetivos específicos.....	33
2.2. METODOLOGÍA.....	34
2.2.1 Metodología objetivo específico 1	34
2.2.2 Metodología objetivos específicos 2 y 3	38
2.2.3 Metodología objetivo específico 4	39
2.3. RESULTADOS	40
2.3.1 Objetivo específico 1	44
2.3.2 Objetivo específico 2 y 3	45
2.3.3 Objetivo específico 4	46
2.3.4 <i>Alexandrium catenella</i> en la región de los Lagos, floración de verano – otoño de 2016 e hipótesis de su ocurrencia y distribución	46
2.3.4.1 La floración de <i>A. catenella</i> en el extremo norte de los fiordos nacionales (enero – junio 2016).....	46



2.3.4.1.1	Situación de las estaciones consideradas dentro del programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas.	46
2.3.4.1.2	Situación de las estaciones asociadas a la costa Pacífica de las regiones de Los Lagos y Los Ríos.....	47
2.3.4.2	Las floraciones de algas nocivas de 2016 en la región de Los Lagos y sus probables causas.....	49
2.3.4.3	Análisis de toxinas en muestras de percebes, machas, sardinas y anchovetas recolectadas desde distintos sectores afectados por los eventos de marea roja ocurridos en abril 2016 en la región de Los Lagos.....	53
2.4	Conclusiones.....	55
2.5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

CAPÍTULO 3: C.

Correntometría e hidrografía entre Playas Largas e Isla San Andrés, canal Moraleda región de Aysén.

3.1.	OBJETIVOS	63
3.1.1	Objetivo específico	63
3.2.	METODOLOGÍA.....	63
3.2.1.	Correntometría euleriana.....	63
3.2.2.	Hidrografía.....	64
3.3.	RESULTADOS	65
3.3.1.	Correntometría euleriana.....	65
3.3.1.1.	Mediciones de otoño	65
3.3.1.2.	Periodo de primavera	67
3.3.2.	Hidrografía.....	68
3.3.2.1.	Mediciones de otoño	68
3.3.2.2.	Mediciones de primavera	68
3.4.	DISCUSIÓN	70
3.5.	CONCLUSIONES.....	71
3.6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

Capítulo 4: D.

Distribución y abundancia de microalgas nocivas, particularmente de *Alexandrium catenella*, y su relación con patrones de circulación en fiordos y canales.

4.1.	OBJETIVOS	77
4.1.1	Objetivo específico	77
4.2.	METODOLOGÍA.....	77
4.2.1.	Revisión bibliográfica de las tasas ecofisiológicas de <i>A. catenella</i>	77
4.2.2.	Bioensayos con distintas cepas de <i>A. catenella</i>	77



4.2.2.1.	Implementación y mantención del cepario	77
4.2.2.2.	Cultivos de <i>Alexandrium catenella</i>	76
4.2.2.3.	Tasas de crecimiento de <i>Alexandrium catenella</i>	79
4.2.2.4.	Método de incubación en botellas	80
4.2.3.	Modelación físico-biológica de la distribución y densidad celular de <i>Alexandrium catenella</i>	81
4.2.4.	Modelo Hidrodinámico	82
4.2.5.	Modelo Biológico	85
4.2.6.	Modelo acoplado físico-biológico	87
4.3.	RESULTADOS	88
4.3.1.	Bioensayos con distintas cepas de <i>A. catenella</i>	88
4.3.2.	Modelo Hidrodinámico	89
4.3.3.	Modelo acoplado físico-biológico	92
4.4.	DISCUSIÓN	94
4.4.1.	Bioensayos con distintas cepas de <i>A. catenella</i>	94
4.4.2.	Modelo Hidrodinámico	95
4.4.3.	Modelo acoplado físico-biológico	96
4.5.	CONCLUSIONES	97
4.6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

CAPÍTULO 5: E.

Continuar con el análisis interpretativo iniciado en 2014 de la base de datos disponible desde mayo de 2006, segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables bióticas y abióticas disponibles.

5.1.	OBJETIVOS	107
5.1.1.	Objetivo específico 7	107
5.2.	METODOLOGÍA	107
5.2.1.	Configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total en los fiordos y canales australes a partir de las estimaciones de la biomasa fitoplanctónica	107
5.2.2.	Configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total en los fiordos y canales australes a partir de las estimaciones de densidad fitoplanctónica	109
5.2.3.	Variabilidad espacio-temporal de la abundancia relativa de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales	110
5.2.4.	Principales áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos y su relación con variables biológicas y ambientales	110
5.2.5.	Primer análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)	111
5.3.	RESULTADOS	112
5.3.1.	Configuraciones espaciales a partir de la biomasa fitoplanctónica	112
5.3.2.	Configuraciones espaciales a partir de la densidad fitoplanctónica	113
5.3.3.	Descripción de los principales ensambles fitoplanctónicos por sector geográfico	115



5.3.4.	Variabilidad espacio-temporal de la abundancia relativa de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales.....	118
5.3.5.	Principales áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos y su relación con variables biológicas y ambientales	121
5.3.6	Primer análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)	125
5.3.6.1	Configuraciones espacio-temporales de variables ambientales.....	125
5.3.6.2	Configuraciones espacio-temporales para el fitoplancton total.....	126
5.3.6.3	Configuraciones espacio-temporales de dinoflagelados nocivos	127
5.3.6.4	Análisis series temporales Subprograma Raúl Marín Balmaceda	130
5.4.	DISCUSIÓN	132
5.4.1.	Configuraciones espaciales a partir de la densidad fitoplanctónica.....	132
5.4.2.	Variabilidad espacio-temporal de la abundancia relativa de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales.....	133
5.4.3.	Principales áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos y su relación con variables biológicas y ambientales	135
5.4.4	Primer análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)	136
5.4.4.1	Variabilidad ambiental.....	136
5.4.4.2	Fitoplancton total	136
5.4.4.3	Especies de dinoflagelados nocivos.....	137
5.4.4.4	Raúl Marín Balmaceda	137
5.5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS

Capítulo 2: B

- Figura. 2.1.** Sitios de muestreo y sectorizaciones en las regiones de Los Lagos y Aysén. En azul puntos de muestreo del Subprograma Regular, en rojo sitios de muestreo del Subprograma de Fiscalización y Vigilancia, y en amarillo, localidades de muestreo del Subprograma de Raúl Marín Balmaceda.
- Figura. 2.2.** Sitios de muestreo y sectorizaciones en la región de Magallanes. En azul puntos de muestreo del Subprograma Regular.
- Figura. 2.3.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante los meses de enero, febrero y marzo de 2016 para cada una de las 208 estaciones monitoreadas por el programa de mareas rojas en las región de Los Lagos y su comparación con el mismo periodo de muestreo durante el año 2015.
- Figura. 2.4.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante los meses de enero, febrero y marzo de 2016 para cada una de las 208 estaciones monitoreadas por el programa de mareas rojas en las región de Aysén y su comparación con el mismo periodo de muestreo durante el año 2015.
- Figura. 2.5.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante los meses de enero, febrero y marzo de 2016, para cada una de las 208 estaciones monitoreadas por el programa de mareas rojas en las región de Magallanes y su comparación con el mismo periodo de muestreo durante el año 2015.
- Figura. 2.6.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante el mes de abril de 2016, para cada una de las estaciones monitoreadas en la costa oceánica de la región de Los Lagos.
- Figura. 2.7.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante el mes de mayo de 2016, para cada una de las estaciones monitoreadas en la costa oceánica de la región de Los Lagos.
- Figura. 2.8.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante los meses de abril y mayo de 2016, para cada una de las estaciones monitoreadas en la costa oceánica de la región de Los Ríos.
- Figura. 2.9.** Magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* (Abundancia relativa) durante el mes de junio de 2016, para cada una de las estaciones monitoreadas en la costa oceánica de la regiones de los Lagos y de Los Ríos.



- Figura. 2.10.** Fotografía microscopia célula *Pseudochattonella cf. verruculosa*
- Figura. 2.11.** Fotografía microscopia célula *Alexandrium catenella*.
- Figura. 2.12.** Registros de temperatura y salinidad en meses de verano en 2015 y 2016.
- Figura. 2.12.** Variación estacional de la temperatura (°C) y salinidad (psu) en varias localidades del mar interior de Chiloé (Caleta La Arena, Metri, Calbuco y Yaldad) entre 2013 y 2016.
- Figura. 2.13 a** (izquierda) Fotografía varazón de machas en la playa de Cucao, causada por el efecto del veneno paralizante sobre el pie del molusco. **Figura. 2.13 b** (derecha) Fotografía que muestra la playa de Cucao días después de la varazón de machas, la cual muestra que una importante fracción de ellas volvieron a enterrarse en el sedimento.
- Figura. 2.14.** Anomalías térmicas del agua de mar superficial durante el mes de abril en el océano Pacífico durante los Niños 1982-83, 1997-98 y 2015-16
- Figura. 2.15.** Sistema anticiclónico del Pacífico en una situación sin Niño y una situación con presencia del Niño durante este año (Fuente: Servicio Meteorológico de la Armada de Chile)
- Figura. 2.16.** Rosa de vientos obtenida a partir de mediciones realizadas entre los meses de abril y mayo de 2016 y que muestra vientos principalmente de componentes sur, favorables al afloramiento.
- Figura. 2.17.** Imágenes satelitales para el periodo comprendido entre el 16 de enero y 26 de abril de 2016 (Fuente: NASA).
- Figura. 2.18.** Evidencias ambientales de gran cobertura geográfica que generan condiciones propicias para floraciones de algas nocivas.
- Figura. 2.19.** Gráfica que muestra la relación entre la velocidad del viento (m s^{-1}) y la radiación (W m^{-2}). El punto rojo representa el mes de enero de 2016. (Fuente: R. Garreaud, 2016).
- Figura. 2.20.** Floraciones nocivas y registro de varamientos costeros en el océano Pacífico durante 2015 y 2016.
- Figura. 2.21.** Colonias de percebes (*Lepas australis*) sobre frondas de huiro (*Macrocystis pyrifera*).
- Figura. 2.22.** Ejemplares de picorocos (*Balanus* sp.) disectados en siete componentes para análisis de toxinas.
- Figura. 2.23.** Ejemplares de sardina disectadas para obtención de estómago, branquias y restos del cuerpo, para análisis de toxinas.
- Figura. 2.24.** Ejemplares de anchovetas disectadas para obtención de branquias y restos del cuerpo, para análisis de toxinas. Los estómagos fueron analizados por bioensayo ratón en el laboratorio de la SEREMI de Salud de la región de Los Lagos.



Capítulo 3: C

- Figura 3.1.** Posición de los anclajes de ADCP ● y estaciones de CTDO ● en los periodos de otoño y primavera del 2015.
- Figura 3.2.** Elipses de dispersión de la corriente, construidas para distintas profundidades representativas de la columna de agua en isla Meninea. Estas elipses indican el eje de máxima varianza de cada profundidad.
- Figura 3.3.** Superficies de color para las series de tiempo de la componente U (arriba) y la componente V (abajo) de la corriente residual en isla Meninea.
- Figura 3.4.** Diagrama del vector progresivo en el sector de isla Meninea.
- Figura 3.5.** Densidad espectral de la corriente en isla Meninea. Espectro de la componente U (izquierda) y de la componente V (derecha).
- Figura 3.6.** Elipses de dispersión de la corriente, construidas para distintas profundidades representativas de la columna de agua frente a Puerto Gaviota, canal Puyuhuapi. Estas elipses indican el eje de máxima varianza de cada profundidad.
- Figura 3.7.** Superficies de color para las series de tiempo de la componente U (arriba) y la componente V (abajo) de la corriente residual en Puerto Gaviota, canal Puyuhuapi.
- Figura 3.8.** Diagrama del vector progresivo en el sector de Puerto Gaviota, canal Puyuhuapi. Dónde: capa superficial (14 m), capa intermedia (40 m) y capa profunda (68 m).
- Figura 3.9.** Densidad espectral de la corriente en Puerto Gaviota, canal Puyuhuapi. Espectro de la componente U (izquierda) y de la componente V (derecha).
- Figura 3.10.** Elipses de dispersión de la corriente, construidas para distintas profundidades representativas de la columna de agua en Playas Largas. Estas elipses indican el eje de máxima varianza de cada profundidad.
- Figura 3.11.** Superficies de color para las series de tiempo de la componente U (arriba) y la componente V (abajo) de la corriente residual en Playas Largas.
- Figura 3.12.** Espectro de energía de las componentes norte-sur (izquierda) y este-oeste (derecha) en Playas Largas.
- Figura 3.13.** Elipses de dispersión de la corriente, construidas para distintas profundidades representativas de la columna de agua en isla San Andrés, canal Puyuhuapi. Estas elipses indican el eje de máxima varianza de cada profundidad.
- Figura 3.14.** Superficies de color para las series de tiempo de la componente U (arriba) y la componente V (abajo) de la corriente residual en isla San Andrés, canal Puyuhuapi.
- Figura 3.15.** Espectro de energía de las componentes este-oeste (izquierda) y norte-sur (derecha) en isla San Andrés, canal Puyuhuapi.



- Figura 3.16.** Perfiles hidrográficos para el periodo de otoño (mayo 2015).
- Figura 3.17.** Perfiles hidrográficos para el periodo de otoño (julio 2015).
- Figura 3.18.** Perfiles hidrográficos para el periodo de primavera (septiembre 2015).
- Figura 3.19.** Perfiles hidrográficos para el periodo de primavera (diciembre 2015).
- Figura 3.20.** Promedio del parámetro de mezcla para periodo de otoño (mayo, julio 2015) y primavera (septiembre, diciembre 2015).
- Figura 3.21.** Distribución vertical de clorofila, determinada mediante fluorescencia de CTD, otoño 2015.
- Figura 3.22.** Distribución vertical de clorofila, determinada mediante fluorescencia de CTD, primavera.

Capítulo 4: D

- Figura 4.1.** Esquema del protocolo de obtención de agua para los ceparios, cultivos experimentos de crecimiento de *Alexandrium catenella* además de la obtención de agua organismos para los experimentos de ingestión.
- Figura 4.2.** Esquema del protocolo para experimento de crecimiento de *Alexandrium catenella*. Los diferentes parámetros de intensidad lumínica, fotoperiodo y temperatura se definirán de acuerdo a los requerimientos del modelo
- Figura 4.3.** Esquema del protocolo para experimento de ingestión de mesozooplankton (copépodos) sobre el dinoflagelado *Alexandrium catenella*. El tratamiento 1 se realizará con monocultivos de las diferentes cepas + la adición de copépodos. El tratamiento 2 busca ver la variación en las tasas de ingestión con una oferta natural de alimento + adición de *A. catenella* (selección). Los diferentes parámetros de intensidad lumínica, fotoperiodo y temperatura se definirán de acuerdo a los requerimientos del modelo.
- Figura 4.4.** Ubicación geográfica de los sectores de interés escogidos para el desarrollo del Objetivo 6.
- Figura 4.5.** Estructura de discretización del modelo regional de Aysén.
- Figura 4.6.** Batimetría y dominio del modelo regional de Aysén y de la zona de interés.
- Figura 4.7.** Fuentes de agua dulce incluidas en el modelo.
- Figura 4.8.** Ubicación de las estaciones de mareógrafos, CTD y ADCP anclado utilizados para la evaluación.
- Figura 4.9.** Modelo conceptual muestra de manera esquemática las interacciones existentes entre *Alexandrium catenella* y los distintos procesos biológicos (verde), físicos (gris) y las



estrategias biológicas que interactúan con estos procesos físicos-biológicos (rojo). El modelo conceptual planteado permite comprender la dinámica del crecimiento y la distribución de *A. catenella* a través de la estimación de los cambios en la densidad celular por medio del balance de las ganancias (crecimiento y acumulación) y pérdidas (grazing, muerte celular, sedimentación, parasitismo y dispersión) todo dentro del contexto de la variabilidad del entorno.

- Figura 4.10.** Concentración inicial de *A. catenella*.
- Figura 4.11.** Curva de crecimiento de tres cepas de *A. catenella* cultivadas en las mismas condiciones. Las cepas son Q28 (Quellón; amarillo), I3 (Ceres; verde) y AC08 (Fitz Roy; rojo).
- Figura 4.12.** Tasas de aclaramiento ($\text{mL copépodo}^{-1} \text{ mL}^{-1}$) y de ingestión ($\mu\text{gC copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), de los copépodos *Acartia tonsa* (verde) y *Calanus chilensis* (rojo), en dietas únicas de *A. catenella* (Experimento 1; $T_0 = 147,12 \mu\text{g C L}^{-1}$).
- Figura 4.13.** Tasas de aclaramiento ($\text{mL copépodo}^{-1} \text{ mL}^{-1}$) y de ingestión ($\mu\text{gC copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), de los copépodos *Acartia tonsa* (verde) y *Calanus chilensis* (rojo), expuestos a una comunidad natural de fitoplancton inoculada con el dinoflagelado tóxico *A. catenella* (Experimento 2; $T_0 = 239,56 \pm 6.04 \mu\text{g C L}^{-1}$).
- Figure 4.14.** Tasas de ingestión (promedio $\pm$ DE) de *Acartia tonsa* (A, B y C) and *Calanus chilensis* (D, E y F), alimentados con dieta mixta (Comunidad natural + *A. catenella*).
- Figura 4.15.** Flujo residual observado (U) realizado en canal Ninualac.
- Figura 4.16.** Flujo residual modelado (U) en canal Ninualac.
- Figura 4.17.** Flujo residual observado (U) en Fiordo Puyuhuapi.
- Figura 4.18.** Flujo residual observado (U) en Fiordo Puyuhuapi.
- Figura 4.19.** Altura del nivel del mar (m) en Melinka. La línea negra representa los datos observados y la azul los modelados.
- Figura 4.20.** Altura del nivel del mar en Puerto Chacabuco. La línea negra representa los datos observados y la azul los modelados.
- Figura 4.21.** Perfil vertical de salinidad a lo largo de la transecta.
- Figura 4.22.** Perfil vertical de salinidad a lo largo de la transecta.
- Figura 4.23.** Perfil de densidad en distintas estaciones de CTD.
- Figura 4.24.** Perfil vertical de temperatura a lo largo de la transecta.
- Figura 4.25.** Perfil vertical de temperatura a lo largo de la transecta.
- Figura 4.26.** Perfil de temperatura en distintas estaciones de CTD.
- Figura 4.27.** Perfil vertical de densidad a lo largo de la transecta.



- Figura 4.28.** Perfil vertical de densidad modelado a lo largo de la transecta.
- Figura 4.29.** Perfil de densidad en distintas estaciones de CTD.
- Figura 4.30.** Serie de las componente este-oeste (u) y norte-sur (v).de la corriente (cm s^{-1}) en el canal Pérez, la serie modelada es la de color azul y la observada negra.
- Figura 4.31.** Espectro de energía para las componente este-oeste (u) y norte-sur (v) de la corriente observada en el canal Pérez sur.
- Figura 4.32.** Espectro de energía para las componente este-oeste (u) y norte-sur (v) de la corriente modelada en el canal Pérez sur.
- Figura 4.33.** Serie de las componente este-oeste (u) y norte-sur (v).de la corriente en el canal Goñi, la serie modelada es la de color azul y la observada negra.
- Figura 4.34.** Espectro de energía para las componente este-oeste (u) y norte-sur (v) de la corriente observada en el canal Goñi.
- Figura 4.35.** Evolución de la concentración de *A. catenella* desde la estación de Puerto Barrientos
- Figura 4.36.** Circulación residual y transecta en las cercanías de la estación de Puerto Barrientos.
- Figura 4.37.** Evolución de la concentración de *A. catenella* a lo largo de la transecta desde la estación de Puerto Barrientos.
- Figura 4.38.** Evolución de la temperatura a lo largo de la transecta desde la estación de Puerto Barrientos.
- Figura 4.39.** Evolución de la salinidad a lo largo de la transecta desde la estación de Puerto Barrientos.
- Figura 4.40.** Evolución de la concentración de *A. catenella* desde la estación de San Andrés.
- Figura 4.41.** Circulación residual y transecta en las cercanías de la estación de San Andrés.
- Figura 4.42.** Evolución de la concentración de *A. catenella* a lo largo de la transecta desde la estación de San Andrés.
- Figura 4.43.** Evolución de temperatura a lo largo de la transecta desde la estación de San Andrés.
- Figura 4.44.** Evolución de la salinidad a lo largo de la transecta desde la estación de San Andrés.
- Figura 4.45.** Evolución de la concentración de *A. catenella* desde la estación de Playas Largas.
- Figura 4.46.** Circulación residual y transecta en las cercanías de la estación de Playas Largas.
- Figura 4.47.** Evolución de la concentración de *A. catenella* desde la estación de Playas Largas.
- Figura 4.48.** Evolución de la concentración de temperatura desde la estación de Playas Largas.
- Figura 4.49.** Evolución de la salinidad desde la estación de Playas Largas.



Capítulo 5: E

- Figura 5.1.** Sitios de muestreo y sectorizaciones de los puntos de muestreo del Subprograma de Fiscalización y Vigilancia (círculos rojos), y localidades de muestreo del Subprograma de Raúl Marín Balmaceda (círculos amarillos).
- Figura 5.2.** Conglomerados definidos con las 158 estaciones de estudio para en promedio la biomasa fitoplanctónica ($\mu\text{g C L}^{-1}$) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero de 2014.
- Figura 5.3.** Ordenamiento multidimensional de las 158 estaciones de estudio para el promedio de la biomasa fitoplanctónica ($\mu\text{g C L}^{-1}$) en el periodo entre mayo de 2006 y febrero de 2014.
- Figura 5.4.** Mapa por regiones con los grupos resultantes del análisis de conglomerados para el promedio de la biomasa fitoplanctónica ($\mu\text{g C L}^{-1}$) en el periodo entre mayo de 2006 y febrero de 2014. **Ver Figura 5.5 para el detalle de la leyenda.**
- Figura 5.5.** Leyenda de símbolos y colores para cada uno de los 23 grupos segregados y mapeados en la Figura 29.
- Figura 5.6.** Composición de la biomasa dominante (15 especies) en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para zona norte, centro y sur de la región de Los Lagos.
- Figura 5.7.** Composición de la biomasa dominante (15 especies) en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para la zona norte (Aysén norte y Yacaf-Puyuhuapi) y centro (islas Huichas y seno Aysén) de la región de Aysén.
- Figura 5.8.** Composición de la biomasa dominante (15 especies) en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para la zona sur (estero Elefantes a Tortel) de la región de Aysén.
- Figura 5.9.** Composición de la biomasa dominante (15 especies) en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para la zona norte (Magallanes norte 1 y 2) y centro (Piazzzi-Isthmus, seno Otway y estrecho de Magallanes) de la región de Magallanes.
- Figura 5.10.** Composición de la biomasa dominante (15 especies) en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para la zona centro (Est. de Magallanes 2) y sur (canal Beagle) de la región de Magallanes.
- Figura 5.11.** Conglomerados definidos con las 178 estaciones de estudio para el promedio del fitoplancton cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero de 2015.
- Figura 5.12.** Ordenamiento multidimensional de las 178 estaciones de estudio para el promedio del fitoplancton cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre mayo de 2006 y marzo de 2015.



- Figura 5.13.** Mapa por regiones con los grupos resultantes del análisis de conglomerados para el promedio del fitoplancton cuantitativo (cel L⁻¹) en el periodo entre mayo de 2006 y febrero de 2015.
- Figura 5.14.** Leyenda de símbolos y colores para cada uno de los 36 grupos de estaciones segregados y mapeados en la **Figura 5.13**.
- Figura 5.15.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Seno de Reloncaví (AQ), **b)** Fiordo de Reloncaví (C), **c)** Calbuco (AS), **d)** Quemchi (AU).
- Figura 5.16.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Butacheuques (AP), **b)** Desertores (BD), **c)** Dalcahue (AT), **d)** Quellón (AZ).
- Figura 5.17.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Corcovado 2 (BC), **b)** Corcovado 1 (AW), **c)** I. Guapiquilan-I. San Pedro (BA).
- Figura 5.18.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Aysén Norte 1 (AN) 2, **b)** Aysén Norte 2 (AL) **c)** R. Marín Balmaceda (AM), **d)** Estero Pitipalena (AK).
- Figura 5.19.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Boca Yacaf-Moraleda (AG), **b)** Yacaf-Boca Puyuhuapi (T), **c)** Moraleda centro 1 (S), **d)** Puyuhuapi interior (U).
- Figura 5.20.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** seno Aysén (AF), **b)** canal Chacabuco (AJ), **c)** Isla Huichas (Z), **d)** Moraleda centro 2 (AA)
- Figura 5.21.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** I. Teresa-I. Jesús (W), **b)** I. Meninea (AE), **c)** Tortel (R).
- Figura 5.22.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Magallanes Norte 1 (L), **b)** Magallanes Norte 2 (M), **c)** Piazzzi-Isthmuss (J), **d)** Estero Las Montañas (I).



- Figura 5.23.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Seno Otway (D), **b)** Estrecho de Magallanes 1 (G), **c)** Bahía Inútil (E), **d)** Estrecho de Magallanes (F).
- Figura 5.24.** Composición del fitoplancton dominante (15 especies) y contribución total de las otras especies del fitoplancton, en cada uno de los grupos segregados con el análisis de clúster para el sector de **a)** Canal Beagle 1 (P), **b)** Canal Beagle 2 (O).
- Figura 5.25.** Distribución espacio – temporal del promedio mensual de las variables ambientales, temperatura (°C), salinidad (UPS) y densidad (Kg m^{-3}) en cada una de las 178 estaciones de muestreo.
- Figura 5.26.** Distribución espacio – temporal del promedio mensual de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* y *Alexandrium ostenfeldii*.
- Figura 5.27.** Distribución espacio – temporal del promedio mensual de la abundancia relativa de *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta* y *Protoceratium reticulatum*.
- Figura 5.28.** Distribución espacio – temporal del promedio mensual de la abundancia relativa de *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*.
- Figura 5.29.** Distribución espacio – temporal del promedio mensual del veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), el veneno diarreico de los mariscos (VDM) y el veneno amnésico de los mariscos (VAM).
- Figura 5.30.** Conglomerados definidos con las 178 estaciones de estudio para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero de 2015.
- Figura 5.31.** Mapa ubicación de los grupos segregados a partir de los conglomerados definidos con las 178 estaciones de estudio para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero, en la región de los Lagos.
- Figura 5.32.** Mapa ubicación de los grupos segregados a partir de los conglomerados definidos con las 178 estaciones de estudio para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero, en la región de Aysén.
- Figura 5.33.** Mapa ubicación de los grupos segregados a partir de los conglomerados definidos con las 178 estaciones de estudio para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) en el periodo entre marzo de 2006 y febrero, en la región de Magallanes.
- Figura 5.34.** Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 2 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.
- Figura 5.35.** Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y



abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 7 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.36. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 10 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.37. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 11 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.38. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 13 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.39. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 14 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.40. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 15 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.41. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) (círculos rojos), densidad celular de *A. catenella* (células L^{-1}) (círculos verdes) y abundancia relativa de *A. catenella* (círculos azules) para el Grupo 17 de estaciones resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.42. Distribución temporal (2006 – 2015) para el promedio mensual del VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) para cada uno de los grupos descritos en las **Figuras 5.34 – 5.41** resultantes del análisis de conglomerados.

Figura 5.43. Grafica función autocorelación entre los niveles promedios del grupo 15 y la Salinidad a 10 metros de profundidad.

Figura 5.44. Grafica función autocorelación entre los niveles promedios del grupo 15 y la Velocidad promedio del viento..

Figura 5.45. Grafica función autocorelación entre los niveles promedios del grupo 15 y la Abundancia relativa de *A. catenella*.

Figura 5.46. Grafica función autocorelación entre los niveles promedios del grupo 15 y la Temperatura del agua a 10 metros de profundidad..



- Figura 5.47** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a las variables ambientales. En colores y con un símbolo se indican las 11 agrupaciones formadas a partir de este análisis (ver texto).
- Figura 5.48.** Mapa distribución geográfica de los 10 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para las variables ambientales. En la leyenda adjunta se identifica por colores a cada grupo de estaciones segregado.
- Figura 5.49.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de similitud euclidianas entre las variables ambientales promediadas anualmente. El valor de *stress* (0.1) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los 3 símbolos de colores reflejan los grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura X.2**. Las líneas discontinuas de colores representan el conjunto de grupos de estaciones asociadas con grados de similitud semejantes (a mayor valor menos similares o más distantes)
- Figura 5.50.** Representación bidimensional del análisis de componentes principales llevado a cabo a partir de las variables ambientales: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu) a 5 metros de profundidad, nubosidad (8vos), presión atmosférica (mba), dirección (grados) y velocidad del viento (m s^{-1}).
- Figura 5.51.** Conglomerados definidos con las 23 estaciones de estudio para el promedio mensual del fitoplancton cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2016.
- Figura 5.52.** Mapa por regiones con los grupos resultantes del análisis de conglomerados para el promedio mensual del fitoplancton cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2016.
- Figura 5.53.** Ordenamiento multidimensional de las 23 estaciones de estudio para el promedio mensual del fitoplancton cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2016.
- Figura 5.54** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa de las 5 especies nocivas. En colores y con un símbolo se indican las 6 agrupaciones formadas a partir de este análisis.
- Figura 5.54.** Mapa distribución geográfica de los 6 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio anual de la 5 especies nocivas.
- Figura 5.55** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis euclidianas de la abundancia relativa de las especies nocivas promediadas anualmente. El valor de *stress* (0.04) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno 6 grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura X.9**. Las líneas



discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (60, 80 y 90%)

- Figura 5.56.** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *A. catenella*. En colores y con un símbolo se indican las 5 agrupaciones formadas a partir de este análisis.
- Figura 5.57.** Mapa distribución geográfica de los 5 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual de la *A. catenella*.
- Figura 5.58.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis para el promedio mensual de la abundancia relativa de *A. catenella*. El valor de *stress* (0.06) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 5 grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura X.12**. Las líneas discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (40, 60 y 70%)
- Figura 5.59.** Promedios mensuales para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2016 para la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, abundancia (cel L⁻¹, la escala esta expresada como Log₁₀), veneno paralizante (VPM) expresados en µg STX eq*100 g⁻¹, para el grupo X obtenido del análisis de cluster, ubicado en el sector de Melinka.
- Figura 5.60.** Promedios mensuales para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2016 para la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, abundancia (cel L⁻¹, la escala esta expresada como Log₁₀), veneno paralizante (VPM) expresados en µg STX eq*100 g⁻¹, para el grupo X obtenido del análisis de cluster, ubicado en el sector de I. Ovalada.
- Figura 5.61.** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *A. ostenfeldii*. En colores y con un símbolo se indican las 4 agrupaciones formadas a partir de este análisis.
- Figura 5.62.** Mapa distribución geográfica de los 4 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *A. ostenfeldii*.
- Figura 5.63.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis para el promedio mensual de la abundancia relativa de *A. ostenfeldii*. El valor de *stress* (0.14) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 4 grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura X.17**. Las líneas discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (75, 85 y 90%)



- Figura 5.64.** Promedios mensuales para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2016 para la abundancia relativa de *Alexandrium ostenfeldii*, abundancia (cel L⁻¹, la escala esta expresada como Log₁₀), veneno paralizante (VPM) expresados en µg STX eq*100 g⁻¹, para el grupo X obtenido del análisis de cluster, ubicado en el sector de Estero Pitipalena.
- Figura 5.65.** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *D. acuminata*. En colores y con un símbolo se indican las 4 agrupaciones formadas a partir de este análisis.
- Figura 5.66.** Mapa distribución geográfica de los 5 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *D. acuminata*.
- Figura 5.67.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis para el promedio mensual de la abundancia relativa de *D. acuminata*. El valor de *stress* (0.09) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 5 grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura X.22**. Las líneas discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (60, 80 y 90%)
- Figura 5.68.** Promedios mensuales para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2016 para la abundancia relativa de *Dinophysis acuminata*, abundancia (cel L⁻¹, la escala esta expresada como Log₁₀), veneno paralizante (VPM) expresados en µg STX eq*100 g⁻¹, para el grupo X obtenido del análisis de cluster, ubicado en el sector del Golfo del Corcovado.
- Figura 5.69.** Promedios mensuales para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2016 para la abundancia relativa de *Dinophysis acuminata*, abundancia (cel L⁻¹, la escala esta expresada como Log₁₀), veneno paralizante (VPM) expresados en µg STX eq*100 g⁻¹, para el grupo X obtenido del análisis de cluster, ubicado en los sectores de Estero Pitipalena, Canal Moraleda y Melinka.
- Figura 5.70.** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *D. acuta*. En colores y con un símbolo se indican las 3 agrupaciones formadas a partir de este análisis.
- Figura 5.71.** Mapa distribución geográfica de los 3 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *D. acuta*.
- Figura 5.72.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis para el promedio mensual de la abundancia relativa de *D. acuta*. El valor de *stress* (0.09) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 3



grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura 5.70**. Las líneas discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (40, 50 y 60%).

- Figura 5.73.** Promedios mensuales para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2016 para la abundancia relativa de *Dinophysis acuta*, abundancia (cel L⁻¹, la escala esta expresada como Log₁₀), veneno paralizante (VPM) expresados en µg STX eq*100 g⁻¹, para el grupo X obtenido del análisis de cluster, ubicado en el sector de Melinka-I.Ovalada.
- Figura 5.74.** Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *P. reticulatum*. En colores y con un símbolo se indican las 5 agrupaciones formadas a partir de este análisis.
- Figura 5.75** Mapa distribución geográfica de los 5 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *P. reticulatum*. En la leyenda (parte inferior) se identifica por colores a cada grupo de estaciones segregadas.
- Figura 5.76.** Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de Bray–Curtis para el promedio mensual de la abundancia relativa de *P. reticulatum*. El valor de *stress* (0.09) refleja, a grandes rasgos, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 5 grupos obtenidos en el dendrograma de la **Figura X.30**. Las líneas discontinuas de colores representan los conjuntos de grupos de estaciones con porcentajes de similitud similares (40, 50 y 60%).
- Figura 5.77.** Sitios de muestreo y sectorizaciones de los puntos de muestreo del Subprograma de Raúl Marín Balmaceda, ubicados en el sector del Estero Pitipalena.
- Figura 5.78.** Series temporales que muestran las variaciones de la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *A. ostenfeldii* para el periodo de marzo de 2013 a febrero de 2016 para las 6 estaciones ubicadas en el sector del Estero Pitipalena. Las estaciones están ordenadas de forma que se obtiene un gradiente desde la boca hasta la cabeza del fiordo.
- Figura 5.79.** Series temporales que muestran las variaciones de la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *D. acuminata* para el periodo de marzo de 2013 a febrero de 2016 para las 6 estaciones ubicadas en el sector del Estero Pitipalena. Las estaciones están ordenadas de forma que se obtiene un gradiente desde la boca hasta la cabeza del fiordo.
- Figura 5.80.** Series temporales que muestran las variaciones de la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *D. acuta* para el periodo de marzo de 2013 a febrero de 2016 para las 6 estaciones ubicadas en el sector del Estero Pitipalena. Las estaciones



están ordenadas de forma que se obtiene un gradiente desde la boca hasta la cabeza del fiordo.

Figura 5.81. Series temporales que muestran las variaciones de la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *P. reticulatum* para el periodo de marzo de 2013 a febrero de 2016 para las 6 estaciones ubicadas en el sector del Estero Pitipalena. Las estaciones están ordenadas de forma que se obtiene un gradiente desde la boca hasta la cabeza del fiordo.

Figura 5.82. Series temporales que muestran las variaciones de la abundancia relativa del dinoflagelado nocivo *A. catenella* para el periodo de marzo de 2013 a febrero de 2016 para las 6 estaciones ubicadas en el sector del Estero Pitipalena. Las estaciones están ordenadas de forma que se obtiene un gradiente desde la boca hasta la cabeza del fiordo.



ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS

Capítulo 2: B

- Tabla 2.1.** Transvectores recolectados para la detección de toxicidad (VPM, VDM y VAM) en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.*6 estaciones pre-cosecha de ostión del sur.
- Tabla 2.2.** Escalas de abundancia relativa para *Dinophysis acuta*, *Alexandrium catenella*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*. Número de células promedio bajo un cubre-objeto de 18x18 mm en 3 alícuotas de 0,1 ml cada una.
- Tabla 2.3.** Concentración de toxinas ($\mu\text{g eq STX } 100 \text{ g}^{-1}$) de diferentes recursos alimentarios afectados por VPM durante la floración de *A. catenella* en abril-junio de 2016 en la región de Los Lagos. (Fuente SEREMI Salud, región de los Lagos)
- Tabla 2.4.** Abundancia relativa (AR) para las localidades ubicadas en la costa del Pacífico afectadas por durante la floración de *A. catenella* durante el periodo entre abril-mayo de 2016 en la región de Los Lagos.
- Tabla 2.5.** Abundancia relativa (AR) para las localidades ubicadas en la costa del Pacífico afectadas por durante la floración de *A. catenella* durante el periodo entre abril-mayo de 2016 en la región de Ríos.
- Tabla 2.6.** Concentración de toxinas por 100 gramos de diferentes recursos alimentarios afectados por VPM durante la floración de *A. catenella* en abril-mayo de 2016 en las regiones de Los Lagos y Los Ríos.
- Tabla 2.7.** Toxicidad en unidades de ratón eq. a STX por 100 gramos de muestra, estimada para los diferentes recursos afectados por VPM durante la floración de *A. catenella* en abril-mayo de 2016 en las regiones de Los Lagos y Los Ríos
- Tabla 2.8.** Perfil porcentual de toxinas detectadas en el plancton (muestras de agua con presencia de *A. catenella*) recolectadas en las diferentes localidades afectadas en la región de Los Lagos por los eventos de marea roja ocurridos en abril de 2016.

Capítulo 4: D

- Tabla 4.1.** Revisión bibliográfica para la tasa de crecimiento (div d^{-1}), presentada por cepas de *Alexandrium catenella*, aisladas en diversas zonas geográficas (América del Sur, Mediterráneo y Asia), frente a determinadas condiciones de cultivo (temperatura, salinidad, fotoperiodo e irradiancia).
- Tabla 4.2.** Aislación e historia de cepas de *Alexandrium catenella* que se utilizarán para la implementación del cepario y bioensayos.



- Tabla 4.3.** Densidad celular máxima (cel mL^{-1}) y tasa de crecimiento máxima (div día^{-1}) en tres cepas de *A. catenella* (promedio $\pm$ desviación estándar).
- Tabla 4.4.** Composición específica de toxinas VPM ($\text{ng } \mu\text{L}^{-1}$) y toxicidad celular (fmol cel^{-1}) para la cepa AC08, utilizada como alimento para los experimentos 1 y 2 de pastoreo. ND: No Detectado.
- Tabla 4.5.** Composición específica de la dieta para el Experimento 2 (Comunidad natural + *A. catenella*), utilizando muestras naturales inoculados con el dinoflagelado tóxico *A. catenella*.

Capítulo 5: E

- Tabla 5.1.** Grupos de taxones por región administrativa (Los Lagos LL, Aysén AY, Magallanes, MAG) resultantes de la ordenación de la contribución porcentual a la abundancia total del fitoplancton.
- Tabla 5.2.** Grupo de taxones por región administrativa (Los Lagos LL, Aysén AY, Magallanes, MAG) resultantes de la ordenación de la contribución porcentual a la abundancia total del fitoplancton.
- Tabla 5.3** Leyenda de símbolos y colores para cada uno de los 71 grupos de estaciones segregados y mapeados en la **Figura 5.30**.
- Tabla 5.4.** Grupos de segregados a través del análisis de cluster. Se muestra el porcentaje promedio a la similitud y el porcentaje de contribución a la similitud del grupo de las tres principales especies obtenido a del análisis SIMPER.



ÍNDICE DE ANEXOS

Capítulo 2: B

- Anexo 2.1.** SUB-PROGRAMA DE MONITOREO REGULAR: Estaciones de monitoreo entre marzo de 2015 y febrero de 2016 en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, incluyendo código, topónimo sectorización, transvector, institución requirente y coordenadas geográficas.
- Anexo 2.2.** SUB-PROGRAMA DE VIGILANCIA Y FISCALIZACIÓN: Estaciones de monitoreo entre febrero 2015 a enero de 2016 en las regiones de Los Lagos y Aysén, incluyendo código, topónimo, sectorización, transvector, institución requirente y coordenadas geográficas.
- Anexo 2.3.** SUB-PROGRAMA DE RAÚL MARÍN BALMACEDA: Estaciones de monitoreo entre febrero 2015 a enero 2016 en un sector de la región de Aysén, incluyendo código, topónimo, sectorización, transvector, institución requirente y coordenadas geográficas.
- Anexo 2.4.** Base de Datos 1 (en CD): Informe Final Programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas IX Etapa 2015 – 2016.
- Anexo 2.5.** Resúmenes presentados en la Conferencia Internacional de Algas Nocivas ICHA 17, Florianópolis – Brasil.

Capítulo 3: C

- Anexo 3.1.** Base de Datos 2 (en CD): Datos Informe final Programa Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, IX etapa 2015-16.

INFORME FINAL
Capítulo 1:A

Introducción General al Programa Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas.



INFORME FINAL:

Capítulo 1: A

Introducción General al Programa Manejo
y Monitoreos de las Mareas Rojas.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez
Óscar Espinoza González



RESUMEN EJECUTIVO

Este documento corresponde al informe final del estudio Programa Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes IX Etapa, 2015-16. Su objetivo general es disponer de un sistema oportuno de muestreo, detección y cuantificación periódico del Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM) y Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), además de las especies de microalgas nocivas fuentes primarias de las toxinas (*Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, respectivamente) adecuado a la realidad geográfica de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

El estudio es financiado, en su mayor parte, con aportes del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON) cubriendo todas las actividades, muestreos y análisis incluyendo la distribución de la información periódica; en cuanto al costo de análisis de toxinas en mariscos éste es solventado por el Ministerio de Salud (MINSAL), el cual es realizado a través de los laboratorios de las Secretarías Regionales de Salud ubicados en las ciudades de Puerto Montt, Aysén y Punta Arenas.

El estudio en esta etapa contempla siete objetivos específicos. Los antecedentes analizados abarcan desde mayo de 2006 hasta febrero de 2015, considerando antecedentes desde el estuario de Reloncaví en la región de Los Lagos hasta el canal Beagle en la región de Magallanes.

En este documento se presentan los resultados finales del estudio en su IX etapa, 2015-16, tal como se establece en los términos técnicos de referencia, vale decir los antecedentes considerados se incluyen hasta febrero de 2016. Sin embargo, dado a que el contrato establece para esta etapa establece que el análisis de la información debe incorporar antecedentes hasta febrero de 2016, dada la particularidad de la floración de *A. catenella* que abarcó todo el primer semestre, dado que comprometió sectores que nunca habían sido afectados por esta microalga, en esta oportunidad se entregan resultados y comentarios a esta floración, abarcando hasta mayo de 2016. Consecuentemente se incluyen los siguientes aspectos:

- a) Variaciones espacio temporales del Veneno Paralizante de los Mariscos, Veneno Diarreico de los Mariscos y Veneno Amnésico de los Mariscos en transvectores selectos en una red de estaciones que abarca desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes;
- b) Resultados de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la misma red de estaciones de muestreo;
- c) Resultados de la composición, abundancia y distribución espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones;



- d) Información hidrográfica y meteorológica recolectada en la misma red de estaciones;
- e) Aspectos oceanográficos recolectados durante otoño y primavera en un sector localizado de la región de Aysén;
- f) Modelamiento de la distribución y abundancia de *A. catenella* para sectores selectos de la región de Aysén; y
- g) Continuación del análisis de los datos generados en este estudio desde mayo 2006 hasta febrero de 2015, y que aborda aspectos del fitoplancton cualitativo y cuantitativo, taxones nocivos, toxicidad en mariscos centinela y aspectos hidrográficos y meteorológicos. Ésta es la continuación del trabajo iniciado en la etapa previa, en que se analizan los antecedentes generados por este estudio, de manera integral y profunda, abarcando un lapso de casi nueve años de trabajo sistemático de este programa.

En lo que se refiere a los primeros cuatro tópicos (letras a, b, c y d) sólo se incorporan los datos generados en esta etapa, con comentarios muy generales respecto de los resultados de las toxinas y abundancia relativa de los taxones nocivos, puesto que todos estos antecedentes serán analizados de manera integrada durante el trabajo a realizarse en la etapa XI (2017-18), continuando con la modalidad de análisis iniciada durante la etapa VIII (2014-15). Sin embargo, dadas las particularidades de la floración de *A. catenella*, iniciada durante enero de 2016 y que se prolongó hasta junio de 2016, y que afectó, la costa expuesta al océano Pacífico en las regiones de Los Lagos y de Los Ríos

En cuanto a la presentación de este informe final, a fin de facilitar su lectura y evitar confusiones derivadas de la inclusión de objetivos muy diversos, se ha dividido en cinco partes o capítulos:

- a) Primera parte: Introducción general al programa manejo y monitoreo de las mareas rojas, que incluye índice general, resumen ejecutivo, introducción, objetivos y referencias bibliográficas, además de figuras.
- b) Segunda parte: Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables hidrográficas y meteorológicas IX etapa (marzo 2015 - febrero 2016). Incluye los resultados no analizados del monitoreo realizado durante el lapso indicado. Se entregan objetivos específicos relativos a esta parte, metodología de los cuatro objetivos específicos, gestión del estudio y formato de la base de datos, una breve descripción de los registros de toxicidad y abundancia relativa del fitoplancton nocivo, con particular énfasis a la floración de *A. catenella* que afectó a las regiones de Los Lagos y Aysén durante el primer semestre de 2016, además de referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.
- c) Tercera parte: Correntometría e hidrografía entre Isla San Andrés y Playas Largas en la región de Aysén, en la boca del fiordo Puyuhuapi. Está referida al registro de variables



oceanográficas durante otoño y primavera en un sector selecto del área de estudio. Está ordenada en objetivo específico, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.

- d) Cuarta parte: La modelación de la dispersión de las microalgas nocivas en sectores singulares con evidencias recurrentes de veneno paralizante en mariscos y de *A. catenella* en la columna de agua se abordó considerando cinco aspectos, a) una revisión bibliográfica de las tasas ecofisiológicas para *A. catenella*; b) la generación de tasas ecofisiológicas poco estudiadas mediante bioensayos con distintas cepas de *A. catenella* (e.g. tasas de predación); c) el desarrollo de un modelo conceptual que considerelos factores y procesos que regulan los ingresos y egresos de individuos a una población de esta especie; y d) una modelación físico-biológica, lo cual implicó resolver mediante un modelo hidrodinámico, el patrón de corrientes en los sitios selectos de la zona de estudio (Puerto Barrientos -43°56'23"; -73°58'24", Isla San Andrés -44°55'57"; -73°19'28" y Playas Largas -45°15'00"; -73°41'44"), el cual estuvo condicionado por forzantes como la batimetría, mareas, temperatura y salinidad del agua, viento y presión atmosférica a nivel del mar y fuentes de agua dulce. Luego, el modelo biológico fue acoplado a esta modelación hidrodinámica, la que permitió modelar el crecimiento de *A. catenella* en función de la temperatura, salinidad, luz y nutrientes y su mortalidad o remoción de la columna de agua, mediada por variables como la predación, senescencia celular y sedimentación (enquistamiento). Este capítulo está ordenado en objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.
- e) Quinta parte: Resultados del programa manejo y monitoreo de las mareas rojas para el período mayo 2006 – febrero 2015. Se entregan los resultados, discusión y conclusiones del desarrollo del objetivo 7 de este estudio, y que se aborda entregando respuestas a siete interrogantes incorporadas en la propuesta técnica. Los antecedentes se han ordenado incluyendo introducción, objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.

Respecto del monitoreo se adjuntan los datos generados, además de entregar comentarios de la gestión ligada a los resultados más relevantes que ocurrieron durante el desarrollo del monitoreo, que en esta oportunidad incorporan los aspectos más sobresalientes de la floración de *A. catenella*, cuya duración se extendió más allá del límite temporal establecido en la propuesta técnica de este estudio (febrero 2016). El período considerado comprende desde marzo de 2015 hasta febrero 2016. Por contrato **no corresponde** analizar en esta instancia los antecedentes generados, pero se entrega un análisis general de los complejos tóxicos considerados y de los taxones nocivos monitoreados, además de los aspectos señalados precedentemente referidos a la floración de *A. catenella*.

El área de trabajo comprende tres regiones administrativas y se extiende desde Cochamó en la región de Los Lagos hasta Islas Mariotti en la región de Magallanes. El trabajo se realiza a través de



tres subprogramas: Subprograma Regular (SMR), Subprograma de Fiscalización y Vigilancia (SFV) y Subprograma de Raúl Marín Balmaceda (RMB). El área de estudio fue sectorizada según criterios geográficos, logísticos y de frecuencia de muestreo; en la región de Los Lagos se identifican los sectores de Chiloé norte, Chiloé centro y Chiloé sur, en la región de Aysén, Aysén norte, Aysén sur y Tortel y, en la región de Magallanes, Magallanes norte, Magallanes centro y Magallanes sur. El área geográfica, las actividades y las metodologías de trabajo en terreno y laboratorio son similares a aquellas consideradas desde el inicio del programa, en mayo de 2006, pero se han incorporado cambios en las frecuencias de muestreo desde la VII etapa 2013-14, a) cada 10 días, en el sector de Chiloé sur, que considera el sur del mar interior de Chiloé y área norte de Aysén (esto es, todo el sector al sur de isla Acui en la costa este de la Isla de Chiloé hasta la costa de la provincia de Palena hacia el sur, un sector de Melinka y estero Pitipalena), y b) en el resto de los sectores, la mayor parte del área de estudio, se consideran 11 anuales.

En total se realizaron 11 cruceros entre marzo de 2014 y febrero de 2015, en los sectores de baja frecuencia (muestreo cuasi mensual) en lo que corresponde al SMR, es decir en 8 de los sectores señalados, sólo se excluye Chiloé sur, sector en que la frecuencia de muestreo es cada 10 días, excluyendo el mes de agosto en que tiene una frecuencia menor; en este sector se realizaron un total de 31 cruceros y que corresponden a los subprogramas SFV y RMB.

La distribución de las estaciones de muestreo está en una red fija y dispuesta geográficamente de manera representativa y en relación a las particularidades de cada sector. Cada subprograma entrega resultados según la frecuencia requerida en cada caso, pero organizados bajo una administración común. Durante la etapa previa (VIII etapa) se inició la distribución de la información de la abundancia relativa de 8 taxones nocivos a través de una página web y acoplada al sistema de información geográfico del programa.

El SMR considera 185 estaciones distribuidas desde Los Lagos hasta Magallanes. Corresponden a estaciones ubicadas en sectores de extracción de recursos hidrobiológicos. La frecuencia de muestreo es cuasi mensual con un receso invernal de 45 días aproximadamente. En cada estación se realiza: toma de muestras de agua para estimaciones de abundancia relativa de los ocho taxones nocivos, análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, toma de muestras para vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores, toma de datos oceanográficos y meteorológicos. Las estaciones de este sub-programa se encuentran en las **Figuras 2.1-2.2 y Anexo 2.1.**

El SVF, considera una frecuencia de muestreo más alta en 17 estaciones ubicadas en el sector de Quellón, el área sur y sur-este de la Isla de Chiloé, Melinka en el área norte de la región de Aysén y un transecto en el Canal Moraleda y Golfo Corcovado, para disponer de mayor de información para la toma de decisiones por parte de la autoridad fiscalizadora en relación al transporte de especies hidrobiológicas mediante wellboats. El detalle de las estaciones y su ubicación se encuentra en el **Anexo 2.2** y en la **Figura 2.1**. La frecuencia de muestreo es aproximadamente cada 10 días, con una frecuencia menor en el período invernal. En cada estación se realizan las mismas actividades



señaladas para el subprograma regular, pero los transvectores son recogidos con una frecuencia mensual, exceptuando aquellos puntos de muestreos que por la topografía del lugar o por la disponibilidad de recursos impiden la recolección de mariscos.

El subprograma RMB, provee información de un área que no está incluida en el área plaga de *Alexandrium catenella*. Considera una frecuencia de muestreo similar al subprograma SFV, de hecho los sitios son muestreados en conjunto con los sitios del SFV. Los sitios de muestreo son 6 estaciones ubicadas en los sectores de Canal, Brazo del Pillán y frente a la desembocadura del río Palena, cuya ubicación se presenta en la **Figura 2.1** y **Anexo 2.3**. En cada estación se realizan las mismas actividades señaladas para el SVF.

El muestreo de transvectores para la detección de toxinas, se orienta hacia especies centinelas en cada región, 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. Los transvectores muestreados en cada estación se presentan en la **Tabla 2.1** y **Anexos 2.1.- 2.3.**, y se indica si el punto presenta restricciones para la extracción de estos recursos, ya sea por profundidad o por disponibilidad.

Las muestras de transvectores para determinar la toxicidad por VPM, VDM y VAM son entregadas a los laboratorios de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud de Los Lagos, Aysén y Magallanes. La metodología para la detección de VPM es el bioensayo ratón según norma A.O.A.C. 959.08 (1990) con determinación del Factor de Corrección (FC) y uso de saxitoxina estándar. Se estima periódicamente el FC para el período de estudio y para ratones CF-1 (Instituto de Salud Pública) entre 18-21 g. Los resultados son presentados en microgramos equivalentes de saxitoxina por 100 gramos de carne de molusco ($\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$). Para el veneno diarreico, se aplica la técnica modificada de Yasumoto *et al.* (1984), y los resultados son presentados en términos cualitativos según los tiempos de muerte de los ratones en un lapso inferior a 24 horas, entendiendo por resultado positivo la muerte, de al menos dos de tres ratones en este lapso. El veneno amnésico es estimado mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) según la metodología descrita por Quilliam *et al.* (1995). Los resultados se presentan en microgramos de ácido domoico por gramo de carne de marisco ($\mu\text{g g}^{-1}$). Los resultados se entregan por subprograma, estación, cruce y región administrativa, con las unidades correspondientes para los resultados cuantitativos, y positivo o negativo para los resultados cualitativos (caso del VDM).

El muestreo de fitoplancton se realiza en todas las estaciones de cada sub-programa para las tres regiones (en total 208 sitios de muestreo), cuya distribución se entrega en el siguiente cuadro:

Subprograma	Regular	Vigilancia y fiscalización	Raúl Marín Balmaceda	Total
LOS LAGOS	44	11	0	55
AYSEN	75	6	6	87
MAGALLANES	66	0	0	66
Total	185	17	6	208



La región de Aysén es aquella con mayor cantidad de sitios de muestreo, seguida por la región de Magallanes (incluyendo 5 sitios que sólo son muestreados en una oportunidad vinculados con el recurso ostión del sur) y finalmente la región de Los Lagos. Sin embargo, según la frecuencia de muestreo en cada sector, en esta última región, se analiza la mayor cantidad de muestras de fitoplancton (44,9%), pues se incluyen 6 sitios de Raúl Marín Balmaceda y 6 sitios de Melinka, ambos de la región de Aysén, pero muestreados desde Quellón, seguida por la región de Aysén (30,8%) y finalmente la región de Magallanes (25,3%). La posición de cada estación es georeferenciada mediante GPS.

El fitoplancton es recolectado 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 μ m. Las muestras son fijadas con formalina neutralizada al 2-3% y de cada punto se conforma una sola muestra (i.e. muestra integrada de seis arrastres). Los muestreos cuantitativos se realizan muestreando la columna de agua entre los 20 m de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de diámetro. La columna es fraccionada en dos estratos; un primer estrato de 10 m a superficie y el segundo de 20 a 10 m de profundidad (una muestra por estrato).

Para análisis cualitativo del fitoplancton se utilizan microscopios ópticos de campo luminoso, a 100x y 400x, dotados con condensador de contraste de fase y equipo de epi-fluorescencia. Se estima la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *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 2. Además se identifican a nivel específico todas las microalgas presentes, consignando hasta el nivel taxonómico más bajo posible en los casos en que no son identificadas a nivel de especie.

En el análisis cuantitativo del fitoplancton, las muestras son contabilizadas a nivel específico o hasta el nivel en que ello es posible, en cámaras de sedimentación, cuyo volumen es seleccionado de acuerdo a la concentración de la muestra (entre 10 y 50 ml). Para el recuento celular se utilizan microscopios invertidos complementados con equipo de contraste de fase, aplicando la técnica de Utermöhl (1958).

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⁻¹). Estos resultados se entregan por subprograma, región, estación y crucero.

En cada sitio de muestreo, también se realizan mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila (fluorescencia) y densidad de la columna de agua mediante sensores electrónicos (CTDO) hasta una profundidad máxima de 50 m o hasta la profundidad que permita la topografía del lugar. En todas las estaciones de muestreo se registran además las condiciones atmosféricas al efectuar el muestreo, se considera la temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y nubosidad. Además se disponer de registros de variables climáticas en tres estaciones



meteorológicas: Puerto Montt, Aysén y Puerto Zenteno, esta última en Magallanes. Las estaciones registran temperatura, humedad relativa del aire, radiación solar y velocidad y dirección del viento. Las mayores abundancias relativas para las especies nocivas se centraron principalmente en los meses de verano (enero 2016 a marzo 2016) en las regiones Los Lagos, mientras que, en las regiones de Aysén y Magallanes las mayores abundancias relativas se centraron en los meses de primavera-verano (octubre 2015 a marzo 2016).

En el periodo comprendido entre marzo de 2015 y febrero de 2016 la mayor concentración de VPM fue detectada en la región de Aysén durante enero de 2016 ($2096 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en cholga recolectada en seno Ventisquero 1), mientras que, en Magallanes la mayor concentración detectada para VPM fue de $834,5 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en cholga recolectada en paso Piloto Pardo, Magallanes norte, en el mes de febrero de 2016. Mientras que, en la región de los Lagos, la mayor concentración detectada de VPM fue de $40 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en almeja recolectada en canal Guamblad, Chiloé sur, durante el mes enero de 2016.

En cuanto a los resultados del bioensayo para veneno diarreico, la proporción más alta de resultados positivos fue registrada en la región de Aysén (58,7%), seguido por la región de Magallanes (51.5%) y el valor más bajo fue observado en la región de Los Lagos (18.2%), valores correspondientes al total de muestras analizadas por región.

Respecto del ácido domoico (veneno amnésico), sólo en las regiones de Aysén y Magallanes hubo un par de muestras positivas, y con valores por debajo de la norma de $20 \mu\text{g g}^{-1}$, con estimaciones de $12,5 \mu\text{g g}^{-1}$ en una cholga recolectada en Orlebar, Tortel en octubre de 2015 y $19,7 \mu\text{g g}^{-1}$ en una cholga recolectada en el estero Ringdove (M25N), Magallanes norte durante noviembre de 2015.

Se incluyen, los datos generados durante esta etapa.

Dentro de la sub carpeta 03SP. RMB está la información de las estaciones del subprograma Raúl Marín Balmaceda que incluye información de Abundancia Relativa, Fitoplancton Cualitativo, Fitoplancton Cuantitativo, Fechas de muestreo, Información Meteorológica, Información Oceanográfica, Toxinas y Disco Secchi, para los 31 cruceros.

También se realizaron mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua a través de anclajes de ADCP durante otoño con una duración de 30 días. En el Capítulo 3 de este documento se informan las mediciones oceanográficas efectuadas durante abril-mayo y noviembre-diciembre en el mar interior de Chiloé entre Isla San Andrés y Playas Largas (**Figura 3.1, Cuadro 3.1**). Asimismo se entregan los registros con CDTO en 6 estaciones a lo largo del sector en que fueron establecidos los ADCP.

En esta ocasión se incorporan además, los progresos realizados en el trabajo desarrollado respecto de dos objetivos que fueron incorporados durante la VIII etapa del programa de monitoreo, estos están referidos a) identificar patrones de corrientes asociados a movimiento de partículas



(microalgas) en sectores de interés dentro la macrozona de estudio y, b) Continuar con el análisis interpretativo iniciado en 2014 de la base de datos disponible desde mayo de 2006, segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables bióticas y abióticas disponibles. Para ello se ha utilizado la data oceanográfica histórica para los sectores de interés, junto con la recolectada con motivo de este programa en etapas anteriores, además de utilizar información de otros estudios con antecedentes suficientes para la identificación de patrones.

Finalmente se incluyen aspectos relativos a la gestión del proyecto respecto de solicitudes administrativas para el cumplimiento legal y normativo, licitaciones públicas y privadas para identificar los armadores que entregaron los servicios para la realización del proyecto, incremento de la dotación de analistas de fitoplancton, adquisiciones de material fungible, compra de equipamiento para un mejor desarrollo del estudio, capacitación del equipo de profesionales, reparación y mantención de equipos, y aspectos diversos sobre la ejecución del estudio.



1.1. INTRODUCCIÓN

En las últimas cinco décadas se ha apreciado, a escala mundial, un incremento aparente en la frecuencia, cobertura geográfica e intensidad de los fenómenos conocidos como mareas rojas y que técnicamente son denominadas Floraciones de Algas Nocivas (FANs) (sensu UNESCO, 1996). Chile no ha estado ajeno a la presencia de estos eventos, particularmente en su extremo sur austral. Pareciera que para la macro región que abarca desde Los Lagos hasta Magallanes, este incremento no es aparente y que corresponde a un cambio real.

Las FAN corresponden a una proliferación, en ambientes acuáticos, de algas microscópicas que pueden causar la muerte masiva de peces y una gran variedad de 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 que ocasionan 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 hábitat costeros y por ende, perturbaciones en los sistemas social y económico.

En general, las microalgas nocivas son calificadas como productoras de toxinas y productoras de altas biomásas. Pero los efectos nocivos pueden ocurrir también según la morfología (presencia de espinas, setas) produciendo heridas en branquias y/o determinando estrés en peces (e.g. Seguel *et al.*, 2010), haciendo que éstos sean más susceptibles a enfermedades y afectando principalmente a la acuicultura (e.g. Fuentes *et al.*, 2008).

Por otro lado, la mortandad en masa de microalgas productoras de floraciones, determina un incremento en el consumo de oxígeno de bacterias que biodegradan a las microalgas muertas, produciendo una reducción marcada del oxígeno disuelto y ocasionando la muerte por anoxia de otros organismos acuáticos (Reguera, 2002). Los efectos nocivos pueden surgir también por el olor o alergias causadas por ciertas floraciones sobre los residentes de sectores costeros o turistas provocando una reducción de la calidad de los bienes y servicios, ya sea para el esparcimiento o para actividades turísticas (Anderson, 2004).

Las toxinas en lo mariscos ocurren por la modalidad cómo éstos obtienen su alimento. Las microalgas tóxicas son críticas para los mariscos que se alimentan por filtración, conocidos como filtradores; en Chile es el caso por ejemplo, de ostras (*Ostrea chilensis*), choritos (*Mytilus chilensis*), cholgas (*Aulacomya atra*), choro zapato (*Choromytilus chorus*) ostiones (*Argopecten purpuratus*, *Chlamys vitrea*, *C. patagonica*), almejas (*Venus antiqua*), huego (*Ensis macha*), culengue (*Gari solida*), tumbao (*Semele solida*), pero también de moluscos carnívoros que reciben las toxinas a través de sus presas, como ocurre con especies de caracoles como el loco (*Concholepas concholepas*), caracol trophon (*Trophon geversianus*), caracol palo (*Argobuccinum argus*), caracol



piquihue (*Adelamelon ancilla*), caracol picuyo (*Odontocymbiola magellanica*), e incluso larvas de crustáceos y peces (Guzmán *et al.*, 2000a; Lembeye *et al.*, 1998).

Para los moluscos en general las microalgas tóxicas son aparentemente inofensivas, no así para quien consume los mariscos tóxicos, particularmente vertebrados superiores. Por tanto el Hombre al consumir mariscos tóxicos puede resultar intoxicado. Sin embargo, no todos los mariscos presentan la misma capacidad de acumulación de toxina, diferencia interespecífica que ha sido atribuida a una resistencia diferencial, que puede ser medida por la concentración de saxitoxina necesaria para bloquear la conducción del potencial de acción en pruebas in vitro (Bricelj y MacQuarrie, 2003), cuando se trata del veneno paralizante.

De las 5.000 especies de microalgas marinas reconocidas, unas 300 pueden ocasionalmente presentarse en cantidades elevadas (floraciones) descolorando la superficie del mar (Hallegraeff, 1995; Lindahl, 1998). Las FANs pueden estar asociadas a un cambio de color del agua, de allí su denominación de Mareas Rojas, ya que en ocasiones las microalgas causantes le otorgan al agua una coloración rojiza. La denominación es inexacta, pues hay floraciones con otras coloraciones, dependiendo del color de la microalga e incluso situaciones en que no ocurre cambio de color del agua. Los factores que dan origen a una FAN son poco comprendidos, complejos y diversos, incluyendo entre otros, una conjunción de aspectos biológicos, bioquímicos, hidrográficos, meteorológicos y geográficos. Sobre el particular se entregan diversas evidencias para sistemas de surgencias, ambientes de fiordos y bahías, sistemas eutrofizados, capa fina, entre otros, en GEOHAB (2001, 2003).

No obstante las diferencias en las intoxicaciones en humanos con los distintos tipos de toxinas, la inexistencia de antidotos para estas toxinas, la falta de tecnologías para controlar las floraciones en el ambiente o para eliminar las toxinas 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 (o vigilancia). En este contexto, se usa el concepto prevención como acepción ligada al desarrollo de capacidades para proteger a las personas y sus actividades sociales y económicas, la que está orientada a prevenir los efectos provocados por las FAN (Guzmán *et al.*, 2004). La finalidad de un programa de monitoreo es disponer de antecedentes confiables y oportunos que permitan adoptar medidas para proteger la salud pública y reducir los trastornos sobre las actividades productivas (i.e. pesca, acuicultura, turismo).

Los problemas crecientes que imponen las FAN y sus efectos son abordados tanto a través de acciones operacionales como por el desarrollo de investigación científica. Las primeras fortalecen la prevención, para proteger la salud pública y disminuir los trastornos en los sectores productivos o los efectos ambientales por la ampliación de la distribución geográfica de microalgas nocivas, en tanto que las segundas permiten mejorar el nivel de conocimiento y comprensión de estos fenómenos. Entre las acciones operacionales se incluyen los monitoreos, y otras actividades orientadas a



fortalecer la prevención según la acepción de Guzmán *et al.* (2004) (i.e. capacitación, difusión y educación), que apuntan a entregar información, capacitar y educar a grupos selectos y la comunidad en general, en torno a los aspectos claves de estos fenómenos naturales y orientados hacia el desarrollo de habilidades específicas según la profesión, oficio o función de las personas y al desarrollo de conductas responsables de la comunidad en general, en función de las medidas que debe adoptar la autoridad en áreas que son afectadas por floraciones y/o brotes tóxicos.

En general la inexistencia de antídotos para las toxinas que producen algunas microalgas, la falta de tecnologías para controlar las floraciones en el ambiente o para eliminar las toxinas 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 macro zona sur austral del país, que incluye las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, durante varios años ha sido afectada por floraciones de algas nocivas asociadas a diversas toxinas marinas afectando la salud pública y las actividades económicas y sociales, particularmente aquellas ligadas a la pesca, acuicultura y al turismo. Recientemente se ha apreciado además la detección de otros complejos tóxicos como azaspirácidos en la región de Los Lagos y espirólidos en la región de Magallanes (datos no publicados), lo cual obliga a fortalecer las competencias y las acciones ligadas a este tipo de fenómeno.

En Chile, la preocupación en torno a las floraciones de algas nocivas ha estado centrada en proteger la salud pública, y consecuentemente minimizar los impactos sobre las actividades productivas. Además, para los temas de pesca y acuicultura, el Reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas (Decreto Supremo N° 345 de 2005 y sus modificaciones D.S. N° 239 de 2010, del Ministerio de Economía), que entró en vigencia el 17 de diciembre de 2007, le otorga a la autoridad atribuciones para adoptar medidas frente a determinados eventos que son calificados como plagas. Se entiende por plaga hidrobiológica o plaga, la población de una especie hidrobiológica que por su abundancia o densidad puede causar efectos negativos en la salud humana, en las especies hidrobiológicas o en el medio, originando detrimento de las actividades pesqueras extractivas o de la acuicultura y pérdidas económicas. Consecuentemente la autoridad pesquera debe regular las actividades y medidas destinadas a prevenir, controlar y propender a la erradicación de organismos que constituyen o pueden llegar a constituir plagas hidrobiológicas.

La entrada en vigencia del reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas y sus modificaciones, entrega a la autoridad 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 y modificada en el 2012 por R. Ex. N°2826, que desde el año 2006 en el país se mantiene un programa de Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, el cual ejecuta el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), si bien existen coordinaciones con la Secretaría Regional Ministerial de Salud de cada una de las tres regiones administrativas que considera este estudio, en lo que se refiere al



análisis de las muestras de mariscos para evaluar la presencia y cantidad de tres complejos de toxinas marinas. Este monitoreo provee la información para la toma de decisiones de la autoridad, además de alimentar una base de datos con antecedentes sobre la dinámica de la distribución y abundancia de las principales especies de microalgas nocivas que se encuentran en las citadas regiones. Por este motivo es menester contar con un registro continuo de las variables citadas a fin de analizar desde una perspectiva temporal estos fenómenos.

La finalidad de un programa de monitoreo, es disponer de antecedentes confiables y oportunos para adoptar medidas para proteger la salud pública y reducir los trastornos sobre las actividades productivas (i.e. pesca, acuicultura, turismo). En este contexto, el concepto prevención está ligado al desarrollo de capacidades para proteger a las personas y sus actividades sociales y económicas, lo cual está orientado a prevenir los efectos provocados por las FAN (Guzmán *et al.*, 2004), a diferencia de la acepción que califica prevención como las acciones para impedir que ocurran las FANs o que impacten directamente algún recurso (sensu Anderson, 2004).

Un programa de monitoreo es una actividad sistemática en el espacio y tiempo, orientado a contar con información que permita conocer las tendencias naturales de determinadas variables que pueden ser utilizadas como indicadores de cambio ambiental y eventualmente indicadores de riesgo para la salud pública y las actividades productivas (Guzmán *et al.*, 2010; datos no publicados), con la finalidad que la autoridad pueda adoptar medidas para proteger la salud pública y/o cautelar aspectos ambientales, como es el minimizar los riesgos de trasladar la forma vegetativa o los quistes de *A. catenella* desde un área declarada plaga FAN a otra que no esté considerada como tal.

Para el caso particular del fitoplancton nocivo y toxinas marinas, un programa de monitoreo constituye un conjunto de acciones orientadas a conocer las variaciones naturales de la concentración de toxina(s) en organismos centinelas (vectores) y/o abundancia de las microalgas nocivas, a través de la obtención de información sistemática en el espacio y en el tiempo, con la finalidad de disponer de una alerta temprana. Según las necesidades y medios disponibles se pueden incluir además, registros de otras variables biológicas, además de variables físicas y químicas.

Las frecuentes y variadas proliferaciones de microalgas nocivas y brotes tóxicos en mariscos en las regiones más meridionales del país, han hecho indispensable contar con un sistema de detección confiable y oportuno, tanto de las microalgas nocivas como de las toxinas involucradas, además de información ambiental, a fin de disponer de una alerta temprana para usuarios relacionados con la extracción de mariscos filtradores y carnívoros, como también para aquellos mariscos de cultivo.

Todo ello tiene relevancia desde el punto de vista de la salud pública. Pero, es muy importante también disponer de información acerca de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella* dado que se ha definido como especie plaga FAN (Floraciones de Algas Nocivas), y por lo mismo, en determinados sectores es clave disponer de información para administrar la navegación de embarcaciones “wellboats”, dada la potencialidad de trasladar la forma vegetativa y/o los quistes de



esta microalga desde sectores de definidos como área plaga hacia aquellos que no han sido declarados como tal.

El programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, es una actividad de carácter permanente, desarrolladaa través de etapas anuales. Durante el año 2015 y hasta febrero de 2016 se ejecutó la IX etapa 2015-16 deeste programa. Al igual que en la etapa previa, se contempló un muestreo diferenciado en Subprogramas en relación a las necesidades según las áreas geográficas consideradas, sus complejidades y los aspectos que allí se desea cautelar, adaptando en consecuencia, las frecuencias de muestreo y distribución de las estaciones de acuerdo a las características de cada sector. Bajo este criterio el estudio se ha estructurado en 3 subprogramas: a) Monitoreo Regular; b) Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización; y c) Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda. El detalle y características de cada subprograma se entregan en detalle en la metodología por objetivo. El programa es financiado por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo y en menor grado por el Ministerio de Salud, en lo que se refiere al análisis de toxinas en mariscos.

Además, en esta etapa se continúa con el análisis de la información oceanográfica ligada a la distribución y abundancia del fitoplancton total y del fitoplancton nocivo, particularmente ligado a las configuraciones espacio temporales definidas, junto con la mantención del registro de variables oceanográficas en áreas de interés para el modelamiento de la distribución y abundancia de *A. catenella*, y para mantener la generación de datos que sirvan de insumo para mejorar el conocimiento de los procesos de circulación en fiordos y canales, además de realizar un análisis de las variables claves que regulan la distribución y abundancia de esta microalga. Se ha definido un modelo conceptual y se han establecido las bases para modelar la distribución y abundancia de *A. catenella* en sectores de interés. Asimismo, se continúa con el análisis integrado de los datos generados por el programa desde mayo de 2006, profundizando los progresos logrados durante 2014 y que se entregan en el informe final de la VIII etapa, aunque en esta oportunidad se ha privilegiado el análisis de la información fitoplanctónica expresada como biomasa en contraste con lo realizado previamente, en que los antecedentes analizados sólo como abundancia numérica. Ello ha permitido también apreciar la persistencia de los grupos de especies dominantes y que caracterizan los ensambles de especies de las distintas configuraciones espacio temporales definidas.

Dada la peculiar floración de *A. catenella* ocurrida durante el primer semestre de 2016 asociada a mariscos tóxicos en variados sectores geográficos, que afectó a las regiones de Aysén y Los Lagos, particularmente a esta última región, no obstante que por contrato el análisis de la información debería haber sido suspendido en febrero de 2016, en este documento se entregan antecedentes y un análisis de la dinámica de esta floración y particularidades asociadas a su ocurrencia, dado que se trató de una floración distinta a las observadas en los fiordos de Chile desde los inicios de la década de los setenta en el siglo pasado. Este análisis se extiende en lo que se refiere a esta floración hasta el mes de mayo de 2016.



En el informe final se abordan los siete objetivos específicos del estudio, además de incluir de manera adicional, el análisis de la información ligada a la floración de *A. catenella* que afectó a la región de Los Lagos, evento que produjo un marcado impacto económico y social. Consecuentemente se incluyen los siguientes aspectos:

- a) Variaciones espacio temporales del Veneno Paralizante de los Mariscos, Veneno Diarreico de los Mariscos y Veneno Amnésico de los Mariscos en transvectores selectos en una red de estaciones que abarca desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes;
- b) Resultados de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la misma red de estaciones de muestreo;
- c) Resultados de la composición, abundancia y distribución espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones;
- d) Información hidrográfica y meteorológica recolectada en la misma red de estaciones;
- e) Datos oceanográficos recolectados durante otoño y primavera en un sector localizado de la región de Los Lagos;
- f) Presentación de los progresos alcanzados en la modelación de la distribución y abundancia de *A. catenella* en sectores selectos de la región de Aysén; y
- g) Continuación del análisis de los datos generados en este estudio desde mayo 2006 hasta febrero de 2015, y que aborda aspectos del fitoplancton cualitativo y cuantitativo, taxones nocivos, toxicidad en mariscos centinela y aspectos hidrográficos y meteorológicos.
- h) En esta oportunidad se incluye de manera excepcional información hasta junio de 2016, ligada a la floración de *A. catenella* ocurrida en la región de Los Lagos y que afectó hasta el litoral de la región de Los Ríos.

En lo que se refiere a los primeros cuatro tópicos (letras a, b, c y d) sólo se incorporan los datos generados, antecedentes que serán analizados de manera integrada en el informe final de la etapa X, 2016-17, continuando el análisis iniciado durante 2014-15, sin perjuicio de la inclusión del análisis preliminar de la floración de *A. catenella* ocurrida en 2016 y que afectó a las regiones de Aysén, Los Lagos y Los Ríos.

En cuanto a la presentación de informe final, esta se ha dividido en cinco partes o capítulos, a fin de facilitar la lectura y evitar confusiones derivadas de objetivos muy diversos:



- a) Primera parte: Resumen ejecutivo, introducción, objetivos e índice general, referencias bibliográficas. Se incluyen figuras.
- b) Segunda parte: Incluye los resultados del monitoreo efectuado durante marzo 2015 - febrero 2016 y corresponde a la entrega de los datos generados durante ese lapso. Se entregan objetivos específicos, metodología referida a estos objetivos, gestión del estudio y formato de cómo se entregan los datos, se incluye una muy breve descripción de los registros de toxicidad y abundancia relativa del fitoplancton nocivo, pero con un énfasis especial a la floración de *A. catenella* 2016 y que se extendió más allá de febrero 2016 (lapso que establece el límite contractual de esta etapa), además se incorporan las referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.
- c) Tercera parte: Está referida al registro de variables oceanográficas en un sector selecto del área de estudio, durante otoño y primavera. Está ordenada en objetivo específico, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.
- d) Cuarta parte: Considera una presentación de los resultados logrados de la modelación de la distribución y abundancia de *A. catenella*, orientada a lograr una comprensión de la distribución y abundancia de este taxón. El énfasis de este capítulo está orientado hacia la comprensión de la distribución y abundancia de *A. catenella*, en función de la modelación de procesos hidrodinámicos acoplados a un modelo biológico que incorpora tasas experimentales de crecimiento y de predación, sin perjuicio del uso de datos obtenidos de la literatura. Este capítulo está ordenado en objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras y tablas.
- e) Quinta parte: En ésta se entregan todos los resultados, discusión y conclusiones del desarrollo del objetivo 7. Se complementan los resultados entregados en la etapa previa y se incluye un primer análisis de los datos obtenidos en los subprogramas de Fiscalización y Vigilancia y de Raúl Marín Balmaceda, usando la frecuencia de muestreo definida para estos subprogramas (cada 10 días). Los antecedentes se han ordenado incluyendo objetivo, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias bibliográficas. Se incluyen figuras, tablas y anexos.

La numeración de las figuras, tablas y anexos es correlativa, pero dentro de cada capítulo, siendo precedida por la respectiva identificación de cada capítulo (e.g. Figura 1.1= capítulo 1 figura 1; Tabla 2.1= capítulo 2 tabla 1; Anexo 5.3= capítulo 5 anexo 3).



1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Disponer de un sistema oportuno de muestreo, detección y cuantificación periódico del Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM) y Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), además de las especies de microalgas nocivas fuentes primarias de las toxinas (*Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, respectivamente) adecuado a la realidad geográfica de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

1.2.2. Objetivos específicos

- a. Vigilar las variaciones espacio temporales del VPM, VDM y VAM en transvectores selectos en una red de estaciones que cubra representativamente los sectores que comprenden los subprogramas de Monitoreo Regular, Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización, y Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda.
- b. Conocer la abundancia y distribución temporal de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la red de estaciones de monitoreo antes citada.
- c. Conocer la abundancia, composición y distribución espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones del estudio.
- d. Recolectar información hidrográfica y meteorológica en las estaciones de monitoreo de las regiones.
- e. Registrar parámetros oceanográficos (corrientes) en sectores de interés dentro del área de estudio.
- f. Identificar patrones de corrientes asociados a movimiento de partículas (microalgas) en sectores de interés dentro la macro zona de estudio.
- g. Identificar patrones de distribución espacio temporal dentro del área de estudio para las distintas especies fitoplanctónicas nocivas relacionadas con los registros meteorológicos e hidrográficos registrados por el programa a partir de su base de datos histórica.



1.3. GESTIÓN DEL PROYECTO

Desde la toma de razón el 4/03/2015 por parte del Contralor General de la República del convenio de desempeño entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de menor tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero aprobado por medio del Decreto N° 16, de fecha 23 de enero de 2015, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en la gestión del proyecto se abordaron ocho tópicos de relevancia para la ejecución de las acciones comprometidas en los términos técnicos de referencia.

- a) Solicitud dirigida al Servicio Hidrográfico de la Armada en cumplimiento del Decreto Supremo N° 711 del 22 de agosto de 1974 relativo al “Reglamento de Control de las Investigaciones Científicas y Tecnológicas Marinas afectadas en la Zona Marina de Jurisdicción Nacional”. La autorización fue aprobada el 31 de marzo de 2015 mediante documento SHOA ORDINARIO N° 13270/24/227.
- b) Suscripción de contratos con armadores de embarcaciones menores para la toma de muestras y registro de información en las áreas de estudio. Para efectos de monitoreo el área de estudio fue dividida en 9 sectores denominados; Estuario Reloncaví, Chiloé central, Chiloé sur, Aysén norte, Aysén sur, Tortel, Magallanes norte, Magallanes centro y Magallanes sur. Adicionalmente, para efecto de estudios oceanográficos fue considerado la instalación de dos ADCP, uno en el sector Playas largas y el otro en Isla San Andrés, ambas localidades ubicadas en la región de Aysén, efectuado durante el otoño de 2015. La selección de las embarcaciones dependiendo de los costos referenciales de cada lugar se realizó mediante licitación pública en los sectores Chiloé central, Chiloé sur, Aysén norte, Magallanes centro y Magallanes sur, licitación privada en los sectores Aysén sur y Magallanes sur, mientras en los sectores de Estuario Reloncaví, Tortel y sector Playas largas e isla San Andrés se realizó mediante cotizaciones. La definición y confección de los contratos con los Armadores se realizó en febrero de 2015.
- c) Modificaciones del personal asociado al proyecto:

Incremento en la dotación de personal:

Se ha fortalecido la dotación de personal encargado del desarrollo del proyecto, incorporándose con media jornada laboral al oceanógrafo Valentina Besoin para desarrollar las actividades de modelación vinculado a la dispersión del fitoplancton en las áreas de interés.

- Debido a la renuncia voluntaria del funcionario Hector Tardón (Biólogo Marino) quien cumplía funciones como analista de fitoplancton dentro del proyecto, se incorporó al equipo de trabajo



la Srta. Carla Mellado en las funciones que realizaba el Sr. Tardón. La fecha de ingreso de la Srta. Mellado fue el 16 de febrero de 2015.

Modificación del personal asociado al proyecto:

- En Magallanes debido a una licencia médica de pre y postnatal presentada por la Sra. Carolina Toro (Biólogo Marino) quien se desempeña como analista de fitoplancton se ha realizado una contratación temporal de la Srta. Alejandra Sánchez (Biólogo Marino) para abordar las tareas que realizaba la Sra. Toro. Fecha de ingreso de la Srta. Sanchez fue el 12 de agosto de 2015.
- d) Adquisición de artículos fungibles. Durante los dos primeros meses de proyecto se gestionaron las adquisiciones de material fungible relacionado con mallas, frascos, cajas y reactivos químicos relacionados con la recolección, conservación y almacenamiento de las muestras. Además de la ropa de trabajo, particularmente de terreno.
- e) Ejecución del proyecto.

Monitoreos: Entre el 6 y 25 de marzo de 2015 se dio inicio al crucero 1 de los nueve sectores considerados en el proyecto (Estuario y seno Reloncaví, Chiloé centro, Chiloé sur, Aysén norte, Aysén sur, Tortel, Magallanes norte, Magallanes centro y Magallanes sur). La recalada del último crucero (11 subprograma regular y 31 Subprograma de fiscalización y vigilancia y subprograma de Raúl Marín Balmaceda) para los nueve sectores considerados ocurrió entre el 9 de febrero y 1 de marzo de 2015. Se realizaron todos los cruceros comprometidos en los términos técnicos de referencia del proyecto.

Campañas correntometría e hidrografía: Se realizaron mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua durante dos periodos del año, el primero durante el invierno (29-30 de mayo al 10 de julio de 2015) y el segundo durante la primavera (24 de septiembre al 14 de diciembre de 2015); para ambas campañas se anclaron dos ADCP RDI de 300 kHz; uno en Playas Largas cercano a la constricción de Meninea y otro en isla San Andrés ubicada en canal Puyuhuapi. Además, para cada una de los periodos de muestreo, se obtuvieron registros hidrográficos de la columna de agua, en una transecta de 6 estaciones entre las localidades de Playas Largas e Isla San Andrés, las variables consideradas correspondieron a: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, también se incluyó la fluorescencia. Para esto se utilizó un CTD-O marca seabird modelo 19 plus V2.

Campaña Modelación: Con la finalidad de incorporar datos a la modelación física-biológica de *Alexandrium catenella*, durante este crucero se obtuvieron muestras a profundidades discretas para el análisis de abundancia celular del fitoplancton (*A. catenella*), clorofila_a y nutrientes; muestras de red para fitoplancton cuantitativo y zooplancton; además se registraron datos meteorológicos, irradiancia, extinción de luz en la columna de agua y lances



de CTD-O. Este crucero se llevó a cabo entre el 25 de febrero y 01 de marzo de 2016 y el área de estudio correspondió a 5 estaciones en el fiordo de Puyuhuapi ubicadas en un transecto paralelo al fiordo. En la cabeza del fiordo se muestreo en Seno Ventisquero2 (A19N2a, -44°27'29"S; -72°35'57"O); en la intersección entre el canal Jacaf y el fiordo Puyuhuapi se muestreo en la estación Punta Apablaza (A16N1a, -44°31'05"S; -72°40'54"O); en las cercanías del río Cisnes se muestreo en la estación ubicada en el Seno Magdalena (A19a, -44°40'34"S; -72°47'17"O); a mitad del fiordo se muestreo en la estación de Faro Marta – Canal Puyuhuapi (A20a, -44°49'30"S; -72°58'10"O) y finalmente, en la zona de la boca del fiordo se muestreo la estación ubicada en la Isla San Andrés (A22a, -44°55'57"S; -73°19'28"O).

Muestreo de emergencia: Como consecuencia de la detección de *A. catenella* en muestras de agua con niveles de abundancia relativa en nivel 8 durante monitoreo regular efectuado el 13 de abril en el sector de Chayahue y confirmado los valores en muestreo complementario el día 15 de abril, se desplegaron muestreos complementarios por la costa oeste de la provincia de Chiloé, Llanquihue y Osorno en la región de Los Lagos y litoral de la región de Los Ríos (muestreo 1 entre 18-22 de abril, muestreo 2 entre 2-6 de mayo y muestreo 3 entre 13-18 mayo). Adicionalmente, entre el 17 y 22 de mayo se realizó un muestreo complementario entre la costa y 10 millas en dirección oeste en la cuadra de Mehuín (norte de Valdivia), Bahía Mansa (Osorno), Carelmapu (Mauñín) y Cucao (Castro).

- f) Fortalecimiento de las competencias ligadas a las capacidades técnicas de los profesionales asociados al estudio.

Fecha: 1 abril de 2015

Nombre curso: Workshop Internacional "Fitoplancton tóxico y toxinas marinas: una mirada interdisciplinaria"

Encargado del evento: Universidad de Concepción.

Lugar: Concepción, Chile

Participante: Gastón Vidal

Fecha: abril a junio de 2015

Nombre curso: Ejercicio de intercomparación para análisis de fitoplancton nocivo.

Organizadores del taller: Marine Institute Bequalm-IOC.

Lugar: Bajo la modalidad de envío de muestras a nuestros laboratorios

Participante: Ximena Vivanco, Loreto Lopez, Carla Mellado, Gissela Labra, María José Calderón, Luis Iriarte, Verónica Muñoz, María Cornejo, Hernán Pacheco y Cesar Alarcón.

Fecha: 28 de agosto de 2015

Nombre curso: Curso R nivel básico.

Encargado del curso: Universidad Santo Tomás.

Lugar: Puerto Montt, Chile.

Participante: Carla Mellado y Gissela Labra.



g) Participación en reuniones nacionales e internacionales.

- Durante el lapso que se informa, se han desarrollado numerosas conferencias dirigidas a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), gobiernos de las regiones de Los Ríos, Aysén, de Magallanes y Antártica Chilena, reuniones en el Senado (comisión Medio Ambiente) y Cámara de Diputados, además de presentaciones en el propio Instituto de Fomento Pesquero, ligadas al tema de floraciones de algas nocivas. Asimismo se dictó una conferencia en el Comité Oceanográfico Nacional. Estas actividades han estado a cargo de Dra. Gemita Pizarro, Sra. Ximena Vivanco, Dr. Oscar Espinoza y Dr. Leonardo Guzmán, entregadas en las ciudades de Valparaíso, Puerto Aysén, Punta Arenas, Puerto Varas y Concepción.
- Además se han respondido consultas para la Brigada de Delitos Ambientales de la Policía de Investigaciones, tanto de Valdivia como de Aysén. Se ha participado también en reuniones de trabajo en la localidad de Puerto Williams, Punta Arenas, Porvenir y Puerto Natales.
- Incluso se debió recibir a un grupo de consejeros del Consejo Regional de Magallanes y Antártica Chilena, para intercambiar opiniones y experiencia ligadas al tema de floraciones de algas nocivas y particularmente referidas al trabajo que ejecuta el IFOP en este tema en la región de Magallanes y cuáles son sus vinculaciones con las regiones de Aysén y Los Lagos.
- Dos integrantes del grupo de trabajo del IFOP fueron seleccionados para integrar el grupo de trabajo de la Agencia Chilena para la Inocuidad Alimentaria (ACHIPIA), Dres. Oscar Espinoza y Leonardo Guzmán.
- Como también se ha respondido a varias solicitudes requeridas a través de Ley de Transparencia ligadas con el mismo tema. Todas estas conferencias y actividades relacionadas estuvieron motivadas por la floración de *Alexandrium catenella* ocurrida durante el primer semestre de 2016 y que provocó un enorme impacto social y económico sobre las comunidades de la región de Los Lagos. Ligado a estas circunstancias se debió participar en numerosas reuniones de planificación, entrega de resultados y apreciaciones, además de desarrollar trabajo de terreno de emergencia ligado a esta circunstancia.
- En el ámbito de reuniones internacionales, Leonardo Guzmán participó durante los días 28 y 30 de abril de 2016 de la reunión del Panel intergubernamental (21 países) sobre Floraciones de Algas Nocivas (IPHAB) en la ciudad de París, Francia.
- En el ámbito de congresos internacionales, durante los días 10-14 de octubre de 2016 se presentaron 13 trabajos en la 17 Conferencia Internacional sobre Algas Nocivas (ICHA, Florianópolis-Brasil), el evento más importante sobre este tema a nivel global, 2 de ellos presentados en modalidad oral y 11 en formato posters. Es la oportunidad que el grupo de trabajo de IFOP realiza la mayor contribución al conocimiento de este tema a este evento internacional (**Anexo 2.4**).



- h) Envío de información periódica relacionada con abundancias relativas de fitoplancton nocivo. Después de realizado cada crucero se envía a SUBPESCA, SERNAPESCA y MINSAL y SEREMIs de Salud de Los Lagos, Aysén y Magallanes, la información relacionada con las abundancias relativas del fitoplancton nocivo en cada uno de los cruceros en un periodo no superior a 5 días hábiles después de finalizado el crucero, para cada uno de los sitios de muestreo, independientemente de la frecuencia de muestreo.



1.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, D. M. 2004. Prevention, Control and Mitigation of Harmful Algal Blooms: Multiple Approaches to HAB Management. In: Harmful Algae Management and Mitigation. Hall, S., Etheridge, S., Anderson, D., Kleindinst, J., Zhu, M and Zou, Y. (Eds). Asia-Pacific Economic Cooperation (Singapore): APEC Publication #204-MR-04.2, pp. 123-130.
- 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.
- Bricelj, M., & S.P. MacQuarrie. 2003. Intrinsic factors influencing the accumulation of PSP toxins in bivalve molluscs. In: Molluscan Shellfish Safety. A. Villalba, B, Reguera, J.L. Romalde & R. Beiras (Eds.), pp.121-126.
- Fuentes, C., A. Clement & A. Aguilera. 2008. Summer *Alexandrium catenella* bloom and the impact on fish farming in the XI Aysén region, Chile. Moestrup, O. *et al.* (eds). Proceeding of the International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae and Intergovernmental Oceanographic Commission UNESCO. Copenhagen 183-186.
- GEOHAB, 2001. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan. P. Gilbert and G. Pitcher (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 86 pp.
- GEOHAB, 2003. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Implementation Plan. P. Gentien, G. Pitcher, A. Cembella, P. Gilbert (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 36 pp.
- Guzmán, L., J.C. Uribe, G., Pizarro, B. Suárez, A. López, C. Alarcón & R. Igor. 2000a. Seguimiento de la Toxicidad en Recursos Pesqueros de Importancia Comercial en la XII Región FIP 97-48. Informe Final. Fondo de Investigación Pesquera. 123 pp. + figuras + tablas + fotografías y anexos.
- Guzmán, L., García, F., Zunino, S., Atalah, A., Almonacid, E., Rivera, R., Pacheco, H., Quiroz, S., Alarcón, C., Banciella, M.I. & Pizarro, G. 2004. Adaptive training and information dissemination strategy to communities affected by PSP outbreaks in Southern Chile. In: Harmful Algae Management and Mitigation, 2004. Hall, S., Etheridge, S., Anderson, D., Kleindinst, J., Zhu, M and Zou, Y. (Eds). Asia-Pacific Economic Cooperation (Singapore): APEC Publication #204-MR-04.2 p. 114 – 120.



- Guzmán, L., G. Vidal, X. Vivanco, V. Arenas, L. Iriarte, S. Mercado, C. Alarcón, H. Pacheco, M. Palma, C. Espinoza, P. Mejías, E. Fernández-Niño, J. Monsalve, G. Pizarro, P. Hinojosa y C. Zamora. 2010. Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Informe Final. 193p. + Figuras + Tablas + Anexos. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción-Subsecretaría de Pesca.
- Hallegraeff, G.M 1995. Harmful algal blooms: A global overview. In Manual on Harmful Marine Microalgae (Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M. & A.D. Cembella Eds.). IOC Manual and Guides N° 33. UNESCO 1995. pp. 1-22.
- Lembeye, G., N. Marcos, A. Sfeir, C. Molinet, F. Jara, C. Clément & X. Rojas. 1998. Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la X y XI región. Informe final. Universidad Austral. Fondo de Investigación Pesquera. 86 pp. + figuras + anexos.
- Lindahl, O. 1998. Occurrence and Monitoring of harmful algae in the marine environment. In: Miraglia, M., Van Egmond, H., Brera, C. & J. Gilbert, (eds.) 1998. Mycotoxins and phycotoxins – developments in chemistry, toxicology and food safety. Proceedings of the IX International IUPAC Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins. Fort Collins, Colorado, Alaken Press, pp. 409-423.
- Reguera, B., 2002. Establecimiento de un Programa de Seguimiento de Microalgas Tóxicas. En Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur América. Eugenia A. Sar., Martha E. Ferrario y Beatriz Reguera (Eds.). Instituto Español de Oceanografía. pp. 21-54.
- Seguel, M., A. Sfeir & V. Albornoz. 2010. Floraciones de microalgas tóxicas en la región de Aysén y su relación con larvas de peces. Ciencia y Tecnología de Mar, 33 (1), 31-42
- UNESCO. 1996. Design and Implementation of Some Harmful Algal Monitoring Systems. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) 44:1-102.

INFORME FINAL
Capítulo 2: B

Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables hidrográficas y meteorológicas, IX etapa (marzo de 2015 a febrero de 2016).



INFORME FINAL:

Capítulo 2: B

Monitoreo del micro-fitoplancton y toxinas marinas, incluyendo variables hidrográficas y meteorológicas, IX etapa (marzo de 2015 a febrero de 2016)

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez
Gastón Vidal Santana
Ximena Vivanco Tapia
Luis Iriarte Bustamante
Susana Mercado Leal
Hernán Pacheco Valle
César Alarcón Zapata
Gissela Labra Holzapfel
Loreto López Rivera
María Calderón Nash
Verónica Muñoz Ojeda
Carla Mellado Zambrano
María Fernanda Comejo Acevedo
Carolina Toro Ruiz
Mauricio Palma Alarcón
Javier Monsalve Montecinos
Christian Espinoza Alvarado
Óscar Espinoza González
Gemita Pizarro Nova
Rodrigo Martínez González
Pamela Carbonell Arias

COLABORADORES

Javier Barrientos Gómez
Claudia Zamora Amstein
Roberto Raimapo Raimapo
Adán Navarro Vera
Pedro Calabrano Miranda
Raúl Hernández Torres
Jorge Toro Mancilla



2.1. OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo general

Disponer de un sistema oportuno de muestreo, detección y cuantificación periódico del Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM) y Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), además de las especies de microalgas nocivas fuentes primarias de las toxinas (*Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, respectivamente) adecuado a la realidad geográfica de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

2.1.2 Objetivos específicos

- a. Vigilar las variaciones espacio temporales del VPM, VDM y VAM en transvectores selectos en una red de estaciones que cubra representativamente los sectores que comprenden los subprogramas de Monitoreo Regular, Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización, y Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda.
- b. Conocer la abundancia y distribución temporal de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la red de estaciones de monitoreo antes citada.
- c. Conocer la abundancia, composición y distribución espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones del estudio.
- d. Recolectar información hidrográfica y meteorológica en las estaciones de monitoreo de las 3 regiones.



2.2. METODOLOGÍA

Durante esta IX etapa (2015-16), el área geográfica y las actividades consideradas son las mismas que aquellas abordadas desde el inicio del programa en mayo de 2006, pero desde la etapa VII (2013-14) existe una mayor cantidad de sitios de muestreo (208) en comparación con aquellos existentes en la etapa I (147), y además se han incorporado desde esa etapa, cambios en la frecuencia de muestreo, a) cada 10 días, en el sur del mar interior de Chiloé y parte del área norte de Aysén (un sector de Melinka y Estero Pitipalena (Raúl Marín Balmaceda) incluyendo también el Golfo de Corcovado), y b) en el resto de los sectores, de 10 cruceros se incrementó a un total de 11 cruceros anuales (la mayor parte del área de estudio, en total 8 sectores). También ligado a estos cambios las actividades se organizaron en tres subprogramas: Subprograma Monitoreo Regular (SMR), Subprograma de Fiscalización y Vigilancia (SVF) y Subprograma de Raúl Marín Balmaceda (RMB). Esta etapa del estudio se extiende, en su fase de terreno, desde marzo 2015 hasta febrero 2016, lo cual representa para los sectores con muestreo de baja frecuencia un total de 11 cruceros en ese lapso y para los sectores de alta frecuencia, 31 cruceros.

El área de monitoreo se dividió en 9 sectores, usando distintos puertos de zarpe. Estos sectores son los siguientes (**Figuras. 2.1. - 2.2.**):

- Región de Los Lagos: Chiloé norte, Chiloé centro y Chiloé sur;
- Región de Aysén: Aysén norte, Aysén sur y Tortel;
- Región de Magallanes: Magallanes norte, Magallanes centro y Magallanes sur.

Sólo Chiloé norte, tuvo varios lugares de zarpe, ya que los sectores restantes, en cada caso, sólo tuvieron un puerto de zarpe. En el sector de Chiloé norte los zarpes fueron desde los puntos siguientes, indicando entre paréntesis la cantidad de localidades muestreadas: Cochamó (2 puntos), Yates (4 puntos), Tentelhue (1 punto), Caleta Larena (2 puntos), Metri (1 punto), Bahía Ilque (1 punto), Caicaén (2 puntos), Chayahué (1 punto), Ancud (1 punto) y Hueihue (1 punto). En los demás lugares, Chiloé centro, zarpe desde Dalcahue; Chiloé sur, zarpe desde Quellón; Aysén norte y Aysén sur, zarpe desde Puerto Chacabuco; Tortel, zarpe desde Tortel; Magallanes norte, zarpe desde Puerto Natales; Magallanes centro, zarpe desde Punta Arenas y Magallanes sur, zarpe desde Puerto Williams.

La metodología se presenta por objetivo específico y sólo está referida a los primeros cuatro objetivos. Los tres objetivos restantes son tratados en otros capítulos de este informe.

2.2.1 Metodología objetivo específico 1

- a) Vigilar las variaciones espacio temporales del VPM, VDM y VAM en transvectores selectos en una red de estaciones que cubra representativamente los sectores que comprenden los



subprogramas de Monitoreo Regular, Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización, y Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda.

Estaciones y frecuencia de muestreo

El área de trabajo comprende las regiones administrativas de Los Lagos, Aysén y Magallanes, área en la cual las estaciones de muestreo pertenecen a una red fija y están dispuestas de manera representativa considerando las particularidades de cada área. En este sentido el estudio está dividido en 3 subprogramas, cada uno con requerimientos según las necesidades de vigilancia de cada sector. Aunque cada subprograma entrega resultados según la frecuencia requerida en cada caso y a la disposición geográfica de los sitios de muestreo, éstos se encuentran sujetos a una misma administración. Los cruceros regulares intentan ser realizados cuasi simultáneamente entre regiones administrativas, no obstante las distintas condiciones meteorológicas, oceanográficas y geográficas de cada sector.

El área ha sido dividida en los 9 sectores señalados, usando distintos puertos de zarpe según fuera indicado en un párrafo previo.

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

Considera el monitoreo de 185 estaciones ubicadas desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes. Corresponden a estaciones establecidas en sectores de extracción de recursos hidrobiológicos. La frecuencia de muestreo es mensual con un receso invernal de 45 días aproximadamente (meses de julio y agosto), no obstante que por condiciones climáticas el calendario de muestreo determina que este receso no sea de la magnitud indicada, dado los retrasos originados durante otoño, en todas las regiones administrativas consideradas. Se informan 11 cruceros regulares para todas las estaciones consideradas en este subprograma, empezando el primer muestreo en el mes de marzo de 2015, dado que la finalización de la etapa previa de este estudio ocurrió durante febrero de 2016. En cada estación se realizaron las siguientes actividades: toma de muestras de agua para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores selectos, toma de datos oceanográficos y meteorológicos. La metodología para el análisis de fitoplancton, detección de toxinas, toma de datos oceanográficos y meteorológicos se detalla en los objetivos específicos 2.2 y 2.3 y corresponde a la adoptada por el Programa en sus versiones anteriores. Las estaciones que fueron muestreadas en este subprograma se entregan detalladas en el **Anexo 2.1.**, segregadas por región administrativa. Las fechas de muestreo para cada subprograma, región administrativa, y localidad de muestreo se presentan en la base de datos (CD adjunto).

b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización:

Considera 17 estaciones de muestreo, que desde la etapa VII de este programa son muestreadas con una frecuencia aproximada a 10 días, de tal forma que en un mes es posible realizar tres



muestreos. Estas estaciones están ubicadas en los sectores de Quellón, el área sur y sur-este de la Isla de Chiloé, un transecto en el Canal Moreleda y Golfo Corcovado, además de ciertos sitios en el área norte de Aysén, en el sector de Melinka (ver **Figuras 2.1 y 2.2**). El incremento de la frecuencia de muestreo tiene por finalidad aumentar el flujo de información para disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones por la autoridad fiscalizadora en relación al transporte de especies hidrobiológicas mediante “wellboats”. Las estaciones y su ubicación se encuentran en el **Anexo 2.2**. La frecuencia de muestreo es cada 10 días aproximadamente, con un receso invernal de 30 días, completando 31 cruceros entre marzo 2015 y febrero 2016. De la misma forma que para el Subprograma Monitoreo Regular, las condiciones meteorológicas y oceanográficas, determinan ajustes al calendario definido, y haciendo que el receso invernal tenga menos días. El inicio de las campañas fue en marzo 2015 y se informa hasta febrero 2016. La excepción la constituye la entrega de información entre marzo y mayo 2016 ligada a la floración de *Alexandrium catenella* que afectó principalmente a la región de Los Lagos, pero que se originó en la región de Aysén y se extendió hasta la región de Los Ríos. Se realizaron las siguientes actividades en cada estación: toma de muestras para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores selectos con una frecuencia mensual cuando la topografía del lugar y la disponibilidad de recursos permitieran la recolección de mariscos (ver **Anexos 2.1., 2.2. y 2.3.**), toma de datos oceanográficos y meteorológicos. Al igual que lo indicado para el Subprograma Monitoreo Regular, la metodología para el análisis de fitoplancton, detección de toxinas, toma de datos oceanográficos y meteorológicos se detalla en los objetivos específicos 2.2 y 2.3 y corresponde a la adoptada por el Programa en sus versiones anteriores.

c) **Sub-Programa Raúl Marín Balmaceda**

Este sub-programa tiene una frecuencia de muestreo idéntica al Subprograma de Vigilancia y Fiscalización, y está orientado a cautelar la liberación del área plaga en este sector. Por ello se intensifica el monitoreo, con un aumento en la frecuencia de muestreo en 6 estaciones ubicadas en los sectores de Canal, Brazo del Pillán y frente a la desembocadura del río Palena. El detalle sobre la ubicación de estas estaciones de muestreo se encuentra en el Anexo 2.3. El muestreo tiene una frecuencia de aproximadamente cada 10 días con un receso invernal del orden de 30 días, completando un total de 31 cruceros contados desde su inicio en marzo 2014 hasta febrero 2015. De la misma manera a lo señalado para el Subprograma de Vigilancia y Fiscalización, el calendario, debido a las condiciones meteorológicas y oceanográficas fue modificado, afectando la extensión del receso invernal. En cada una de las estaciones se realizaron las siguientes actividades; toma de muestras para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, vigilancia de variaciones espacio temporales de toxinas en transvectores selectos con una frecuencia mensual cuando la topografía del lugar y la disponibilidad de recursos permitieran el muestreo de mariscos, toma de datos oceanográficos y meteorológicos. Al igual que lo indicado para los Subprogramas señalados, la metodología para el análisis de fitoplancton, detección de toxinas, toma de datos oceanográficos y meteorológicos se detalla en los objetivos específicos 2.2 y 2.3.



Muestreo transvectores y detección toxinas

El muestreo estuvo orientado hacia especies centinelas en cada región (e.g. cholga, chorito y almeja, principalmente), 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.

La recolección de cada una de estas especies por cada región estuvo dada según lo descrito en la **Tabla 2.1** y en los **Anexos 2.1.- 2.3.**, y se condiciona además a si la ubicación de la estación de monitoreo permite la extracción de estos recursos, ya sea por la profundidad del fondo donde se encuentra ubicada o por la disponibilidad de recursos en el sector.

Se recolectaron especímenes de talla comercial mediante buceo semiautónomo. Cada muestra fue de aproximadamente 2 kilogramos de marisco con concha. La extracción de los transvectores está condicionada a la disponibilidad de estos recursos en cada sector, para muestreos de largo plazo. Para las muestras destinadas a la detección de VPM, se recolectaron muestras con réplica, la cual se extrajo en un mismo sector con 300 - 500 m de distancia entre puntos de muestreo. Sólo en la región de Aysén, se recolectaron muestras de otros transvectores (transvectores secundarios).

Luego de recolectadas, las muestras fueron etiquetadas y almacenadas en bolsas plásticas, conservadas en recipientes con hielo o refrigeradas y transportadas a bordo de embarcaciones, las que una vez llegadas a puerto, se congelaron a -20° C hasta el momento del análisis.

Las muestras de transvectores para determinar la toxicidad por VPM, VDM y VAM fueron entregadas a los laboratorios de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud de Los Lagos (Puerto Montt), Aysén (Aysén) y Magallanes (Punta Arenas). Se mantiene un registro de las entregas y recepciones mediante un formulario establecido para el efecto. La metodología para la detección de VPM es el bioensayo ratón según norma A.O.A.C. 959.08 (1990) con determinación del Factor de Corrección (FC) y uso de saxitoxina estándar. Se estima periódicamente el FC para el periodo de estudio y para ratones CF-1 (Instituto de Salud Pública) entre 18-21 g. Los resultados son entregados en microgramos equivalentes de saxitoxina por 100 gramos de carne de molusco ($\mu\text{g eq. STX } 100 \text{ g}^{-1}$).

Para el veneno diarreico, se aplicó la técnica modificada de Yasumoto *et al.*, (1984), y los resultados son presentados en términos cualitativos según 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. El veneno amnésico fue estimado mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) según la metodología descrita por Quilliam *et al.*, (1995). Los resultados se presentan en microgramos de ácido domoico por gramos de carne de marisco ($\mu\text{g g}^{-1}$).



2.2.2 Metodología Objetivos Específicos 2 y 3

- b) Conocer la abundancia y distribución espacio temporal de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la señalada red de estaciones.
- c) Conocer la abundancia y distribución espacio temporal de especies que componen el fitoplancton total en la red de estaciones de estudio

Estaciones y frecuencia de muestreo:

Las estaciones y frecuencias detalladas por subprograma están detalladas en el primer punto del Objetivo 2.1., y corresponden a las mismas que se muestrearon para el cumplimiento de estos objetivos.

Muestreo de fitoplancton

El muestreo de fitoplancton se realizó en todas las estaciones de cada uno de los subprogramas para las tres regiones donde se ejecuta el estudio (en total 208 sitios de muestreo), cuya distribución general se entrega en el siguiente cuadro.

Subprograma/ Región	Monitoreo Regular	Vigilancia y Fiscalización	Raúl Marín Balmaceda	Total
LOS LAGOS	44	11	0	55
AYSÉN	75	6	6	87
MAGALLANES	66	0	0	66
Total	185	17	6	208

La región de Aysén presenta el número más alto de sitios de muestreo, luego la región de Magallanes (incluyendo 5 sitios que sólo son muestreados en una oportunidad vinculados con el recurso ostión del sur) y finalmente la región de Los Lagos. Sin embargo, dada la frecuencia de muestreo en cada sector, es en esta última región, en la que se recolecta la mayor cantidad de muestras de fitoplancton (44,88%) seguida por la región de Aysén (30,84%) y finalmente la región de Magallanes (25,27%). (Es importante precisar que por un tema logístico se incluyen en los análisis, 6 sitios del subprograma RMB y 6 sitios del SFV ubicados en Melinka, ambos en Aysén Norte, pero que muestreados desde Quellón y operativamente quedan incluidos en el sector de Chiloé sur.

Los muestreos y análisis de fitoplancton cualitativo y cuantitativo se realizaron aplicando la siguiente metodología:

1. Muestreo cualitativo: el fitoplancton fue recolectado 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 µm. Los arrastres fueron realizados en triplicado (3



r3plicas), en dos puntos de cada estaci3n de muestreo, separados por unos 300 - 500 m. Las muestras fueron fijadas con formalina neutralizada al 2-3% y de cada punto se conform3 una sola muestra (i.e. una muestra integrada de seis arrastres).

2. Muestreo cuantitativo: para este an3lisis se realizaron muestreos de la columna de agua entre los 20 m de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de di3metro. La columna de agua fue fraccionada en dos: superficie a 10 m y de 10 a 20 m de profundidad (se recolect3 una muestra por estrato).

An3lisis de fitoplancton

1. An3lisis cualitativo: se utilizaron microscopios 3pticos de campo luminoso, a 100x y 400x, dotados con condensador de contraste de fase y equipo de epifluorescencia. Se estim3 la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, para lo cual se contabiliz3 el n3mero de c3lulas de cada tax3n en una al3cuota de 0,1 ml tomada desde una muestra sedimentada, bajo un cubre-objeto de 18 x 18 mm (3 r3plicas) (Tabla 2.1.). Sin perjuicio de lo anterior, se identificaron todas las microalgas contenidas en la muestra al menor nivel taxon3mico posible.
2. An3lisis cuantitativo: las muestras fueron contabilizadas a nivel espec3fico en c3maras de sedimentaci3n, cuyo volumen fue seleccionado de acuerdo a la concentraci3n de la muestra. La c3mara m3s utilizada fue la de 10 ml. Para el recuento celular se aplic3 la t3cnica de Uterm3hl (1958), en microscopios invertidos dotados con contraste de fase.

2.2.3 Metodolog3a objetivo espec3fico 4

- d) Recolectar informaci3n hidrogr3fica y meteorol3gica en las estaciones de monitoreo de las 3 regiones

Recolecci3n de datos hidrogr3ficos

En cada sitio de muestreo, se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, ox3geno disuelto, clorofila (fluorescencia) y densidad de la columna de agua mediante sensores electr3nicos (CTDO) hasta una profundidad m3xima de 50 m o hasta la profundidad que permita la topograf3a del lugar.

Recolecci3n de informaci3n meteorol3gica

S3lo para la regi3n de Magallanes las variables clim3ticas se registraron mediante estaciones meteorol3gicas de registro autom3tico en tanto que para las otras regiones la informaci3n ha sido tomada de la Direcci3n de Aeron3utica Civil. En la regi3n de Los Lagos, sector Puerto Montt en 41°26' 06"S y 73°05' 51"W; regi3n de Ays3n, sector Puerto Ays3n en: 45° 23' 45,9"S y 72°39'50,0"W y en la regi3n de Magallanes, Puerto Zenteno a 15 m.s.n.m. en 52°47'S y 70°47'W. Para esta 3ltima la estaci3n se compone de un registrador de datos electr3nico ("datalogger") y sus respectivos



sensores de temperatura y humedad relativa del aire, radiaci3n solar, velocidad y direcci3n del viento y precipitaci3n.

En todas las estaciones (puntos de muestreo), se registraron adem3s las condiciones atmosf3ricas al momento de efectuar el muestreo. Se incluye la medici3n de temperatura del aire y rapidez y direcci3n 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 velocidad 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.

2.3. RESULTADOS

Aspectos generales

Aunque no est3 comprometido efectuar un an3lisis de la informaci3n generada entre marzo de 2015 y febrero de 2016, puesto que est3 contemplado realizarlo durante la IX etapa 2015-16 de este programa, se ha estimado pertinente entregar alguna informaci3n de car3cter general respecto de los aspectos m3s importantes sobre el fitoplancton nocivo y toxinas marinas registradas durante el per3odo indicado. Asimismo dada la particularidad de la floraci3n de *Alexandrium catenella* ocurrida durante el primer semestre de 2016 y que afect3 de una forma particular a la regi3n de Los Lagos e incluso se extendi3 hasta la regi3n de Los R3os, se ha estimado pertinente, no obstante que el an3lisis de la informaci3n abarca, seg3n contrato, hasta febrero de 2016, incluir en esta oportunidad, resultados logrados durante el desarrollo de esta floraci3n.

Abundancia Relativa

A fin de disponer de una visi3n comprensiva de la informaci3n recolectada durante esta 3ltima etapa, a continuaci3n se entrega una s3ntesis de las variaciones espacio-temporales de las estimaciones de abundancia relativa de los ocho taxones que son seguidos a trav3s del trabajo realizado en este estudio. La informaci3n se analiza por regi3n administrativa.

Las mayores abundancias relativas para las especies nocivas en la regi3n de Los Lagos, se centraron principalmente en los meses de verano (diciembre 2015 a febrero 2016). De esta forma, *Alexandrium catenella*, present3 durante el mes de febrero de 2016, una abundancia relativa de 7 (h3per-abundante), en boca del Guafo (L25N1), Chilo3 sur. *A. ostenfeldii*, present3 una abundancia relativa de 5 (muy abundante), durante el mes de marzo 2015, en las estaciones Inio (L22N2) y Guapiquil3n 2 (L24N1), y febrero de 2016 en bah3a Tic Toc (L25), todas estaciones localizadas en Chilo3 sur. *Dinophysis acuminata*, present3 una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de diciembre de 2015 en el sector de Yates (L02) y Sotom3 (L02N1), y en el mes de



febrero de 2016 en las estaciones Yates (L02), Sotomó (L02N1), Marimeli (L02N3) y boca Guafo (L25N1). *D. acuta*, presentó una abundancia relativa igual a 4 (abundante), en el mes de febrero de 2016 en boca Guafo (L25N1), Chiloé sur. *Protoceratium reticulatum*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de enero 2016, en las estaciones de Yates (L02), Sotomó (L02N1), Cochamó (L02N2), Potrerillos (L03N1) y Caicura (L06N1), todas localizadas en Chiloé norte. Por otro lado, las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* presentaron las mayores abundancias relativas durante los meses de verano (enero y febrero 2016). Así, *P. cf. australis*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), durante el mes de enero de 2016 en las estaciones de bahía Ilque (L04N2) y Chayahué (L04N3), y febrero de 2016 en isla Butachauques 2 (L09N1), todas localizadas en Chiloé centro. Por otro lado, *P. cf. pseudodelicatissima*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de febrero de 2016 en isla Butachauques 2 (L09N1), Chiloé centro.

Para la región de Aysén, las mayores abundancias relativas de las especies nocivas se centraron entre los meses de primavera – verano (octubre 2015 a marzo 2016). De esta forma, *Alexandrium catenella*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (mega-abundante), durante el mes de enero de 2016 en el sector de isla Manuel (A15) y seno Ventisquero (A19N1), ambos en Aysén norte. *A. ostenfeldii*, presentó una abundancia relativa igual a 5 (muy abundante), durante el mes de marzo de 2015 en isla Manuel (A15), y en abril de 2016 en seno Canalad (A18N2) e isla Julián (A30), Aysén norte y sur, respectivamente. *Dinophysis acuminata*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), durante los meses de verano (marzo 2015), otoño temprano (abril 2015), primavera (octubre y noviembre 2015) y verano (enero y febrero 2016), en amplias estaciones de Aysén norte y sur. *D. acuta*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), en el mes de marzo de 2015, en la estación de Uspallante (L20N1), Aysén norte. *Protoceratium reticulatum*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), durante el mes de enero de 2016, en isla Cuptana (A35N1) e isla Filomena (A35N2), ambas localizadas en Aysén norte. Las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* mostraron las mayores abundancias relativas durante los meses de primavera (octubre y diciembre 2015) y verano (febrero 2016). Así, *P. cf. australis*, presentó una abundancia relativa igual a 7 (híper-abundante), en el mes de diciembre de 2015 en canal Chacabuco (A53), Aysén sur. Por otra parte, *P. cf. pseudodelicatissima*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante los meses de octubre de 2015 en isla Zealous (A59), Aysén sur, y en el mes de febrero de 2016 en isla Silachilu (A40), Aysén norte.

Para la región de Magallanes, las mayores abundancias relativas de las especies nocivas se centraron entre la primavera tardía hasta el verano 2016 (diciembre 2015 a febrero 2016). De esta forma, *Alexandrium catenella*, presentó una abundancia relativa igual a 5 (muy abundante), entre los meses de diciembre de 2015 y enero de 2016 en estero Ringdove (M25N), Magallanes centro. *A. ostenfeldii*, presentó una abundancia relativa igual a 4 (abundante), durante el mes de diciembre de 2015 en punta San Valentín (M39N2), Magallanes centro. *Dinophysis acuminata*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), en el mes de marzo de 2015 en bahía Cordes (M32), Magallanes norte. *Protoceratium reticulatum*, presentó una abundancia relativa igual a 5 (muy abundante), durante el mes de febrero de 2016, en isla Engelfield (M29N1), Magallanes centro. Las



diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* obtuvieron las mayores abundancias relativas durante los meses de primavera – verano (septiembre 2015 a febrero 2016). Así, *P. cf. australis*, presentó una abundancia relativa igual a 6 (extremadamente abundante), durante los meses de septiembre de 2015 en estero Ringdove (M25N) – Magallanes centro, y noviembre de 2015 en isla Morton (M01N), isla Carlos (M02N) y arrecife Hamond (M03N), Magallanes norte. En tanto, *P. cf. pseudodelicatissima*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), en los meses de diciembre de 2015 en punta San Valentín (M39N2) y Dalmacia (M39N4), Magallanes centro y en el mes de enero de 2016, en bahía Bell (M33), y puerto Yartou (M39N3), ambas en Magallanes centro.

Toxinas

Para el lapso que se informa, en la región de Los Lagos, la mayor concentración detectada para Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) fue de 40 μg eq. SXT 100 g^{-1} , en almeja recolectada en canal Guamblad (L23N1), Chiloé sur, durante el mes enero de 2016. En cuanto a los resultados del bioensayo para Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM), la proporción más alta de resultados positivos fue registrada en el mes de octubre de 2015 con 8 estaciones positivas, equivalente al 18,2% de las estaciones para toda la región. Respecto al Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), no hubo registros en toda la región para este periodo

En la región de Aysén, la mayor concentración detectada para Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) fue de 2096 μg eq. SXT 100 g^{-1} , en cholga recolectada en seno Ventisquero 1 (A19N1), Aysén sur, durante el mes enero de 2016. En cuanto a los resultados del bioensayo para Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM), la proporción más alta de resultados positivos fue registrada en el mes de febrero de 2016 con 44 frecuencias positivas, equivalente al 58,7% de las estaciones en toda la región. Respecto al Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), durante el mes de octubre de 2015 se detectó 12,5 μg g^{-1} de ácido domoico (AD), en cholga recolectada en Orlebar (A55), Tortel.

En la región de Magallanes, la mayor concentración detectada para Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) fue de 834,5 μg eq. SXT 100 g^{-1} , en cholga recolectada en paso Piloto Pardo (M24N1), Magallanes norte, en el mes de febrero de 2016. En cuanto a los resultados del bioensayo para Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM), la proporción más alta de resultados positivos fue registrada en el mes de noviembre de 2015 con 34 frecuencias positivas, equivalente al 51,51% de las estaciones en toda la región. Respecto al Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), durante el mes de noviembre de 2015 se detectó 19,7 μg g^{-1} de ácido domoico (AD), en cholga recolectada en estero Ringdove (M25N), Magallanes norte.

En síntesis respecto de las estimaciones de abundancia relativa y detección y/o cuantificación de las toxinas, la situación en el lapso marzo 2016 y febrero de 2016 fue la siguiente. Durante el lapso que se analiza el nivel más alto de abundancia relativa se presentó en estaciones de Aysén norte, durante el mes de enero de 2016 (*Alexandrium catenella*; AR=8, ultra-abundante). *Alexandrium ostenfeldii*, presentó niveles de abundancia relativa más bajos pero similares entre las regiones consideradas, pero en distinto momento. En las regiones de Los Lagos y de Aysén, presentó un nivel 5 (muy abundante), y en la región de Magallanes, nivel de 4 (abundante).



Dinophysis acuminata, presentó un nivel de abundancia alta en toda el área de estudio. Para las regiones de Los Lagos y Magallanes, el nivel de abundancia relativa fue el más alto, nivel 9 (mega-abundante), en periodos más restringidos durante primavera tardía y verano; en cambio, para la región de Aysén, el nivel de abundancia fue de nivel 8 (ultra-abundante), con presencia en periodos más amplios (otoño, primavera y verano). Para una estación del sector norte de Aysén, *Dinophysis acuta* presentó, durante el verano tardío (marzo de 2015), una abundancia relativa de 8 (ultra-abundante).

En cuanto a *Protoceratium reticulatum*, esta especie presentó el nivel más alto de abundancia relativa en el sector norte de la región de Los Lagos, con un nivel de mega-abundante (9), durante el mes de enero de 2016.

La diatomea *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima*, presentó niveles más altos de abundancia relativa (AR=9; mega-abundante), que *P. cf. australis*, en las tres regiones administrativas. Su presencia fue más relevante durante el período primavera-verano.

En cuanto a las toxinas, se detectaron niveles de VPM (Veneno Paralizante de los Mariscos), sobre la norma ($> 80 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$), en las regiones de Aysén ($2096 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$), y Magallanes ($834 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$). Sin embargo, en la región de Los Lagos, la detección de VPM fue bajo la norma, casi en el límite de detección del bioensayo ($40 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$).

La región con mayor cantidad de estaciones positivas a VDM (Veneno Diarreico de los Mariscos), fue Aysén, con un 58,7% del total de las estaciones establecidas en esta región.

Los niveles de VAM (Veneno Amnésico de los Mariscos), estuvieron bajo la norma ($> 20 \mu\text{g g}^{-1}$ de ácido domoico), en las regiones de Aysén ($12,5 \mu\text{g g}^{-1}$) y Magallanes ($19,7 \mu\text{g g}^{-1}$). En la región de Los Lagos, no se obtuvieron registros de esta toxina.

Base de datos

La información incluida en la base datos adjunta a este informe final (Base de datos en CD), se distribuye de la siguiente manera:

Nombre carpeta principal: BD MR 2015-16; Sub carpeta 1: 01SP.Reg; Sub carpeta 2 : 02SP. Vig-Fisc; Sub carpeta 3: 03SP. RMB.

Dentro de la subcarpeta 01SP.Reg están las carpetas Aysén, Los Lagos y Magallanes, cada carpeta posee información regional de Abundancia Relativa, Fitoplancton Cualitativo, Fitoplancton Cuantitativo, Fechas de muestreo, Información Meteorológica, Información Oceanográfica, Estación Meteorológica, Toxinas y Disco Secchi, para los 11 cruceros del subprograma Regular. Dentro de la sub carpeta 02SP. Vig-Fisc, está la carpeta Los Lagos-Aysén y posee información de Abundancia Relativa, Fitoplancton Cualitativo, Fitoplancton Cuantitativo, Fechas de muestreo, Información Meteorológica, Información Oceanográfica, Toxinas y Disco Secchi, para los 31 cruceros de



Vigilancia y Fiscalización. Cada archivo excel posee una hoja para las estaciones de la región de Los Lagos y una hoja para las estaciones de la región de Aysén.

Dentro de la sub carpeta 03SP. RMB está la información de las estaciones del subprograma Raúl Marín Balmaceda que incluye información de Abundancia Relativa, Fitoplancton Cualitativo, Fitoplancton Cuantitativo, Fechas de muestreo, Información Meteorológica, Información Oceanográfica, Toxinas y Disco Secchi, para los 31 cruceros.

A continuación se entrega un detalle de la información entregada por objetivo específico y subprograma.

2.3.1 Objetivo específico 1:

Vigilar las variaciones espacio temporales del VPM, VDM y VAM en transvectores selectos en una red de estaciones que cubra representativamente los sectores que comprenden los subprogramas de Monitoreo Regular, Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización, y Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda.

Los resultados asociados a este objetivo corresponden a los valores cuantitativos en el caso de VPM y VAM, y valores cuantitativos, positivos o negativos, para el caso del VDM. Los resultados se entregan por subprograma, región administrativa, crucero y estación de muestreo. Para cada subprograma los antecedentes que se incluyen en la base de datos es la siguiente:

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

Para las tres regiones administrativas se entrega la información recolectada desde el 1er crucero hasta el 11o crucero (Base de datos 1 en el CD). En la base de datos se incluye un archivo por subprograma y región administrativa con las fechas de muestreo, organizadas por localidad y crucero.

b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización:

Para las tres regiones administrativas se entrega la información disponible desde el 1er crucero hasta el 31er crucero (Base de datos 1 en el CD) En la base de datos se incluye un archivo por subprograma y región administrativa con las fechas de muestreo, organizadas por localidad y crucero.

c) Sub-Programa Raúl Marín Balmaceda:

Para las tres regiones administrativas se entrega la información disponible desde el 1er crucero hasta el 31er crucero (Base de datos 1 en el CD) En la base de datos se incluye un archivo por subprograma y región administrativa con las fechas de muestreo, organizadas por localidad y crucero.



2.3.2 Objetivos Específicos 2 y 3:

Conocer la abundancia y distribuci3n espacio temporal de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *D. acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la se1alada red de estaciones.

Conocer la abundancia y distribuci3n espacio temporal de especies que componen el fitoplancton total en la red de estaciones de estudio.

Al igual que los resultados del objetivo 1, los resultados de esta secci3n corresponden a todos los cruceros comprometidos entre marzo 2015 y febrero 2016 en el Subprograma Regular y los Subprogramas de Vigilancia y Fiscalizaci3n y de Raúl Marín Balmaceda. Los valores cualitativos y cuantitativos tanto de las especies nocivas como de todas las microalgas que componían el fitoplancton, son entregados indicando su presencia o su estimaci3n en las escalas de abundancia relativa de cada especie, y en unidades de densidad (células L⁻¹) para los resultados cuantitativos. Los resultados se entregan por subprograma, regi3n administrativa, crucero y estaci3n de muestreo. Para cada subprograma los antecedentes que se presentan son los siguientes:

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

Para la Regi3n de los Lagos y las áreas de Chiloé Norte, Chiloé Centro y Chiloé Sur se entrega toda la informaci3n recolectada hasta el 11o crucero (Base de datos en CD) segùn compromiso suscrito. Se debe recordar que el área de Chiloé Sur se incluye también la informaci3n recolectada hasta el crucero 31ero segùn contrato ligado al subprograma de Fiscalizaci3n y Vigilancia.

Para la Regi3n de Aysén se entrega toda la informaci3n recolectada hasta el 11mo crucero (Base de datos en CD).

Para la Regi3n de Magallanes se entrega la informaci3n hasta el 11mo crucero, tal como fuera estipulado en la propuesta técnica.

b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalizaci3n:

Se entrega la informaci3n recolecta desde el 1er crucero hasta el 31er crucero. En la base datos se incluye un archivo por subprograma y regi3n administrativa con las fechas de muestreo, organizadas por localidad y crucero.

c) Sub-Programa Raúl Marín Balmaceda:

Para las tres regiones administrativas se entrega la informaci3n recolectada desde el 1er crucero hasta el 31er crucero. En la base datos se incluye un archivo por subprograma y regi3n administrativa con las fechas de muestreo, organizadas por localidad y crucero.



2.3.3 Objetivo específico 4:

Recolectar información hidrográfica y meteorológica en las estaciones de monitoreo de las 3 regiones

Los resultados de esta sección corresponden a la totalidad de los cruceros realizados, 11 en el Subprograma Regular, y 31 en los Subprogramas de Fiscalización y Vigilancia y de Raúl Marín Balmaceda. Para cada uno de los subprogramas y sus correspondientes regiones administrativas se entregan los datos hidrográficos: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (psu), densidad ($\sigma\text{-t}$; kg m^{-3}), oxígeno (mg L^{-1}) y clorofila (mg m^{-3}), así como, los datos meteorológicos: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), nubosidad (octavos de cielo), presión barométrica (mba), dirección del viento (grados) y velocidad del viento (m s^{-1}). Adicionalmente, para cada región se informan los datos meteorológicos correspondientes al período que se informa, para la Región de los Lagos se informan los datos meteorológicos correspondientes a la Dirección de Aeronáutica Civil, al igual que para la región de Aysén, en tanto que para la región de Magallanes, corresponden a la estación meteorológica del Instituto de Fomento Pesquero ubicada en la localidad de Puerto Zenteno, estrecho de Magallanes.

2.3.4 *Alexandrium catenella* en la región de los Lagos, floración de verano – otoño de 2016 e hipótesis de su ocurrencia y distribución.

2.3.4.1 La floración de *A. catenella* en el extremo norte de los fiordos nacionales (enero – junio 2016).

2.3.4.1.1. Situación de las estaciones consideradas dentro del programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas.

Para conocer la magnitud y cobertura de la floración de *A. catenella* durante los meses de enero, febrero y marzo de 2016, se utilizaron los análisis de la abundancia relativa (AR) para cada una de las 208 estaciones monitoreadas por el programa de mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes y se compararon con el mismo periodo de muestreo del año 2015 (**Figuras 2.3 – 2.5**). Cuando realizamos la comparación de los valores de AR para la región de Los Lagos (**Figura 2.3**), observamos que en el mes de enero del 2016 la zona sur de la isla de Chiloé presentó niveles intermedios de AR (niveles 2 – 3) similares a los observados durante el mes de marzo del 2015, año que puede ser considerado como normal. Durante el mes de febrero de 2016 los valores de AR aumentaron hasta una condición de floración con niveles de 5 – 6 y una cobertura espacial que abarcó desde isla Guapikilán en el sur de Chiloé, hasta isla Tranqui ubicada en la zona central de Chiloé (**Figura 2.3**). A pesar de la intensidad de la floración durante los meses de febrero, marzo y abril de 2016, no se registró la presencia de *A. catenella* en las estaciones asociadas al sector de islas Desertores en Chiloé central.

Por otra parte, en Aysén, se pudo identificar diferencias en la magnitud de la AR asociada con cada uno de los años de monitoreo (**Figura 2.4**). Si bien, para ambos años se observó una presencia



importante de la microalga en toda la región, se puede destacar que en el área norte de Aysén (Melinka, Canal Yacaf y Canal Moraleda) y Raúl Marín Balmaceda (RMB) los valores de AR durante el 2016 fueron altos, con niveles 6 – 7 a partir de enero, lo que indica un estado de floración de la microalga, manteniéndose con niveles altos durante febrero y marzo, mientras que, durante el 2015 los valores de AR en esta zona fueron bajos durante enero, incluso con estaciones donde la microalga no estuvo presente (niveles 0 – 1), para ese año se registraron niveles bajos en la zona de RMB durante los meses de febrero y marzo. Además, cabe destacar que la floración que se extendió por toda la región, exceptuando el sector de Tortel.

En Magallanes, se observó que las floraciones son más sectorizadas (**Figura 2.5**), con la microalga siempre presente en el sector norte y con valores de AR más altos que el año 2015 (niveles 4 – 5). Entre enero y febrero de ambos años la microalga estuvo presente en casi todas las estaciones de monitoreo del canal Beagle.

2.3.4.1.2. Situación de las estaciones asociadas a la costa Pacífica de las regiones de Los Lagos y Los Ríos.

Durante la primera semana de abril se registró la presencia de la microalga en sectores asociados a la costa oceánica de Chiloé, incluso en estaciones ubicadas en la entrada Pacífica del canal de Chacao. Específicamente, en la localidad de Cucao ubicada en la costa de Chiloé (**Figura 2.6**), la Seremi de Salud de los Lagos informó niveles de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) superiores a la norma establecida en $80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ durante el día 06 de abril de 2016, dichos niveles se incrementaron exponencialmente hasta alcanzar valores cercanos a $6000 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ durante el día 24 de abril (**Tabla 2.3**). A su vez, el análisis de la AR, realizado por IFOP a las muestras de agua recogidas en este sector el día 8 de abril, dio cuenta de un nivel 5 de abundancia relativa para *A. catenella* (**Figura 2.6**) reflejando que la floración estaba en pleno desarrollo.

Como consecuencia de esta floración de *Alexandrium catenella*, detectada durante los primeros días de abril en la zona de Cucao (Chiloé), el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), con la finalidad de conocer la cobertura hacia el norte de la floración de esta microalga, realizó una serie de muestreos en distintas localidades de la región de los Lagos y de la región de los Ríos. Las localidades visitadas en la región de los Lagos fueron: Mar Brava y Faro Corona durante el 18 de abril; Cucao, Caulín, Carelmapu, Playa Brava, Estaquilla durante el 19 de abril; Bahía Mansa, Maicolpue y Pucatrihue durante el 21 de abril; Cucao, Caulín, Carelmapu, Playa Brava, Estaquilla durante el 02 de mayo; Bahía Mansa, Maicolpue y Pucatrihue durante el 03 de mayo (**Tabla 2.4**). Mientras que las localidades visitadas en la región de los Ríos fueron: Curiñanco, Caleta los Molinos y Caleta los Huiros durante el 22 de abril; Curiñanco, Caleta los Molinos, Caleta los Huiros, Chaihuin durante el 04 de mayo y las localidades de Queule y Mehuín el día 06 de mayo (**Tabla 2.5**).

En cada una de las localidades se tomaron muestras de agua para análisis de los estimadores de abundancia relativa de la microalga *Alexandrium catenella*. Este análisis fue realizado por los



analistas del IFOP de Puerto Montt. Dicho estimador otorga una alerta temprana de la presencia de la microalga, donde valores sobre el nivel 3 implica una preocupación más intensa. Además en algunas localidades se colectaron muestras de marisco para el análisis de toxina del tipo Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), análisis que fue realizado por el laboratorio de Ambiente de la Seremi de Salud de la región de los Lagos; donde los niveles por sobre 80 ug STX eq. x 100 g⁻¹ de mariscos está por sobre la norma establecida por el Ministerio de Salud.

En la **Figura 2.6** se detalla los niveles de abundancia para cada localidad visitada en la región de los Lagos. La información registrada entre los días 18 al 22 de abril, mostró que desde el análisis realizado el día 8 de abril la AR se incrementó a un nivel de 7 en la localidad de Cucao, mientras que, en las localidades de Mar Brava, Faro Corona, Caulín, Carelmapu, Playa Brava, Estaquilla, Bahía Mansa, Maicolpue y Pucatrihue se observaron niveles de AR en un rango entre 4 y 7, con niveles mayores en la localidad de Faro Corona, durante este periodo los niveles de toxinas en los mariscos fueron superiores a la norma con valores de 120, 308 y 6614 ug STX eq x 100 g⁻¹ en las localidades de Carelmapu, Pucatrihue y Cucao, respectivamente (**Tabla 2.3**). Posteriormente, entre los días 02 al 06 de mayo los niveles de AR tienden a disminuir en las localidades cercanas a la Isla de Chiloe, los rangos registrados estuvieron entre 3 y 5 en Cucao, Caulín, Carelmapu, Playa Brava y Estaquilla, mientras que, para las localidades más alejadas de la Isla de Chiloé, los niveles de AR fueron más altos que los registrados durante el 18 y 22 de abril, con rangos entre 5 y 9 en Bahía Mansa, Maicpué y Pucatrihue (**Figura 2.6**), durante este periodo los mariscos presentaron niveles altos de toxina con máximos valores en las localidades de Cucao y Carelmapu (9059 y 4389 ug STX eq. x 100 g⁻¹, respectivamente (**Tabla 2.3**). Por su parte, los niveles más bajos de toxinas en los mariscos fueron observados en las localidades de Punta Corona y Caulín (37 y 52 ug STX eq. x 100 g⁻¹, respectivamente (**Tabla 2.3**). El mayor nivel de AR durante este monitoreo fue registrado en Bahía Mansa el día 03 de mayo. Esta última información de la semana del 2 de mayo, muestra que se incrementó la abundancia de la microalga en el sector norte de la región de Los Lagos (i.e Bahía Mansa y sectores adyacentes), pero disminuyó en Cucao (Chiloé central por el Pacífico) y Estaquilla (ubicada al norte de canal de Chacao).

Por su parte, para las estaciones ubicadas al noreste de la isla de Chiloé, utilizando la información de la semana del 2 de mayo, mostraron que se incrementó la abundancia de la microalga en el sector de Tubildad, Quemchi y Hueihue, disminuyendo levemente los niveles en el norte de la isla y alcanzando las Islas Butachauques. Mientras que, hacia el interior Seno de Reloncaví y Estuario del mismo nombre, la probabilidad que la floración alcance dichos sectores es muy baja. En la costa de la provincia de Palena sólo estuvo en condición de floración la localidad de Ayacara. En general la costa de la provincia de Palena siempre ha mostrado una menor probabilidad de la presencia de la microalga y consecuentemente de la toxina paralizante. Con la excepción de la localidad señalada sólo se observa presencia de la microalga, lo cual no constituye riesgo. Finalmente, en el sector sudeste de la isla de Chiloé, la información de la semana del 2 de mayo, mostró que se incrementó la abundancia de la microalga en todo el sector de la isla y por el sector este abarcando hasta Quellón.



En la **Figura 2.8** se detalla los niveles de abundancia para cada localidad visitada en la región de los Ríos. La información registrada entre los días 18 al 22 de abril, mostró la presencia de *Alexandrium catenella* en valores de 1 y 2 de AR, en las localidades de caleta los Molinos y caleta Los Huiros, respectivamente, mientras que, no se detectaron células de la microalga en la localidad de Curiñanco. Durante el monitoreo del 04 de mayo los valores de AR en las localidades de caletas los Molinos y Curiñanco subieron considerablemente a valores de 4 y 5, respectivamente, manteniéndose en un valor bajo de células en caleta los Huiros (**Figura 2.8**). Durante el monitoreo del día 06 de mayo sólo se detectó presencia de células de la microalga en la localidad de Mehuín en un valor bajo (2) de AR. Por su parte en las muestras de Choro zapato colectado durante el día 4 de mayo desde las localidades de caletas los Molinos y Chaihuin no se detectó la presencia de la toxina del tipo VPM. (**Tabla 2.5**).

Finalmente, en la **Figura 2.9** se muestran los niveles de AR durante la primera semana de junio. En ambas regiones se aprecia la disminución de los niveles de AR, donde el rango fue entre 0 y 3. Durante este muestreo no se registró la presencia de la microalga en la mayoría de las localidades costeras consideradas en el muestreo de emergencia. La misma situación se observó en las estaciones ubicadas en el sur de la Isla de Chiloé (i.e. Quellón, San Pedro, Yaldad, Isla Laitec). Los niveles más altos (2 – 3) de AR fueron registradas en algunas estaciones ubicadas en el sector de Islas Desertores, estaciones continentales (i.e Hornopirén, Ayacara, Pumalín, Paviltad) y en algunas estaciones ubicadas en el Golfo de Corcovado. Durante este periodo, se observó una leve disminución de los niveles de toxinas en los mariscos asociados a la región de los Lagos, sin embargo, en algunas localidades como Cucao, Mar Brava, Carelmapu aún se registraron niveles altos (4013, 1524 y 153 ug STX eq. x 100 g⁻¹, respectivamente; **Tabla 2.3**).

2.3.4.2. Las floraciones de algas nocivas de 2016 en la región de Los Lagos y sus probables causas.

Durante 2016 la región de Los Lagos, ha sido afectada por distintas floraciones, no obstante las que han ocasionado un mayor impacto público han sido aquellas causadas por *Pseudochattonella cf. verruculosa* (**Figura 2.10**) una dictyochoficea que afectó gravemente a la actividad de la salmonicultura con una mortalidad estimada de unas 40.000 toneladas de peces en engorda y la causada por *Alexandrium catenella* (**Figura 2.11**), un dinoflagelado que está asociado al veneno paralizante de los mariscos (VPM), que ha ocasionado una fuerte perturbación sobre los sistemas social y económico, dadas sus implicancias sobre la salud pública y actividades productivas.

Las FAN han afectado la industria salmonicultora desde sus inicios. A través de los años se han registrado eventos nocivos asociados a mortalidades masivas de salmones provocadas por diatomeas como *Leptocylindrus minimus* y *Chaetoceros convolutus*, dinoflagelados como *Alexandrium catenella* y *Gymnodinium spp.*, y por microalgas rafidofíceas como *Heterosigma akashiwo* y dictyochoficea como *Pseudochattonella cf verruculosa*. Esta última especie es ictiotóxica, es decir afecta a los peces en general, en especial a aquellos que se encuentran en aguas someras (los primeros 15-20 m). *Pseudochattonella* necesita luz para realizar fotosíntesis, y la nocividad de



esta microalga se originaría por la producción de un ácido graso poliinsaturado, además de un superóxido, que en conjunto determinarían la ruptura de los tejidos de las branquias, que finalmente ocasionarían la muerte del pez por una disfunción en la osmoregulación.

La identificación de este tipo de microalga debe realizarse en vivo, pues los métodos habituales de fijación la destruyen. Las condiciones de temperatura en el sector del seno de Reloncaví durante febrero fueron más altas que las registradas en años previos para el mismo mes, del orden de 2-4°C en los primeros 10 metros (**Figura 2.12**). Una apreciación similar se observa en varias localidades del mar interior de Chiloé en una serie de tiempo desde 2013 (**Figura 2.12**). Si bien la temperatura no explica la presencia de estas floraciones, durante los meses de verano de 2016 han ocurrido condiciones prolongadas de calma y alta insolación, factores claves para iniciar y mantener una floración nociva. Por otro lado, todo el sector sureste de la isla de Chiloé y la mayor parte de la región de Aysén estaban en ese momento siendo afectados por una extensa floración de *Alexandrium catenella*.

Por su parte, la floración de *A. catenella* se inició a mediados de enero de 2016, en el archipiélago de los Chonos, región de Aysén. Luego se expandió paulatinamente hacia el norte, y a comienzos de febrero, el dinoflagelado fue detectado en forma reiterada en el sureste de la isla de Chiloé (desde Quellón al sur), llegando a mediados de marzo hasta Islas Desertores, en el mar interior de Chiloé. Simultáneamente aunque desfasado en el tiempo la autoridad de Salud fue detectando en distintos lugares la presencia de veneno paralizante en mariscos. A diferencia de años previos donde se registraron floraciones importantes de *A. catenella* en la región de Los Lagos (2002, 2006 y 2009) esta floración mostró una extensión espacial e intensidad distinta, puesto que durante la última semana de abril de 2016 se detectó la presencia de esta microalga en la costa del océano Pacífico (sector de Cucao y luego extendiéndose por todo el litoral de la región de Los Lagos al norte de Pucatrihue en la provincia de Osorno) y también ingresando por el Canal de Chacao, afectando paulatinamente toda la costa norte y este de la isla de Chiloé hasta el sector de Quemchi.

A partir del mes de junio de 2016, la floración en el archipiélago de los Chonos finalizó y a partir de esa fecha no se observaron células *A. catenella*, hecho que fue evidente desde fines de abril y a fines de mayo también se apreció una clara declinación de la abundancia de esta microalga, reflejando también la finalización de la floración en las regiones de Los Lagos y Los Ríos (**Figura 2.9**). No obstante dada la toxicidad alcanzada por los mariscos, estos permanecerán tóxicos por un lapso entre uno y cuatro meses a lo menos, según el tipo de marisco, la toxicidad alcanzada, la disponibilidad de alimento en el agua y la temperatura y salinidad del agua de mar, entre otros (**Tabla 2.3**).

Esta fue la primera vez que se detecta una floración de esta especie en el Océano Pacífico, abarcando, en esta oportunidad, hasta la región de Los Ríos, en contraste a los registros previos de floraciones de *A. catenella*, que sólo habían sido detectadas en los fiordos y canales interiores. En todo caso, ya en el año 2009 se observaron células de *A. catenella* en Cucao, Mar Brava y Faro Corona, pero no en condición de floración (Mardones *et al.*, 2010). En esta oportunidad, el límite



norte de la distribución de la microalga fue la localidad de Mehuin en la región de Los Ríos, pero no estaba en condición de floración. Sin embargo, se detectaron mariscos tóxicos en varios puntos de la región de Los Ríos (Los Molinos, Los Huiros, Curiñanco, Bonifacio, entre otros).

A partir de la experiencia obtenida sobre *A. catenella* y el veneno paralizante en mariscos durante floraciones ocurridas en años anteriores (e.g. 2002 y 2009), en los cuáles se observó que las floraciones disminuyeron hacia fines de abril y comienzos de mayo manteniéndose la toxicidad de los mariscos durante un lapso luego de finalizada la floración, podemos realizar una comparación de estos eventos la actual floración de 2016, la cuál indicó que durante el 2016 la floración tuvo una mayor duración prolongándose hasta mediados o fines de mayo, y en consecuencia, los mariscos permanecerán tóxicos durante lo que resta de otoño y muchos durante los meses de invierno. En invierno la detoxificación es más lenta por la disponibilidad de alimento y por las temperaturas más bajas del agua. La presencia de mariscos tóxicos dependerá del tipo de marisco y de la toxicidad alcanzada, pero debería ser un lapso no inferior a 1-4 meses.

Si se analizan los efectos de la floración sobre un recurso como la macha, podemos señalar que este organismo es filtrador, que se alimenta del fitoplancton y partículas orgánicas suspendidas en el agua. Es una especie típica de playas arenosas con extensiones superiores a 3 - 5 km, expuestas al oleaje del océano Pacífico, y cuyas olas pueden alcanzar hasta 5 m y con desplazamientos estacionales de grandes volúmenes de arena. La macha vive en la zona de rompiente de las olas, es decir en la zona del litoral donde ocurre el mayor movimiento de agua y consecuentemente donde es muy poco probable que ocurran floraciones nocivas, justamente por ser una zona del litoral donde las aguas son turbulentas. Durante la floración de *A. catenella* ocurrieron varazones masivas de machas derivadas del efecto de la toxina paralizante sobre el músculo (pie) del molusco, impidiendo que los ejemplares se entierren en la arena y por lo mismo quedando expuestos al oleaje y siendo arrastrados a la playa (**Figura 2.13a**). Observaciones durante estas varazones en la playa de Cucao, permitieron constatar que los ejemplares vararon vivos y que una fracción importante volvió a enterrarse en el sedimento de la zona intermareal (**Figura 2.13b**). No se dispone de una estimación de la mortalidad originada por este efecto.

En cuanto a vertebrados superiores como aves y mamíferos marinos, éstos son afectados por el consumo de mariscos tóxicos de la misma forma que es afectado el ser humano, es decir es afectada la generación del impulso nervioso por efecto de la toxina paralizante, y dependiendo de la concentración de toxina consumida, puede ocurrir la muerte de los organismos. Por tanto la muerte de cormoranes, gaviotas, patos queiro, chungungos y lobos marinos que han sido observados en el litoral del sector afectado, es explicada por efecto del veneno paralizante de los mariscos. El veneno paralizante actúa a nivel de los canales de entrada de ion sodio impidiendo la generación del impulso nervioso. En las intoxicaciones leves o moderadas el organismo intoxicado se recupera sin secuelas.

No obstante que las floraciones de *A. catenella* pueden ocasionar muerte de vertebrados filtradores como la sardina y la anchoveta, no es menos cierto que muchas varazones pudieron haber ocurrido también como consecuencia de los procesos de surgencia (ver explicación más adelante de este



proceso oceanográfico), que se han registrado durante este verano desde el litoral desde la región de La Araucanía hacia el sur, asociados a la baja disponibilidad de oxígeno que contienen las masas de aguas ecuatoriales subsuperficiales que llegan a la superficie durante este proceso oceanográfico.

Cabe señalar que, este tipo de eventos son recurrentes en la costa de Chile y otros lugares del mundo.

Las condiciones climáticas observadas durante el verano están ligadas al extenso fenómeno de El Niño 2015-2016, que ha mostrado una intensidad y una cobertura espacial incluso superior a aquellos eventos de Niños más intensos ocurridos en el siglo pasado, como aquellos de los años 1982-83 y 1997-98 (**Figura 2.14**).

Durante 2016, el sur de Chile ha tenido un verano y otoño excepcionales, lo que generaron condiciones propicias para la iniciación y mantención de floraciones nocivas. De hecho, por señalar algunas, se han detectado floraciones provocadas por *Dinophysis acuta* en el estero Pitipalena, *Dinophysis acuminata* en amplios sectores de las regiones de Los Lagos y de Aysén, *Protoceratium reticulatum* en el estero de Reloncaví, además de las ya conocidas floraciones de *Pseudochattonella* cf. *verruculosa* y *Alexandrium catenella*. En general, se ha tendido a identificar como principales forzantes de eventos FAN a las condiciones climáticas y oceanográficas asociadas al fuerte evento El Niño 2015-16.

Frente a la costa de Chiloé choca la corriente transpacífica de la Deriva del Oeste que se desplaza desde Nueva Zelanda y Australia. En ese sector se divide en dos ramas, una que fluye hacia el norte que origina la corriente de Humboldt y otra que fluye hacia el sur, que origina la Corriente del Cabo de Hornos. El evento Niño 2015-16 ha sido único en su intensidad y desarrollo. Desde el punto de vista meteorológico, el sistema anticiclónico se ha fortalecido y desplazado hacia el sur (**Figura 2.15**), especialmente durante el verano, por lo que disminuyeron las precipitaciones e incrementó la sequía dadas las temperaturas estivales más altas, particularmente hacia las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Desde el punto de vista oceanográfico, este centro de altas presiones está asociado a cielos despejados y vientos del sur favorables para las surgencias costeras (**Figura 2.16**). Además durante los eventos el Niño, la contracorriente subsuperficial que transporta aguas ecuatoriales de bajo oxígeno y alto contenido de nutrientes alcanza hasta altas latitudes, las que emergen asociadas a los eventos de surgencia. Esto favorece un incremento en la abundancia del fitoplancton, particularmente diatomeas, reflejado en imágenes satelitales que muestran una alta concentración de clorofila (**Figuras 2.17 y 2.18**).

Con posterioridad al proceso de surgencia, ocurre una relajación e incrementa la estabilidad de la columna de agua y en el caso de las aguas en la zona sur entre 40°- 42° latitud sur (frente a las costas de Chiloé) ocurrió un aumento de temperatura superficial del mar de a lo menos dos grados por sobre un año normal como consecuencia de la mayor radiación (**Figura 2.19**). Y dada la disminución de las precipitaciones durante este lapso, el aporte de dulce desde los ríos y el menor



efecto directo de la lluvia, ha favorecido un incremento de la salinidad. Todas estas condiciones favorecen la iniciación de floraciones nocivas.

Las condiciones meteorológicas y oceanográficas señaladas permiten indicar que desde diciembre de 2015 a mayo de 2016 se presentaron en la zona costera desde la región de Los Ríos hasta el sur de la isla de Chiloé eventos inusuales de surgencia, arrastrando aguas con alto contenido de nutrientes, lo que sumado a la alta radiación solar y los vientos moderados, además de alta radiación y estabilidad de la columna de agua, produjo condiciones propicias para una floración en el litoral expuesto al océano Pacífico. Las aguas enriquecidas por los eventos de surgencia penetraron hacia el mar interior de Chiloé por el canal de Chacao (aguas que además ya presentaban a *A. catenella* en condiciones de floración) y por el Golfo de Corcovado, que además de la carga natural de nutrientes recibe aportes de actividades humanas como agricultura, desechos domésticos y acuicultura.

Finalmente es importante señalar que las condiciones oceanográficas observadas en el Pacífico Sur-Austral Oriental no es un hecho aislado y responde a un evento el Niño muy intenso con repercusiones a gran escala geográfica, que ha impactado no sólo las regiones de Los Lagos y Los Ríos, sino también en el hemisferio norte en Estados Unidos y Canadá, entre California y Alaska, con una floración nociva de la diatomea *Pseudo-nitzschia australis*, la más fuerte observada en los últimos veinte años, especie productora del ácido domoico (veneno amnésico de los mariscos) y varazones masivas asociadas (**Figura 2.20**).

Asimismo intensas floraciones han afectado las rías gallegas en España asociadas a floraciones ligadas a toxinas lipofílicas, como también en la bahía de Santa Catarina, Brasil con floraciones asociadas a veneno diarreico provocadas por una especie del género *Dinophysis*, la más intensa desde 1995. Todos estos eventos han provocado fuertes perturbaciones en los sistemas naturales, afectando también a los sistemas social y económico.

2.3.4.3 Análisis de toxinas en muestras de percebes, machas, sardinas y anchovetas recolectadas desde distintos sectores afectados por los eventos de marea roja ocurridos en abril 2016 en la región de Los Lagos

El perfil de toxinas VPM detectadas por cromatografía líquida con detector de fluorescencia (LC-DF) en los mariscos y sardinas (**Tabla 2.6**) estuvo constituido por saxitoxina (STX), gonyaulotoxinas 2-3 (GTX2-3) y carbamoilsaxitoxinas (C1-2).

En los percebes (**Figura 2.21**) y machas predominaron las GTXs. En las machas además fueron detectadas toxinas Cs, aunque en baja concentración. En el caso de los picorocos (**Figura 2.22**) y sardinas (**Figura 2.23**) y anchovetas (**Figura 2.24**), la toxina con mayor predominancia relativa fue la STX.



En términos de toxicidad, vale decir, cantidad de toxinas expresadas diferencialmente según el grado de toxicidad que provocan en el bioensayo ratón (unidades ratón, UM), las muestras con mayor concentración de STX, serán las que presenten mayor valor de toxicidad al bioensayo ratón (**Tabla 2.7**). La STX es la que presenta el mayor efecto tóxico en el ratón, seguido por las GTXs, mientras que las Cs son las menos tóxicas.

En este contexto, en el caso de tratarse de las mismas muestras, las machas de la localidad de Chanquín-Palihue y Pasarela Deñal, en Cucao, presentaron valores de toxicidad estimados a partir de los análisis por LC-F (*i.e.* 510 y 227 $\mu\text{g eq STX.2HCL100 g}^{-1}$, respectivamente, Tabla 2), que fueron muy similares a los estimados directamente por el bioensayo ratón (*i.e.* 611 y 278 $\mu\text{g eq STX. 100 g}^{-1}$, respectivamente, **Tabla 2.3** SEREMI de Salud de la región de Los Lagos).

Los resultados de toxicidad indican que tanto los percebes como las machas presentaron niveles de VPM por sobre el límite de 80 $\mu\text{g eq STX. 100 g}^{-1}$. Los picorocos y las sardinas presentaron niveles positivos de toxicidad aunque bajo el límite para consumo. En las sardinas, las toxinas fueron detectadas en el estómago como principal órgano. Las branquias no presentaron toxinas detectables por LC-F.

La **Tabla 2.8** muestra el perfil de toxinas porcentual encontrados en el plancton, *i.e.* en muestras de agua con presencia de *A. catenella*, recolectado en diferentes sectores afectados por los eventos de marea roja ocurridos en abril 2016 en la región de Los Lagos. Estas muestras presentan un mayor porcentaje de GTX2-3 seguido de las C1-2, y ausencia de STX. Sin embargo, la saxitoxina está presente en las muestras de mariscos y sardinas. En un rango entre un 10 y 39 % del VPM total en los percebes y machas; y entre un 62 y 88 % en los picorocos y sardinas. El resultado sugiere que existe una mayor capacidad de transformación del perfil de toxinas encontrado en el plancton, por parte de los picorocos y estómago de las sardinas, que los que ocurre en los percebes y machas. De hecho, estos últimos presentan un mayor porcentaje de GTX2-3 al igual que el plancton.

Los análisis de ácido domoico (VAM) en réplicas de las mismas muestras enlistada en las **Tablas 2.6 y 2.7**, fueron negativas para esta toxina.



2.4 CONCLUSIONES

- En el periodo comprendido entre marzo de 2015 y febrero de 2016, las mayores abundancias relativas de las especies nocivas, así como los niveles y proporciones de las toxinas asociadas a estas especies, se observaron principalmente en los meses de verano de 2016.
- Durante los meses de enero y marzo de 2016 se registraron valores de abundancia relativa y cobertura geográfica de *Alexandrium catenella* excepcionales, comparados con un periodo similar de análisis (2015), en la región de Los Lagos.
- Durante el mes de enero 2016 se registraron valores altos de abundancia relativa de *Alexandrium catenella* asociados a la zona de Aysén norte, anticipándose a los registros de un mes similar durante el año anterior (2015).
- Es primera vez que se registra una floración de *Alexandrium catenella* asociada a la costa Pacífica de las regiones de Los Lagos y Los Ríos, lo que nos indica que estos eventos no se restringirían exclusivamente al mar interior asociado a canales y fiordos.
- A partir de la experiencia de floraciones de años anteriores (e.g. 2002 y 2009) y la comparación con la de este año, se puede señalar que debido a la mayor duración de la floración de este año, los mariscos se mantendrán por más tiempo tóxicos y dependiendo del tipo de marisco y de la toxicidad alcanzada, este tiempo no debería ser inferior a 1-4 meses.
- Las condiciones climáticas observadas durante el verano están ligadas al extenso fenómeno de El Niño 2015-2016, que ha mostrado una intensidad y una cobertura espacial incluso superior a aquellos eventos de Niños más intensos ocurridos en el siglo pasado, como aquellos de los años 1982-83 y 1997-98.
- Durante 2016, el sur de Chile ha tenido un verano y otoño excepcionales, lo que generaron condiciones propicias para la iniciación y mantención de distintas floraciones nocivas provocadas por *Dinophysis acuta* en el estero Pitipalena, *Dinophysis acuminata* en amplios sectores de las regiones de Los Lagos y de Aysén, *Protoceratium reticulatum* en el estero de Reloncaví, además de las ya conocidas floraciones de *Pseudochattonella* cf. *verruculosa* y *Alexandrium catenella*.
- La floración de *A. catenella* en la región de Los Lagos se explicaría por un evento El Niño muy intenso asociado al centro de altas presiones del Pacífico desplazado hacia el sur, un verano benigno, mayor radiación, temperaturas más altas, vientos del sur, surgencias costeras, aguas ricas en nutrientes, intensa y extensa floración fitoplanctónica, relajación del afloramiento, sucesión fitoplanctónica, ausencia de vientos, estabilidad de la columna de



agua, floración de *A. catenella* (norte de Aysén, sureste de Chiloé), desplazamiento hacia el norte por procesos hidrodinámicos

- Las condiciones oceanográficas observadas en el Pacífico Sur-Austral Oriental no fueron un hecho aislado y responde a un evento el Niño muy intenso con repercusiones a gran escala geográfica, que ha impactado no sólo las regiones de Los Lagos y Los Ríos, sino también en el hemisferio norte en Estados Unidos y Canadá, entre California y Alaska, así como, en las rías Gallegas en España y en Santa Catarina, Brasil.



2.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- GEOHAB, 2003. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Implementation Plan. P. Gentien, G. Pitcher, A. Cembella, P. Gilbert (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 36 pp.
- Guzmán, L., García, F., Zunino, S., Atalah, A., Almonacid, E., Rivera, R., Pacheco, H., Quiroz, S., Alarcón, C., Banciella, M.I. & Pizarro, G. 2004. Adaptive training and information dissemination strategy to communities affected by PSP outbreaks in Southern Chile. In: Harmful Algae Management and Mitigation, 2004. Hall, S., Etheridge, S., Anderson, D., Kleindinst, J., Zhu, M and Zou, Y. (Eds). Asia-Pacific Economic Cooperation (Singapore): APEC Publication #204-MR-04.2 p. 114 – 120.
- 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.
- Mardones J, A Clément, X Rojas & C Aparicio. 2010. *Alexandrium catenella* during 2009 in Chilean waters, and recent expansion to coastal ocean. Harmful Algae News 41: 8-9.
- 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.

INFORME FINAL
Capítulo 3:C

Correntometría e hidrografía entre Playas Largas e Isla San Andrés, canal de Moraleda región de Aysén.



INFORME FINAL:
Capítulo 3:C

Correntometría e hidrografía entre Playas Largas e Isla
San Andrés, canal Moraleda región de Aysén.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Gabriel Soto Soto
Elías Pinilla Matamala
Valentina Besoain Meneses

COLABORADORES

Marcela Arriagada Ortega
Patricio Salas Salas



3.1. OBJETIVOS

3.1.1. Objetivo específico

Registrar parámetros oceanográficos (corrientes) en sectores de interés dentro del área de estudio.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Correntometría euleriana

Se realizaron mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua durante dos periodos del año, el primero durante el invierno (mayo-julio) y el segundo durante la primavera (septiembre-diciembre) del 2015; para ambas campañas se anclaron dos ADCP RDI de 300 kHz; uno en Playas Largas cercano a la constricción de Meninea y otro en isla San Andrés ubicada en canal Puyuhuapi (**Figura 1**), ambos fueron configurados para registrar cada 10 minutos. Los puntos geográficos y detalles técnicos se observan en el Cuadro 3.1

Cuadro 3.1. Ubicación de anclajes de ADCP.

Localización	Latitud °	Longitud °	Detalles	Fecha instalación		Fecha retiro	
				Inv	Prim	Inv	Prim
Playas Largas ADCP 2	-45.241	-73.675	Medición cada 10 minutos a 50 y 60 metros con celdas de 2 metros.	29/05/2015	24/09/2015	10/07/2015	14/12/2015
San Andrés ADCP 1	-44.937	-73.318	Medición cada 10 minutos a 70 metros con celdas de 2 metros.	30/05/2015	24/08/2015	10/07/2015	14/12/2015

El ADCP ubicado en Playas Largas presentó periodos de medición erróneos en ambas mediciones. Los datos confiables que se analizan en este informe son los comprendidos entre el 10-06-2015 al 10-07-2015, correspondientes al periodo de invierno y del 24-09-2015 al 28-09-2015, del periodo de primavera.

El ADCP situado en isla San Andrés, no registró datos en las capas superficiales de la columna de agua, atribuible a un fallo de medición del equipo, por lo que solo se obtuvieron resultados de los 14 a los 68 m de profundidad para el periodo de invierno y de los 10 a los 68 m para primavera.



Todas las mediciones fueron corregidas por desviación magnética local, de esta forma los valores quedaron orientados al norte geográfico. Con el fin de observar los residuales, es decir aquella parte de la corriente que queda después de remover las oscilaciones de marea, se utilizó un filtro pasabajos coseno-Lanczos con poder medio de 40 horas.

El análisis espectral de la corriente se realizó mediante el método de Welch (1967), que corresponde a una modificación del método de Bartlett (1948). Este método permite cuantificar la distribución de la energía en el dominio de la frecuencia a través de la varianza total de la serie. Los espectros calculados presentan 10 grados de libertad.

3.2.2. Hidrografía

Se obtuvieron registros de la columna de agua, en 6 estaciones de muestreo, las variables consideradas correspondieron a: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, también se incluyó la fluorescencia. Para esto se utilizó un CTD-O marca Seabird modelo 19 plus V2. Para la toma de muestra, fue utilizado un protocolo estándar de acuerdo a las recomendaciones del SHOA, posteriormente se realizó un post-procesamiento de la data obtenida, siguiendo los procedimientos recomendados por el fabricante, software SBE Data Processing de SeaBird, disponible en: http://www.shoa.cl/n_cendhoc/productos/Manual%20Actualizado/Metodologia2.html.

Las mediciones se efectuaron desde la superficie de la columna de agua (1 m), hasta la máxima profundidad dependiendo de la batimetría de fondo. Las estaciones de CTD-O fueron distribuidas entre la isla San Andrés, entrada del canal Puyuhuapi y proximidades a la isla Meninea, mediante una transecta de 6 estaciones (**Figura 3.1**). Se realizó una medición en la transecta señalada al inicio de la instalación de ADCP y también durante el retiro de los equipos, considerando los periodos de otoño y primavera (**Cuadro 3.2**).

Una vez que los datos fueron procesados, se construyó una matriz numérica integrando salinidad (psu), temperatura (°C), oxígeno disuelto (ml/L), en función de la profundidad y georeferenciada. La data fue graficada y analizada utilizando el software Ocean Data View 4.5, el cual es un software para la exploración interactiva, procesamiento, análisis y visualización de datos oceanográficos, hidrográficos, meteorológicos y otras características georreferenciadas, como ARGO, WOCE (World Ocean Circulation Experiment), World Ocean Database Project, SeaDataNet, World Ocean Atlas, and Medar/Medatlas projects.

Con la información de salinidad proporcionada por el CTD, se evaluó el parámetro de mezcla (n_s) de acuerdo a la fórmula propuesta por Haralambidou *et al.* 2010. Donde:

$$n_s = \frac{\partial S}{\partial m}$$



∂S = salinidad de fondo – salinidad superficie

S_m = (salinidad de fondo + salinidad superficie)*0.5

$N_s > 1$: la columna se encuentra altamente estratificada

N_s : entre 0.1-1 la columna de agua se encuentra parcialmente mezclada

$N_s < 0.1$ la columna de agua se encuentra altamente mezclada.

Se estimó el parámetro de mezcla para cada estación y luego este valor fue promediado para obtener un valor por periodo de medición (mayo, julio, septiembre y diciembre), para la comparación otoño v/s primavera.

Las bases de datos con información de ADCPs y CTD-O son entregadas, como archivo de texto plano (tabuladas, separadas por espacio y utilizando puntos). Cada archivo de texto posee un encabezado, donde se indica el origen de la fuente de datos, el lugar donde fueron tomados los datos, el instrumento utilizado y la posición geográfica del instrumento y/o datos.

Cuadro 3.2. Puntos geográficos de las estaciones de CTD-O, indicando las fechas de las mediciones:

Estaciones CTDO	Latitud °	Longitud °	Instalación otoño	Retiro otoño	Instalación primavera	Retiro primavera
1	-44.89612	-73.50347	30/05/2015	11/07/2015	24/09/2015	14/12/2015
2	-44.90141	-73.56754	29/05/2015	10/07/2015	24/09/2015	14/12/2015
3	-44.99603	-73.62468	29/05/2015	10/07/2015	24/09/2015	14/12/2015
4	-45.08727	-73.65845	29/05/2015	10/07/2015	24/09/2015	14/12/2015
5	-45.2404	-73.67339	29/05/2015	10/07/2015	24/09/2015	14/12/2015
6	-44.93513	-73.31949	29/05/2015	10/07/2015	24/09/2015	14/12/2015

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Correntometría euleriana

3.3.1.1. Mediciones de Otoño

Playas Largas. Las elipses de máxima varianza, que se observan en la **Figura 3.2**, sugieren que la oscilación de la corriente principal se genera en el eje norte-sur en los primeros 20 m superficiales, cambiando a noroeste-sureste en profundidades mayores.

La **Figura 3.3** presenta las series de tiempo de U y V residuales en la columna de agua, donde los flujos positivos de U y V se representan en rojo, mientras que los flujos negativos son azules. En la componente V, se observa una estructura de dos capas. La primera capa, va de la superficie hasta



los 25-30 m de profundidad y presenta dirección norte; por debajo de esta se encuentra una segunda capa más profunda que presenta dirección sur. El sistema de dos capas se ve interrumpido por periodos cortos en los que toda la columna de agua presenta circulación negativa, es decir dirección sur. La componente U, se caracteriza por presentar en general una estructura vertical monocapa con flujo de dirección este.

El diagrama del vector progresivo (**Figura 3.4**) muestra que las partículas de agua se desplazan en dirección noreste en la capa superficial-media y hacia el sureste en la capa más profunda.

Los espectros de la corriente (**Figura 3.5**) muestran que la mayor cantidad de energía está asociada a la banda semidiurna, con una mayor densidad espectral en la componente V. También se destacaron máximos relativos en la banda cercana a las 6 y 4 horas, atribuidos a la generación de armónicos de aguas someras.

El análisis armónico realizado a la corriente reveló una influencia mareal de 74% a 4 m, 79% a 10 m, 86% a 20 m, 87% a 30 m, 88% a 40 m, 86% a 44 m y 86% a 46 m.

Isla San Andrés. Las elipses de máxima varianza (**Figura 3.6**) muestran una dirección predominantemente noreste-suroeste, cercana al eje este-oeste, para las profundidades comprendidas entre los 14 y los 30 m; por debajo de ésta y a medida que aumenta la profundidad la dirección cambia a norte-sur y la magnitud disminuye.

La **Figura 3.7** presenta las series de tiempo de U y V residuales (para las profundidades comprendidas entre 14 y 68 m), donde los flujos positivos de U y V se representan en rojo, mientras que los flujos negativos son azules. La componente U se caracteriza por presentar una estructura monocapa con dirección principalmente este, que se ve interrumpida por periodos bicapa, como los que se observan el 15 y el 28 de julio en los que existe una capa superficial (14 m) de dirección este y una media de dirección oeste. Estos periodos cortos con estructura de dos capas preceden a su vez periodos cortos pero intensos de inversión direccional en las capas superficiales e intermedias. La componente V, que presenta magnitudes mucho menores, se caracteriza en general por tener circulación monocapa en dirección sur, con eventos cortos de inversión direccional.

El diagrama del vector progresivo (**Figura 3.8**) muestra que las partículas de agua se desplazan en dirección este a 14 m de profundidad, y en dirección sur – sureste a medida que aumenta la profundidad.

Los espectros de la corriente (**Figura 3.9**) muestran que la mayor cantidad de energía está asociada a la banda semidiurna, con una mayor densidad espectral en la componente U.

El análisis armónico realizado a la corriente reveló una influencia mareal de 25% a 14 m, 31% a 20 m, 35% a 30 m, 26% a 40 m, 32 % a 50 m, 37% a 60 m y 27% a 68 m.



3.3.1.2. Mediciones de Primavera

Sector Playas Largas. Las elipses de máxima varianza, que se observan en la **Figura 3.10**, sugieren que la oscilación de la corriente principal se genera en el eje norte-sur, presentando una ligera desviación hacia el noroeste-sureste en la capa superficial.

La **Figura 3.11** presenta las series de tiempo de U y V residuales en la columna de agua, donde los flujos positivos de U y V se representan en rojo, mientras que los flujos negativos son azules. En la componente V, se observa una estructura de dos capas. La primera capa, va de la superficie hasta los 30 m de profundidad y presenta dirección norte; por debajo de esta se encuentra una segunda capa más profunda que presenta dirección sur. Entre el 12 y el 13 de octubre, el sistema de dos capas se ve interrumpido por un periodo corto en el que toda la columna de agua presenta circulación negativa, es decir dirección sur. La componente U, se caracteriza por presentar en general una estructura vertical monocapa con flujo de dirección este.

Los espectros de la corriente (**Figura 3.12**) muestran que la mayor cantidad de energía está asociada a la banda semidiurna, con una mayor densidad espectral en la componente V. También destacaron máximos relativos en la banda cercana a las 6 y 4 horas, atribuidos a la generación de armónicos de aguas someras.

El análisis armónico realizado a la corriente reveló una influencia mareal del 59,6% a 2 m; 81,4% a 10 m; 88,1% a 20 m; 91,2% a 30 m; 88,9% a 40 m y 89,8% a 50 m.

Sector isla San Andrés. Las elipses de máxima varianza (**Figura 3.13**) muestran una dirección predominantemente noreste-suroeste, más cercana al eje este-oeste, a los 10 m de profundidad. Así mismo se observa que la magnitud disminuye a medida que la profundidad aumenta.

La **Figura 3.14** presenta las series de tiempo de U y V residuales (para las profundidades comprendidas entre 10 y 68 m), donde los flujos positivos de U y V se representan en rojo, mientras que los flujos negativos son azules. La componente U se caracteriza por presentar en general una estructura monocapa que alterna periodos de dirección este con periodos oeste. Esta estructura se ve interrumpida por cortos espacios de tiempo en los que se observa la formación de dos y tres capas.

Entre el 1 y el 7 de noviembre se observa una estructura de dos capas con dirección este entre los 10 y 55 m de profundidad y dirección oeste por debajo de ésta; a este periodo le sigue otro, del 9 al 19 de noviembre, en el cual las capas superficial y profunda sufren inversión direccional.

Los periodos en los que se observa la formación de tres capas van del 19 al 29 de noviembre y del 7 al 11 de diciembre, ambos presentan una capa superficial de dirección este, cuyo límite inferior varía para cada una de las etapas (30 m del 19 al 20 de noviembre y 15 m del 7 al 11 de diciembre),



seguida de una capa intermedia de dirección oeste que alcanza los 55 m de profundidad y una capa profunda de menor magnitud y dirección este.

La componente V, que presenta magnitudes mucho menores, se caracteriza por tener circulación general monocapa con dirección sur, en la que se observan eventos cortos de inversión direccional.

Los espectros de la corriente de la **Figura 3.15** muestran que la mayor cantidad de energía está asociada a la banda semidiurna, con una mayor densidad espectral en la componente U.

El análisis armónico realizado a la corriente reveló una influencia mareal de 23,5% a 10 m; 17,4% a 20 m; 19,9% a 30 m; 25,5% a 40 m; 26,8% a 50 m; 30,0% a 60 m y 23,6 % a 68 m.

3.3.2. Hidrografía

3.3.2.1. Mediciones de Otoño (Figuras 3.16 y 3.17)

Temperatura: la distribución vertical de la temperatura en mayo, evidenció una columna de agua homoterma, denotada por el bajo gradiente térmico $0,001^{\circ}\text{C}/\text{m}$, con algunas diferencias en superficie, en la estación próxima a la entra del canal Puyuhuapi donde se observó un mayor gradiente. La temperatura promedio fue de $10,9^{\circ}\text{C}\pm 0,3$. En contraste en julio se observó una inversión térmica con temperaturas mínimas en superficie, con un gradiente medio de $-0,04^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Los máximos registros fueron sub-superficiales, entre 50-75, bajo los 100m la temperatura tiende a estabilizarse. La temperatura en julio fue discretamente menor que en mayo (media $10,5^{\circ}\text{C}\pm 0,7$).

Salinidad: la distribución vertical de salinidad en la columna de agua, reveló las menores concentraciones en la capa superficial, que se hacen más marcadas hacia la entrada de Puyuhuapi ($\sim 10\text{psu}$), desde superficie hasta los 20m en mayo y 40m en julio aproximadamente, el gradiente medio fue de $0,1\text{ psu}/\text{m}$ para ambos periodos, después de esta capa superficial, la salinidad aumenta para estabilizarse en valores entre 31-32 psu, para ambos periodos, donde la columna se observa estratificada en la boca del Puyuhuapi, disminuyendo dicha estratificación hacia el canal Moraleda y la constricción de Meninea.

Oxígeno disuelto: la concentración de oxígeno presentó el mismo esquema de distribución vertical en mayo y julio, máximas superficiales, disminución de forma constante hasta alcanzar la profundidad de fondo, no obstante, es importante destacar que en ningún periodo se registraron bajas concentración de oxígeno (mínimas, por encima de $3\text{mL}/\text{L}$), lo que denota una columna de agua bien oxigenada.

3.3.2.2. Mediciones de Primavera (Figura 3.18 y 3.19)

Temperatura: la distribución vertical de la temperatura en septiembre denotó una columna de agua homoterma, tendiente a los 10°C con mínimas sub-superficiales. En diciembre se observó una



columna de agua estratificada con presencia de termoclina entre 0-25m (gradiente medio $-0,1^{\circ}\text{C/m}$), destacando las máximas superficiales cercanas a 14°C . Bajo los 50m la temperatura se estabiliza en torno a los 10°C .

Salinidad: la distribución vertical de salinidad reveló una columna de agua estratificada en ambas mediciones de primavera, mínimas superficiales. Sin embargo, el gradiente fue más marcada en septiembre $0,01^{\circ}\text{C/m}$, en contraste $0,07\text{psu/m}$ para diciembre. Bajos los 50 metros la salinidad se mantiene homogénea en valores centrados en 33 psu.

Oxígeno disuelto: la concentración de oxígeno sobresalió con los máximos valores, en superficie para septiembre (10 mL/m). Entre superficie y 25 metros la concentración disminuye abruptamente, hasta alcanzar valores en torno a los 5 mL/m . Bajo los 50 metros, la concentración sigue disminuyendo aunque de manera paulatina alcanzando mínimos de $3,5\text{ mL/m}$. En diciembre se observa un patrón similar, aunque de menor magnitud con máximos de 8 mL/m , en superficie disminuyen marcadamente hasta los 30, bajo los 50 metros la concentración disminuye de forma paulatina hasta alcanzar mínimos de $\approx 3\text{ mL/m}$.

Estratificación: El parámetro de mezcla (**Figura 3.20**) indicó que para todo el periodo de estudio, la columna de agua estuvo parcialmente mezclada, destacando que la menor mezcla se produjo en el periodo de otoño, en contraste los menores valores se registraron en primavera, proponiendo una tendencia a mayor mezcla.

Fluorescencia: En el periodo de otoño (**Figura 3.21**), en las mediciones de mayo, solo se observó un núcleo significativo en la estación próxima a la isla San Andrés, con concentraciones de 2 mg/m^3 ya una profundidad aprox. de 5m. El resto de las estaciones presentan concentraciones medias de $0,5\text{ mg/m}^3$. Para el periodo de julio se observaron 2 núcleos significativos, nuevamente en la estación cercana a isla San Andrés y en la estación 4. El primero, focalizado a los 10 metros con máximas de 5 mg/m^3 , el segundo con máximas de 2 mg/m^3 . Sobre los 20 metros la concentración se observa sobre 1 mg/m^3 .

En el periodo de primavera (**Figura 3.22**), en septiembre sobresalen 2 núcleos caracterizados por los máximos valores registrados de clorofila, focalizadas entre superficie y 10m (30 mg/m^3) en canal Moraleda entre isla Tangbac e isla Meninea. En el segundo núcleo correspondiente a la estación cercana con isla San Andrés, la máxima de clorofila fue de 20 mg/m^3 . Además destaca que en estas mediciones, la concentración de clorofila fue $\approx 5\text{ mg/m}^3$ sobre los 20m, para todas las estaciones. En diciembre la clorofila exhibió un patrón diferente, destacando menores valores, con un núcleo de $\approx 8\text{ mg/m}^3$, en las estaciones ubicadas entre isla Tangbac e isla Meninea. El resto de las estaciones registró valores entre $2\text{--}4\text{ mg/m}^3$, sobre los 20 metros.



3.4. DISCUSIÓN

Los análisis de corrientes realizados en el área de estudio muestran un fuerte predominio de la marea sobre la corriente en el sector de isla Meninea, presentando una menor influencia de ésta en la entrada sur del canal Puyuhuapi, frente a Puerto Gaviota. En los dos sectores de estudio, el control es ejercido mayormente por la componente semidiurna (M2) de periodo de 12 horas, sin embargo, en isla Meninea se destacaron máximos relativos en la banda cercana a las 6 y 4 horas, característica propia de aguas someras.

La orientación de la corriente podría ser modulada por la configuración costera, ya que los resultados mostraron una alineación entre el eje de los canales y los ejes de máxima varianza, norte-sur para isla Meninea y este-oeste para Puerto Gaviota.

El flujo residual en el sector de Playas Largas muestra un patrón de dos capas, con desplazamiento en dirección norte en la capa superficial y sur en la capa profunda, este patrón es debido a la circulación estuarina descrita por Silva *et al.* (1998), donde la primera capa se debe a la descarga de agua dulce a la cuenca y la segunda capa es de influencia oceánica. Éste patrón se puede ver interrumpido por periodos cortos y puntuales, en los que se observa una única capa de dirección sur para todo el perfil de la columna de agua, según Valle-Levinson *et al.* (2004), este cambio en la estructura de circulación se debe al efecto de fuertes vientos (>10 cm/s) provenientes del norte, los que debilitan los flujos de intercambio cambiando el sentido de ambas capas o formando una tercera capa de intercambio.

Frente a isla San Andrés, el flujo de circulación residual presenta periodos en los que la columna de agua se comporta de forma homogénea que alterna periodos con desplazamiento neto hacia el este y hacia el oeste, interrumpidos por periodos cortos que muestran un patrón de dos capas, en los cuales la capa media y superficial se desplaza hacia el este, entrando en el canal Puyuhuapi, mientras que la capa profunda de salida se mueve en dirección el oeste, pudiéndose formar una tercera capa de entrada de flujo al canal cercana al fondo.

La falta de datos de corriente en los metros superficiales de la columna de agua frente a isla San Andrés, pudiera estar relacionada con la distribución de zooplancton en el canal Puyuhuapi, según Pérez Santos *et al.* 2015, éste se sitúa en la superficie durante la noche y migra a capas más profundas durante el día, por lo que la ausencia de partículas en superficie durante las horas de luz podría ser la causa de que el equipo no registre datos.

Las mediciones hidrográficas presentaron el patrón espacial y estacional característico para esta área con una estructura de 2 capas: una columna de agua menos salina en la capa superficial, con inversión térmica en invierno y presencia de termoclina en primavera (diciembre), elevadas concentraciones de oxígeno disuelto (aguas bien oxigenadas), mientras que en la capa más



profunda, se observaron salinidades mayores, producto de la intrusión de agua de condiciones oceánicas y con menores concentraciones de oxígeno disuelto, aunque nunca con valores por debajo de la hipoxia.

La biomasa fitoplanctónica, medida relativa y aproximada a través de la fluorescencia, mostró mayores concentraciones para el periodo de primavera, sobresaliendo con importantes núcleos en canal Moraleda y entrada del canal Puyuhuapi, que fueron más significativos en septiembre, para este periodo de medición, las condiciones hidrográficas evidenciaron una columna de agua con mayor grado de mezcla y homoterma, de acuerdo a Ramírez y Pizarro 2005, estas condiciones generan transporte en la biomasa a capas superficiales con mayor luminiscencia lo que favorece y/o estimula la proliferación fitoplanctónica. Además Avaria *et al.* (1997), señalan a la zona confluida entre el canal Moraleda (antes de la constricción de Meninea), Jacaf y Puyuhuapi, como una zona de elevada productividad primaria, dentro de los canales y fiordos entre la X y XI región.

3.5. CONCLUSIONES

- En Playas Largas, el análisis de las componentes ortogonales y la dirección neta del desplazamiento muestran la presencia de una columna de dos capas, con un desplazamiento principalmente norte en la capa superficial y sur en la capa profunda. Dicho patrón se ve interrumpido por periodos cortos en los que la columna de agua se comporta de forma homogénea con un desplazamiento neto hacia el sur.
- Al frente de isla San Andrés, en el canal Puyuhuapi, los análisis de las componentes ortogonales y la dirección neta del desplazamiento muestran una estructura vertical homogénea que alterna periodos con dirección este y oeste. Interrumpidos con periodos que presentan un patrón de circulación de dos capas, una capa media con dirección este y una más profunda con dirección oeste, pudiéndose generar una tercera capa de compensación más profunda y con dirección este.
- La columna de agua se registró más estratificada hacia la boca del Puyuhuapi, disminuyendo esta estratificación hacia el canal Moraleda y constricción de Meninea. La estratificación también fue más notoria en otoño que en primavera.
- La columna de agua estuvo bien oxigenada, durante ambos periodos, con valores mayores a 3 ml/L, estos máximos estuvieron relacionados con los máximos núcleos de clorofila tanto en la isla San Andrés como en canal Moraleda.



3.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avaria, S., Cassis, D., Muñoz, P. & P. Vera. 1997. Distribución del microfitoplancton marino en aguas interiores del sur de Chile en octubre de 1995 (Crucero CIMARFiordo 1). Cienc. Tecnol. Mar, 20: 107-123.
- Bartlett M.S. 1948. Smoothing periodograms from time-series with continuous spectra. Nature (Londres), 161, 686-687.
- Haralambidou, K., Sylaios, G., and V.A. Tsihrintzis, V. A. 2010. Salt-Wedge propagation in Mediterranean micro-tidal river mouth, Estuar. Coast Shelf Sci., 90, 174–184.
- Pérez-Santos, I., W. Schneider & L. Fernández. Features and variability of the Cuban Countercurrent in Yucatan basin, Caribbean sea. Ciencias Marinas, 41(1): 65-83.
- Ramírez B., E. Pizarro. 2005. Distribución de la clorofila *a* y feopigmentos en los canales australes chilenos comprendidos entre Puerto Montt y la laguna San Rafael, Chile. Cienc. Tecnol. Mar. 28(1): 45-62.
- Silva, N., Calvete M. & H. A. Sievers 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael, Chile (Crucero CIMAR Fiordo 1). Cienc. Tecnol. Mar, 21: 17-48.
- Valle-Levinson, A. and J.L. Blanco. Observations of wind influence on exchange flows in a strait of the Chilean Inland Sea, J. Marine Research, 62(5), 721-741, 2004.
- Welch P.D. 1967. The use of fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short modified periodograms. IEEE Transactions and Audio Electroacoustics, AU-15, 70-73.

INFORME FINAL

Capítulo 4:D

Distribución y abundancia de microalgas nocivas, particularmente de *Alexandrium catenella*, y su relación con patrones de circulación en fiordos y canales.



INFORME FINAL:

Capítulo 4:D

Distribución y abundancia de microalgas nocivas, particularmente de *Alexandrium catenella*, y su relación con patrones de circulación en fiordos y canales

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Oscar Espinoza González
Valentina Besoain Meneses
Rodrigo Martínez González
Pamela Carbonell Arias
Leonardo Guzmán Méndez

COLABORADORES

Javier Monsalve Montecinos
Elías Pinilla Matamala



4.1. OBJETIVOS

4.1.1. Objetivo específico

Distribución y abundancia de microalgas nocivas, particularmente de *Alexandrium catenella*, y su relación con patrones de circulación en fiordos y canales.

4.2. METODOLOGÍA

Como forma dar respuesta a este objetivo, se ha propuesto una metodología que permita: a) el levantamiento de la información necesaria para la modelación de la distribución y densidad de *A. catenella* a partir de una revisión bibliográfica de las tasas ecofisiológicas; b) generar nuevos datos de aquellas tasas ecofisiológicas que han sido poco estudiadas realizando bioensayos con distintas cepas de *A. catenella* y c) la estimación de la distribución y densidad de *A. catenella* en tres lugares selectos a partir del desarrollo de un modelo conceptual que incluya los factores y procesos que regulan el crecimiento y la mortalidad de esta especie y su posterior modelación en un modelo acoplado físico-biológico.

4.2.1 Revisión bibliográfica de las tasas ecofisiológicas de *A. catenella*

Se realizó una revisión bibliográfica para determinar el rango en la tasa de crecimiento (div d^{-1}) para distintas cepas de *A. catenella*, las que fueron aisladas en diversos sectores de la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes (**Tabla 4.1**). Además se obtuvieron referencias de cepas de este dinoflagelado pero aislado en aguas mediterráneas y asiáticas. Independiente del lugar que fueron aisladas, cada cepa fue cultivada bajo determinadas condiciones de temperatura, salinidad, fotoperiodo e intensidad lumínica.

4.2.2 Bioensayos con distintas cepas de *A. catenella*.

4.2.2.1. Implementación y mantención del cepario.

Se utilizarán condiciones estándar de cultivo para 9 cepas diferentes de *Alexandrium catenella* las cuales han sido aisladas desde el sur de Quellón hasta estrecho de Magallanes. Los detalles y características de cada una de las cepas se presentan en la **Tabla 4.2**.

Para la preparación del cultivo, el agua de mar debe ser obtenida de un lugar alejado de la costa, libre de sedimentos finos y de un área no contaminada (González *et al.*, 1995). Se realiza un pre-filtrado con filtros de fibra de vidrio, con apertura de poro de $0.7\mu\text{m}$. Posteriormente, se realiza una



filtración con filtros de nitrato celulosa de 0.2 μm , para luego ser esterilizada en autoclave durante un periodo de 50 minutos a 121 °C y 1.05 Kg m^{-2} . El agua autoclavada es enriquecida con medio L1 sin adición de silicatos (Guillard y Hargraves 1993) el cual es una modificación del medio F/2 (Guillard & Ryther 1962) (**Figura 4.1**).

Cada una de las cepas será mantenida en una sala de cultivo, con condiciones controladas de temperatura (entre 10 a 15°C), fotoperiodo (12:12 horas, luz: oscuridad) e intensidad lumínica (60 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Las cepas se mantendrán en tubos de ensayo taponados con algodón hidrófobo cubierto con gasa, el cual permite una adecuada aireación de los tubos y evita el ingreso de contaminantes. Las cepas deben ser agitadas de manera suave diariamente, controlando la carga bacteriana y de protozoos cada 15 días a través de microscopia convencional. Cada cepa puede ser replicada cada 30 días. Para sembrar a volúmenes mayores, ocupar sólo una pequeña fracción de la cepa.

La manipulación de la cepa debe realizarse en una adecuada cámara de transferencia (ejemplo, cámara de flujo laminar), para crear un espacio libre de polvo y probabilidades de contaminación. Si no se dispone de esta cámara, se puede suplir con dos mecheros a una distancia aproximada de 1 m, creando un flujo libre de contaminantes. La superficie de la cámara debe ser desinfectada con alcohol al 70%, el cual ayuda a remover posibles contaminantes. Se debe disponer de un mechero para la esterilizar los instrumentos de inoculación (ej. pipetas Pasteur).

4.2.2.2. Cultivos de *Alexandrium catenella*

El cultivo inicial se desarrolla por triplicado en matraces de 150 ml los cuales contienen 100 ml agua de mar filtrada y enriquecida con medio L1. La inoculación de las algas se realiza cuando todo el material esterilizado (autoclavado) ha alcanzado la temperatura deseada para el crecimiento de cada cepa, transfiriendo asépticamente bajo una campana previamente tratada con luz UV un volumen de 1 a 5 ml de cepa al medio fresco. La boca de estos recipientes se debe flamear en mechero para “quemar” microorganismos que pueden ingresar al interior.

Los recuentos de células se realizarán diariamente, extrayendo 2 ml de muestra de cada matraz (con previa agitación suave) en un tubo Eppendorf agregando una gota de Lugol. Estas se contabilizaran en una cámara Sedgewick-Rafter a través de microscopia convencional o invertida (Garrido *et al*, 2012).

Los cultivos se irán escalando a matraces de mayor volumen una vez se haya alcanzado el crecimiento óptimo de cada cepa, manteniéndose siempre en una cámara fría termoregulada con una temperatura controlada entre 10 - 15°C, un fotoperiodo de 12/12 h y con una iluminación de 80 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ proveniente de luces fluorescentes blancas frías.



4.2.2.3. Tasas de crecimiento de *Alexandrium catenella*

De las 9 cepas cultivadas se utilizarán solo 3 (1 de cada región), teniendo como criterio de selección las de mejor crecimiento durante el periodo de prueba con las condiciones estándar antes mencionadas. Para la obtención de organismos en buen estado, las cepas seleccionadas serán aclimatadas por un periodo de 10 días o hasta que el cultivo alcance la fase exponencial, tiempo en el cual serán resemebrados en matraces de 250 ml para comenzar el cultivo experimental.

Diseño experimental

Los cultivos experimentales de cada una de las cepas seleccionadas se realizarán bajo campana previamente desinfectada con metanol al 70% y luz UV para evitar contaminación.

Se inocularán 5 ml de cultivo en fase exponencial en matraces autoclavados de 250 ml cada uno con 200 ml con agua de mar esterilizada y enriquecida con medio de cultivo L1. Cada uno de los inóculos de las tres cepas seleccionadas se realizará por triplicado. Los cultivos se mantendrán en una cámara fría, con temperatura, luz y fotoperiodo controlado los cuales variarán según los requerimientos de cada experimento.

El día de inicio del experimento se tomarán 3 submuestras de 1 ml de cada uno de los matraces experimentales (tiempo inicial o T_0) y serán fijadas en una solución de Lugol (concentración final 2%). Este mismo procedimiento para la toma de muestras se realizará cada dos días para su posterior conteo en cámaras Sedwick-Rafter para su posterior conteo bajo microscopio (ver esquema **Figura 4.2**).

Cálculo tasas de crecimiento

Las tasas específicas de crecimiento (μ) para cada especie, definidas como el incremento en la abundancia de células por unidad de tiempo se estimarán con la ecuación logística de crecimiento aplicando el logaritmo de base 2 del número de células, considerando que es la más adecuada para describir el crecimiento de los dinoflagelados que durante los florecimientos y en cultivo presentan reproducción binaria.

$$\mu = [\text{Log}_2 C_t - \text{Log}_2 C_i] / [\Delta t]$$

Donde; μ es la tasa de crecimiento específica para cada grupo de células, C_t y C_i son las abundancias celulares expresadas como el número de células obtenidas en los conteos en los tiempos al término e inicio de la incubación, y Δt es el intervalo de tiempo en días u horas transcurridos entre cada conteo. Para las curvas de crecimiento de cada especie se contarán las tres réplicas y se utilizará el valor promedio.



4.2.2.4. M3todo de incubaci3n en botellas

El m3todo de incubaci3n por botellas es el 3nico m3todo directo que permite distinguir el tipo de part3cula-alimento que es ingerida (eliminada del medio) por los consumidores, ya sea alimento natural, cultivado o artificial a trav3s del monitoreo de los cambios de concentraciones durante el periodo de concentraci3n. Aunque es aplicado principalmente para organismos meso-zooplanc3nicos, tambi3n se puede aplicar a organismos del microplancton, principalmente en experimentos con cultivos.

Dise1o experimental

El m3todo consiste b3sicamente en tomar 3 botellas control sin depredadores y 3 botellas con ~ 4 a 5 consumidores meso-zooplanc3nicos peque1os (e.g. *Paracalanus*, *Acartia*) en botellas de 500 mL o 2 a 3 depredadores grandes (*Calanus*, *Centropages*) para mantener la concentraci3n ambiental de organismos (2-12 cop3podos L-1) (Peterson *et al.* 1988). Los depredadores (en nuestro caso cop3podos) ser3n colectados mediante lances verticales a 10 m de profundidad, usando una red WP-2 (tama1o trama 200 μ m) con un copo no filtrante de volumen aproximado entre 20 a 30 L para evitar da1ar los organismos.

Se realizar3 paralelamente otro experimento con una comunidad natural de organismos, para lo cual el agua de incubaci3n ser3 recolectada a trav3s de botellas Niskin y previamente filtrada por un tamiz de 200 μ m para remover posibles consumidores meso-zooplanc3nicos. Luego se agregar3n la misma cantidad de cop3podos de las botellas experimentales anteriores + la adici3n de una concentraci3n ambiental de *Alexandrium catenella* (estimada a trav3s de datos promedio para las zonas de estudio), esto con el fin de ver selecci3n de part3culas por parte de los depredadores y hacer una estimaci3n de tasas de ingest3n en condiciones ambientales naturales. Todas las botellas ser3n colocadas en una rueda de plancton (0.8 rpm) a temperatura controlada (la que depender3 del objetivo del estudio) por aproximadamente un periodo entre 20 a 24 h. Desde una botella extra, similar al control, se tomar3n submuestras iniciales (T_0) preservadas inmediatamente en una soluci3n 3cida de Lugol al 2%. Finalizada la incubaci3n, se tomar3n submuestras de cada una de las botellas: Para el caso del experimento solo con cultivos de *Alexandrium catenella* se tomar3n 20 mL de cada botella y ser3n preservados en una soluci3n 3cida de Lugol para determinaci3n de concentraci3n y conteo de c3lulas en c3maras Sedgewick-Rafter. Para el caso de experimento con una oferta natural de alimento los conteos se realizaran siguiendo la metodolog3a de Uterm3hl (1958) (ver esquema **Figura 4.3**).

Calculo tasas de ingest3n

Las tasas de aclaramiento e ingest3n son estimadas utilizando una modificaci3n de las ecuaciones propuestas por Frost (1972). La tasa de aclaramiento se estima a partir de los cambios en la abundancia de las presas y asumiendo que una proporci3n constante de c3lulas es removida por unidad de tiempo (Bamstedt *et al.* 2000):



$$F = \left(\frac{V}{N \times t} \right) \ln \left(\frac{C_e}{C_c} \right)$$

donde: **F** es la tasa de aclaramiento (e.g. ml ind⁻¹h⁻¹); **V** es el volumen de incubaci3n (ml); **N** es el n3mero de depredadores; **t** es el tiempo de incubaci3n; **C_c** es la concentraci3n de c3lulas en botellas control y **C_e** es la concentraci3n de c3lulas en la botella experimental.

La tasa de ingest3n se define como:

$$I = F * C$$

donde: **I** es la tasa de ingest3n (e.g. cell ind⁻¹d⁻¹) y **C** es la concentraci3n de c3lulas iniciales.

4.2.3 Modelaci3n f3sico-biol3gica de la distribuci3n y densidad celular de *Alexandrium catenella*

El principal objetivo de este estudio es modelar la distribuci3n y la abundancia num3rica de *A. catenella* en los tres sectores seleccionados en la Etapa VIII de este programa de monitoreo (Puerto Barrientos -43°56'23"; -73°58'24", Isla San Andr3s -44°55'57"; -73°19'28" y Playas Largas -45°15'00"; -73°41'44") (**Figura 4.4**). Como forma de mejorar los ejercicios de modelaci3n realizados en la etapa anterior, se utilizar3 un modelo f3sico-biol3gico para estimar la distribuci3n y abundancia de *A. catenella* sabiendo que la distribuci3n y densidad de esta especie est3 determinada por procesos f3sico-biol3gicos. Esto implica resolver, a trav3s de un modelo hidrodin3mico, el patr3n de corrientes en la zona de estudio, el cual estar3 condicionado por forzantes como la batimetr3a, mareas, temperatura y salinidad del agua, viento y presi3n atmosf3rica a nivel del mar y fuentes de agua dulce. Posteriormente, el modelo biol3gico debe ser acoplado a la modelaci3n hidrodin3mica, la que nos deba permitir modelar el crecimiento de *A. catenella* en funci3n de la temperatura, salinidad, luz y nutrientes y su muerte o remoci3n de la columna de agua, mediada por variables como la predaci3n (grazing), senescencia celular y sedimentaci3n (enquistamiento).

La distribuci3n y abundancia del *A. catenella* (AC) en el medio marino es controlada por la combinaci3n de procesos f3sicos y biol3gicos, por lo tanto el modelo de distribuci3n de *A. catenella* es un modelo acoplado biof3sico, por lo tanto la concentraci3n en un punto en el tiempo y el espacio es descrita por la ecuaci3n de advecci3n-difusi3n,

$$\frac{\partial AC}{\partial t} = - \left(\frac{u \partial (AC)}{\partial x} + \frac{v \partial (AC)}{\partial y} + \frac{w \partial (AC)}{\partial z} \right) + K_z \left(\frac{\delta^2 AC}{\delta z^2} \right) + K_h \left(\frac{\delta^2 AC}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 AC}{\delta y^2} \right) + S_0 + W_0$$

El primer t3rmino ($\frac{\partial AC}{\partial t}$) hace referencia a la variaci3n de concentraci3n de *A. catenella* en el tiempo, el segundo y tercer t3rmino representan ($\frac{u \partial (AC)}{\partial x} + \frac{v \partial (AC)}{\partial y}$) la advecci3n lateral y horizontal, es decir el transporte generado por el movimiento del fluido; el cuarto t3rmino ($\frac{w \partial (AC)}{\partial z}$) a la advecci3n vertical



que son procesos como la surgencia o downwelling; el quinto y sexto t3rmino $(K_z \left(\frac{\delta^2 AC}{\delta z^2} \right); K_h \left(\frac{\delta^2 AC}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 AC}{\delta y^2} \right))$ representan la difusi3n vertical y horizontal; (S) representa las fuentes internas que producen o quitan *A. catenella* del medio, es decir crecimiento celular y mortalidad y el 3ltimo t3rmino (W_0) representa a las fuentes externas de *A. catenella* por ejemplo a las c3lulas enquistadas en el sedimento que pasan a la columna de agua, sin embargo este modelo no dara cuenta de este proceso. Los t3rminos que involucran u, v y w son derivados del modelo hidrodinámico y el t3rmino S representa el modelo biol3gico.

4.2.4. Modelo Hidrodinámico

El modelo hidrodinámico fue construido en MIKE3 el que fue desarrollado por el Instituto de Hidráulica Dan3s (DHI), este modelo resuelve las ecuaciones tridimensionales de Navier-Stokes con el promedio de Reynolds para un fluido incompresible y con las aproximaciones de Boussinesq y presi3n hidrostática por lo que el modelo consiste en la resoluci3n de las ecuaciones de conservaci3n de masa y momentum, temperatura, salinidad y densidad considerando un esquema turbulento de cierre. Como algoritmo de soluci3n discreta de las ecuaciones indicadas, el modelo utiliza el m3todo de vol3menes finitos centrados en cada celda. La estructura de discretizaci3n (**Figura 4.5**) es una malla no estructurada de elementos triangulares donde la gran ventaja es la utilizaci3n de flexibilidad geom3trica permitiendo un buen ajuste en los bordes costeros lo que permite lograr alta resoluci3n en la regi3n de inter3s (1000m), sin embargo en este modelo la grilla fue construida adem3s con elemento rectangulares.

El modelo regional abarca toda la regi3n de Ays3n incluyendo la zona del Chilo3, esto debido a lo complejo de la batimetría del sector, la que se caracteriza por ser desmembrada provocada por el avance y retrocesos de glaciares, donde la presencia de la falla Liquiñe-Ofqui condiciona la direcci3n de los canales y fiordos (Delgado, 2004). Adem3s un amplio dominio evita la propagaci3n de errores e inestabilidad del modelo y representa mejor procesos externos que influyen el área de estudio, abarcando las característic3s propias del sistema a simular.

La batimetría del dominio se construy3 a partir de datos discretos de profundidad (**Figura 4.6**), obtenidos del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y la Carta Batimétrica General de los Océano (GEBCO sigla en inglés); estos datos posteriormente fueron interpolados sobre la malla del dominio mediante el m3todo de vecino natural, 3l que consiste en interpolar un punto a trav3s de un promedio ponderado el que es calculado a partir de datos cercanos a 3l, los cuales forman un polígono (polígono de Thiessen) y cuyos pesos son proporcionales al área.

El modelo fue iniciado el 19 de Mayo del 2014 y simula aproximadamente un mes, en donde la columna de agua fue dividida en 15 niveles verticales sigma y con una resoluci3n de ~14 Km en zonas oceánicas y de ~200 m en los fiordos y por ende en la zona de inter3s. Se utiliz3 como condiciones de borde, el nivel del mar, datos que fueron obtenidos del modelo de predicci3n de



marea de MIKE llamado modelo global de marea, el cual utiliza datos de altimetría satelital medidos los últimos 17 años por los satélites TOPEX/POSEIDON, Jason-1 y Jason-2.

Los bordes y condiciones iniciales de temperatura y salinidad fueron construidos a partir de datos obtenidos del modelo global MERCATOR desarrollado por MercatorOcean, el que tiene una resolución horizontal de $1/12^\circ$ y vertical de 1 m.

Para las forzantes atmosféricas, se utilizaron datos de viento y presión atmosférica del modelo del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF sigla en inglés), este es un modelo global donde el plano vertical de la atmósfera está dividida en 60 niveles verticales con una resolución horizontal de 0.75° y el que es capaz de generar predicciones hasta 10 días.

Las fuentes de agua dulce que fueron incluidas en el modelo (**Figura 4.7**), se obtuvieron a través de un método de aproximación. Este método consistió en extrapolar los caudales conocidos, obtenidos en el Balance Hídrico de Chile 1987 de la Dirección General de Aguas (DGA), a las cuencas cercanas de las cuales no se dispone información; siendo la relación las superficies de ambas cuencas la que determine cuál será el caudal estimado de la cuenca de la que no tenemos información de descarga.

Calibración

Con el fin de caracterizar el comportamiento de la corriente en zonas aledañas a los sectores de interés y calibrar el modelo, se compararon las tendencias de las corrientes residuales de observaciones de la sección de ADCP remolcado con las salidas del modelo en la misma transecta.

Las transectas de ADCP remolcado se realizaron en invierno del 2011 (**Tabla 4.3**) en sectores cercanos al área de interés (**Figura 4.6**).

Para obtener la corriente residual de los datos observados se removieron las señales de frecuencia semidiurna representada por la constituyente M2 (periodo de 12.42 horas) y diurna representada por la K1 (periodo de 23.93 horas) durante uno o más ciclos de marea, dejando así la señal submareal. Para ello los datos del ADCP fueron corregidos siguiendo el método de Joyce (1989), donde los datos erróneos de velocidad fueron eliminados siguiendo la metodología propuesta por Valle-Levinson y Atkinson (1999); con el fin de eliminar la señal submareal se utilizó el uso análisis de regresión sinusoidal de mínimos cuadrados (Lwiza *et al.*, 1991). La señal submareal representó el flujo residual o promedio de estas dos componentes armónicas para el período de mediciones.

Evaluación

Para la evaluación del modelo, se utilizarán índices estadísticos, los que miden calidad mediante medidas de precisión y de habilidad. Estas funciones son medidas globales de precisión, en el sentido de que solo consideran la distribución conjunta, calculando la distancia entre los datos



previstos y los observados. Por lo tanto, resultan mejor representados los eventos frecuentes. Se utilizaron dos índices estadísticos el error medio cuadrático normalizado (NRMSE) y el coeficiente de correlación.

El NRMSE, es una medida cuadrática que mide la media de la magnitud del error expresada en porcentaje, la que no muestra la dirección de las desviaciones y su cálculo consiste en;

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}}{y_{\max} - y_{\min}} \cdot 100$$

Donde,

X = dato modelado.

Y = dato observado.

n = número de datos.

El coeficiente de correlación, es una medida estadística que mide la relación entre dos variables, oscila entre -1 y 1, siendo el signo la dirección y la cifra la magnitud de la relación, la que se calcula de la siguiente manera;

$$R = \frac{Cov_{xy}}{S_x S_y}$$

Donde,

Cov_{xy}= covarianza entre el modelo y la observación.

S_x= desviación estándar del modelo.

S_y= desviación estándar de la observación.

Estos índices fueron calculados para datos de nivel del mar, ADCPs anclados y CTDs (**Figura 4.8**).

Los datos del nivel del mar fueron obtenidos de las estaciones de monitoreo en línea de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC sigla en inglés), en las estaciones de Puerto Chacabuco (-72.820°;-45.467°) y Melinka (-73.748;-44.898).

Los ADCP anclados utilizados para la evaluación fueron instalados en los canales Pérez Sur (-73.795°;-44.743°) y Goñi (-74.038°;-44.871°), entre el 27 de mayo al 2 de julio del 2014, ambos modelo RDI 300 khz fueron configurados para registrar cada 10 min con un tamaño de celda de 2m. Los datos fueron sometidos al análisis espectral mediante el método de Welch (1967), con el fin de cuantificar la distribución de la energía en el dominio de la frecuencia a través de la varianza total de la serie, para ello se utilizaron 10 grados de libertad.



Los datos de CTD fueron registrados con un Seabird 19plus V2, durante mayo del 2014, los detalles de la posición y fechas de las estaciones se detallan en las **Tablas I y II** del Capítulo 3 de este informe.

4.2.5. Modelo Biológico

El modelo biológico dará cuenta de procesos que ocurren en la columna de agua y para ello se construirá un modelo a partir del modelo conceptual, el que será desarrollado en la herramienta ECOLab (DHI, 2007) del software MIKE, esta herramienta se encuentra integrada a las salidas del modelo hidrodinámico MIKE3 y describe a través de ecuaciones diferenciales los procesos biológicos que controlan la evolución de *A. catenella*.

En las especies que siguen un crecimiento de forma exponencial (como la mayoría del fitoplancton), los factores que regulan la densidad celular en el tiempo y espacio incluye un número de células inicial (N_0), la tasa de crecimiento (μ) y las pérdidas totales (PT), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N = N_0 e^{(\mu - PT)}$$

Donde las pérdidas totales (PT) representa la remoción desde la columna de agua de las células de *A. catenella* debido a procesos como la mortalidad celular, el pastoreo por el zooplancton y la sedimentación (enquistamiento). Por su parte, la tasa de crecimiento (μ) es dependiente de factores abióticos como la temperatura (T), salinidad (S), irradiancia no espectral (E) y para aquellos ambientes donde existe limitación por nutrientes, la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos (NID).

La parametrización del crecimiento toma la forma sugerida por Platt y Jassby (1976) que incluye la irradiancia y que fue usada por Langdon (1987, 1988) en sus estudios del crecimiento del fitoplancton:

$$\mu(E, T, S) = (\mu_{max}(T, S) + \mu_0^r) \tanh\left(\frac{\alpha_g \times E}{(\mu_{max}(T, S) + \mu_0^r)}\right) - \mu_0^r$$

Donde μ_{max} es la tasa de crecimiento máxima (días⁻¹) para una determinada temperatura (T) y salinidad (S), μ_0^r es la tasa de respiración basal (días⁻¹), E es el promedio de la irradiancia diaria (watts m⁻²) y α_g es la eficiencia de crecimiento (m² watt⁻¹ d⁻¹).

Mientras que, la dependencia de μ_{max} con la temperatura y la salinidad puede ser formulada de la siguiente forma:



$$\mu(T, S) = \mu(T_{op}, S_{op}) \times f(T) \times f(S)$$

Donde T_{op} y S_{op} son la temperatura y salinidad óptima para el crecimiento de *A. catenella*. Según Stock *et al.* (2005), la dependencia de la tasa de crecimiento en función de la temperatura $f(T)$ y salinidad $f(S)$ es construida a partir de datos de laboratorio, a los cuáles se le ajusta un modelo polinomial cúbico. En nuestro caso, se utilizarán los datos de temperatura, salinidad y tasas de crecimiento recogidos a partir de la revisión bibliográfica de distintos trabajos incluidos en la **Tabla 4.1** para ajustar con ellos el mejor modelo de dependencia de la tasa de crecimiento a estas dos variables.

Como forma de ajustar el rango de temperatura y salinidad obtenidos a partir de la bibliografía a los rangos de valores realmente medidos en los puntos donde se desarrollará la modelación, es que se graficó la dispersión de temperatura, salinidad y densidad de *A. catenella* con los datos colectados en el monitoreo de las mareas rojas (2006 – 2014). El amplio rango de valores registrado tanto para la temperatura (7,9 a 18,9 °C), como para la salinidad (11,7 a 34,2 PSU) da cuenta de la alta variabilidad que se observa la zona de estudio, sin embargo, debemos destacar que los máximos valores medidos de densidad de *A. catenella* se encuentran en un rango estrecho de temperatura (12,7 a 13,4 °C) y salinidad (26,6 a 33,2 PSU).

Tanto las estimaciones de la eficiencia de crecimiento α_g , como la tasa de respiración basal μ_0^r específicas para *A. catenella* deben ser obtenidas a partir de referencias bibliográficas que consideren un rango de luz similar al registrado en la zona de estudio.

La modelación biológica asumirá que en nuestra zona de estudio no existe una dependencia de los nutrientes para el crecimiento de *A. catenella*, por lo que la disponibilidad ambiental de nutrientes inorgánicos disueltos (*NID*) no son limitantes y por lo tanto, que la tasa de crecimiento (μ) es controlada por factores como la temperatura, salinidad y luz.

Al respecto se asumirá que en nuestro ambiente el crecimiento de *A. catenella* está controlado por los factores temperatura, salinidad y luz, por lo que nuestras hipótesis de trabajo deben ser probadas en estos ambientes. Otros factores, contemplados en el modelo conceptual (**Figura 4.9**), como la mixotrofia, relaciones alelopáticas, tasas de germinación de quistes y turbulencia no serán consideradas en esta primera etapa de la modelación de la distribución y densidad celular de *A. catenella*.

Como ya hemos descrito, la mortalidad o pérdidas totales (*PT*) está definida por la remoción desde la columna de agua de las células vegetativas. Por lo que, la tasa de pérdidas totales será calculado como la sumatoria de los procesos de: mortalidad celular (senescencia), grazing por parte del zooplancton y sedimentación (enquistamiento). La poca información bibliográfica acerca de tasas específicas de grazing del zooplancton sobre *A. catenella* ha dado la oportunidad de realizar bioensayos (descritos en el punto 4.5.2. de este informe) que nos proporcionen tanto las tasas de



grazing como la mortalidad asociada a distintas cepas de *A. catenella* con un origen cercano a los puntos donde se realizará la modelación.

El número de células en cada punto de modelación está dado por el incremento de células debido a su tasa de crecimiento (μ) y su disminución, o mortalidad, debido a la remoción de células desde la columna de agua. Este proceso implica que después de un día se genera un nuevo número de células igual a $\mu \times N_0$, donde μ es la tasa de crecimiento y N_0 es el número de células antes de la división (número total de partículas del día anterior). Por lo que, el número total de células N , después del proceso de crecimiento, es calculado como:

$$N = N_0 + \mu \times N_0$$

Por su parte, las pérdidas totales (PT) constituye el coeficiente de decaimiento y representa la remoción de las células de *A. catenella* desde la columna de agua. Al final del día se calcula una nueva cantidad de células que es igual a $PT \times N$, donde N es el número de células antes del proceso de pérdidas de células (N = número total de células del día anterior más las células adheridas a partir del proceso de crecimiento del presente día). En consecuencia, el número total de células N_t , posterior a los procesos de crecimiento y pérdidas es calculado como:

$$N_t = [N_0 + \mu \times N_0] - [PT \times (N_0 + \mu \times N_0)]$$

4.2.6. Modelo acoplado físico-biológico

El modelo de *A. catenella* dará cuenta de la concentración y distribución de esta especie a partir de concentraciones puntales en los sectores de Puerto Barrios, San Andrés y Playas Largas en condiciones de verano.

Forzantes

El modelo biológico necesita forzantes externas para resolver los procesos de crecimiento y mortalidad de *A. catenella* estas variables son;

- Hidrodinámicas
Estas variable son temperatura, salinidad y advección; todas provienen del hidrodinámico realizado en MIKE3.
- Radiación fotosintética activa;
Debido a la falta de datos de PAR se utilizó una proporción de la radiación solar (43%; Gruber *et al.* 2003). Los datos de radiación solar diaria fueron obtenidos de la estación meteorológica El Claro (-45.581°, -72.093°) de la red agroclimática nacional.



Condiciones iniciales

Como su nombre lo indica describen las condiciones iniciales para que el modelo comience a resolver las ecuaciones diferenciales de crecimiento y mortalidad. Para la construcción de las condiciones iniciales se utilizó un promedio de las concentraciones de *A. catenella* encontradas en las estaciones de Puerto Barrientos, San Andrés y Playas Largas en el mes febrero desde el 2007 al 2015, las que fueron de 4417,78 y 60252 cel L⁻¹, respectivamente, posteriormente estas concentraciones fueron interpoladas en el dominio (**Figura 4.10**).

4.3. RESULTADOS

4.3.1 Bioensayos con distintas cepas de *A. catenella*.

Parámetros de Crecimiento

Las curvas de crecimiento de las tres cepas se grafican en la **Figura 4.11**. Las células de Los Lagos (Q28) y Aysén (I3 y AC08), mostraron un crecimiento exponencial entre los días 18 a 33 aprox. Sin embargo, se puede observar una fase exponencial más prolongada para la cepa de Los Lagos (Q28). Por otra parte, las tasas de crecimiento entre las regiones de Los Lagos (Q28=0,33 div día⁻¹) y Aysén (I3=0,51 y AC08=0,54 div día⁻¹), muestran diferencias significativas (ANOVA, $p < 0,05$), en cambio, para cepas de la misma región (Aysén: I3=0,51 y AC08=0,54), no muestran diferencias significativas en sus tasas (ANOVA, $p > 0,05$). La máxima densidad celular alcanzada por los cultivos también mostró diferencias significativas entre las cepas (ANOVA, $p < 0,05$). Los valores para este parámetro fluctuaron entre las 5020 cel mL⁻¹ para la cepa de Quellón (Q28) y 10640 cel mL⁻¹ para la cepa de Fitz Roy (AC08) (**Tabla 4.3**).

Experimentos de Pastoreo (Grazing)

La **Tabla 4.4.**, muestra la composición específica y concentración de toxina por célula de *A. catenella* (AC08), clon utilizado en los experimento 1 (Dietas únicas) y 2 (Dietas comunidad natural). El perfil de toxinas para *A. catenella* se caracterizó por la presencia de gonyaulotoxinas 1-4 (GTX 1-4), con concentraciones entre los 0,34 a 4,68 ng μL^{-1} . No fueron detectadas saxitoxinas (SXT) ni carbamolsaxitoxinas 1 y 2 (C1, C2).

Experimento 1 - Dietas únicas de *A. catenella*

Los experimentos fueron iniciados con una concentración de alimento promedio de $147,12 \pm 3,02 \mu\text{g C L}^{-1}$, en un tiempo de experimentación igual a 20 h. Se evidenció una activa tasa de aclaramiento de ambos copépodos, pero *C. chilensis* presentó tasas mayores de aclaramiento ($15,6 \pm 0,5$ copépodo⁻¹ h⁻¹) que *A. tonsa* ($6,0 \pm 0,6$ mL copépodo⁻¹ h⁻¹) con diferencias significativas entre ambas especies (ANOVA, $p < 0,05$). Por otra parte, se observa un patrón similar para las tasas de ingestión, observando una activa predación sobre células tóxicas de *A. catenella*, con una mayor tasa para *C.*



chilensis ($1,7 \pm 0,3 \mu\text{g C copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), sobre *A. tonsa* ($0,6 \pm 0,1 \mu\text{g C copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), con diferencias significativas entre las dos especies de copépodos (ANOVA, $p < 0,05$; **Figura 4.12**)

Experimento 2 – Comunidad natural + *A. catenella*

Los pastoreadores al ser sometidos a una mayor disponibilidad de alimento ($T_0 = 239,56 \pm 6,04 \mu\text{g C L}^{-1}$), en conjunto a una mayor diversidad de especies encontradas en la comunidad natural de fitoplancton utilizada (**Tabla 4.5**), presentaron menores tasas de aclaramiento y de ingestión sobre *A. catenella*, en comparación con las tasas presentadas en el experimento 1 (dietas únicas de *A. catenella*), en ambos pastoreadores. De esta manera, las tasas de aclaramiento para *C. chilensis* fueron de $1,7 \pm 1,0 \text{ copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$, y para *A. tonsa* $1,2 \pm 0,3 \text{ copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$, presentando diferencias no significativas (ANOVA, $p > 0,05$). Mientras tanto, la tasa de ingestión para *C. chilensis* fueron $0,4 \pm 0,2$, y para *A. tonsa* fueron de $0,2 \pm 0,1$ (ANOVA, $p > 0,05$; **Figura 4.13**). De la comunidad natural, las especies que presentaron mayor pastoreo por parte de *A. tonsa*, fueron las diatomeas *Thalassiosira* spp y *Pseudonitzschia cf pseudodelicatissima* y el dinoflagelado *Scrippsiella* spp (**Figuras 4.14 A, B y C**). Para *C. chilensis*, las especies más consumidas fueron las diatomeas *Thalassiosira* spp y *Scrippsiella* spp y los dinoflagelados *Scrippsiella* spp, *Gyrodinium* spp, *Dinophysis acuminata* y *Ceratium declinatum* y *C. fusus* (**Figuras 4.14 D, E y F**).

4.3.2 Modelo Hidrodinámico

Calibración

El flujo residual observado en canal Ninualac (**Figura 4.15**) mostró flujos de salida en la capa superficial (~15m grosor) con una mayor profundización en la parte sur y magnitudes del orden de los 0.1m/s. Bajo la primera capa se observó un dominio de los flujos de entrada con magnitudes de 0.1m/s las que se ubicaron predominantemente al costado norte, además se observaron flujos de salidas costados norte y sur del canal con magnitudes de 0.05m/s.

El residual del modelo (**Figura 4.16**) en general fue capaz de reproducir el patrón general de circulación, con flujos de salida en la primera capa y una profundización de esta hacia el lado sur, sin embargo el modelo la sobreestimo en cuanto a su extensión. Además también replicó la segunda capa con flujos de entrada, pero esta se mostró mucho más homogénea que la observada.

El flujo residual en el fiordo Puyuhuapi (**Figura 4.17**) mostró una distribución vertical de 3 capas de flujos. La primera capa superficial (~50m grosor) con flujos de salida y magnitudes $< 0,1 \text{ m/s}$. la segunda capa inmediatamente bajo la primera (~200m grosor) con flujos de entrada y velocidades máximas de 0.1m/s y la tercera capa, asociada al fondo, con flujos de salida y bajas intensidades $< 0,05 \text{ m/s}$. En general los flujos de salida del fiordo Puyuhuapi, son ocasionados por la descarga de agua dulce, provienen principalmente del río Cisnes y por los aportes del río Pascua y río Ventisquero. El flujo residual modelado en Puyuhuapi (**Figura 4.18**) en general no fue capaz de reproducir la circulación observada.



- **Evaluación**

Nivel del mar

En la evaluación el modelo en general reproduce bien las fases de la marea (**Figuras 4.19 y 4.20**), ambas estaciones presentaron un desfase máximo de ~1 hora, la que fue menor en sicigia. En cuanto a la amplitud del nivel del mar ambas estaciones presentaron una diferencia máxima de ~50 cm, la que en la estación de Melinka fue durante la sicigia a diferencia de la estación de Puerto Chacabuco donde durante esta época la diferencia disminuyó. Ambas estaciones mostraron una buena correlación (~0.8) y un bajo valor de NRMSD (~14), lo que quiere decir que la amplitud modelada tiene un error del ~14%.

Salinidad

La salinidad observada a lo largo de la transecta (**Figura 4.21**) varió entre 30 a 33, donde las menores salinidades se ubicaron en superficie entre las estaciones 28 y 29 hasta los 5m de profundidad. Bajo los 5 m se observa un gradual aumento de la salinidad, con una profundización en las isohalinas hacia el norte de la transecta.

El modelo sobreestimó los valores de salinidad (**Figura 4.22**), ya que el rango registrado por el modelo fue de 31.6 a 34.1, tampoco fue capaz de reproducir la tendencia de profundización de las isohalinas.

Los valores de salinidad observados en el canal Pérez (**Figura 4.23**) variaron entre 29.5 a 32.1, con una marcada haloclina ubicada a 5m de profundidad. Bajo la haloclina se observa un débil aumento en profundidad de la salinidad.

La salinidad modelada sobrestimó los valores y no replicó la haloclina, ya que se observa un perfil homogéneo.

Temperatura

La temperatura observada (**Figuras 4.24 y 4.25**) varió entre 9.8 a 10.1°C, donde los mayores valores se observaron en superficie entre las estaciones 28 y 29, con una marcada termoclina a los 5m de profundidad sin embargo hacia la estación 30 (ubicada más al norte de la transecta), no se observa una clara termoclina ya que el gradiente de temperatura es mucho menor en comparación con el lado sur de la transecta.

La temperatura observada (**Figura 4.26**) en el canal Pérez registró una baja variación con un rango entre 10.3 a 10.2 °C, el mayor gradiente de temperatura se ubicó a los 4m de profundidad. La temperatura modelada para estas mismas estaciones, presentaron un perfil homogéneo sobrestimando los valores de temperatura.



Densidad

La densidad observada a lo largo de la transecta (**Figura 4.27**) varió entre 1022.9 a 1025.3. Las menores densidades se registraron en la superficie, en una acotada capa, la que presentó el mayor espesor (5m) en la estación ubicada al sureste (est.28) y que fue disminuyendo hacia el noroeste, para desaparecer en la estación 30, esta capa provoca una marcada picnoclina en las estaciones 28 y 29 ubicada a ~5m.

Bajo esta capa superficial de baja densidad, la densidad aumenta conforme aumenta la profundidad, sin embargo en la estación 30 se observa que las isoclinas se hunden en comparación con el resto de las estaciones de la transecta, provocando que la picnoclina de la estación 30 no sea marcada como la del resto de las estaciones.

En la densidad modelada a lo largo de la transecta (**Figura 4.28**), se observó que las menores densidades se ubicaron en la superficie de las estaciones 28 y 30, sin observarse un patrón claro de distribución, a pesar de esto, en general se observó un hundimiento en las isoclinas de norte a sur. El modelo en general no pudo reproducir de buena manera los valores de densidad, sobreestimando los valores de densidad; registrando valores más altos para las bajas densidades ubicadas en superficie y para las altas densidades ubicadas en el fondo. Las estaciones estuvieron asociadas a valores de NRMSD mayores a 18% y altos valores de correlación (>0.8).

Las densidades observadas en los perfiles de densidad de las estaciones 14 y 15 (**Figura 4.29**), variaron entre 1022.17 a 1024.6, ambas estaciones presentaron una marcada picnoclina en los 3m, sin embargo bajo la picnoclina la estación 15 mostró una densidad casi constante a diferencia de la estación 14, la que registró un aumento gradual de la densidad hasta los 7m para posteriormente mantenerse constante.

Las densidades modeladas de las estaciones 14 y 15 (**Figura 4.29**), presentaron perfiles homogéneos con valores de ~1025. Las estaciones estuvieron asociadas a valores de NRMSD mayores a 25% y bajos valores de correlación (>0.2).

- **Corrientes**

Canal Pérez

En general las componentes de la corriente observadas en canal Pérez (**Figura 4.30**), registraron magnitudes entre 0.2 a -0.3 cm s^{-1} con una clara disminución en profundidad; donde la componente norte-sur mostró las mayores magnitudes en superficie en comparación con la componente este-oeste.

El espectro de energía de las componentes observadas (**Figura 4.31**), evidenció que la componente norte-sur fue la componente más energética; donde los peak de máxima energía espectral se ubicaron en la banda diurna y semidiurna, además de observarse solo en la componente este-oeste un máximo relativo a las 4h para las tres primeras profundidades.



El análisis armónico realizado a la corriente reveló una influencia mareal de 71% a 5m, 75% a 10 m, 73% a 20 m, 45% a 30 m, 76% a 40 m.

Las componentes de la corriente modelada (**Figura 4.32**), registraron aproximadamente el mismo rango de variación de la magnitud de la velocidad observada, los máximos valores se ubicaron en la superficie de la componente norte-sur. El modelo pudo replicar tendencia general de las componentes, sin embargos las corrientes observadas presentaron fluctuaciones de alta frecuencia, las que no pudieron ser reproducidas por el modelo, lo que explica que el espectro de energía (**Figura 4.32**) solo haya mostrado los peak en las bandas diurna y semidiurna, en el espectro modelado también coincidió con el observado, donde la componente norte-sur se mostró más energética que la componente este-oeste. Los índices estadístico de NRMSD presentaron valores menores a 20.92% y coeficiente de correlación bajo 0.406.

Canal Goñi

La componente este-oeste observada (**Figura 4.33**), en el canal Goñi varió entre 0.5 a -0.5 m s⁻¹, registrando en general valores más altos que los observados en la componente norte-sur; componente que registró una variación entre 0.2 a -0.1 m s⁻¹. En ambas componentes no se observó una disminución en conforme aumenta la profundidad.

El espectro de la corriente observada (**Figura 4.34**), mostró, que la componente este-oeste fue mucho más energética que la componente norte-sur, registrando un importante máximo a las 12 y 6 h.

El análisis armónico realizado a la corriente reveló una influencia mareal de 14% a 5m, 16% a 10 m, 19% a 20 m y 6% a 40 m.

El modelo en general pudo replicar de buena manera las magnitudes de las componentes de la corriente y la tendencia de la componente este-oeste, además de los peak energéticos en las bandas diurna y semidiurna observadas en la corriente medida.

Los índices estadísticos de NRMSD registrados, variaron considerablemente entre la componente norte-sur y este oeste, donde los valores para la primera componente fueron menores que los registrados para la componente este-oeste (<45%). En los valores de correlación la componente norte-sur (<0.6) registró mejores valores de correlación en comparación con la este-oeste (<0.1).

4.3.3 Modelo acoplado físico-biológico

Puerto Barrientos

La distribución de *A. catenella* fue desde Puerto Barrientos hacia la zona oceánica (**Figura 4.35**). Donde se observó que en los primeros pasos de tiempo este desplazamiento fue rápido en dirección hacia el suroeste, sin embargo una vez que *A. catenella* llega a la zona más expuesta u oceánica el desplazamiento se hace mucho más lento (**Figura 4.36**).



Con respecto a la concentración de *A. catenella* está disminuyó con el paso del tiempo, ya que con una concentración inicial de 4417 cel L⁻¹, la simulación terminó con una concentración máxima de 4013 cel L⁻¹; esta disminución en la concentración se produjo en los primeros pasos de tiempo donde el desplazamiento es mucho más rápido, para luego aumentar levemente una vez que el desplazamiento disminuye. En general, en la columna de agua *A. catenella* se distribuyó desde los 0 a 20m con máximas concentraciones ubicadas a los 5m de profundidad (**Figura 4.37**).

La temperatura en la transecta (**Figura 4.38**) se registró estratificada con una termoclina ubicada en los 15m de profundidad aproximadamente, la temperatura sobre la termoclina fue sobre 14°C ; sin embargo con el paso de tiempo de la simulación esta estratificación se fue perdiendo en las cercanías de la estación de Puerto Barrientos, ya que la temperatura se volvió mucho más homogénea que la ubicada en la zona oceánica donde en esta zona la columna de agua resultó mucho estratificada a lo largo de toda la simulación.

En cuanto a la salinidad (**Figura 4.39**) durante los primeros pasos de tiempo, se observaron valores de salinidad menores a 32 los que se ubicaron cerca de la estación de Puerto Barrientos generando una haloclina en este sector, la haloclina tuvo una profundidad variable a lo largo de la transecta, observándose más profunda en la sector costero que en el sector oceánico. Con el paso de tiempo de la simulación la haloclina se va debilitando.

San Andrés

En San Andrés la distribución de *A. catenella* (**Figura 4.40**) se extendió hacia el interior del canal Puyuhuapi, llegando a desplazarse hasta el canal Jacaf en el último paso de tiempo de la modelación. En los primeros pasos de tiempo *A. catenella* se desplazó mucho más rápido que en el resto de la modelación (**Figura 4.41**).

En cuanto a la concentración de *A. catenella*, los niveles aumentaron de una concentración inicial de 7817 cel L⁻¹ ubicada en San Andrés a 20000 cel L⁻¹ localizadas en Seno Magdalena. Es importante notar que el aumento de concentración no fue sostenido durante todo el tiempo de simulación (**Figura 4.42**), ya que durante los primeros 48 pasos de tiempo la concentración de *A. catenella* disminuyó y posteriormente aumentó una vez que las células se ubicaron cerca del Seno Magdalena. En la columna de agua las células se distribuyeron desde 0 a 35m y las máximas concentraciones en los 10m de profundidad.

La temperatura superficial (**Figura 4.43**) durante la simulación disminuyó, ya que en los primeros pasos de tiempo la máxima temperatura registrada fue de aproximadamente 14°C y finalizó con una temperatura de 11°C. Además se observó que en los primeros pasos de tiempo la temperatura tuvo una marcada termoclina la que se ubicó aproximadamente a los 10m, donde la columna de agua presentó una estructura mucho más estratificada que en los últimos pasos de tiempo, ya que la estructura fue mucho más homogénea y con una débil termoclina ubicada a aproximadamente a los 30m.



La salinidad (**Figura 4.44**) registrada en la simulación durante la transecta se observó estratificada en la entrada del canal Puyuhuapi con valores menores a 31 y con una extensión en la columna de agua hasta los 20m de profundidad. Con el paso del tiempo de simulación, se observó como las menores temperaturas se extendieron hasta el fondo del canal y luego la columna de agua se homogenizó, debido a la mezcla a excepción de los sectores donde se ubicó la estación San Andrés y en río Cisnes.

Playas Largas

En Playas Largas la distribución de *A. catenella* fue amplia y la con mayor expansión en comparación con las otras dos estaciones, en general *A. catenella* tuvo una distribución con dirección hacia el noroeste logrando salir del canal Moraleda en el último paso de tiempo (**Figura 4.45**), ya que estuvo asociado a rápidas corrientes (**Figura 4.46**).

La concentración de *A. catenella* registro un aumento (**Figura 4.47**), ya que de una concentración inicial de 6000 cel. L⁻¹ en playas Largas *A. catenella* alcanzó un máximo de 41000 cel L⁻¹ ubicados entre Canal Pérez y Goñi. En la columna de agua *A. catenella* se registró desde los 0 a 30m, donde las máximas concentraciones se ubicaron en los 5m.

La temperatura a lo largo de la transecta (**Figura 4.48**). Se registró estratificada con una disminución progresiva de la temperatura en profundidad, esta estratificación con el paso del tiempo se fue perdiendo ya que la columna de agua se fue homogenizando debido a la mezcla, este proceso provocó una disminución en la temperatura superficial donde de comenzar con 15.5°C la temperatura superficial máxima en el último paso de tiempo fue de 11.7°C.

En cuanto a la salinidad a lo largo de la transecta (**Figura 4.49**). Se observó el mismo patrón descrito en la temperatura donde en los primeros pasos de tiempo la salinidad en la columna de agua se observó estratificada, sin embargo con el paso de tiempo la columna se observó homogénea.

4.4. DISCUSIÓN

4.4.1 Bioensayos con distintas cepas de *A. catenella*.

El crecimiento encontrado para los cultivos de *A. catenella*, coincide con otros patrones descritos para otras cepas de este dinoflagelado en condiciones de cultivo similares (Navarro *et al.*, 2006; Laabir *et al.*, 2011; Aguilera *et al.*, 2013). Sin embargo, *A. catenella* (Q28), presentó una menor densidad y tasa de crecimiento, concordante con lo expuesto por Ávila *et al.* (2015) para otra cepa de *A. catenella* (AC090610 QUE-Q) de la región de Los Lagos, con tasas de crecimiento promedio de 0,18 div día⁻¹. El contenido de toxina para esta cepa puede ser considerado de moderado a bajo, en relación a lo presentado por Séchet *et al.* (2003), con valores entre los 13,4 - 40,3 fmoL cel⁻¹. Sin embargo, existe un amplio rango de toxicidad para distintos clones de *A. catenella*. Navarro *et al.*



(2006), señala toxicidades de $3,46 \text{ fmol cel}^{-1}$ para esta especie cultivada a 16°C , hasta toxicidades tan altas de $150 \text{ fmol cel}^{-1}$ descritas por MacKensie *et al* (2004).

Tanto en dietas únicas como mixtas, se observó una predación activa del dinoflagelado *A. catenella*. Sin embargo, las altas tasas de aclaramiento y de ingestión presentadas en dietas únicas, muestran que este dinoflagelado al ser oferta única como presa, es ingerido activamente tanto por *C. chilensis* como por *A. tonsa*, atribuyendo a que las diferencias presentadas entre ambas especies, se puede asociar al mayor de tamaño de Calanus. Palma & Carbonell (2007), señalan tasas de ingestión muy similares para *C. chilensis* sobre dietas únicas de *A. catenella*, con un valor promedio de $1,95 \pm 1,36 \mu\text{g C copépodo}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Por otra parte, en dietas con una mayor diversidad alimenticia, que involucra gran número de diatomeas y otras especies de dinoflagelados, ambos copépodos disminuyen sus tasas de ingestión sobre *A. catenella*. Estos resultados conducen al hecho que las tasas de ingestión están fuertemente influenciadas por la concentración y calidad de la dieta otorgada, como ha sido señalada por Colin & Dam (2002). Teegarden (1999), sugirió que la presencia de toxinas paralizantes en los dinoflagelados podría otorgar una ventaja definitiva a la hora de reducir la palatabilidad o inclinación que tenga un depredador de consumir dicha especie tóxica en comparación con una especie no tóxica u otras especies no tóxicas del género Alexandrium. Sin embargo, esto no evitaría su probabilidad de selección por otro tipo de consumidor, sino que más bien confirma que las relaciones de consumo entre copépodos y dinoflagelados tóxicos son especie – específica. No obstante, los resultados obtenidos muestran que siempre ocurre un consumo de células tóxicas de *A. catenella*. Para poder comprender esto, es necesario referirse a los trabajos de Turner *et al* (1998) y Frangópulos (2002), quienes demostraron que los consumidores ingieren algas tóxicas, ya sea por la baja concentración de toxina por célula o por la incapacidad de los consumidores para detectar las toxinas.

4.4.2 Modelo Hidrodinámico

La evaluación del modelo hidrodinámico presentó resultados de buena calidad para los datos del nivel del mar, con valores de correlación sobre 0.8, lo que indica que la fase de la marea está bien modulada y que el modelo es capaz de simular de buena manera la propagación de la onda de marea. En cuanto a las magnitudes de la amplitud de marea en general el modelo tiende a subestimar los datos observados con un de máximo de NRMSE 14.95%, lo que se podría deber a la fricción de fondo o a la batimetría.

En cuanto a la evaluación de condiciones hidrográficas, el modelo no tuvo buenos resultados sobrestimando los valores de salinidad, temperatura y densidad, lo que se reflejó en los altos valores de NRMSE de densidad. Además el modelo, en general no pudo replicar los primeros 10m de profundidad, donde se ubicaron los mayores gradientes verticales de salinidad, temperatura y densidad, ni tampoco la pendiente baroclina que se observó en la transecta; esto probablemente se deba los datos de utilizados para la construcción de condiciones iniciales y de borde.



En la evaluación de corrientes el modelo en general arrojó buenos resultados, sin embargo el modelo no fue capaz de replicar las variaciones de alta frecuencia, lo que se observó en la comparación de las series modelada y observada y en los espectros de energía; esta falta de variación puede deberse a la batimetría, ya que varias variaciones observadas en los espectros se deben a frecuencias de aguas somera.

4.4.3. Modelo acoplado físico-biológico

En Puerto Barrios la circulación fue del tipo estuarina, forzada por la descarga del río que se ubicó en esta zona. La descarga de agua dulce provocó que en los primeros pasos de tiempo la concentración de *A. catenella* disminuyera por no encontrar las condiciones óptimas de salinidad, a pesar de que la salinidad se encontró en el rango de crecimiento, definido en el modelo (26.2 a 33.2 PSU), es importante notar que a mayor salinidad mayor es la tasa de crecimiento máximo con respecto a la salinidad, por lo explica la baja tasa de crecimiento. Sin embargo una vez que *A. catenella* se desplazó hacia la zona oceánica la salinidad aumentó y la columna de agua se homogenizó en cuanto a la salinidad. En esta etapa la concentración de *A. catenella* aumenta y es la temperatura la variable que domina el crecimiento de *A. catenella*.

En San Andrés, *A. catenella* se desplazó hacia el interior del canal de Puyuhuapi lo que no concuerda con la descripción de circulación descrita por Schneider *et al.* (2014), el cual describe que la circulación superficial del canal de Puyuhuapi es predominantemente hacia el oeste, debido a la circulación estuarina provocada por la presencia del río Cisnes, sin embargo este mismo autor describe pulsos en la circulación hacia el interior del canal, los que serían provocados por el viento.

En cuanto a la concentración de *A. catenella* en San Andrés, está disminuyó en los primeros pasos de tiempo, debido a la baja salinidad y temperatura a la estuvo asociada la presencia de *A. catenella*, ya que a medida que avanzaba la simulación la temperatura superficial aumentó al igual que la salinidad y con ello la concentración de *A. catenella*.

En Playas Largas, *A. catenella* se distribuyó hacia la boca del canal Moraleda llegando incluso al canal del Guafo, esta circulación es consistente con lo descrito por Salinas & Hormazábal (2004), donde se describe una capa superficial en esta dirección provocada por la circulación estuarina generada en mayor medida por el aporte de agua dulce del río Aysén, el grosor de esta capa estaría condicionada por la descarga de los ríos y precipitaciones.

En general el modelo acoplado de *A. catenella* funcionó bien, reflejando de buena manera las tasas de crecimiento y mortalidad en los rangos de temperatura y salinidad que fueron definidos en el modelo biológico, además de simular de buena manera la distribución de *A. catenella* en la columna de agua, ya que esta no llegó a profundidades mayores a 20m. Sin embargo es importante notar que si bien el modelo acoplado funcionó bien, los resultados de distribución y concentración de *A. catenella* son altamente dependientes del modelo hidrodinámico, lo que provoca que para simular *A. catenella* se necesite un modelo hidrodinámico con buenos resultados, sobre todo en temperatura, ya es una variable fundamental para los procesos de crecimiento y mortalidad. En este sentido el



modelo regional utilizado presentó pobres resultados en cuando a la temperatura con un error de 1,5°C, provocando probablemente una subestimación en los resultados de concentración y mortalidad de *A. catenella*.

4.5. CONCLUSIONES

- La cepa aislada al sur de Chiloé (Q28), presentó una tasa de crecimiento menor que las cepas aisladas en la región de Aysén (I3 y AC08).
- Existe una tasa de aclaramiento e ingestión dependiente de la especie pastoreadora (copépodos).
- En dietas únicas, ambos pastoreadores presentan un activo pastoreo sobre células tóxicas de *A. catenella*. Esto puede ser atribuido a la baja toxicidad de la cepa utilizada en este estudio.
- En dietas mixtas, la presión de pastoreo disminuye sobre *A. catenella*, debido a la mayor oferta alimenticia ofrecida a los pastoreadores.
- En la evaluación del modelo hidrodinámico se obtuvieron buenos resultados para la fase de la marea, por lo que, el modelo es capaz de simular de buena manera la propagación de la onda de marea.
- La evaluación de la condiciones hidrográficas (densidad, temperatura y salinidad) no fueron buenas debido a los datos utilizados para la construcción de las condiciones iniciales y de borde.
- La evaluación de las corrientes modeladas fue bueno, pero se deben mejorar los datos de batimetría.
- El modelo biológico de crecimiento de *Alexandrium catenella* responde a las variaciones de la salinidad y temperatura modeladas por el hidrodinámico, siendo esta última la que domina el crecimiento.
- Las altas concentraciones de *A. catenella* modeladas en senos y bahías del fiordo Puyuhuapi coinciden con lo observado en datos de terreno en donde procesos de acumulación mediados por corrientes tienden a concentrar las células hacia el interior de éstas estructuras.
- La distribución vertical de los datos de concentración de *A. catenella* modelados no superó los 20 metros de profundidad, resultado que es coincidente con los perfiles de luz incorporados al modelo.



- Finalmente, el modelo acoplado biológico dio cuenta de la distribución y concentración de *A. catenella*, a partir del crecimiento y la mortalidad, donde ambos procesos son dependientes de la temperatura y salinidad lo que provoca que se deba realizar este tipo de simulación en modelos hidrodinámicos con buenos resultados en términos hidrográficos.
- Se propone que en la siguiente etapa de la modelación del crecimiento y distribución de *Alexandrium catenella*, se acote el dominio de modelación al sector del fiordo Puyuhuapi – canal Jacaf, lo que mejorará la resolución de la modelación pasando a una escala cercana a los 500 metros. Además, se deben incorporar mediciones de temperatura y salinidad para contar con buenas condiciones de borde que mejoren la modelación biológica y específicamente la modelación del crecimiento de *A. catenella* en cada punto de modelación.



4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera-Belmonte, A., Inostroza, I., Sáez, K., Franco, J.M., Riobó, P. & P.I. Gómez. 2013. The combined effect of salinity and temperature on the growth and toxin content of four strains of *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoed) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated from an outbreak occurring in southern Chile in 2009. *Harmful Algae* 23, 55-59.
- Aguilera-Belmonte, A., Inostroza, I., Franco, J.M., Riobó, P. & P.I. Gómez. 2011. The growth, toxicity and genetic characterization of seven strains of *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoed) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated during the 2009 summer outbreak in southern Chile. *Harmful Algae* 12, 105-112.
- Ávila, M., De Zarate, C., Clément, A., Carbonell, P. & F. Pérez. 2015. Efecto de factores abióticos en el crecimiento vegetativo de *Alexandrium catenella* proveniente de quistes de laboratorio. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol 50, S1: 177-185.
- Bämstedt, U., Gifford, D.J., Irigoien, X., Atkinson, A. & Roman, M. 2000. Feeding. En: Harris, R., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjoldal, H.R. & Huntley, M. (Eds.). *ICES Zooplankton Methodology Manual*, Academic Press: 297-399.
- Colin, S.P. & H.G. Dam. 2002. Testing for toxic effects of prey on zooplankton using sole versus mixed diets. *Limnol. Oceanogr.*, 47(5): 1430-1437.
- Delgado, S. 2004. Relación entre el perfil del basamento en fiordos y canales y la morfoestructura regional en Norpatagonia. Tesis de Magíster en Geografía con mención en Evaluación Territorial, Escuela de Geografía, Universidad de Chile, 93 pp.
- Figueroa, R., Bravo, I. & E. Garcés. 2005. Effects of nutritional factors and different parental crosses on the encystment and excystment of *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) in culture. *Phycologia* 44(6), 24-36.
- Frangópulos, M. 2002. Significado ecológico de la producción de toxinas PSP en dinoflagelados. Tesis de Doctorado. Departamento de Ecología y Biología Animal, Universidad de Vigo, España, 162 pp.
- Frost BW. 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behaviour of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.* 17: 805-815.
- Garrido, C., Frangópulos, M. & D. Varela. 2012. Efecto de diferentes proporciones de nitrógeno/fósforo en el crecimiento y toxicidad de *Alexandrium catenella* (Dinoflagellate). *Anales Instituto Patagonia*, 40(2), 113-123.
- González, M.A. O. Parra y A. Cifuentes. 1995. Técnicas de cultivo de microalgas en laboratorio. En: *Manual de Métodos Ficológicos*. K. Alveal, M. E. Ferrario, E.C. Oliveira y E. Sar (eds), Universidad de Concepción, Chile.



- Guillard, R. R. L. y J. H. Ryther. 1962. Studies on the Marine Planktonic Diatoms. I *Cyclotella nana* Husted and *Detonella confervacea* (Cleve). Can. J. Microbiol., 8: 229-39.
- Joyce, T. M. 1989. On in situ "calibration" of shipboard ADCPs. J. Atmos. Oceanic Technol., 6: 169-172.
- Laabir, M., Jauzein, C., Genovesi, B., Masseret, E., Grzebyk, D., Cecchi, P., Vaquer, A., Perrini, Y. & Y. Collos. 2011. Influence of temperature, salinity and irradiance on the growth and cell yield of the harmful red tide dinoflagellate *Alexandrium catenella* colonizing Mediterranean waters. Journal of Plankton Research 33 (10), 1550-1563.
- Landry, M.R., R.P. Hassett. 1982. Estimating the grazing impact of marine microzooplankton. Mar Biol 67, 283-288.
- Langdon, C. 1987. On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part I. A comparative study of the growth irradiance relationships of three marine phytoplankton species: *Skeletonema costatum*, *Olithodiscus luteus* and *Gonyaulax tamarensis*. Journal of Plankton Research 9(3), 459-482.
- Langdon, C. 1987. On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part I. A comparative study of the growth irradiance relationships of three marine phytoplankton species: *Skeletonema costatum*, *Olithodiscus luteus* and *Gonyaulax tamarensis*. Journal of Plankton Research 9(3), 459-482.
- Langdon, C. 1988. On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part II. A general review. Journal of Plankton Research 10(6), 1291-1312.
- Lembeye G. 2004. Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de la zona sur-austral de Chile. Cienc. Tecnol. Mar. 27(2): 21-31.
- Lwiza, K.M.M., D.G. Bowers, & J.H. Simpson. 1991. Residual and tidal flow at a tidal mixing front in the North Sea. Continental Shelf Research, 11(11), 1379-1395.
- Mackenzie, L., de Salas, M., Adamson, J., Beuzenberg, V. 2004. The dinoflagellate genus *Alexandrium* (Halim) in New Zealand coastal waters: comparative morphology, toxicity and molecular genetics. Harmful Algae 3, 71-92.
- Navarro, J.M., Muñoz, M.G. & A.M. Contreras. 2006. Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. Harmful Algae 5, 762 – 769.
- Palma, S. & P. Carbonell. 2007. Estimación de la tasa de ingestión y efectos de dietas únicas y mixtas de fitoplancton sobre el copépodo *Calanus chilensis*. Informe final Proyecto DGIP 223.703-2006.
- Platt, T., Jassby, A.D. 1976. The relationship between photosynthesis and light for natural assembles of coastal marine phytoplankton. Journal of Phycology 12(4), 421-430.



- Salinas, S. and S. Hormazábal. 2004. Capacidad de transporte de la constricción de *Meninea* para un flujo de dos capas y el efecto de la corriente de marea. *Cienc. Tecnol. Mar*, 27: 5-15.
- Séchet, V., Berard, J., Bohec, M., Bougaran, G., Carré, C., Masselin, P., Truquet, P., 2003. Growth and toxicity of *Alexandrium catenella* from the Thau laggon (France) cultured in stirred tank bioreactors. In: Villalva, A., Reguera, B., Romalde, J.L., Beiras, R. (Eds), *Molluscan Shellfish Safety*. Intergovernmental Oceanographic Commission of Unesco.
- Schneider, W., I. Pérez-Santos and L. Ross. 2014. On the hydrography of Puyuhuapi Channel, Chilean Patagonia. *Prog. Oceanogr.*, 129, Part A, 8-18.
- Stock, C., McGillicuddy, D., Solow, A. & D. Anderson. 2005. Evaluating hypotheses for the initiation and development of *Alexandrium fundyense* blooms in the western Gulf of Maine using a coupled physical-biological models. *Deep-Sea Research II* 52, 2715-2744.
- Teegarden, G.J. 1999. Copepod grazing selection and particle discrimination on the basis of PSP toxin content. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 181: 163-176.
- Turner, J.T., Tester, P.A. & P.J. Hansen. 1998. Interactions between toxic marine phytoplankton and metazoan and protistan grazers. En: Anderson, D.M., Cembella, A.D. & Hallegraeff, G.M. (eds.): *Physiological ecology of harmful algal blooms*. NATO ASI Series, Vol 41. Springer-Verlag, Berlin, pp 453-474.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. *Methodik. Mitt int. Verein. Theor. angew. Limnol.* 9, 38 p.
- Valle-Levinson, A. and J.L. Blanco. Observations of wind influence on exchange flows in a strait of the Chilean Inland Sea, *J. Marine Research*, 62(5), 721-741, 2004.
- Welch P.D. 1967. The use of fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short modified periodograms. *IEEE Transactions and Audio Electroacoustics*, AU-15, 70-73.

INFORME FINAL

Capítulo 5:E

Continuar con el análisis interpretativo iniciado en 2014 de la base de datos disponible desde mayo de 2006, segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables bióticas y abióticas disponibles.



INFORME FINAL:

Capítulo 5:E

Continuar con el análisis interpretativo iniciado en 2014 de la base de datos disponible desde mayo de 2006, segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables bióticas y abióticas disponibles

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2016

JEFE DE PROYECTO

Leonardo Guzmán Méndez

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez
Óscar Espinoza González
Rodrigo Martínez González
Pamela Carbonell Arias
Gemita Pizarro Nova

COLABORADORES

Javier Monsalve Montecinos
Elías Pinilla Matamala



5.1. OBJETIVOS

5.1.1. Objetivo específico 7

Continuar con el análisis interpretativo iniciado en 2014 de la base de datos disponible desde mayo de 2006, segregando por complejo tóxico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables bióticas y abióticas disponibles.

5.2 METODOLOGÍA

La información histórica recopilada desde el 2006 hasta el 2014 y analizada durante la etapa previa, fue abordada en esta oportunidad expresando la información en términos de biomasa en contraste con lo efectuado en la etapa previa, en que el fitoplancton total y nocivo, sólo fue considerado desde la perspectiva de su abundancia numérica. La intención es continuar con la identificación de las características y configuraciones espacio-temporales de los ensambles fitoplanctónicos considerando en forma independiente también a las especies de microalgas nocivas monitoreadas. Estos patrones son correlacionados con las distintas variables ambientales (meteorológicas e hidrográficas) que registra el programa, además de los análisis exploratorios, se ha incorporado un análisis integrado de la información para evaluar las relaciones entre las variables de los datos (estadística multivariada), considerando toda el área de estudio, como las regiones administrativas y sectores localizados dentro de cada región. Se incluyen también en estos análisis los datos disponibles de toxicidad, pero contrastados con respecto a los antecedentes de biomasa.

El análisis de la información ha sido más expedito dado que la información ha sido revisada y validada, y homologada, cuando las frecuencias de muestreo fueron diferentes. El ordenamiento de los antecedentes ha seguido el mismo criterio de la etapa previa, vale decir, organización en archivos correspondiente a cada una de las etapas del programa. Cada archivo contiene de forma separada, la información de las tres regiones administrativas, las cuales contienen los archivos para cada una de las variables consideradas en el programa de monitoreo.

5.2.1. Configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total en los fiordos y canales australes a partir de las estimaciones de la biomasa fitoplanctónica.

En la pasada etapa, una parte de la pregunta asociada a las configuraciones espacio-temporales del fitoplancton debía responder que ocurría con estas configuraciones espaciales si se realizan los análisis utilizando los valores promedios de la biomasa fitoplanctónica.

Para ello, se consideró la misma información histórica recopilada por el programa desde mayo 2006 hasta febrero 2014. Donde de las 208 localidades que conforman el conjunto de sitios de muestreo



que son visitadas en este programa finalmente 158 sitios de muestreo, fueron considerados en todos los análisis realizados. Ello básicamente por cuánto estas localidades presentó información a lo largo de todo el período de muestreo analizado. No se incluyó la información de sitios de muestreo ocasionales o que fueron monitoreados sólo en un lapso del estudio.

Los resultados de estos análisis son expresados en términos de carbono ($\mu\text{g C L}^{-1}$). Para la estimación de la biomasa se utilizaron los biovolúmenes promedio estimados para los distintos taxa identificados, utilizando la información del Crucero Cimar 12 o del trabajo de Olenina *et al.* (2006). La estimación de carbono fue realizada utilizando la regresiones de conversión volumen-carbono, tamaño y taxón específico (para diatomeas y dinoflagelados) de Menden-Deuer y Lessard (2000).

Posteriormente, estos datos de biomasa fueron estructurados de tal forma que se dispuso de promedio mensuales para cada variable considerada, los cuales fueron estimados con datos disponibles desde mayo 2006 hasta febrero de 2014 (i.e. corresponde a un promedio de un mismo mes a lo largo de los distintos años incluidos en el análisis de la información); esto se hizo considerando cada sitio, de tal forma que se dispuso para cada valor de biomasa por taxón un promedio mensual, desviación estándar y el número de datos por mes. Como criterio general se incluyeron en los cálculos todas aquellas situaciones que presentaron al menos 3 valores por mes, sólo en situaciones de excepción se incluyeron sitios de muestreo que presentaron uno y dos muestreos, pero con la condición que ello no representara más de 3 meses del período anual. Esto con la finalidad de incluir más sitios de muestreo y lograr continuidad en los datos promedio mensuales disponibles para cada sitio de muestreo.

Para la ordenación y clasificación de los sitios de muestreo para cada variable considerada, se aplicaron análisis de conglomerados ("cluster analysis") usando como medida de distancia el índice de similitud de Bray y Curtis, reduciendo la matriz mediante el método del grupo promedio no ponderado y representando los resultados en un dendrograma. La información analizada corresponde a los datos de biomasa fitoplanctónica a nivel específico para los primeros 10 metros de la columna de agua. Para el análisis de la biomasa fitoplanctónica se consideró como criterio discriminador el aporte porcentual por taxón incluido, de tal forma que se incluyeron todas las especies que anteriores a la aparición de la primera especie nociva (*Alexandrium ostentfeldii*). Finalmente resultó una matriz de 130 especies de micro-fitoplancton, que dan cuenta de >95% de la biomasa acumulada, por 158 sitios de muestreo.

Los análisis se realizaron con el programa PRIMER ("Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research") (Carr, 1997). Los conglomerados representados en los dendrogramas significativamente diferentes, fueron identificados mediante el análisis SIMPROF ("SIMilarity PROFile" o perfiles de similaridad) (eg. 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 1%. En los dendrogramas la significancia en la conformación y la unión de los conglomerados se muestra usando una coloración distinta, esto es, rojo para grupos homogéneos y negro para grupos



significativamente distintos. El análisis SIMPER permitió conocer el aporte porcentual con que contribuyen los constituyentes de cada conglomerado definido.

El MDS representa relaciones entre múltiples variables y se puede representar en 2 o más dimensiones, en una razón o proporción entre la realidad y la representación. Está especialmente diseñado para representar gráficamente relaciones entre objetos en un espacio multidimensional. 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), que no es más que la fidelidad de la representación espacial (en tres dimensiones), en un gráfico de dos dimensiones. Así, valores cercanos a cero son los que indican una mejor representación de los datos en dos dimensiones, a partir de la configuración tridimensional. Bates (2008) entrega la siguiente clasificación: 0.0 = ajuste ideal; 0.1 = buen ajuste; 0.2 = ajuste aceptable; 0.3 y más = mal ajuste.

En esta oportunidad, los resultados de los conglomerados definidos para cada variable analizada fueron representados además en mapas de cada región administrativa, segregando cada conglomerado mediante un color, dado que esa representación es más instructiva para la gran cobertura geográfica que abarca el análisis descrito.

5.2.2. Configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total en los fiordos y canales australes a partir de las estimaciones de densidad fitoplanctónica.

Con el objetivo de continuar con el análisis de la base de datos histórica y en base a una de las preguntas planteadas en el informe anterior referida a la existencia de configuraciones espacio-temporales del fitoplancton total (esto en términos de densidad: células L^{-1}), el cual informó el periodo comprendido entre mayo 2006 hasta febrero 2014, se realizaron nuevos análisis incluyendo los datos generados en la etapa VIII del programa de monitoreo comprendida entre marzo del 2014 y febrero del 2015 utilizando como variable el promedio mensual de la densidad (cel L^{-1}) para cada uno de los 12 meses del año.

Para esto y con la finalidad de comprobar la consistencia de los análisis y la persistencia en la conformación de los diferentes grupos obtenidos en el análisis anterior, es que se utilizaron los mismos criterios para realizar la ordenación y clasificación de los sitios de muestreo aplicando análisis de conglomerados ("cluster analysis") usando como medida de distancia el índice de similitud de Bray y Curtis, reduciendo la matriz mediante el método del grupo promedio no ponderado. La metodología se explica con mayor detalle en la metodología referida a la estimación de biomasa fitoplanctónica.



5.2.3. Variabilidad espacio-temporal de la abundancia relativa de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales.

A partir de la abundancia relativa de las 7 especies nocivas (*Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima*), el veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), el veneno diarreico de los mariscos (VDM), el veneno amnésico de los mariscos (VAM), la temperatura (°C), salinidad (PSU) y densidad (kg m^{-3}) de la columna de agua a 5 metros de profundidad registrados entre mayo de 2006 y febrero de 2015, se ordenó la matriz con promedios mensuales para cada una de las 178 estaciones de muestreo resultantes al aplicar el mismo criterio utilizado en el informe de la anterior etapa. Éste criterio incluía de selección incluía a todas las estaciones que presentaron al menos 3 valores por mes y sólo en situaciones de excepción se incluyeron sitios de muestreo que presentaron dos muestreos, pero con la condición que ello no representara más de 3 meses del periodo anual. Para el análisis exploratorio de la variables descritas, las estaciones se ordenaron latitudinalmente, donde las estaciones con menor latitud correspondieron a aquellas ubicadas en el fiordo de Reloncaví en la región de los Lagos y las de mayor latitud a las ubicadas en el canal Beagle en la región de Magallanes. Una vez ordenada la matriz, se utilizó el programa Ocean Data View (ODV) para graficar la distribución espacio – temporal del promedio mensual de las variables de estudio.

5.2.4. Principales áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos y su relación con variables biológicas y ambientales.

Como parte del análisis actual de la base de datos surge la pregunta: ¿Qué sabemos de las distintas áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) y su relación con las variables biológicas y ambientales?. Para responder a esta pregunta se utilizó la información histórica del programa recopilada entre mayo del 2006 y febrero de 2015. Los datos fueron ordenados con promedios mensuales para cada una de las 178 estaciones resultantes del análisis de criterios de selección usado en la etapa anterior (Ver metodología sección 5.2.3). Las variables biológicas consideradas son la densidad (cél L^{-1}) de los siete taxa nocivos en el estrato de 0 a 10 metros de profundidad, densidad total de diatomeas, densidad total dinoflagelados, número de especies de diatomeas y dinoflagelados, índice IG, abundancia relativa de *Alexandrium catenella* y concentración de VPM. Las variables ambientales consideradas son la temperatura (°C), salinidad (PSU), densidad (Kg m^{-3}) y estabilidad de la columna de agua; temperatura ambiental (°C), dirección (grados) y velocidad del viento (m s^{-1}).

Para conocer la distribución espacial de las estaciones con distintos niveles de VPM, se utilizaron los criterios de ordenación y clasificación de los sitios de muestreo aplicando análisis de conglomerados, usando como medida de distancia el índice de similitud de Bray Curtis, mientras que, para las variables ambientales se utilizó la distancia Euclidiana. La representación en dendogramas y el ordenamiento multidimensional (MDS) se realizaron en el programa Primer V7. Para cada grupo segregado por el análisis de conglomerados del VPM se calculó el promedio ($\pm$ Error Estándar) y se



realizaron series temporales mensuales, para analizar las diferencias interanuales. Para comprobar si existen correlaciones entre las variables biológicas y ambientales se utilizaron gráficos de Draftsman Plot, donde los valores (0 -1) de los coeficientes de correlación de Pearson no indicaron si las correlaciones entre las variables eran buenas o malas y su nivel de significancia. Finalmente, se hicieron análisis de correlaciones cruzadas, utilizando el programa R, para determinar el desfase entre las variables consideradas.

5.2.5. Primer análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)

Se presenta una visión general y primeras interpretaciones del comportamiento estacional para los promedios mensuales en el periodo comprendido entre febrero del 2014 y marzo del 2016 para la abundancia relativa (AR) de las diferentes especies tóxicas, toxinas (T) asociadas a estas especies, fitoplancton total y los datos oceanográficos (DO) para cada una de las estaciones de monitoreo de los sub-programas de monitoreo de alta frecuencia (**Figura 5.1**).

Al igual que para el análisis de los datos del monitoreo regular, lo primero es entregar algunos antecedentes generales de las áreas de estudio y de cada uno de los sub-programas antes del desarrollo de la metodología.

El SVF, considera una frecuencia de muestreo más alta que en el programa regular (el cual tiene una frecuencia de 1 muestreo mensual), realizando la toma de las distintas variables aproximadamente cada 10 días en 17 estaciones ubicadas en el sector de Quellón, el área sur y sureste de la Isla de Chiloé, Melinka en el área norte de la región de Aysén y un transecto en el Canal Moraleda y Golfo Corcovado. Esto con la finalidad de disponer de mayor información para la toma de decisiones por parte de la autoridad fiscalizadora en relación al transporte de especies hidrobiológicas mediante wellboats en estas zonas. El detalle de las estaciones y su ubicación se encuentra en la **Figura 5.1**. La frecuencia de muestreo de 10 días, puede verse alterada en el periodo invernal, disminuyendo su frecuencia dependiendo de las condiciones climáticas. En cada estación se realizan las mismas actividades señaladas para el sub-programa regular, sin embargo hay que señalar que para el caso de los transvectores estos son recogidos solo con una frecuencia mensual, exceptuando aquellos puntos de muestreos que por la topografía del lugar o por la disponibilidad de recursos impiden la recolección de mariscos.

Para el caso del subprograma RMB, este provee información de un área que no está incluida en el área plaga de *Alexandrium catenella*. Considera una frecuencia de muestreo similar al sub-programa SFV, de hecho los sitios son muestreados en conjunto con los sitios del SFV. Los sitios de muestreo son 6 estaciones ubicadas en los sectores de Canal, Brazo del Pillán y frente a la desembocadura del río Palena, cuya ubicación se presenta en la **Figura 5.1**. En cada estación se realizan las mismas actividades señaladas para el SVF.



Al igual que en el programa regular, para estos dos sub-programas también se aplicaron análisis de conglomerados (“cluster analysis”) con el objetivo de ordenar y clasificar los sitios de muestreo para cada una de las variables consideradas, usando como medida de distancia el índice de similitud de Bray y Curtis, reduciendo la matriz mediante el método del grupo promedio no ponderado para luego representar los resultados en un dendrograma. La información analizada corresponde a los datos de fitoplancton cuantitativo a nivel específico para los primeros 10 metros de la columna de agua, además datos de abundancia relativa los cuales en este caso solo se realizaron para las especies de dinoflagelados nocivos: *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* y *Protoceratium reticulatum*, además de la concentración de veneno paralizante en mariscos centinela y frecuencia de muestras positivas para el veneno diarreico (mensuales). Los datos de bioensayo ratón para veneno diarreico fueron analizados en función de la frecuencia de resultados positivos, en tanto que para el veneno paralizante fueron promediadas las estimaciones de las dos réplicas por punto de muestreo. En aquellos casos en que ambas réplicas presentaron resultados no detectables mediante bioensayo, para fines de análisis estos fueron equivalentes a cero (0); si solo una de las réplicas presentó resultado no detectable, en ese caso se hizo equivalente a 30 µg eq. STX 100 g de carne de marisco (mínimo detectable por el analizador), valor que fue promediado con aquel obtenido en la otra réplica.

Al igual que en el programa regular los análisis fueron realizados con el programa PRIMER (“Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research”) (Ver metodología sección 5.2.1).

5.3 RESULTADOS

5.3.1. Configuraciones espaciales a partir de la biomasa fitoplanctónica

A partir del análisis de conglomerados se puede apreciar la conformación de 31 grupos de estaciones, con un porcentaje promedio de similitud (SIMPROF) mayor a 40 (**Figura 5.2**). El ordenamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestra de forma más clara la distribución de los 31 grupos resultantes, permitiendo separarlos para cada una de las tres regiones administrativas (**Figura 5.3**). De los 31 grupos el análisis segregó de forma independiente un total de 9 representados sólo por una estación. Si restamos del análisis los grupos segregados independientemente, tenemos que los cuatro grupos con más estaciones fueron: la zona de Chiloé Sur con 17 estaciones, que representan un 10,7 % del total de estaciones (**Figuras 5.4 y 5.5**), la zona de Chiloé Norte-Centro 16 estaciones, que representan un 10,1 % del total de estaciones (**Figuras 5.4 y 5.5**) y la zona Aysén Norte con 16 estaciones, que representan un 10,1 % del total de estaciones (**Figuras 5.4 y 5.5**). Mientras que, en la región de Magallanes la zona con más estaciones agrupadas fue la de seno Otway-Estrecho de Magallanes, con 13 estaciones, que representan un 8,2 % del total de estaciones (**Figuras 5.4 y 5.5**).



De la composición de las 15 especies que dominan cada grupo en términos de biomasa (**Figuras 5.6 – 5.10**) se puede extraer que estos resultados siguen mostrando que la composición fitoplanctónica en términos de biomasa muestra, desde Los Lagos a Magallanes, una ordenación espacial similar a la observada anteriormente cuando se realizó este análisis utilizando los datos de densidad.

A pesar de que el análisis segregó estaciones individuales, 13 estaciones menos que con el análisis de densidad, podemos comprobar que esta composición fitoplanctónica sigue siendo muy particular para cada región de estudio y que dentro de cada región se observan sectorizaciones que, como hemos mencionado en el informe final de la pasada etapa VIII de este programa, deben estar relacionadas con la variabilidad ambiental de cada región y sector en particular.

A diferencia del análisis realizado en función de la densidad, en el caso de la biomasa acumulada a partir de las 15 especies con mayor contribución a la biomasa total, alcanza valores cercanos al 50% del total de la biomasa del grupo. De lo que se infiere que la dominancia de algunas especies estaría más controlado, en donde las especies de mayor tamaño pasarían a jugar un rol importante en la determinación de la configuración de cada uno de los grupos segregados.

Otro aspecto relevante que marca la diferencia con el anterior análisis es el la pérdida de importancia de las diatomeas *Pseudo-nitzschia*, *P. cf australis* y *P. cf pseudodelicatissima*, que son reemplazadas por otras especies de mayor tamaño como por ejemplo las especies del género *Thalassiosira*.

Al igual que en el análisis con la densidad, las especies nocivas mostraron diferencias espaciales entre regiones. Sin embargo, la diferencia está marcada por la presencia de *Alexandrium catenella* dentro de 15 especies que más contribuyen a la biomasa total. En el caso de los grupos asociados a la región de los Lagos, no se observa presencia entre las 15 especies que más contribuyen a la biomasa total, Sin embargo en la región de Aysén y Magallanes el aporte porcentual de esta especie, cuando está presente, alcanza valores porcentuales cercanos al 5 y 2%, respectivamente. Este valor de contribución al ensamble fitoplanctónico es significativamente mayor al valor descrito en el análisis anterior cuando se utilizó la densidad y que en general indicó que las especies nocivas no superaban el 1% del total de la composición en cada ensamble fitoplanctónico.

5.3.2. Configuraciones espaciales a partir de la densidad fitoplanctónica.

Como una primera aproximación general obtenida del análisis, se puede apreciar la consistencia y permanencia de los grupos obtenidos en el análisis realizado en el informe anterior, en el cual los grupos principales que agrupaban más estaciones según la similitud de las especies fitoplanctónicas que los conforman siguen segregando juntas con pequeñas diferencias en la integración o salida de estaciones de cada uno de los grupos.



A partir del análisis de conglomerados se puede apreciar la conformación de 56 grupos de estaciones con un porcentaje promedio de similitud (SIMPROF) mayor a 40 (**Figura 5.11**). En la **Figura 5.12** se muestran los resultados del ordenamiento multidimensional (MDS) de las estaciones y la distribución espacial de los 56 grupos resultantes, permitiendo separarlos para cada una de las tres regiones administrativas. Esta distribución espacial queda conformada de la siguiente forma por cada región: 19 están en la región de Los Lagos, 24 en Aysén y 13 en Magallanes. Del total de 56 grupos obtenidos solo 20 segregaron en forma independiente los cuales están representados sólo por una estación (8 para Los Lagos, 9 para Aysén y 3 para Magallanes). Restando del análisis el conjunto formado por los grupos segregados independientemente, tenemos que los grupos con más estaciones agrupadas fueron para la zona de Quellón con 7 estaciones (**Figuras 5.13 y 5.14**) que representó un 13,4% del total de estaciones localizadas en la región de Los Lagos, la zona de Canal Jacaf- Boca Puyuhuapi con 8 estaciones (**Figuras 5.13 y 5.14**) que representó un 11,9% del total de estaciones localizadas en la región de Aysén y la zona Piazzi-Isthmus con 8 estaciones (**Figuras 5.13 y 5.14**) que representó un 13,6 % del total de estaciones localizadas en la región de Magallanes.

Cada uno de estos grupos se caracterizó por tener distintos taxones dominantes de la abundancia total, así, para Los Lagos el taxón dominante fue *Skeletonema* spp (10,47% abundancia total), para Aysén al igual que en Los Lagos la especie dominante fue *Skeletonema* spp (9,05%), mientras que para Magallanes *Leptocylindrus minimus* (8,03%) fue la especie que dominó los grupos formados en esa región (**Tabla 5.1**). Del análisis por regiones se observó que, para los 11 grupos de Los Lagos los taxones que dominaron numéricamente cada grupo (**Tabla 5.1**) fueron: 1) *Chaetoceros socialis* para la zona de Quellón, Corcovado 1, Calbuco y I. Guapikilán - I. Sn. Pedro (**Figuras 5.13 y 5.14**). 2) *Skeletonema* spp. para la zona del Seno de Reloncaví y Fiordo de Reloncaví. 3) *P. cf. pseudodelicatissima* para la zona de I. Desertores, Quemchi y Butacheuques (**Figuras 5.13 y 5.14**). Finalmente, 4) *Chaetoceros debilis* para los grupos Corcovado 2 y Dalcahue (**Figuras 5.13 y 5.14**). Para los 15 grupos de la región de Aysén se observó que los taxones dominantes en cada grupo (**Tabla 5.1**) fueron: 1) *Skeletonema* spp. para la zona de seno Aysén, Tortel, Estero Pitipalena, I. Meninea, Canal Moraleda centro 2, Aysén norte 2, Canal Chacabuco y Aysén norte 1 (**Figuras 5.13 y 5.14**). 2) *P. cf. pseudodelicatissima* para la zona Jacaf-Puyuhuapi, Boca Jacaf - Moraleda, I. Huichas, Moraleda centro 1, Puyuhuapi interior, Isla Teresa-I. Jesus (**Figuras 5.13 y 5.14**). Para los 8 grupos de la región de Magallanes se observó que los taxones dominantes en cada grupo (**Tabla 5.1**) fueron: 1) *Skeletonema* spp. para Magallanes Norte 1, Magallanes Norte 2, Estero de Las Montañas, Bahía inútil (**Figuras 5.13 y 5.14**). 2) *Chaetoceros debilis* para Piazzi-Isthmus, Estrecho de Magallanes 1 y Seno Otway (**Figuras 5.13 y 5.14**). 3) *Chaetoceros socialis* para Canal Beagle 1 (**Figuras 5.13 y 5.14**) ubicado al sur de Magallanes. 4) *Leptocylindrus minimus* para la zona del Estrecho de Magallanes 2 (**Figuras 5.13 y 5.14**). Finalmente el taxón *Thalassiosira cf. mendiolana* para la zona Canal Beagle 2. Del análisis de la composición fitoplanctónica de los 10 taxones que más contribuyen al total de la abundancia para cada conglomerado detallado anteriormente (**Tabla 5.1**), se aprecia que en todas las regiones el aporte de los 10 taxones sobrepasó el 50% de la abundancia total. Cuando se analizan los ranking de las primeras 15 especies dominantes para cada uno de los grupos segregados se evidenciaron correlaciones no significativas de Kendall (W) para el



periodo de estudio, lo que implica que se acepta la hipótesis nula que indica que existe una independencia de las especies dominantes para cada uno de los grupos segregados por el análisis de conglomerados. Un complemento de esta información se aprecia en la en la **Tabla 5.2**, que muestra para cada región las diferencias entre los taxones más importantes en términos de contribución (escalafón de abundancia) y composición (presencia/ausencia).

5.3.3. Descripción de los principales ensambles fitoplanctónicos por sector geográfico.

Seno de Reloncaví: Para este sector (Grupo AQ), formado por un conjunto de 5 estaciones de muestreo (L01, L03, L04N2, L06N1, L06N2) (**Figuras 5.13 y 5.14**), la contribución más alta al ensamble fitoplanctónico de este grupo la presentó la especie *Skeletonema* spp. con cerca del 20 %, mientras que las especies que le siguen en porcentaje son *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia* spp. que en conjunto representan cerca del 15%. El conjunto de las 15 especies principales que conforman este grupo representa aproximadamente el 65% del total del fitoplancton. En tanto, el resto de las especies (“otras”) contribuyen con cerca del 35% del total del ensamble fitoplanctónico (**Figura 5.15a**). Cabe señalar que las especies nombradas como “otras” en las diferentes figuras (se extiende para Las **Figuras 5.15 a 5.24**) representan un conjunto de 165 especies que no entran en el ranking de las 15 principales de cada grupo.

Fiordo de Reloncaví: Las estaciones de muestreos agrupadas dentro del fiordo (Grupo C, estaciones L02, L02N1, L02N3, L03N3, **Figuras 5.13 y 5.14**), presentan una alta contribución de la especie *Skeletonema* spp. representando cerca del 40% del fitoplancton total que compone este grupo (**Figura 5.15b**). En menor medida se encontraron las especies de *Chaetoceros* spp. y *Eucampia zodiacus*, que en conjunto alcanzan cerca del 10%. Por otro lado, el conjunto de las 15 especies principales que conforman este grupo representan más del 70% del fitoplancton total en este sector. En cuanto a las especies restantes (“otras”) su porcentaje de contribución fue menor al 30% (**Figura 5.15b**).

Calbuco: Entre las especies que componen el ensamble de fitoplancton en la zona de Calbuco (L04, L04N3 y L04N4, L17N1, **Figuras 5.13 y 5.14**), *Chaetoceros socialis* es la especie que más contribuye en este conglomerado con un 9%, y muy de cerca le siguen las especies *Chaetoceros debilis* y *Skeletonema* spp. con un 7,9 y 7,3% respectivamente. Tomando el conjunto de las 15 principales especies representan cerca de un 65% de la contribución al ensamble, mientras que el resto (~35%) lo componen las otras 165 especies (**Figura 5.15c**).

Quemchi: El conglomerado estuvo compuesto por las estaciones L06, L07, L08 y L09 (**Figuras 5.13 y 5.14**) y presentó al género de *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* como contribuyente mayoritario en el ensamble de fitoplancton con un 9%. Por otro lado, las especies que siguieron en importancia a la contribución del ensamble fueron las especies *Pseudo-nitzschia* spp. con un 7,8% y *Skeletonema* spp. con un 6,1%. Cabe destacar que el análisis anterior (periodo 2006-2014) la especie que contribuía en mayor porcentaje al ensamble de este grupo era *Skeletonema* spp. con



mas de un 12%. En cuanto al conjunto de las principales especies contribuyen con un cerca del 63% del total del fitoplancton que compone este grupo (**Figura 5.15b**).

Quellón: (ver conglomerado en **Figuras 5.13 y 5.14**). *Chaetoceros socialis* contribuye mayormente a la similitud de este ensamble con un 13%. Mientras que las especies *Chaetoceros debilis* y *Skeletonema* spp. son las siguientes en importancia con 7% y 5,2% del total del ensamble que conforma el grupo. Las principales especies (15) que contribuyen a la similitud del grupo, representan cerca del 65% del total, mientras que las 165 especies restantes alcanzan aproximadamente un 35% (**Figura 5.16d**).

Corcovado 1: Grupo representado por 6 estaciones (L22, L22N2, L22N3; L23N1, L23N2, L24N1, **5.13 y 5.14**). No presenta una especie marcadamente dominante, presentando contribuciones muy similares entre las primeras 15 especies más importantes del grupo, representando en conjunto cerca del 60 % del total. Las tres primeras especies en porcentaje de contribución son *Chaetoceros socialis* (5,07%), *Thalassiosira* cf. *minúscula* (4,95%) y *Thalassiosira rotula* (4,69%) (**Figura 5.17b**).

Aysén norte 1: (ver conglomerado en **5.13 y 5.14**). Las especies que más contribuyen son *Skeletonema* spp (12,06%), *Chaetoceros socialis* (7,25%) y *Eucampia zodiacus* (5,89%). El conjunto de las 15 principales especies contribuyen con cerca del 58% del total del ensamble fitoplanctónico para este grupo (**Figura 5.18a**).

Aysén norte 2: (ver conglomerado en **5.13 y 5.14**) Las especies que más contribuyen a la similitud del ensamble son *Skeletonema* spp., (10,89%), *Pseudo-nitzschia* cf. *pseudodelicatissima* (6,14%) *Eucampia. zodiacus* (4,96%) (**Figura 5.18b**). El principal cambio en la contribución de las primeras especies con respecto al análisis anterior (periodo 2006-2014) es el desplazamiento de *E. zodiacus* y *Ch. debilis* por parte *P. cf. pseudodelicatissima* la cual quedó como la segunda especie en importancia en la contribución a la similitud del grupo. Por otra parte, cerca del 43% del ensamble está constituido por las 165 especies restantes.

Raúl Marín Balmaceda: Este grupo conformado por las estaciones A06, A07, A08, A08N1 (**Figuras 5.13 y 5.14**) presenta a *Skeletonema* spp como la especie de mayor importancia en la contribución al fitoplancton total del grupo con un 15,9%. Las dos especies que le siguen en importancia son *Chaetoceros debilis* y *Rhizosolenia setigera* con un 7,92% y 5,1% respectivamente. La suma porcentual de las principales 15 especies es superior al 63% por lo que las especies restantes (165) contribuyen con cerca del 37% (**Figura 5.18c**).

Cabe destacar que las estaciones que forman este conglomerado estaban repartidas en diferentes grupos al analizar el periodo 2006-2014, por lo que es el único grupo nuevo que aparece en el análisis al incluir también el periodo 2015.



Canal Moraleda Centro 1: (ver conglomerado en **Figuras 5.13 y 5.14**). Este conglomerado no difiere mucho en cuanto a composición e importancia de las especies en la constitución del ensamble fitoplanctónico con respecto a los grupos formados cerca del Canal Jacaf-Boca del Puyuhuapi (**Figura 55b**) o de Puyuhuapi Interior (**Figura 5.19d**), en los cuales *P. cf. pseudodelicatissima* aporta entre 12 a 18% a la similitud, seguida por *Skeletonema* spp con porcentajes entre 5-12%. En general para este grupo las especies con mayor importancia aportan cerca del 51% del total del fitoplancton (**Figura 5.19c**).

Isla Meninea: (ver conglomerado en **Figuras 5.13 y 5.14**). Este conglomerado presenta al género *Skeletonema* spp. como el que más contribuye a la similitud del ensamble con crca del 10% (**Figura 57b**). Sin embargo, otras especies de fitoplancton muestran distintos grados de importancia (en términos de contribución) dentro del ensamble (**Figura 5.21b**), es el caso de *P. cf. pseudodelicatissima* y *Asteronelliopsis glacialis* que presentan una contribución de 8,9% y 6,8% respectivamente. El conjunto de las 15 primeras especies sigue siendo el más importante llegando a más del 62% de la contribución total del ensamble fitoplanctónico.

Tortel: Se observa que el conglomerado de estaciones (**Figura 5.21c**), presenta como especie con mayor contribución a *Skeletonema* spp., con aproximadamente 17,56% del total, si bien presentan especies en común, sus contribuciones varían dentro del ensamble, pudiendo citar a *Chaetoceros radicans* y *P. cf. pseudodelicatissima* como las segundas en importancia. La contribución de los dinoflagelados nocivos se mantiene bajo el 1%, siendo *A. catenella* quién más contribuye a la similitud con un 0,47% en el conglomerado.

Magallanes norte 2: (ver conglomerado de estaciones en **Figuras 5.13 y 5.14**). Éste conglomerado, presenta a *Skeletonema* spp., como el género que más contribuye a la similitud del ensamble, con una representación mayor a un 10% (**Figura 5.22b**). Como en los casos anteriores, dentro del ensamble de fitoplancton presentan especies en común, pero sus contribuciones varían como el caso de *Chaetoceros radicans* y *Leptocylindrus minimus*. Los cuales tienen un porcentaje de contribución al ensamble de un 7,6% y un 7,02% respectivamente. Este grupo nuevamente está fuertemente representado por las 15 principales especies que conforman el grupo aportando con más del 67% al total del fitoplancton.

Estrecho de Magallanes 1 y 2: Dos grupos que a pesar de encontrarse en el mismo sector geográfico presenta diferente composición en los ensambles fitoplanctónicos que los conforman. Para la zona del Estrecho de Magallanes 1 las principales especies que contribuyen a la similitud del grupo son *Chaetoceros debilis* con un 9,4%, *Chaetoceros* spp. con un 6,2% y *Leptocylindrus minimus* con un 6,04% (**Figura 5.23b**), mientras que para la el grupo Estrecho de Magallanes 2 la contribución mas alta al ensamble fitoplanctónico la tuvo *Leptocylindrus minimus* con un 14,1%, seguida de *Guinardia delicatula* y *Chaetoceros* spp. con un 9,8% y 8,9% respectivamente (**Figura 5.23d**). En Ambos casos la contribución dada por las primeras 15 especies en importancia fue más del 70%



Canal Beagle 1 y 2: Si bien en el primer análisis este grupo de estaciones segregaron juntas en un mismo grupo, al hacer el análisis incorporando los datos del año 2015, se separa en dos grupos, el primero conformado por la estaciones M40, M40N1, M41, M42 M43 y el segundo por las estaciones M44, M45, M46 (**Figuras 5.13 y 5.14**). La diferencia está dada por la composición de especies de ambos grupos donde en el primero la especie que más contribuye es *Chaetoceros socialis* con cerca de un 16% y en el segundo la especie predominante es *Thalassiosira cf. mendiolana* con más de un 12%, le siguen *Chaetoceros* spp con menos de un 10% en el caso del primer grupo (**Figura 5.24a**) y *Leptocylindrus minimus* con cerca de un 8% en el caso del segundo. En ambos casos el ensamble está mayoritariamente representado en las 15 especies más importantes las cuales representan el 76,6% en el caso de Canal Beagle 1 y 71,5% para el segundo.

5.3.4. Variabilidad espacio-temporal de la abundancia relativa de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales.

A partir de los resultados obtenidos en la etapa previa de este programa de monitoreo, se obtuvo que la variable que mejor explicó la variabilidad de la abundancia relativa de los taxones nocivos fue la temperatura a 5 metros de profundidad. Es por ello, que en esta etapa comenzamos el análisis exploratorio de las variables ambientales, describiendo la distribución de la temperatura a 5 metros de profundidad, además de la distribución de salinidad y densidad en la misma capa de agua.

La **Figura 5.25** muestra la distribución latitudinal y temporal de las variables ambientales. En esta se puede destacar que los máximos valores de temperatura (~20 °C) están asociados principalmente a los meses de verano (enero – febrero), las cuáles se registraron en las primeras estaciones de la región de Los Lagos ubicadas en el fiordo de Reloncaví, mientras que los valores mínimos de temperatura se observaron durante el invierno (~2 °C) asociadas a las estaciones ubicadas en el canal Beagle (55°S) en la región de Magallanes. Al comparar las tres regiones se aprecia una importante diferencia de los valores de temperatura durante los meses de invierno, siendo ésta menor en la región de Magallanes y con una tendencia a aumentar hacia las estaciones ubicadas en el norte. Se observaron pocas diferencias estacionales, de las cuáles podemos destacar, la anteriormente comentada diferencia observada en el fiordo Reloncaví (41,5°S) y las bajas diferencias estacionales (~2 °C) observadas en el sector de Tortel (48°S).

Por su parte, la salinidad a 5 metros de profundidad muestra un claro patrón latitudinal, donde en las estaciones al interior del fiordo de Reloncaví (41,5°S) y Tortel (48°S) se registraron los menores valores de salinidad (<15 UPS) durante los meses de enero y febrero, respectivamente. Los valores mayores de salinidad (>32 PSU) fueron registrados en las estaciones ubicadas en el mar interior de Chiloé (42,1 – 43,5°S) en las cuáles no se observó variabilidad estacional. Éste patrón latitudinal con valores similares de salinidad. Una importante diferencia en los valores promedio (5 UPS) de salinidad se registró entre las estaciones ubicadas en el sector de Última Esperanza (52°S) y las estaciones ubicadas en el Seno Otway y Estrecho de Magallanes (52,6 – 54,0°S).



Finalmente, para la distribución de densidad (Kg m^{-3}) se observó un patrón similar al descrito para la salinidad, con una importante distribución latitudinal, donde los mayores valores ($>25 \text{ Kg m}^{-3}$) de densidad se registraron en el mar interior de Chiloé ($42,1 - 43,5^\circ\text{S}$) y Canal Beagle (55°S), mientras que, lo menores valores ($<15 \text{ Kg m}^{-3}$) fueron registrados en las estaciones ubicadas en fiordo de Reloncaví ($41,5^\circ\text{S}$) y Tortel (48°S), en donde además se observaron diferencias estacionales entre los meses de verano y el resto del año.

La **Figura 5.26** muestra la distribución del promedio mensual de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* y *Alexandrium ostenfeldii*. Del análisis por regiones de la abundancia promedio de *A. catenella* se reconoce un claro patrón latitudinal donde los valores entre 0 y 1 se registraron en las estaciones de la región de los Lagos, los valores entre 0 y 3 se registraron en la región de Magallanes y los valores entre 0 y 5 se registraron en la región de Aysén, específicamente en la estación ubicada en el Estero Quitralco ($45,7^\circ\text{S}$), donde se registraron valores promedio cercanos a 5 durante el mes de febrero. Además, en las regiones de Aysén y Magallanes se observó un marcado patrón estacional. En este sentido, en Aysén se registró un incremento de valores de abundancia relativa promedio a partir de octubre (primavera), que aumentó durante los meses de enero, febrero y marzo, disminuyendo en abril cuando se presentan las condiciones de otoño. Mientras que, durante junio, julio, agosto y septiembre los valores se mantuvieron bajos (<1) en toda la región. Este patrón estacional se mantiene en la región de Magallanes, con la diferencia que los máximos valores se registraron en dos zonas bien diferenciadas en su ubicación, durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre los máximos valores (~ 3) se registraron en el sector de Magallanes Norte ($48 - 52^\circ\text{S}$), mientras que durante los meses de enero, febrero y marzo los máximos valores se registraron en las estaciones del canal Beagle (55°S). En ambas regiones se observaron valores bajos en los meses de invierno (<1), sin embargo, estos valores se prolongan más en el tiempo en la región de Magallanes abarcando el periodo de meses comprendido entre abril y septiembre.

A diferencia de *A. catenella*, la distribución latitudinal de *A. ostenfeldii* cubre una amplia zona de muestreo de la región de Los Lagos y en algunas estaciones está presente durante todo el año, registrándose valores mayores a 1. Otra diferencia con *A. catenella*, es que en la región de Aysén *A. ostenfeldii* se registraron los valores mayores durante el invierno y valores bajos en los meses de verano. Por su parte, en la región de Magallanes la distribución de la abundancia relativa es similar al patrón observado para *A. catenella*, donde los valores máximos fueron registrados en verano asociados a las estaciones ubicadas en el canal Beagle (55°S).

La **Figura 5.27** muestra la distribución espacio – temporal de la abundancia relativa promedio de los taxones *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta* y *Protoceratium reticulatum*. En general, la figura muestra que *Dinophysis acuminata* tiene una alta distribución abarcando las tres regiones del monitoreo, con los mayores valores (>4) asociados a las estaciones ubicadas en el fiordo de Reloncaví en la región de Los Lagos, en estas estaciones los valores de abundancia relativa se mantendrían entre 3 y 4 durante todo el año. Mientras que, en la región de Aysén se observó que los mayores valores (>4) se registraron durante el final de la primavera hasta comienzos del otoño



(Noviembre – Marzo). Los menores valores estuvieron asociados a la región de Magallanes, la cuál presentó valores <2 durante los meses de verano y valores cercanos a 0 en el invierno.

La distribución espacial y temporal de la abundancia relativa promedio de los taxones *Dinophysis acuta* y *Protoceratium reticulatum* mostraron un patrón similar entre sí, con una cobertura espacial menor que *Dinophysis acuminata* y con valores cercanos a cero en la región de Magallanes. Mientras que, los valores altos (cerca de 3 y 5 en *D. Acuta* y *Protoceratium reticulatum*, respectivamente) fueron registrados en la región de Aysén, asociados principalmente a los meses de verano. A diferencia de *D. Acuminata*, se registraron valores cercanos a cero en la abundancia relativa promedio *D. acuta* en la región de Los Lagos.

La **Figura 5.28** muestra que la distribución tanto espacial como temporal de *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima* son semejantes, con una amplia cobertura en las tres regiones del monitoreo, especialmente durante los meses de verano. En ambos casos los valores máximos (cerca de 5) se registraron en las estaciones ubicadas en las regiones de Los Lagos y Aysén, mientras que, los valores bajos cercanos a 0 se registraron en la zona de Magallanes Centro durante los meses de invierno.

Finalmente, la distribución de las tres toxinas en cada una de las regiones y para cada uno de los meses promediados se muestran en la Figura 40. Del análisis de esta figura se desprende que el veneno paralizante de los mariscos (VPM) presentó un patrón estacional con máximos valores asociados a los meses de verano (enero – abril) en la región de los Lagos y a partir de la primavera (octubre – marzo) en la región de Magallanes. Los mínimos promedios de VPM fueron registrados en las estaciones ubicadas en región de los Lagos, el sector de Tortel (48°S) y parte del sector de Magallanes Norte ($48,7 - 50,1^{\circ}\text{S}$). Por su parte los máximos valores de VPM se registraron en la región de Aysén durante el mes de marzo, donde en la mayoría de las estaciones se registraron valores cercanos a los $1500 \mu\text{g SXT eq } 100 \text{ g}^{-1}$, sin embargo, los niveles de toxicidad aumentan hasta $\sim 2500 \mu\text{g SXT eq } 100 \text{ g}^{-1}$ en las estaciones ubicadas en el estero Elefantes en Aysén Sur.

La **Figura 5.29** muestra que la ocurrencia de VDM abarcó un importante área geográfica con presencia en las tres regiones del monitoreo pero con valores de ocurrencia muy dispares. En general, en la región de Magallanes se observó una estacionalidad en la ocurrencia promedio de la VDM, con los registros máximos asociados a los meses de primavera – verano (septiembre – marzo), mientras que, en las estaciones ubicadas en Aysén Norte y Canal Yacaf ($44,2 - 45^{\circ}\text{S}$) en la región de Aysén, la ocurrencia de la toxina es mayor a 0,5 durante el año y con valores altos (0,7 – 1) en el mes de febrero. En contraste, en la región de Los Lagos los valores de ocurrencia de la VDM son bajos (<2) y en las estaciones del Sur de Chiloé en gran parte del año los valores de ocurrencia son cercanos a cero.



Finalmente, se observó que la distribución espacio – temporal de la concentración promedio de VAM en las tres regiones de monitoreo fue bajo (cercano a cero) durante gran parte del año. Destacan un grupo de estaciones ubicadas en el canal Jacaf (44,3°S) e Islas Huichas (45°S) que durante abril y octubre, respectivamente, mostraron las mayores concentraciones promedio ($> 1 \mu\text{g g}^{-1}$) de VAM.

5.3.5. Principales áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos y su relación con variables biológicas y ambientales.

A partir de los análisis de conglomerados, realizados con los promedios mensuales del VPM para las 178 estaciones de monitoreo seleccionadas, se obtuvieron un total de 71 grupos (**Figura 5.30**), de los cuáles 54 segregaron independientes (42 estaciones en los Lagos, 7 en Aysén y 5 en Magallanes, **Tabla 5.3**), que representan el 30,9% del total de las estaciones del monitoreo. Estos grupos que segregan independientes ya que en ellos no se registraron concentraciones de VPM durante todo el monitoreo (Círculos blancos en la **Figuras 5.31, 5.32 y 5.33; Tabla 5.3**).

Las estaciones restantes fueron agrupadas de acuerdo a los niveles de toxina por grupo y la temporalidad de los registros en los sitios de monitoreo (**Figuras 5.31, 5.32 y 5.33**). El grupo que integró el mayor número de estaciones fue el Grupo 15 (Círculos rojos, **Tabla 3**) que agrupó un total de 29 estaciones (Todas ellas ubicadas en la región de Aysén, **Tabla 5.3**), representando un 16,3% del total de las estaciones del monitoreo. El máximo valor de toxicidad para este grupo fue de 7434 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de marzo de 2009, con un promedio grupal ($\pm$ Desviación Estándar, DE) $351 \pm 989 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$.

El segundo grupo que integró el mayor número de estaciones fue el Grupo 14 (Círculos lilas, **Tabla 3**) que agrupó un total de 12 estaciones (11 estaciones en la región de Aysén y 1 en Magallanes, **Tabla 5.3**), representando un 6,7% del total de las estaciones del monitoreo. El máximo valor de toxicidad para este grupo fue de 1239 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de diciembre de 2006, con un promedio grupal ($\pm$ DE) $123 \pm 239 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$.

Los siguientes grupos que integraron los mayores número de estaciones fueron los Grupos 16 y 17 (Círculos azules y verdes, respectivamente, **Tabla 3**), cada uno de ellos agruparon un total de 11 estaciones. En el caso del Grupo 16, las estaciones se ubicaron en las tres regiones (2 en la región de los Lagos, 3 en la región de Aysén y 6 en Magallanes, **Tabla 5.3**), representando un 6,2% del total de las estaciones del monitoreo. El máximo valor de toxicidad para este grupo fue de 182 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de mayo de 2006, con un promedio grupal ($\pm$ DE) $18 \pm 35 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$. Mientras que, para el Grupo 17 las estaciones que lo componen se ubicaron principalmente en la región de los Lagos (7 estaciones) y en la región de Magallanes (4 estaciones), representando un 6,2% del total de las estaciones del monitoreo. El máximo valor de toxicidad para este grupo fue de 74 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de diciembre de 2006, con un promedio grupal ($\pm$ DE) $4 \pm 13 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$.



Por su parte, el Grupo 13 (Círculos celestes, **Tabla 5.3**) agrupó un total de 9 estaciones (5 estaciones en la región de Aysén y 4 en Magallanes, **Tabla 5.3**), representando un 5,1% del total de las estaciones del monitoreo. El máximo valor de toxicidad para este grupo fue de 6153 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de febrero de 2010, con un promedio grupal ($\pm\text{DE}$) $223\pm 761 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$. Mientras que, el Grupo 11 (Cruces rojas, **Tabla 5.3**) agrupó un total de 7 estaciones (Todas ubicadas en la región de Magallanes, **Tabla 5.3**), representando un 3,9% del total de las estaciones del monitoreo. El máximo valor de toxicidad para este grupo fue de 10993 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de enero de 2010, con un promedio grupal ($\pm\text{DE}$) $295\pm 1270 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$.

Los Grupos 2, 7 y 12 (Círculos café, círculos naranjos y cruces amarillas, respectivamente; **Tabla 5.3**), estas estaciones agruparon un total de 6 estaciones ubicadas en Tortel (Grupo 2), Magallanes (Grupo 7) y en las regiones de Aysén (2 estaciones) y Magallanes (4 estaciones) en el caso del Grupo 12. Cada uno de estos grupos representa un 3,4% del total de las estaciones del monitoreo. Los valores máximos de toxicidad para los Grupos 2 y 7 fueron de 227 y 358 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurridos en el mes de noviembre de 2012 y noviembre de 2009, respectivamente. Los promedios ($\pm\text{DE}$) grupales fueron bajos para los Grupos 2 y 7 con valores de 11 ± 35 y $29\pm 53 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Mientras que, para el Grupo 12 se observaron valores de toxinas mayores comparadas con los Grupos 2 y 7, con un máximo valor de toxicidad fue de 2763 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de febrero de 2010 y un promedio grupal ($\pm\text{DE}$) de $95\pm 301 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$.

Finalmente, los Grupos 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10 (Cruces café, círculos amarillos, rombos celestes, círculos calipso, círculos verde claro, círculos rosados, respectivamente; **Tabla 5.3**) agruparon menos de 5 estaciones del monitoreo representado, cada uno de ellos, menos del 3% del total de estaciones. En general tanto los valores máximos como los valores promedio grupales fueron bajos, destacándose el Grupo 10 para el cual se observó un valor de toxicidad mayor al resto de 7142 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ ocurrido en el mes de diciembre de 2007, con un promedio grupal ($\pm\text{DE}$) $499\pm 1228 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$.

Para los grupos anteriormente descritos y con mayor número de estaciones (Grupos 2, 7, 10, 11, 13, 14, 15 y 17), se realizaron gráficas temporales (mayo 2006 – febrero 2015) para el promedio grupal ($\pm\text{Error Estándar, EE}$) de: VPM ($\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$), densidad de *Alexandrium catenella* (células L^{-1}) y abundancia relativa de *Alexandrium catenella* (**Figuras 5.34 – 5.41**). Para una mejor representación gráfica los valores mensuales de VPM y densidad de *A. catenella* fueron transformados logarítmicamente. En general, se observó que los valores promedios máximos de VPM estuvieron asociados a los periodos de verano (zona achurada durante diciembre, enero, febrero) y que estos niveles altos de VPM fueron coincidentes con los valores altos de densidad y abundancia relativa para el mismo periodo. En la mayoría de los grupos graficados se observó que los mayores registros de las variables consideradas ocurrieron durante el verano del año 2009, sin embargo, con rangos máximos dispares entre los distintos grupos seleccionados. Para los valores de densidad y abundancia relativa de *A. catenella*, se observó que ambas variables mantienen un



patrón de distribución similar, con valores altos en el verano y bajos, cercanos a cero, asociados al invierno.

Al realizar un análisis por grupo de estaciones, se pudo observar que los niveles de VPM, Densidad y abundancia relativa de *A. catenella* varían de acuerdo a la ubicación de las estaciones que componen cada uno de los grupos.

Para el Grupo 2 (**Figura 5.34**), con estaciones ubicadas principalmente en Tortel (Círculos cafés, **Figura 5.32**), se observó que los niveles de VPM promedio para el grupo fueron variables desde 2006 al 2009, con valores promedio y error estándar mayores a la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) durante gran parte del periodo y con máximos niveles asociados al verano. A partir del nivel máximo observado durante el verano del 2009, se observó una tendencia a la disminución hasta alcanzar, durante el otoño de 2013, valores menores a la norma, densidades celulares cercanas a cero y abundancia relativa bajo el nivel 3 (de precaución moderada).

Para el Grupo 7 (**Figura 5.35**), con estaciones ubicadas principalmente en Magallanes norte (Círculos naranjos, **Figura 5.33**), se observó que los niveles de VPM promedio ($\pm$ error estándar) del grupo para toda la serie de tiempo se mantuvieron cercanos a la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) durante gran parte del periodo y con máximos niveles asociados al verano. A partir de un nivel máximo observado durante diciembre de 2012, se registraron niveles bajos cercanos a cero durante el periodo 2013 – 2015. Una situación similar se observó para la densidad celular, sin embargo, los estimadores de abundancia relativa indicaron que las células de *A. catenella* fueron cuantificadas en el agua, pero en niveles bajos, que no superaron el nivel 3 (de precaución moderada).

Para los Grupos 10 y 11 (**Figuras 5.36 y 5.37**), con estaciones ubicadas principalmente en Magallanes norte (Círculos rosados, **Figura 5.33**) y Magallanes centro (Cruces rojas, **Figura 5.33**), se observó una tendencia similar, donde los niveles de VPM promedio ($\pm$ error estándar) del grupo para toda la serie de tiempo se mantuvieron sobre la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) durante gran parte del periodo y con máximos niveles asociados al verano de 2009. A partir de un nivel máximo observado durante diciembre de este año, se registraron valores con una tendencia a la disminución, que sólo se mantuvieron bajo la norma durante la primavera el 2014 y verano de 2015. De igual forma, los valores de densidad celular y abundancia relativa fueron los más altos durante noviembre – diciembre de 2009, alcanzando valores de 6 en abundancia relativa, valor que es considerado como de situación de riesgo por la importante presencia de *A. catenella* en el agua.

Para el Grupo 13 (**Figura 5.38**), con estaciones ubicadas principalmente en Aysén sur, (Círculos celestes, **Figura 5.32**), se observó que los niveles de VPM promedio ($\pm$ error estándar) del grupo para toda la serie de tiempo se mantuvieron sobre la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) durante gran parte del periodo y con máximos niveles asociados al verano de 2010 (enero – febrero). A partir de un nivel máximo observado durante diciembre de este año, se registraron valores con una tendencia a la disminución. De igual forma, los valores de densidad celular y



abundancia relativa fueron los más altos durante enero – febrero de 2010, alcanzando valores promedio mayores a 4 en abundancia relativa durante los siguientes veranos, con un valor máximo de 6 en el verano de 2015, valor que es considerado como de situación de riesgo y máxima precaución por la presencia de *A. catenella* en el agua.

El Grupo 14 (**Figura 5.39**) reúne a las estaciones con estaciones ubicadas principalmente en Aysén norte, asociadas a los Fiordos Puyuhuapi – Jacaf (Círculos lilas, **Figura 5.32**). se observó que los niveles de VPM promedio ($\pm$ error estándar) del grupo para toda la serie de tiempo se mantuvieron sobre la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) durante gran parte del periodo y con máximos niveles asociados al verano de 2010 (enero – febrero). A partir de un nivel máximo observado durante diciembre de este año, se registraron valores con una tendencia a la disminución. De igual forma, los valores de densidad celular y abundancia relativa fueron los más altos durante enero – febrero de 2010, alcanzando valores promedio mayores a 4 en abundancia relativa durante los siguientes veranos, con un valor máximo de 6 en el verano de 2015, valor que es considerado como de situación de riesgo y máxima precaución por la presencia de *A. catenella* en el agua.

El Grupo 15 (**Figura 5.40**) reúne a las estaciones ubicadas principalmente en el eje del canal Moraleda en la región de Aysén (Círculos rojos, **Figura 5.32**). Se observó que los niveles de VPM promedio ($\pm$ error estándar) del grupo para toda la serie de tiempo se mantuvieron, durante toda la serie de tiempo por sobre la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) y con máximos niveles asociados al verano de 2009 (enero – marzo). A partir de un nivel máximo observado durante marzo de este año, se registraron valores con una tendencia a la disminución, los cuáles nunca estuvieron por bajo la norma. De igual forma, los valores de densidad celular y abundancia relativa fueron los más altos durante enero – marzo de 2009, alcanzando valores promedio mayores a 4 en abundancia relativa durante los siguientes veranos, con un valor máximo de 5 en el verano de 2015, valor que es considerado como de situación de riesgo y máxima precaución por la presencia de *A. catenella* en el agua.

El Grupo 17 (**Figura 5.41**) reúne a las estaciones con estaciones ubicadas principalmente en Chiloé Sur (Círculos verdes, **Figura 5.31**). Se observó que los niveles de VPM promedio ($\pm$ error estándar) del grupo para toda la serie de tiempo se mantuvieron durante gran parte del periodo bajo la norma ($80 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, línea punteada roja) a excepción de los niveles altos asociados a los veranos de 2007, 2008 y 2009. Sin embargo, los valores de densidad celular y abundancia relativa fueron los más altos durante enero – febrero de 2009, alcanzando valores promedio mayores a 3 en abundancia relativa, manteniéndose con valores mayores a 1 durante todo el año, aunque estos valores no son considerados como de situación de riesgo y representa una preocupación baja por la presencia de *A. catenella* en el agua.

Cuando analizamos las diferencias de la concentración del VPM y la temporalidad estacional (promedio y error estándar mensual) entre cada uno de los grupos anteriormente descritos (**Figura 5.42**), podemos observar que las diferencias entre los grupos se deben a los niveles de VPM alcanzados (e.g. máximos en el Grupo 11 durante enero y con niveles bajos a partir de marzo hasta



diciembre) y la ocurrencia mensual de estos valores. En el caso de los grupos que presentaron niveles máximos durante el verano (e.g. Grupo 15) se pudo observar que después de estos niveles altos pasaron entre 4 y 5 meses para alcanzar niveles bajos de la toxina. En el caso de este grupo, un máximo valor observado en marzo ($\sim 2000 \mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$) disminuye a valores bajo la norma en agosto.

Por otra parte, se utilizó una función de autocorrelación entre el VPM del Grupo 15, que fue el que presentó niveles más altos de toxinas, con las variables ambientales (Salinidad a 10 metros, Velocidad Promedio del Viento, Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* y Temperatura del agua a 10 metros), con el objeto de evaluar el grado de dependencia de los datos con un retraso máximo de 20 meses. La matriz de autocorrelación del VPM mostró una correlación significativa y positiva ($r > 0.2$) al cuarto mes de retraso con la Salinidad a 10 metros de profundidad (**Figura 5.43**), una correlación significativa y negativa ($r > -0.2$) al tercer mes de retraso con la Velocidad Promedio del Viento (**Figura 5.44**), una correlación significativa y positiva ($r > 0.2$) en el mismo mes (sin retraso) con la Abundancia Relativa de *Alexandrium catenella* (**Figura 5.45**) y una correlación significativa y positiva ($r > 0.2$) al segundo mes de retraso con la Temperatura a 10 metros de profundidad (**Figura 5.46**).

5.3.6 Primer análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)

5.3.6.1. Configuraciones espacio-temporales de variables ambientales

Al igual que con programa regular y con el fin de definir los grupos de estaciones con rasgos ambientales similares se realizó un análisis de conglomerados utilizando la distancia euclidiana como índice de similitud sobre las variables ambientales seleccionadas para cada una de las 23 estaciones, pero con la diferencia que se tomó un nivel del 5%. El corte más ajustado permite definir solo 3 grupos de estaciones (**Figura 5.47**), los cuáles se muestran en la **Figura 5.48** para facilitar su localización geográfica: De estos tres, el grupo A está compuesto por solo una estación (A08N3) la cual segregó de forma individual y está ubicada en la boca del Estero Pitipalena. El grupo C, que agrupa 4 estaciones, todas ubicadas en el Estero Pitipalena, y por último un gran grupo que reúne a la mayoría de las estaciones (18 en total), tanto de la región de Los Lagos como de Aysén abarcando las zonas de Quellón, Sur de Chiloé, Golfo del Corcovado, Melinka, I. Ovalada, y Canal Moraleda.

El análisis de ordenación por el método de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) permitió mostrar los resultados de la clasificación disponiendo las estaciones agrupadas en sus ensambles con un coeficiente de estrés de Kruskal de 0,1 (**Figura 5.49**). Sin considerar la estación que segregó de forma individual, se puede diferenciar claramente los otros dos grupos (Estero Pitipalena y el resto de estaciones), aunque por su corta distancia podemos decir que ambos grupos tienen una gran similitud.



El ACP realizado a las variables ambientales mostró que CP1 y CP2 dan cuenta del 62,6% de la varianza total, representando CP1 un 41,7% de la varianza, siendo la componente que explicaría la mayor diferenciación entre estaciones de muestreo, ya que la mayoría de las variables co-varian con esta componente, excepto las variables de temperatura (5m) y presión barométrica que lo hicieron con CP2. Lo anterior sugiere que CP1 se trataría de un eje principalmente meteorológico, definido positivamente por la nubosidad y la dirección del viento. La interpretación de estos dos ejes permite explicar las características ambientales en que se encuentran las estaciones muestreadas en cada uno de los cuadrantes de la **Figura 5.50**. Así en el cuadrante superior derecho se situarían las estaciones con alta salinidad, baja temperatura y nubosidad moderada, en el inferior derecho las estaciones con una nubosidad alta, baja temperatura y salinidad media, en el inferior izquierdo las estaciones con temperatura media, baja salinidad y nubosidad media y en el superior izquierdo aquellas estaciones con baja salinidad, alta temperatura y baja nubosidad.

5.3.6.2. Configuraciones espacio-temporales para el fitoplancton total

A partir del análisis de conglomerados se puede apreciar la conformación de 11 grupos de estaciones con un porcentaje promedio de similitud (SIMPROF) mayor a 70 (**Figura 5.51**). De estos 11 grupos resultantes 3 segregaron de forma individual que correspondieron a las estaciones L20N1 (Grupo B) ubicada frente a Quellón, L19N2 (Grupo D) ubicada al sur de Quellón y A06 (Grupo F) en la cabeza del estero Pitipalena. Por otra parte tenemos que los tres grupos con más estaciones agrupadas fueron para la zona de sur de Chiloé con 4 estaciones (grupo E, estrellas rosadas, **Figura 5.52**), zona de Quellón (Grupo C) con 3 estaciones (triángulo rojo, **Figura 5.52**), y la zona del estero Pitipalena con 3 estaciones (grupo G, cruces verdes, **Figura 5.52**). Los restantes 5 grupos están formados por dos estaciones cada uno, esto debido a la cercanía entre ellas y por encontrarse en sectores con características oceanográficas distintas al resto. El primer grupo está ubicado en el Golfo del Corcovado (grupo A, cuadrados verdes, **Figura 5.52**), mientras que los otros grupos están ubicados en la región de Aysén, sector Melinka (grupo H, cruces grises, **Figura 5.52**), Isla García (Grupo I, triángulos naranjos, **Figura 5.52**), Canal Moraleda (grupo J, triángulos verde oscuro, **Figura 5.52**), y Boca del estero Pitipalena (grupo K, cuadrados verdes, **Figura 5.52**),

Cada uno de estos grupos se caracterizó por tener distintos taxones dominantes de la abundancia total que contribuyen en distintos porcentajes a la similitud de cada grupo. Así, para los tres grupos con un mayor número de estaciones segregadas para el grupo E correspondiente al sector de Quellón el taxón dominante fue *Leptocylindrus minumus* (6,14%), para el Grupo C *Chaetoceros debilis* (6,25%), y para el Grupo G *Skeletonema spp.* (11,57%) (**Tabla 5.4**). Del análisis de los grupos formados por solo por dos estaciones se observó que los taxones que dominaron numéricamente cada grupo (**Tabla 5.4**) fueron: 1) *Chaetoceros radicans* para la zona del Golfo Corcovado (Grupo A) con un 8,15%. 2) *Skeletonema spp.* para el sector de Melinka (Grupo H). 3) *Skeletonema spp.* para la zona de Isla García (Grupo I) contribuyendo en un 9,59%. 4) *Chaetoceros radicans* en la zona de Canal Moraleda (Grupo J) con una contribución de 9,59%. Finalmente, 5) *Chaetoceros debilis* para la zona ubicada en la boca del estero Pitipalena (Grupo K).



El ordenamiento multidimensional (MDS) de las estaciones muestra de forma más clara la distribución de los 11 grupos resultantes (**Figura 5.53**). Se aprecia una tendencia al agrupamiento según el sector geográfico que representa cada uno de los grupos segregados, así las estaciones ubicadas en Los lagos tienden a agruparse (lado izquierdo de la figura), por otro lado encontramos las estaciones que se encuentran en la zona de Aysén Norte (Moraleda, Melinka y I. García) y por último las estaciones que se encuentran en el Estero Pitipalena (parte inferior derecha de la figura), con excepción de las dos estaciones que se encuentran en la boca del estero y la que segrega solitaria en la cabeza de éste.

Desde el punto de vista cuantitativo tomando en cuenta los promedios anuales, sólo una pequeña fracción de especies nocivas integra el ensamble de micro-fitoplancton. Las menores contribuciones la realizan los dinoflagelados, con rangos entre los 0,00072 a 0,059% en el caso de *A. catenella* y 0,00049 – 0,00060% en el caso de *A. ostenfeldii*, siendo este el menos representado de los dinoflagelados nocivos del total del ensamble fitoplanctónico. Para el caso de *D. acuminata* los rangos variaron entre 0,0038 a 0,025%, mientras que *D. acuta* varió entre 0,00010 – 0,0042%. De los dinoflagelados, la mayor contribución estuvo dada por *P. reticulatum* con rangos entre 0,000052 a 0,10%. Por otro lado, las diatomeas potencialmente nocivas como *Pseudo-nitzschia cf. australis*, constituye hasta el 1,65% del ensamble mientras *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* puede alcanzar hasta más del 13% de contribución al fitoplancton total.

5.3.6.3. Configuraciones espacio-temporales de dinoflagelados nocivos

En la **Figura 5.54** se presenta el análisis de conglomerados para el conjunto de los 5 dinoflagelados nocivos que entrega una visión general del comportamiento estacional para los promedios mensuales en el periodo comprendido entre febrero 2013 a marzo 2016 de las 23 estaciones de muestreo de alta frecuencia. Los resultados nos muestran la conformación de 6 grupos, los cuales presentan como patrón común que *D. acuminata* es la especie que más aporta en términos porcentuales a la similitud de cada uno de los grupos con rangos entre 33,97 y 51,86%, por lo que las especies que las siguen en aportes hacen la diferencia para cada uno de ellos. La agrupación más grande (8 estaciones) reúne la mayoría de las estaciones ubicadas en la isla de Chiloé (grupo C, triángulos azules, **Figura 5.54**) mientras que el Grupo A (cruces grises, **Figura 5.54**) agrupa a 6 estaciones ubicadas todas en el estero Pitipalena. El resto de grupos está conformado cada uno por 2 estaciones, y al igual que para el análisis de fitoplancton total, hay estaciones que se agrupan de forma similar a los grupos derivados de este. Con excepción del grupo B (triángulos rojos **Figura 5.54**) ubicadas en la parte sur de Chiloé, los demás grupos segregan con las mismas estaciones que en el análisis de fitoplancton total, es decir, un grupo en la zona de Melinka (grupo E, cuadrados rojos, **Figura 5.54**), otro en sector de Isla García (grupo D, círculos celestes, **Figura 5.54**) y Canal Moraleda (grupo F, rombos rosados, **Figura 5.54**). El análisis MDS (**Figura 5.55**), nos muestra una mejor representación de la distribución de las estaciones, separando claramente tres sectores, Los lagos, Aysén y estero Pitipalena.



La **Figura 5.56** muestra el análisis de conglomerados (CLUSTER) y su distribución para el promedio mensual de *A. catenella* en términos de abundancia relativa para el periodo comprendido entre febrero del 2013 a marzo del 2016. Se puede apreciar la formación de 5 grupos de los cuales el que concentró la mayoría de las estaciones (10) se encuentra en la zona de Quellón, Golfo de Corcovado y la boca del estero Pitipalena (grupo E, triángulos azules, **Figura 5.57**) siendo este también el grupo con un menor porcentaje de similitud (79,12%). El grupo D reunió a estaciones ubicadas en la parte sur de Chiloé y estaciones en el Canal Moraleda (triángulos rojos, **Figura 5.57**) y es el segundo en cuanto a cantidad estaciones (6) con un porcentaje de similitud entre ellas de 82,05%. Por otro lado están los grupos con menor cantidad de estaciones agrupadas, pero que por otra parte fueron los que obtuvieron porcentajes de similitud mayores que el resto. Aquí encontramos el grupo A (rombos rosados, **Figura 5.57**) y el grupo B (cuadrados verdes) ubicados en la zona de Melinka e I. Ovalada con porcentajes de similitud de 94,23 y 93,21 % respectivamente. El quinto grupo está ubicado en la parte interior y cabeza del Estero Pitipalena agrupando 3 estaciones con un porcentaje de similitud de 80,09%. Los meses que más aportan a la similitud de los grupos son en la época estival, más específicamente enero y febrero donde se producen las principales floraciones en esta zona con porcentajes de similitud de 16,35 y 19,22% respectivamente. La representación MDS (**Figura 5.58**) nos muestra con mayor claridad la agrupación de los distintos grupos conformados a través del análisis de cluster, donde se puede apreciar claramente la separación de las estaciones de Chiloé con las de Aysén, mientras que las estaciones de la boca del estero Pitipalena tienden a agruparse con las estaciones ubicadas en la zona de Quellón. Por otra parte las estaciones del interior de estero Pitipalena tienden a separarse de ambas regiones, formando una agrupación diferente al resto.

Las Figuras 5.59 y 5.60, muestran el promedio para los valores de abundancia relativa, abundancia celular (cel mL⁻¹, expresados en escala logarítmica) y VPM ($\mu\text{g SXT eq} \cdot 100\text{g}^{-1}$) de los dos grupos con un mayor porcentaje de similitud (grupos B y A), los cuales nos muestran la marcada estacionalidad que presenta *A. catenella* en esta zona, con aumento en su abundancias en los meses de verano alcanzando rangos de abundancia relativa entre 5 y 8, para luego ir descendiendo en los meses de otoño hasta alcanzar su mínimo en invierno.

En el caso de *A. ostentfeldii* el análisis de conglomerados (**Figura 5.61**) nos muestra la conformación de 4 grupos distribuidos de la siguiente forma: un gran grupo de 11 estaciones (grupo D, cuadrados verdes, **Figura 5.62**) que reúne las estaciones del sur de Chiloé, Golfo del Corcovado, Canal Moraleda, Melinka e I. Ovalada, con un porcentaje de similitud entre estaciones del 87,22%, el segundo grupo está compuesto con estaciones ubicadas en el sector de Quellón y la boca del Estero Pitipalena (8 estaciones), con un porcentaje de similitud del 90,05% (grupo A, triángulos azules, **Figura 5.62**). Un grupo más pequeño es el formado por tres estaciones al interior del estero Pitipalena (grupo C, rombos rosados, **Figura 5.62**) que a su vez es el grupo que presentó una mayor similitud entre sus estaciones (92,08%). Por último está el grupo B ubicado en la cabeza del estero Pitipalena, el cual segregó en forma individual. La representación MDS (**Figura 5.63**) nos muestra con mayor claridad la agrupación de los distintos grupos conformados a través del análisis de cluster, donde se puede ver la agrupación de estaciones ubicadas en el extremo sur de la Isla de



Chiloé más el Golfo del Corcovado con las estaciones ubicadas en la parte norte de la región de Aysén y Canal Moraleda, mientras que por otro lado las estaciones ubicadas en Raúl Marín Balmaceda se asocian con las estaciones ubicadas en la zona de Quellón e islas aledañas.

En la **Figura 5.64**, se muestra el promedio para los valores de abundancia relativa, abundancia celular (cel mL^{-1}), expresados en escala logarítmica) y VPM ($\mu\text{g SXT eq} \cdot 100\text{g}^{-1}$) del grupo con un mayor porcentaje de similitud (grupo C). Se puede apreciar que *A. ostenfeldii*, al contrario de *A. catenella*, no presenta una estacionalidad marcada, pero si se encuentra de manera relativamente constante durante todo el año.

El análisis de conglomerados para *D. acuminata* **Figura 5.65** nos entrega la conformación de 5 grupos, dos de los cuales agrupan la mayor parte de las estaciones de muestreo, el grupo B reúne 9 estaciones (triángulos rojos **Figura 5.66**) de las zonas de Quellón y todo el Sur de Chiloé con un porcentaje de similitud entre estaciones del 92,15%. El grupo C, también reúne 9 estaciones las cuales se encuentran íntegramente en la región de Aysén en los sectores de Melinka, Canal Moraleda, I. Ovalada y Estero Pitipalena (a excepción de la estación A06) con un porcentaje de similitud entre estaciones de 91,87% (grupo C, rombos rosados, **Figura 5.66**). Dos grupos conformados con dos estaciones cada uno, ubicados en el sector del Golfo del Corcovado (grupo A, triángulos azules, **Figura 5.66**), con un porcentaje de similitud de 95,41% y otro ubicado en la zona de I. Ovalada con un porcentaje de similitud del 95,13%. Al igual que con *A. ostenfeldii*, la estación A06 no se agrupa y segrega de forma independiente. La representación MDS (**Figura 5.67**) al contrario que con *A. catenella* y *A. ostenfeldii* nos muestra una marcada separación entre ambas regiones, destacándose la separación de la estación A06 ubicada en la cabeza del estero PitiPalena.

Las **Figuras 5.68 y 5.69**, nos muestran el promedio mensual para los valores de abundancia relativa, abundancia celular (cel mL^{-1} , expresados en escala logarítmica) y VDM (en términos de porcentaje) del grupo con un mayor porcentaje de similitud (grupo A), y el grupo con menos porcentaje de similitud (grupo C). Ambos grupos muestran la marcada estacionalidad que presenta *D. Acuminata* en estas dos zonas, pero con un rango más amplio de meses que *A. catenella* aumentando su abundancias entre los meses de noviembre a abril, alcanzando rangos de abundancia relativa entre 5 y 9, para luego ir descendiendo en los meses de otoño hasta alcanzar su mínimo en invierno. Como podemos observar en la **Figura 5.68**, se aprecia una fuerte relación entre el aumento de la abundancia de *D. acuminata* y el aumento de la presencia de VDM. Para la **Figura 5.69** no se muestran datos de VDM por no existir transvectores en la zona donde se ubica este grupo.

D. acuta presenta la conformación de solo tres grupos (**Figura 5.70**) con porcentajes de similitud entre estaciones bajas en comparación con los dinoflagelados analizados anteriormente. Un gran grupo de 13 estaciones que reunió a todas las estaciones ubicadas en Chiloé, además dos estaciones en la boca del Estero Pitipalena (grupo C, rombos rosados, **Figura 5.71**) con un porcentaje de similitud entre estaciones de 58,86%, mientras que con un 76,23% le sigue el grupo B (7 estaciones) distribuidas en diferentes zonas de Aysén (triángulos rojos, **Figura 5.71**). Por ultimo



un pequeño grupo formado por tres estaciones que se encuentran relativamente cerca en la zona de Melinka e I. Ovalada (grupo A, cuadrados verdes, **Figura 5.71**) el cual presentó el mayor porcentaje de similitud entre estaciones (82,75%). Por otra parte el análisis MDS nos muestra claramente la separación de ambas regiones, solo con la excepción de las dos estaciones ubicadas en la cabeza del estero PitiPalena, las cuales se agrupan con las estaciones pertenecientes a la región de Los Lagos (**Figura 5.72**).

D. acuta, se encuentra distribuida mayoritariamente en la región de Aysén, con presencia de manera discontinua, no apreciándose un patrón temporal claro en su abundancia numérica, a diferencia de su abundancia relativa la cual nos muestra una leve tendencia a aumentar en los meses de febrero y marzo pero con también con niveles bajos y poca variación durante el año, lo cual se observa en la **Figura 5.73** al graficar los promedios mensuales para el grupo con una mayor similitud. Tampoco se observa alguna relación con la presencia de VDM

Por último, el análisis de conglomerados para la especie *P. reticulatum* (**Figura 5.74**), nos muestra la formación de 5 grupos, siendo el grupo B el con mayor similitud entre estaciones (cuadrados verdes, **Figura 5.75**) con un 94,20% ubicado en la zona de Melinka, lo sigue el grupo C (93,96% de similitud) ubicado en la zona de I. Ovalada (círculos celestes, **Figura 5.75**), luego está el grupo A, ubicado en la zona del Canal Moraleda (rombos rosados, **Figura 5.75**) con un 88,16%. Todos estos grupos están formados por dos estaciones cada uno. Luego tenemos dos grupos que reúnen la mayoría de las estaciones. El primero está ubicado en la zona sur de Chiloé, Golfo del Corcovado y Estero Pitipalena, congregando 11 estaciones con un porcentaje de similitud de 78,06% (grupo D, triángulos rojos, **Figura 5.75**) y por último el grupo E (agrupa 6 estaciones) con un 75,03% ubicado en la zona de Quellón. El análisis MDS (**Figura 5.76**) nos muestra como las estaciones que se encuentran en la zona de Chiloé, Golfo de Corcovado y Estero Pitipalena tienden a agruparse, separadas de las estaciones ubicadas en Aysén en las zonas de Melinka, I. Ovalada y Canal Moraleda.

5.3.6.4. Análisis series temporales Subprograma Raúl Marín Balmaceda

Se realiza un análisis a las series temporales completas (93 muestreos) comprendidas entre el periodo de febrero 2013 a Marzo de 2016 para los datos de abundancia relativa de 5 dinoflagelados nocivos, para el sub-programa Raúl Marín Balmaceda (6 estaciones ubicadas dentro del Estero Pitipalena, **Figura 5.77**). Este análisis se realiza principalmente para ver la evolución en cuanto a los niveles de AR de los diferentes dinoflagelados nocivos en este sector que es considerado zona libre de plaga para la especie *A. catenella*.

Para el caso de *A. ostentfeldii* (**Figura 5.78**), no se observa algún régimen estacional de esta alga en ninguna de las estaciones, pero si se debe destacar que está presente durante todo el año. Los pick de abundancia son variados durante todo el año alcanzando en la mayoría de las estaciones valores de abundancia relativa entre 4 y 5. La estación A06 que está ubicada en la cabeza del fiordo, parece tener los valores más altos de abundancia alcanzando valores máximos de 7.



D. acuminata presenta un régimen estacional, con valores máximos en los periodos de primavera-verano que alcanzan hasta nivel 8, aunque no se aprecian grandes diferencias entre las estaciones (**Figura 5.78**). Por otro lado cabe destacar que de los 5 dinoflagelados nocivos *D. acuminata* en la que presenta en promedio las abundancias más altas.

Un caso totalmente opuesto es el que observamos en la especie *D. acuta* (**Figura 5.80**) siendo la especie que presenta las abundancias más bajas de las 5 especies nocivas. No se observa ningún tipo de estacionalidad en su abundancia, y durante la mayor parte de toda la serie nunca sobrepasó el nivel 2 de abundancia. Esto cambia para el verano del 2016 donde se aprecia un aumento en todas las estaciones, aunque solo alcanza nivel 3 a 4 en algunas estaciones. Caso especial es el que se aprecia en la estación A06 ubicada en la cabeza del fiordo, donde se puede observar un aumento considerable de la abundancia relativa alcanzando nivel 10, el cual nunca se había registrado en ninguna de las estaciones del monitoreo de marea roja, sobrepasando la escala que llegaba hasta el nivel 9.

Para el caso de *P. reticulatum* tampoco se observa algún tipo de estacionalidad en su abundancia relativa, y además presenta valores bajos durante toda la serie con picos que solo alcanzan el nivel 3 (**Figura 5.81**). Tampoco se observa algún tipo de diferencia entre la mayoría de las estaciones con excepción de la estación A06 en el verano del 2016 donde se observa un aumento en la abundancia llegando a nivel 5.

Por último, en la **Figura 5.82** se observa la variación de la abundancia relativa de *A. catenella* la cual tampoco presenta algún tipo de régimen estacional, además de presentar durante toda casi toda la serie abundancias muy bajas las cuales no sobrepasan el nivel 3 en ninguna de las estaciones, no encontrándose diferencias entre ellas. Caso especial es el verano del 2016 en el cual hubo un aumento en la abundancia durante los meses de enero a marzo en todas las estaciones de muestreo, sobrepasando el nivel 5.

En general y salvo en el caso de *D. acuminata*, todas las especies nocivas presentan abundancias muy bajas en la zona durante todo el periodo de muestreo, con excepción del verano del 2016, periodo en el cual todas aumentaron su abundancia relativa, en especial en la estación que se encuentra en la cabeza del fiordo (A06).



5.4. DISCUSIÓN

5.4.1. Configuraciones espaciales a partir de la densidad fitoplanctónica.

La inclusión del periodo comprendido entre marzo de 2014 a febrero del 2015 en el análisis cuantitativo del fitoplancton total hecho para el periodo 2006-2014, nos planteaba las interrogantes si las configuraciones espaciales, así como la composición de especies en los distintos ensamblajes fitoplanctónicos que conformaban los distintos grupos, mantendrían su consistencia espacial, o si se conformarían nuevos grupos debido al cambio en la composición de especies o a la inclusión de estaciones que por criterios utilizados (e.g. cantidad de datos) quedaron excluidas del análisis anterior.

Al hacer una mirada general de los resultados, nos muestran una gran consistencia tanto espacial como en la estructura fitoplanctónica en los diferentes grupos formados a partir del análisis de conglomerados. Los resultados nos siguen mostrando que el fitoplancton cuantitativo del área de estudio, desde la región de Los Lagos hasta la región de Magallanes, presenta una clara ordenación espacial, con configuraciones propias para cada región de estudio. Este es un resultado relevante, por cuanto está mostrando que para el periodo de estudio (9 años), existe una caracterización general en el espacio, del micro-fitoplancton que tipifica el sistema de fiordos y canales australes.

No obstante que los grupos principales no se alteran mayormente, continúan segregando estaciones como grupos individuales, aunque en general se advierte que el fitoplancton cuantitativo es distinto en las tres regiones administrativas, distinguiéndose además en cada región claras sectorizaciones que tipifican zonas claramente identificables del área de estudio y propia de cada región administrativa. Por ejemplo en las zonas con influencia oceánica, las contribuciones de las fracciones de pico- ($< 2 \mu\text{m}$) y nano-fitoplancton ($2-20 \mu\text{m}$), tienden a equiparar la del micro-fitoplancton (Pizarro *et al.* 2000). Por otro lado, la composición taxonómica indica una predominancia de diatomeas de los géneros *Thalassiosira*, *Skeletonema*, *Chatoceros*, *Thalassionema*, *Stephanopyxis* y *Leptocylindrus* (Avaria 2006). Más al sur, en el Estrecho de Magallanes, la contribución total a la clorofila por parte de cada clase de tamaño de fitoplancton revela la dominancia del pico y nano-fitoplancton durante la estación de verano, mientras que el micro-fitoplancton comprende gran parte de la abundancia durante la primavera (Iriarte *et al.* 2001).

De esta manera, en gradiente norte-sur de este gran sistema de fiordos y canales, es posible encontrar especies constantes en la comunidad del micro-fitoplancton. Tal es el caso de las diatomeas *Skeletonema* spp, *Chateoceros*, *Thalassiosira* y *Pseudo-nitzschia*, todas ellas, con especies representadas en todo el mundo. Para el caso de *Skeletonema* spp., esta presenta un amplio rango de tolerancia para variables como temperatura (euritérmica) y salinidad (eurihalina). Se presentó además, con altas contribuciones en zonas estuarinas (ej. estuario de Reloncaví), alcanzando hasta el 90% de la población total. En zonas más oceánicas, sus contribuciones son



más bajas, pero en la mayoría de las zonas, presentó la mayor contribución al total de la población. No obstante, *Skeletonema* spp., en su morfotipo de aguas de baja salinidad (Romero 1994) sea más exitosa en alcanzar altas abundancias, en comparación con su morfotipo de aguas de mayor salinidad.

5.4.2. Variabilidad espacio-temporal de la abundancia relativa de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales.

A partir de los análisis espacio – temporales de la distribución de las variables ambientales, podemos reconocer estructuras hidrográficas definidas que pueden caracterizar el área de estudio. Así, en la región de Los Lagos se pudo observar que el fiordo Reloncaví juega un papel activo en modular la temperatura, salinidad y densidad superficial (5m) especialmente durante el verano, donde asumimos existen aportes importantes de agua dulce por parte de los ríos (e.g. Puelo). En esta región se observó la importante influencia, sobre gran parte de las estaciones del mar interior de Chiloé, de aguas de origen oceánico con salinidades cercanas a 33 PSU, que además mostraron valores altos de densidad. De manera similar a lo observado en el fiordo Reloncaví, en las estaciones de Tortel, se registró la importancia de los aportes de agua dulce durante el verano. Llama la atención la homogeneidad de la temperatura en la región de Magallanes, donde en las estaciones ubicadas en Magallanes centro y sur las temperaturas en superficie (5m) se mantienen cercanas a los 8°C, disminuyendo hasta los 5°C durante los meses de Invierno, además con valores altos de salinidad (>30 PSU) y densidad (>25 kg m⁻³), lo que nos indicaría que esta zona está altamente influenciada por aguas de origen oceánico. Estas condiciones hidrográficas y especialmente la temperatura, son coincidentes con el análisis de componentes principales realizados en la etapa anterior y que estarían determinando la distancia entre las estaciones ubicadas en Magallanes y las ubicadas en los Lagos y Aysén.

Por otra parte, la distribución de *A. catenella* tiene un claro componente estacional, registrándose los mayores valores de abundancia relativa en los meses asociados a la primavera y verano. Incluso se pudo distinguir que entre regiones existiría un desfase de los valores máximos, siendo la primavera (septiembre – diciembre) donde se registraron valores altos en las estaciones ubicadas en Magallanes Norte y en verano (principalmente en enero y febrero) en las estaciones ubicadas en Magallanes Sur y Aysén. Llama la atención que en Aysén la cobertura de estaciones y la ocurrencia temporal sea la más alta de las tres regiones de monitoreo, valores mayores a 3 se registraron en todas las estaciones durante el mes de febrero y en algunas estaciones ubicadas al interior del canal Yacaf mantuvieron durante todo el año valores por sobre 1 de abundancia relativa promedio.

Los valores promedio de *D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum*, mostraron un patrón estacional similar con los mayores valores asociados a los periodos de verano (diciembre – marzo). Del análisis exploratorio se puede deducir que las condiciones ambientales del fiordo Reloncaví serían ideales para el crecimiento y desarrollo de *D. acuminata*, en donde los valores de abundancia relativa se mantienen durante todo el año cercanos a 3, incrementándose a 5 durante el mes de febrero.



En general, podemos destacar que para la región de Aysén se registraron valores altos de abundancia relativa para todas las especies de dinoflagelados nocivos, con una alta cobertura de las estaciones de muestreo, especialmente durante los meses de verano. Es conocido, que las tasas de crecimiento de los dinoflagelados son mayores en ambientes estratificados, donde la estabilidad de la columna de agua es mayor y los procesos turbulentos son bajos, lo que nos permite hipotetizar que los fiordos y canales de Aysén pueden determinar ambientes propicios para el desarrollo de este grupo en especial durante el periodo de verano.

En contraste a la cobertura de los dinoflagelados con las diatomeas *P. cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima* mostraron una cobertura mayor abarcando las tres regiones de monitoreo, con mayores valores asociados a los meses de verano.

Tanto los niveles de toxinas como la cobertura espacial de cada una de ellas es similar a la distribución espacio – temporal de cada uno de los taxones nocivos. Así el patrón del VPM replica en cobertura y estacionalidad a la abundancia relativa de *A. catenella*, sin embargo, los máximos observados en Aysén están concentrados en otras estaciones de monitoreo. Probablemente del recurso que se extraiga en esas zonas dependerá el nivel de toxicidad, por lo que, de momento no son comparables.

En general, los análisis exploratorios de la distribución espacio – temporal de los taxones nocivos, toxinas y variables ambientales nos permiten generar información tendiente entender los procesos que generan las proliferaciones, que factores que las modifican e incluso cuáles son los factores pueden hacerlas desaparecer. Al respecto, el reducir el análisis desde una escala anual, informada en la etapa previa, a una escala mensual nos permite identificar los periodos del año donde debemos centrar los esfuerzos en los futuros análisis acerca de ésta variabilidad estacional. Sin duda, asociada a esta periodicidad están las condiciones ambientales que modulan la composición del fitoplancton y dentro de ellas de las especies nocivas.

Por otra parte, el conocimiento de la distribución geográfica de las especies nocivas y de las toxinas son necesarias para explicar, entre otras cosas hasta qué punto los eventos de proliferaciones son nuevos, son recurrentes y cuál es su área de cobertura. El actual trabajo, sirve de complemento a lo realizado en la etapa anterior y da pie a la generación de nuevas hipótesis de trabajo, las cuáles deben orientarse a encontrar relaciones de ésta variabilidad espacio – temporal con las variables ambientales. En la etapa anterior los análisis realizados nos permitieron conocer que el 25% de la variabilidad de la abundancia relativa de las especies nocivas estuvo determinada por la variabilidad de la temperatura a 5 metros de profundidad, de lo que se desprende que existe otras variables ambientales a analizar entre las cuáles se encuentran la estabilidad de la columna de agua, la variabilidad de la luz, la disponibilidad de los nutrientes, entre otras.

Como trabajo a realizar en el informe final de esta etapa se propone incorporar nuevas variables ambientales para analizar en conjunto con la distribución espacio – temporal de la abundancia



relativa de las especies nocivas y las toxinas. Además en el informe final se incorporará los rangos de abundancia relativa y toxinas por mes y para cada una de las estaciones de muestreo.

5.4.3. Principales áreas afectadas por el Veneno Paralizante de los Mariscos y su relación con variables biológicas y ambientales

A partir de los análisis de conglomerados para la concentración del promedio del VPM, se obtuvo que los mayores niveles de VPM fueron registrados en la región de Aysén, donde los eventos tóxicos, que principalmente se presentan en verano, discriminaron un total de 29 estaciones que representaron un 16% del total de las estaciones de monitores. Las estaciones reunidas en este grupo (Grupo 15) se ubicaron principalmente en el eje del canal Moraleda y se diferencian de los otros grupos segregados por a) niveles máximos de VPM en todas las estaciones y b) una similar temporalidad de la distribución de los niveles máximos (marzo) y mínimos (a partir de julio).

Una probable explicación a estos valores altos de VPM en el eje del Moraleda, es que como ya hemos observado anteriormente, los altos niveles de VPM coinciden con las altas densidades celulares de *A. catenella*. El patrón de distribución de las estaciones con de altas densidades celulares coincide con la distribución de las estaciones segregadas en el Grupo 15 en términos de VPM. Lo anterior se justifica debido a que en zonas de frentes o convergencias de distintas densidades de agua de mar, producto de la incorporación de aguas estuarinas superficiales (~10 metros de profundidad) bajas en salinidad y encuentro con aguas superficiales oceánicas y con mayores salinidades, esta condición generaría un eje de densidad a lo largo del canal Moraleda y una consiguiente acumulación de células en esta zona de frente. Esta condición determinaría altas concentraciones celulares y por ende, altos niveles de VPM.

Los altos niveles de VPM encontrados en el Grupo 15 están significativamente y positivamente relacionados con variables como la Temperatura y Salinidad a 10 metros de profundidad, lo que implica que son procesos oceanográficos con retrasos entre 2 y 4 meses los que determinan, en primera instancia, los incrementos de las densidades celulares de *A. catenella* y posteriormente, los niveles de VPM. La correlación significativa y negativa del VPM con el viento, indicaría que los niveles altos de VPM y la estrecha relación con la densidad celular de *A. catenella* estarían mediados, además, por procesos atmosféricos que modifican la estabilidad de la columna de agua, en este caso, a menos viento más estratificación y probablemente una mayor densidad celular. Estas relaciones también confirmaron que la relación entre los niveles del VPM y la abundancia relativa de *A. catenella* es buena y que puede ser utilizado como un estimador de las células en el agua y de la respuesta de esta densidad celular en los niveles de VPM.



5.4.4. Primer análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)

5.4.4.1. Variabilidad ambiental

Los resultados encontrados mediante los análisis de conglomerados, nos indican que existe poca variabilidad en términos ambientales. La conformación de solo dos grupos podría ser explicada por la cercanía y características oceanográficas similares de la gran mayoría de las estaciones. Debido a esto se puede separar los dos diferentes grupos, principalmente por las características que se presentan en el estero Pitipalena, las cuales son características típicas de un fiordo, con temperaturas medias y bajas salinidades debido al fuerte aporte de agua dulce por parte de los ríos (en este caso del río Palena), escurrimiento costero y glaciares presentes en la zona.

5.4.4.2. Fitoplancton total

La conformación de los distintos grupos de fitoplancton, se debieron principalmente a la cercanía de cada una de las estaciones, así podemos definir 7 zonas principales que agrupan la mayoría de las estaciones: las que se encuentran cercanas y alrededor de la zona de Quellón, las ubicadas en la zona sur de Chiloé en la parte más extrema de la Isla (y cercana a la boca del Guafo), y dos que se encuentran en la parte sur del Golfo del Corcovado. La zona de Melinka en la parte norte (no continental) de Aysén, al igual que la zona de I. Ovalada un poco más al sur que la anterior y por último las ubicadas en la parte norte del Canal Moraleda. Por último dos grupos ubicados en la parte norte continental de Aysén, en el Estero Pitipalena en el cual se pueden apreciar dos sectores: las estaciones ubicadas en la boca del fiordo y las interiores. Caso especial es la estación A06 la cual se encuentra en la cabeza del fiordo, la cual tiene una dinámica especial debido a la cercanía con la desembocadura del río Palena.

En general las zonas conformadas en este análisis no difieren mucho de las que se encuentran al analizar la base de datos del programa regular, pero si se puede obtener con más detalle la evolución de los distintos ensambles fitoplanctónicos en ellas, además de obtener una mejor resolución de cada una de las floraciones que ocurren en las distintas zonas debido a la frecuencia de muestreo para estos subprogramas.

Al igual que en el monitoreo regular, en cuanto a la abundancia de las especies nocivas de dinoflagelados, se observa un bajo aporte de estas especies al total del ensamble fitoplanctónico, siendo principalmente las diatomeas las que aportan en su gran mayoría. Dentro de los dinoflagelados nocivos el mayor aporte está dado por *P. reticulatum*, seguido de *A. catenella* con porcentajes que no superan el 0,10% del total del fitoplancton. Caso contrario es cuando se analiza las diatomeas potencialmente tóxicas, ya que en el caso de *Pseudo-nitzschia cf. pseudodelicatissima* puede llegar a representar hasta el 13% de la abundancia del fitoplancton total.



5.4.4.3. Especies de dinoflagelados nocivos

Tomando en cuenta la distribución de los grupos formados al hacer el análisis al conjunto de las 5 especies de dinoflagelados nocivos encontramos patrones que se repiten o son similares a los que presenta el análisis hecho para el fitoplancton total, formándose los mismo grupos mencionados de la parte norte (no continental) en la región de Aysén, las estaciones del estero Pitipalena, la zona cercana al Quellón y el extremos sur de la Isla de Chiloé

Por otro lado cada especie de fitoplancton nocivo presenta una particular configuración espacio-temporal. A pesar de esto, volvemos a ver que se repiten patrones en las configuraciones de los grupos para las diferentes especies nocivas. Por otro lado algunas de ellas, como *D. acuminata*. *A. catenella* presentan claros patrones estacionales asociados a los meses de verano principalmente con la diferencia que *D. acuminata* parece extenderse por un periodo más largo que la de *A. catenella*. Las otras tres especies no parecen presentar un patrón temporal, encontrándose durante todo el año. En cuanto a la distribución espacial, las 5 especies se encuentran presente en todas las zonas muestreadas, sin embargo estas varían en su abundancia según el sector.

5.4.4.4. Raúl Marín Balmaceda

En el caso de RMB se tiene que mirar de una forma distinta al tratarse de una zona denominada como libre de plaga, específicamente para la especie *A. catenella* y la presencia de VDM. Las series de tiempo de las estaciones que conforman este subprograma nos indican que a pesar de que existe presencia de esta especie en la zona, esta es baja durante toda la serie con abundancias relativas, que salvo en algunas ocasiones, sobrepasan el nivel 3 generalmente se mantiene en niveles entre 0 y 2, todo esto con excepción del año 2016. Tampoco los datos muestran presencia de VDM, por lo que la zona no cambia de estatus. Sin embargo, y como se mencionaba anteriormente esto cambia en el año 2016, donde encontramos registros de *A. catenella* en todas las estaciones de muestreo llegando en algunas a nivel 6 de abundancia relativa, esto en los meses de enero a marzo, probablemente siendo una extensión de la gran floración que afectó a toda la zona de Aysén durante el verano 2006 y que probablemente se extendió más tarde a mar abierto alcanzado hasta la zona norte de Valdivia. Sin embargo hasta la fecha de análisis de los datos aún no se detecta la presencia de VDM de mariscos en la zona.

Por otro lado no solo se aprecia un aumento en la abundancia de *A. catenella*, sino que también otras algas nocivas como *D. acuta* y *P. reticulatum* aumentaron sus niveles de abundancia el año 2016, sobre todo, y en las 3 especies, el mayor aumento se aprecia en la estación A06 ubicada en la cabeza del fiordo, con aumento tan grandes como en *D. acuta* la cual sobrepasó la escala de AR utilizada. Esto nos puede indicar que esta estación podría actuar como una especie de zona sumidero acumulando gran cantidad de algas. Otro aspecto importante que se puede considerar es la utilización de esta zona como de alerta en caso de grandes floraciones o floraciones anómalas (fuera de las floraciones normales para la zona de Aysén y sur de Chiloé durante todos los veranos) como las ocurridas en los años 2002, 2009 o 2016.



5.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera-Belmonte, A., Inostroza, I., Franco, J.M., Riobó, P. & P.I. Gómez. 2011. The growth, toxicity and genetic characterization of seven strains of *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoid) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated during the 2009 summer outbreak in southern Chile. *Harmful Algae* 12, 105-112.
- Aguilera-Belmonte, A., Inostroza, I., Sáez, K., Franco, J.M., Riobó, P. & P.I. Gómez. 2013. The combined effect of salinity and temperature on the growth and toxin content of four strains of *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoid) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated from an outbreak occurring in southern Chile in 2009. *Harmful Algae* 23, 55-59.
- Ávila, M., De Zarate, C., Clément, A., Carbonell, P. & F. Pérez. 2015. Efecto de factores abióticos en el crecimiento vegetativo de *Alexandrium catenella* proveniente de quistes en laboratorio. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 50, 177-185.
- Anderson, D. 2004. Prevention, Control and Mitigation of Harmful Algal Blooms: Multiple Approaches to HAB Management. In *Harmful Algae Management and Mitigation, 2004*. Hall, S., Etheridge, S., Anderson, D., Kleindinst, J., Zhu, M and Zou, Y. (Eds). Asia-Pacific Economic Cooperation (Singapore): APEC Publication #204-MR-04.2 p. 123 - 130
- AOAC 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.
- Bämstedt, U., Gifford, D.J., Irigoien, X., Atkinson, A. & Roman, M. 2000. Feeding. En: Harris, R., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjoldal, H.R. & Huntley, M. (Eds.). *ICES Zooplankton Methodology Manual*, Academic Press: 297-399.
- Bartlett M.S. 1948. Smoothing periodograms from time-series with continuous spectra. *Nature* (Londres), 161, 686-687.
- Bates, C. 2008. Multivariate analysis of community structure data. Bamfield Marine Science Centre. www.zoology.ubc.ca/~srivast/biol404/Eco%20Methods%20multivariate.ppt
- Boesch, D.F., D.M. Anderson, R.A. Horner, S.E. Shumway, P.A. Tester, T.E. Whittedge. 1997. Harmful Algal Blooms in Coastal Waters: Options for Prevention, Control and Mitigation. Science for Solutions. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series N° 10, Special Joint Report with the National Fish and Wildlife Foundation.
- Carr, M. R. 1997. PRIMER user manual. Plymouth routines in multivariate ecological research. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, United Kingdom. 36 pp.
- Clarke, K.R. & R.N. Gorley. 2006. PRIMER v6: User manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK, 192 pp.



- Clarke, K.R., Somerfield, P.J. & R.N. Gorley. 2008. Exploratory null hypothesis testing for community data: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366: 56 – 69.
- Delgado, S. 2004. Relación entre el perfil del basamento en fiordos y canales y la morfoestructura regional en Norpatagonia. Tesis de Magíster en Geografía con mención en Evaluación Territorial, Escuela de Geografía, Universidad de Chile, 93 pp.
- Figueroa, R., Bravo, I. & E. Garcés. 2005. Effects of nutritional factors and different parental crosses on the encystment and excystment of *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) in culture. *Phycologia* 44(6), 24-36.
- Frost BW. 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behaviour of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.* 17: 805-815.
- Garrido, C., Frangópulos, M. & D. Varela. 2012. Efecto de diferentes proporciones de nitrógeno/fósforo en el crecimiento y toxicidad de *Alexandrium catenella* (Dinoflagellate). *Anales Instituto Patagonia*, 40(2), 113-123.
- GEOHAB, 2001. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan. P. Glibert and G. Pitcher (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris, 86 pp.
- González, M.A. O. Parra y A. Cifuentes. 1995. Técnicas de cultivo de microalgas en laboratorio. En: *Manual de Métodos Ficológicos*. K. Alveal, M. E. Ferrario, E.C. Oliveira y E. Sar (eds), Universidad de Concepción, Chile.
- Guillard, R. R. L. y J. H. Ryther. 1962. Studies on the Marine Planktonic Diatoms. I *Cyclotella nana* Husted and *Detonella confervacea* (Cleve). *Can. J. Microbiol.*, 8: 229-39.
- Guillard, R. y P. E. Hargraves 1993. *Stichochrysis immobilis* is a diatom, not a Chrysophyte. *Phycol.* 32, 234-236.
- Guzmán, L., García, F., Zunino, S., Atalah, A., Almonacid, E., Rivera, R., Pacheco, H., Quiroz, S., Alarcón, C., Banciella, M.I. & Pizarro, G. 2004. Adaptive training and information dissemination strategy to communities affected by PSP outbreaks in Southern Chile. In: *Harmful Algae Management and Mitigation, 2004*. Hall, S., Etheridge, S., Anderson, D., Kleindinst, J., Zhu, M and Zou, Y. (Eds). Asia-Pacific Economic Cooperation (Singapore): APEC Publication #204-MR-04.2 p. 114 – 120.
- Guzmán, L., G. Vidal, X. Vivanco, V. Arenas, L. Iriarte, S. Mercado, C. Alarcón, H. Pacheco, M. Palma, C. Espinoza, P. Mejías, E. Fernández-Niño, J. Monsalve, G. Pizarro, P. Hinojosa y C. Zamora. 2010. Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Informe Final. 193p. + Figuras + Tablas + Anexos. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción- Subsecretaría de Pesca.
- 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



- Laabir, M., Lauzein, C., Genovesi, B., Masseret, E., Grzebyk, D., Cecchi, P., Vaquer, A., Perrin, Y. & Y. Collos. 2011. Influence of temperature, salinity and irradiance on the growth and cell yield of the harmful red tide dinoflagellate *Alexandrium catenella* colonizing Mediterranean waters. *Journal of Plankton Research* 33(10), 1550-1563.
- Landry, M.R., R.P. Hassett. 1982. Estimating the grazing impact of marine microzooplankton. *Mar Biol* 67, 283-288.
- Langdon, C. 1987. On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part I. A comparative study of the growth irradiance relationships of three marine phytoplankton species: *Skeletonema costatum*, *Olithodiscus luteus* and *Gonyaulax tamarensis*. *Journal of Plankton Research* 9(3), 459-482.
- Langdon, C. 1988. On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part II. A general review. *Journal of Plankton Research* 10(6), 1291-1312.
- Lwiza, K.M.M., D.G. Bowers, & J.H. Simpson. 1991. Residual and tidal flow at a tidal mixing front in the North Sea. *Continental Shelf Research*, 11(11), 1379-1395.
- Lembeye G. 2004. Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de la zona sur-austral de Chile. *Cienc. Tecnol. Mar.* 27(2): 21-31.
- Margalef, R. 1978. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta* 1, 493-509.
- Menden-Deuer S., y E. J. Lessard (2000). Carbon to volumen relationships for dinoflegellates, diatoms and other protist plankton. *Limnology and Oceanography* 43(3): 569-579.
- Navarro, J.M., Muñoz, M.G. & A.M. Contreras. 2006. Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Harmful Algae* 5, 762 – 769.
- Olenina, I., S. Hajdu, L. Edler, A. Andersson, N wasmund, S. Bush, J Göbel, S. Gromisz, S. Huseby, M. Huttenen, A. Jaanus, P. Kokkonen, I. Ledainey & E. Niekiewicz (2006). Biovolumes and size-clases of phytoplankton in the Baltic Sea. *HELCOM Balt. Sea. Environ. Proc.* 106, 144p.
- Peterson WT, Arcos DF, McManus GB, Dam H, Bellantoni D, Johnson T & P Tiselius (1988) The Nearshore Zone during Coastal Upwelling: Daily Variability and Coupling between Primary and Secondary Production off Central Chile. *Prog. Oceanog.* 20, 1-40.
- Platt, T., Jassby, A.D. 1976. The relationship between photosynthesis and light for natural assembles of coastal marine phytoplankton. *Journal of Phycology* 12(4), 421-430.
- Pizarro, G., R. Astoreca, V. Montecino, M.A. Paredes, G. Alarcón, P. Uribe, L. Guzmán. 2005. Patrones espaciales de la abundancia de la clorofila, su relación con la productividad primaria y la estructura de tamaños del fitoplancton en julio y noviembre de 2001 en la región de Aysén (43° - 46° S). *Cienc. Tecnol. Mar.* 28(2): 27-42.



- 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.
- Ramírez B., E. Pizarro. 2005. Distribución de la clorofila *a* y feopigmentos en los canales australes chilenos comprendidos entre Puerto Montt y la laguna San Rafael, Chile. *Cienc. Tecnol. Mar.* 28(1): 45-62.
- Silva, N., H. Sievers & R. Prado 1995. Características oceanográficas y una proposición de circulación, para algunos canales australes de Chile entre 41° 20'S y 46° 40'S. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 30 (2): 207 - 254.
- Silva, N., C. Calvete M. & H. A. Sievers 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael, Chile (Crucero CIMAR Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar.* 21: 17-48.
- Silva N., A. Valdenegro. 2008. Caracterización oceanográfica de canales australes chilenos entre la Boca del Guafo y los canales Pulluche – Chacabuco (Cimar 8 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar.* 31(1): 5-44.
- Siu, G.K.Y., Young, M.L.C & D.K.O. Chan. 1997. Environmental and nutritional factors which regulate population dynamics and toxin production in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Hydrobiologia* 352, 117-140.
- Stock, C., McGillicuddy, D., Solow, A. & D. Anderson. 2005. Evaluating hypotheses for the initiation and development of *Alexandrium fundyense* blooms in the western Gulf of Maine using a coupled physical-biological models. *Deep-Sea Research II* 52, 2715-2744.
- UNESCO. 1996. Design and Implementation of Some Harmful Algal Monitoring Systems. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) 44:1-102.
- Uribe, J.C., Oyarzún, S. & V. Latorre. 2010. *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech, 1985, in Magellan waters, Chile. *Anales Instituto Patagonia* 38(1), 103-110.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. *Methodik. Mitt. int. Verein. Theor. angew. Limnol.* 9, 38 p.
- 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.
- Valle-Levinson, A. & L. P. Atkinson. 1999. Spatial gradients in the flow over an estuarine channel. *Estuaries*, 22 (2A), 179-193.
- Welch P.D. 1967. The use of fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short modified periodograms. *IEEE Transactions and Audio Electroacoustics*, AU-15, 70-73.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción
Almte. Manuel Blanco Encalada 839
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl