



INFORME FINAL

Textos

Convenio Desempeño 2016:

Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas en las
regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes,
etapa X 2016-17

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2017



INFORME FINAL FINAL

Textos

Convenio Desempeño 2016:
Programa de manejo y monitoreo de las mareas rojas
en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes,
etapa X 2016-17

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2017

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



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2017

AUTORES

Leonardo Guzmán Méndez
Oscar Espinoza González
Pamela Carbonell Arias
Rodrigo Martínez González
Valentina Besoain Meneses
Jorge Mardones Sánchez
Gemita Pizarro Nova
Elías Pinilla Matamala
Ximena Vivanco Tapia
María Calderón Nash
Loreto López Rivera
Luis Iriarte Bustamante
Verónica Muñoz Ojeda
Hernán Pacheco Valle
Cesar Alarcón Zapata
María Fernanda Cornejo Acevedo
Julia Cáceres Chamizo
Gissela Labra Holzapfel
Mauricio Palma Alarcón
Héctor Tardón Sepúlveda
Lorena Ramírez Epple
Karen Correa Sepúlveda
Carolina Toro Ruiz

COLABORADORES

Roberto Raimapo Raimapo
Adán Navarro Vera
Pedro Calabrano Miranda
Raúl Hernández Torres
Jorge Toro Mancilla
Manuel Moya Vega
César Loncón Lemus
Patricio Salas Salas
Sergio Martínez Sistac
José Ojeda Millaldeo

T O M O I

TEXTOS



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN EJECUTIVO	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	5
3. OBJETIVOS	8
3.1 Objetivo general	8
3.2 Objetivos específicos	8
4. METODOLOGÍA	10
4.1 Metodología Objetivo Específico 1	11
Estaciones y frecuencia de muestreo	11
Sub-Programa de Monitoreo Regular	11
Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización	12
Sub-Programa Raúl Marín Balmaceda	12
Muestreo transvectores y detección de toxinas	13
4.2 Metodología Objetivos Específicos 2 y 3	14
Estaciones y frecuencia de muestreo	14
Muestreo de fitoplancton	14
Análisis de fitoplancton	15
4.4 Metodología Objetivo Específico 4	16
Recolección de datos hidrográficos	16
Recolección de información meteorológica	16
4.5 Metodología Objetivo Específico 5	16
Área de Estudio	17
Recolección y procesamiento de datos	17
Correntometría Euleriana	17



Hidrografía	18
Sensores	18
4.6 Metodología Objetivo Específico 6	19
Revisión bibliográfica de tasas ecofisiológicas de <i>A. catenella</i>	19
Bioensayos con distintas cepas de <i>A. catenella</i>	19
Mantenimiento del cepario	19
Cultivos de <i>A. catenella</i>	19
Tasas de crecimiento de <i>A. catenella</i>	20
Diseño experimental	20
Cálculos tasas de crecimiento	20
Método de incubación en botella	21
Diseño experimental	21
Cálculos tasas de ingestión	21
Modelación físico-biológica de la distribución y densidad celular de <i>A. catenella</i>	22
Modelo Hidrodinámico	22
Batimetría y dominio	23
Condiciones de borde	23
Condiciones iniciales	24
Fuentes de agua dulce	24
Forzantes Atmosféricas	24
Modelo Biológico	24
Simulación Modelo Biológico	25
Forzante radiación solar	26
Condiciones iniciales	26
Evaluación de Habilidad del Modelo	26
Muestreo Fiodo Puyuhuapi- Canal Jacaf	26
Area de estudio y estrategia de muestreo	27
Mediciones Hidrográficas, Fitoplancton, Clorofila a y Nutrientes	27
Arrastres verticales para análisis de fitoplancton cualitativo	27
Información Meteorológica	28
Correntometría, Hidrografía y Sensores	28
Correntometría, Hidrografía y Sensores	28
4.7 Metodología Objetivo Específico 7	28
4.8 Metodología Objetivo Específico 8	29
Análisis de series temporales de los Sub-Programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda	30
Fitoplancton nocivo para peces	31
Distribución de la abundancia relativa de <i>Alexandrium catenella</i> : identificación espacio-temporal de eventos de floración	31



4.9 Metodología Objetivo Específico 9	32
5. RESULTADOS	34
5.1 Aspectos generales	34
Abundancia Relativa	34
Toxinas	36
Base de Datos	37
5.2 Objetivo Específico 1	38
5.3 Objetivo Específico 2 y 3	39
5.4 Objetivo Específico 4	40
5.5 Objetivo Específico 5	50
Distribución de variables ambientales en la columna de agua	50
Correntometría	51
5.6 Objetivo Específico 6	52
Tasas ecofisiológicas a partir de bioensayos	52
Parámetros de crecimiento	52
Experimentos de pastoreo (grazing)	52
Experimento 1 - Dietas únicas de <i>A. catenella</i>	52
Experimento 2 - comunidad natural + <i>A. catenella</i>	53
Modelación físico-biológica de la distribución y densidad de <i>A. catenella</i>	53
Evaluación de habilidad del modelo hidrodinámico	53
Evolución espacial y temporal del bloom de <i>A. catenella</i>	53
Evaluación de habilidad del modelo de <i>A. catenella</i>	54
5.7 Objetivo Específico 7	54
<i>Alexandrium catenella</i>	54
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	55
Veneno Paralizante de los Mariscos	55
<i>Dinophysis acuminata</i>	56
<i>Dinophysis acuta</i>	57
<i>Protoceratium reticulatum</i>	58
Toxinas lipofílicas	58
5.8 Objetivo Específico 8	59
Análisis de series temporales de los Sub-Programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda	59



Configuraciones espacio-temporales de variables ambientales	59
Configuraciones espacio-temporales de diatomeas y dinoflagelados	60
Configuraciones espacio-temporales dinoflagelados nocivos	61
Caracterización general de la abundancia relativa de especies nocivas de las series temporales correspondientes al Subprogramas Vigilancia y Fiscalización y Raúl Marín Balmaceda	63
Reportes periódicos del estado de floraciones de <i>A. catenella</i>	64
Fitoplancton nocivo para peces	65
Análisis espacio-temporal de especies nocivas para peces	66
<i>Chaetoceros convolutus</i>	66
<i>Eucampia Zodiacus</i>	66
<i>Leptocylindrus danicus</i>	67
<i>Leptocylindrus minimus</i>	67
<i>Rhizosolenia setigera</i>	67
<i>Rhizosolenia pungens</i>	68
<i>Leptocylindrus styliformis</i>	68
<i>Dictyocha speculum</i>	68
Distribución de la abundancia relativa de <i>Alexandrium catenella</i> : identificación espacio-temporal de eventos de floración	68
Región de Los Lagos	69
Región de Aysén	69
Región de Magallanes	70
6. DISCUSIÓN	71
Capa fina	72
Oxígeno disuelto	73
Análisis de series temporales de los Sub-programas de Vigilancia y Fiscalización (SVF) y Raúl Marín Balmaceda (RMB)	74
Variabilidad ambiental	74
Especies de dinoflagelados nocivos	75
Distribución de la abundancia relativa de <i>Alexandrium catenella</i> : identificación espacio-temporal de eventos de floración	76
Distribución Espacial	76
Distribución Temporal	77
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS

Figura 5.1. Batimetría de Puyuhuapi y Jacaf.

Figura 5.2. Ubicación de los lances de CTD (rojo) y ADCP (verde).

Figura 5.3. Distribución de salinidad y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo de los canales Puyuhuapi y Jacaf en primavera y verano: **a** salinidad en primavera, **b** salinidad en verano, **c** temperatura en primavera y **d** temperatura en verano.

Figura 5.4. Distribución del parámetro de estratificación.

Figura 5.5. Distribución de fluorescencia y oxígeno disuelto a lo largo de los canales Puyuhuapi y Jacaf en primavera y verano: **a** fluorescencia en primavera, **b** fluorescencia en verano, **c** oxígeno disuelto (ml l^{-1}) en primavera y **d** oxígeno disuelto (mL L^{-1}) en verano, las isolíneas hacen referencia al porcentaje de saturación.

Figura 5.6. Elipses de máxima varianza del flujo de la corriente en primavera.

Figura 5.7. Elipses de máxima varianza del flujo de la corriente en verano.

Figura 5.8. Flujo residual (cm s^{-1}) de las componentes en primavera; a) este-oeste y b) norte-sur.

Figura 5.9. Flujo residual (cm s^{-1}) de las componentes en verano; a) este-oeste y b) norte-sur.

Figura 6.1. Discretización horizontal del dominio de modelación en fiordos Puyuhuapi y Jacaf.

Figura 6.2. Radiación solar diaria (W m^{-2}).

Figura 6.3. Condiciones iniciales de *A. catenella* a 5m de profundidad.

Figura 6.4. 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 6.5. 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 6.6. 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 t3xico *A. catenella* (Experimento 2; $T_0 = 239,56 \pm 6.04 \mu\text{g C L}^{-1}$).

Figura 6.7. Salinidad superficial de la boya (negro) y modelo (rojo).

Figura 6.8. Temperatura superficial de la boya (negro) y modelo (rojo).

Figura 6.9. Evoluci3n temporal de concentraci3n *A. catenella*.

Figura 6.10. Distribuci3n de c3lulas de *A. catenella* debido al proceso de crecimiento.

Figura 6.11. Distribuci3n de c3lulas de *A. catenella* debido al proceso de mortalidad.

Figura 6.12. Concentraci3n promedio mensual de diciembre para *A. catenella* observada y modelada. En la tabla se presentan las desviaciones estandar.

Figura 6.13. Concentraci3n promedio mensual de enero para *A. catenella* observada y modelada. En la tabla se presentan las desviaciones estandar.

Figura 6.14. Concentraci3n promedio mensual de febrero para *A. catenella* observada y modelada. En la tabla se presentan las desviaciones estandar.

Figura 7.1. Probabilidad de ocurrencia (presencia/ausencia) de la especie *Alexandrium catenella* para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.2. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Alexandrium catenella* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 1 y 4 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.3. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Alexandrium catenella* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 5 y 9 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.4. Probabilidad de ocurrencia (presencia/ausencia) de la especie *Alexandrium ostenfeldii* para cada uno de los meses del a1o.



Figura 7.5. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Alexandrium ostenfeldii* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 1 y 4 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.6. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Alexandrium ostenfeldii* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 5 y 9 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.7. Probabilidad de ocurrencia (presencia/ausencia) de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.8. Probabilidad de ocurrencia de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) para un rango de detecci3n entre 30 y 80 ug SXT 100 g mariscos para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.9. Probabilidad de ocurrencia de Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) para un rango de detecci3n mayor a 80 ug SXT 100 g mariscos para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.10. Probabilidad de ocurrencia (presencia/ausencia) de la especie *Dinophysis acuminata* para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.11. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Dinophysis acuminata* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 1 y 4 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.12. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Dinophysis acuminata* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 5 y 9 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.13. Probabilidad de ocurrencia (presencia/ausencia) de la especie *Dinophysis acuta* para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.14. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Dinophysis acuta* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 1 y 4 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.15. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Dinophysis acuta* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 5 y 9 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.16. Probabilidad de ocurrencia (presencia/ausencia) de la especie *Protoceratium reticulatum* para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.17. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Protoceratium reticulatum* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 1 y 4 para para cada uno de los meses del a1o.

Figura 7.18. Probabilidad de ocurrencia de la especie *Protoceratium reticulatum* para un nivel de abundancia relativa comprendida en un rango entre 5 y 9 para para cada uno de los meses del a1o.



Figura 7.19. Probabilidad de ocurrencia/presencia de Toxinas Lipofílicas para cada uno de los meses del año.

Figura 8.1. 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 3 agrupaciones formadas a partir de este análisis (ver texto).

Figura 8.2. Mapa de la distribución geográfica de los 3 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para las variables ambientales.

Figura 8.3. 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, 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 8.4. 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 8.5. Conglomerados definidos con las 23 estaciones de estudio para el promedio mensual de diatomeas cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2017.

Figura 8.6. Mapa por regiones con los grupos resultantes del análisis de conglomerados para el promedio mensual de diatomeas cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2017.

Figura 8.7. Ordenamiento multidimensional de las 23 estaciones de estudio para el promedio mensual de diatomeas cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2017.

Figura 8.8. Conglomerados definidos con las 23 estaciones de estudio para el promedio mensual de dinoflagelados cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2017.

Figura 8.9. Mapa por regiones con los grupos resultantes del análisis de conglomerados para el promedio mensual de dinoflagelados cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2017.

Figura 8.10. Ordenamiento multidimensional de las 23 estaciones de estudio para el promedio mensual de dinoflagelados cuantitativo (cel L^{-1}) en el periodo entre febrero de 2013 y marzo de 2017.



Figura 8.11. 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 8 agrupaciones formadas a partir de este análisis.

Figura 8.12. Mapa distribución geográfica de los 8 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual de la *A. catenella*.

Figura 8.13. 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* (0.12) refleja, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 8 grupos obtenidos.

Figura 8.14. 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 8.15. Mapa distribución geográfica de los 10 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *A. ostenfeldii*.

Figura 8.16. 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* (0.16) refleja el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 10 grupos obtenidos en el dendrograma.

Figura 8.17. 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 13 agrupaciones formadas a partir de este análisis.

Figura 8.18. Mapa distribución geográfica de los 135 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *D. acuminata*.

Figura 8.19. 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* (0,13) refleja el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 13 grupos obtenidos en el dendrograma.

Figura 8.20. 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 9 agrupaciones formadas a partir de este análisis.



Figura 8.21. Mapa distribución geográfica de los 9 grupos definidos por el análisis de CLUSTER para la abundancia relativa promedio mensual del dinoflagelado nocivo *D. acuta*.

Figura 8.22. 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* (0.19) refleja el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 9 grupos obtenidos en el dendrograma.

Figura 8.23. 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 8 agrupaciones formadas a partir de este análisis.

Figura 8.24. Mapa distribución geográfica de los 8 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 8.25. 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* (0.15) refleja, el nivel de similitud entre las estaciones de muestreo. Los símbolos de colores reflejan cada uno de los 8 grupos obtenidos en el dendrograma.

Figura 8.26. Series de tiempo para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2017 para la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para las estaciones ubicadas en la zona de Chiloé Sur.

Figura 8.27. Series de tiempo para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2017 para la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para las estaciones ubicadas en la zona de Chiloé Sur.

Figura 8.28. Series de tiempo para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2017 para la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para las estaciones ubicadas en la zona del Estero Pitipalena.

Figura 8.29. Series de tiempo para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2017 para la abundancia relativa de *Dinophysis acuminata*, para las estaciones ubicadas en la zona de Chiloé Sur.

Figura 8.30. Series de tiempo para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2017 para la abundancia relativa de *Dinophysis acuminata*, para las estaciones ubicadas en la zona de Aysén Norte.

Figura 8.31. Series de tiempo para el período comprendido entre febrero de 2013 y marzo de 2017 para la abundancia relativa de *Dinophysis acuminata*, para las estaciones ubicadas en la zona del Estero Pitipalena.



Figura 8.32. Patrones de detección de especies nocivas para peces en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Círculos azules indican presencia (detectadas al menos una vez) y círculos rojos ausencia.

Figura 8.33. Abundancia mensual de 8 especies nocivas para peces en Los Lagos, Aysén y Magallanes. Flechas indican meses donde incrementa la probabilidad de detección de eventos con concentraciones celulares nocivas para peces.

Figura 8.34. Región de Los Lagos. Abundancia celular expresada en magnitud (tamaño esferas) de 8 taxones nocivos para peces según estratificación térmica vs salina medida en los primeros 10m de la columna de agua. Círculo gris punteado indica agregación de altas abundancias y área rodeada por polígono azul el nicho (columna de agua mezclada/estratificada) de distribución/detección de la especie.

Figura 8.35. Región de Aysén. Abundancia celular expresada en magnitud (tamaño esferas) de 8 taxones nocivos para peces según estratificación térmica vs salina medida en los primeros 10m de la columna de agua. Círculo gris punteado indica agregación de altas abundancias y área rodeada por polígono azul el nicho (columna de agua mezclada/estratificada) de distribución/detección de la especie.

Figura 8.36. Región de Magallanes. Abundancia celular expresada en magnitud (tamaño esferas) de 8 taxones nocivos para peces según estratificación térmica vs salina medida en los primeros 10m de la columna de agua. Círculo gris punteado indica agregación de altas abundancias y área rodeada por polígono azul el nicho (columna de agua mezclada/estratificada) de distribución/detección de la especie.

Figura 8.37. Dendrograma de ordenación de las estaciones de muestreo de la región de Los Lagos, obtenido a partir del análisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*. En colores y con un símbolo se indican los 18 grupos segregados a partir del análisis.

Figura 8.38. Mapa de calor que muestra la distribución espacio-temporal de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para cada una de las estaciones de muestreo y cada grupo segregado por el análisis de Clúster en la región de Los Lagos durante el periodo de estudio comprendido entre mayo de 2006 y febrero de 2017. En colores y con un símbolo se indican los 18 grupos segregados a partir del análisis.

Figura 8.39. Serie de tiempo de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para los grupos J, L, K e I, segregados por el análisis de Clúster realizado a las estaciones de la región de Los Lagos. En líneas continuas se muestra el promedio del grupo y en puntos grises los datos puntuales de cada estación.



Figura 8.40. Mapa de distribuci3n de los grupos J (c3rculos rojos), L (c3rculos azules), K (c3rculos amarillos) e I (c3rculos verdes), segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Los Lagos.

Figura 8.41. Dendrograma de ordenaci3n de las estaciones de muestreo de la regi3n de Ays3n, obtenido a partir del an3lisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*. En colores y con un s3mbolo se indican los 31 grupos segregados a partir del an3lisis.

Figura 8.42. Mapa de calor que muestra la distribuci3n espacio-temporal de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para cada una de las estaciones de muestreo y cada grupo segregado por el an3lisis de Cl3ster en la regi3n Ays3n durante el periodo de estudio comprendido entre mayo de 2006 y febrero de 2017. En colores y con un s3mbolo se indican los 31 grupos segregados a partir del an3lisis.

Figura 8.43. Serie de tiempo de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para los grupos U, V, Q y AB, segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Ays3n. En l3neas continu3s se muestra el promedio del grupo y en puntos grises los datos puntuales de cada estaci3n.

Figura 8.44. Mapa para el grupo AB ubicado en las cercan3as de la constricci3n de Mininea.

Figura 8.45. Serie de tiempo de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para los grupos AE, X, y AD, segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Ays3n. En l3neas continu3s se muestra el promedio del grupo y en puntos grises los datos puntuales de cada estaci3n.

Figura 8.46. Mapa de distribuci3n de los grupos AE (cuadrados rojos), X (cuadrados azules) y AD (cuadrados verdes), segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Ays3n.

Figura 8.47. Serie de tiempo de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para los grupos Y, Z, E y AC, segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Ays3n. En l3neas continu3s se muestra el promedio del grupo y en puntos grises los datos puntuales de cada estaci3n.

Figura 8.48. Mapa de distribuci3n de los grupos Y (cuadrados amarillos), Z (cuadrados verdes), AC (cuadrados morados) y E (cuadrados grises), segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Ays3n.

Figura 8.49. Dendrograma de ordenaci3n de las estaciones de muestreo de la regi3n de Magallanes, obtenido a partir del an3lisis de CLUSTER aplicado a la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*. En colores y con un s3mbolo se indican los 23 grupos segregados a partir del an3lisis.

Figura 8.50. Mapa de calor que muestra la distribuci3n espacio-temporal de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para cada una de las estaciones de muestreo y cada grupo segregado por el an3lisis de Cl3ster en la regi3n de Magallanes durante el periodo de estudio comprendido entre mayo de



2006 y febrero de 2017. En colores y con un s3mbolo se indican los 23 grupos segregados a partir del an3lisis.

Figura 8.51. Serie de tiempo de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para los grupos T, S, V y P, segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Magallanes. En l3neas continu3s se muestra el promedio del grupo y en puntos grises los datos puntuales de cada estaci3n

Figura 8.52. Mapa de distribuci3n de los grupos S (c3rculos rojos), T (c3rculos azules), V (c3rculos amarillos) y P (c3rculos verdes), segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Magallanes.

Figura 8.53. Serie de tiempo de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* para los grupos L, M, y H, segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Magallanes. En l3neas continu3s se muestra el promedio del grupo y en puntos grises los datos puntuales de cada estaci3n.

Figura 8.54. Mapa de distribuci3n de los grupos L (tri3ngulos azules), M (tri3ngulos amarillos) y H (tri3ngulos verdes), segregados por el an3lisis de Cl3ster realizado a las estaciones de la regi3n de Magallanes.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1. Rangos de variación de salinidad y temperatura (°C).

Tabla 6.1. Densidad celular máxima (cel mL⁻¹) y tasa de crecimiento máxima (div día⁻¹) en tres cepas de *A. catenella* (promedio ± desviación estándar).

Tabla 6.2. Parámetros utilizados en el modelo biológico.

Tabla 6.3. Densidad celular máxima (cel mL⁻¹) y tasa de crecimiento máxima (div día⁻¹) en tres cepas de *A. catenella* (promedio ± desviación estándar).

Tabla 6.4. Composición específica de toxinas VPM (ng µL⁻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 6.5 Composición específica de la dieta para el Experimento 2 (Comunidad natural + *A. catenella*), utilizando muestras naturales inoculados con el dinoflagelado tóxico *A. catenella*.

Tabla 8.1. Microalgas nocivas para peces detectadas en la zona de fiordos. Se indica la concentración celular en la cual comienzan a ser nocivas para peces y el estado de monitoreo de estas especies por el IFOP de acuerdo a la metodología de análisis que utiliza el programa.

Tabla 8.2. Output de GLMs (Modelos Lineales Generalizados).



ANEXOS

ANEXO 1. SUB-PROGRAMA DE MONITOREO REGULAR: estaciones de monitoreo entre marzo 2016 y febrero de 2017 en las regiones de Los Lagos, Ays3n y Magallanes, incluyendo c3digo, top3nimo, sectorizaci3n, transvector, instituci3n requirente y coordenadas geogr3ficas.

ANEXO 2. SUB-PROGRAMA DE VIGILANCIA Y FISCALIZACI3N: estaciones de monitoreo entre marzo 2016 y febrero de 2016 en las regiones de Los Lagos y Ays3n, incluyendo c3digo, top3nimo, sectorizaci3n, transvector, instituci3n requirente y coordenadas geogr3ficas.

ANEXO 3. SUB-PROGRAMA DE RA3L MAR3N BALMACEDA: estaciones de monitoreo entre marzo 2015 y febrero 2017 en un sector de la regi3n de Ays3n, incluyendo c3digo, top3nimo, sectorizaci3n, transvector, instituci3n requirente y coordenadas geogr3ficas.

ANEXO 4. Monitoreos complementarios "Manejo y monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Ays3n y Magallanes, Etapa X 2016-17"

ANEXO 5. REPORTES OTRAS FLORACIONES ALGALES

ANEXO 6. Res3menes asistencia a la 17th International Conference on Harmful Algae (ICHA) realizada en Florian3polis, Brasil entre el 9 y 15 de octubre del 2016.

ANEXO 7. Reportes peri3dicos del estado de la abundancia relativa (AR) de la especie *Alexandrium catenella* en las zonas de muestreo de alta frecuencia



RESUMEN EJECUTIVO

Este documento corresponde al texto del informe final del estudio Programa Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes X Etapa, 2016-17. El estudio es financiado, en su mayor parte, por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (MINECON) cubriendo todas las actividades, muestreos, análisis e interpretación de los resultados; el análisis de toxinas en mariscos es solventado por el Ministerio de Salud (MINSAL) y realizado en los laboratorios de las Secretarías Regionales de Salud ubicados en las ciudades de Puerto Montt, Aysén y Punta Arenas.

El objetivo general del estudio 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*, *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *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 trabajo fue iniciado en marzo de 2016. El estudio incluye nueve objetivos específicos, los primeros cuatro orientados al monitoreo propiamente tal, y desarrollados a través de tres subprogramas, a) Regular, b) Fiscalización y Vigilancia, y c) Raúl Marín Balmaceda; el quinto dice relación con la obtención, en primavera-verano, de información hidrodinámica en el sector de canal Yacaf y fiordo Puyuhuapi en la región de Aysén ligada a la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*; el sexto está referido preferentemente a la modelación de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella* en sectores selectos de la región de Aysén: canal Yacaf y fiordo Puyuhuapi; el séptimo está referido a identificar y evaluar la dinámica espacio temporal de los sectores con mayores probabilidades de presentar especies del género *Alexandrium*, pero incluyendo también otras especies de dinoflagelados nocivos, como *Dinophysis* y *Protoceratium*; el octavo objetivo, está ligado a la continuación del análisis integral de los antecedentes generados desde mayo de 2006 hasta febrero de 2016, trabajo iniciado en la etapa VIII 2014-15 y que entrega una visión global descriptiva y comprensiva de la información generada durante diez años. Finalmente, el noveno objetivo dice relación con el desarrollo de un seminario público de presentación de resultados abarcando el lapso mayo 2006-febrero 2017, actividad que será realizada el 19 de julio de 2017, una vez que este documento haya sido entregado.

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.



2. 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.
3. Conocer la distribución y abundancia espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones del estudio.
4. Recolectar información hidrográfica y meteorológica en las estaciones de monitoreo de las 3 regiones.
5. Registrar parámetros oceanográficos (corrientes, etc.) en sectores de interés dentro del área de estudio, ligados a la distribución y abundancia de micro-fitoplancton y microalgas nociva.
6. Modelar la dispersión de microalgas nocivas, en sectores singulares del área de estudio, con evidencias recurrentes de toxina paralizante en mariscos y *Alexandrium catenella* en la columna de agua.
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.
8. 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 biológicas y abióticas disponibles.
9. Realizar un seminario público de presentación de resultados abarcando el lapso mayo 2006 – febrero 2017, sin perjuicio de comprometer la publicación de diversos artículos científicos en revistas de corriente principal.

Las mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua a través de anclajes de ADCP, aún en desarrollo se efectuaron durante primavera con una duración del orden 60 días. Los sectores trabajados corresponden a Canal Yacaf y Fiordo Puyuhuapi. Asimismo, se entregan los registros con CDTO en varias estaciones a lo largo del sector en que fueron establecidos los ADCP.

Se entregan los análisis y resultados logrados en los objetivos 5, 6 y 7. En el quinto y sexto objetivo específico, se ha ampliado el área geográfica, dado que en la etapa previa sólo se había modelado el sector de Puyuhuapi, dado que ahora se ha incorporado además el Canal Jacaf, tendiente a lograr mejor información hidrodinámica para modelar la distribución y abundancia de *A. catenella* en el sector de Fiordo Puyuhuapi – Canal Jacaf en la región de Aysén. Y en el séptimo objetivo específico, se ha ampliado el análisis de la información centrada sólo en especies de dinoflagelados nocivos considerados en este estudio, *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* y *Protoceratium* tendiente a identificar en el amplio espacio que abarca este estudio, los sectores y los períodos que presentan mayores probabilidades de presentar a estas microalgas. Los antecedentes utilizados para estos efectos abarcan el lapso entre mayo de 2006 y febrero de 2016.



1. INTRODUCCIÓN

Debido a las frecuentes proliferaciones de microalgas nocivas y brotes tóxicos de mariscos en la macro zona sur austral más allá de los 41° de latitud sur, esto es, el sistema estuarino de fiordos y canales, se ha hecho indispensable contar con un sistema de detección confiable y oportuno, tanto de las microalgas nocivas como de las toxinas involucradas, 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. Desde luego ello tiene relevancia para la salud pública, pero también es relevante para minimizar los impactos sobre actividades productivas como la pesca, la acuicultura y el turismo. También es muy importante disponer de información acerca de la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella* dado que es considerada, según la legislación y normativa vigente, como especie plaga FAN, y por lo mismo, en determinados sectores es clave disponer de información para administrar la circulación 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, desarrollada a través de etapas anuales. Entre marzo de 2016 y febrero de 2017 se ha ejecutado la X etapa 2016-17 de este programa, en cuanto a la recolección de información de terreno. Al igual que en la etapa previa, se contempla un muestreo diferenciado por subprogramas según las necesidades en las distintas 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 particulares de cada sector. Bajo este criterio el estudio se ha estructurado en 3 subprogramas: a) Monitoreo Regular (baja frecuencia); b) Monitoreo de Vigilancia y Fiscalización; y c) Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda (los dos últimos de alta frecuencia). El detalle y características de cada subprograma se entregan en la metodología por objetivos.

Se ha continuado con la modelación para comprender la distribución y abundancia de *A. catenella* en sectores de interés, en este caso fiordo Puyuhuapi y canal Yacaf. Asimismo, se ha continuado con el análisis de los datos generados por el programa desde mayo de 2006, en este caso referidos a la identificación de los sectores con mayores probabilidades de presentar determinados taxones nocivos o bien los complejos tóxicos considerados en este estudio, profundizando los progresos logrados desde 2014 y que se entregan en los informes finales de las etapas VIII y IX; en esta oportunidad se ha privilegiado el análisis de taxones de los géneros *Alexandrium*, *Dinophysis* y *Protoceratium*, pero se incluyen también otros taxones nocivos que son con la finalidad de identificar periodos y sectores geográficos que presentan mayores probabilidades de presencia de estas microalgas.

Este texto constituye el documento del informe final del estudio Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes X etapa 2016-17, correspondiente al período marzo 2016 – febrero 2017.



El estudio incluye nueve objetivos específicos, los primeros cuatro orientados al monitoreo propiamente tal, y desarrollados a través de tres subprogramas, a) Regular, b) Fiscalización y Vigilancia, y c) Raúl Marín Balmaceda, que incluyen actividades para seguir las variaciones de la toxicidad en mariscos del veneno paralizante, toxinas lipofílicas y toxina amnésica (objetivo 1), de la distribución y abundancia de los taxones nocivos (objetivo 2), el fitoplancton total, tanto cualitativo como cuantitativo (objetivo 3), además de recolectar información hidrográfica y meteorológica en cada uno de los puntos en donde se recolecta información biológica (objetivo 4); el quinto objetivo dice relación con la obtención, en primavera-verano, de información hidrodinámica en los sectores de canal Yacaf y fiordo Puyuhuapi en la región de Aysén ligada a la distribución y abundancia de *Alexandrium catenella*; el sexto objetivo está referido preferentemente a la modelación de la distribución y abundancia de *A. catenella* en los mismos sectores selectos señalados para el objetivo 5; el séptimo objetivo está referido a identificar y evaluar la dinámica espacio temporal de los sectores con mayores probabilidades de presentar especies del género *Alexandrium*, pero incluyendo también otras especies de dinoflagelados nocivos, de los géneros *Dinophysis* y *Protoceratium*; el octavo objetivo, está ligado a la continuación del análisis integral de los antecedentes generados desde mayo de 2006 hasta febrero de 2016, trabajo iniciado en la etapa VIII 2014-15 y que entrega una visión global descriptiva y comprensiva de la información generada durante diez años. Finalmente, el noveno objetivo dice relación con el desarrollo de un seminario público de presentación de resultados abarcando el lapso mayo 2006-febrero 2017.

Se abordan según contrato, ocho de los nueve objetivos específicos considerados en este estudio dado que el último de ellos, si bien se entregan evidencias de la presentación en distintos escenarios de diversas contribuciones ligadas al tema de las floraciones de algas nocivas y sus efectos, el taller de cierre de este estudio se efectuará con fecha 19 de julio, con posterioridad a la entrega de este documento.

El programa es financiado en su mayor parte 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.

Las tablas y figuras están numeradas en forma correlativa, pero precedidas por el número del objetivo a que están vinculadas. En los anexos la numeración es sólo correlativa y no está vinculada a ningún objetivo. Se incluyen como anexo, además de los sitios de muestreo (**Anexos 1-3**), los resultados generales de las cuatro transectas efectuadas durante enero y febrero de 2017 frente a la isla de Chiloé en la costa Pacífica, junto con las estimaciones de abundancia relativa de *Alexandrium catenella* entre Mehuin en la región de Los Lagos y Cucao en la región de Los Lagos (**Anexo 4**), información complementaria referida a floraciones ocasionales no vinculadas con el objetivo central de este programa (**Anexo 5**), resúmenes asistencia a la 17th International Conference on Harmful Algae (ICHA) realizada en Florianópolis, Brasil entre el 9 y 15 de octubre del 2016 (**Anexo 6**) y reportes periódicos del estado de la abundancia relativa (AR) de la especie *Alexandrium catenella* en las zonas de muestreo de alta frecuencia (**Anexo 7**).



2. ANTECEDENTES

En las últimas cinco décadas se ha apreciado, a escala mundial, un incremento aparente en la frecuencia, cobertura geográfica e intensidad de los eventos 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. Aunque no ha sido confirmado, pareciera que para esa macro región que abarca desde Los Lagos hasta Magallanes, este incremento no sería aparente y que correspondería a un cambio real.

Las FANs 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.

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 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), además de la floración atípica de *Alexandrium catenella* observada durante otoño de 2016 en la región de Los Lagos, con un fuerte impacto económico social, todo lo cual obliga a fortalecer las competencias y las acciones ligadas a este tipo de eventos.

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. Éste es ejecutado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), en coordinación con la Secretaría Regional Ministerial de Salud de las tres regiones administrativas que considera este estudio, para el análisis de mariscos para evaluar 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 regiones citadas. Por este motivo es menester contar con un registro continuo de las variables monitoreadas a fin de analizar desde una perspectiva temporal estos eventos.

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 [Boesch et al., 1997](#); [Anderson, 2004](#)).

Un programa de monitoreo es una actividad sistemática en el espacio y tiempo, que permite disponer de información sobre 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](#)), 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.



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Disponer de un sistema oportuno de muestreo, detecci3n y cuantificaci3n peri3dico del Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM), Veneno Diarreico de los Mariscos (VDM) y Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), adem3s de las especies de microalgas nocivas fuentes primarias de las toxinas (*Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, respectivamente) adecuado a la realidad geogr3fica de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

3.2 Objetivos específcos

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 Fiscalizaci3n, y Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda.
2. Conocer la abundancia y distribuci3n temporal de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la red de estaciones de monitoreo antes citada.
3. Conocer la distribuci3n y abundancia espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones del estudio.
4. Recolectar informaci3n hidrogr3fica y meteorol3gica en las estaciones de monitoreo de las 3 regiones.
5. Registrar parámetros oceanogr3ficos (corrientes, etc.) en sectores de interés dentro del área de estudio, ligados a la distribuci3n y abundancia de micro-fitoplancton y microalgas nocivas.
6. Continuar la modelaci3n de la distribuci3n y abundancia de microalgas nocivas monitoreadas por el programa preferentemente en zonas representativas del área de estudio, dando preferencia a *Alexandrium catenella*.
7. Identificar y evaluar la dinámica espacio temporal en sectores con mayores probabilidades de presentar la forma vegetativa de microalgas nocivas y eventualmente las toxinas marinas en mariscos transvectores en determinados sectores del área de estudio, dando prioridad a las especies del género *Alexandrium*, pero abordando también a otras especies nocivas de dinoflagelados consideradas en el monitoreo (*Dinophysis* y *Protoceratium*).
8. Continuar con el análisis interpretativo iniciado en 2014 de la base de datos disponible desde mayo de 2006, segregando por complejo t3xico y fitoplancton nocivo asociado y en correspondencia con las variables biol3gicas y abi3ticas disponibles.



9. Realizar un seminario público de presentación de resultados abarcando el lapso mayo 2006 – febrero 2017, sin perjuicio de comprometer la publicación de diversos artículos científicos en revistas de corriente principal.



4. METODOLOGÍA

Durante esta X etapa (2016-17), no ha habido cambios respecto del área geográfica y las actividades consideradas; el programa se inició en mayo de 2006 y ha abarcado desde el estuario de Reloncaví en la región de Los Lagos hasta el canal Beagle en la región de Magallanes.

En la etapa I (2006-07) el número de sitios de muestreo era 147, en la etapa VII (2013-14) se incrementó a 208, en tanto que en esta X etapa ascendió en 7 nuevos sitios, totalizándose 215 puntos de muestreo. En la etapa VII hubo un incremento en la frecuencia de muestreo, que se ha mantenido hasta la fecha, cada 10 días en el área de Chiloé sur, que abarca el sector meridional 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, en el resto de los sectores (8 en total), se incrementó de 10 a 11 cruceros anuales (esto en la mayor parte del área de estudio). criterios que se han mantenido hasta la fecha.

Las actividades continúan organizadas en torno a tres subprogramas: Subprograma Monitoreo Regular (SMR), Subprograma de Fiscalización y Vigilancia (SVF) y Subprograma de Raúl Marín Balmaceda (RMB). Al igual que en las últimas tres etapas, el estudio se extiende en su fase de terreno, desde marzo 2016 hasta febrero 2017, por lo que en los sectores con muestreo de baja frecuencia se realizan 11 cruceros en ese lapso y para los sectores de alta frecuencia, 31 cruceros.

El área de monitoreo continúa dividida en 9 sectores, usando distintos puertos de zarpe. Estos sectores son los siguientes (**Figuras. 1.1. - 1.2.**):

- 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.



4.1 Metodologí3 Objetivo Específico 1

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 Fiscalizaci3n, y Monitoreo de Raúl Marín Balmaceda.

Estaciones y frecuencia de muestreo

El á3rea de trabajo comprende las regiones administrativas de Los Lagos, Aysén y Magallanes, en la que las estaciones de muestreo est3n distribuidas en una red fija y dispuestas de manera representativa considerando las particularidades de cada á3rea. El estudio est3 dividido en 3 subprogramas, cada uno con requerimientos diferentes dependiendo de cada sector. Aunque cada subprograma entrega resultados segú3 la frecuencia requerida en cada caso y a la disposici3n geogr3fica de los sitios de muestreo, éstos se encuentran sujetos a una misma administraci3n. Los cruceros regulares intentan ser realizados cuasi simultáneamente entre regiones administrativas, aunque existen rasgos restrictivos como las condiciones meteorol3gicas, oceanogr3ficas y geogr3ficas de cada sector.

El á3rea ha sido dividida en los 9 sectores seálados, usando distintos puertos de zarpe segú3 se indica en un párrafo previo.

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

Considera el monitoreo de 192 estaciones ubicadas desde la regi3n de Los Lagos hasta la regi3n de Magallanes y corresponden a estaciones establecidas en sectores de extracci3n de recursos hidrobiol3gicos. El incremento de 7 sitios de muestreo en esta etapa obedece a la inclusi3n de 2 sitios en la regi3n de Los Lagos (Chiloé norte) sector Hualaihue – Hornopirén y 5 en la regi3n de Magallanes (Magallanes centro) costa norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego en el estrecho de Magallanes (Caleta Percy, Caleta Clarence, Chatones 1, Chatones 3 y Dalmacia), cuyas respectivas georreferenciaciones y recurso centinela se entregan en **Anexo 1**. La frecuencia de muestreo es mensual con un receso invernal de 45 días aproximadamente (meses de julio y agosto), no obstante que las condiciones climáticas, en especial durante otoño, determinan un retraso en el calendario de muestreo y consecuentemente el receso no es de la magnitud indicada, 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 2016, dado que la finalizaci3n de la etapa previa ocurri3 en febrero de 2016. En cada estaci3n se realizaron las siguientes actividades: recolecci3n de mariscos (transvectores selectos) para la vigilancia de las variaciones espacio temporales de las toxinas; toma de muestras de agua para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total; y toma de datos oceanogr3ficos y meteorol3gicos. La metodologí3 para el análisis para la detecci3n y cuantificaci3n de toxinas, identificaci3n y enumeraci3n de los taxones del fitoplancton, y toma de datos oceanogr3ficos y meteorol3gicos se detalla en los objetivos especí3ficos 2 y 3, y corresponde a la adoptada por el Programa en versiones previas. Las



estaciones que fueron muestreadas en este subprograma se entregan detalladas en el **Anexo 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 (datos adjuntos).

b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización:

Considera 17 estaciones de muestreo, que 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 Moraleda y Golfo Corcovado, además de ciertos sitios en el área norte de Aysén, en el sector de Melinka (ver **Figuras 1.1 y 1.2**). 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 a bordo de “wellboats”. Las estaciones y su ubicación se encuentran en el **Anexo 2**. La frecuencia de muestreo de 10 días, incluye un receso invernal de 30 días, completando 31 cruceros entre marzo 2016 y febrero 2017. De la misma forma que para el Subprograma Monitoreo Regular, las condiciones meteorológicas y oceanográficas, determinan ajustes al calendario de muestreo, determinando que el receso invernal tenga una extensión temporal inferior a la señalada. El inicio de las campañas fue en marzo 2016 y se prolongaron hasta febrero 2017. En cada estación se realizaron las actividades siguientes: recolección de mariscos para vigilar las variaciones espacio temporales de las concentraciones 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 1, 2 y 3**); toma de muestras para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, toma de datos oceanográficos y meteorológicos. Al igual que lo indicado para el Subprograma Monitoreo Regular, la metodología para la toma de muestra y análisis de toxinas en mariscos, toma de muestras y análisis de fitoplancton, toma y análisis de datos oceanográficos y meteorológicos se detalla en los objetivos específicos 2 y 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 calificar el estado de condición del estero Pitipalena con relación al reglamento de plagas hidrobiológicas. Por ello se ha intensificado 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 de la ubicación de estas estaciones de muestreo se encuentra en el Anexo 3. El muestreo tiene una frecuencia de aproximadamente 10 días con un receso invernal del orden de 30 días, completando un total de 31 cruceros contados desde su inicio en marzo 2016 hasta febrero 2017. 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, acortando la extensión del receso invernal. En cada una de las estaciones se realizaron las siguientes actividades: toma de muestra de mariscos para la vigilancia de las variaciones espacio temporales de la concentración de toxinas en transvectores selectos con una frecuencia mensual cuando la topografía del lugar y la disponibilidad de recursos permitieran el muestreo; toma de muestras para análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton nocivo y total, toma de datos oceanográficos y



meteorol3gicos. Al igual que lo indicado para los Subprogramas se1alados, la metodolog1a para la toma de muestras y an1lisis de mariscos para toxinas, la toma de muestras y el an1lisis de fitoplancton, y toma y an1lisis de datos oceanogr1ficos y meteorol3gicos se detalla en los objetivos espec1ficos 2 y 3.

Muestreo transvectores y detecci3n toxinas

El muestreo estuvo orientado hacia especies centinelas en cada regi3n (e.g. cholga, chorito y almeja, principalmente), sin perjuicio de la recolecci3n de otros recursos seg1n las necesidades, desde el punto de vista de la salud p1blica, u otras particularidades de cada regi3n.

La recolecci3n de cada una de estas especies por cada regi3n estuvo dada seg1n lo descrito en la **Tabla 1.1** y en los **Anexos 1- 3**, y se condiciona adem1s a si la ubicaci3n de la estaci3n de monitoreo permit1a la extracci3n 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 espec1menes de talla comercial mediante buceo semiaut3nomo. Cada muestra fue de aproximadamente 2 kilogramos de marisco con concha. La extracci3n de los transvectores est1 condicionada a la disponibilidad de estos recursos en cada sector, para muestreos de largo plazo. Para las muestras destinadas a la detecci3n de VPM, se recolectaron muestras con r3plica, la cual se extrajo en un mismo sector con 300 - 500 m de distancia entre puntos de muestreo. S3lo en la regi3n de Ays3n, se recolectaron muestras de otros transvectores (transvectores secundarios).

Luego de recolectadas, las muestras fueron etiquetadas y almacenadas en bolsas pl1sticas, 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 an1lisis.

Las muestras de transvectores para determinar la toxicidad por VPM, VDM y VAM fueron entregadas a los laboratorios de las Secretar1as Regionales Ministeriales de Salud de Los Lagos (Puerto Montt), Ays3n (Ays3n) y Magallanes (Punta Arenas). Se mantiene un registro de las entregas y recepciones mediante un formulario establecido para el efecto. La metodolog1a para la detecci3n de VPM es el bioensayo rat3n seg1n norma A.O.A.C. 959.08 (1990) con determinaci3n del Factor de Correcci3n (FC) y uso de saxitoxina est1ndar. Se estima peri3dicamente el FC para el periodo de estudio y para ratones CF-1 (Instituto de Salud P1blica) 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 aplic3 la t3cnica modificada de Yasumoto *et al.*, (1984), y los resultados son presentados en t3rminos cualitativos seg1n 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 amn3sico fue estimado mediante cromatograf1a l1quida de alta eficacia (HPLC) seg1n la metodolog1a descrita por Quilliam *et al.*, (1995). Los resultados se presentan en microgramos de 1cido domoico por gramos de carne de marisco ($\mu\text{g g}^{-1}$).



4.2 Metodologí3 Objetivos Específicos 2 y 3

2. Conocer la abundancia y distribuci3n temporal de *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *A. cf. tamarense*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia cf. australis* y *P. cf. pseudodelicatissima*, en la red de estaciones de monitoreo antes citada.
3. Conocer la distribuci3n y abundancia espacio temporal del fitoplancton total en la red de estaciones del estudio.

Estaciones y frecuencia de muestreo:

Las estaciones y frecuencias por subprograma est3n detalladas en el primer punto del Objetivo 1., y corresponden a las mismas que se muestrearon para el cumplimiento de estos objetivos.

Muestreo de fitoplancton

El muestreo de fitoplancton se realiz3 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 distribuci3n general se entrega en el siguiente cuadro.

Subprograma/ Regi3n	Monitoreo Regular	Vigilancia Fiscalizaci3n	y Raúl Marín Balmaceda	Total
LOS LAGOS	46	11	0	57
AYSÉN	75	6	6	87
MAGALLANES	71	0	0	71
Total	192	17	6	215

La regi3n de Aysén presenta el número más alto de sitios de muestreo, luego la regi3n de Magallanes (incluyendo 5 sitios que sólo son muestreados en una oportunidad vinculados con el recurso ostión del sur) y finalmente la regi3n de Los Lagos. Sin embargo, dada la frecuencia de muestreo en cada sector, es en esta última regi3n, en la que se recolecta la mayor cantidad de muestras de fitoplancton (44,9%) seguida por la regi3n de Aysén (30,8%) y finalmente la regi3n de Magallanes (25,3%). (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 metodologí3:

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 réplicas), 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*, *Dinophysis acuminata*, *D. 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, pero tambi3n se utilizaron c3maras de 50 ml dependiendo de la densidad en cada muestra. Para el recuento celular se aplic3 la t3cnica de Uterm3hl (1958), en microscopios invertidos dotados con contraste de fase.



4.4 Metodología Objetivo Específico 4

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

Recolección de datos hidrográficos

En cada sitio de muestreo, se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila (fluorescencia) y densidad de la columna de agua mediante CTDO hasta una profundidad máxima de 50 m o hasta la profundidad que permitía la topografía del lugar.

Recolección de información meteorológica

Sólo para la región de Magallanes las variables climáticas se registraron mediante estaciones meteorológicas de registro automático en tanto que para las otras regiones la información fue tomada de la Dirección de Aeronáutica Civil. En la región de Los Lagos, sector Puerto Montt en 41°26' 06"S y 73°05' 51"W; región de Aysén, sector Puerto Aysén en: 45° 23' 45,9"S y 72°39'50,0"W y en la región de Magallanes, Puerto Zenteno a 15 m.s.n.m. en 52°47'S y 70°47'W. Para esta última la estación se compone de un registrador de datos electrónico ("datalogger") y sus respectivos sensores de temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar, velocidad y dirección del viento y precipitación.

En todas las estaciones de muestreo, se registraron además las condiciones atmosféricas al momento de efectuar el muestreo. Se incluye la medición de temperatura del aire y rapidez y dirección del viento mediante termo anemómetro digital, a resguardo de lluvia y radiación 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 compás de navegación para registrar su dirección; la presión atmosférica se midió mediante un GPS; Nubosidad, mediante la división de la bóveda celeste en octavos. La posición de cada estación fue referenciada geográficamente utilizando equipos GPS bajo el Datum WGS84.

4.5 Metodología Objetivo Específico 5

5. Registrar parámetros oceanográficos (corrientes, etc.) en sectores de interés dentro del área de estudio, ligados a la distribución y abundancia de micro-fitoplancton y microalgas nocivas.

Considerando los resultados obtenidos en la etapa previa de este estudio, se ha seleccionado al fiordo Puyuhuapi y canal Jacaf como área de interés para la modelación de la distribución y abundancia celular de *Alexandrium catenella*. La incorporación del canal Jacaf en esta etapa de la modelación está directamente relacionada con los datos obtenidos de manera posterior a la entrega del TTR de la X Etapa del programa, los cuáles indican la importancia del aporte del canal Jacaf al sistema del fiordo Puyuhuapi. Experimentos de modelación sin considerar el canal Jacaf dan cuenta de resultados más inestables (tanto en términos de corrientes como en la hidrografía) y por lo tanto menos precisos. Por



lo que, adem1s se hace necesario modificar las mediciones de corrientes en la zona directa de influencia y cuantificar el aporte del canal Jacaf hacia el sistema del fiordo Puyuhuapi.

A partir de los an1lisis de variabilidad estacional del microfitoplancton y las microalgas nocivas, se modific3 la estacionalidad de los registros efectuados en las etapas previas y se realizaron los registros de los par1metros oceanogr1ficos durante dos meses en primavera y dos meses en verano, coincidiendo con los periodos de mayor ocurrencia y abundancia celular. En esta oportunidad se entregan resultados para el per3odo de primavera.

El prop3sito de estas campa1as es registrar par1metros oceanogr1ficos para la construcci3n y evaluaci3n del modelo hidrodin1mico de Puyuhupi-Jacaf. Para ello se han instalado ADCP, sensores de temperatura y conductividad (T°/C) y se han realizado lances de CTDs, aunque est1n pendientes aquellos de fines de verano. El cronograma de actividades se detalla en la **Tabla 5.1**.

1rea de estudio

El sitio de estudio, contempl3 la zona ubicada entre los canales Puyuhuapi-Jacaf (**Figura 5.1**), ubicados en la regi3n de Ays3n en la Patagonia chilena. La batimetr3a de ambos canales es compleja con profundidades mayores a los 400m y con la presencia de dos sill importantes, uno ubicado al norte del rio Uspallante con una profundidad de 170m y otro cercano a la cabeza del Jacaf con 100m de profundidad. La zona norte del Canal Puyuhuapi (al norte de Puerto Cisnes) se caracteriza por presentar una columna de agua altamente estratificada en primavera y verano, controlada por el flujo de agua dulce proveniente principalmente del rio Cisnes (178 y $288\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ descarga en verano y primavera respectivamente [Calvete & Sobarzo, 2011](#)) y favorecida por los vientos del sur ([Schneider et al., 2014](#)).

Recolecci3n y procesamiento de datos.

Los datos analizados en este documento fueron recolectados entre octubre y diciembre del 2016 en los canales Puyuhuapi y Jacaf. (**Figura 5.2**)

Correntometr3a euleriana.

Se realizaron mediciones en la columna de agua a trav3s de un anclaje de dos ADCP (ROWE 300khz), uno instalado en un anclaje a media agua mirando hacia arriba a 80m en el sector de Uspallante, mientras que el segundo ADCP se instal3 en el sill del canal Jacaf (**Figura 5.2**) a una profundidad de 45 m. El dise1o de ambos anclajes se muestra en las **Figuras 5.3 y 5.4**, mientras que, las coordenadas exactas de la instalaci3n de los ADCP se detallan en la **Tabla 5.2**. Cada ADCP fue configurado para medir cada 10 minutos con celdas de 2 m. Si bien se instalaron dos ADCP, se da cuenta de los resultados del ADCP instalado en el Canal Puyuhuapi, debido a que el ADCP instalado en el canal Jacaf, no se le extrajeron los datos por que present3 problemas t3cnicos.

Los perfiles de corriente fueron obtenidos de un ADCP instalado a media agua mirando hacia arriba, instalado en el sill de Puyuhuapi a aproximadamente 80m y registr3 celdas de 1m por ensamble (10min). Para determinar la direcci3n a la cual oscil3 la corriente durante el periodo de registro se



calcularon los ejes de m3xima varianza por medio del an3lisis de vectores propios de la matriz de covarianza. Adem3s, se realiz3 un an3lisis espectral propuesto por [Bendat & Piersol \(1986\)](#), 3l cual consiste en dividir la serie en trozos de igual tama3o y calcular el espectro de cada trozo; se utilizaron 10 grados de libertad. Con el objetivo de observar la circulaci3n asociada a forzantes distintos a la marea, las componentes de la corriente horaria fueron filtradas con un filtro de pasa bajo Lanczos de 121 pesos y un periodo de corte de 40 horas.

Hidrografia

Adem3s, entre las estaciones donde se anclaron los ADCP se realiz3 un transecto donde se registraron 36 perfiles de temperatura, salinidad, fluorescencia y ox3geno disuelto en la columna de agua, utilizando para ello un CTD-O Seabird 19 plus V2. (**Figura 5.2; Tabla 5.3**). Las mediciones se realizaron al inicio de la instalaci3n de ADCP, durante el crucero de limpieza de los equipos y al retiro de los equipos. En este momento a3n restan por realizar las mediciones al retiro de los equipos.

Todas las mediciones que se realicen ser3n corregidas por desviaci3n magn3tica local, de esta forma los valores quedar3n orientados al norte geogr3fico. Con el fin de observar los residuales, es decir aquella parte de la corriente que queda despu3s de remover las oscilaciones de marea, se utilizar3 un filtro pasa-bajos coseno-Lanczos con poder medio de 40 horas.

Con los datos obtenidos se calcul3 la frecuencia de Brunt V3is3l3 o el cuadrado de la frecuencia de boyantes (N^2) fue calculado para caracterizar la estabilidad de la columna de agua, para ello se utilizaron los datos de temperatura, salinidad y presi3n del CTD a los que se le aplic3 el algoritmo propuesto por las ecuaciones termodin3micas de agua de mar 2010 (sigla en ingl3s TEOS-10).

Sensores

Se instalaron 2 fondeos en los sectores de isla San Andr3s y Canal Jacaf (**Figura 5.2**). Los fondeos de isla San Andr3s y Canal Jacaf tienen como prop3sito registrar la temperatura y conductividad (T°/C) para crear las condiciones de borde para el modelo de Puyuhuapi. Estas l3neas fueron colocadas a 80m de profundidad y tuvieron instalados 3 sensores marca Star–Oddi modelo DST a 5, 10 y 15 m de profundidad los que registraron temperatura y conductividad cada 5min, el dise3o del anclaje se muestra en la **Figura 5.5**.



4.6 Metodología Objetivo Específico 6

6. Continuar la modelación de la distribución y abundancia de microalgas nocivas monitoreadas por el programa preferentemente en zonas representativas del área de estudio, dando preferencia a *Alexandrium catenella*.

Como forma dar respuesta a este objetivo, se ha continuado con el desarrollo de tres aspectos: 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) se han generado nuevos datos de 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 el nuevo dominio de estudio Jacaf – Puyuhuapi generando experimentos de modelación en sectores seleccionados de este dominio y validando los datos obtenidos durante campañas oceanográficas con los modelos hidrodinámico y biológico.

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

Se ha continuado con la revisión bibliográfica con la finalidad de incorporar tasas ecofisiológicas no contempladas en la etapa anterior, pero de relevancia al momento de la modelación (e.g. tasas de enquistamiento, germinación de quistes, eficiencia de crecimiento y mortalidad a distintas condiciones de nutrientes, luz y temperatura).

Bioensayos con distintas cepas de *A. catenella*.

Mantenimiento del cepario.

Se han utilizado condiciones estándar de cultivo para 9 cepas de *Alexandrium catenella* las cuales han sido aisladas desde el sur de Quellón hasta el estrecho de Magallanes. Los detalles y características de cada una de las cepas se presentan en la **Tabla 5.4**.

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 realizaron diariamente, extrayendo 2 ml de muestra de cada matraz (con previa agitación suave) en un tubo Eppendorf agregando una gota de Lugol. Estas se contabilizaron en una cámara Sedgewick-Rafter a través de microscopía convencional o invertida ([Garrido et al, 2012](#)).



Los cultivos se fueron escalando a matraces de mayor volumen una vez se alcanzado el crecimiento 3ptimo de cada cepa, manteni3ndose siempre en una c3mara termoregulada con una temperatura entre 10 - 15°C, un fotoperiodo de 12/12 h y con una iluminaci3n de 80 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ proveniente de luces fluorescentes blancas frías.

Tasas de crecimiento de *Alexandrium catenella*

De las 9 cepas cultivadas se utilizaron solo 3 (1 de cada regi3n), teniendo como criterio de selecci3n las de mejor crecimiento durante el periodo de prueba con las condiciones est3ndar antes mencionadas. Para la obtenci3n de organismos en buen estado, las cepas seleccionadas fueron aclimatadas por un periodo de 10 días o hasta que el cultivo hubiera alcanzado la fase exponencial, tiempo en el cual fueron resembrados en matraces de 250 ml para comenzar el cultivo experimental.

Diseño experimental

Los cultivos experimentales de cada una de las cepas seleccionadas se realizaron bajo campana previamente desinfectada con metanol al 70% y luz UV para evitar contaminaci3n.

Se inocularon 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 in3culos de las tres cepas seleccionadas se realiz3 en triplicado. Los cultivos se mantuvieron en una c3mara con temperatura, luz y fotoperiodo controlados, los cuales fueron modificados seg3n los requerimientos de cada experimento.

El día de inicio del experimento se tom3 3 submuestras de 1 ml de cada uno de los matraces experimentales (tiempo inicial o T_0) y fueron fijadas en una soluci3n de Lugol (concentraci3n final 2%). Este mismo procedimiento para la toma de muestras se realiz3 cada dos días para su posterior conteo en c3maras Sedwick-Rafter bajo microscopio.

C3lculo tasas de crecimiento

Las tasas específcas de crecimiento (μ) para cada especie, definidas como el incremento en la abundancia de células por unidad de tiempo se estimaron con la ecuaci3n logística de crecimiento aplicando el logaritmo de base 2 del n3mero de células, considerando que es la m3s adecuada para describir el crecimiento de los dinoflagelados ya que durante las floraciones y en cultivo presentan reproducci3n binaria.

$$\mu = [\text{Log2 } C_t - \text{Log2 } C_i] / [\Delta t]$$

Donde; μ es la tasa de crecimiento específcica para cada grupo de células, C_t y C_i son las abundancias celulares expresadas como el n3mero de células obtenidas en los conteos en los tiempos al t3rmino e inicio de la incubaci3n, y Δt es el intervalo en días u horas transcurridos entre cada conteo. Para las curvas de crecimiento de cada especie se contaron tres r3plicas y se utiliz3 el valor promedio.



Método de incubación en botellas

El método de incubación por botellas es el único método directo que permite distinguir el tipo de partícula-alimento que es ingerida (eliminada del medio) por los consumidores, ya sea alimento natural, cultivado o artificial a través del monitoreo de los cambios de concentraciones durante el periodo de concentración. Aunque es aplicado principalmente para organismos meso-zooplancónicos, también se puede aplicar a organismos del microplancton, principalmente en experimentos con cultivos.

Diseño experimental

El método consiste básicamente en tomar 3 botellas control sin depredadores y 3 botellas con ~ 4 a 5 consumidores meso-zooplancónicos pequeños (e.g. *Paracalanus*, *Acartia*) en botellas de 500 mL o 2 a 3 depredadores grandes (*Calanus*, *Centropages*) para mantener la concentración ambiental de organismos (2-12 copépodos L-1) (Peterson et al. 1988). Los depredadores (en nuestro caso copépodos) fueron recolectados mediante lances verticales a 10 m de profundidad, usando una red WP-2 (tamaño trama 200 µm) con un copo no filtrante de volumen aproximado entre 20 a 30 L para evitar dañar los organismos.

Se realizó paralelamente otro experimento con una comunidad natural de organismos, para lo cual el agua de incubación fue recolectada a través de botellas Niskin y previamente filtrada por un tamiz de 200 µm para remover posibles consumidores meso-zooplancónicos. Luego se agregó la misma cantidad de copépodos de las botellas experimentales anteriores más la adición de una concentración ambiental de *Alexandrium catenella* (estimada a través de datos promedio para las zonas de estudio), esto con el fin de ver selección de partículas por parte de los depredadores y hacer una estimación de tasas de ingestión en condiciones ambientales naturales. Todas las botellas fueron colocadas en una rueda de plancton (0.8 rpm) a temperatura controlada (dependiendo del objetivo del estudio) por aproximadamente un periodo entre 20 a 24 h. Desde una botella extra, similar al control, se tomaron submuestras iniciales (T_0) preservadas inmediatamente en una solución ácida de Lugol al 2%. Finalizada la incubación, se tomaron submuestras de cada una de las botellas: Para el caso del experimento solo con cultivos de *Alexandrium catenella* se tomaron 20 ml de cada botella y fueron preservados en una solución ácida de Lugol para determinación de concentración y conteo de células en cámaras Sedgewick-Rafter. Para el caso de experimento con una oferta natural de alimento, los conteos se realizaron siguiendo la metodología de Utermöhl (1958).

Calculo tasas de ingestión.

Las tasas de aclaramiento e ingestión fueron estimadas utilizando una modificación de las ecuaciones propuestas por Frost (1972). La tasa de aclaramiento se estimó a partir de los cambios en la abundancia de las presas y asumiendo que una proporción constante de células es removida por unidad de tiempo (Bämstedt 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 incubación (ml); N es el número de depredadores; t es el tiempo de incubación; C_c es la concentración de células en botellas control y C_e es la concentración de células en la botella experimental.

La tasa de ingestión se define como:

$$I = F * C$$

donde: I es la tasa de ingestión (e.g. cell ind⁻¹d⁻¹) y C es la concentración de células iniciales.

Modelación físico-biológica de la distribución y densidad celular de *A. catenella*.

En base a la información generada a partir de los ejercicios de modelación realizados en la etapa previa (IX Etapa), donde se utilizó la modelación físico-biológica para la estimación la distribución y abundancia numérica de *Alexandrium catenella* en las localidades de 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"), en esta etapa se ha mejorado la resolución de la modelación físico-biológica acotando el área de estudio a la zona comprendida entre Isla San Andrés ubicada en la boca del fiordo Puyuhuapi (-44°55'57"; -73°19'28") y Seno Gala ubicada en la cabeza del canal Jacaf (A12; -44°27'29"; -72°35'57"). Cabe indicar que para este sector existen antecedentes oceanográficos originados por otros estudios realizados por IFOP y de otras fuentes, lo cual facilita el trabajo planificado.

Conociendo que la distribución y densidad de *Alexandrium catenella* está determinada por procesos físicos-biológicos, en esta etapa se realizaron nuevos estudios de correntometría e hidrografía (Objetivo específico 5), que permitan resolver a una escala de resolución mayor de modelación hidrodinámica, el patrón de corrientes y las forzantes que lo condicionan (e.g. batimetría, mareas, temperatura y salinidad, viento y presión atmosférica). Además, se continuó con la generación de tasas eco-fisiológicas, a partir de los bioensayos comenzados en la etapa anterior, que permiten modelar el crecimiento de *Alexandrium catenella* en función de variables ambientales y su muerte o remoción de la columna de agua mediada por variables como la predación ("grazing"), muerte celular y sedimentación.

Modelo hidrodinámico

A continuación se presenta la implementación de un modelo 3-D hidrodinámico en los canales Puyuhuapi y Jacaf utilizando el modelo MIKE 3D FM; éste es un sistema de modelamiento en 3 dimensiones que considera la solución numérica de las ecuaciones tridimensionales incompresibles de Navier-Stokes utilizando el enfoque de Reynolds, los supuestos de Boussinesq y de presión hidrostática, por lo que el modelo consiste en las ecuaciones de conservación de masa y momentum, temperatura, salinidad y densidad considerando un esquema turbulento de cierre. Como algoritmo de solución discreta de las ecuaciones indicadas, el modelo utiliza el método de volúmenes finitos centrados en cada celda. La estructura de discretización en una malla irregular permite un buen ajuste



al borde costero, por lo que se considera que este tipo de solución es la adecuada para zonas de topografía compleja. En la vertical utiliza coordenadas sigma que pueden ser combinadas con una estructuración rectangular. Para la integración temporal, se utiliza un enfoque semi-implícito donde los términos horizontales son tratados explícitamente y los verticales de manera implícita. Fue desarrollado por DHI (Instituto de Hidráulica y Medio Ambiente Danés (www.dhigroup.com/)).

Este modelo simula las condiciones hidrodinámicas desde el 1 noviembre de 2012 al 4 abril de 2013. Se decidió simular este periodo debido a que la cobertura espacio temporal de los datos disponibles era mayor en comparación con otros periodos. Los datos recopilados no sólo son utilizados para la construcción del modelo sino también para la calibración y evaluación.

Para este periodo de simulación el modelo hidrodinámico utilizó los siguientes datos para su construcción:

Batimetría y dominio

La batimetría en los canales Puyuhuapi y Jacaf (**Figura 5.1**) evidencia rasgos distintivos. El canal Puyuhuapi presenta un relieve más suavizado en comparación con el Jacaf, con profundidades de ~200m, donde destaca la presencia de un umbral de 100m cercano a la boca del fiordo, específicamente cerca del río Uspallantes. El canal Jacaf por otra parte presenta una abrupta batimetría con profundidades en la boca sobre los 600m, mientras que en su interior existen fuertes gradientes que pueden fluctuar en espacios reducidos entre 100m y 500m. La cabeza del fiordo se encuentra conectada al canal Puyuhuapi y entre estos se encuentra una constricción de alrededor de 50m.

La información batimétrica corresponde a sondas de cartas náuticas SHOA, procesadas e interpoladas mediante métodos lineales. Se utilizaron distintos tamaños de elementos de acuerdo a la geometría de la cuenca dejando aquellos lugares someros y estrechos con mayor resolución. En la vertical el modelo está dividido en 30 capas sigma, tipo de estructura que permite discretizar la columna de agua en partes iguales, obteniendo como resultado una mayor resolución en zonas más someras. Además a esta discretización se introdujeron parámetros para que las capas más finas estuvieran en la superficie y el fondo, en donde los procesos físicos son más complejos debido al estrés de fondo y superficial.

Condiciones de borde

Las condiciones de borde del nivel del mar, en las bocas de ambos canales fueron extraídas de mediciones de 30 días realizadas en 2011 producto de campañas oceanográficas anteriores realizadas por IFOP. Para este caso se calcularon, mediante análisis armónico, las constituyentes y se procedió a generar un pronóstico para las fechas requeridas. En cuanto a temperatura y salinidad fueron utilizadas observaciones provenientes de perfiles de CTD realizados en campaña oceanográfica en aquella zona.



Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales referidas a temperatura y salinidad se utilizaron mediciones de CTD de campa1a realizadas por IFOP, para lo cual, se procedi3 a generar una interpolaci3n horizontal y vertical para cubrir todo el dominio.

Fuentes de agua dulce

El 3nico registro de caudal de r3o en el sector pertenece al r3o Cisnes (DGA), para este caso se utiliz3 el valor promedio de caudal para el mes marzo de los 3ltimos 10 a1os. Para compensar el d3ficit de entrada de agua dulce al sistema marino se impusieron fuentes aproximadas en otros lugares en donde, de acuerdo a im3genes de sat3lites se visibilizaban desembocaduras de r3os peque1os y medianos. La suma de todos estos afluentes es de magnitud similar al del r3o Cisnes. Esto es una aproximaci3n arbitraria, pero el hecho de no imponer m3s entradas de agua dulce subestimari3 en demas3a el volumen de agua dulce que entra al sistema, provocando problemas en la generaci3n de la estratificaci3n.

Forzante atmosf3rica

Para el caso de la informaci3n atmosf3rica se utilizaron datos de viento y presi3n atmosf3rica del modelo del Centro Europeo de Predicci3n a Medio Plazo (ECMWF sigla en ingl3s), este es un modelo global donde el plano vertical de la atm3sfera est3 divida en 60 niveles verticales con una resoluci3n horizontal de 0.75° y el que es capaz de generar predicciones hasta 10 d3as.

Modelo Biol3gico

El m3dulo biol3gico de *A. catenella* contiene parametrizaciones de crecimiento y mortalidad, donde es importante aclarar que el modelo supone que no existen limitaciones de nutrientes y que los procesos de enquistamiento y desenquistamiento son despreciables, es por este motivo que estos t3rminos no est3n incluidos en las ecuaciones diferenciales.

El n3mero de c3lulas de *A. catenella* en un tiempo dado (N_t), es descrito por la forma exponencial de la diferencia entre la tasa de crecimiento (μ) y de las p3rdidas totales (PT), seg3n la siguiente ecuaci3n;

$$N_t = N_{t-1} \cdot e^{(\mu - PT)}$$

La parametrizaci3n de la tasa de crecimiento utilizada fue la forma sugerida por [Platt & Jassby \(1976\)](#) que incluye la irradiancia y que fue usada por [Langdon \(1987, 1988\)](#) en sus estudios del crecimiento del fitoplancton:



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

Donde μ_{max} es la tasa de crecimiento m3xima (d3as⁻¹) para una determinada temperatura (T) y salinidad (S), μ_0^r es la tasa de respiraci3n basal (d3as⁻¹), E es el promedio de la irradiancia diaria (watts m⁻²) y a_g es la eficiencia de crecimiento (d⁻¹ W⁻¹ m²). Los valores de los par3metros utilizados en el modelo biol3gico se describen en el **Tabla 6.1**.

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

$$\mu_{max}(T, S) = \mu(T_{op}, S_{op}) \cdot f(T) \cdot f(S)$$

Donde $\mu(T_{op}, S_{op})$ es la tasa m3xima de crecimiento bajo condiciones optimas de temperatura y salinidad, $f(T)$ y $f(S)$ son ajustes polinomiales c3bicos normalizados para que sus resultados var3en entre 0 y 1 obtenidas de datos de laboratorio de [Watras et al. \(1982\)](#); estas ecuaciones se presentan a continuaci3n;

$$f(T) = -0.000347T^3 + 0.0097T^2 - 0.0133T + 0.131$$
$$f(S) = -0.0022S^2 \cdot 0.103S - 0.195$$

Las p3rdidas totales (PT) en el modelo representa la remoci3n de c3lulas debido a la predaci3n, donde se asume que esta actividad aumenta con el incremento de temperatura del agua (T); la que est3 basada en la ecuaci3n formulada por [Durbin & Durbin \(1992\)](#) y es la siguiente;

$$PT = a \cdot Q_{10}^{[(T-10.35)/10]}$$

Donde $a=0.066$ y $Q_{10}=21.75$.

Simulaci3n del modelo biol3gico

Si bien el modelo hidrodin3mico simula desde 1 noviembre del 2012 al 4 abril del 2013, en este informe se entregan los resultados de la concentraci3n de *A. catenella* para tres meses, desde diciembre del 2012 a febrero 2013, coincidiendo con el periodo del a3o donde se registran los mayores valores de concentraci3n de *A. catenella* en la zona de estudio.

Este modelo acoplado fue desarrollado en Ecolab y por tanto es dependiente de las salidas del modelo hidrodin3mico MIKE3, sin embargo, para funcionar necesita datos de radiaci3n solar para construir la forzante atmosf3ricas y datos de concentraci3n de *A. catenella* para construir las condiciones iniciales.

Forzante radiaci3n solar

El registro de datos de radiaci3n solar diaria para el periodo de simulaci3n, se obtuvieron del modelo clim3tico CMIP5 (<http://www.giss.nasa.gov/projects/gcm/>) del Instituto Goddard para estudios



espaciales, los que se presentan en la **Figura 6.1**.

Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales de *A. catenella*, se obtuvieron de los promedios de concentración de todas las estaciones ubicadas en Puyuhuapi y Jacaf en el mes de noviembre. Estos promedios fueron obtenidos de la serie de tiempo (2002 al 2016) generada por el programa de marea roja del IFOP.

Los promedios fueron interpolados horizontal y verticalmente para tener toda la cobertura espacial; el máximo de concentración de *A. catenella* se ubicó a los 5m de profundidad (**Figura 6.2**).

Los resultados distribución vertical de la simulación de un mes de la concentración de *A. catenella*, hacen referencia a la transecta descrita en la **Figura 6.3**.

Evaluación de habilidad del modelo

Con el fin de evaluar la habilidad del modelo biológico, se construyó un ciclo anual con los datos de concentración de *A. catenella* provenientes del monitoreo de Marea Roja (2006-2015), para todas las estaciones ubicadas en los canales Puyuhuapi y Jacaf. El ciclo anual construido contiene los promedios y la desviación estándar de cada estación. Para determinar la habilidad del modelo se comparó el ciclo anual observado con los promedios mensuales de la concentración de *A. catenella* para las mismas estaciones.

Muestreo fiordo Puyuhuapi – canal Jacaf (29 de noviembre a 06 de diciembre de 2016).

El propósito de esta actividad es obtener datos de las variables que serán utilizadas en la modelación biológica de *A. catenella* en el fiordo Puyuhuapi y canal Jacaf, que es la zona escogida para realizar la modelación física-biológica durante esta etapa (2016-17). Para ello, se recolectaron muestras a profundidades discretas para el análisis de abundancia celular del fitoplancton (*A. catenella*), clorofila *a* y nutrientes; muestras de red para fitoplancton cuantitativo; además se registraron datos meteorológicos, irradiancia y extinción de luz en la columna de agua. Paralelamente, se realizaron lances de CTD-O e instalación de ADCPs para complementar los datos hidrográficos y de corrientes que existen para el área de estudio, adicionalmente se instalaron termistores para generar buenas condiciones de borde del modelo.

Área de estudio y estrategia de muestreo.

El área de trabajo corresponde a 9 estaciones entre el fiordo de Puyuhuapi y canal Jacaf (**Figura 6.4**) ubicadas en un transecto paralelo al fiordo. Las estaciones de muestreo coincidieron con aquellas visitadas regularmente por el Programa de Monitoreo la región de Aysén, las cuáles han sido seleccionadas en función de la cobertura espacial del fiordo y la variabilidad ambiental que ellas representan. En la cabeza del fiordo Puyuhuapi se muestreó Seno Ventisquero2 (A19N2, -44°27'29"S; -72°35'57"O); en las cercanías del río Cisnes se muestreó la estación ubicada en el Seno Magdalena (A19, -44°40'34"S; -72°47'17"O); a mitad del fiordo se muestreó la estación de Faro Marta – Canal



Puyuhuapi (A20, -44°49'30"S; -72°58'10"O), Uspallante (A20N1, -44°49'30"S; -72°58'10"O) y finalmente, en la zona de la boca del fiordo se muestre3 la estaci3n ubicada en la Isla San Andr3s (A22, -44°55'57"S; -73°19'28"O), mientras que en el canal Jacaf se muestrearon en las estaciones de Punta Apablaza (A16N1a, -44°31'05"S; -72°40'54"O), Isla Bobadilla – Seno Soto (A17, -44°25'60"S; -72°54'00"O), Seno Miller (A14, -44°15'48"S; -73°04'14"O) y finalmente en la entrada del canal Jacaf en la estaci3n de Isla Toto (A15, -44°15'07"S; -73°12'33"O).

Mediciones hidrogr3ficas, fitoplancton, clorofila_a y nutrientes

En cada estaci3n se realizaron perfiles verticales de temperatura, salinidad, fluorescencia, luz PAR y ox3geno, usando una sonda CTD-O, estabilizando los sensores por unos minutos en la superficie del oc3ano y realizando el lance hasta la profundidad m3xima registrada en los datos hist3ricos del monitoreo. Para asegurar el muestreo de agua en la profundidad del m3ximo subsuperficial de clorofila, las profundidades discretas de muestreo se seleccionaron despu3s de inspeccionar los perfiles de fluorescencia. A partir de esta informaci3n, se recogieron muestras de agua de mar a 5 profundidades, coincidiendo con la profundidad del m3ximo subsuperficial de clorofila, las profundidades sobre y bajo el m3ximo subsuperficial de clorofila, la superficie y el fondo. Las muestras de agua, a 5 profundidades discretas, para los an3lisis de abundancia de fitoplancton, nutrientes y clorofila_a fueron recolectadas utilizando botellas Niskin de 5 litros. Para an3lisis de la abundancia del fitoplancton (*Alexandrium catenella*) se recolect3 una submuestra de 250 ml de la muestra total que se recolect3 con las botellas Niskin. Las muestras fueron almacenadas en botellas de pl3stico limpias, fijadas y preservadas en una soluci3n de Lugol al 1% previo an3lisis en laboratorio. Para el an3lisis de nutrientes (nitrato, nitrito, silicato y fostafo) se tom3, a partir de la muestra obtenida con las botellas Niskin, una submuestra de 500 ml, la cual fue almacenada en botellas as3pticas de polietileno de alta densidad y posteriormente congeladas a -20°C previo su an3lisis por espectrofotometr3a. Para la determinaci3n de la concentraci3n de clorofila, tres submuestras (500 – 1000 ml) de cada una de las profundidades ser3n filtradas a trav3s de filtros Whatman GF/F (0.75µm de poro y 47 mm de di3metro) e inmediatamente congeladas a -20°C previo su an3lisis por espectrofotometr3a.

Arrastres verticales para an3lisis de fitoplancton cualitativo.

Para el an3lisis de fitoplancton cualitativo, se realizaron muestreos de la columna de agua mediante arrastres verticales desde la zona bajo el m3ximo profundo de clorofila a hasta la superficie, usando una red de trama de malla de 23 µm. Se realizaron tres arrastres en dos puntos de cada una de las estaciones de muestreo, separados entre s3 por 300 – 500 metros. Las muestras se fijaron con formalina neutralizada al 2 – 3%, la muestra final fue un conjunto de los seis arrastres en los dos puntos de muestreo por estaci3n.



Informaci3n meteorol3gica.

En todas las estaciones se registraron las condiciones atmosf3ricas midiendo temperatura del aire, rapidez y velocidad del viento, presi3n atmosf3rica, nubosidad y luz PAR incidente. La posici3n de cada estaci3n referenciada geogr3ficamente utilizando un equipo GPS.

Correntometr3a e hidrografa y sensores

Se registraron par3metros oceanogr3ficos en dos sectores, cuyo detalle se entrega en la metodolog3a del Objetivo Espec3fico 5.

4.7 Metodolog3a Objetivo Espec3fico 7

7. Identificar y evaluar la din3mica espacio temporal en sectores con mayores probabilidades de presentar la forma vegetativa de microalgas nocivas y eventualmente las toxinas marinas en mariscos transvectores en determinados sectores del 3rea de estudio, dando prioridad a las especies del g3nero *Alexandrium*, pero abordando tambi3n a otras especies nocivas de dinoflagelados consideradas en el monitoreo (*D. acuminata*, *D. acuta* y *P. reticulatum*).

Para abordar este objetivo la modalidad de trabajo fue la siguiente.

- ✓ La base de datos generada entre mayo de 2006 y febrero de 2016, referida a las presencia-ausencia y estimadores de abundancia relativa de los 5 taxones considerados, adem3s de las concentraciones estimadas en mariscos del veneno paralizante y presencia-ausencia de toxinas lipof3licas, permiti3 abordar un an3lisis orientado a definir la probabilidad de ocurrencia de una determinada microalga o de un complejo t3xico en sectores geogr3ficos predefinidos seg3n un an3lisis de conglomerados.
- ✓ Los resultados del an3lisis de conglomerados fueron tomados de los informes finales de las etapas VIII 2014-15 y IX 2015-16 de este estudio. La sectorizaci3n geogr3fica obtenida con este criterio de an3lisis es objetiva, generada de una base de datos con una serie de tiempo de 10 a3os, y por lo mismo, los conjuntos definidos tienen l3mites geogr3ficos objetivos.
- ✓ Dado que las distintas variables analizadas mostraron diferentes configuraciones espacio temporales, fue necesario realizar un an3lisis preliminar de la informaci3n revisando la representaci3n en mapas de los distintos conglomerados definidos. Se consideraron todas las agrupaciones que presentaron un mayor n3mero de sitios de muestreo en cada conglomerado.
- ✓ Fueron utilizados los conglomerados definidos para *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* y *Protoceratium reticulatum*, para definir la probabilidad de ocurrencia de cada uno de estos taxones.



- ✓ En el caso del veneno paralizante y de las toxinas lipofílicas, a fin de mantener constancia en los análisis aplicados, las agrupaciones de los sitios de muestreo utilizadas para definir las probabilidades de ocurrencia de estos complejos tóxicos, fueron aquellas definidas para *A. catenella* y *D. acuminata*, respectivamente.
- ✓ Una vez definidas las probabilidades para los distintos sectores segregados en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, entonces las estimaciones probabilísticas fueron representadas gráficamente sobre mapas que representan el área de estudio.
- ✓ La probabilidad de ocurrencia fue estimada sobre la base del cociente de la frecuencia de ocurrencia sobre el número total de observaciones o registros, de la variable en cuestión, en el período que represente la serie de tiempo (mayo 2006 a febrero 2016).
- ✓ Los análisis fueron definidos según el tipo de variable considerada. En el caso de los taxones nocivos, se consideraron tres opciones: a) presencia ausencia en las agrupaciones seleccionadas en las series de tiempo para cada taxón; b) segregación de los estimados de abundancia relativa en dos grupos, estimaciones con valores entre 1-4 y estimaciones entre 5-9, definiendo la probabilidad de ocurrencia para cada uno de estos grupos, para cada taxón y agrupación seleccionada; c) para las toxinas lipofílicas, la información fue tratada como presencia-ausencia y luego calificada siguiendo la escala siguiente: probabilidad muy alta, 1,00 - 0,76; alta, 0,75 - 0,51; media 0,50 – 0,25; baja: <0,25) y finalmente d) para el veneno paralizante, presencia ausencia en las agrupaciones seleccionadas y segregando en dos estratos, entre 30-80 µg STX eq. 100 g⁻¹ de carne de marisco y > 80 µg STX eq. 100 g⁻¹ de carne de marisco.
- ✓ Los resultados obtenidos en una primera etapa han sido analizados en términos descriptivos tendientes a identificar los sectores geográficos y los períodos del año con mayores probabilidades de presentar un determinado taxón y complejo tóxico, como también en términos de comparar los complejos tóxicos además de los distintos taxones entre sí.

4.8 Metodología Objetivo Específico 8

8. 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 biológicas y abióticas disponibles.

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 2013 y marzo del 2017 para la abundancia relativa (AR) de las diferentes especies tóxicas, 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**).

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 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. 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 realizaron las mismas actividades señaladas para el SVF.

Para estos dos sub-programas se aplicaron análisis de conglomerados 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). Estos análisis fueron realizados con el programa PRIMER 7 ("Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research").

Fitoplancton nocivo para peces

Para el análisis de abundancia espacio-temporal de especies de microalgas nocivas para la salmonicultura, se utilizó información de muestreos realizados entre 2006 y 2016, excepto 2011 donde no se realizó muestreo cuantitativo de especies por parte del IFOP. Para la determinación del grado



de estratificación de la columna de agua en un determinado muestreo, se determinó la varianza (σ^2) de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la salinidad en los estratos 0, 5 y 10m con la siguiente formula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X - \mu)^2}{N}$$

Para determinar el efecto de las variables geográficas latitud y longitud, y las variables ambientales temperatura, salinidad, σ^2 salinidad 0-10m y σ^2 temperatura 0-10m en la abundancia de las 8 microalgas nocivas, se utilizaron Modelos Lineares Generalizados (GLM) como se indica a continuación:

$$Y = \mu + S + T + \text{Lat} + \text{Lon} + \sigma^2 T + \sigma^2 S$$

donde:

F es la abundancia de microalgas, μ es la coordenada de origen, S salinidad a 5m de profundidad, T temperatura a 5m de profundidad, $\sigma^2 T$ varianza de la temperatura entre 0, 5, 10m de profundidad y $\sigma^2 S$ varianza de la salinidad entre 0, 5, 10m de profundidad. Se considero un nivel de significancia del 95% ($\alpha=0.05$) para el GLM. El software R v. 3.0.1 (Ihaka and Gentleman, 1996; <http://www.r-project.org>) fue utilizado para análisis estadísticos.

Distribución de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*: identificación espacio - temporal de eventos de floración.

Para identificar los distintos los eventos históricos de floración de *Alexandrium catenella* en la zona comprendida entre las regiones de Los Lagos y Magallanes, se consideró la información recopilada por los estudios desarrollados por IFOP entre mayo de 2006 y febrero de 2017. La variable considerada en este análisis es la Abundancia Relativa (AR) de *Alexandrium catenella* y la pregunta detrás de este análisis es conocer cómo la AR varía tanto en el tiempo como entre cada una de las estaciones de monitoreo. Para la ordenación y clasificación de las estaciones de monitoreo se aplicaron análisis de conglomerado usando como medida de distancia el índice de similitud de Bray y Curtis y se representaron los resultados en un dendrograma. El análisis se realizó para cada una de las regiones del monitoreo, donde las muestras correspondieron a las estaciones de muestreo y cada una de las fechas de toma de muestras correspondieron a las variables de estudio. Estos análisis se realizaron con el programa PRIMER ("Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research"). Los conglomerados representados en los dendrogramas significativamente diferentes, fueron identificados mediante el análisis SIMPROF ("SIMilarity PROFile" o perfiles de similaridad) (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%. La representación de cada uno de los grupos y sus niveles históricos de AR se realizó a través de mapas de calor, mientras que, para la evolución temporal de la AR se construyeron gráficas de serie de tiempo para el promedio de cada uno de los grupos resultantes a partir del análisis de Clúster.

4.9 Metodología Objetivo Específico 9

9. Realizar un seminario público de presentación de resultados abarcando el lapso mayo 2006 – febrero 2017, sin perjuicio de comprometer la publicación de diversos artículos científicos en revistas de corriente principal.

Se realizó 1 seminario-taller orientado a la difusión y discusión acerca de los temas centrales y resultados del Programa de Manejo y Monitoreo de Mareas Rojas durante sus 10 años de realización (periodo 2006-2017) con la participación de todos los investigadores y técnicos integrantes del grupo de investigación.

a) Participantes

Se hizo extensiva la invitación a participar a representantes de los diversos sectores demandantes y/o vinculados al tema de floraciones algales nocivas, tanto del sector público como privado, además de académicos e investigadores de diferentes universidades y centros de investigación (Anexo 6) con la finalidad de difundir y discutir los resultados obtenidos en el programa de monitoreo.

Se hizo también extensiva una invitación especial a académicos/investigadores expertos en el tema para la realización de una charla especial dentro de las líneas de investigación del programa y/o complementarias a éstas con la finalidad de compartir resultados y experiencia, contribuyendo así a desarrollar nuevas líneas de investigación que permitan, al mismo tiempo, la integración de diversos grupos y centros de investigación.

b) Desarrollo del Seminario

El seminario contó con dos bloques de charlas dictadas por investigadores del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) más una charla dentro de cada bloque dictada por académicos/investigadores invitados.

Los temas incluidos en las charlas se dividieron en un primer bloque enfocado en la dinámica y distribución de FAN's integrando variables biológicas y oceanográficas, y un segundo bloque orientado en la modelación y dispersión de estas.



5. RESULTADOS

5.1. Aspectos generales

Aunque no está comprometido efectuar un análisis de la información generada entre marzo de 2016 y febrero de 2017, puesto que está contemplado realizarlo durante la XI etapa 2017-18 de este programa, se ha estimado pertinente entregar alguna información de carácter general respecto de los aspectos más importantes sobre el fitoplancton nocivo y toxinas marinas registradas durante el período indicado. Asimismo dada la particularidad de la floración de *Alexandrium catenella* ocurrida durante el primer semestre de 2016 y que afectó de una forma particular a la región de Los Lagos e incluso se extendió hasta la región de Los Ríos, se ha estimado pertinente, no obstante que el análisis de la información abarca, según contrato, hasta febrero de 2016, incluir en esta oportunidad, resultados logrados durante el desarrollo de esta floración.

Abundancia Relativa

A fin de disponer de una visión comprensiva de la información recolectada durante esta última etapa, a continuación se entrega una síntesis de las variaciones espacio-temporales de las estimaciones de abundancia relativa de los ocho taxones que son seguidos a través del trabajo realizado en este estudio. La información se analiza por región administrativa.

Las mayores abundancias relativas para las especies nocivas en la región de Los Lagos se centraron principalmente en los meses de verano tardío hasta el otoño (marzo 2016 a mayo 2016) y primavera 2016 hasta el verano 2017 (octubre 2016 a febrero 2017). De esta forma, *Alexandrium catenella*, presentó durante el mes de abril de 2016, una abundancia relativa de 9 (mega-abundante), en Bahía Asasao (L22), ensenada Quilanlar (L22N1), isla San Pedro (L23) y canal Guamblad (L23N1). Chiloé sur. Cabe destacar que la estación Chayahué (L04N3), ubicada en Chiloé norte presentó durante este mismo mes una abundancia relativa de 8 (ultra-abundante). *A. ostentfeldii*, presentó una abundancia relativa de 7 (híper-abundante), durante el mes de octubre de 2016, en la estación bahía Ilque (L02N2) localizada en Chiloé norte. *Dinophysis acuminata*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante los meses de marzo de 2016 en isla Marimeli (L02N3), noviembre de 2016 en bahía Asasao (L22) e isla San Pedro (L23) diciembre de 2016 en Yates (L02), Sotomó (L02N1), Cochamó (L02N2), isla Marimeli (L02N3), Pocihuén (L02N4), Potrerillos (L03N1), localizadas en Chiloé norte y canal Guamblad (L23N1) e isla San Pedro 2 (L23N2), localizadas en Chiloé sur, enero de 2017 en isla Caicura (L06N1), Pichicolo (L06N3) y Hornopirén (L06N4), Chiloé norte y en Tic-Toc (L25), Chiloé sur. *D. acuta*, presentó una abundancia relativa igual a 2 (escaso), en el mes de marzo de 2016 en isla Chaullín (L16N1), Chiloé sur. *Protoceratium reticulatum*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de enero 2017, en las estaciones isla Marimeli (L02N3), Pocihuén (L02N4) y Potrerillos (L03N1). Por otro lado, las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* presentaron las mayores abundancias relativas durante los meses de verano (marzo 2016, enero, febrero y marzo 2017). Así, *P. cf. australis*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de marzo de 2016 en la estación Ayacara (L10) en Chiloé centro. Por otro



lado, *P. cf. pseudodelicatissima*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de enero de 2017 en isla Butachauques (L09) e isla Butachauques 2 (L09N1), Chiloé centro, durante el mes de febrero de 2017 en caleta La Arena (L03), Calbuco (L04), bahía Ilque (L02N2), Chayahué (L04N3), isla Puluqui (L04N4) e isla Caicura (L06N1), Chiloé norte.

Para la región de Aysén, las mayores abundancias relativas de las especies nocivas se centraron entre los meses de verano 2016 - 2017 (diciembre 2016 a febrero 2017) con excepción de las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* que además presentan mayores abundancias en los meses de otoño – invierno de 2016. De esta forma, *Alexandrium catenella*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), durante los meses de marzo 2016 en isla Julia-Grupo Peligroso (A04) y canal Moraleda 2 (A11N1), Aysén norte, abril de 2016 Repollal-canal Puquitrín (A02) y en isla Julia-Grupo Peligroso (A04), Aysén norte, en enero de 2017 en Isla Bobadilla-Seno Soto (A17), Seno Ventisquero 2 (A19N2), Aysén norte, Punta Lynch (A28), Puerto Bonito (A29) y Canal Chacabuco (A53) Aysén sur, y en el mes de febrero de 2017 en Isla Rojas-Paso Tres Cruces (A54), Aysén sur. *A. ostensfeldii*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (mega-abundante), durante el mes de febrero de 2017 en Cinco Hermanas (A24), Aysén norte. *Dinophysis acuminata*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante los meses de verano 2016 – 2017 (diciembre 2016 a febrero 2017), en amplias estaciones de Aysén norte y sur. *D. acuta*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), entre los meses de diciembre de 2016 y febrero 2017 en amplias estaciones de Aysén norte y sur. *Protoceratium reticulatum*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), durante el mes de enero de 2017, en Seno Miller (A14) y Seno Ventisquero 2 (A19N2), ambas localizadas en Aysén norte. Las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* mostraron las mayores abundancias relativas durante los meses de otoño - invierno (marzo a agosto de 2016) y verano (diciembre 2016 a febrero 2017). Así, *P. cf. australis*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), en el mes de mayo de 2016 en Isla Palumbo (A48) y en el mes de agosto de 2016 en Canal Darwin (A49), ambas estaciones en Aysén sur. Por otra parte, *P. cf. pseudodelicatissima*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), desde marzo de 2016 a junio de 2016 y desde diciembre de 2016 a enero de 2017 en amplias estaciones de Aysén norte y sur.

Para la región de Magallanes, las mayores abundancias relativas de las especies nocivas se centraron entre el otoño – invierno de 2016 (marzo y junio 2016) y verano 2016 - 2017 (noviembre 2016 a febrero 2017). De esta forma, *Alexandrium catenella*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), en junio de 2016 en Bahía Liberta (M05), Magallanes norte. *A. ostensfeldii*, presentó una abundancia relativa igual a 5 (muy abundante), durante el mes de marzo de 2016 en Seno Europa (M10), Magallanes norte. *Dinophysis acuminata*, presentó una abundancia relativa igual a 8 (ultra-abundante), en el mes de febrero de 2017 en bahía Fanny (M24), Magallanes centro. *D. acuta* presentó una abundancia relativa igual a 6 durante el otoño de 2016 en canal Adalberto (M04) en abril de 2016 y en bahía Liberta (M05) en junio de 2016, ambas estaciones en Magallanes norte. *Protoceratium reticulatum*, presentó una abundancia relativa igual a 7 (hiper-abundante), durante el mes de febrero de 2017, en estero Sullivan (M27) y Cutter Cove (M29), Magallanes centro. Las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* obtuvieron las mayores abundancias relativas durante los meses de junio de 2016 y noviembre de 2016. Así, *P. cf. australis*, presentó una abundancia relativa



igual a 7 (hiper-abundante), durante los meses de junio de 2016 en Puerto Edén (M06), Magallanes norte y de noviembre de 2016 en canal Gabriel Oriental (M39C3), Magallanes centro. En tanto, *P. cf. pseudodelicatissima*, presentó una abundancia relativa igual a 9 (mega-abundante), en el mes de junio de 2016 en puerto Edén (M06), seno Duque Edimburgo (M06N1), isla Morton (M01N), isla Carlos (M02N), arrecife Hamond (M03N), isla Crossover (M07), estero Falcon (M08) y seno Europa (M10), todas ubicadas en Magallanes norte.

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 636 $\mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en cholgas recolectada en Chayahué (L04N3), Chiloé norte, durante el mes mayo 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 crucero 11 (febrero – marzo 2017) con 17 estaciones positivas, equivalente al 42,9% 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 5555 $\mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en cholga recolectada en punta Cálqueman (A18), Aysén norte, durante el mes de marzo 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 marzo de 2016 con 56 frecuencias positivas, equivalente al 72,7% de las estaciones en toda la región. Respecto al Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), durante el mes de junio de 2016 se detectó 26,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ de ácido domoico (AD), en cholga recolectada en punta Baker (A60), Tortel.

En la región de Magallanes, la mayor concentración detectada para Veneno Paralizante de los Mariscos (VPM) fue de 6851 $\mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en cholga recolectada en canal Adalberto (M04), Magallanes norte, en el mes de julio 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 32 frecuencias positivas, equivalente al 57,1% de las estaciones en toda la región. Respecto al Veneno Amnésico de los Mariscos (VAM), no hubo registros en toda la región para este periodo.

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 2017 fue la siguiente. Durante el lapso que se analiza el nivel más alto de abundancia relativa se presentó en estaciones de Chiloé norte y sur, durante el mes de abril de 2016 (*Alexandrium catenella*; AR=9, mega-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 7 (hiper-abundante), y en la región de Magallanes, nivel de 5 (muy abundante).



Dinophysis acuminata, presentó un nivel de abundancia alta en toda el área de estudio. Para las regiones de Los Lagos y Aysén, el nivel de abundancia relativa fue el más alto, nivel 9 (mega-abundante), durante los meses de verano; en cambio, para la región de Magallanes, el nivel de abundancia fue de nivel 8 (ultra-abundante), también en verano. *Dinophysis acuta* presentó, durante el verano tardío (marzo de 2016), una abundancia relativa de 2 (escaso) en la región de Los Lagos. En la región de Aysén el nivel de abundancia relativa fue de 9 (mega-abundante) durante el verano (diciembre 2016 a febrero 2017). En la región de Magallanes, el nivel de abundancia relativa fue de 6 (extremadamente abundante) durante el otoño (abril y junio de 2016).

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 y norte de la región de Aysén, con un nivel de mega-abundante (9), durante el mes de enero de 2017.

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, sólo en la región de Los Lagos *P. cf. australis* presentó nivel de abundancia relativa 9 Su presencia fue más relevante durante el período de verano en la región de Los Lagos, mayormente durante todo el período de estudio en la región de Aysén y en otoño en la región de Magallanes.

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 todas las regiones. En la región de Los Lagos se detectó un nivel máximo de toxina de $636 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$, en la región de Aysén de $5555 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$ y en la región de Magallanes de $6851 \mu\text{g eq. SXT } 100 \text{ g}^{-1}$.

La región con mayor cantidad de estaciones positivas a VDM (Veneno Diarreico de los Mariscos), fue Aysén, con un 72,7% del total de las estaciones establecidas en esta región.

Los niveles de VAM (Veneno Amnésico de los Mariscos), estuvieron sobre la norma ($> 20 \mu\text{g g}^{-1}$ de ácido domoico), en la región de Aysén con un nivel de toxina de $26,9 \mu\text{g g}^{-1}$. En la regiones de Los Lagos y Aysén, 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.

En forma adicional se entregan los antecedentes recogidos en muestreos complementarios (carpeta 04M.Comp) en la costa expuesta de Chiloé y estaciones costeras desde la región de Los Ríos hasta la región de Los Lagos, abarcando desde Mehuín hasta Cucao. Las cuatro transectas efectuadas en los meses de enero y febrero de 2017 entre Mar Brava y Caleta Zorra en la costa expuesta de Chiloé permitieron recolectar la siguiente información de Abundancia Relativa, Fitoplancton Cualitativo, Fitoplancton Cuantitativo, Información Meteorológica, Información Oceanográfica y Disco Secchi, además de nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos). En cambio, para las estaciones costeras sólo se entregan antecedentes de abundancia relativa de *A. catenella* y VPM.

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

5.2. 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 sub-programa 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 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:

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

c) Sub-Programa Raúl Marín Balmaceda:

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

5.3. Objetivos Específicos 2 y 3:

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

Conocer la abundancia y distribución 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 sección corresponden a todos los cruceros comprometidos entre marzo 2016 y febrero 2017 en el Subprograma Regular y los Subprogramas de Vigilancia y Fiscalización 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 estimación 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, región administrativa, crucero y estación de muestreo. Para cada subprograma los antecedentes que se presentan son los siguientes:

a) Sub-Programa Monitoreo Regular:

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

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

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



b) Sub-Programa Vigilancia y Fiscalización:

Se entrega la información recolecta desde el 1er crucero hasta el 31er crucero. En la base 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:

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

5.4. 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.

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

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

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

Aunque de manera excepcional esta información fue entregada en el informe final de la etapa IX de este programa, dado que estos antecedentes corresponden al lapso que se debe informar en este documento (entre marzo de 2016 y febrero de 2017), se ha estimado pertinente en esta ocasión reiterar los antecedentes presentados previamente.

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. Cuando realizamos la comparación de los valores de AR para la región de Los Lagos, 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. 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. 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, 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.

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, 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. 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* 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. 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.

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.

A continuación se comentan 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. Posteriormente, entre los días 02 al 06 de mayo los niveles de AR disminuyeron 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, Maicolpue y Pucatrihue, 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). 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). 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 Tubidad, 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.

Respecto de los niveles de abundancia para cada localidad visitada en la región de los Ríos la situación fue la siguiente. 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. 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.

Finalmente, 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).

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* 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*, 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 dictyochofíceas 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. Una apreciación similar se observa en varias localidades del mar interior de Chiloé en una serie de tiempo desde 2013. Si bien la temperatura no explica la presencia de estas floraciones, durante los meses de verano de 2016 ocurrieron 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 VPM. A diferencia de años previos (2002, 2006 y 2009), donde se registraron floraciones importantes de *A. catenella* en la zona sur de la Isla de Chiloé en la región de Los Lagos, 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. 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.



Esta fue la primera vez que se detecta una floraci3n de esta especie en el Océano Pacífico, abarcando, en esta oportunidad, hasta la regi3n 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 condici3n de floraci3n (Mardones *et al.*, 2010). En esta oportunidad, el límite norte de la distribuci3n de la microalga fue la localidad de Mehuin en la regi3n de Los Ríos, pero no estaba en condici3n de floraci3n. Sin embargo, se detectaron mariscos t3xicos en varios puntos de la regi3n de Los Ríos (Los Molinos, Los Huiros, Curiñanco, Bonifacio, entre otros).

A partir de la experiencia obtenida sobre *A. catenella* y el VPM durante floraciones ocurridas en años anteriores (e.g. 2002 y 2009), en los cuáles se observó que disminuyeron hacia fines de abril y comienzos de mayo manteniéndose la toxicidad de los mariscos durante un lapso luego de finalizada la floraci3n, podemos realizar una comparaci3n de estos eventos con la actual floraci3n de 2016, la cuál indic3 que durante este año tuvo una mayor duraci3n prolongándose hasta mediados o fines de mayo, y en consecuencia, los mariscos permanecieron t3xicos durante lo que resta de otoño y muchos durante los meses de invierno. En invierno la detoxificaci3n es más lenta por la disponibilidad de alimento y por las temperaturas más bajas del agua. La presencia de mariscos t3xicos 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 floraci3n 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 floraci3n 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. Observaciones durante estas varazones en la playa de Cucao, permitieron constatar que los ejemplares vararon vivos y que una fracci3n importante volvió a enterrarse en el sedimento de la zona intermareal. No se dispone de una estimaci3n 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 t3xicos de la misma forma que es afectado el ser humano, es decir la generaci3n del impulso nervioso por efecto de la toxina paralizante, y dependiendo de la concentraci3n de toxina consumida, puede ocurrir la muerte de los organismos. Por tanto, la muerte de cormoranes, gaviotas, patos quetro, chungungos y lobos marinos que han sido observados en el litoral del sector afectado, es explicada por efecto de las toxinas paralizantes que actúa a nivel de los canales de entrada de ion sodio impidiendo la generaci3n 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 mostró 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 tuvo un verano y otoño excepcionales, generándose condiciones propicias para la iniciación y mantención de floraciones nocivas. De hecho, por señalar algunas, se detectaron 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, 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. 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.

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. Y dada la disminución de las precipitaciones durante este lapso, el aporte de agua 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.

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.

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 estuvo constituido por saxitoxina (STX), gonyaulotoxinas 2-3 (GTX2-3) y carbamolsaxitoxinas (C1-2).

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



En t3rminos de toxicidad, vale decir, cantidad de toxinas expresadas diferencialmente seg3n el grado de toxicidad que provocan en el bioensayo rat3n (unidades rat3n, UM), las muestras con mayor concentraci3n de STX, ser3n las que presenten mayor valor de toxicidad al bioensayo rat3n. La STX es la que presenta el mayor efecto t3xico en el rat3n, seguido por las GTXs, mientras que las Cs son las menos t3xicas.

En este contexto, en el caso de tratarse de las mismas muestras, las machas de la localidad de Chanqu3n-Palihue y Pasarela Deñal, en Cucao, presentaron valores de toxicidad estimados a partir de los an3lisis por LC-F (*i.e.* 510 y 227 $\mu\text{g eq STX. } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente), que fueron muy similares a los estimados directamente por el bioensayo rat3n (*i.e.* 611 y 278 $\mu\text{g eq STX. } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, SEREMI de Salud de la regi3n de Los Lagos).

Los resultados de toxicidad indican que tanto los percebes como las machas presentaron niveles de VPM por sobre el l3mite de 80 $\mu\text{g eq STX. } 100 \text{ g}^{-1}$. Los picorocos y las sardinas presentaron niveles positivos de toxicidad aunque bajo el l3mite para consumo. En las sardinas, las toxinas fueron detectadas en el est3mago como principal3rgano. Las branquias no presentaron toxinas detectables por LC-F.

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 regi3n 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 est3 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 transformaci3n del perfil de toxinas encontrado en el plancton, por parte de los picorocos y est3mago de las sardinas, que los que ocurre en los percebes y machas. De hecho, estos3ltimos presentan un mayor porcentaje de GTX2-3 al igual que el plancton.

Los an3lisis de 3cido domoico (VAM) en r3plicas de las mismas muestras fueron negativas.



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 como se pensaba previamente.
- 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 oceanogr3ficas 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.

5.5. Objetivo Específico 5:

Registrar parámetros oceanográficos (corrientes, etc.) en sectores de interés dentro del área de estudio, ligados a la distribución y abundancia de micro-fitoplancton y microalgas nocivas.

Distribución de variables ambientales en la columna de agua

La sección vertical de salinidad y temperatura en los canales Puyuhuapi y Jacaf para primavera y verano se muestran en la **Figura 5.3**. Las variables físicas principalmente la salinidad mostró la presencia de dos capas separadas por una fuerte haloclina provocada por la presencia del agua dulce.

En primavera (**Figura 5.3a**), la AESB que hace referencia a la mezcla de agua dulce con agua salada, se registró en parte del canal Puyuhuapi y en casi todo el canal Jacaf (E9 a E27) con un grosor promedio de ~4m, a diferencia de lo que se observó en verano (**Figura 5.3b**), donde la AESB se extendió a lo largo de todo el canal Puyuhuapi y parte del canal Jacaf (E1 a E25) con un grosor de ~7m, generando un gradiente mayor de salinidad provocando estratificación en ambos canales.

En verano, las isohalinas se profundizaron 20m en promedio, a excepción de la isohalina 34 que en ambas temporadas se registró a ~150m. Sin embargo, en primavera la AEES solo se registró en el Canal Jacaf a diferencia del verano que además se ubicó en el canal Puyuhuapi. La presencia de la AEES se registró en las constricciones de los canales.

La distribución de temperatura a lo largo de la transecta (**Figura 5.3c y 5.3d**) y en ambos periodos vario entre 9.6 y 18.3 °C (**Tabla 5.1**). En general las mayores temperaturas se ubicaron en superficie en la temporada de primavera a excepción de los perfiles ubicados entre las estaciones E8 y E23, donde se observó un patrón de inversión térmica, es decir las menores temperaturas se ubicaron en superficie. La termoclina se ubicó a ~7m, donde entre las E13 y E21 el gradiente fue mucho mayor en comparación al resto de la transecta, esto provocado probablemente por la descarga de agua dulce del río Cisnes. En general los primeros 10m de profundidad se observó las mayores variaciones de temperatura para posteriormente descender gradualmente.

En cuanto al parámetro de estratificación (**Figura 5.4**), se observó que en general la columna de agua en primavera estuvo parcialmente mezclada, a excepción de la E13 que presentó agua dulce en superficie por lo que el gradiente de salinidad fue mayor, impactando en el parámetro el que registro



una columna altamente estratificada. En verano el parámetro de estratificación registró estaciones altamente estratificadas, las que se ubicaron en su mayoría en el canal Jacaf.

La distribución espacial de fluorescencia (**Figura 5.5a y 5.5b**), registró una estructura de 'capa fina subsuperficial' en primavera a lo largo de ambos canales. En primavera el máximo valor fue de 17.5 ml L^{-1} , el que se ubicó en Puyuhuapi a diferencia de los observado en verano donde el máximo fue de 6.9 ml L^{-1} ; siendo la mitad del máximo registrado en primavera. En verano la capa subsuperficial de fluorescencia se registró más profunda que la observada en verano coincidiendo con la distribución termal.

En cuanto a la distribución de oxígeno disuelto (**Figura 5.5c y 5.5d**), en primavera los valores variaron entre 1.2 a 7.8 ml L^{-1} (asociado a 10 a 120% de saturación de oxígeno) donde los valores menores 2 ml L^{-1} (asociado a 30 %) se registraron bajo los 130m entre las estaciones E6 y E28, es decir desde el sill de Puyuhuapi.

En verano las concentraciones de oxígeno variaron entre $1.98 - 7.33 \text{ ml L}^{-1}$ (asociado a 10 a 120% de saturación de oxígeno), donde las máximas concentraciones se ubicaron en superficie, si bien los máximos son cercanos a los observados en primavera en esta temporada fueron menos puntos los que se registraron cercanos al máximo. Al igual que en primavera los valores menores a 2 ml L^{-1} (asociado a 30 %) se registraron bajo los 130m y se observaron entre las estaciones E3 a la E26, sin embargo, a partir de la estación E13 se una elevación y aumento de concentración de oxígeno disuelto.

Correntometria

Durante ambos periodos de muestreo la corriente fue predominantemente este-oeste, es decir a lo largo del canal Puyuhuapi, donde en el periodo de verano la corriente se mostró mucho más este-oeste. En profundidad los valores de rapidez disminuyeron considerablemente a partir de los 40m de profundidad, sin embargo, se mantuvo la tendencia de la máxima variación en dirección este-oeste (**Figura 5.6 y 5.7**).

El flujo residual (**Figura 5.8 y 5.9**) presentó un máximo de $\sim 50 \text{ cm s}^{-1}$ en ambos periodos, donde los mayores valores se registraron en la componente este-oeste. La estructura de esta componente se caracterizó en general por presentar un flujo superficial hacia el oeste (hacia la boca del canal Puyuhuapi), el que tuvo una extensión variable. Bajo este flujo se observó un flujo predominantemente hacia el este (hacia la cabeza del canal Puyuhuapi) con valores de promedio de $\sim 5 \text{ cm s}^{-1}$, sin embargo, destaca un episodio (29 de noviembre al 6 de diciembre) donde este flujo se intensifica con valores máximo de 50 cm s^{-1} .



5.6. Objetivo Específico 6:

Continuar la modelaci3n de la distribuci3n y abundancia de microalgas nocivas monitoreadas por el programa preferentemente en zonas representativas del 3rea de estudio, dando preferencia a *Alexandrium catenella*.

Tasas ecofisiol3gicas a partir de bioensayos.

Par3metros de Crecimiento.

Las curvas de crecimiento de las tres cepas son mostradas en la **Figura 6.4**. Las c3lulas de Los Lagos (Q28) y Ays3n (I3 y AC08), mostraron un crecimiento exponencial entre los d3as 18 a 33 aproximadamente. La fase exponencial m3s prolongada correspondi3 a la cepa de Los Lagos (Q28) (**Figura 6.4**). Por otra parte, las tasas de crecimiento entre las regiones de Los Lagos (Q28=0,33 div d3a⁻¹) y Ays3n (I3=0,51 y AC08=0,54 div d3a⁻¹), muestran diferencias significativas (ANOVA, $p<0,05$), en cambio, para cepas de la misma regi3n (Ays3n: I3=0,51 y AC08=0,54), no muestran diferencias significativas en sus tasas de crecimiento (ANOVA, $p>0,05$). La m3xima densidad celular alcanzada por los cultivos tambi3n mostr3 diferencias significativas entre las cepas (ANOVA, $p<0,05$). Los valores para este par3metro fluctuaron entre las 5020 cel mL⁻¹ para la cepa de Quell3n (Q28) y 10640 cel mL⁻¹ para la cepa de Fitz Roy (AC08) (**Tabla 6.3**).

Experimentos de Pastoreo (Grazing).

La **Tabla 6.4**, muestra la composici3n espec3fica y concentraci3n de toxina por c3lula de *A. catenella* (AC08), clon utilizado en los experimentos 1 (Dietas 3nicas) y 2 (Dietas comunidad natural). El perfil de toxinas para *A. catenella* se caracteriz3 por la presencia de gonyaulatoxinas 1-4 (GTX 1-4), con concentraciones entre los 0,34 a 4,68 ng μL^{-1} . No fueron detectadas saxitoxinas (SXT) ni carbamoilsaxitoxinas 1 y 2 (C1, C2).

Experimento 1 - Dietas 3nicas de *A. catenella*.

Los experimentos fueron iniciados con una concentraci3n de alimento promedio de $147,12 \pm 3,02 \mu\text{g C L}^{-1}$, en un tiempo de experimentaci3n igual a 20 h. Se evidenci3 una activa tasa de aclaramiento de ambos cop3podos, pero *C. chilensis* present3 tasas mayores de aclaramiento ($15,6 \pm 0,5$ cop3podo⁻¹ h⁻¹) que *A. tonsa* ($6,0 \pm 0,6$ mL cop3podo⁻¹ h⁻¹) con diferencias significativas entre ambas especies (ANOVA, $p<0,05$; **Figura 6.5**). Por otra parte, se observa un patr3n similar para las tasas de ingest3n, observando una activa predaci3n sobre c3lulas t3xicas de *A. catenella*, con una mayor tasa para *C. chilensis* ($1,7 \pm 0,3 \mu\text{g C cop3podo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), sobre *A. tonsa* ($0,6 \pm 0,1 \mu\text{g C cop3podo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), con diferencias significativas entre las dos especies de cop3podos (ANOVA, $p<0,05$).



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 6.5**), presentaron menores tasas de aclaramiento y de ingestión sobre *A. catenella*, en comparaci3n 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 que las tasas 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 6.6**).

Modelaci3n físico-biol3gica de la distribuci3n y densidad celular de *A. catenella*.

Evaluaci3n de habilidad del modelo hidrodinámico

En general la salinidad del modelo (**Figura 6.7**) en superficie replic3 la tendencia y los pulsos de salinidad, sin embargo, no fue capaz de reproducir el rango de variaci3n de salinidad observado, por lo tanto, el modelo mostr3 una sobreestimaci3n de la salinidad.

La temperatura superficial del modelo (**Figura 6.8**) replic3 los pulsos de altas y bajas temperatura registradas por la boya, sin embargo, el modelo no pudo reproducir el rango de variaci3n de temperatura, donde en la partir de enero el modelo en general subestima la temperatura.

Evoluci3n espacial y temporal del bloom de *A. catenella*

La distribuci3n espacial y temporal de concentraci3n de *A. catenella* para ~3 meses de simulaci3n en los canales de Puyuhuapi y Jacaf a 5m (**Figura 6.9**), present3 en general una tendencia hacia la disminuci3n de concentraci3n.

Los mayores valores se registraron en la parte norte del canal Puyuhuapi con concentraciones promedio de 600 cel L^{-1} , sin embargo, en el Seno Magdalena se ubic3 el máxímo de concentraci3n (1050 cel L^{-1}) para el término de la simulaci3n. En cambio, en el Canal Jacaf no se observaron grandes concentraciones pero sí valores ~20 cel L^{-1} que se extendieron a lo largo de gran parte del canal.

En general el número de células de *A. catenella* dadas por el crecimiento (**Figura 6.10**) disminuyeron con el paso de tiempo de simulaci3n. Donde se registr3 que en el canal Jacaf, el crecimiento fue más homogéneo y menor que lo observado en el canal Puyuhuapi, registrándose un crecimiento promedio de 20 cel L^{-1} por día. En el canal Puyuhuapi el crecimiento fue variable, pero con tendencia a la baja, sin embargo destaca la zona de seno Magdalena, sector que present3 el máxímo crecimiento en comparaci3n con el resto del canal.

Las células de *A. catenella* que son removidas de los canales Puyuhuapi y Jacaf por el proceso de mortalidad en la simulaci3n (**Figura 6.11**), fueron bajas en el canal Jacaf a diferencia de los observado en el canal Puyuhuapi donde el primer mes de simulaci3n en general las células debido a mortalidad



fueron de 1200 cel L⁻¹ día en promedio para ir descendiendo a medida que el paso de tiempo aumentaba.

Evaluación de habilidad del modelo de *A. catenella*

En general los valores promedios de *A. catenella* simulados (**Figura 6.12, 6.13 y 6.14**) fueron mayores a los observados a excepción del mes de febrero donde las concentraciones simuladas fueron menores o igual, donde claramente la tendencia fue a la disminución de concentración a medida que aumenta el paso de tiempo. El modelo replicó mejor la tendencia y valores de las ubicadas en el canal Jacaf a diferencia de lo registrado en Canal Puyuhuapi. Las estaciones ubicadas cercanos a los bordes presentaron cero concentraciones, esto se debe a la propagación de las condiciones de borde las que fueron 0 cel L⁻¹.

5.7. Objetivo Específico 7:

Identificar y evaluar la dinámica espacio temporal en sectores con mayores probabilidades de presentar la forma vegetativa de microalgas nocivas y eventualmente las toxinas marinas en mariscos transvectores en determinados sectores del área de estudio, dando prioridad a las especies del género *Alexandrium*, pero abordando también a otras especies nocivas de dinoflagelados consideradas en el monitoreo (*Dinophysis* y *Protoceratium*).

Alexandrium catenella

Las categorías de probabilidades para esta variable se encuentran representadas en las Figuras 7.1 (presencia ausencia), 7.2 (grupo de abundancia relativa 1-4) y 7.3 (grupo de abundancia relativa 5-9).

De las dos categorías de probabilidades establecidas para las abundancias relativas de *A. catenella*: grupos 1-4 y 5-9, la segunda (Fig. 7.3) es la que presenta la mayor diferenciación regional en la macrozona. El rango de máxima probabilidad que alcanza la categoría de abundancia relativa 5-6 es de 60-80% (círculo amarillo), y ocurre sólo en las estaciones de la región de Aysén centro y sur durante el mes de febrero, rango de probabilidad que perduran hasta el mes de marzo sólo en un par de estaciones del sur de la región.

El resto de la macrozona, como Magallanes, las probabilidades de abundancia relativa para esta categoría solo alcanzan como máximo el rango de 20-40% como máximo y se presentan durante el mes de octubre principalmente, pero extendiéndose al resto de la región desde noviembre a enero. Ya en el mes de febrero, este rango de probabilidades permanece solo en el centro y sur de Magallanes, y perdura hasta el mes de marzo sólo en el sector del canal Beagle.

En la región de Los Lagos, esta categoría también está representada con probabilidad máxima alcanzada en el rango de 20-40% en el mes de octubre y en el lapso de diciembre-marzo.

Es destacable hacer notar que este rango se encuentra ausente en la gran macrozona en los meses de julio, agosto y septiembre.



Para la categoría menor de abundancia relativa, grupo 1-4 (Fig. 7.2), se observa que *A. catenella* se encuentra presente en toda la macro-zona con probabilidades mayores al 60% de los muestreos. Sólo en el mes de julio se observa una disminución de las probabilidades a rangos menores al 60%. Un mayor desglose de este rango de abundancia relativa, es probable que mejore las diferencias entre los sectores de la macro-zona respecto de la presencia de esta especie.

Sería interesante desglosar este grupo en categorías unitarias de abundancia relativa en búsqueda de una mayor diferenciación (inter- e intra-regional) de la dinámica espacio-temporal de esta microalga, entre las estaciones de la macro-zona sur-austral.

Alexandrium ostenfeldii

Las categorías de probabilidades para esta variable se encuentran representadas en las Figuras 7.4 (presencia ausencia), 7.5 (grupo de abundancia relativa 1-4) y 7.6 (grupo de abundancia relativa 5-9).

La categoría de abundancia relativa predominante de esta especie en la macro-zona es de 1-4 en el rango de probabilidades de 60-80% (Fig. 7.5) y se presenta en octubre en el mar interior de Chiloé, sector norte de Aysén y sector de Tortel. Este rango se hace presente en el canal Beagle en el mes de noviembre. Así mismo, el sector de Tortel y norte de Magallanes destacan con este rango en enero y febrero principalmente.

No obstante lo anterior, se observan aumentos en el rango de probabilidades ($\geq 80\%$, círculos naranjos y rojos) en estaciones localizadas: En el sector norte del mar interior de Chiloé en los meses de julio, octubre y diciembre; sector sur de la isla de Chiloé en los meses de abril, junio y agosto. En ambos sectores el número de estaciones con este rango de probabilidades aumenta a 3 en los meses de invierno en relación a 1 estación en los meses restantes.

Otro sector en que aumenta a rangos ($\geq 80\%$) es Tortel, con 1 o 2 estaciones en este rango en los meses de febrero, marzo y octubre.

La microalga no se encuentra presente al sur del canal Puyuhuapi para el periodo estudiado en la región de Aysén (Fig. 7.4), ni en el sector del Estrecho de Magallanes en la región del mismo nombre.

La categoría de abundancia relativa de 5-9 (Fig. 7.6) para la macro-zona no se encuentra presente para esta especie.

Veneno Paralizante de los Mariscos

Las categorías de probabilidades para esta variable se encuentran representadas en las Figuras 7.7 (presencia ausencia), 7.8 (grupo 30-40 μg STX eq. 100 g^{-1} de carne de marisco) y 7.9 (>80 μg STX eq. 100 g^{-1} de carne de marisco).

El rango de probabilidades para la categoría >80 μg STX eq. 100 g^{-1} de carne de marisco (Fig. 7.9), es mayor al 60% de los muestreos en la región de Aysén para los meses entre enero y julio. Entre



agosto y diciembre, las probabilidades para esta categoría caen a menos del 40 % en la mayor parte de la región. La excepción la constituye una estación oceanográfica del sector de Melinka (A03, Pto. Barrientos) que permanece con probabilidad mayor al 60% de estar por sobre el límite normativo hasta el mes de octubre. Condición similar ocurre con otras dos estaciones (A36, grupo Enjambre, y A38N1, I. Jesús) que presentan altas probabilidades de toxicidad por sobre el permisible durante el mes de septiembre.

En el caso de la región de Magallanes, probabilidades mayor al 60% de encontrar toxicidades por sobre el nivel normativo ocurren entre octubre y abril para el sector norte de la región, sector en el que se encuentra el núcleo tóxico de Ultima Esperanza (estaciones M16-20, [Guzmán et al., 2002](#); [Muzio et al., 2012](#)). El sector centro se caracteriza por presentar este rango de probabilidad, la estación San Isidro (M35) entre los meses de enero a junio, con saltos esporádicos en agosto y octubre. También esta estación constituye el punto central del núcleo tóxico del área centro de la región. El sector de canal Beagle nunca llega a estos % tan altos. El máximo rango es de 40-60% y ocurre entre febrero y abril.

La categoría de toxicidad 30-40 $\mu\text{g STX eq. } 100 \text{ g}^{-1}$ de carne de marisco (Fig. 7.8), que representa las estaciones con mariscos positivos a la detección VPM por bioensayo ratón, comienza a ser característica a partir de noviembre en la región de Aysén, cuando aumenta la frecuencia del rango de probabilidades mayor al 60%. Tal situación está presente hasta el mes de enero. En febrero disminuye el rango de probabilidades a menos del 40 % de las estaciones. Hay un leve repunte en junio en la frecuencia del rango > 60% en el sector de Melinka en el mes de junio el que se propaga hacia el sur hasta septiembre.

En el caso de la región de Magallanes, la probabilidad >60% de encontrar VPM positivo en los mariscos es en febrero en el sector del extremo norte (al norte del núcleo tóxico de Ultima Esperanza). La frecuencia de este rango declina progresivamente hasta junio. En agosto y septiembre se observa un leve repunte en la frecuencia de este rango, especialmente en las estaciones del núcleo de Ultima Esperanza.

Tanto el área centro como el área sur de Magallanes, esta categoría es importante en el rango de 60-80% entre septiembre y diciembre, pero en estaciones muy localizadas.

Se destacan sectores donde el VPM en mariscos sólo se hace presente en ciertos periodos (Fig. 7.7): Al sur de la región de Los Lagos es entre octubre y mayo, en el sector Tortel es entre octubre y diciembre, y en I. Engelfield se encuentra ausente durante todo el año.

Dinophysis acuminata

Las categorías de probabilidades para esta variable se encuentran representadas en las Figuras 7.10 (presencia ausencia), 7.11 (grupo de abundancia relativa 1-4) y 7.12 (grupo de abundancia relativa 5-9).



La categoría de abundancia relativa predominante de esta especie en la macro-zona es de 1-4 en el rango de probabilidades $\geq 60\%$ (Fig. 7.11) y cubre toda la macro-zona sur-austral desde octubre a marzo. Desde marzo a junio, esta categoría y rangos de probabilidad cubren desde la región de Los Lagos hasta el área norte de Magallanes. Durante el resto de los meses del año, *i.e.* desde julio a septiembre, esta cobertura solo comprende las regiones de Los Lagos y Aysén, incluido el sector de Tortel.

La región de Magallanes presenta una mayor diferenciación de rangos de probabilidad respecto de esta categoría. Entre abril y septiembre, en el área centro y sur de la región predominan los rangos $<60\%$. En el caso del área norte, durante el mes de agosto se observa un aumento del rango de probabilidades $\geq 60\%$. Este rango perdura hasta febrero en un sector más restringido del área norte, conocido por las estaciones que conforman el núcleo tóxico (M16-M20). Es destacable hacer notar, que la estación Engelfield (M29N1) del área centro de Magallanes es la única que permanece con rangos de probabilidad mayor al 60% de encontrar *D. acuminata* durante todo el año, no obstante que esta estación solo es monitoreada desde 2010 y no desde 2006 como el resto de las estaciones.

Esta microalga se caracteriza por ser bastante persistente en la macro-zona durante los diferentes meses del año (Fig. 7.10), no obstante que las abundancias relativas superiores a 5, solo comprenden rangos de probabilidad bajo el $<20\%$ de ser encontradas (Fig. 7.12).

Dinophysis acuta

Las categorías de probabilidades para esta variable se encuentran representadas en las Figuras 7.13 (presencia ausencia), 7.14 (grupo de abundancia relativa 1-4) y 7.15 (grupo de abundancia relativa 5-9).

Esta microalga se caracteriza por ser persistente durante el año en la región Aysén (Fig. 7.13), donde predomina la categoría de abundancia relativa 1-4 (Fig. 7.14) con rangos de probabilidad $\geq 60\%$ de ser encontrada en un gran número de estaciones, entre noviembre y mayo. El número de estaciones con este rango de probabilidad de hallazgo de esta especie disminuye ostensiblemente entre los meses de junio y octubre para esta región.

En la región de Magallanes, las estaciones con mayor probabilidad de encontrar *D. acuta* en rangos mayores a 60% de la categoría 1-4, es el área norte, entre los meses de febrero y abril. En el sector centro y sur de la región es muy esporádica y con probabilidades $<40\%$ de ser encontrada y en los meses de octubre, noviembre y enero.

En la región de Los Lagos es posible encontrarla en esta categoría de abundancia relativa durante todo el año en diversos sectores de la región aunque con predominancia en el sector sur de Chiloé, siempre con rangos bajos de probabilidad, $< 40\%$

La categoría de abundancia relativa 5-9 (Fig. 7.15) solo se presenta en la región de Aysén y en un par de estaciones del área norte de Magallanes, aunque siempre con probabilidades $<40\%$. Estas probabilidades se encuentran en un mayor número de estaciones de Aysén entre los meses de



noviembre y abril, y con mayor frecuencia en el sector de los canales Jacaf y Puyuhuapi. La presencia de la microalga en dos a tres estaciones del área norte de Magallanes ocurre en el mes de abril y junio.

Protoceratium reticulatum

Las categorías de probabilidades para esta variable se encuentran representadas en las Figuras 7.16 (presencia ausencia), 7.17 (grupo de abundancia relativa 1-4) y 7.18 (grupo de abundancia relativa 5-9).

La categoría predominante de abundancia relativa en la macro-zona es la 1-4 (Fig. 7.17) y se presenta en la región de Aysén con gran número de estaciones con probabilidades $\geq 60\%$ de encontrar esta especie entre los meses de noviembre y mayo. No obstante, esta especie está presente durante todo el año (Fig. 7.16) en la región incluido el sector de Tortel, salvo las estaciones del sur de Aysén en el mes de octubre.

En la región de Los Lagos, suele presentarse esta categoría (Fig. 7.17) durante todo el año en el sector norte de la región aunque con rangos de probabilidad bajos, $<40\%$.

En el caso de la región de Magallanes, la especie se encuentra presente en no más de 8 estaciones solo en el mes de diciembre y en un rango de probabilidad $<80\%$. No obstante, cabe destacar que la estación I. Engelfield (M28N1) presenta alguna probabilidad de encontrar la microalga durante todo el año: $\geq 60\%$ durante enero y febrero, y con probabilidades $<60\%$ el resto del año.

La categoría de abundancia relativa 5-6 está presente en la región de Aysén (Fig. 7.18), con rangos de probabilidad altos de encontrar a las especies, $\geq 60\%$, en el mes de febrero en estaciones del sector centro-sur de la región. El rango de probabilidad disminuye a $<60\%$ así como el número de estaciones en los meses de noviembre a enero, marzo-abril, y junio. El resto de los meses esta categoría de abundancia relativa no está presente en la región.

La región de Los Lagos también presenta esta categoría de abundancia relativa solo en el sector norte, aunque con probabilidades bajas, $<40\%$, entre los meses de diciembre y abril.

La región de Magallanes no presenta esta categoría de abundancia relativa.

Toxinas Lipofílicas

La categoría de probabilidades (presencia ausencia, o positivo negativo al VDM por bioensayo de ratón) para esta variable con las escalas de rangos de: muy alta, 0.76-1.00; alta, 0.51-0.75; media 0.25-0.50; baja: <0.25), es representada en la Figura 7.19.

La región de Aysén presenta un mayor número de estaciones con rangos de VDM alto y muy alto entre los meses de octubre y mayo, predominando los rangos medio y bajo durante el resto de los meses, con algunas estaciones con ausencia de toxina entre los meses de abril a septiembre.



En la región de Los Lagos predominan los rangos medio y bajo entre septiembre y mayo. La toxina solo se ausenta en el mes de julio en la región, salvo el sector de Reloncaví que permanece tóxico durante todo el año. Algunas estaciones del sector norte, alcanzan sus rangos de probabilidad a alto y muy alto entre octubre y diciembre, lo mismo que algunas estaciones puntuales del mismo sector, en los meses de febrero, abril, mayo y junio.

En el caso de la región de Magallanes, los rangos alto y muy alto se presentan en sector norte y centro en los meses de enero, abarcando hasta el sector sur en el mes de abril. Entre mayo y agosto los rangos bajan a: medio, bajo y ausente. A partir de septiembre y hasta diciembre los rangos aumentan nuevamente a alto y super alto en toda la región.

5.8. Objetivo Específico 8:

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 biológicas y abióticas disponibles.

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

Se presenta una visión general del comportamiento estacional para los datos puntuales de toda la serie de tiempo en el periodo comprendido entre marzo 2013 y febrero 2017 con un total de 124 muestras referidas a la abundancia relativa (AR) de las diferentes especies nocivas, fitoplancton total y datos oceanográficos (DO) para cada una de las 23 estaciones de monitoreo de los dos sub-programas de alta frecuencia.

Configuraciones espacio-temporales de variables ambientales

Al igual que en el informe anterior se realizó un análisis de conglomerados utilizando la distancia euclidiana como índice de similitud tomando un nivel del 5% sobre las variables ambientales seleccionadas para cada una de las 23 estaciones, con el fin de definir los grupos de estaciones con rasgos ambientales similares y ver si existen variaciones con el análisis realizado anteriormente. El corte más ajustado permitió definir solo 3 grupos de estaciones, los cuáles se muestran en la **Figura 8.1** 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 8.2**). 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-varían 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 8.4**. 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.

Configuraciones espacio-temporales de diatomeas y dinoflagelados

La **Figura 8.5** muestra el análisis de conglomerados (CLUSTER) y su distribución para el promedio mensual de diatomeas en términos de abundancia (cel ml^{-1}) para el periodo comprendido entre febrero del 2013 a marzo del 2017. Se puede apreciar la formación de 10 grupos de los cuales los que concentraron la mayoría de las estaciones (4 cada uno) se encuentran en la zona de Quellón, y el extremo sur de la Isla de Chiloé (triángulos azules, rombos, **Figura 8.6**) siendo este también el grupo con un menor porcentaje de similitud (84,2%). 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 E (cruz gris, **Figura 8.6**) y el grupo F (círculos celestes) ubicados en la zona de Canal Moraleda e I. Ovalada con porcentajes de similitud de 91,63 y 90,1 % respectivamente. 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 8.7**) 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. En cuanto a las especies que más aportan a la similitud de los grupos podemos mencionar *Skeletonema* spp. *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros radicans* y *Leptoculindrus minimus*.

El análisis de conglomerados para los dinoflagelados **Figura 8.8** nos entregó la conformación de 7 grupos, dos de los cuales agrupan la mayor parte de las estaciones de muestreo, el grupo D reúne 8 estaciones (triángulos rojos **Figura 8.9**) de las zonas de Quellón y todo el Sur de Chiloé con un porcentaje de similitud entre estaciones del 79,21%. El grupo G, reúne 6 estaciones las cuales se encuentran íntegramente en la región de Aysén en los sectores de Melinka, Canal Moraleda, I. Ovalada con un porcentaje de similitud entre estaciones de 79,3% (grupo C, cuadrados verdes, **Figura 8.9**). Dos grupos conformados con dos estaciones cada uno son los que presentan el mayor porcentaje de similitud, ubicados en el sector del Estero Pitipalena (grupo C, cruz gris, **Figura 8.9**), con un porcentaje de similitud de 95,41% y otro ubicado en la zona de I. Ovalada con un porcentaje de similitud del 88,3% y grupo F. La estación A06 no se agrupa y segrega de forma independiente al igual que la A07 ambas ubicadas en la zona de Raúl Marín Balmaceda. La representación MDS (**Figura 8.10**) nos muestra una marcada separación entre los tres sectores. En cuanto a las especies que más aportan a la similitud de los grupos podemos mencionar *Scropsiella* spp. *Gyrodinium* spp. y *Heterocapsa triqueta*. No se observan especies nocivas entre los dinoflagelados que mas aportan a la similitud de los grupos.

Configuraciones espacio-temporales de dinoflagelados nocivos

La **Figura 8.11** 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 8 grupos de los cuales el que concentró la mayoría de las estaciones (6) se encuentra en la zona de estero Pitipalena (grupo A, asteriscos rosados, **Figura 8.12**) siendo este también el grupo con un menor porcentaje de similitud (65,33%). El grupo H reunió a estaciones ubicadas en la parte sur de Chiloé (triángulos rojos, **Figura 8.12**) y es el segundo en cuanto a cantidad estaciones (5) con un porcentaje de similitud entre ellas de 74,09%. 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 D (círculos celestes, **Figura 8.12**) y el grupo E (cruz verde) ubicados en la zona de Melinka e I. Ovalada con porcentajes de similitud de 78,65 y 85,44 % respectivamente. Los otros grupos están ubicados en la parte sur de la isla de Chiloé, Golfo de Corcovado y Canal Moraleda con porcentajes de similitud entre 78,59 y 81,22%. 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 8.13**)



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.

En el caso de *A. ostenfeldii* el análisis de conglomerados (**Figura 8.14**) nos muestra la conformación de 10 grupos distribuidos en varios grupos pequeños de no más de tres estaciones, así podemos diferenciar grupos de tres estaciones en la zona de Quellón (grupos H, triángulos azules, grupo G rombos rosados **Figura 8.15**) con porcentajes de similitud de 85,82 y 85,28%. Luego se observan varios grupos pequeños de dos estaciones que reúne estaciones del sur de Chiloé, Golfo del Corcovado, Canal Moraleda, Melinka e I. Ovalada. Dos grupos pequeños se forman al interior del estero Pitipalena (grupo C, triángulos naranjos, **Figura 8.15**) con un porcentaje de similitud 87,32% y Grupo A (88,89%) de 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 8.16**) 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.

El análisis de conglomerados para *D. acuminata* (**Figura 8.17**) nos entrega la conformación de 12 grupos, dos de los cuales agrupan la mayor parte de las estaciones de muestreo, donde la mayoría de los grupos formados presentan solo dos estaciones. El grupo D reúne 3 estaciones (triángulos azules **Figura 8.18**) de las zonas de Quellón con un porcentaje de similitud entre estaciones del 92,15%. Mientras se observa diferentes grupos en la zona de I. San Pedro (similitud 90,91%). Los demás grupos están distribuidos en las diferentes zonas y presentan el mismo patrón de los anteriores análisis. Grupos de dos estaciones en la zona de Golfo del Corcovado (grupo E, cuadrados verdes), Melinka (grupo M, cruz verde) Canal Moraleda (asteriscos rosados), Sur de Chiloé (grupo I, triángulos naranjos) e I. Ovalada Chiloé (grupo B, rombos rosados). Al igual que con *A. ostenfeldii*, la estación A06 no se agrupa y segrega de forma independiente. La representación MDS (**Figura 8.19**) 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 mientras que las estaciones ubicadas en la zona del Gofo del Corcovado y Canal Moraleda se agrupan por separado del resto de las otras estaciones.



D. acuta presenta la conformación de 9 grupos (**Figura 8.20**) con porcentajes de similitud entre estaciones bajas en comparación con los dinoflagelados analizados anteriormente. Un gran grupo de 7 estaciones que reunió a todas las estaciones ubicadas en zona de Quellón y Golfo del Corcovado (grupo A, triángulos azules, **Figura 8.21**) con un porcentaje de similitud entre estaciones de 37,88%, mientras que con un 41,70% le sigue el grupo i (4 estaciones) distribuidas en zona sur de Chiloé (triángulos rojos, **Figura 8.21**). El resto son pequeños grupos de dos estaciones distribuidos en la zona del Canal Moraleda (Grupo H, círculos celestes), Boca del estero Pitipalena (Grupo B, triángulos naranjos). 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 zona del Sur de Chiloé que se separan del resto de las dos regiones (**Figura 8.22**).

Por último, el análisis de conglomerados para la especie *P. reticulatum* (**Figura 8.23**), nos muestra la formación de 8 grupos, siendo el grupo C el con mayor similitud entre estaciones (rombos rosados, **Figura 8.24**) con un 82,51% ubicado en la zona de Melinka, lo sigue el grupo D (80,71% de similitud) ubicado en la zona de I. Ovalada (cruz gris, **Figura 8.24**), luego está el grupo F, ubicado en la zona de la Boca del estero Pitipalena (asteriscos rosados, **Figura 8.24**) con un 79,07%. 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 congregando 7 estaciones con un porcentaje de similitud de 53,59% (grupo H, triángulos rojos, **Figura 8.24**) y por último el grupo B (agrupa 4 estaciones) con un 66,56% ubicado en la zona del interior del Estero Pitipalena. El análisis MDS (**Figura 8.25**) nos muestra como las estaciones que se encuentran en la zona de Chiloé y Golfo de Corcovado tienden a agruparse, separadas de las estaciones ubicadas en Aysén en las zonas de Melinka, I. Ovalada y Canal Moraleda las cuales se agrupan además con las estaciones del Estero Pitipalena.

Caracterización general de la abundancia relativa de especies nocivas de las series temporales correspondientes al Subprogramas Vigilancia y Fiscalización y Raúl Marín Balmaceda

Se realizó un análisis a las series temporales completas (124 muestreos) comprendidas entre el periodo de febrero 2013 a Marzo de 2017 para los datos de abundancia relativa de 2 dinoflagelados nocivos (*A. catenella*, *D. acuminata*). Este análisis se realiza principalmente para ver la evolución en cuanto a los niveles de AR de los diferentes dinoflagelados nocivos en los diferentes sectores que comprenden ambos sub-programas, Así se presentan los datos agrupados en tres diferentes zonas: Sur de Chiloé, Norte de Aysén y Estero Pitipalena.



En las **Figuras 8.26, 8.27 y 8.28** se observa la variación de la abundancia relativa de *A. catenella* en la que se observa un tipo de régimen estacional muy marcado en la zona norte de Aysén y en menor medida para la zona del sur de Aysén, se observa claramente la gran floración del verano y otoño del 2016, la cual se observa con mayor claridad en la zona del sur de Chiloé debido a los niveles inusuales alcanzados para esa zona además de la duración de esta. Caso distinto es lo que sucede en el sector del Estero Pitipalena el cual presenta 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 al igual que en diciembre del 2016 y enero del 2017.

D. acuminata también presentó un régimen estacional, aunque menos marcado que el caso de *A. catenella*. Esta estacionalidad se puede ver con mayor claridad en la zona norte de Aysén mientras que no es tan clara en las zonas del sur de Chiloé y estero Pitipalena los cuales se pueden observar con valores máximos en los periodos de primavera-verano que alcanzan hasta nivel 9 e incluso superando la escala. Por otro lado, se debe mencionar que nunca presenta valores 0 estando presente durante todo el año en las tres zonas (**Figuras 8.29, 8.30, 8.31**).

Reportes periódicos de estado de floraciones de *A. catenella*.

Con el fin de entregar información rápida y oportuna para la toma de decisiones por parte de la autoridad, se diseñó un reporte que informa sobre el estado de la abundancia relativa del dinoflagelado *A. catenella* el cual se envía directamente a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y otros estamentos como el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y la SEREMI de Salud de la región de Los Lagos. Este reporte se entrega con una periodicidad de aproximadamente 15 días, y en el cual se suministra información sobre el nivel de abundancia relativa del dinoflagelado, datos oceanográficos como temperatura, salinidad y clorofila, imágenes satelitales de clorofila y principales especies que componen en ensamble fitoplanctónico durante el periodo de muestreo, esto se complementa con una modelación de dispersión de partículas con una proyección a 10 días cuando la abundancia relativa de la microalga supera el nivel 5. La finalidad de este reporte es dar una alerta temprana sobre el estado de *A. catenella* a través de un semáforo de alerta el cual cuenta con cuatro niveles, los cuales varían dependiendo de los niveles de abundancia que presente la microalga. Estos niveles de alerta son los siguientes:

- Situación Normal (semáforo Verde)
- Precaución Moderada (semáforo Amarillo)
- Alerta Temprana (semáforo Naranja)
- Situación de Riesgo (semáforo Rojo).

ESTADO DE LA ABUNDANCIA RELATIVA PARA *Alexandrium catenella*

Periodo 21 – 26 de abril 2017

Para el último crucero la AR la mayoría de las estaciones de muestreo ubicadas en el sector sur de Chiloé no superan el nivel 2 (escaso), con excepción de dos estaciones ubicadas en Golfo del Corcovado (nivel 3 y 4) aumentando levemente la ocurrencia espacial en la zona con respecto al crucero anterior. Por otra parte, en la zona norte de Aysén los niveles de AR aumentaron en la mayoría de las estaciones, presentando cuatro estaciones nivel 5 (muy abundante) y dos con nivel 6 (extremadamente abundante). El sector de Raúl Marín Balmaceda también presenta un fuerte aumento en la AR con tres de sus estaciones con nivel abundante (4), y tres estaciones con nivel sobre 5 (muy abundante), llegando a nivel 8 (ultra abundante) en la zona de Laja-Brazo Pillán. Debido al aumento en los niveles de AR en las zonas de Raúl Marín Balmaceda y Norte de Aysén, se mantiene el nivel de **ALERTA TEMPRANA** del reporte anterior. Lo anterior se apoya en la simulación realizada que sustenta una dispersión hacia el sur y el oeste, conducida principalmente por vientos.

Niveles de Alerta
indicados por el cuadro

- Situación Normal
- Precaución Moderada
- Alerta Temprana
- Situación de Riesgo

Fitoplancton nocivo para peces

La salmonicultura, actividad acuícola que se viene desarrollando por tres décadas en la zona de fiordos, es uno de los principales sectores productivos afectados recurrentemente por fenómenos FAN, causando importantes pérdidas económicas en Chile. Esta zona también es un área rica en productividad primaria, ya que se observan incrementos relevantes de células del fitoplancton durante primavera-verano. Esto conlleva a recurrentes floraciones de fitoplancton, la mayoría inocuas, pero algunas con un marcado carácter tóxico provocando elevadas mortalidades de diferentes organismos marinos, desde los microscópicos que forman parte del zooplancton (copépodos) hasta mamíferos como lobos de mar y Ballenas (Durbin *et al.*, 2002).

Los primeros registros en Chile de mortalidades de peces de cultivo asociados a eventos FAN fueron registrados en 1983 (Lembeye y Campodonico 1984; Clément 1988). Durante esa floración se detectó la especie *Heterosigma akashiwo* perteneciente a la clase de las Rafidoficeas (fitoflagelados), la que provocó una intensa “marea café” y una posterior mortandad de más de 2000 ton de salmones de cultivo en el mar interior de la X región (Fuica *et al.*, 2008). Estos fitoflagelados se han seguido registrando principalmente en la zona de la Región de Los Lagos, y pueden causar mortalidades en peces de cultivo a muy bajas concentraciones celulares (< 100 céls/mL).

Existen otras microalgas que a pesar de no ser ictiotóxicas, si presentan un carácter nocivo para peces, debido básicamente a su morfología. Dentro del grupo de microalgas que han producido mortalidades de salmones en la zona sur de Chile, se destacan las diatomeas *Leptocylindrus danicus*, *Leptocylindrus minimus* (Clément, 1994) y *Rhizosolenia setigera*; y el silicoflagelado *Dictyocha speculum*. Este tipo de microalgas posee una morfología caracterizada por frústulas en forma de agujas (*Leptocylindrus* y *Rhizosolenia*) o en forma de estrellas punteagudas (*Dictyocha*) que irrita y daña las células epiteliales de las branquias de los peces, provocando sobreproducción de mucus en la zona branquial, y una subsecuente muerte de los peces en cultivo por asfixia.

Otra causa de muerte de peces tanto en cautiverio como de ambiente natural producto de microalgas, se produce cuando existen intensas floraciones que alcanzan elevadas biomásas, las cuales pueden ser de especies tóxicas y/o nocivas, como también de especies inocuas. En la fase terminal de estas floraciones, se produce lisis celular, lo que genera disminución de las concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD) en la columna de agua a valores por debajo de los 3 mg/L, provocando muerte por asfixia.



La tabla 8.1 muestra especies de microalgas nocivas para el cultivo de salmónidos que son regularmente detectadas en el sur de Chile. El programa de monitoreo de fitoplancton del IFOP utiliza una metodología de fijación de muestras que consiste en la aplicación de formalina. Esta técnica permite una clara visualización de la microestructura de los frustulos (en diatomeas) o tecas (en dinoflagelados) por largos periodos de tiempo, resultando más efectiva en este aspecto que las soluciones iodadas. Sin embargo, las rafidoficeas (e.j. *H. akashiwo*) y algunas especies de dictiofitas (e.j. *Pseudochattonella* spp.) que son altamente tóxicas para peces, no resisten la aplicación de fijadores y/o preservantes de muestras por lo que no pueden ser detectadas y cuantificadas para un posterior análisis espacio-temporal de su distribución.

Análisis espacio-temporal de especies nocivas para peces

La figura 8.32 muestra patrones espaciales de detección de especies nocivas en las 3 regiones monitoreadas (234 estaciones). Las diatomeas *C. convolutus*, *L. danicus*, *L. minimus*, *R. setigera*, *R. pungens* y el silicoflagelado *D. speculum*, han sido detectadas prácticamente en toda la zona de muestreo. Por otra parte, la diatomea *E. zodiacus* se detecta mayoritariamente en las regiones de Los Lagos y Aysén; y la diatomea *R. styliformis* solo en la región de Los Lagos, lo que sugiere un patrón de desplazamiento de estas especies con vector norte-sur de la zona de muestreo.

A continuación se presenta un análisis espacio-temporal de distribución de especies nocivas y su relación con variables abióticas de la columna de agua.

Chaetoceros convolutus

Esta especie presenta una alta variabilidad espacial en la zona de estudio. En la región de Magallanes, *C. convolutus* puede alcanzar niveles nocivos para salmones (>5.000 céls/L) casi todo el año. En las regiones de Los Lagos y Aysén los niveles nocivos se detectan principalmente en los meses de primavera-verano (Figura 8.33). En relación a la estratificación de la columna de agua, las mayores concentraciones celulares de *C. convolutus* están asociadas a columnas de agua inestables. En la región de los Lagos y Aysén la frecuencia de detección de esta especie se extiende desde aguas altamente mezcladas a altamente estratificadas (max. σ_{17} salinidad 0-10m) (Figuras 8.34A y 8.35A). En la región de Magallanes su detección se restringe a aguas de baja estratificación (Figura 8.36A). Modelos GLMs indican que las variables explicativas temperatura, salinidad, estabilidad de la columna de agua, latitud y longitud, no explican significativamente su distribución y abundancia (Tabla 8.2). Probablemente factores nutricionales contribuyan de mayor manera a su presencia.

Eucampia zodiacus

La distribución y abundancia de esta especie es altamente heterogénea en la zona de muestreo. La mayor abundancia y frecuencia de ocurrencia se detecta en la región de Aysén (Figura 8.33), principalmente en masas de agua mezcladas (Figura 8.35B). En esta región concentraciones celulares nocivas para peces pueden ser detectadas durante todo el año, excepto en los meses de invierno. En la región de Los Lagos se detectan altas concentraciones tanto en masas de agua mezcladas como también estratificadas (Figura 8.34B). En la región de Magallanes *E. zodiacus* es escasamente detectada (Figura 8.36B). Modelos GLM muestran estas diferencias en la distribución con un alto factor



de significancia a las variables latitud y longitud, probablemente debido a una baja adaptabilidad de esta especie a bajas temperaturas (Tabla 8.2, GLM ~ *Temperatura* $p < 2e^{-10}$).

Leptocylindrus danicus

Esta especie muestra un gradiente de concentración entre regiones que aumenta con un vector norte-sur (Figura 8.33). La probabilidad de alcanzar concentraciones nocivas para peces es alta principalmente en los meses de primavera-verano. En las regiones de Los Lagos (8.34C) y Magallanes (8.36C), altas concentraciones celulares se restringen principalmente a masas de agua bien mezcladas, mientras que en la región de Aysén esta especie puede presentar altas agregaciones asociadas a masas de agua altamente estratificadas (max. σ_{15} salinidad 0-10m). Modelos GLM muestran que la distribución y abundancia de esta especie está significativamente afectada por los factores explicativos latitud, longitud, salinidad y temperatura de la columna de agua (Tabla 8.2).

Leptocylindrus minimus

Esta especie presenta una heterogénea distribución en la zona de estudio. Las mayores concentraciones celulares se detectan en la región de Magallanes, alcanzando una alta probabilidad de niveles nocivos para peces a fines de primavera (Figura 8.33). En la región de Los Lagos (Figura 8.34D) y Magallanes (Figura 8.36D) las mayores concentraciones celulares están asociadas a una columna de agua altamente mezclada, mientras que en la región de Aysén altas abundancias pueden igualmente ser detectadas en columnas de agua estratificadas (Figura 8.35D). Modelos GLM indican que la longitud y la salinidad son factores que afectan significativamente la distribución y abundancia de esta especie (Tabla 8.2). El ingreso de ácido silícico mediante la gradiente Este-Oeste puede ser un importante factor que modula el crecimiento de esta especie de pequeño tamaño celular.

Rhizosolenia setigera

La distribución de *R. setigera* presenta una alta heterogeneidad espacial con mayores abundancias en las regiones de Aysén y Los Lagos, respectivamente (Figura 8.33). La probabilidad de alcanzar concentraciones nocivas para peces es alta principalmente en los meses de verano. En la región de Los Lagos se pueden detectar altas concentraciones celulares en columnas de agua bien mezcladas como así también en columnas de agua altamente estratificadas en salinidad y temperatura (Figura 8.34E). En la región de Aysén alcanza altas concentraciones tanto en ambientes mezclados como estratificados (Figura 8.35E). Los modelos GLM muestran que los factores explicativos latitud y temperatura son significativos para explicar la abundancia y distribución de la especie (Tabla 8.2). Es posible que entre otras variables, *E. zodiacus* presente limitaciones para su crecimiento vegetativo en la región de Magallanes debido a las bajas temperaturas del agua.

Rhizosolenia pungens

R. pungens se presenta de manera muy escasa en el programa de monitoreo, probablemente debido a su estrecha similitud con *R. setigera* lo que produce una sub-estimación de esta especie al ser incluida en el monitoreo de *R. setigera*. Las mayores concentraciones de *R. pungens* han sido detectadas a fines de primavera y en los meses de verano (Figura 8.33), lo que sugiere que no necesita



mayormente de grandes aportes de ácido silícico para su crecimiento. Tanto en Los Lagos como en Magallanes las mayores abundancias se asocian a columnas de agua más bien mezcladas (Figuras 8.34F y 8.36F) y en Aysén a ambas condiciones de mezcla y estratificación (Figura 8.35F). Modelos GLM indican la salinidad como un factor explicativo de su distribución y abundancia (Tabla 8.2).

Rhizosolenia styliformis

R. styliformis presenta alta variabilidad espacial. Las mayores concentraciones celulares han sido detectadas en las regiones de Los Lagos y Aysén, respectivamente (Figura 8.33). La probabilidad de alcanzar concentraciones nocivas para peces se incrementa principalmente en los meses de verano. Esta especie se presenta como una especie estenotérmica y estenohalina en toda la zona de monitoreo y principalmente asociada a columnas de agua mezcladas (Figuras 8.34G, 8.35G y 8.36G). Al igual que *E. zodiacus*, *R. styliformis* se encuentra escasamente en la región de Magallanes, siendo potencialmente la temperatura y factor clave que determina su distribución y abundancia (Tabla 8.2, GLM $\sim$ temperatura/latitud $p < 0.05$).

Dictyocha speculum

D. speculum es una especie que presenta una alta frecuencia de detección en la zona de monitoreo. Su abundancia decrece con un vector Norte-Sur alcanzando valores nocivos principalmente en Noviembre (Figura 8.33). En la región de Los Lagos las mayores abundancias han estado asociadas a columnas de agua estratificadas (Figura 8.34H), mientras que en Aysén y Magallanes en aguas más bien mezcladas (Figuras 8.35H y 8.36H). Modelos GLM muestran la estratificación salina como un factor significativo en la distribución y abundancia de la especie (Tabla 8.2, GLM $\sim$ latitud/longitud/σsalinidad 0-10m $p < 0.05$).

Distribución de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*: identificación espacio - temporal de eventos de floración.

Para conocer como es la distribución estacional de *Alexandrium catenella* en las tres regiones de monitoreo (Los Lagos, Aysén y Magallanes), se construyeron tres matrices (una para cada región) con la AR de cada una de las fechas de muestreo del periodo de estudio entre mayo de 2006 y febrero de 2017 (123 puntos).

Región de los Lagos:

A partir de los análisis de clúster derivados de esta matriz, se pudo apreciar la conformación de 18 grupos estacionales (Figura 8.37) con un porcentaje promedio de similitud mayor a 70%. De los 18 grupos segregados, 8 grupos segregaron de forma independiente. Al combinar el dendrograma resultante con el mapa de calor (Figura 8.38), se observó que los grupos segregados se forman a partir de un patrón de presencia y nivel de AR, seleccionando las estaciones que históricamente mostraron más registros de AR y con niveles más altos. De esta figura se observó una clara variabilidad temporal, donde los valores mayores estuvieron asociados al evento registrado durante el



2016. El análisis SIMPER realizado a la misma matriz nos permitió identificar los registros de la AR históricos que contribuyen a la similitud del grupo, de este análisis se seleccionaron los grupos de estaciones que en promedio presentaron valores de $AR > 5$. A partir de este criterio se seleccionaron los grupos J (estaciones L16N1, L19, L19N1 y L20N1), L (estaciones L16, L17N2, L19N3, L19N4, L25 y L25N1), K (estaciones L19N2, L20, L22, L22N1, L22N2, L22N3, L23N1, L23N2, L24 y L24N1) y el grupo J (estaciones L18 y L18N2). Como característica general, estos grupos presentaron valores máximos de AR asociados al evento de floración del verano de 2016 (**Figura 8.39**), sin embargo, en términos de promedio se observaron claras diferencias en la magnitud de la AR, donde el grupo de estaciones que alcanzó los mayores valores promedio fue el grupo K, que además fue el que agrupó el mayor número de estaciones. Este grupo K se ubica en el extremo sur de Chiloé (**Figura 8.40**) y se pudo observar que además presentó valores de AR altos (AR promedio mayor a 5) durante el verano de 2007 y diciembre de 2017, puntualmente se observa que durante el evento del 2009 algunas estaciones sobrepasaron el nivel 5 de AR. Para los grupos L e I, ubicados en las cercanías de Quellón, se registraron valores exclusivamente altos asociados al evento del verano de 2016. Para los grupos de estaciones ubicadas al norte de Isla Acui (L16) se registraron valores promedios bajos de AR.

Región de Aysén:

A partir de los análisis de clúster derivados de esta matriz, se pudo apreciar la conformación de 31 grupos estaciones (**Figura 8.41**) con un porcentaje promedio de similitud mayor a 70%. El alto número de grupos segregados da cuenta de la alta variabilidad en esta región. De los 31 grupos segregados, 9 grupos segregaron de forma independiente. Al combinar el dendrograma resultante con el mapa de calor (**Figura 8.42**), se observó un patrón temporal marcado por momentos donde se registran altos valores de AR, asociados principalmente a los veranos, con bajos niveles durante los inviernos. Llama la atención el incremento aparente de la AR desde el inicio del monitoreo, donde las estaciones nuevas aportan información relevante cuando se analiza la cobertura geográfica que alcanzan eventos donde la AR es mayor a 5. De esta figura se desprende que durante el evento del verano del 2016 cerca de un 90% de las estaciones presentaron valores mayores a 5. El análisis SIMPER realizado a la misma matriz nos permitió identificar los registros de la AR históricos que contribuyen a la similitud del grupo, de este análisis se seleccionaron los grupos de estaciones que en promedio presentaron valores de $AR > 5$. Para facilitar la interpretación de los datos, se separaron las estaciones segregadas en dos figuras. La **Figura 8.43**, que muestra aquellos grupos segregados conformados por sólo dos o tres estaciones de monitoreo. Este es el caso de los grupos U (estaciones A02 y A04), V (estaciones A05, A05N), Q (estaciones A09 y A10) y el grupo AB (estaciones A43, A48, A48N1). Una característica particular observada para estos grupos, es que los niveles altos de AR (promedio cercano a 8) fueron registrados en las estaciones ubicadas en las Guaitecas (A02 y A04) durante el verano de 2016. Además, estas estaciones respondieron con valores de AR a los eventos del verano de 2009 y 2015 (**Figura 8.43**). A medida que las estaciones se alejan hacia el sur la señal del evento del 2016 se va perdiendo, esto se observa más claramente en los grupos V y Q. Para el grupo AB, ubicado en las cercanías de la constricción de Meninea (**Figura 8.44**) se observó que responden a las condiciones de verano, donde registraron valores de AR mayores a 5 durante los años 2008, 2009, 2015, 2016 y 2017. El otro grupo de estaciones segregadas que se analiza en esta región son aquellas que están compuestas por entre cuatro y nueve estaciones (**Figura 8.45**) entre las cuáles se encuentran el grupo



AE (estaciones A06, A07, A08, A08N1 y A08N2), grupo X (estaciones A13, A14, A15, A16, A17, A19, A20, A21, A22) y el grupo AB (estaciones A26, A44, A47, A51). El grupo AE, ubicado en el sector de Raúl Marín Balmaceda (**Figura 8.46**) mostró un registro de AR con valores bajos (cerca de 2) durante gran parte de la serie de tiempo, sin embargo, durante el verano de 2016 el promedio fue cercano a 5 con valores puntuales de 6. Llama la atención el incremento aparente histórico de la AR del grupo X, con estaciones ubicadas en el canal Jacaf y fiordo Puyuhuapi (**Figura 8.46**), donde a partir del verano del 2014 registra valores de AR promedio mayores a 5 y valores puntuales cercanos a 8 de forma sostenida en los últimos 4 veranos. Por su parte, el grupo AB ha presentado valores mayores a 5 durante los últimos 3 veranos, con máximos valores promedio (8) asociado al evento del 2009. Finalmente, la **Figura 8.47** agrupa la evolución temporal de la AR de los grupos Y (estaciones A18, A35, A36, A38N1, A39, A40 y A41), grupo Z (estaciones A23, A30, A32, A42, A45), grupo E (estaciones A55, A56, A57, A58, A59, A61, A62) y el grupo AC (estaciones A27, A28, A29, A50, A52, A53 y A54). En conjunto estos grupos mostraron altos valores de AR con una marcada temporalidad asociada a las condiciones de verano, donde el promedio es mayor a 5 con datos puntuales cercanos a 8. Otra característica es la respuesta de este grupo de estaciones al evento del 2009 donde se registraron valores máximos (9) en casi todos los grupos. Llama la atención el desfase del registro máximo observado en el grupo E durante el evento de 2016, que está ubicado en la zona de Tortel (**Figura 8.48**), en este grupo el máximo registro de AR (>5) se observó durante el mes de mayo de 2016. En general, los máximos valores de la AR, la mayor cobertura de estaciones y la sincronía en la respuesta a las condiciones de verano fueron observados en estos últimos grupos.

Región de Magallanes:

A partir de los análisis de clúster derivados de esta matriz, se pudo apreciar la conformación de 23 grupos estaciones (**Figura 8.49**) con un porcentaje promedio de similitud mayor a 70%. De los 23 grupos segregados, 9 grupos segregaron de forma independiente. Al combinar el dendrograma resultante con el mapa de calor (**Figura 8.42**), se observó un patrón temporal donde los mayores registros de la AR estuvieron asociados con los veranos de los años 2009 y 2012, mientras que el evento del 2016 no fue importante en términos de valores ni tampoco en cobertura geográfica, restringiéndose a unas pocas estaciones de monitoreo. Para facilitar el análisis se han separado geográficamente los grupos formados, integrando la información en dos figuras. La **Figura 8.51** muestra la evolución temporal y espacial de la AR en los grupos T (estaciones M01N, M02N, M03N y M06), S (estaciones M04 y M05), V (estaciones M10, M11, M12, M13, M14, M15 y M16) y el grupo P (estaciones M17, M18, M20 y M21). En general, se observó que la evolución de la AR sigue un patrón descendente desde el verano del 2009, especialmente en los grupos T, V y P, donde a partir de un valor máximo tienden a disminuir hacia el final del estudio. Similar a lo observado en el grupo de Tortel, las estaciones asociadas al grupo S, ubicadas en la zona de Magallanes Norte (**Figura 8.52**) mostraron un desfase con respecto a la señal del evento del 2016, registrándose los máximos valores durante mayo del 2016. Por su parte, los grupos de estaciones ubicados en la zona sur de Magallanes (**Figura 8.52**), compuestos por los grupos L (estaciones M29, M30, M31, M32 y M35), grupo M (Estaciones M40, M41, M42, M43, M44, M45, M46) y grupo H (estaciones M36, M37), también muestran una tendencia a la disminución de los valores máximos de AR, en este caso, en los tres grupos, se observó que a partir del verano del año 2012 la tendencia fue a la disminución de la AR. Probablemente las



condiciones m1s oce1nicas de estas estaciones ubicadas en el sur de Magallanes (**Figura 8.54.**) favorezcan la aparente disminuci3n temporal en estos grupos de estaciones.

5.9. Objetivo Espec1fico 9

Realizar un seminario p1blico de presentaci3n de resultados abarcando el lapso mayo 2006 – febrero 2017, sin perjuicio de comprometer la publicaci3n de diversos art1culos cient1ficos en revistas de corriente principal.

El seminario-taller se realiz3 el d1a 19 de julio entre las 08.30 y las 13.00 horas, con la finalidad de difundir y discutir los temas centrales y resultados del Programa durante sus 10 a1os de realizaci3n (per1odo 2006-2017). La intenci3n, adem1s de entregar los resultados m1s importantes logrados durante la X etapa, fue integrar y compartir los conocimientos obtenidos durante 10 a1os del programa, en una compresi3n multidimensional (oceanogr1fica-biol3gica-meteorol3gica), que ayude a plantear hip3tesis acerca de la din1mica y desarrollo de las Floraciones Nocivas en los fiordos del sur de Chile.

El seminario taller se dividi3 en un segmento de presentaciones orales (6), m1s una mesa redonda para discutir e intercambiar opiniones acerca de las hip3tesis planteadas. Las presentaciones se centraron en el desarrollo de hip3tesis acerca de las floraciones en los fiordos chilenos, que es factible construir a partir de los antecedentes y experiencia disponible como una forma de orientar y dirigir la investigaci3n que deber1a ser desarrollada con relaci3n a esta tem1tica.

Se realiz3 un total de 6 presentaciones, 4 de las cuales estuvieron a cargo de investigadores de IFOP y dos a cargo de dos invitados: el Dr. Fabi1n Tapia del centro COPAS de la Universidad de Concepci3n y el Dr. Daniel Varela del centro I-mar de la Universidad de Los Lagos, quienes expusieron acerca de su experiencia en esta tem1tica. Por otra parte, tambi3n se realiz3 una charla de presentaci3n del nuevo Centro de Investigaci3n de Algas Nocivas (CREAN) a cargo del Dr. Leonardo Guzm1n. El programa de las exposiciones se puede revisar en el Anexo 6.

Asimismo, asistieron cerca de 50 representantes de los diversos sectores demandantes y/o vinculados al tema de las floraciones algales nocivas, tanto del sector p1blico como privado, adem1s de acad1micos e investigadores de diferentes instituciones. La lista completa de los asistentes e instituciones a los cuales pertenecen se pueden visualizar en el Anexo 6.

En cuanto a otras actividades de difusi3n, en anexo se entregan los t1tulos, autores y res1menes de los trabajos presentados en la XVII Conferencia internacional sobre algas nocivas (ICHA) efectuado a mediados de octubre en Florian3polis, Brasil. Durante el per1odo se efectuaron adem1s numerosas conferencias y exposiciones en comisiones del Senado y C1mara de Diputados, incluyendo reuniones a nivel nacional y en regiones asociadas a las particularidades que tuvo 2016, por la magnitud e impacto que ocasionaron las floraciones ocurridas en el verano y oto1o de 2016.



6. DISCUSI3N

6.5. Objetivo Específico 5: Registrar parámetros oceanográficos (corrientes, etc) en sectores de interés dentro del área de estudio, ligados a la distribución y abundancia de microfitoplancton y microalgas nocivas.

En general las variables oceanográficas analizadas en los canales Puyuhuapi y Jacaf, presentaron una estructura vertical de dos capas; una superior de alrededor 20m, variable y estratificada y otra más estable y cuasi homogénea de mayor extensión.

La capa superior de los canales Puyuhuapi y Jacaf está fuertemente influenciada por los aportes de agua dulce provenientes de ríos y precipitaciones, donde a partir del método balance de sal se ha estimado que el tiempo de recambio del agua dulce en primavera es de 14 días en el Jacaf y 3.7 días en Puyuhuapi (Olmos, 2012). La presencia de agua dulce provoca un patrón vertical dominado por la salinidad, el que se presenta todo el año (Schneider *et al.*, 2014). Sin embargo, la distribución espacial de la pluma de río Cisnes en los canales Puyuhuapi y Jacaf, está asociado con la dirección del viento predominante, donde los vientos que se dirigen hacia el fiordo tienden a oponerse a la circulación gravitacional (Valle Levinson *et al.*, 2014). Además, se ha estimado que el tiempo de recambio de la capa de agua dulce en Por otro lado, las características hidrográficas de la capa profunda con condiciones más homogéneas se deben principalmente a las características de las masas de agua advectadas provenientes de las aguas oceánicas.

Donde destaca la presencia de la masa de agua AESS que se encuentra asociada a la isohalina de 34, en primavera la AESS se observó en el canal Jacaf hasta umbral del paso Sibbard y en verano en ambos canales limitado por la presencia del umbral en paso Sibbard y por la constricción cerca del río Uspallante en el canal Puyuhuapi. Esta diferencia en la distribución espacial de la masa de agua de AESS se debe a la variación semianual de la corriente subsuperficial de Perú-Chile que presenta una velocidad máxima en verano y mínima en otoño (Strub *et al.*, 1995, 1998). Esta corriente es responsable de transportar desde las costas de Perú al Golfo de Pena (48°) la masa de agua AESS y fluye en el norte de Chile a 100-300m fuera de la costa a 100m de profundidad, profundizándose y alejándose de la costa a medida que viaja hacia el sur (Silva & Neshyba, 1979).

Capa fina

La fluorescencia mostró una estructura de capa fina en primavera. Estas estructuras son definidas como regiones verticales que pueden persistir en el medio marino sobre grandes escalas temporales y horizontales con un espesor de menos de 5m, junto a concentraciones de 1.5 a 3 veces la magnitud que se encuentre sobre y debajo de la capa (Dekshenieks *et al.* 2001, Sullivan *et al.* 2010), además se caracterizan por una estructura vertical comprimida, lo que hace difícil de detectar por medios convencionales de muestreo (Cowles *et al.* 1998).



Las capas finas presentan una alta biomasa por lo que son sitios de acoplamiento trófico significativos con distancias más pequeñas entre individuos, con potencialmente mayor competencia, reciclado de nutrientes y pastoreo y que a menudo son correlacionadas con alta abundancia de bacteria, zooplancton y peces (Benoit-Bird *et al.* 2009), sin embargo se han observado capas compuestas de fitoplancton tóxico como por ejemplo *A. fundyense* (Townsend *et al.* 2005), *Pseudo-nitzschia australis* (McManus *et al.* 2008), entre otras donde además se ha observado que estas capas exhiben bajas concentraciones de zooplancton que las aguas circundantes.

La relativa importancia de estas capas para los procesos tróficos dependerá del tiempo que persisten, el que puede ser de horas a semanas y que tan extensas son (Cowles *et al.* 1998).

La formación de las capas puede resultar de procesos físicos como; 1) estratificación de la columna de agua debido a radiación solar, intrusión horizontal, etc., que crean gradientes de densidad que podrían recoger partículas, 2) intervalos locales 'quietos' que tienen una mezcla turbulenta más baja que la media, de modo que provocan acumulaciones locales 3) interacción de gradientes verticales en velocidades horizontales con estratificación local que puede resultar en dispersión horizontal (e.g Kullenberg, 1974) y 4) interacción de ondas internas y gradientes horizontales de biomasa (e.g Franks, 1995).

Las ubicaciones de estas estructuras son frecuentemente asociadas con fuertes gradientes de densidad (estratificada), tendiendo a ocurrir en la base de la capa de mezcla (Johnston & Rudnick 2009), lo que coincidiría con los datos observados de primavera, ya que la columna de agua se observó estratificada según el parámetro.

En verano los valores de fluorescencia fueron bajos, por lo que no cumplieron con la clasificación de capa fina sino más bien corresponden a máximos subsuperficiales de clorofila, esta tendencia es coincidente con los reportados por Daneri *et al.* (2012), donde registra que la biomasa fitoplanctónica tiende a incrementar en los primeros meses de primavera (septiembre-octubre), decayendo en los primeros meses de verano (diciembre-enero) e incrementaría en los últimos meses de verano (febrero-marzo).

Oxígeno disuelto

Los bajos valores de oxígeno disuelto registrados en ambas temporadas coinciden con la hipoxia estacional observada por Silva y Pérez-Santos (2017), quienes además de reportar estas bajas de oxígeno plantean que los bajos valores de oxígeno se podrían deber a remineralización de materia orgánica en temporadas altamente productivas, lo que explicaría que en primavera los valores de oxígeno sean menores que en verano, ya que en primavera estuvieron asociados a altos valores de fluorescencia.



6.6. Objetivo Específico 6: Continuar la modelaci3n de la distribuci3n y abundancia de microalgas nocivas monitoreadas por el programa preferentemente en zonas representativas del 1rea de estudio, dando preferencia a *Alexandrium catenella*.

La simulaci3n de *A. catenella* en los canales Puyuhuapi y Jacaf, provee de informaci3n acerca del funcionamiento del modelo biol3gico, donde a pesar de que los resultados no son los esperados, es un buen ejercicio para lograr identificar las falencias.

Una de ellas es la respuesta de la ecuaci3n de crecimiento 3ptimo a la temperatura y salinidad, donde si bien el modelo fue capaz de responder a los distintos cambios de temperatura y salinidad modelada, las ecuaciones utilizadas no parecen replicar la variabilidad intraespecífica.

Donde la ecuaci3n de temperatura parece ser la m1s crtica, ya que [Anderson et al. \(1984\)](#) sugiere que es la temperatura uno de los factores ambientales que afectan el desarrollo de floraciones, sin embargo [Aguilera- Belmonte et al. \(2013\)](#) reporta que es la salinidad la variable que afecta m1s la tasa de crecimiento y m1ximos de densidad celular. Por otro lado, utilizar las ecuaciones de [Watras et al. \(1982\)](#) implica la generalizaci3n de las respuestas de cierto grupo funcional de fitoplancton (*Gonyaulax tamarensis*) a *A. catenella*, extrapolando tasas de crecimiento y otros par1metros, esta pr1ctica en general se realiza en los modelos, sin embargo se ha reportado que las cepas de una misma especie, pero de 1reas geogr1ficas distintas presentan tasas de crecimiento diferente.

Las ecuaciones de [Watras et al. \(1982\)](#) reportaron una tasa de crecimiento de 0.35 cel d⁻¹ con un rango de temperatura de 13-22°C y salinidad de 25.5. Mientras que [Aguilera- Belmonte et al. \(2013\)](#) reporta tasa de crecimiento de 0.73, 0.42, 0.52 y 0.56 div d⁻¹ a 15° y 35°C para cuatro cepas de *A. catenella* provenientes de las regiones de Aysén (PFB37, PFB41 y PFB42) y Los Lagos (PFB38), donde el crecimiento fue m1s afectado por la salinidad para las cepas PFB41 y PFB42 que para las cepas PFB37 y PFB38. [Navarro et al. \(2006\)](#), en experimentos con una cepa de Aysén (ACC02) registro que la m1xima tasa de crecimiento fue de 0.30 div d⁻¹ a 14°C y que el menor crecimiento celular fue a 16°C con una tasa de 0.10 div d⁻¹. [1vila et al. \(2015\)](#), en cambio reporta que la menor tasa de crecimiento m1xima fue de 0.18 div d⁻¹ a 10°C y salinidad de 30 en experimentos realizados con una cepa proveniente de la regi3n de los Lagos (AC090610 QUE -Q).

Si bien el modelo registro una tasa m1xima de crecimiento de 0.2 cel d⁻¹, lo que est1 dentro de lo descrito, esta tasa es baja en comparaci3n con las c1lulas producidas por la mortalidad, es por este motivo que la concentraci3n de *A. catenella* final es baja.

La parametrizaci3n de la mortalidad, es complemente empírica y refleja el incremento de predadores con el aumento de la temperatura dependiendo solo de esta variable, si bien esta ecuaci3n representa de buena manera los procesos de p1rdidas en algunos modelos (e.g [He et al. \(2008\)](#), [Ralson et al. \(2015\)](#)), en esta ocasi3n represento una fuente de incerteza.



6.7. Objetivo Específico 8: 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 biológicas y abióticas disponibles.

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

Variabilidad ambiental

Los resultados encontrados mediante los análisis de conglomerados no difieren con respecto al análisis hecho en el informe anterior indicándonos que existe poca variabilidad en términos ambientales. La conformación de solo tres grupos (una estación segregó sola) 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.

Diatomeas y Dinoflagelados

La conformación de los distintos grupos de diatomeas, 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.

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 mismos 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 extremo 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.

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.

Distribución de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella*: identificación espacio - temporal de eventos de floración.

Distribución Espacial:

Es evidente, a partir de los resultados, que existe una marcada diferencia entre los grupos de estaciones segregados para cada uno de las regiones de estudio. En este sentido, la región de los Lagos es la zona donde la cobertura e intensidad de la AR de *Alexandrium catenella* es menor comparada a las otras dos regiones. En Los Lagos, se observó una clara respuesta al evento del verano de 2016, especialmente en los grupos de estaciones asociadas a la zona sur de Chiloé y Quellón. El incremento en la AR durante del evento del verano del 2016 fue evidente en el grupo de estaciones asociadas a Raúl Marín Balmaceda, las cuáles presentaron una respuesta rápida con un incremento por sobre 5 de AR en varias estaciones de muestreo, llegando a niveles máximos cercanos a 7. Estos valores son inéditos en esta zona, debemos recordar que Raúl Marín Balmaceda, está considerada como un área libre de plaga. Entre las hipótesis que se plantean y que sustentan el incremento de la AR en esta zona, se encuentra la entrada de células hacia el interior del fiordo mediadas por corrientes y que permitirían la acumulación hacia el interior, este proceso ocurría durante temporadas de bajas precipitaciones, las cuáles favorecerían la incursión de la cuña salada por sobre la salida de agua dulce por la superficie, invirtiendo el proceso de circulación estuarina. Debido a esto es necesario hacer un seguimiento en el tiempo de los procesos oceanográficos que determinan esta acumulación de células, ya que por sus características podría ser utilizado como indicador floraciones de *Alexandrium catenella*. Además de estas diferencias espaciales más locales, se observaron diferencias a mayor escala. Queda claro que la variabilidad ambiental asociada a la región de Aysén facilita la mayor cobertura e intensidad de las floraciones, agrupando estaciones que con características similares y que compartirían procesos oceanográficos que dan como resultado niveles de AR similares. Esta condición se pudo observar en el canal Jacaf y fiordo Puyuhuapi, donde por efecto de la circulación de corrientes marinas se pueden identificar áreas de acumulación que tienen a ubicarse hacia el interior del sistema. En cuanto a la formación de los grupos de estaciones según su nivel de abundancia relativa, es relevante que los grupos segregados tienden a agruparse de acuerdo a condiciones ambientales particulares que facilitan que un grupo de estaciones presente niveles de AR similares entre ellas. Esta condición ya fue observada en informes anteriores donde, con las mismas herramientas de análisis multivariado, se llegó a la conclusión de que los ensambles de la composición fitoplanctónica son particulares para cada región y cada zona y estarían mediados



por condiciones ambientales particulares de cada sector de monitoreo. Otro ejemplo de esta condición es la constricción de Meninea y los valores altos de AR en las estaciones cercanas, probablemente debido a la acumulación celular que se ve favorecida por este tipo de estructuras.

Distribución Temporal:

A partir de los resultados obtenidos, se pudo observar algunas tendencias y patrones en la evolución temporal de la AR de *Alexandrium catenella*. En gran parte de los grupos asociados a la región de Aysén se evidenciaron a lo menos cuatro eventos de floración, con valores de AR mayores a 5, estos fueron los eventos de los años 2009, 2012, 2015 y el reciente evento del año 2017. La variabilidad anual de estos eventos tiene una marcada estacionalidad y ocurren principalmente durante los veranos, vale comentar aquí que, tanto en las estaciones asociadas a la zona de Tortel como aquellas asociadas a la zona de Magallanes norte se evidencia un retraso en el evento de 2016, el cual se postergó hasta mayo de ese año. Probablemente, los importantes deshielos que ocurren en esa zona durante el verano y que incorporan agua dulce y fría al sistema podrían haber limitado la presencia de células de *Alexandrium catenella*, las que fueron más viables hacia las condiciones de otoño. Llama la atención como esta variabilidad ambiental determina que en algunos grupos de Magallanes la tendencia de la evolución de la AR fuera disminuir hacia el final del periodo de estudio. En estas estaciones se observó un valor máximo de AR durante el verano del 2012 y de allí en adelante la tendencia fue a la disminución del nivel de la AR. A partir de estos resultados es relevante continuar con el análisis de los datos que provee el Programa de Monitoreo de las Mareas Rojas, integrando más información ambiental que permita análisis más completos, así como el trabajo con otros equipos de investigación que tienda a mejorar la frecuencia y cobertura de la información.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 1990. Paralytic shellfish poison. Biological method. Sec. 959.08. pp. 881-882 En: Official Methods of Analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Aguilera-Belmonte A, I Inostroza, K Saez, JM Franco, P Riobo & P Gómez. 2013. The combined effect of salinity and temperature on the growth and toxin content of four Chilean 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.
- 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
- Anderson, D.M., Kulis, D.M., Binder, B.J., 1984. Sexuality and cyst formation in the dinoflagellate *Gonyaulax tamarens*: cyst yield in batch cultures. J. Phycol. 20, 418-425.
- Avila, M. De Zarate, C. Clement, A. Carbonell, P. & Pérez, F. 2015. Effect of abiotic factors in vegetative growth of *Alexandrium catenella* from cysts in laboratory. Revista de biología marina y oceanografía, 50(Suppl. 1), 177-185. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572015000200004>.
- 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.
- Bendat, J. S. & A. G. Piersol. 1986. Random Data, Analysis and Measurement Procedures, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons, 566 pp.
- Benoit-Bird KJ, Cowles TJ, Wingard CE. 2009. Edge gradients provide evidence of ecological interactions in planktonic thin layers. Limnol. Oceanogr. 54:1382-92
- Boesch, D.F., D.M. Anderson, R.A. Horner, S.E. Shumway, P.A. Tester, T.E. Whitledge. 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.



- Calvete, C. & M. Sobarzo. 2011. Quantification of the surface brackish water layer and frontal zones in southern Chilean fjords between Boca del Guafo (43° 30'S) and Estero Elefantes (46° 30'S). *Continental Shelf Research* 31:162-171.
- Clarke, K.R., R.N., Gorley. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 192pp.
- Clarke, K.R., P.J. Somerfield & R.N. Gorley. 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 366: 56-69.
- Clément, A. 1988. Mortalidad de Peces en el Fiordo Reloncaví. *Biota* 4, 79-84.
- Clément, A., 1994. Harmful blooms of *Leptocylindrus minimus* in Southern Chile. *Harmful Algae News* 8, 1.
- Cowles, T.J., R.A. Desiderio, & M.E. Carr. 1998. Small-scale planktonic structure: persistence and trophic consequences. *Oceanography* 111: 4–9.
- Daneri, G., P., Montero, L., Lizarraga, L. 2012. Primary Productivity and heterotrophic activity in an enclosed marine area of central Patagonia (Puyuhuapi channel; 44° S, 73° W). *Biogeoscience Discussions* 9: 5929-5928
- Dekshenieks, M. M., P. L. Donaghay, J.M. Sullivan, J. E. B. Rines, T. R. Osborn, & M. S. Twardowski. 2001. Temporal and spatial occurrence of thin phytoplankton layers in relation to physical processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 223: 61–71, doi:10.3354 /meps223061.
- Durbin, E. G. & A. G. Durbin. 1992. Effects of temperature and food abundance on grazing and short-term weight change in the marine copepod *Acartia hudsonica*. *Limnol. Oceanogr.* 37: 362-378.
- Durbin, E., Teegarden, G., Campbell, R., Cembella, A., Baumgartner, M., Mate, B., 2002. North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, exposed to paralytic shellfish poisoning (PSP) toxins via a zooplankton vector, *Calanus finmarchicus*. *Harmful Algae* 1, 243 - 251.
- Franks, P.J.S., 1995: Thin layers of phytoplankton: a model of formation by near-inertial wave shear. *Deep-Sea Res.*, 42, 75-91.
- 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.



- Fuica, N., Rojas, X., Clément, A., Bittner V., Silva, M., Uribe, C., 2008. Ocurrencia e Impacto de las FANs en la Salmonicultura en el Sur de Chile: Análisis del Programa de Monitoreo de INTESAL de SalmonChile. Salmociencia.
- 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.
- 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.
- Guzmán L, Pacheco H, Pizarro G & Alarcón C. 2002. *Alexandrium catenella* y veneno paralizante de los mariscos en Chile. Cap. 11: 237-256. In: E.A.Sar, M.E. Ferrario & B. Reguera (Eds.) Floraciones Algaes Nocivas en el Cono Sur Americano, p. 237-256.
- He, R., McGillicuddy, D.J., Anderson, D.M., Keafer, B.A. 2008. Historic 2005 toxic bloom of *Alexandrium fundyense* in the western Gulf of Maine: 2. Coupled biophysical numerical modeling. Journal of Geophysical Research 113:C07040. doi:10.1029/2007JC004602.
- Haralambidou, K., Sylaios, G., & Tsihrintzis, V. A. 2010. Salt-Wedge propagation in Mediterranean micro-tidal river mouth, Estuar. Coast Shelf Sci., 90, 174–184.
- Ihaka, R., Gentleman, R., 1996. A language for data analysis and graphics. J. Comput. Graph. Stat. 5, 299–314.
- Johnston, T. M. S. & D. L. Rudnick. 2009. Observations of the transition layer, J. Phys. Oceanogr., 39, 780–797, doi:10.1175/2008JPO3824.1.



- Kullenberg, G., 1974: Investigation of small-scale vertical mixing in relation to the temperature structure in stably stratified waters. *Adv. Geophys.*, 18A. 339-351.
- 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.
- Lembeye, G., Campodonico, I., 1984. First recorded Bloom of the dinoflagellate *Prorocentrum micans* Ehn. in South-central Chile. *Nota científica. Botánica Marina*, vol. XXVII, Fasc. 10, pp. 491- 493.
- McManus MA, Kudela RM, Silver MW, Steward GF, Donaghay PL, Sullivan JM. 2008. Cryptic blooms: Are thin layers the missing connection? *Estuar. Coasts* 31:396–401
- Muzio, I.M., G. Pizarro & L. Guzmán. 2012. Dinámica espacio temporal de los núcleos geográficos tóxicos por VPM en la región de Magallanes: 17 años de monitoreo. XXXII Congreso de Ciencias del Mar, 22-25 octubre 2012. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. Libro de resúmenes, p. 230.
- Navarro JM, ME Muñoz & AM Contreras. 2006. Temperature as a factor regulating growth and toxin content in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Harmful Algae* 5: 762-769.
- Olmos, S. V.2012. Estimaciones de los tiempos de recambio en fiordos de la provincia de Aysén, Chile (Universidad de Concepción).
- Pérez-Santos, Iván. 2017. Deep ventilation event during fall and winter 2015 in the Puyuhuapi Fjord (44.6°S). *Latin american journal of aquatic research*, 45(1), 223-227. <https://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-25>.
- 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.



- Quilliam, M.A., Xie, M. & Hardstaff, W.R. 1995. Rapid Extraction and Cleanup for Liquid Chromatographic Determination of Domoic Acid in Unsalted Food. *J. AOAC Int.* 78(2): 543-554.
- Ralston, D. K., M. L. Brosnahan, S. E. Fox, & D. M. Anderson. 2015. Temperature and residence time controls on an estuarine harmful algal bloom: Modeling hydrodynamics and *Alexandrium fundyense* in Nauset estuary. *Estuaries Coast.* doi:10.1007/s12237-015-9949-z
- Schneider, W., Pérez-Santos I. & L. Ross. 2014. On the hydrography of Puyuhuapi Channel, Chilean Patagonia. *Prog. Oceanogr.*, 129, Part A, 8-18.
- Strub, P. T., Mesías, J., Montecino, V., Ruttlant, J. & Salinas, S., 1998. Coastal ocean circulation off western South America. Coastal Segment (6, E), in: Robinson, A., Brink, K. (Eds), *The Sea*, Vol. 11. John Wiley & Sons, Hoboken, pp. 273-313
- Strub, P. T., Mesías, M. & James, C., 1995. Altimeter observations of the Perú-Chile Countercurrent. *Geophys. Res. Lett.* 22, 211-214.
- Silva, N. & Neshyba, S., 1979. On the southernmost extension of the Perú-Chile Undercurrent. *Deep Sea Res.* 26, 1387-1393.
- Sullivan, J. M., McManus, M. A., Cheriton, O. M., Benoit-Bird, K. J., Goodman, L., Wang, Z., Ryan, J. P., Stacey, M., Holliday, D. V., Greenlaw. 2010. Layered organization in the coastal ocean: an introduction to thin layers and the LOCO project. *Cont. Shelf Res.* 30, 1-6.
- Townsend DW, Bennett SL, Thomas MA. 2005. Diel vertical distributions of the red tide dinoflagellate *Alexandrium fundyense* in the Gulf of Maine. *Deep-Sea Res. Part II* 52:2593-602
- UNESCO. 1996. Design and Implementation of Some Harmful Algal Monitoring Systems. *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)* 44:1-102.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. *Mitt. int. Verein. Theor. angew. Limnol.* 9, 38 p.
- Valle-Levinson, A., M. Cáceres, O. Pizarro. 2014. Variations of tidally driven three-layer residual circulation in fjords. *Ocean Dynamics* 64, 459-469.
- Viera, R. 2001. Morfogénesis y dinámica de las vertientes submarinas en la costa de fiordos de Norpatagonia - Chile. *Invest. Geogr. Chile*, 35: 101-124.



- Watras C.J., Chisholm S.W. & D.M. Anderson. 1982. Regulation of growth in an estuarine clone of *Gonyaulax tamaris* Lebour: Salinity - dependent temperature responses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1982; 62:25-37.
- Yasumoto, T., Murata, M., Oshima, Y., Matsumoto, G.K. & Clardy, J. 1984a. Diarrhetic shellfish poisoning. ACS Symposium Series No. 262. *In* Ragelis, E.P. ed. *Seafood Toxins*, pp. 207-214. American Chemical Society Symposium Series.



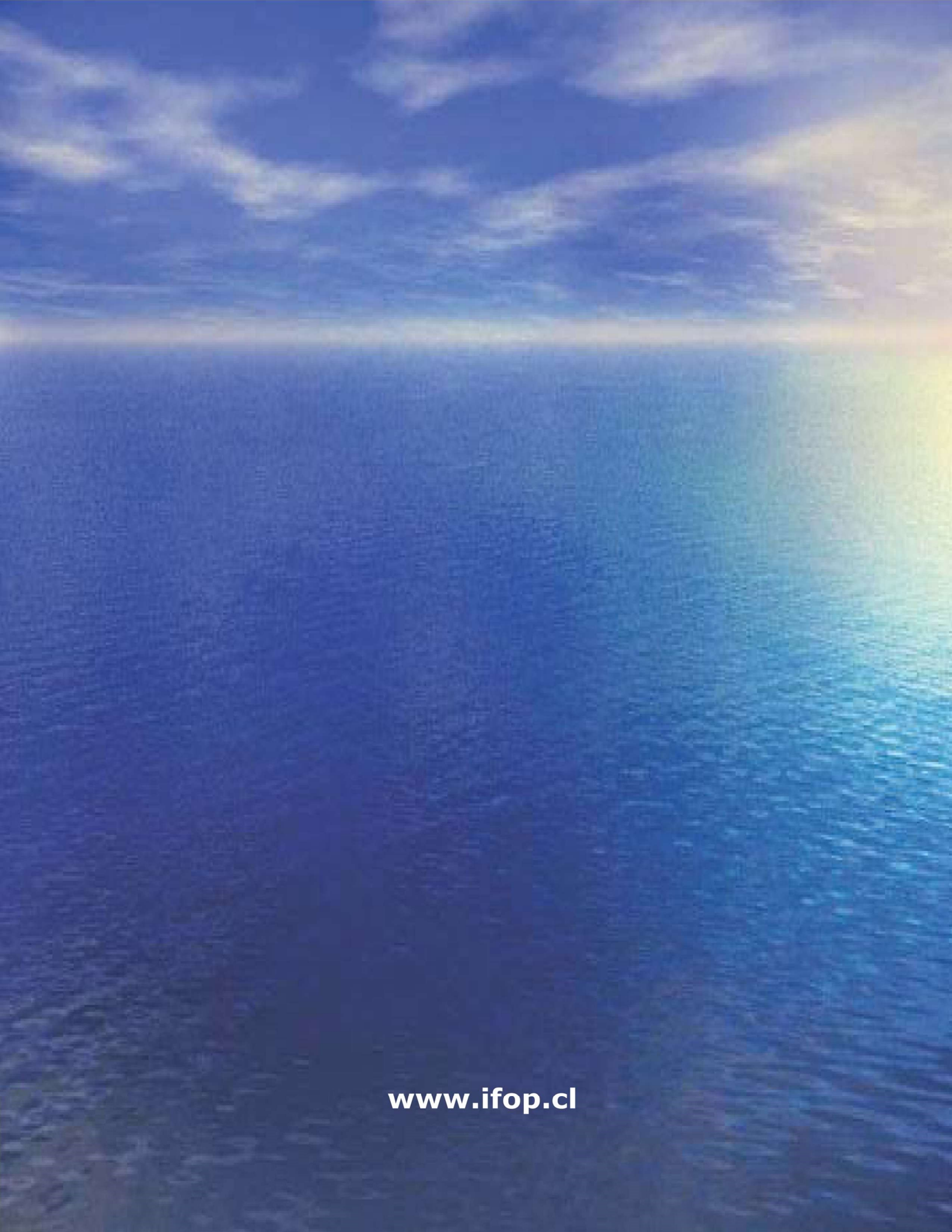
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción

Blanco 839, Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl